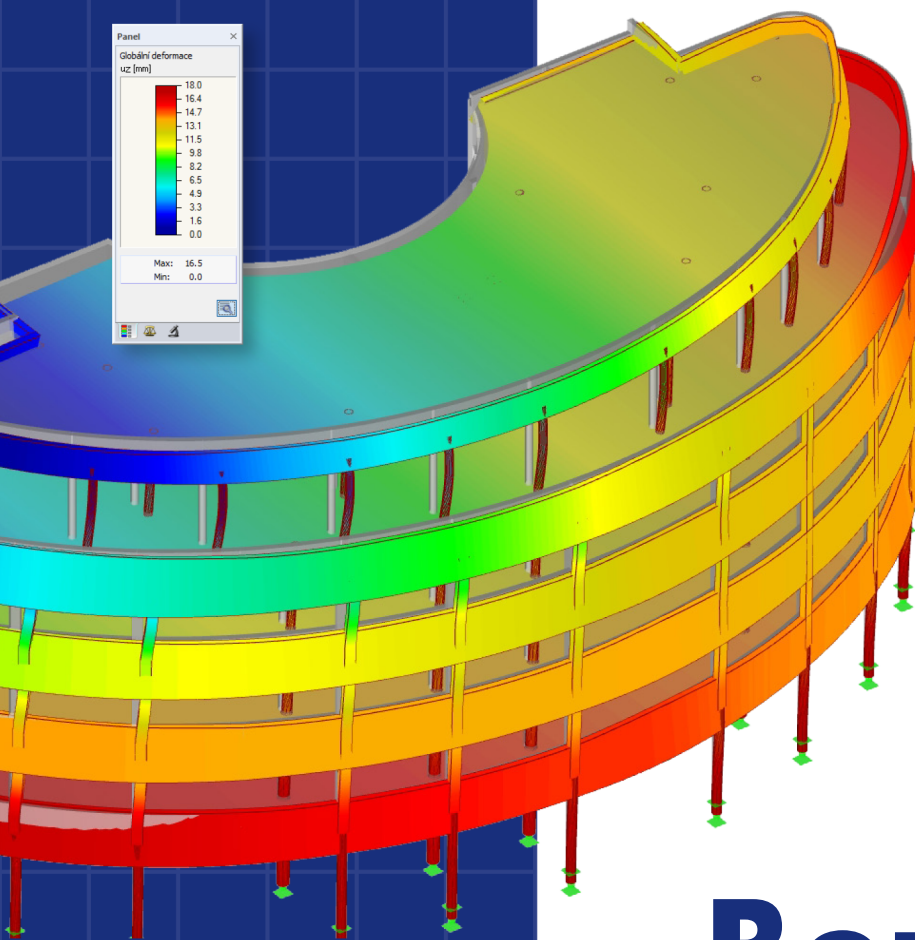


RFEM 5

Räumliche Tragwerke nach
der Finite-Elemente-
Methode



Benutzer- Handbuch

Version

März 2020



Dlubal Software

Kurzübersicht

1	Einleitung	6
2	Installation	9
3	Benutzeroberfläche	12
4	Modelldaten	35
5	Lastfälle und Kombinationen	196
6	Lasten	238
7	Berechnung	286
8	Ergebnisse	323
9	Ergebnisauswertung	393
10	Ausdruck	430
11	Programmfunktionen	469
12	Dateiverwaltung	604

A	Literatur	642
----------	------------------	------------



Dlubal Software GmbH
Am Zellweg 2
93464 Tiefenbach
Deutschland

Tel.: +49 9673 9203-0
Fax.: +49 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com

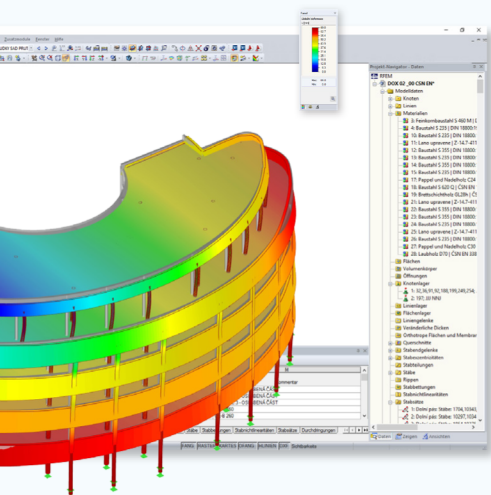
Dlubal Software GmbH
Grimmische Straße 13
04109 Leipzig
Deutschland

Tel.: +49 9673 9203-0
Fax: +49 9673 9203-51
E-Mail: info@dlubal.com

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung der Dlubal Software GmbH ist es nicht gestattet, die Programmbeschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

i Gebrauch des Handbuchs

Viele Wege führen zum Ziel. Dieser Grundsatz gilt auch für die Arbeit mit RFEM, denn Grafik, Tabellen und Navigator stehen gleichberechtigt nebeneinander. Um der Funktion eines Nachschlagewerks gerecht zu werden, orientiert sich dieses Handbuch an der Reihenfolge und am Aufbau der Modell-, Belastungs- und Ergebnistabellen. In den Kapiteln sind die Tabellen Spalte für Spalte erläutert. Auf die Beschreibung allgemeiner Windows-Funktionen wird zugunsten praxisrelevanter Hinweise verzichtet.



Tipp

Im Handbuch sind die beschriebenen Schaltflächen (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [OK]. Darüber hinaus sind sie am linken Rand abgebildet. Begriffe, die in Dialogen, Tabellen und Menüs erscheinen, sind in *Kursivschrift* hervorgehoben. Dies soll das Nachvollziehen der Erläuterungen erleichtern. Sie können auch die Suchfunktion für die [Knowledge Base](#) und [FAQs](#) auf unserer Website nutzen, um in den Beiträgen zum Programm RFEM eine Lösung zu finden.



Aktualität

Die hohen Qualitätsansprüche an die Software werden durch eine ständige Weiterentwicklung der Programmversionen gewährleistet. Damit können sich eventuell Abweichungen zwischen dieser Programmbeschreibung und der Ihnen vorliegenden Softwareversion ergeben. Haben Sie deshalb Verständnis dafür, dass aus den Abbildungen und Beschreibungen keine Ansprüche hergeleitet werden können. Wir sind bemüht, die Dokumentation an den aktuellen Stand der Software anzugleichen.

Inhalt

1	Einleitung	6		
1.1	Neu in RFEM 5	6		
1.2	Programmkapazitäten	7		
1.3	Firmenprofil	7		
1.4	Gebrauch des Handbuchs	8		
2	Installation	9		
2.1	Systemanforderungen	9		
2.2	Installationsvorgang	9		
2.2.1	Installation vom USB-Stick	10		
2.2.2	Installation im Netzwerk	11		
2.2.3	Installation von Updates und weiteren Modulen	11		
2.2.4	Parallelinstallationen von RFEM	11		
3	Benutzeroberfläche	12		
3.1	Überblick	12		
3.2	Verwendete Begriffe	13		
3.3	Spezielle Begriffe in RFEM	16		
3.4	RFEM-Oberfläche	17		
3.4.1	Menüleiste	17		
3.4.2	Symbolleisten	18		
3.4.3	Projekt-Navigator	20		
3.4.4	Tabellen	23		
3.4.5	Statusleiste	24		
3.4.6	Steuerpanel	25		
3.4.7	Standardschaltflächen	29		
3.4.8	Tastaturfunktionen	30		
3.4.9	Mausfunktionen	32		
3.4.10	Konfigurationsmanager	32		
4	Modelldaten	35		
4.1	Knoten	40		
4.2	Linien	46		
4.3	Materialien	57		
4.4	Flächen	77		
4.5	Volumenkörper	89		
4.6	Öffnungen	97		
4.7	Knotenlager	98		
4.8	Linienlager	106		
4.9	Flächenlager	111		
4.10	Liniengelenke	116		
4.11	Veränderliche Dicken	118		
4.12	Orthotrope Flächen und Membranen	119		
4.13	Querschnitte	125		
4.14	Stabendgelenke	137		
4.15	Stabexzentrizitäten	144		
4.16	Stabteilungen	146		
4.17	Stäbe	147		
4.18	Rippen	164		
4.19	Stabbettungen	167		
4.20	Stabnichtlinearitäten	169		
4.21	Stabsätze	172		
4.22	Durchdringungen	174		
4.23	FE-Netzverdichtungen	178		
4.24	Knotenfreigaben	183		
4.25	Linienfreigabe-Typen	185		
4.26	Linienfreigaben	186		
4.27	Flächenfreigabe-Typen	188		
4.28	Flächenfreigaben	189		
4.29	Verbindung von zwei Stäben	191		
4.30	Anschlüsse	193		
4.31	Knotenkopplungen	194		
5	Lastfälle und Kombinationen	196		
5.1	Lastfälle	196		
5.2	Einwirkungen	201		
5.3	Kombinationsregeln	205		
5.4	Einwirkungskombinationen	217		
5.5	Lastkombinationen	221		
5.5.1	Benutzerdefinierte Kombinationen	222		
5.5.2	Generierte Kombinationen	227		
5.6	Ergebniskombinationen	229		
5.6.1	Benutzerdefinierte Kombinationen	229		
5.6.2	Generierte Kombinationen	235		
5.7	Kombinationsschema	237		
6	Lasten	238		
6.1	Knotenlasten	242		
6.2	Stablasten	245		
6.3	Linienlasten	252		
6.4	Flächenlasten	257		
6.5	Volumenkörperlasten	263		
6.6	Freie Einzellasten	265		
6.7	Freie Linienlasten	267		
6.8	Freie Rechtecklasten	269		
6.9	Freie Kreislasten	271		
6.10	Freie Polygonlasten	273		
6.11	Freie veränderliche Lasten	275		
6.12	Knoten-Zwangsverformungen	277		
6.13	Linien-Zwangsverschiebungen	278		
6.14	Imperfektionen	280		
6.15	Generierte Lasten	284		
7	Berechnung	286		
7.1	Kontrolle der Eingabedaten	286		
7.1.1	Plausibilitätskontrolle	286		
7.1.2	Modellkontrolle	287		
7.1.3	Modell regenerieren	290		
7.1.4	Nicht benutzte Lasten löschen	291		
7.2	FE-Netz	291		
7.2.1	Grundlagen der finiten Elemente in RFEM	291		
7.2.2	FE-Netz	294		
7.2.2.1	FE-Netz-Einstellungen	294		
7.2.2.2	FE-Netz-Qualitätskriterien	297		
7.2.2.3	Adaptive Netzverdichtung	298		
7.2.3	FE-Netzverdichtungen	299		

1 Einleitung



1.1

Neu in RFEM 5

RFEM, das FE-Programm für Platten, Scheiben, Schalen, Volumen und Stabwerke, ist ein leistungsfähiges Werkzeug für die verschiedenen Aufgaben im modernen Ingenieurbau. Dieses Programm bildet die Basis einer modular konzipierten Software: RFEM ermittelt die Schnittgrößen, Verformungen und Lagerreaktionen allgemeiner Flächentragwerke mit oder ohne Stab- und Volumenelementen.

Die Programmversion RFEM 5 bietet eine Reihe nützlicher Ergänzungen und Möglichkeiten, die ein komfortables, anwenderfreundliches Arbeiten gewährleisten. An dieser Stelle möchten wir unseren Kunden für die wertvollen Anregungen aus der Praxis danken.

RFEM 5 enthält unter anderem folgende Neuerungen:

- Benutzeroberfläche in Chinesisch, Französisch, Italienisch, Niederländisch, Polnisch, Portugiesisch, Russisch und Spanisch
- Direktes Setzen verschiedener Öffnungstypen
- Stabexzentrizitäten aus Profilabmessungen
- Arbeitsdiagramme und erweiterte Kriterien für nichtlineare Knotenlager und Gelenke
- Orthotropieeigenschaften für Quadrangel- und Membranflächen sowie für Volumen
- Eingabemöglichkeit für hybride Holzquerschnitte
- Filter in Querschnitts- und Materialbibliotheken mit Favoriten
- Volumenmodellierung durch Extrudieren von Flächen mit Bezug auf eine Ebene oder einen Punkt, auch mit gevouteten Seiten
- Durchdringungen von Volumenkörpern mit Booleschen Operationen
- Einfügen eines Stabes an bestehendem Stab
- Import von Dateien aus Bentley ISM, Ansys Apdl und Scia Engineer
- Import von 3D-Objekten
- Grafische Zuweisung von Stabeigenschaften
- Farbsymbole in Tabellen für Querschnitte, Flächen, Volumen, Flächen- und Stabtypen
- Selektion mit Ellipse, Kreisring oder Schnittlinie
- Arbeitsebenen aus drei Punkten oder Linien-, Stab- und Flächenachsen
- Farbverwaltung für Flächen-, Steifigkeits-, Stab- und Volumentypen
- Eingabe der Schiefstellung und Vorkrümmung in Absolutwerten
- Angabe von Flächengröße und -gewicht in Eingabetabelle
- Automatische Erzeugung von Last- und Ergebniskombinationen nach Normvorgabe
- Schrittweise Verdichtung des FE-Netzes im Randbereich von Flächen
- Theorie III. Ordnung nach Newton-Raphson, Picard oder als dynamische Relaxation
- Ausgabe der Lastverteilung, Verzerrungen, Stabkennzahlen und Stabschlanheiten
- Glättungsbereiche zur Beurteilung von Singularitäten
- Benutzerdefinierte Beleuchtungseinstellungen

- Ergebnisauswertung über Clippingebene
- Ansichten-Navigator für eigendefinierte und generierte Sichtbarkeiten und Blickwinkel
- Konfigurationsmanager für Anzeigeeigenschaften, Symbolleisten, Druckköpfe etc.
- Seriendrucke von Grafiken
- PDF-Export des Ausdruckprotokolls

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RFEM 5.

Ihr Team von Dlubal Software

1.2

Programmkapazitäten

Die folgenden Begrenzungen stellen die oberen Schranken in der Datenstruktur von RFEM dar. Bitte beachten Sie, dass die Grenzen für ein effektives Arbeiten deutlich niedriger liegen und nicht zuletzt von der Hardware abhängen.

Modelldaten

99 999 Objekte jeder Kategorie (Knoten, Linien, Flächen, Querschnitte etc.)

Belastungsdaten

999 999 Objekte jeder Lastart pro Lastfall

Lastfälle und Kombinationen

Lastfälle (lineare Berechnung)	9 999
Lastkombinationen (nichtlineare Berechnung)	9 999
Ergebniskombinationen	9 999

Tabelle 1.1 Programmgrenzen RFEM

1.3

Firmenprofil

Die 1987 gegründete Dlubal Software beschäftigt sich mit der Entwicklung leistungsfähiger und zugleich benutzerfreundlicher Programme für Statik, Dynamik und Bemessung. 1990 siedelte sie sich an ihrem heutigen Standort im ostbayerischen Raum an, genau gesagt in Tiefenbach im Oberpfälzer Landkreis Cham. Seit 2010 besteht eine Zweigstelle in Leipzig. 2014 und 2015 wurden Filialen in Polen, Frankreich, Italien und den USA gegründet, 2018 eine Niederlassung in Brunn. Ein weiteres Büro wurde 2020 am Standort München eröffnet.

Der ungebrochene Spaß aller Beteiligten an der Entwicklung und Umsetzung immer neuer Ideen spiegelt sich ebenso im Firmencredo wider wie in den Programmen. In Verbindung mit der fachlichen Kompetenz des Dlubal-Teams bildet die Benutzerfreundlichkeit der Software das Fundament für den in den Jahren gewachsenen Erfolg der Dlubal Software.

Die Programme sind so konzipiert, dass der Anwender mit Computergrundkenntnissen selbstständig in kürzester Zeit den Umgang mit der leicht erlernbaren Software beherrscht. So kann die Firma heute mit einigem Stolz weltweit mehr als 7800 Ingenieurbüros, Baufirmen aus unterschiedlichen Sparten und Hochschulen zu ihren zufriedenen Kunden zählen. Damit das so bleibt, sorgen 280 interne und

externe Mitarbeiter für die kontinuierliche Verbesserung und Neuentwicklung der Dlubal-Programme. Bei Fragen und Problemen, für die Sie in unseren [FAQs](#) keine Lösung finden, steht eine qualifizierte E-Mail-Hotline bereit. Sie hilft Ihnen schnell und unkompliziert weiter.

Das ausgezeichnete Preis-Leistungs-Verhältnis der Software in Kombination mit dem Service, den die Dlubal Software bietet, macht die Dlubal-Programme zu einem unverzichtbaren Werkzeug für jeden, der in den Bereichen Statik, Dynamik und Bemessung zu tun hat.

1.4

Gebrauch des Handbuchs

Viele Wege führen zum Ziel. Dieser Grundsatz gilt auch für die Arbeit mit RFEM, denn Grafik, Tabellen und Navigator stehen gleichberechtigt nebeneinander. Um der Funktion eines Nachschlagewerks gerecht zu werden, orientiert sich dieses Handbuch an der Reihenfolge und am Aufbau der Modell-, Belastungs- und Ergebnistabellen. In den Kapiteln sind die einzelnen Tabellen Spalte für Spalte beschrieben. Dabei wird auf die Beschreibung allgemeiner Windows-Funktionen zugunsten praxisrelevanter Hinweise verzichtet.



Falls Sie neu in das Programm einsteigen, sollten Sie unser RFEM-Einführungsbeispiel Schritt für Schritt selbst eingeben. Dieses PDF-Dokument finden Sie im [Downloadbereich](#) unserer Website. Damit werden Sie schnell mit den wichtigsten Programmfunktionen vertraut. Fortgeschrittene können sich an unserem Übungsbeispiel versuchen, das ebenfalls zum Download bereitliegt.



Im Handbuchttext sind die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Anwenden]. Darüber hinaus sind sie links am Rand abgebildet. Im Fließtext sind **Begriffe**, die in Dialogen, Tabellen und Menüs erscheinen, in *Kursivschrift* hervorgehoben. Dies soll das Nachvollziehen der Erläuterungen erleichtern.

Im PDF-Handbuch ist wie üblich mit [Strg]+[F] eine Volltextsuche möglich. Sollten Sie nicht fündig werden, können Sie auch die Suchfunktion in unserer [Knowledge Base](#) nutzen, um in den Fachbeiträgen eine Lösung zu finden. Unsere [FAQs](#) bieten ebenfalls eine Vielzahl an Hilfestellungen.

2 Installation



2.1

Systemanforderungen

Folgende Systemvoraussetzungen sollten für die Nutzung von RFEM erfüllt sein:

- Betriebssystem Windows 7/8.1/10 64-Bit
- X86-Prozessor mit 2 GHz
- 2 GB RAM
- USB-Schnittstelle für die Installation (falls keine Installation über Download-Link)
- 20 GB Gesamtfestplattenkapazität, davon zirka 4 GB für die Installation
- Grafikkarte mit OpenGL Beschleunigung und einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel, wobei von Onboard-Lösungen und Shared-Memory-Technologien abgeraten wird



RFEM wird nicht von Windows 95/98/Me/NT/2000/XP/Vista, Linux, Mac OS oder Serverbetriebssystemen unterstützt.

Mit Ausnahme des Betriebssystems sprechen wir bewusst keine Produktempfehlungen aus, da RFEM grundsätzlich auf allen Systemen läuft, die die genannten Leistungsanforderungen erfüllen. Um RFEM rechenintensiv zu nutzen, gilt natürlich das Prinzip „je mehr, desto besser“.

Beim Berechnen komplexer Systeme fallen große Datenmengen an. Sobald der Hauptspeicher nicht mehr ausreicht, die Daten aufzunehmen, werden sie auf die Festplatte ausgelagert. Dies bremst den Rechner erheblich. Die Berechnung wird daher durch die Aufrüstung des Hauptspeichers meist mehr beschleunigt als durch einen schnelleren Prozessor.



Da der RFEM-Rechenkern mehrere Prozessorkerne unterstützt, können die Möglichkeiten von 64-Bit-Betriebssystemen genutzt werden. Wenn der Rechner über genügend RAM-Speicher verfügt, kann auch bei großen Modellen die schnelle direkte Gleichungslösermethode genutzt werden.

Für die Berechnung sehr großer Systeme empfehlen wir folgende Konfiguration:

- Quad-Kern Prozessor
- 8 GB RAM

2.2

Installationsvorgang

Die Programmfamilie **RFEM** wird als Installationsdatei zum Download bereitgestellt oder auf einem USB-Stick geliefert. Diese Datei enthält nicht nur das Hauptprogramm RFEM, sondern auch alle zur Programmfamilie RFEM gehörenden Zusatzmodule wie z. B. **RF-BETON**, **RF-STAHl**, **RF-STABIL** etc.

Ehe Sie RFEM installieren, schließen Sie bitte die im Hintergrund geöffneten Anwendungen.



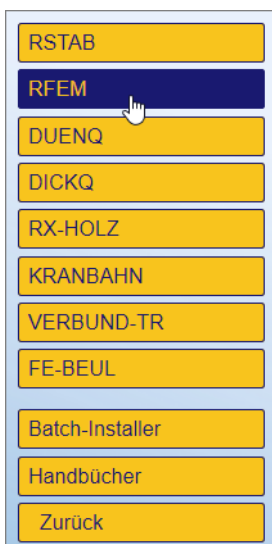
Für die Installation müssen Sie als Administrator angemeldet sein bzw. Administratorrechte besitzen. Für die spätere Arbeit mit RFEM sind dann Benutzerrechte ausreichend. Eine genaue Anleitung finden Sie im [Benutzerrechte-Dokument](#) und im [Benutzerrechte-Video](#).

2.2.1 Installation vom USB-Stick

- Schließen Sie den Stick an einer USB-Schnittstelle Ihres Computers an.
- Die Installationsroutine startet automatisch. Sollte dies unterbleiben, ist vermutlich die *autorun*-Funktion deaktiviert. Starten Sie in diesem Fall die Datei **setup.exe** auf dem Stick über den Windows-Explorer.
- Wählen Sie im Startdialog die Sprache aus.



Bild 2.1 Sprache auswählen



Programm auswählen

- Legen Sie im nächsten Dialog das Programm **RFEM** fest.
- Folgen Sie den Anweisungen des *Installation Wizard*.

Schließen Sie den Dongle erst nach Abschluss der Installation an einer USB-Schnittstelle des Computers an. Der Dongletreiber wird dann automatisch installiert.

Auf dem USB-Stick finden Sie auch Installationshinweise im PDF-Format.

RFEM als Voll- oder Testversion

Wenn Sie nach der erfolgreichen Installation das Programm zum ersten Mal starten, müssen Sie festlegen, ob Sie RFEM als Vollversion oder als 90-tägige Testversion nutzen möchten.

Für die Lauffähigkeit als Vollversion benötigen Sie einen Dongle (Hardlock) und eine Autorisierungsdatei **Author.ini**. Der Dongle ist ein Stecker, der an einem USB-Anschluss des Computers anzubringen ist; die Autorisierungsdatei enthält codierte Informationen für Ihre Lizenz(en). In der Regel senden wir Ihnen die Datei *Author.ini* in einer E-Mail zu. Auch über Ihr [Dlubal-Konto](#) haben Sie Zugang zur Autorisierungsdatei. Speichern Sie diese *Author.ini* auf Ihrem Rechner, einem USB-Stick oder im Netzwerk.

Die Autorisierungsdatei wird für **jeden** Arbeitsplatz benötigt. Sie können die Datei beliebig oft kopieren. Sollte jedoch der Inhalt geändert werden, wird sie zur Autorisierung unbrauchbar.

Die RFEM-Vollversion kann als *Softwarelizenz* auch ohne Dongle betrieben werden.

2.2.2 Installation im Netzwerk

Auch bei Netzwerklicenzen ist das Programm zunächst wie beschrieben auf den Workstations zu installieren. Die Lizenzen werden dann durch den Sentinel-Netzwerkdongle freigegeben. Eine [Anleitung](#) auf unserer Website gibt detaillierte Hinweise zur Installation des Netzwerkdongles.

2.2.3 Installation von Updates und weiteren Modulen

Auf dem USB-Stick befindet sich das komplette Programmpaket mit allen Zusatzmodulen. Beim Kauf eines weiteren Moduls erhalten Sie nicht unbedingt einen neuen USB-Stick, auf jeden Fall aber eine neue Autorisierungsdatei *Author.ini*. Über das RFEM-Pulldownmenü **Hilfe** → **Autorisierung** → **Autorisierungsdatei einlesen** kann die Autorisierung ohne Neuinstallation aktualisiert werden.

Beim Update innerhalb einer Versionsreihe (z. B. **5.02.xxxx**) werden die alten Programmdateien entfernt und durch neue ersetzt. Ihre Projektdaten bleiben natürlich erhalten! Beim Update auf die nächste Versionsreihe (z. B. **5.03.xxxx**) wird die neue Version parallel installiert (siehe unten).



Wenn Sie eigendefinierte Druckköpfe nutzen, sollten Sie diese vor einem Update sichern. Die Druckköpfe werden in der Datei **DlupalProtocolConfigNew.cfg** im allgemeinen Stammdatenordner *C:\ProgramData\Dlupal\Global\General Data* abgelegt. Bei einem Update wird diese Datei nicht überschrieben; eine Sicherungsdatei kann trotzdem von Vorteil sein.

Ebenso sollten Sie vor einem Update Ihre Musterprotokolle sichern. Diese werden in der Datei **RfemProtocolConfig.cfg** im Ordner *C:\ProgramData\Dlupal\RFEM 5.xx\General Data* gespeichert.

Die im Projektmanager verknüpften Projekte werden in der ASCII-Datei **PRO.DLP** verwaltet, die sich standardmäßig im Ordner *C:\ProgramData\Dlupal\Global\Project Manager* befindet (siehe [Bild 12.21](#)). Wenn Sie RFEM vor einem Update deinstallieren möchten, sollten Sie vorher auch diese Datei sichern.

2.2.4 Parallelinstallation von RFEM

RFEM 4 und die einzelnen Versionsreihen von RFEM 5 können parallel auf dem Rechner betrieben werden, da die Programmdateien in verschiedenen Verzeichnissen liegen. Die Standardordner sind bei einem 64-Bit-Betriebssystem:

```
RFEM 4: C:\Programme (x86)\Dlupal\RFEM 4
RFEM 5.01: C:\Programme\Dlupal\RFEM 5.01
RFEM 5.02: C:\Programme\Dlupal\RFEM 5.02
RFEM 5.03: C:\Programme\Dlupal\RFEM 5.03 etc.
```

Modelle, die mit RFEM 4 erstellt wurden, lassen sich in RFEM 5 öffnen und weiter bearbeiten. Die RFEM 4-Modelle werden beim Speichern in RFEM 5 nicht überschrieben, da die Programme verschiedene Dateiendungen benutzen: RFEM 4 speichert die Daten im Format ***.rf4** ab, RFEM 5 im Format ***.rf5**.

Die Modelldateien von RFEM 5 sind mit Einschränkungen auch abwärtskompatibel. Beim Öffnen in einer Vorgängerversion erscheint z. B. ein Hinweis, dass Kompatibilitätsprobleme bei Stäben mit unsymmetrischen Querschnitten möglich sind.

3 Benutzeroberfläche



3.1

Überblick

Wenn Sie nach dem Start von RFEM eines der mitgelieferten Demobeispiele öffnen, wird sich der Bildschirm wie in Bild 3.1 dargestellt präsentieren. Die Benutzeroberfläche entspricht den in Windows üblichen Konventionen.

In der folgenden Abbildung sind die wichtigsten Bereiche gekennzeichnet.

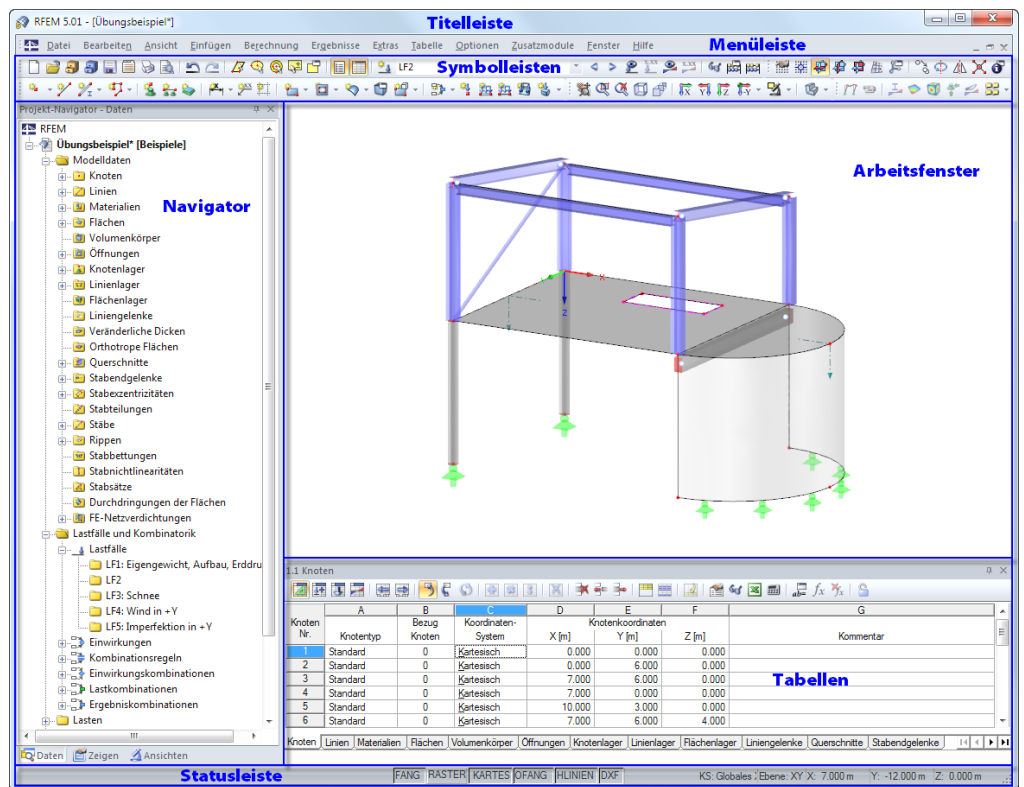


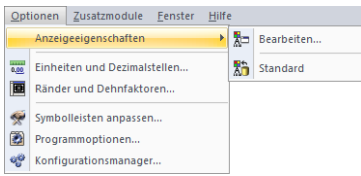
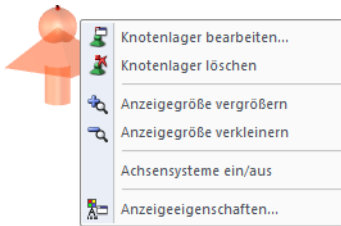

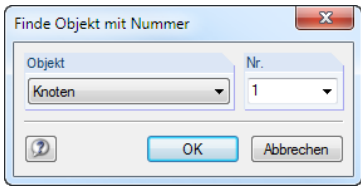
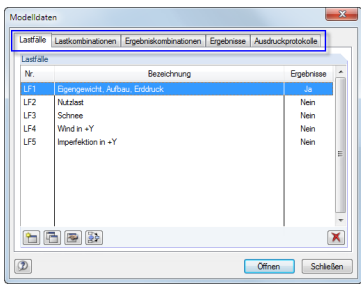
Bild 3.1 RFEM Benutzeroberfläche

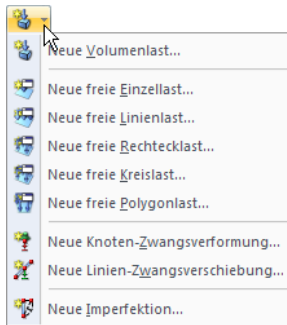
3.2

Verwendete Begriffe

Für die Elemente der Benutzeroberfläche sind verschiedene Begriffe in Gebrauch. Dieses Handbuch benutzt die deutschsprachigen Ausdrücke. Einige Begriffe sind zusammengefasst, wenn eine Unterscheidung für die Bedienung von RFEM bedeutungslos ist.

Folgende Tabelle erläutert häufig verwendete Begriffe.

Begriff	Bild	Synonym	Erläuterung
Menü		Pulldownmenü	Funktionen und Befehle unterhalb der Titelleiste
Kontextmenü		Pop-upmenü	Menü, das mit einem Klick der rechten Maustaste auf ein Objekt geöffnet wird Es enthält wichtige Funktionen und Befehle zu diesem Objekt.
Symbolleiste		Werkzeugleiste, Toolbar	Sammlung von Schaltflächen unterhalb der Menüleiste
Dialog			Fenster, das zur Dateneingabe im Hauptfenster geöffnet wird
Register		Registerkarte, Kartenreiter	Große Dialoge sind in mehrere Register untergliedert. Durch Anklicken der Reiter sind die einzelnen „Karteikarten“ zugänglich.



Listenschaltfläche der Symbolleiste

Abschnitt		Gruppe, Rahmen	Elemente in einem Dialog, die inhaltlich zusammenhängen
Schaltfläche		Button	Der Klick auf eine Schaltfläche löst eine Aktion aus (z. B. Dialog öffnen, Änderung durchführen). Die Symbolleiste enthält auch <i>Listenschaltflächen</i> : Der Klick auf öffnet eine Liste mit ähnlichen Funktionen. Die zuletzt gewählte Schaltfläche wird oben eingestellt.
Eingabefeld		Textfeld, Eingabezeile	Feld für die Eingabe von Text oder Zahlenwerten
Drehfeld		Spinner, Spin Button	Zwei kleine Schaltflächen neben einer Eingabezeile. Zahlenwerte können schrittweise geändert werden.

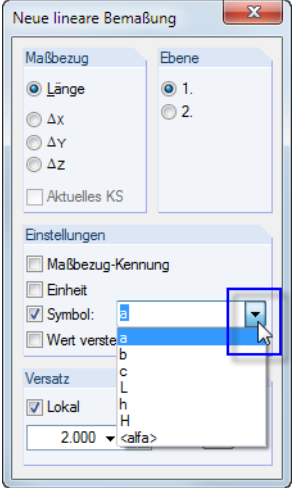
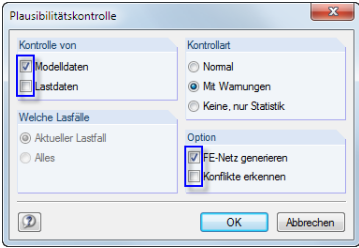
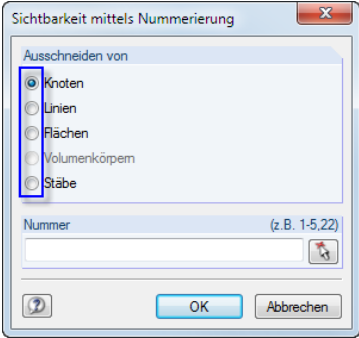
Liste		Listenfeld, Listbox, ComboBox, DropDown- Liste	Auswahlmöglichkeit für Eingabefelder Manchmal ist eine Ergänzung durch eigene Einträge möglich.
Kontrollfeld		Checkbox, Kontroll- kästchen	Ja- oder Nein- Entscheidung durch Setzen oder Entfernen des Hakens
Auswahlfeld		Radio Button	Entscheidung zwischen Alternativen, von denen nur eine Aussage zutreffen kann

Tabelle 3.1 Begriffe der Benutzeroberfläche

3.3

Spezielle Begriffe in RFEM

In diesem Kapitel werden RFEM-spezifische Begriffe vorgestellt. Sie sind in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben.

Begriff	Erläuterung
Knoten	Im 3D-Modell ist ein Knoten durch die Koordinaten (X/Y/Z) festgelegt. Über Knoten wird die Geometrie des Modells beschrieben.
Linie	Eine Linie verbindet Knoten. Neben geradlinigen Verbindungen sind auch höhergradige Linien wie z. B. Bögen oder Splines möglich.
Stab	Ein Stab stellt die Eigenschaft einer Linie dar. Über Material- und Querschnitseigenschaften wird dem Stab eine Steifigkeit zugewiesen. Ein Stab wird als 1D-Element behandelt.
Stabsatz	Stäbe lassen sich zu einem Stabsatz zusammenfassen. In einem Stabzug schließen die Stäbe wie bei einem Durchlaufträger fortlaufend an den Knoten an. In einer Stabgruppe aus zusammenhängenden Stäben können mehr als zwei Stäbe an den einzelnen Knoten anschließen.
Fläche	Eine Fläche ist durch Linien begrenzt. Über Material- und Dickeneigenschaften wird der Fläche eine Steifigkeit zugewiesen. Eine Fläche wird in 2D-Elemente zerlegt.
Volumenkörper	Ein Volumen wird durch Begrenzungsflächen (meist Typ <i>Null</i>) eingeschlossen. Es erhält durch die Materialeigenschaften eine Steifigkeit. Ein Volumen wird für die Berechnung in 3D-Elemente zerlegt.
Knotenlager	Die Freiheitsgrade des Knotens sind eingeschränkt.
Linienlager	Die Freiheitsgrade aller FE-Knoten auf einer Linie sind eingeschränkt.
Flächenlager	Die Freiheitsgrade aller FE-Knoten in einer Fläche sind eingeschränkt.
Knotenlast	Ein Knoten wird mit einer Kraft oder einem Moment belastet.
Linienlast	Eine Linie wird mit einer konstanten oder veränderlichen Streckenlast oder mit einer Einzellast belastet. Die Last wirkt als Kraft oder Moment.
Stablast	Ein Stab wird mit einer Strecken- oder Einzellast belastet. Der Lastverlauf kann konstant, linear veränderlich oder parabelförmig sein. Neben Kräften und Momenten sind Temperatureinwirkungen und Vorspannungen möglich.
Flächenlast	Eine Fläche wird gleichförmig oder linear veränderlich belastet. Neben Kräften können Temperaturlasten und Zwangsverformungen auf die Fläche wirken.

Volumenlast	Ein Volumenkörper wird durch Temperatureinwirkungen oder Zwangsverformungen belastet.
Lastfall <i>LF</i>	Die Lasten einer Einwirkung werden in einem Lastfall verwaltet, z. B. ‚Eigengewicht‘ oder ‚Wind‘. Die Belastungen sollten als charakteristische Lasten (d. h. ohne Faktor) definiert werden. Die Teilsicherheitsfaktoren können in den Last- oder Ergebniskombinationen berücksichtigt werden. Ein Lastfall wird in der Regel nach Theorie I. Ordnung berechnet.
Lastkombination <i>LK</i>	Eine Lastkombination überlagert Lastfälle, indem die Belastungen der enthaltenen Lastfälle zusammengefasst werden. Eine Lastkombination wird in der Regel nach Theorie II. oder III. Ordnung berechnet.
Ergebniskombination <i>EK</i>	In einer Ergebniskombination werden die Ergebnisse der enthaltenen Lastfälle überlagert. Es ist auch möglich, mit einer Oder-Kombination die extremen Schnittgrößen und Verformungen aus verschiedenen Lastfällen, Last- oder Ergebniskombinationen zu ermitteln. Das additive Überlagern nichtlinear berechneter Ergebnisse ist jedoch nicht korrekt.

Tabelle 3.2 RFEM-spezifische Begriffe

3.4

RFEM-Oberfläche

Dieses Kapitel beschreibt die einzelnen Bedienelemente von RFEM (siehe Bild 3.1 [☐](#)). Das Programm hält sich an die allgemeinen Standards für Windows-Anwendungen.

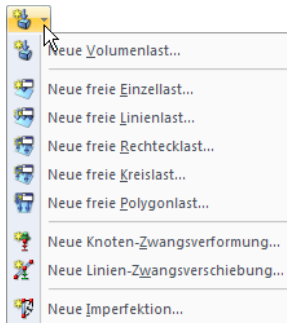
3.4.1 Menüleiste

Unterhalb der Titelleiste befindet sich die Menüleiste. Alle Funktionen von RFEM sind über diese Menüleiste zugänglich. Sie ist in logischen Blöcken strukturiert.

Ein Menü wird direkt durch Anklicken mit der Maus geöffnet. Alternativ kann die Tastatur benutzt werden, indem man die [Alt]-Taste in Verbindung mit dem unterstrichenen Buchstaben des Menütitels drückt. Das Menü klappt auf und die Menüeinträge sind zugänglich. Die Auswahl erfolgt wiederum entweder direkt mit der Maus oder durch Drücken des unterstrichenen Buchstabens. Die gewünschte Funktion kann auch mit den [↑]- und [↓]-Cursortasten angesteuert und dann mit der [↵]-Taste ausgelöst werden.

Ist ein Menü aufgeklappt, kann mit den [←]- und [→]-Tasten zwischen den Menüs bzw. in die Untereinträge gewechselt werden.


Bei einigen Menüeinträgen wird zusätzlich eine Tastenkombination angegeben: Die so genannten *Hot Keys* halten sich weitgehend an den Windows-Standard. Damit werden ebenfalls Funktionen direkt über die Tastatur ausgeführt (z. B. [Strg]+[S] speichert die Daten).



Listenschaltfläche der Symbolleiste

3.4.2 Symbolleisten

Unter der Menüleiste befinden sich die Symbolleisten mit einer Vielzahl von Schaltflächen. Über die einzelnen Schaltflächen (*Buttons*) sind die wichtigsten Funktionen direkt mit einem Mausklick zugänglich. Verweilt der Mauszeiger einen Augenblick über einer Schaltfläche, erscheint eine kurze Information zur Funktion dieser Schaltfläche (*Quick-Info, Tooltip*).

Einige Schaltflächen enthalten — wie ein Menü — Untereinträge: Diese so genannten *Listenschaltflächen* beinhalten thematisch verwandte Funktionen. Sie sind mit einem Klick auf  neben dem Symbol zugänglich. Die zuletzt gewählte Schaltfläche wird oben voreingestellt.

Die Position einer Symbolleiste kann geändert werden, indem man sie im vorderen Bereich mit der Maus „greift“ und an die gewünschte Stelle verschiebt.



Bild 3.2 Symbolleiste Ansicht im angedockten Zustand

Wird eine Symbolleiste auf die Arbeitsfläche gezogen, so verwandelt sie sich in eine „schwebende“ Symbolleiste und liegt über der Grafik.



Bild 3.3 Symbolleiste Ansicht schwebend

Eine schwebende Symbolleiste kann wieder am Fensterrand angedockt werden, indem man sie entweder mit der Maus dorthin verschiebt oder deren Titelzeile doppelklickt.

Der Menüpunkt **Ansicht** → **Symbolleisten anpassen** ruft einen Dialog auf, mit dem Inhalt und Aussehen der Symbolleisten verändert werden können. Das Vorgehen entspricht den in Windows üblichen Standards.

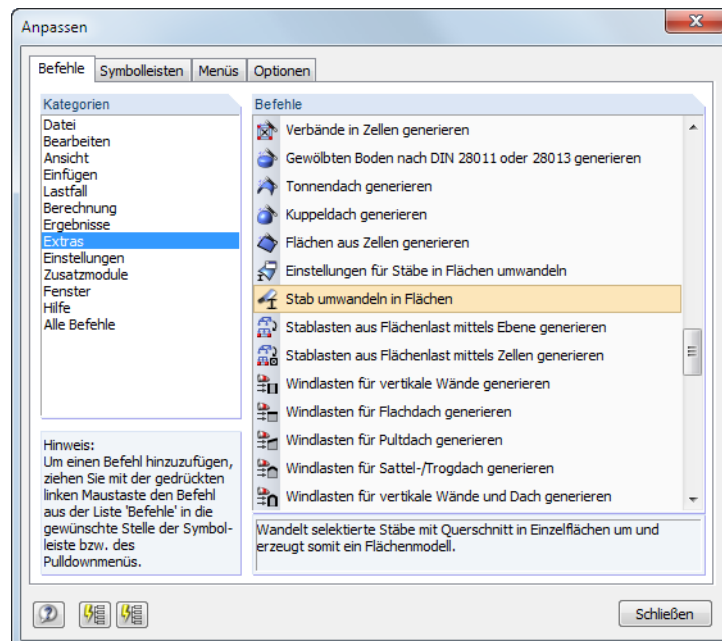
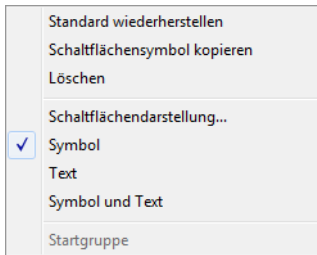


Bild 3.4 Dialog Anpassen, Register Befehle

Alle Befehle von RFEM sind nach *Kategorien* geordnet. Wird in der Liste ein Eintrag selektiert, erscheinen rechts die Schaltflächen aller zugehörigen *Befehle*. Die Funktion der markierten Schaltfläche wird im Abschnitt unterhalb erläutert. Jede Schaltfläche kann per Drag-and-drop an eine beliebige Stelle in der Werkzeugleiste geschoben werden. Es empfiehlt sich, diese zusätzlichen



Kontextmenü einer Schaltfläche bzw. eines Menüeintrags

Schaltflächen in eine neue Symbolleiste zu integrieren (siehe Bild 3.6), da die übrigen Symbolleisten bei einem Update möglicherweise auf die Standardeinträge gesetzt werden.

Um eine Schaltfläche aus der Symbolleiste zu entfernen, muss der Dialog *Anpassen* geöffnet sein. Die Schaltfläche kann dann von der Symbolleiste auf die Arbeitsfläche gezogen werden. Alternativ benutzen Sie das links dargestellte Kontextmenü der Schaltfläche zum *Löschen*.

Die Befehle können nicht nur in die Symbolleiste, sondern auch in die Menüs gezogen werden. Auf diese Weise lassen sich benutzerdefinierte Menüs erstellen. Wie bei den Symbolleisten können Menüeinträge gelöscht oder benutzerdefiniert angepasst werden.

Die Option *Schaltflächendarstellung* im Kontextmenü öffnet folgenden Dialog:

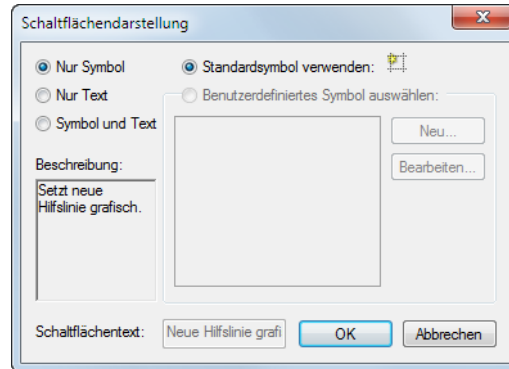


Bild 3.5 Dialog Schaltflächendarstellung

Hier lässt sich der Text der Schaltfläche bzw. Menüpunkts ändern. Ferner kann das Standardsymbol durch ein *Benutzerdefiniertes Symbol* ersetzt werden.



Im Register *Symbolleisten* sind alle verfügbaren Symbolleisten aufgelistet. Symbolleisten können ausgeblendet oder auch [Neu] erstellt werden.

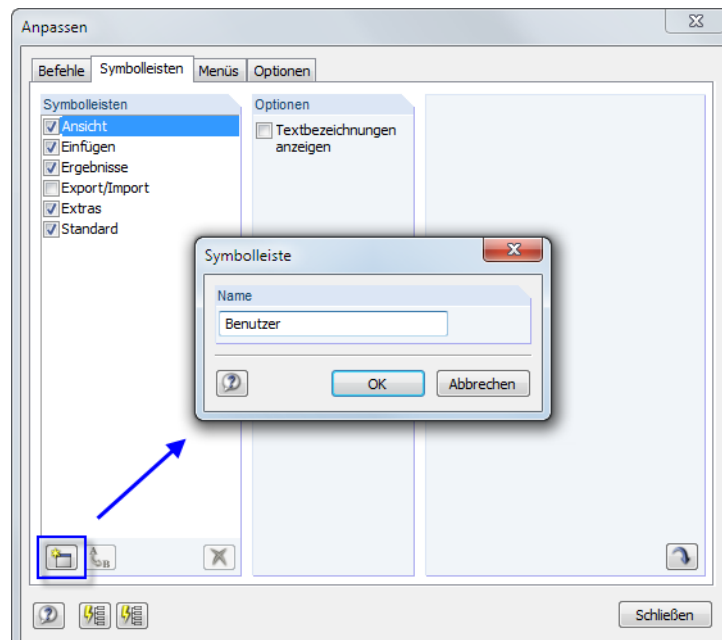


Bild 3.6 Anlegen einer neuen Symbolleiste

Im Dialog *Symbolleiste* ist der Name der neuen Symbolleiste anzugeben. Die neue Leiste wird nach [OK] schwebend angezeigt. Sie kann an die geeignete Stelle verschoben und mit Schaltflächen gefüllt werden. Dies erfolgt über das Register *Befehle* (siehe Bild 3.4).



Die Schaltfläche [Symbolleisten zurücksetzen] stellt den Grundzustand wieder her. Enthält die Liste eine benutzerdefinierte Symbolleiste, so wird sie entfernt. Die Standard-Symbolleisten von RFEM können nicht entfernt, sondern nur ausgeblendet werden.



Im Register *Menüs* können benutzerdefinierte Pull-downmenüs erstellt werden. Das Vorgehen entspricht dem zum Anlegen einer neuen Symbolleiste (siehe Bild 3.6 [2]).

Das letzte Register *Optionen* bietet die Möglichkeit, das Erscheinungsbild der RFEM-Oberfläche zu verändern. Folgende *Designs* stehen zur Auswahl:

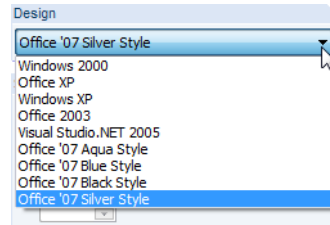


Bild 3.7 Verfügbare Oberflächen-Designs

Die neue Einstellung wird sofort wirksam.

3.4.3 Projekt-Navigator



Links im Arbeitsfenster wird ein Navigator angezeigt, der dem Windows-Explorer nachempfunden ist. Dieser *Projekt-Navigator* kann mit dem Menü **Ansicht** → **Navigator** oder mit der entsprechenden Schaltfläche ein- und ausgeblendet werden.



Bild 3.8 Schaltfläche Navigator in der Symbolleiste Standard

Der Navigator zeigt die Modelldaten der geöffneten Datei(en) als Baumstruktur an. Mit [+] können die Zweige des Baumes aufgeklappt werden, mit [-] werden sie wieder geschlossen. Die gleiche Wirkung hat ein Doppelklick auf einen Eintrag.

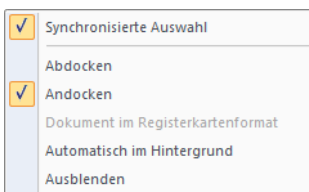
Der Navigator lässt sich wie eine Symbolleiste behandeln: Sie können ihn in der Titelleiste mit der Maus „anfassen“ und in die Arbeitsfläche schieben. Ein Doppelklick auf die Titelleiste oder das Verschieben an den Rand dockt ihn wieder am Fensterrand an. Während des Verschiebens werden die links dargestellten Schaltflächen angezeigt, die das Andocken an einem der vier Ränder erleichtern: Ziehen Sie den Navigator auf die gewünschte Schaltfläche und lösen die Maustaste, sobald sich der Mauszeiger über der Schaltfläche befindet.

Falls der Navigator nicht am Rand andocken soll, kann das mit dem entsprechenden Befehl im Kontextmenü des Navigators unterbunden werden.

Ist die *Synchronisierte Auswahl* aktiv, so wird ein Objekt, das im Navigator markiert ist, auch in der Modellgrafik farblich hervorgehoben.

Die Kontextmenü-Option *Automatisch im Hintergrund* ermöglicht es, einen gedockten Navigator zu minimieren: Sobald das Arbeitsfenster mit einem Mausklick aktiviert wird, schiebt sich der Navigator als schmale Leiste an den Rand (siehe Bild 3.9 [2]). Diese Funktion ist auch über den Pin rechts oben im Navigator wählbar (siehe Bild 3.10 [2]).

Der Navigator öffnet sich wieder in voller Größe, wenn der Mauszeiger über das Feld *Projekt-Navigator* in der gedockten Leiste bewegt wird.



Navigator-Kontextmenü

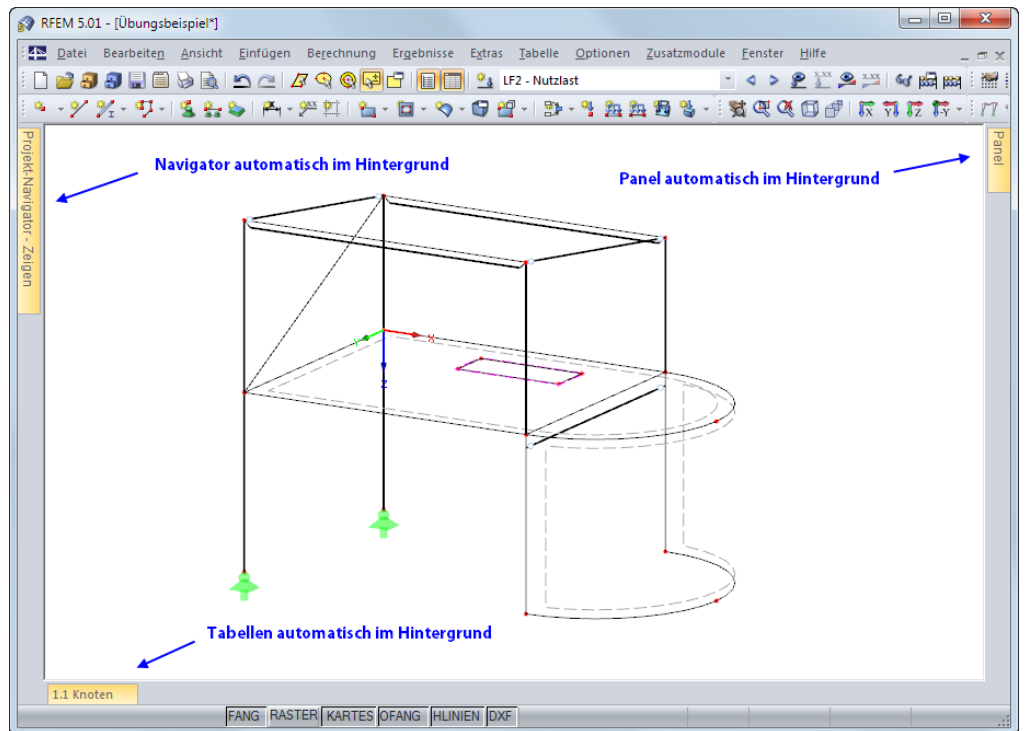


Bild 3.9 Navigator, Tabellen und Panel automatisch im Hintergrund

Am unteren Ende des Navigators befinden sich drei (bzw. nach der Berechnung vier) Registerreiter. Sie ermöglichen den Wechsel zwischen den *Daten*-, *Zeigen*-, *Ansichten*- und *Ergebnisse*-Navigatoren.

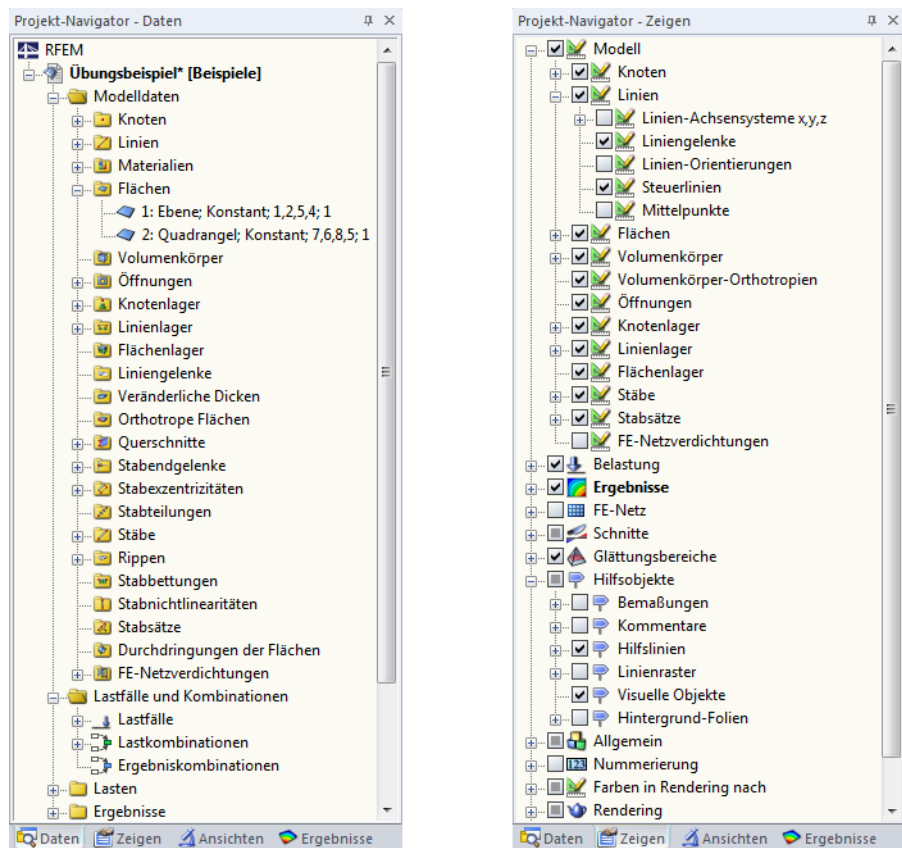


Bild 3.10 Register Daten und Zeigen des Projekt-Navigators



Daten-Navigator

Dieser Navigator verwaltet die Modell- und Lastdaten sowie die berechneten Ergebnisse. Der Doppelklick auf einen Eintrag (ein „Blatt“ des Baumes) ruft einen Dialog auf, mit dem das gewählte Objekt geändert werden kann. Wird ein Eintrag mit der rechten Maustaste angeklickt, erscheint ein Kontextmenü mit nützlichen Funktionen zum Anlegen oder Ändern des Objekts.

Fehlerhaft definierte Objekte erscheinen in roter, unbenutzte Objekte in blauer Schrift.



Zeigen-Navigator

Der Darstellungsnavigator steuert die grafische Anzeige im Arbeitsfenster. Wird der Haken im Kontrollfeld vor einem Eintrag entfernt, so wird dieses Objekt in der Grafik ausgeblendet.

Über das links dargestellte Kontextmenü dieses Navigators können die benutzerdefinierten Einstellungen gespeichert und eingelesen oder als Standard für neue Modelle verwendet werden.

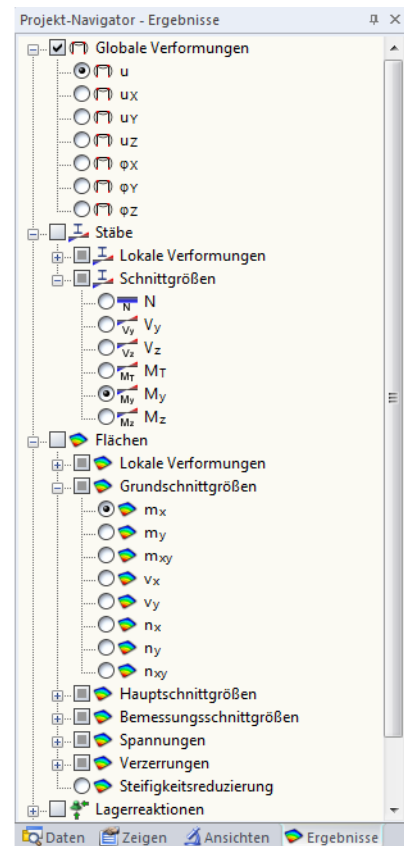
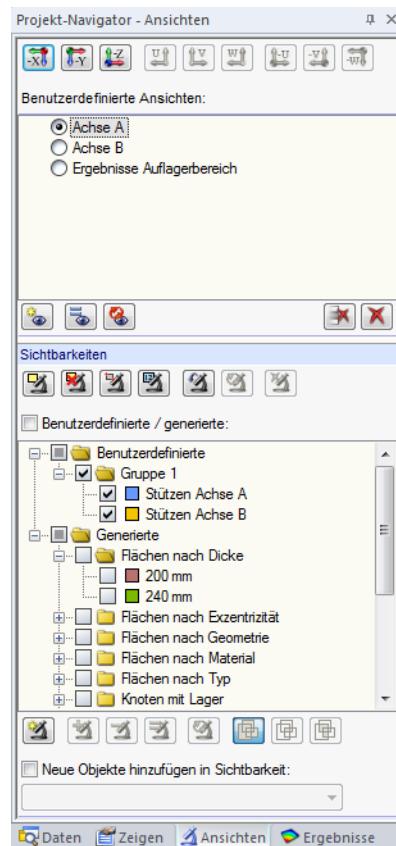
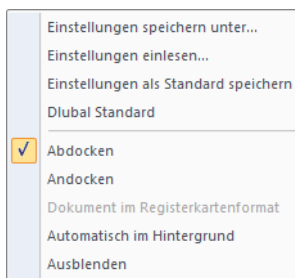
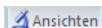


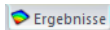
Bild 3.11 Register Ansichten und Ergebnisse des Projekt-Navigators

Ansichten-Navigator



Dieser Navigator verwaltet die benutzerdefinierten Ansichten sowie die benutzerdefinierten und automatisch angelegten Sichtbarkeiten von Objekten (Ausschnitte, Gruppierungen). Über die Schaltflächen lassen sich benutzerdefinierte Ansichten anlegen, Sichtbarkeiten einstellen, Objekte in benutzerdefinierte Sichtbarkeiten integrieren etc.

Die Arbeit mit Ansichten und Sichtbarkeiten ist im [Kapitel 9.9.1](#) erläutert.



Ergebnisse-Navigator

Mit diesem Navigator wird gesteuert, welche Ergebnisse in der Grafik angezeigt werden. Die Einträge sind davon abhängig, ob RFEM-Ergebnisse oder die eines Zusatzmoduls angezeigt werden.

3.4.4 Tabellen

Am unteren Rand des RFEM-Fensters befinden sich die Tabellen. Sie lassen sich über das Menü **Tabelle** → **Anzeigen** oder mit der entsprechenden Schaltfläche ein- und ausblenden.

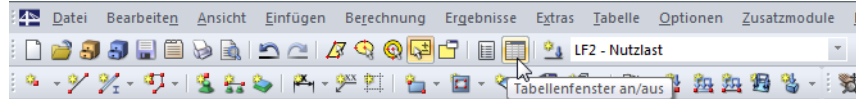


Bild 3.12 Schaltfläche Tabellenfenster ein/aus in der Symbolleiste Standard

Es gibt vier Gruppen von Tabellen. Zwischen diesen Gruppen kann man mit den ersten vier Schaltflächen in der Tabellen-Symbolleiste oder über das Menü **Tabelle** → **Gehe zu** wechseln.



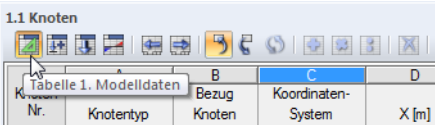
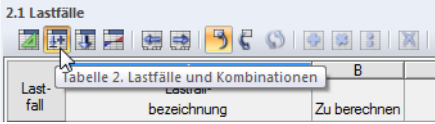
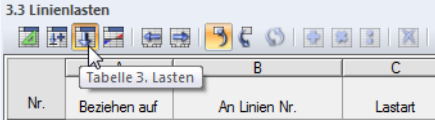
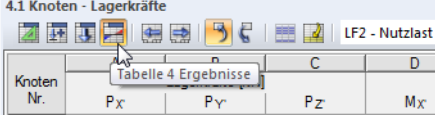
 <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Modelldaten</p>	Tabellen für Modelldaten
 <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Lastfälle und Kombinationen</p>	Tabellen für Lastfälle und Kombinationen
 <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Lasten</p>	Tabellen für Lasten
 <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Ergebnisse</p>	Tabellen für Ergebnisse

Tabelle 3.3 Schaltflächen zum Ansteuern der Tabellengruppen

In den Tabellen sind alle Modell- und Belastungsdaten in numerischer Form verwaltet. Für eine rationelle Eingabe stehen mehrere Funktionen zur Verfügung (siehe [Kapitel 11.5](#)).

Die Tabellen spiegeln die interne Datenstruktur von RFEM wider. Durch eine Überprüfung von Tabelle zu Tabelle ist sichergestellt, dass alle Daten erfasst werden. Auch die Beschreibung der Ein- und Ausgabe in den Handbuch-Kapiteln [4](#), [5](#), [6](#) und [8](#) basiert auf der Struktur der Tabellen.



Die Tabellen können wie eine Symbolleiste behandelt werden: Sie können in ihrer Titelleiste mit der Maus „angefasst“ und in die Arbeitsfläche geschoben werden. Ein Doppelklick auf die Titelleiste oder das Verschieben an den Rand bzw. auf eine der links gezeigten Schaltflächen dockt sie wieder an.

Bei gedockten Tabellen können diese über die Kontextmenü-Option *Automatisch im Hintergrund* minimiert werden, sobald das Arbeitsfenster mit der Maus aktiviert wird (siehe [Bild 3.9](#)). Diese Funktion ist auch über den Pin rechts oben in der Tabellenleiste wählbar. Die Tabellen öffnen sich wieder in voller Größe, wenn der Mauszeiger über die gedockte Leiste bewegt wird.

Wird in der Tabelle eine Zeile per Mausklick markiert, so wird dieses Objekt in der Grafik farblich hervorgehoben. Selektiert man umgekehrt im Arbeitsfenster ein Objekt, so wird auch in der Tabelle die entsprechende Zeile eingeblendet und andersfarbig dargestellt. Diese so genannte „Synchronisation der Selektion“ wird über das Menü **Tabelle** → **Einstellungen** oder mit den beiden links gezeigten Schaltflächen geregelt (siehe [Kapitel 11.5.4](#)).

3.4.5 Statusleiste

Die Statusleiste bildet den unteren Abschluss des RFEM-Fensters. Sie kann mit dem Menübefehl **Ansicht** → **Statusleiste** ein- und ausgeblendet werden.

Die Statusleiste ist in drei Bereiche gegliedert.

Linker Bereich

Linienlast Nr. 1 an Linie Nr. 7

Bild 3.13 Linker Bereich der Statusleiste

Der angezeigte Text variiert je nach aktiver Programmfunktion. Befindet sich der Mauszeiger im Arbeitsfenster, erscheinen Informationen zum Objekt, über dem sich der Zeiger gerade befindet.

Als Einsteiger sollten Sie diesen Teil der Statuszeile im Auge behalten: Hier werden nützliche Hinweise und Erläuterungen zu den Symbolleisten-Schaltflächen und Dialogen angeboten.

Mittlerer Bereich

FANG RASTER KARTES OFANG HLINIEN DXF

Bild 3.14 Mittlerer Bereich der Statusleiste

Dieser Bereich hat eine ähnliche Funktionalität wie eine Symbolleiste. Damit lässt sich die Anzeige im Arbeitsfenster beeinflussen.

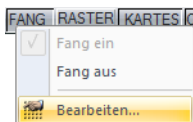
FANG

Die Schaltfläche aktiviert oder deaktiviert die Fangfunktion des Rasters. Über das Kontextmenü ist der Dialog zum Einstellen der Rasterparameter zugänglich (siehe [Kapitel 11.3.2](#)).

RASTER

Ein Klick auf die Schaltfläche blendet das Raster ein oder aus. Über die Option *Bearbeiten* im Kontextmenü wird der im [Bild 11.34](#) dargestellte Dialog aufgerufen.

Zusätzlich bietet das Kontextmenü die Möglichkeit, die Rasterabstände schrittweise zu vergrößern oder zu verkleinern.





ORTHO / KARTES / POLAR

Mit dieser Schaltfläche kann zwischen orthogonalem, kartesischem und polarem Raster umgeschaltet werden. Über das Kontextmenü ist der im [Bild 11.34](#) dargestellte Dialog zugänglich. Zudem lassen sich die Rasterabstände schrittweise vergrößern und verkleinern.

OFANG

Diese Schaltfläche aktiviert oder deaktiviert den Objektfang (siehe [Kapitel 11.3.3](#)).

HLINIEN

Die Schaltfläche steuert die Anzeige der Hilfslinien (siehe [Kapitel 11.3.7](#)).

DXF

Die Schaltfläche steuert die Anzeige der Hintergrundfolien (siehe [Kapitel 11.3.10](#)).

Rechter Bereich



Bild 3.15 Rechter Bereich der Statusleiste

Der rechte Bereich der Statuszeile zeigt folgende Informationen zur grafischen Eingabe an:

- Sichtbarkeitsmodus (falls aktiv)
- Koordinatensystem KS
- Arbeitsebene
- Koordinaten der aktuellen Mauszeigerposition

3.4.6 Steuerpanel

Sobald Schnittgrößen oder Verformungen grafisch angezeigt werden, erscheint das **Panel** im Arbeitsfenster. Es bietet verschiedene Anzeige- und Steuerungsmöglichkeiten. Das Panel lässt sich über das Menü **Ansicht** → **Steuerpanel** oder mit der entsprechenden Schaltfläche ein- und ausblenden.

Das Panel kann wie eine Symbolleiste behandelt werden: Es kann in seiner Titelleiste mit der Maus „angefasst“ und in die Arbeitsfläche geschoben werden. Ein Doppelklick auf die Titelleiste oder das Verschieben an den Rand bzw. auf eine der links gezeigten Schaltflächen dockt es wieder an.

Bei gedocktem Panel kann dieses über die Kontextmenü-Option *Automatisch im Hintergrund* minimiert werden, sobald das Arbeitsfenster mit der Maus aktiviert wird (siehe [Bild 3.9](#)). Diese Funktion ist auch über den Pin rechts oben im Panel wählbar. Das Panel öffnet sich wieder in voller Größe, wenn der Mauszeiger über die gedockte Leiste bewegt wird.

Das Steuerpanel besteht aus den Registern *Farbskala*, *Faktoren*, *Filter* und ggf. *Dicken*.



Farbskala

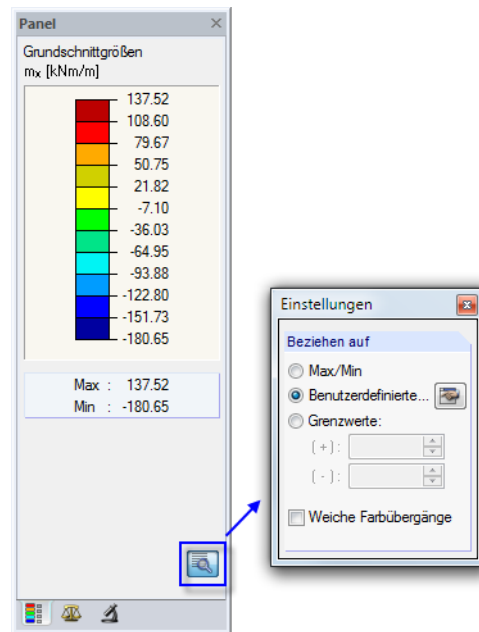


Bild 3.16 Steuerpanel, Register Farbskala mit aktivem Dialog *Einstellungen*

Bei einer mehrfarbigen Ergebnisdarstellung zeigt das erste Register die Farbskala mit den zugeordneten Wertebereichen an. Standard ist eine elfstufige Farbskala, die den Bereich zwischen den Extremwerten in gleichen Intervallen abdeckt.

Die Farbskala lässt sich per Doppelklick auf eine der Farben anpassen. Alternativ wird die Schaltfläche [Einstellungen] im Panel benutzt. Im folgenden *Einstellungen*-Dialog (Bild 3.16) kann über die Schaltfläche [Bearbeiten] der Dialog zum Ändern der Farb- und Wertebereiche aufgerufen werden.

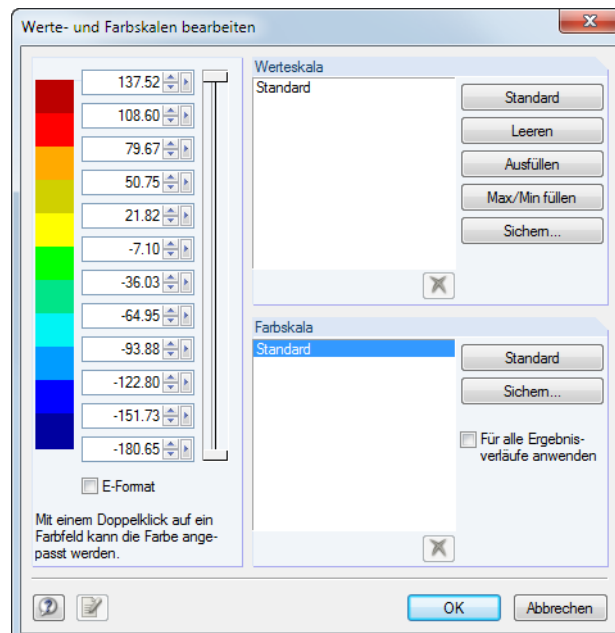


Bild 3.17 Dialog *Werte- und Farbskalen bearbeiten*

Die beiden vertikalen Schieberegler rechts neben den Werten ermöglichen es, die Anzahl der Farbbereiche von beiden Seiten aus zu reduzieren.

Die Farben lassen sich durch Doppelklicken eines Farbfeldes einzeln ändern.

Die Werte der Skala können manuell angepasst werden. Dabei ist jedoch eine konsequent auf- bzw. absteigende Reihenfolge zu beachten. Die Schaltflächen im Abschnitt *Werteskala* rechts unterstützen die Wertezuweisung. Sie bedeuten im Einzelnen:

Schaltfläche	Funktion
Standard	Die Standardeinstellung der elf Farbbereiche wird hergestellt.
Leeren	Alle Werte in den Eingabefeldern werden gelöscht.
Ausfüllen	Die Werte werden — abhängig von der Anzahl der Farbbereiche — äquidistant zwischen Maximum und Minimum interpoliert.
Max/Min füllen	Bei einer reduzierten Farbskala werden die Zwischenwerte auf die absoluten bzw. manuell angegebenen Extremwerte bezogen errechnet.
Sichern	Die Werteskala wird modellübergreifend gespeichert.

Tabelle 3.4 Schaltflächen im Abschnitt *Werteskala*

Sichern...

Das Kontrollfeld *Für alle Ergebnisverläufe anwenden* steuert, ob die aktuelle Farbskala für die Ergebnisdarstellung sämtlicher Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen benutzt wird. Die Werteskala bleibt davon unberührt, da eine globale Zuweisung für Verformungen, Kräfte, Momente und Spannungen problematisch ist. Die geänderte Farbskala ist zunächst als benutzerdefinierte Skala zu [Sichern].



Ist die Schaltfläche [Einstellungen] aktiv wie im [Bild 3.16](#) dargestellt, stehen im Dialog *Einstellungen* weitere Optionen zur Auswahl.

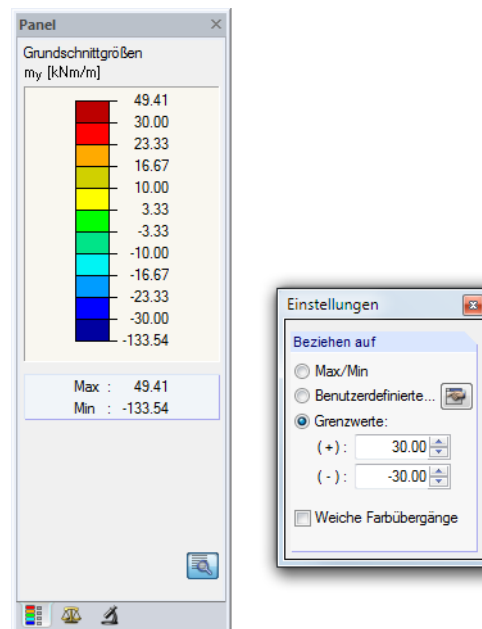


Bild 3.18 Dialog *Einstellungen*, Option *Grenzwerte +/-*

Der Bezug auf *Grenzwerte* ermöglicht die genaue Auswertung innerhalb eines definierten Bereichs. Über- und Unterschreitungen werden jeweils durch eine Farbe abgedeckt. Mit den Vorgaben gemäß [Bild 3.18](#) werden die Momente m_y im Bereich von ± 30 kNm/m fein abgestuft dargestellt. Die Werte außerhalb dieses Bereichs erscheinen rot bzw. blau.

Wird im *Einstellungen*-Dialog das Kontrollfeld *Weiche Farbübergänge* aktiviert, verschwinden die klaren Bereichsgrenzen. Diese Möglichkeit eines kontinuierlichen Farbspektrums ist unabhängig davon, welche der drei Bezugsoptionen für die Ergebniswerte gewählt wird.

Faktoren

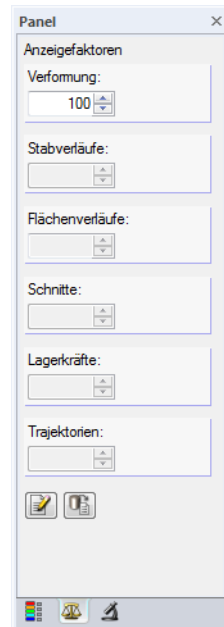


Bild 3.19 Steuerpanel, Register *Faktoren*

Das zweite Register steuert die Überhöhungsfaktoren für die grafische Darstellung. Es sind Eingabefelder vorgesehen zur Skalierung der *Verformung*, *Stab-* und *Flächenverläufe*, *Schnitte*, *Lagerkräfte* und *Trajektorien*, die je nach aktueller Ergebnisgrafik zugänglich sind.

Filter

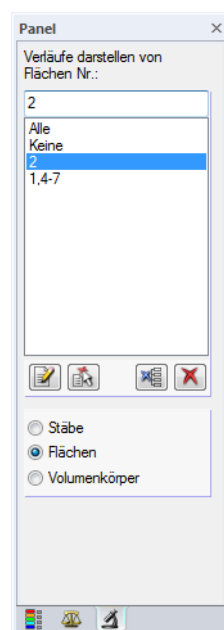


Bild 3.20 Steuerpanel, Register *Filter*

Über das Register *Farbskala* lassen sich Ergebniswerte im Allgemeinen filtern. Das Register *Filter*



hingegen steuert die Ergebnisanzeige in Hinblick auf ausgewählte Flächen, Stäbe oder Volumenkörper.

Das Auswahlfeld unterhalb der Schaltflächen gibt vor, welche der drei Objektkategorien für die Ergebnisverläufe infrage kommt. Die Nummern der relevanten Stäbe, Flächen oder Volumen sind oben im Eingabefeld *Verläufe darstellen von* einzutragen. Mit einem Klick auf [Anwenden] wird der Filter in der Grafik umgesetzt.



Die Nummern der Objekte lassen sich auch aus der Grafik übernehmen: Selektieren Sie zunächst die Stäbe, Flächen bzw. Volumen (Mehrfachselektion mit Fenster oder gedrückter [Strg]-Taste) und betätigen dann die Schaltfläche [Von der Selektion übernehmen].



Die Filtereinstellungen des Panels wirken sich auch auf die Objekte in den Ergebnistabellen aus: Wenn Sie im Panel z. B. die Ergebnisanzeige auf zwei Stäbe beschränken, so werden in der Tabelle 4.6 *Stäbe - Schnittgrößen* auch nur die Ergebnisse dieser beiden Stäbe aufgelistet.

3.4.7 Standardschaltflächen

Schaltflächen werden in vielen Dialogen benutzt. Wird der Mauszeiger über eine Schaltfläche geführt, erscheint nach einem Moment die Kurzinformation zur Funktion.

Folgende Übersicht erläutert häufig verwendete Standardschaltflächen.

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Neu	Öffnen eines Dialogs zur Definition eines Objekts
	Bearbeiten	Öffnen eines Dialogs zum Ändern eines Objekts
	Löschen	Entfernen eines Objekts oder Eintrags
	Auswählen	Grafische Auswahlmöglichkeit
	Übernehmen	Übernahme aus der aktuellen Selektion
	Bibliothek	Öffnen einer Sammlung hinterlegter Werte
	Hilfe	Aufrufen der Hilfe-Funktion
	Anwenden	Ausführen von Änderungen ohne Dialog zu beenden
	Einstellen	Öffnen eines Dialogs für detaillierte Einstellungen
	Kommentare	Zugriffsmöglichkeit auf vorgefertigte Textbausteine → Kapitel 11.1.4
	Einheiten und Dezimalstellen	Einstellmöglichkeit für Einheiten und Dezimalstellen → Kapitel 11.1.3
	Standard	Wiederherstellen der Dialog-Standard-einstellungen








	Als Standard setzen	Speichern der aktuellen Einstellungen als Standard
	Schriftart	Einstellmöglichkeit für Schriftarten und -größen
	Farben	Einstellmöglichkeit für Farben
	Info	Anzeigen von Informationen zu einem Objekt
	Auswahl übergeben	Übertragen selektierter Einträge in eine andere Liste
	Alles übergeben	Übertragen sämtlicher Einträge in eine andere Liste
	Sichern	Abspeichern einer benutzerdefinierten Eingabe
	Einlesen	Importieren einer gespeicherten Eingabe
	Auswählen	Auswahlmöglichkeit für bestimmte bzw. alle Objekte
	Deselektieren	Löschen bzw. Deselektieren aller Einträge

Tabelle 3.5 Standardschaltflächen

3.4.8 Tastaturfunktionen

In den Tabellen und der grafischen Benutzeroberfläche sind häufig benötigte Funktionen auch über die Tastatur zugänglich.

[F1]	Hilfe
[F2]	Nächste Tabelle
[F3]	Vorherige Tabelle
[F4]	Plausibilitätskontrolle der aktuellen Tabelle
[F5]	Plausibilitätskontrolle aller Tabellen
[F7]	Auswahlfunktion in Tabellen
[F8]	Kopieren der Zelle oberhalb bzw. Anzeigen des Gesamtmodells fensterfüllend
[F9]	Taschenrechner
[F10]	Menüleiste

[F12]	Speichern des Modells unter neuem Namen
[Alt]	Menüleiste
[Strg]+[2]	Kopieren einer Tabellenzeile in die nächste Zeile
[Strg]+[A]	Wiederherstellen (<i>Redo</i>)
[Strg]+[C]	Kopieren in Zwischenablage
[Strg]+[E]	Exportieren der Daten
[Strg]+[F]	Suchen in der Tabelle
[Strg]+[G]	Generieren in der Tabelle
[Strg]+[H]	Ersetzen in der Tabelle
[Strg]+[I]	Einfügen einer Zeile in der Tabelle bzw. Importieren von Daten
[Strg]+[L]	Springen zu einer bestimmten Zeilennummer in der Tabelle
[Strg]+[N]	Anlegen eines neuen Modells
[Strg]+[O]	Öffnen eines vorhandenen Modells
[Strg]+[P]	Drucken der Grafik
[Strg]+[R]	Löschen von Zeilen in der Tabelle
[Strg]+[S]	Speichern der Daten
[Strg]+[U]	Deselektieren in der Tabelle
[Strg]+[V]	Einfügen aus der Zwischenablage
[Strg]+[X]	Ausschneiden in der Tabelle
[Strg]+[Y]	Leeren der aktuellen Tabellenzeile
[Strg]+[Z]	Rückgängig (<i>Undo</i>)
[+] [-] NumPad	Zoomen

Tabelle 3.6 Tastaturfunktionen



Die [Enter]-Taste ruft die zuletzt benutzte Funktion auf — sofern kein Dialog aktiv ist. Dies erleichtert z. B. das erneute Setzen von Modell- oder Lastobjekten im Arbeitsfenster.

3.4.9 Mausfunktionen

Die Mausfunktionen entsprechen den in Windows üblichen Standards: Das einfache Anklicken mit der **linken** Maustaste selektiert ein Objekt zur weiteren Bearbeitung. Ein Doppelklick ruft den Bearbeitungsdialog des Objekts auf. Diese Funktionen sind nicht nur für die Objekte des Arbeitsfensters, sondern auch für die Einträge im *Daten-Navigator* anwendbar.

Modell- und Lastobjekte lassen sich im Arbeitsfenster durch Drag-and-drop verschieben bzw. mit gedrückter [Strg]-Taste kopieren. Die Drag-and-drop-Funktion kann im allgemeinen Kontextmenü (siehe Bild 11.53 [☞](#)) ein- und ausgeschaltet werden.

Wird ein Objekt mit der **rechten** Maustaste angeklickt, so erscheint dessen Kontextmenü mit objektbezogenen Befehlen und Funktionen.

Kontextmenüs stehen in der Grafik, den Tabellen und im Navigator zur Verfügung.

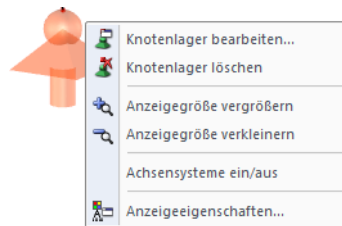


Bild 3.21 Knotenlager-Kontextmenü in der Grafik



Durch Drehen des **Scrollrades** lässt sich die aktuelle Darstellung vergrößern bzw. verkleinern. Als Zentrum des Zoombereichs wird stets die Position des Mauszeigers angenommen.



Mit gedrücktem Scrollrad kann das Modell direkt verschoben werden, d. h. ohne vorher die Schaltfläche [Ansicht verschieben] zu aktivieren. Wird dabei zusätzlich die [Strg]-Taste gedrückt, kann das Modell gedreht werden. Das Rotieren des Modells ist auch mit dem Scrollrad und gedrückter rechter Maustaste möglich. Die am Mauszeiger angezeigten Symbole verdeutlichen stets die gewählte Funktion.

Um die Ansicht um einen bestimmten Knoten zu drehen, ist dieser Knoten zunächst zu selektieren. Wird nun die [Alt]-Taste gedrückt, lässt sich das Modell mit der gedrückten Scrolltaste um den gewählten Knoten bewegen.



Die Möglichkeiten einer 3D-Maus können für die Arbeit in der grafischen Oberfläche von RFEM genutzt werden.



In diesem Zusammenhang erweist sich auch eine Funktion als nützlich, mit der ausgewählte Objekte schnell in vergrößerter Ansicht dargestellt werden können: Die Objekte sind zunächst im Arbeitsfenster zu selektieren. Wird nun eine der links dargestellten Schaltflächen in der Symbolleiste *Ansicht* bei gedrückter Umschalttaste [⇧] angeklickt, so zeigt das Arbeitsfenster eine Ausschnittsvergrößerung des Objekts in die gewählte Ansichtsrichtung.

3.4.10 Konfigurationsmanager



Alle Einstellungen für Anzeigeeigenschaften, Schriftarten, Symbolleisten, Druckköpfe etc. sind über den so genannten Konfigurationsmanager zugänglich. Diese Funktion wird über das Menü **Optionen** → **Konfigurationsmanager** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste aufgerufen.

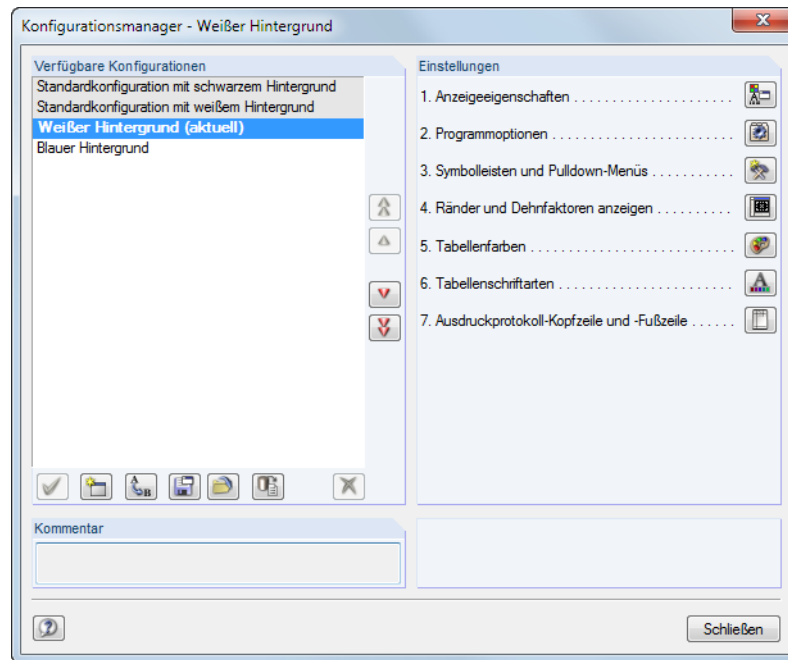


Bild 3.22 Dialog Konfigurationsmanager

Verfügbare Konfigurationen

In diesem Abschnitt sind alle Konfigurationen aufgelistet, die bei der Installation angelegt oder benutzerdefiniert erzeugt wurden. Die im Programm benutzte Einstellung ist in Fettschrift hervorgehoben und als *aktuell* gekennzeichnet.

Die Konfiguration *Standard* ist voreingestellt; sie lässt sich nicht löschen.

Die Schaltflächen in diesem Abschnitt sind mit folgenden Funktionen belegt:








Schaltfläche	Funktion
	Stellt den oben selektierten Eintrag als neue <i>aktuelle</i> Konfiguration ein
	Erzeugt aus den aktuellen Einstellungen eine neue Konfiguration (→ Bild 3.23)
	Benennt die selektierte Konfiguration um
	Exportiert die selektierte Konfiguration in eine Datei
	Liest eine Konfiguration aus einer Datei ein
	Stellt die Standardwerte wieder her
	Löscht die selektierte Konfiguration (nicht möglich für <i>Standard</i> und <i>aktuell</i>)

Tabelle 3.7 Schaltflächen für Verfügbare Konfigurationen



Über die Schaltfläche [Neu] lassen sich die aktuellen Einstellungen als neue Konfiguration speichern. Es öffnet sich ein Dialog, in dem eine *Bezeichnung* anzugeben ist. Ein fakultativer *Kommentar* erleichtert die Auswahl unter mehreren benutzerdefinierten Konfigurationen.

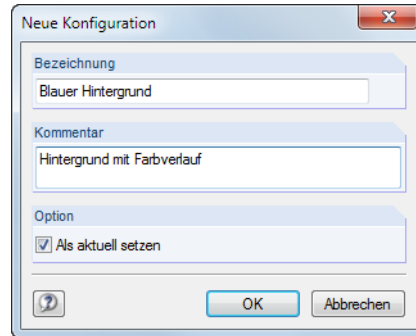


Bild 3.23 Dialog Neue Konfiguration

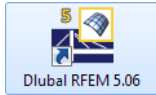
Einstellungen

Die Schaltflächen im Abschnitt *Einstellungen* ermöglichen den Zugang zu verschiedenen Dialogen mit Konfigurationsparametern. Sie sind in der folgenden Tabelle beschrieben.

Schaltfläche	Beschreibung	Funktion
	Anzeigeeigenschaften	Ruft den Dialog <i>Anzeigeeigenschaften</i> auf → Kapitel 11.1.2
	Programmoptionen	Ruft den mehrteiligen Dialog <i>Programmoptionen</i> auf → Kapitel 7.3.3 → Kapitel 9.10 → Kapitel 11.1.1 → Kapitel 11.1.4
	Symboleisten und Menüs	Ruft den Dialog <i>Anpassen</i> auf → Kapitel 3.4.2
	Ränder und Streckfaktoren	Ruft den Dialog <i>Ränder und Streckfaktoren</i> auf → Kapitel 11.3.11
	Tabellenfarben	Ruft den Dialog <i>Farben</i> für die Tabellenfarben auf → Kapitel 11.5.4
	Tabellenschriftarten	Ruft den Dialog <i>Schriftart</i> für die Tabellenschriften auf → Kapitel 11.5.4
	Ausdruckprotokoll-Kopf- und Fußzeile	Ruft den Dialog <i>Protokollkopf</i> auf → Kapitel 10.1.4

Tabelle 3.8 Funktion der Schaltflächen im Abschnitt *Einstellungen*

4 Modelldaten



RFEM starten

Das Programm wird über das Windows-Startmenü oder das Dlubal-Icon auf dem Desktop gestartet.

Zur Dateneingabe muss ein Modell angelegt oder geöffnet werden (siehe [Kapitel 12.2](#)).

RFEM bietet verschiedene Möglichkeiten der Dateneingabe an: Die Objekte können in einem **Dialog**, einer **Tabelle** und oft auch direkt **grafisch** definiert werden. Alle Eingaben wirken interaktiv, d. h. die grafische Eingabe spiegelt sich sofort in der Tabelle wider und umgekehrt.

Für die ersten Schritte mit RFEM ist das [Einführungsbeispiel](#) hilfreich, das Sie im Downloadbereich unserer Website finden.

Eingabedialog aufrufen

Die Eingabedialoge und die grafische Eingabe sind auf verschiedene Arten zugänglich.

Menü Einfügen

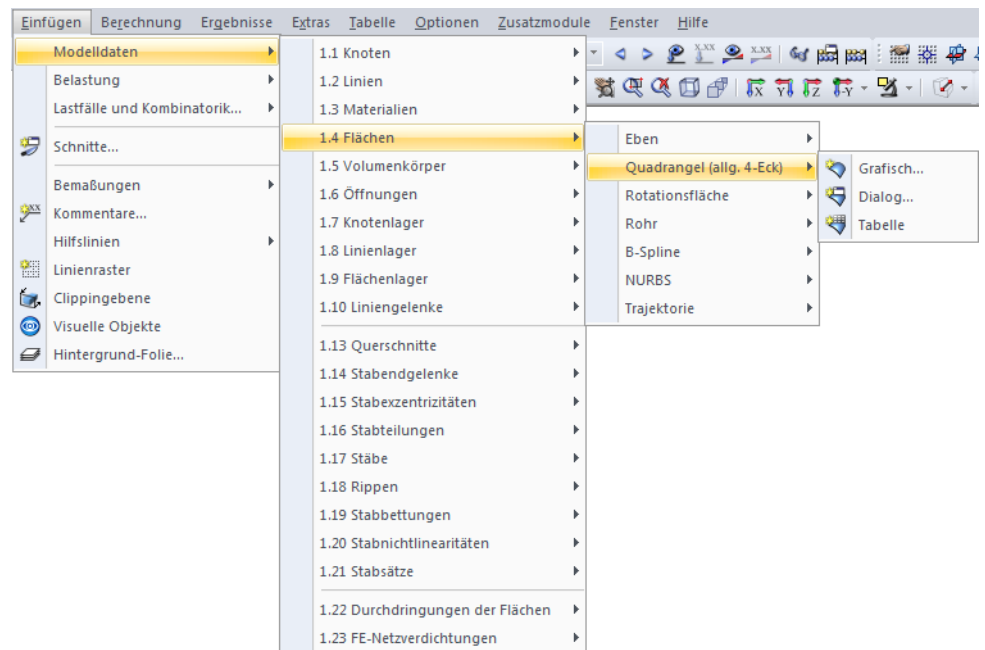


Bild 4.1 Menü Einfügen → Modelldaten

Symbolleiste Einfügen



Bild 4.2 Symbolleiste Einfügen

Kontextmenü im Daten-Navigator

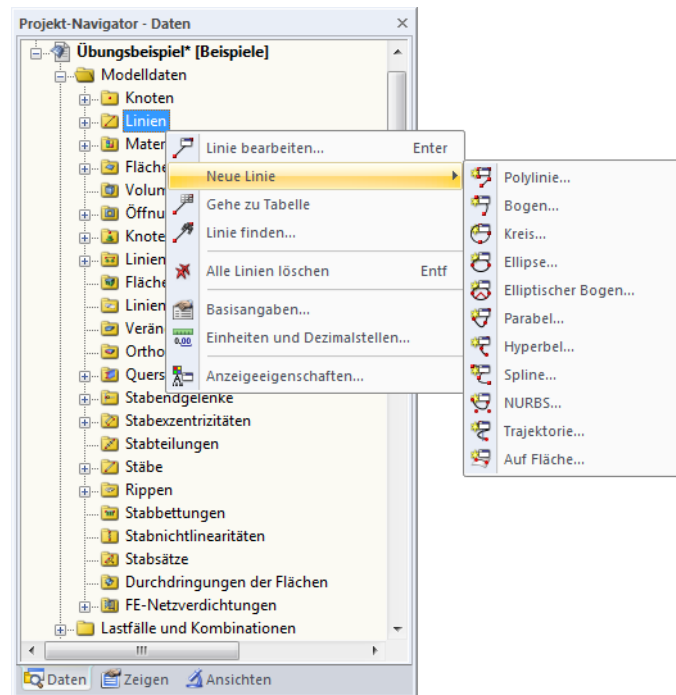


Bild 4.3 Kontextmenü der Modelldatenobjekte im Daten-Navigator

Kontextmenü oder Doppelklicken in Tabelle

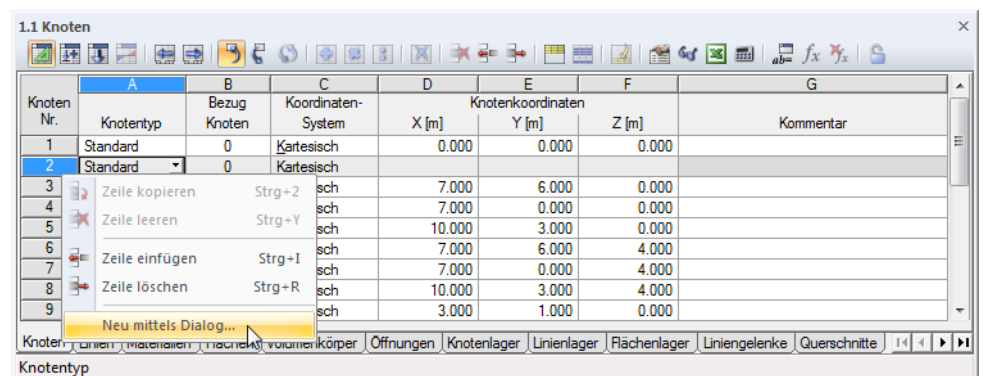


Bild 4.4 Kontextmenü in Modelldaten-Tabellen

Der Eingabedialog ist über das Kontextmenü (oder durch Doppelklicken) der Zeilennummer aufrufbar.

Bearbeitungsdialog aufrufen

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, den Dialog zum Bearbeiten eines Modellobjekts aufzurufen.

Menü Bearbeiten

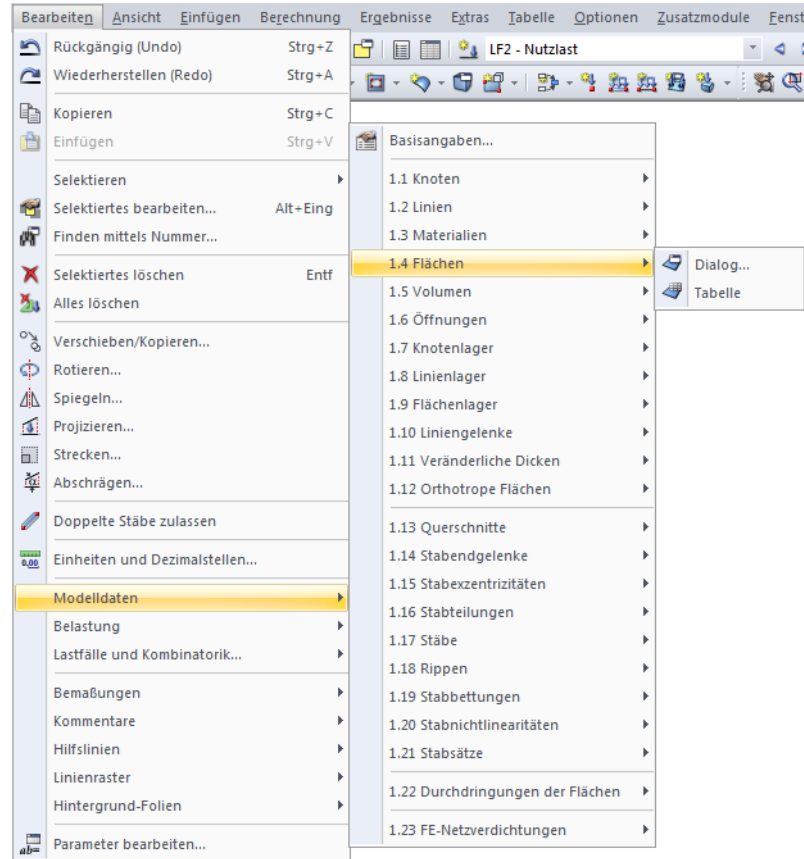


Bild 4.5 Menü **Bearbeiten** → **Modelldaten**

Kontextmenü oder Doppelklicken in Grafik

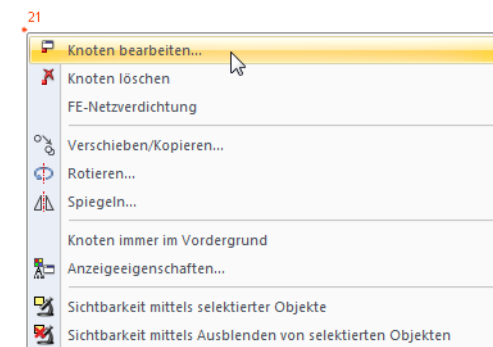


Bild 4.6 Kontextmenü eines Knotens im Arbeitsfenster

Kontextmenü oder Doppelklicken im Daten-Navigator

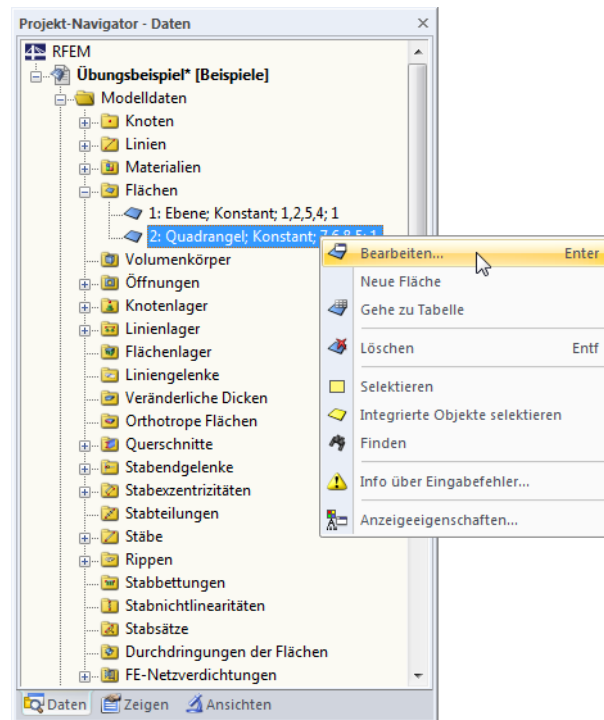


Bild 4.7 Kontextmenü der Modelldatenobjekte im Daten-Navigator

Kontextmenü oder Doppelklicken in Tabelle

Knoten Nr.	Knotentyp	Bezug Knoten	Koordinaten-System	Knotenkoordinaten			Kommentar
				X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	0.000	
3				7.000	6.000	0.000	
4				7.000	0.000	0.000	
5				10.000	3.000	0.000	
6				7.000	6.000	4.000	
7				7.000	0.000	4.000	
8				10.000	3.000	4.000	
9				3.000	1.000	0.000	
10				3.000	2.000	0.000	
11	Standard	0	Kartesisch	5.500	2.000	0.000	

Bild 4.8 Kontextmenü in Modelldaten-Tabellen

Der Bearbeitungsdialog ist über das Kontextmenü der Zeilennummer aufrufbar. Auch ein Doppelklick auf die Nummer öffnet den Dialog zum Bearbeiten des Objekts.

Tabelleneingabe



Die in der grafischen Oberfläche vorgenommenen Eingaben und Änderungen spiegeln sich sofort in den Tabellen wider und umgekehrt. Die Modelldaten-Tabellen sind über die Schaltfläche ganz links in der Symbolleiste der Tabellen zugänglich.

Knoten-Nr.	Knotentyp	Bezug-Knoten	Koordinaten-System	Knotenkoordinaten			Kommentar
				X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	0.000	
3	Standard	0	Kartesisch	7.000	6.000	0.000	Gelagert
4	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	0.000	
5	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartesisch	7.000	6.000	4.000	
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	4.000	
9	Standard	0	Kartesisch	3.000	1.000	0.000	
10	Standard	0	Kartesisch	3.000	2.000	0.000	
11	Standard	0	Kartesisch	5.500	2.000	0.000	

Bild 4.9 Schaltfläche [Tabelle 1. Modelldaten]

Daten lassen sich in tabellarischer Form schnell bearbeiten oder importieren (siehe [Kapitel 11.5](#)).

In der Tabelle und im *Daten-Navigator* werden unbenutzte Objekte blau gekennzeichnet.

In jedem Dialog und jeder Tabelle kann ein *Kommentar* ergänzt werden, der das Objekt näher beschreibt. Es lassen sich auch vordefinierte Kommentare nutzen (siehe [Kapitel 11.1.4](#)). Die Kommentare sind auch Teil der Quick-Infos bei den grafischen Objekten.



Bild 4.10 Quick-Info eines Knotenlagers

4.1

Knoten

Allgemeine Beschreibung

Die Geometrie des Modells wird über Knoten beschrieben. Sie stellen die Voraussetzung dar für Linien und damit auch für Stäbe, Flächen und Volumen. Jeder Knoten wird durch seine Koordinaten X, Y, Z beschrieben. Diese Koordinaten beziehen sich in der Regel auf den Ursprung des globalen Koordinatensystems. Es ist auch möglich, die Koordinaten auf einen anderen Knoten bezogen zu definieren.

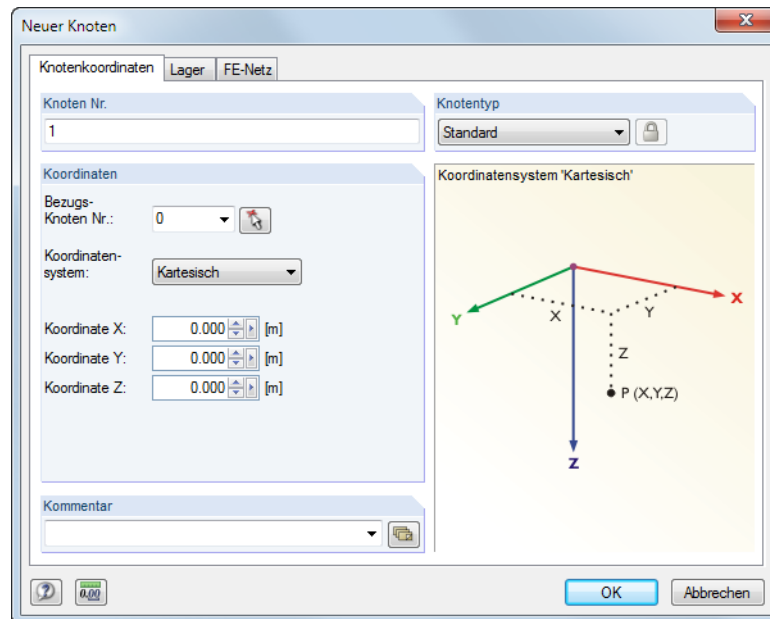


Bild 4.11 Dialog Neuer Knoten

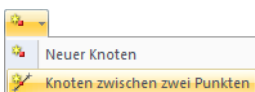
Knoten Nr.	Knotenkoordinaten			Knotenkoordinaten			Kommentar
	A Knotentyp	B Bezug Knoten	C Koordinaten-System	D X [m]	E Y [m]	F Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	0.000	
3	Standard	0	Kartesisch	7.000	6.000	0.000	Gelagert
4	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	0.000	
5	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	0.000	
6	Standard	0	Kartesisch	7.000	6.000	4.000	
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	4.000	

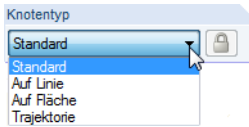
Bild 4.12 Tabelle 1.1 Knoten

Die Knotennummer wird im Dialog *Neuer Knoten* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Knotennummerierung spielt keine Rolle: Lücken in der Nummerierung sind zulässig.

Über das Menü **Extras** → **Ummummern** kann die Reihenfolge der Knotennummern nachträglich angepasst werden (siehe [Kapitel 11.4.18](#)).

Die Listenschaltfläche enthält eine spezielle Funktion. Sie ermöglicht es, einen Knoten auf der Verbindungslinie von zwei vorhandenen Knoten zu erzeugen (siehe [Kapitel 11.4.12](#)).





Knotentyp

Standard

Dieser Knotentyp wird in den häufigsten Fällen verwendet. Standardknoten können grafisch in der Arbeitsebene oder per Koordinatenangabe beliebig im Raum platziert werden. Bei der grafischen Eingabe von Linien oder Rotationsflächen werden Standardknoten erzeugt.

Standardknoten werden in der Grafik rot dargestellt.

Auf Linie

Mit diesem Knotentyp wird eine Linie nicht in zwei Linien geteilt, sondern als ganze Linie belassen. Der Knotenparameter δ beschreibt den relativen Abstand zum Anfangsknoten der Linie.

Knoten auf Linien ermöglichen es, Knotenlasten an einer beliebigen Stelle der Linie zu platzieren oder einen FE-Knoten zu erzwingen.

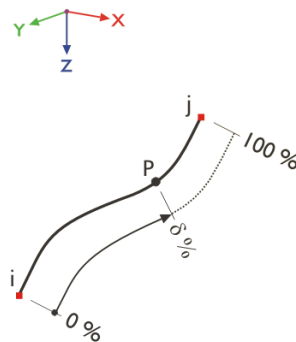


Bild 4.13 Knoten auf Linie

Knoten auf Linien werden standardmäßig hellblau dargestellt.

Über das Menü **Extras** → **Knoten im Schnittpunkt der Linien generieren** lassen sich Knoten auf Linien erzeugen, die sich kreuzen.

Auf Fläche

Bei Quadrangelflächen ist es schwierig, die Koordinaten von Knoten zu bestimmen, die sich auf der gekrümmten Fläche befinden. Mit dem Typ *Knoten auf Fläche* kann ein Knoten in der Grafik direkt auf eine Quadrangelfläche gesetzt werden. Die Knotenparameter δ_1 und δ_2 beziehen sich auf die vier Eckknoten der Fläche.

Knoten auf Flächen ermöglichen es, Knotenlasten an einer beliebigen Stelle der gekrümmten Fläche zu platzieren oder einen FE-Knoten zu erzwingen.

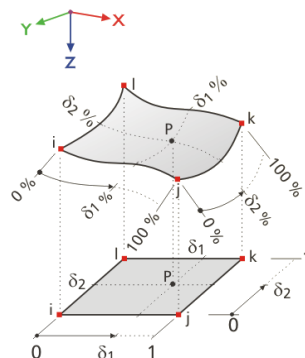


Bild 4.14 Knoten auf Fläche





In der Tabelle werden die Koordinaten im kartesischen Koordinatensystem abgelegt. Knoten auf Flächen werden standardmäßig hellblau dargestellt.

Liegt eine ebene Fläche vor, sind Standardknoten zu verwenden.

Trajektorie

Dieser Knotentyp wird beim Erzeugen einer spiralförmigen Trajektorienkurve angelegt (siehe [Kapitel 4.2](#)). Der Knotenparameter δ beschreibt den relativen Abstand zum Anfangsknoten der Linie.

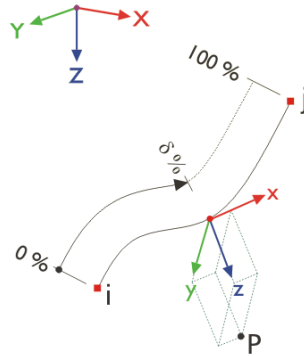


Bild 4.15 Trajektorie

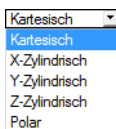
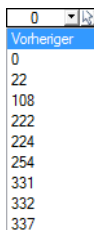
Trajektorienknoten werden standardmäßig dunkelgrün dargestellt.

Bezugsknoten

In der Regel sind die Koordinaten eines Knotens auf den Ursprung 0 des globalen Koordinatensystems bezogen. Der Knoten (0/0/0) braucht nicht definiert werden, denn RFEM erkennt den Ursprung automatisch.

Auch jeder andere Knoten kann als Bezugsknoten dienen; selbst ein Knoten mit einer höheren Nummer ist als Referenzknoten zulässig. Der Bezug auf einen anderen Knoten ist beispielsweise sinnvoll, um einen neuen Knoten in einem bestimmten Abstand zu einer bekannten Stelle zu setzen. Hierfür bietet sich speziell die Option *Vorheriger Knoten* in der Liste der Tabelle an.

Im Dialog *Neuer Knoten* kann der Bezugsknoten direkt angegeben, aus der Liste gewählt oder grafisch mit bestimmt werden.



Koordinatensystem

Die Koordinaten eines Knotens werden immer auf ein Koordinatensystem bezogen, das die Lage des Knotens im Raum beschreibt. Je nach Modellgeometrie bieten sich verschiedene Koordinatensysteme an. Alle Koordinatensysteme sind rechtsschraubig zu verstehen.

Kartesisch

Die Achsen X, Y und Z beschreiben eine translatorische Ausdehnung (Strecken). Alle Koordinatenrichtungen sind gleichberechtigt.

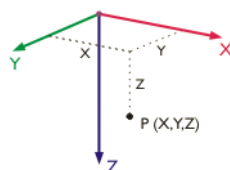


Bild 4.16 Kartesisches Koordinatensystem

In den meisten Fällen können Knoten in diesem Koordinatensystem definiert werden.

X-Zylindrisch

Die Achse X beschreibt eine translatorische Ausdehnung. Der Radius R gibt an, wie weit der Knoten von der X-Achse entfernt liegt. Der Winkel θ definiert die Drehung der Koordinaten um die X-Achse.

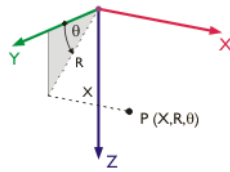


Bild 4.17 X-zylindrisches Koordinatensystem

Anwendungsbeispiele sind rohrförmige Modelle, deren Mittelachse die X-Achse ist.

Y-Zylindrisch

Das Konzept ist analog zum X-zylindrischen Koordinatensystem. In diesem Fall stellt jedoch die Achse Y die Längsachse dar.

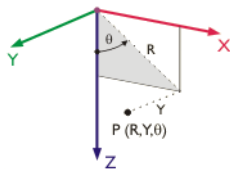


Bild 4.18 Y-zylindrisches Koordinatensystem

Z-Zylindrisch

Das Konzept ist analog zum X-zylindrischen Koordinatensystem. In diesem Fall stellt jedoch die Achse Z die Längsachse dar.

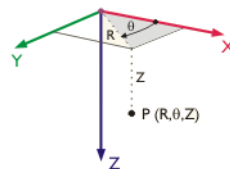


Bild 4.19 Z-zylindrisches Koordinatensystem

Polar

Im kugelförmigen Koordinatensystem wird die Lage des Knotens durch einen Radius, der den Abstand zum Ursprung angibt, und die Winkel θ und φ beschrieben.

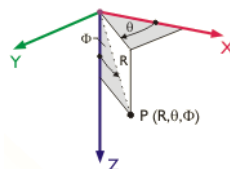


Bild 4.20 Polares Koordinatensystem



Die Modelleingabe sollte im Hinblick auf das globale Koordinatensystem so arrangiert werden, dass die XYZ-Achsen des Koordinatensystems mit den Hauptrichtungen des Tragwerks übereinstimmen. Dies erleichtert die Definition der Koordinaten, Randbedingungen und Belastungen.



Wurde der schwebende Dialog *Neuer Knoten* zur grafischen Eingabe aufgerufen, können Knoten mit

dem Mauszeiger direkt in der Arbeitsfläche gesetzt werden. Die Knoten werden in der Regel an den Rasterpunkten gefangen, die am aktuellen benutzerdefinierten oder am globalen Koordinatensystem (KS) ausgerichtet sind.

Bild 4.21 Schwebender Dialog *Neuer Knoten*

Informationen zu benutzerdefinierten Koordinatensystemen finden Sie im [Kapitel 11.3.4](#).

Wird das Koordinatensystem in der Tabelle geändert, können die Knotenkoordinaten automatisch auf das neue System umgerechnet werden. Es erscheint folgende Abfrage.

Bild 4.22 RFEM-Abfrage

Analog lassen sich Knotenkoordinaten mit dem Bezugsknoten *Vorheriger* auf den Ursprung bezogen umrechnen.

Knotenkoordinaten

Die Knotenkoordinaten werden im vorher angegebenen Koordinatensystem definiert. Bei einem 3D-Modell legen die X-, Y- und Z-Koordinaten bzw. Radius und Winkel einen Knoten eindeutig fest. Je nach Koordinatensystem ändern sich die Koordinatenparameter und Spaltenüberschriften.

Wurde der Modelltyp bei den Basisangaben auf eine 2D-Platte oder 2D-Scheibe reduziert, sind nicht alle drei Eingabefelder oder Spalten zugänglich.



Über das Menü **Bearbeiten** → **Einheiten und Dezimalstellen** oder die entsprechende Schaltfläche im Dialog können die *Längen* und *Winkel* angepasst werden.



Mit folgendem Verfahren kann überprüft werden, ob alle Knoten einer Fläche in einer Ebene liegen: Selektieren Sie die relevanten Knoten und rufen dann per Doppelklick auf einen dieser Knoten den Dialog *Knoten bearbeiten* auf. Dort sind nur die Koordinaten-Eingabefelder gefüllt, deren Werte bei allen selektierten Knoten übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, kann den selektierten Knoten nun eine einheitliche Ebenen-Koordinate zugewiesen werden.

Knotenkoordinaten lassen sich auch aus Excel übernehmen (siehe [Kapitel 11.5.6](#)) oder mit dem Formeleditor von RFEM ermitteln (siehe [Kapitel 11.6](#)). Zudem sind verschiedene Modellgenerierer

verfügbar, die die Eingabe erleichtern (siehe Kapitel 11.7.2 [↗](#)).

Über die Funktion *Volle Genauigkeit* im Dialog *Neuer Knoten* ist die Eingabe der exakten, ungerundeten Koordinaten möglich.

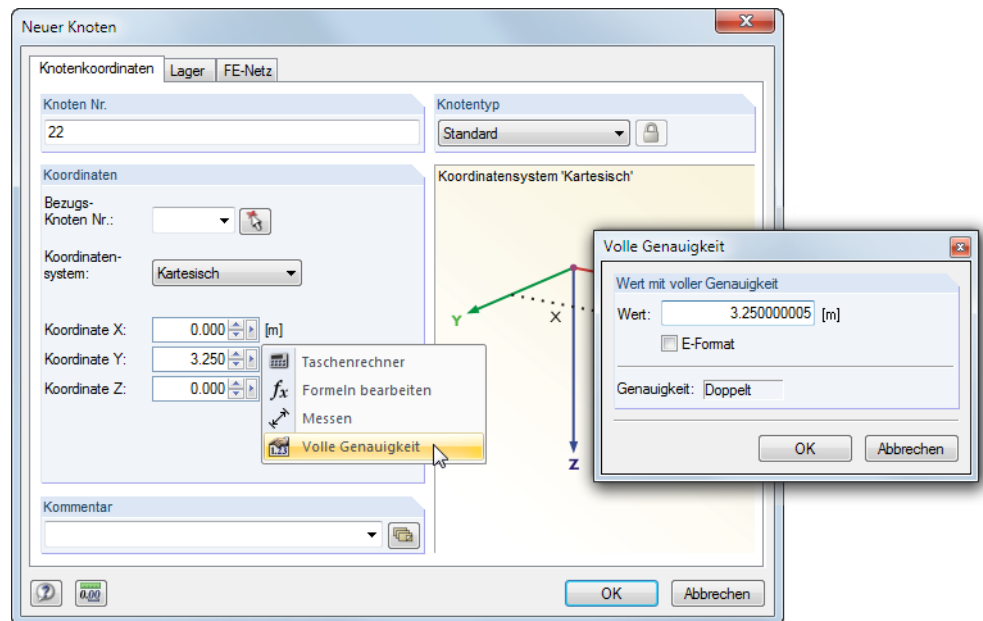



Bild 4.23 Kontextmenü im Dialog *Neuer Knoten* und Dialog *Volle Genauigkeit*

Kommentar

Diese Spalte ermöglicht die Eingabe benutzerdefinierter Anmerkungen. Mit der Schaltfläche  bzw. [Übernehmen] lassen sich gespeicherte Kommentare importieren (siehe Kapitel 11.1.4 [↗](#)).

Bei Knoten, die das Programm während des Erzeugens einer Durchdringung oder Rotationsfläche anlegt, erscheint der Vermerk *Generiert*. Über die links dargestellte Schaltfläche, die im Dialog und in der Tabelle zur Verfügung steht, können generierte Knoten „geöffnet“ und für Änderungen zugänglich gemacht werden.

4.2

Linien

Allgemeine Beschreibung



Die Geometrie des Modells wird über Linien beschrieben. Sie stellen die Voraussetzung dar für Flächen, Stäbe und Volumenkörper. Jede Linie ist durch einen Anfangs- und einen Endknoten definiert. Für die Beschreibung komplexer Linienarten sind zusätzliche Zwischenknoten erforderlich.

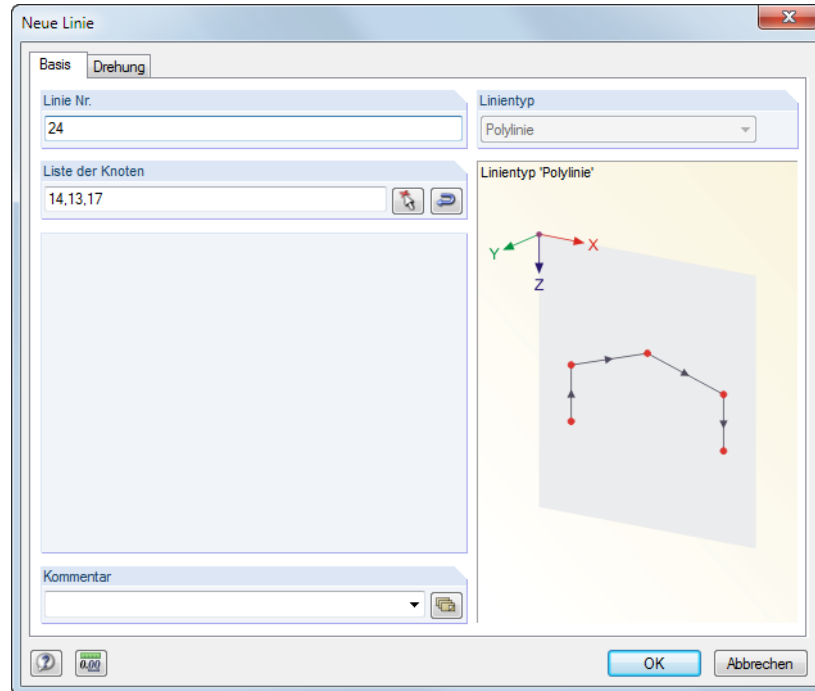


Bild 4.24 Dialog Neue Linie

Linie Nr.	Linientyp	Knoten Nr.	Linienlänge L [m]		Kommentar
1	Polylinie	1,2	6.000	Y	
2	Polylinie	2,3	7.000	X	
3	Polylinie	3,4	6.000	Y	
4	Polylinie	4,1	7.000	X	
5	Bogen	4,5,3	9.425	XY	
6	Bogen	7,8,6	9.425	XY	
7	Polylinie	3,6	4.000	Z	
8	Polylinie	4,7	4.000	Z	

Bild 4.25 Tabelle 1.2 Linien

Die Liniennummer wird im Dialog *Neue Linie* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Liniennummern spielt keine Rolle.

Über das Menü **Extras** → **Umnnummerieren** kann die Reihenfolge der Liniennummern nachträglich angepasst werden (siehe [Kapitel 11.4.18](#)).

Linientyp

Im Menü und in der Tabellenliste stehen für RFEM folgende Linienarten zur Auswahl:

- Einzellinie
- Polylinie
- Bogen
- Kreis
- Ellipse
- Elliptischer Bogen
- Parabel
- Hyperbel
- Spline
- NURBS
- Trajektorie
- Linie auf Fläche

Diese Linienarten sind auf den folgenden Seiten beschrieben.

Knoten Nr.

Jede Linie ist geometrisch durch einen Anfangs- und einen Endknoten definiert. Damit wird die Linienrichtung festgelegt, die auch die Lage des Linienkoordinatensystems beeinflusst. Die Knoten können manuell eingegeben, grafisch ausgewählt oder neu definiert werden (siehe [Kapitel 4.1](#)). Sind Kontroll- oder Zwischenknoten für eine Linie erforderlich, so werden sie in der Liste der Knoten mit angegeben.

Die Linienrichtung kann im Zeigen-Navigator einblendet werden.

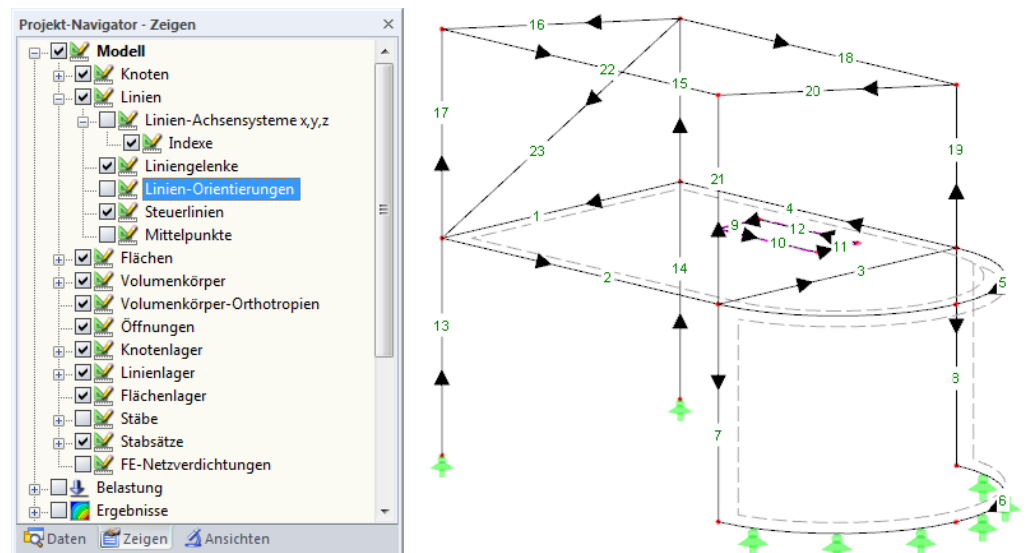


Bild 4.26 Einblenden der *Linien-Orientierungen* im Zeigen-Navigator



Die Linienrichtung kann grafisch schnell geändert werden: Klicken Sie die Linie mit der rechten Maustaste an und wählen die Kontextmenü-Option *Linien-Orientierung umkehren*. Die Nummern von Anfangs- und Endknoten werden dann vertauscht.

Die Linienkoordinatensysteme lassen sich im Zeigen-Navigator einblenden: Aktivieren Sie unter dem Eintrag **Modell** → **Linien** die *Linien-Achsenysteme x, y, z* einschließlich *Indexe* (siehe [Bild 4.102](#)).

Linienlänge

In dieser Tabellenspalte wird die Gesamtlänge der Linie angegeben.

Lage

Die Spalte **D** der Tabelle gibt Auskunft darüber, zu welcher globalen Achse die Linie parallel verläuft oder in welcher Ebene sie sich befindet, die von den globalen Achsen aufgespannt wird. Ist kein Eintrag vorhanden, befindet sich die Linie in einer beliebigen Lage im Raum.

Kommentar



Diese Spalte ermöglicht die Eingabe benutzerdefinierter Anmerkungen. Mit der Schaltfläche [Kommentar übernehmen] lassen sich gespeicherte Kommentare importieren (siehe [Kapitel 11.1.4](#)). Bei Linien, die RFEM erzeugt hat (z. B. ein Rohr), erscheint hier der Vermerk *Generiert*.

Linie / Polylinie

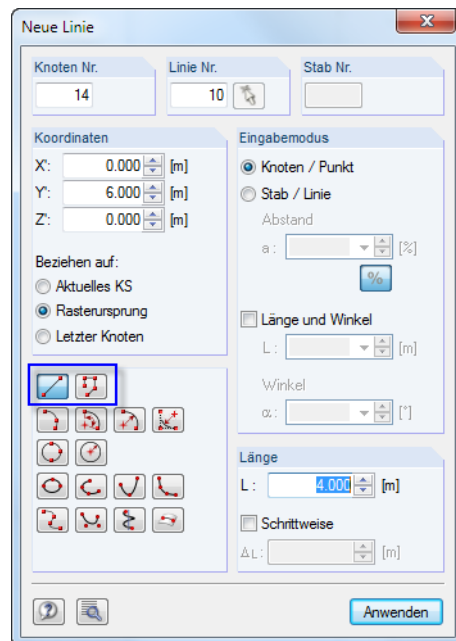


Bild 4.27 Grafischer Eingabedialog *Neue Linie*

Der Dialog *Neue Linie*, der beim Aufruf über das Pulldownmenü erscheint, ist im [Bild 4.24](#) dargestellt. Das Bild oben zeigt den allgemeinen Linien-Eingabedialog bei der grafischen Eingabe, die über eine der Listenschaltflächen in der Symbolleiste gestartet wird.



Eine „echte“ **Linie** ist durch nur einen Anfangsknoten und nur einen Endknoten definiert. Sie stellt damit die direkte Verbindung zwischen den beiden Knoten dar.



Bei einer **Polylinie** handelt es sich um einen Polygonzug, der aus mehreren geradlinigen Abschnitten besteht. Es werden deshalb im Dialog (siehe [Bild 4.24](#)) neben den Nummern des Anfangs- und Endknotens auch die der Zwischenknoten angegeben. Der Einfachheit halber werden auch „echte“ Linien als Polylinien verwaltet.

Bei der grafischen Eingabe einer Polylinie können bestehende Knoten, Rasterpunkte oder Fangobjekte als Definitionsknoten gewählt werden. Die Knoten lassen sich auch frei in der Arbeitsebene setzen.



Falls z. B. Linienlasten oder Linienlager nur für Abschnitte einer Polylinie wirksam sind, kann eine Polylinie nachträglich in „echte“ Linien zerlegt werden: Klicken Sie die Polylinie mit der rechten Maustaste an und wählen den Kontextmenü-Eintrag *Polylinie zerlegen*. Die Funktion ist auch zugänglich über das Menü **Bearbeiten** → **Modelldaten** → **Linien** → **Polylinie zerlegen**.

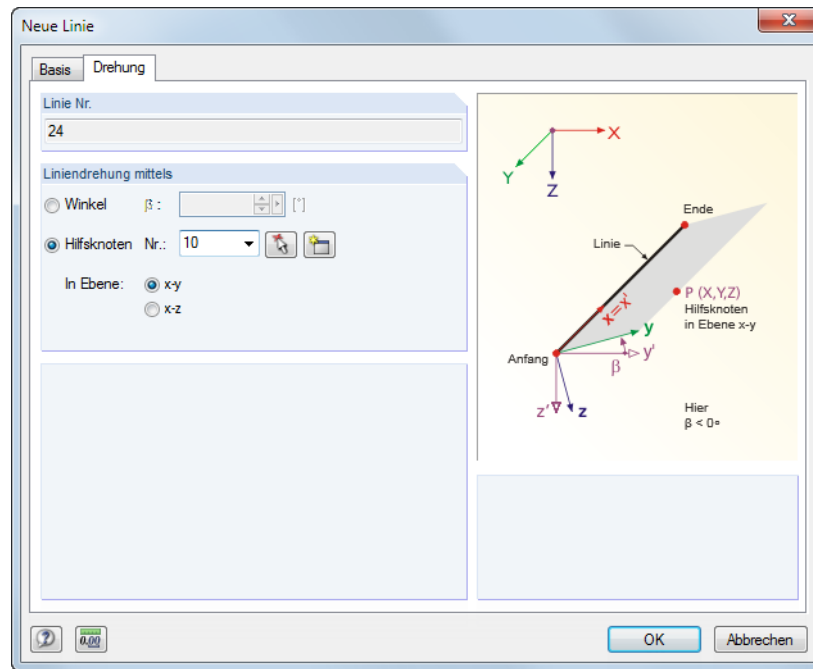


Bild 4.28 Dialog Neue Linie, Register Drehung



Das zweite Register des Dialogs ermöglicht eine *Drehung* der Linie. Hierzu ist entweder der *Winkel* β oder ein *Hilfsknoten* anzugeben, auf den die Linienachse *y* bzw. *z* auszurichten ist. Der Hilfsknoten kann in der Liste ausgewählt, grafisch bestimmt oder neu angelegt werden.

Eine Drehung der Linie kann die Eingabe von Linienlasten erleichtern, die in lokaler Linienrichtung wirken. Die Liniendrehung wirkt sich nicht auf Flächen oder Stäbe aus, da diese ein eigenes Koordinatensystem verwenden.

Die lokalen Linienachsensysteme sind im Bild 4.102 dargestellt.

Bogen

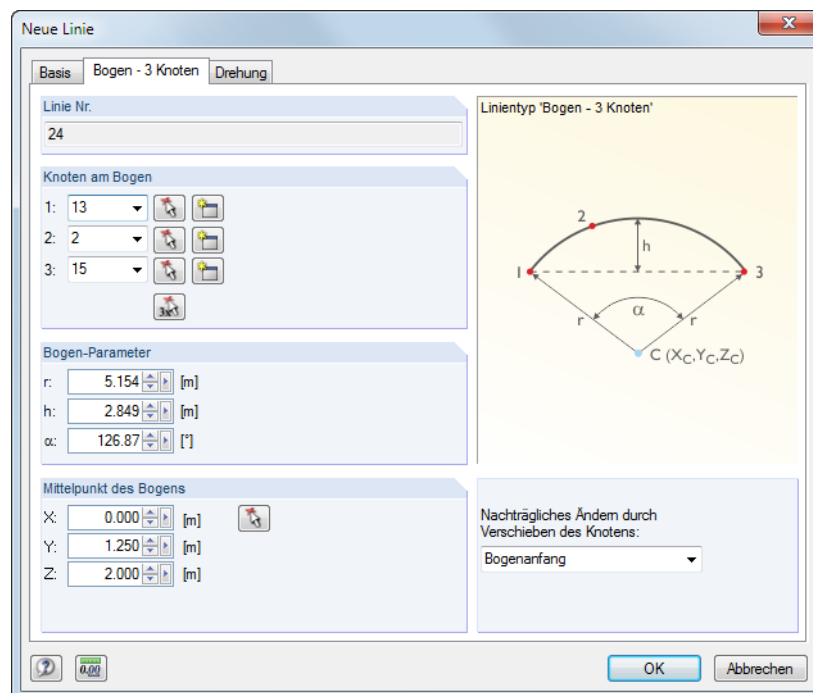
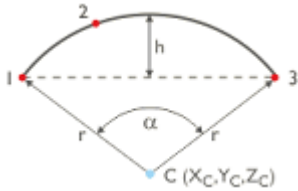


Bild 4.29 Dialog Neue Linie, Register Bogen




Ein Bogen kann über folgende Parameter definiert werden:

- drei Knoten
- Mittelknoten, Randknoten und Öffnungswinkel
- Randknoten und Radius, Öffnungswinkel oder Stich
- Tangenten und Radius

Im Abschnitt *Knoten am Bogen* können Anfangs-, Stütz- und Endknoten direkt angegeben, grafisch ausgewählt oder neu angelegt werden. Die Reihenfolge der Knoten wird in der kleinen Dialoggrafik veranschaulicht.

Aus den drei Knoten werden die *Bogen-Parameter* ermittelt, die im Abschnitt unterhalb angezeigt werden. Es ist dort auch möglich, den Radius r , Stich h oder Öffnungswinkel α zu ändern. Die Knotenkoordinaten werden entsprechend angepasst.

Im Abschnitt *Mittelpunkt des Bogens* erscheinen die Koordinaten des Bogenmittelpunkts, die sich aus den Bogenknoten bzw. -parametern ergeben. Bei manuellen Änderungen oder grafischer Auswahl mit  werden die Koordinaten der Knoten ebenfalls angepasst.

In der Liste *Nachträgliches Ändern durch Verschieben des Knotens* kann festgelegt werden, von welchem Knoten die Koordinaten geändert werden sollen.



Wird der Bogen grafisch über eine der Schaltflächen gesetzt, können bei der Option *mittels drei Knoten* die Knoten direkt in der Grafik gewählt bzw. neu gesetzt werden.

Bei den übrigen Eingabemöglichkeiten sind wie in [Bild 4.30](#) und [Bild 4.31](#) links dargestellt zunächst zwei Knoten zu wählen. Dann sind in einem weiteren Dialog (rechts dargestellt) jeweils die Bogenparameter festzulegen.

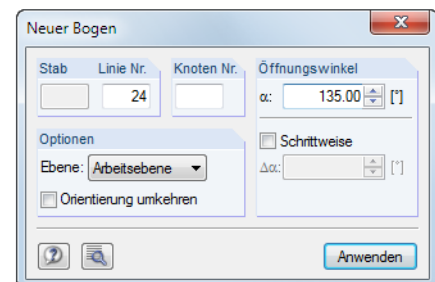
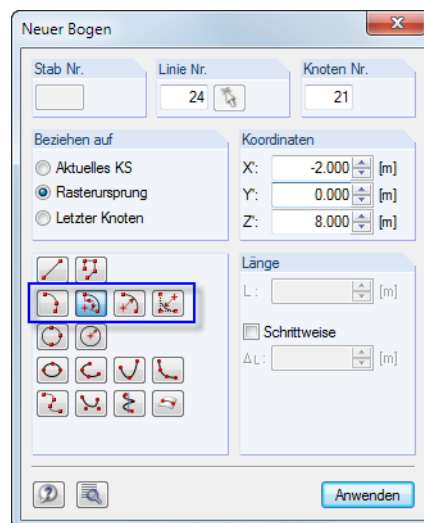
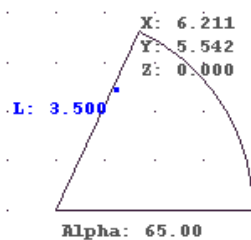


Bild 4.30 Dialog Neuer Bogen — Definitionsart Mittel-, Randknoten und Öffnungswinkel



Die Ebene des Bogens kann im Abschnitt *Optionen* (rechts im [Bild 4.30](#) und [Bild 4.31](#)) aus der Liste gewählt werden. Der *Öffnungswinkel* wird entweder direkt grafisch oder über eine manuelle Eingabe und [Anwenden] festgelegt.

Ein bereits definierter Bogen lässt sich durch Doppelklicken der Linie anpassen. Im Register *Bogen - 3 Knoten* des Dialogs *Linie bearbeiten* können dann die Änderungen vorgenommen werden (siehe [Bild 4.29](#)).

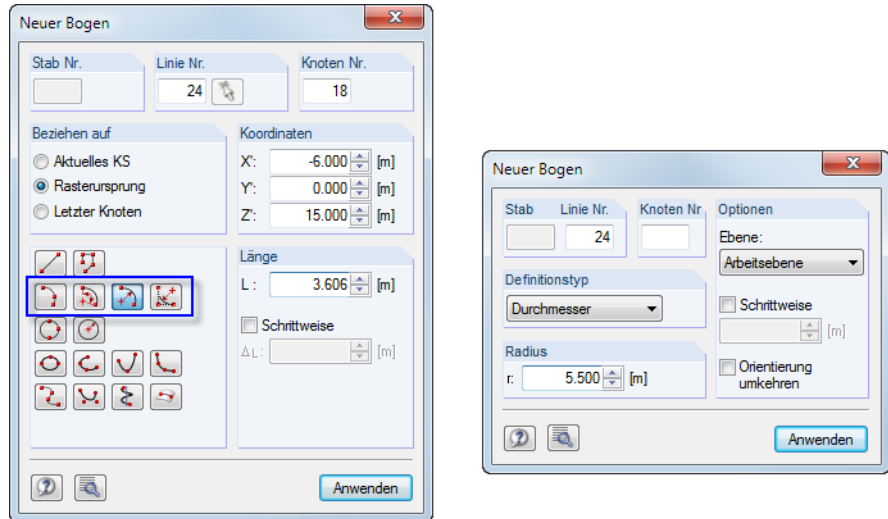
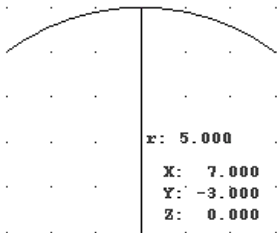


Bild 4.31 Dialog Neuer Bogen — Definitionstyp Randknoten und Radius, Öffnungswinkel oder Stich



Im Abschnitt *Definitionstyp* (rechts) ist der geeignete Bogenparameter aus der Liste zu wählen. Der Bogen kann dann direkt in der Grafik oder durch eine manuelle Eingabe und [Anwenden] gesetzt werden.

Das Eingabefeld bei *Schrittweise* steuert, in welchen Abständen der Mauszeiger beim Aufziehen des Radius, Winkels oder Stichs einrastet.

Die Richtung des Kreisbogens kann über das Kontrollfeld *Orientierung umkehren* beeinflusst werden: Es steuert, ob der Bogen „rechts“ oder „links“ der beiden Knoten angeordnet wird.

Kreis

Ein Kreis kann über folgende Parameter definiert werden:

- Drei Knoten
- Mittelpunkt und Radius

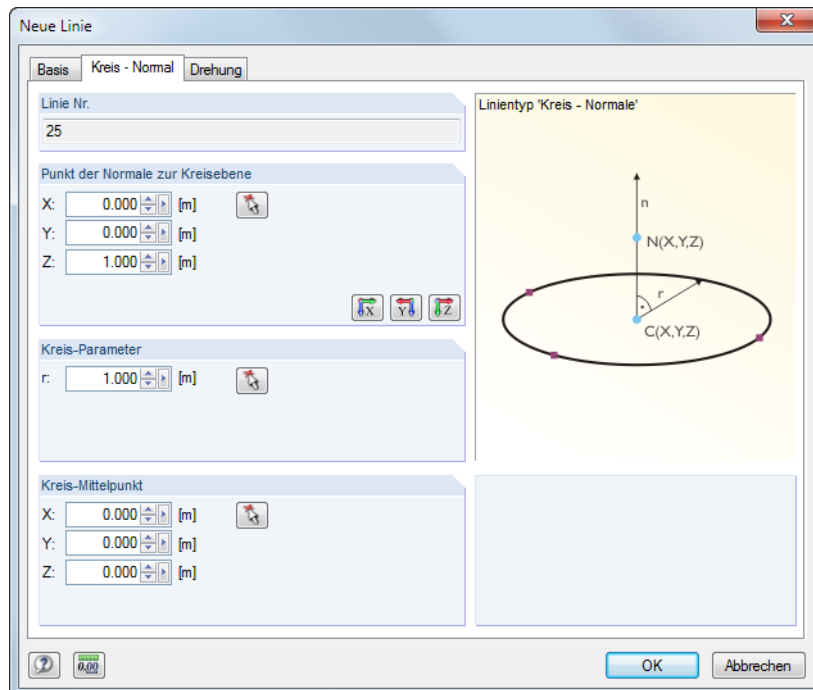
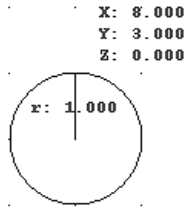


Bild 4.32 Dialog Neue Linie, Register Kreis - Normal



Der Radius als Kreis-Parameter und der Kreis-Mittelpunkt sind einzutragen oder mit grafisch festzulegen. Der Punkt der Normale zur Kreisebene steuert, in welcher Ebene der Kreis generiert wird. Über die drei Schaltflächen in diesem Abschnitt kann eine der globalen Achsen ausgewählt werden.

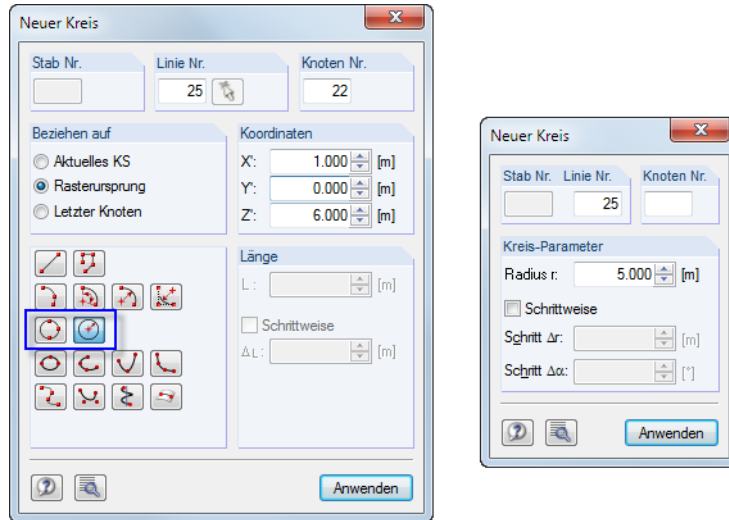


Bild 4.33 Dialog Neuer Kreis — Definitionsart Mittelpunkt und Radius

Wird der Kreis über eine der Symbolleisten-Schaltflächen grafisch gesetzt, können die drei Knoten bzw. Mittelpunkt und Radius direkt in der Grafik gewählt oder neu erstellt werden.

Ellipse



Zur Definition einer Ellipse sind drei Knoten erforderlich.

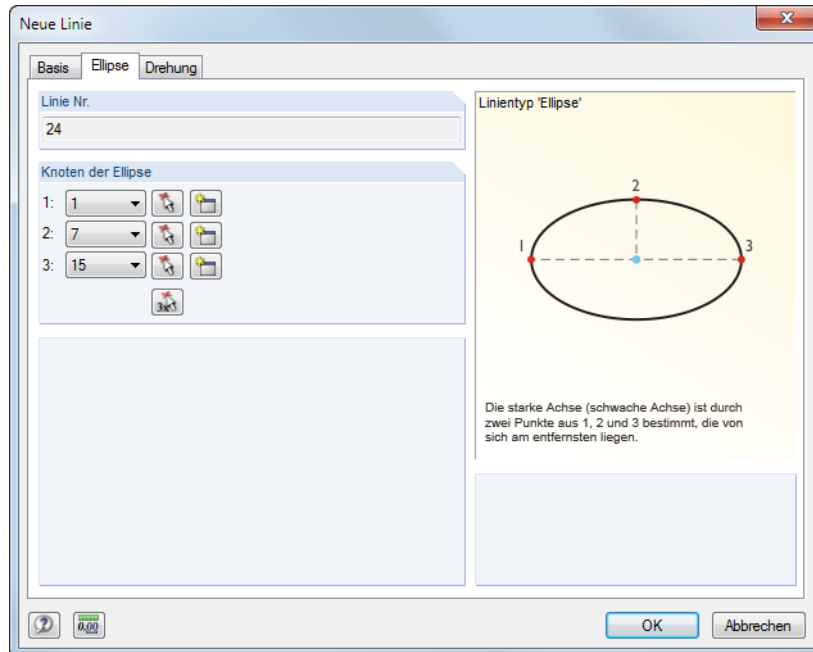
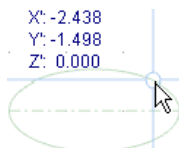


Bild 4.34 Dialog Neue Linie, Register Ellipse



Die Knoten der Ellipse steuern die Generierung: Als Hauptachse der Ellipse wird derjenige Abstand angenommen, der zwischen den drei eingegebenen Knoten am größten ist.

Wird die Ellipse über die Symbolleisten-Schaltfläche grafisch definiert, kann sie direkt über die Angabe von drei Knoten in der Arbeitsebene gesetzt werden.

Elliptischer Bogen / Parabel / Hyperbel

Es können folgende Kegelschnittkurven als Linien definiert werden:

- Elliptischer Bogen
- Parabel
- Hyperbel

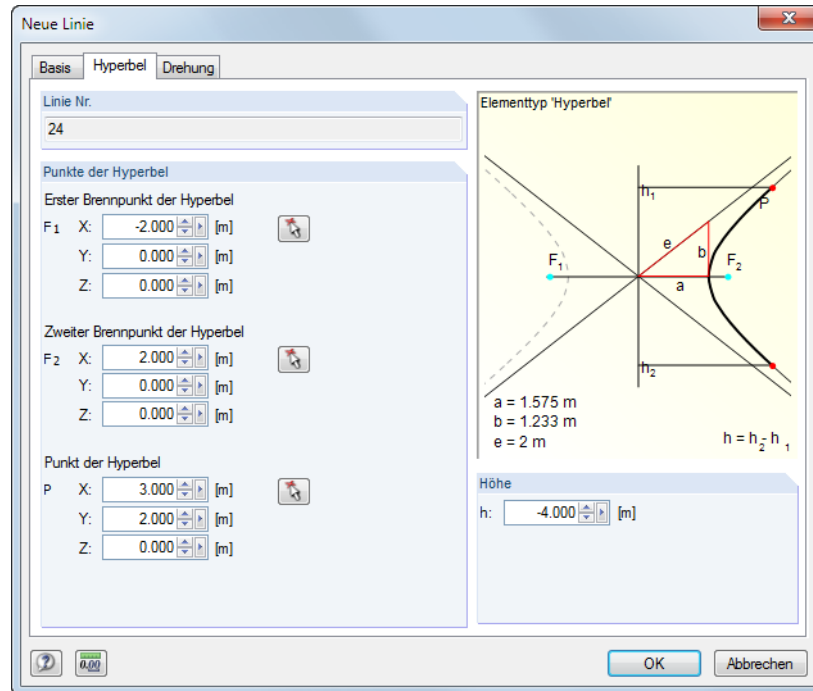
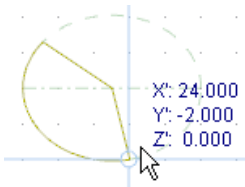


Bild 4.35 Dialog Neue Linie, Register Hyperbel

Im entsprechenden Register des Dialogs *Neue Linie* sind die Kurvenparameter (Brennpunkte, Öffnungswinkel, Achsendrehung etc.) manuell oder grafisch festzulegen.

Wird die grafische Eingabe über eine der Symbolleisten-Schaltflächen gewählt, können die Kurvenparameter direkt in der Grafik festgelegt werden.



Spline



Splines eignen sich sehr gut, um beliebige Kurven darzustellen. Die Eingabe dieser Linien erfolgt grafisch, indem die bestimmenden Knoten der gekrümmten Linie nacheinander ausgewählt oder per Mausclick neu angelegt werden.

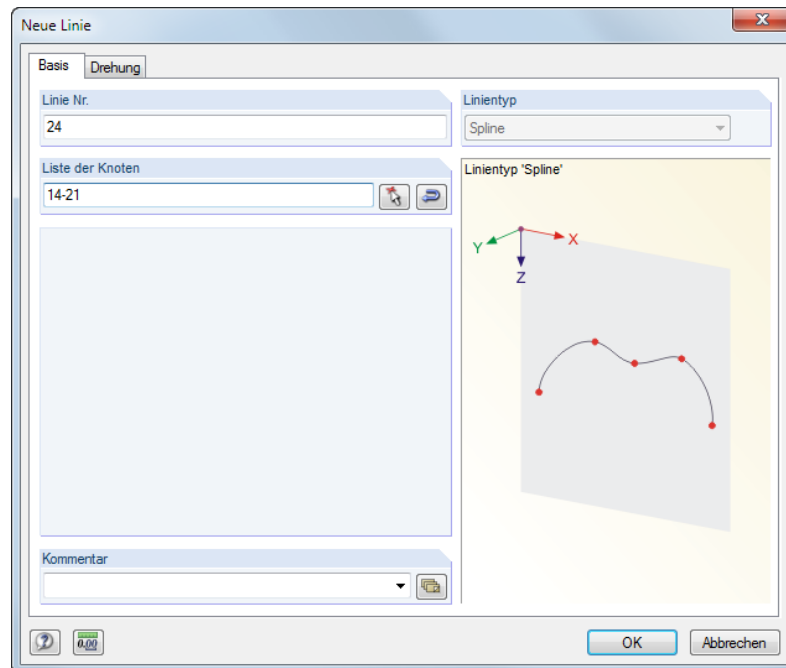


Bild 4.36 Dialog Neue Linie — Linientyp Spline

NURBS



NURBS (**N**icht-**U**niforme **R**ationale **B**-**S**plines) werden zur Modellierung von Freiformflächen benötigt. Hier handelt es sich um Splines, deren Kontrollpunkte nicht auf der Kurve selbst liegen. Die Linien werden in der Regel grafisch eingegeben, indem die Kontrollpunkte nacheinander ausgewählt oder per Mausclick neu angelegt werden.

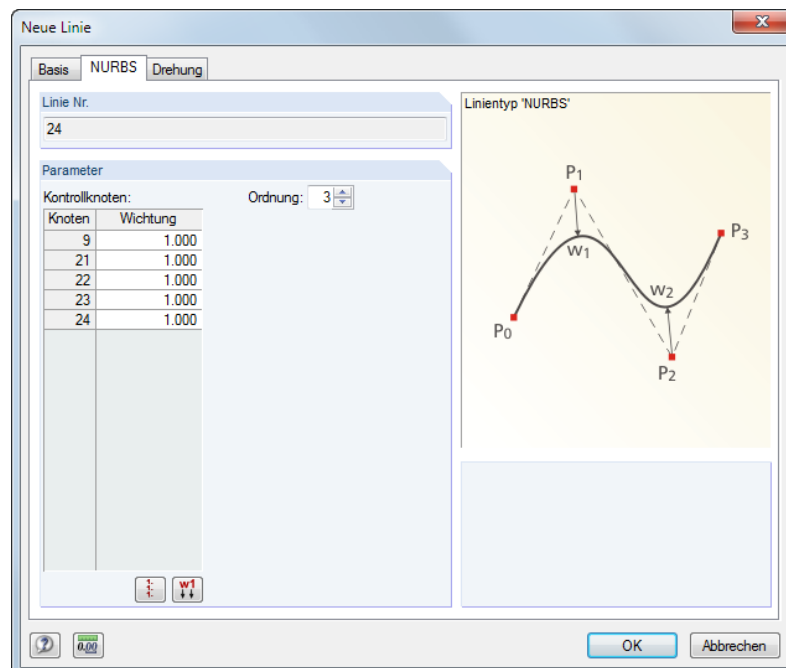


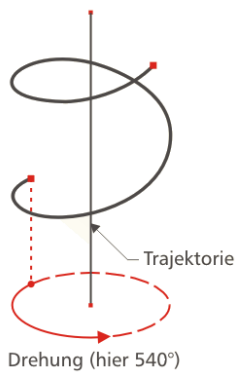
Bild 4.37 Dialog Neue Linie — Linientyp NURBS



Trajektorienkurve

Mit Trajektorienkurven können spiralförmige Linien erzeugt werden. Die Eingabe erfolgt in der Regel grafisch über die links dargestellte Schaltfläche. Es erscheint folgender Dialog:

Bild 4.38 Dialog Neue Trajektorienkurve



Es sind zunächst die *Koordinaten* des Linienanfangs festzulegen. Damit wird der Abschnitt *Parameter* zugänglich, in dem die *Gesamt-Drehung* der Spirale vorgegeben werden kann.

Die *Koordinaten* des Linienendes sind dann wiederum grafisch anzugeben oder durch eine manuelle Eingabe und [Anwenden] festzulegen. Alternativ wird das Eingabefeld *Länge* benutzt. Die *Koordinaten* des Endpunktes werden dann unter Berücksichtigung der vorgegebenen Drehung in der Arbeitsebene ermittelt.

Eine bereits definierte Trajektorienkurve lässt sich durch Doppelklicken der Linie anpassen. Im Register *Trajektorie* des Dialogs *Linie bearbeiten* können dann die Änderungen vorgenommen werden.

Linie auf Fläche



Linien in ebenen Flächen werden in der Regel automatisch als integrierte Objekte erkannt, sodass hierfür meist der Linientyp *Polylinie* ausreichend ist. Um hingegen eine Linie in eine gekrümmte Fläche zu setzen, ist der Typ *Linie auf Fläche* zu verwenden. Mit dieser Option lassen sich auch Linien in ebene Flächen einfügen, die nicht parallel zu den globalen Achsen liegen – ohne ein neues Benutzerkoordinatensystem anlegen zu müssen.

Der Eingabedialog gleicht dem einer Polylinie (siehe Bild 4.24).



Die Anfangs- und Endknoten der Linie sind einzutragen oder grafisch auszuwählen. Über den schwebenden Dialog *Neue Linie* des Typs ‚Auf Fläche‘ lassen sich die Knoten auch direkt auf eine gekrümmte Fläche setzen, wenn die Fläche vorher selektiert wurde und die Darstellungsart *Gefüllt* oder *Gefüllt transparent* aktiv ist. Es werden Knoten des Typs *Auf Fläche* erzeugt.



Im Register *Auf Fläche* ist die Fläche festzulegen, in der die Linie liegt. Dort können auch die Parameter δ_1 und δ_2 der Anfangs- und Endknoten (siehe Bild 4.14) überprüft, jedoch nicht geändert werden.

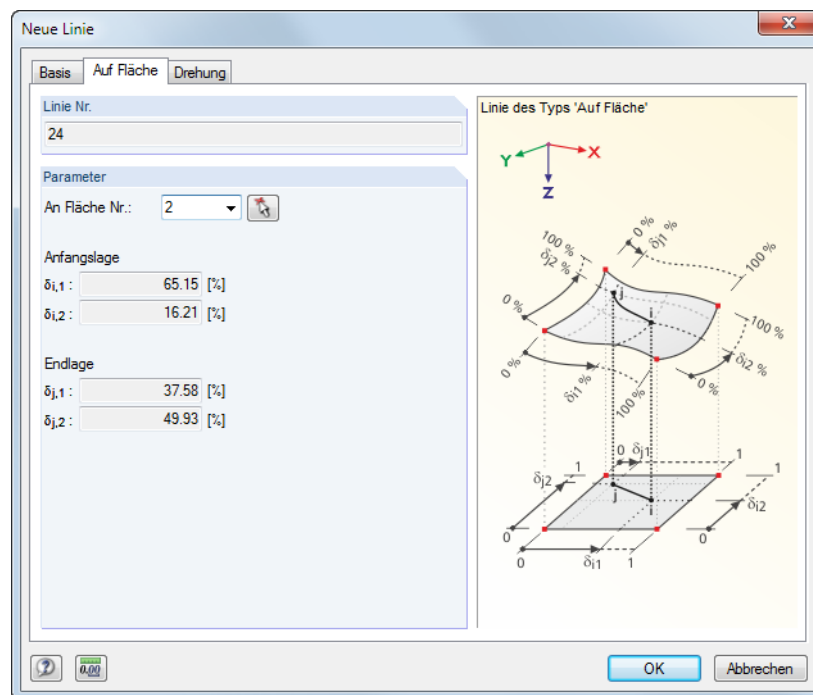
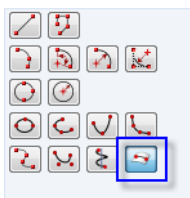


Bild 4.39 Dialog *Neue Linie*, Register *Auf Fläche*



Bei der grafischen Eingabe über die Schaltfläche [Linie auf Fläche] können die Knoten direkt auf die gekrümmten Flächen gesetzt werden. Bitte beachten Sie, dass die Darstellungsart *Drahtmodell* hierzu nicht geeignet ist.

Schnitt mittels zwei Linien / Schnitt mittels Schnittfläche

Die Linientypen *Schnitt mittels zwei Linien* und *Schnitt mittels Schnittfläche* stellen spezielle Linienfunktionen dar, die für das Zusatzmodul [RF-ZUSCHNITT](#) relevant sind. Damit lassen sich Schnittmuster über Teilstreifen definieren, wenn die Aufteilung der Membranfläche zu groß für den Zuschnitt ist. Diese Funktionen sind im [Handbuch RF-FORMFINDUNG / RF-ZUSCHNITT](#), Kapitel 5.2 beschrieben.

4.3

Materialien

Allgemeine Beschreibung

Materialien werden für die Definition von Flächen, Querschnitten und Volumenkörpern benötigt. Die Materialeigenschaften fließen in die Steifigkeiten dieser Objekte ein.

Jedem Material ist eine *Farbe* zugeordnet, die im gerenderten Modell für die Darstellung der Objekte benutzt wird (siehe Kapitel 11.1.9 [☞](#)).

Bei einem neuen Modell sind die beiden zuletzt benutzten Materialien voreingestellt.

Bild 4.40 Dialog Neues Material

Material Nr.	Material Bezeichnung	Elastizitätsmodul E [N/mm ²]	Schubmodul G [N/mm ²]	Querdehnzahl ν [-]	Spez. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehnzahl α [1/°C]	Teilsich.-Beiwert γ _M [-]	Material Modell
1	Beton C30/37 DIN EN 1992-1-1:20	33000.0	13700.0	0.200	25.00	1.0000E-05	1.00	Isotrop
2	Baustahl S 235 DIN 18800:1990-11	210000.0	81000.0	0.300	78.50	1.2000E-05	1.10	Isotrop
3	Brettschichtholz GL24h DIN 1052:2	11600.0	720.0	7.056	5.00	5.0000E-06	1.30	Isotrop
4								
5	Beton C20/25 EN 1992-1-1:2004/...	30000.0	12500.0	0.200	25.00	1.0000E-05	1.00	Isotrop
6								
7								

Bild 4.41 Tabelle 1.3 Materialien

Materialbezeichnung

Die *Bezeichnung* für das Material kann beliebig gewählt werden. Wenn der eingegebene Name mit einem Eintrag der Bibliothek übereinstimmt, liest RFEM die Materialkennwerte ein.

Die Übernahme von Materialien aus der Bibliothek ist im Abschnitt [Bibliothek aufrufen](#) [☞](#) beschrieben.



Elastizitätsmodul E

Der E-Modul beschreibt das Verhältnis zwischen Normalspannung und Dehnung.



Über das Menü **Bearbeiten** → **Einheiten und Dezimalstellen** oder die zugeordnete Schaltfläche können die Anpassungen für die *Materialien* vorgenommen werden.

Schubmodul G

Der Schubmodul G , auch Gleitmodul genannt, ist die zweite Kenngröße zur Beschreibung des elastischen Verhaltens eines linearen, isotropen und homogenen Materials.



Der Schubmodul der in der Bibliothek verzeichneten Materialien wird gemäß [Gleichung 4.1](#) aus dem Elastizitätsmodul E und der Querdehnzahl ν berechnet. Damit ist bei isotropen Materialien eine symmetrische Steifigkeitsmatrix gewährleistet. Unter Umständen können die so ermittelten Schubmodul-Werte geringfügig von den Angaben in den Eurocodes abweichen.

Querdehnzahl ν

Zwischen E - und G -Modul sowie der Querdehnzahl ν (auch Poissonzahl genannt) besteht folgender Zusammenhang:

$$E = 2G(1 + \nu)$$

Gleichung 4.1



Werden die Eigenschaften eines isotropen Materials manuell definiert, so ermittelt RFEM automatisch die Querdehnzahl aus den Werten des E - und G -Moduls (bzw. den Schubmodul aus dem E -Modul und der Querdehnzahl).

Bei isotropen Materialien liegt die Querdehnzahl üblicherweise zwischen 0,0 und 0,5. Ab einem Wert von 0,5 (z. B. Gummi) ist daher anzunehmen, dass kein isotropes Material vorliegt. Vor der Berechnung erscheint die Abfrage, ob ein orthotropes Materialmodell verwendet werden soll.

Spezifisches Gewicht γ

Das spezifische Gewicht γ beschreibt das Gewicht des Materials je Volumeneinheit.

Die Angabe ist insbesondere für den Lastfall ‚Eigengewicht‘ bedeutsam. Die automatische Eigenlast des Modells wird aus dem spezifischen Gewicht und den Querschnittsflächen der verwendeten Stäbe bzw. den Flächen und Volumenkörpern ermittelt.

Wärmedehnzahl α

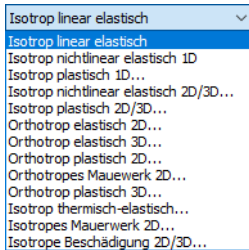
Dieser Koeffizient der Materialeigenschaft beschreibt den linearen Zusammenhang zwischen Temperatur- und Längenänderungen (Dehnung bei Erwärmung, Stauchung bei Abkühlung).

Die Wärmedehnzahl ist für die Lastarten ‚Temperaturänderung‘ und ‚Temperaturdifferenz‘ relevant.

Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Dieser Beiwert beschreibt den Sicherheitsfaktor auf der Widerstandsseite für das Material, weshalb der Index M benutzt wird. Mit dem Faktor γ_M kann die Steifigkeit bei der Berechnung abgemindert werden (siehe [Kapitel 7.3.1](#)).

Der Beiwert γ_M darf **nicht** mit den Sicherheitsfaktoren verwechselt werden, die zur Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen anzusetzen sind. Die Teilsicherheitsbeiwerte γ auf der Einwirkungsseite fließen bei der Überlagerung der Lastfälle in den Last- und Ergebniskombinationen ein.



Materialmodell

In der Liste stehen zwölf Materialmodelle zur Auswahl. Die [Details]-Schaltfläche im Dialog bzw. in der Tabelle ermöglicht den Zugang zu Dialogen, in denen die Parameter des gewählten Modells definiert werden können.

Wenn das Zusatzmodul **RF-MAT NL** nicht lizenziert ist, sind nur die Materialmodelle *Isotrop linear elastisch* und *Orthotrop elastisch 2D/3D* nutzbar.

Isotrop linear elastisch

Die linear-elastischen Steifigkeitseigenschaften des Materials sind unabhängig von der Richtung. Sie lassen sich gemäß [Gleichung 4.1](#) beschreiben. Es gelten folgende Bedingungen:

- $E > 0$
- $G > 0$
- $-1 < \nu \leq 0,5$ (für Flächen und Volumenkörper; für Stäbe nach oben unbegrenzt)

Die Nachgiebigkeitsmatrix (Umkehrung der Steifigkeitsmatrix) lautet für Flächen:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix}$$

Gleichung 4.2

Isotrop nichtlinear elastisch 1D

In einem Dialog können die nichtlinearen Eigenschaften eines isotropen Materials festgelegt werden.

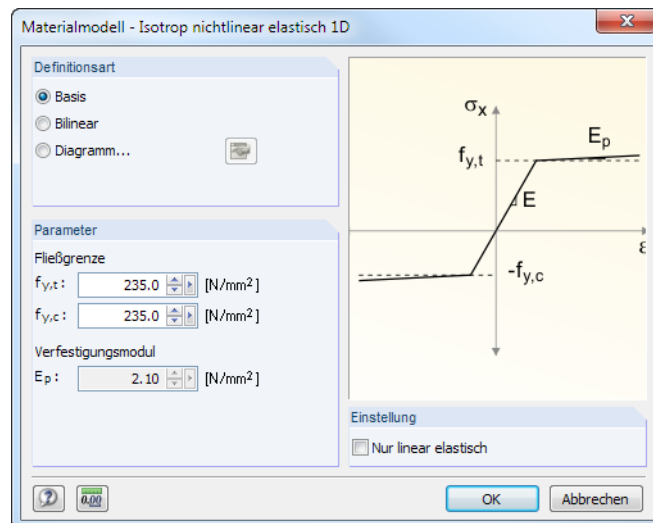


Bild 4.42 Dialog Materialmodell - Isotrop nichtlinear elastisch 1D

Es sind die Fließgrenzen getrennt für Zug ($f_{y,t}$) und Druck ($f_{y,c}$) des ideal oder bilinear elastischen Materials anzugeben. Zur realitätsgetreuen Abbildung des Materialverhaltens kann auch ein *Spannungs-Dehnungs-Diagramm* definiert werden (siehe [Bild 4.44](#)).

Isotrop plastisch 1D

Liegt der Modelltyp 3D vor (siehe Bild 12.23), können in einem Dialog die plastischen Eigenschaften des isotropen Materials definiert werden. RFEM berücksichtigt diese Materialparameter für Stabelemente z. B. zur plastischen Berechnung einer kinematischen Kette.



Das nichtlineare Materialverhalten wird in der Berechnung nur dann korrekt erfasst, wenn ausreichend FE-Knoten am Stab erzeugt werden. Hierzu bestehen folgende Möglichkeiten:

- Dialog *Stab teilen mittels n Zwischenknoten* (siehe Bild 11.91), Teilungsart *Nichtteilen der Linie*
- Dialog *FE-Netz-Einstellungen* (siehe Bild 7.10), Option *Teilung auch für gerade Stäbe verwenden* mit einer *Mindestanzahl der Stabteilungen* von 10

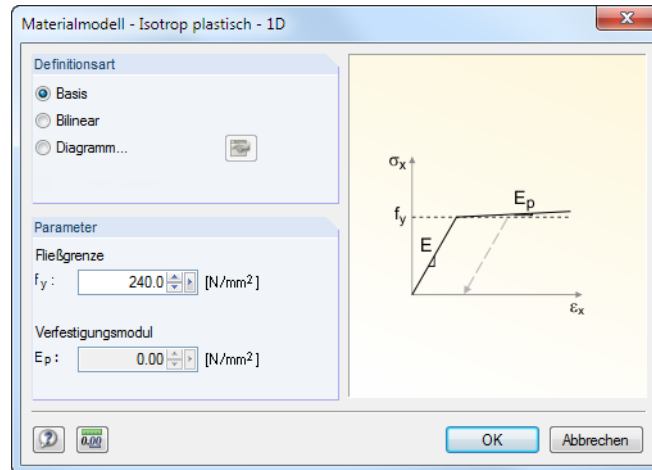


Bild 4.43 Dialog *Materialmodell - Isotrop plastisch - 1D*

Es sind die Parameter des ideal oder bilinear plastischen Materials anzugeben. Zur realitätsgetreuen Abbildung des Materialverhaltens kann auch ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm definiert werden.

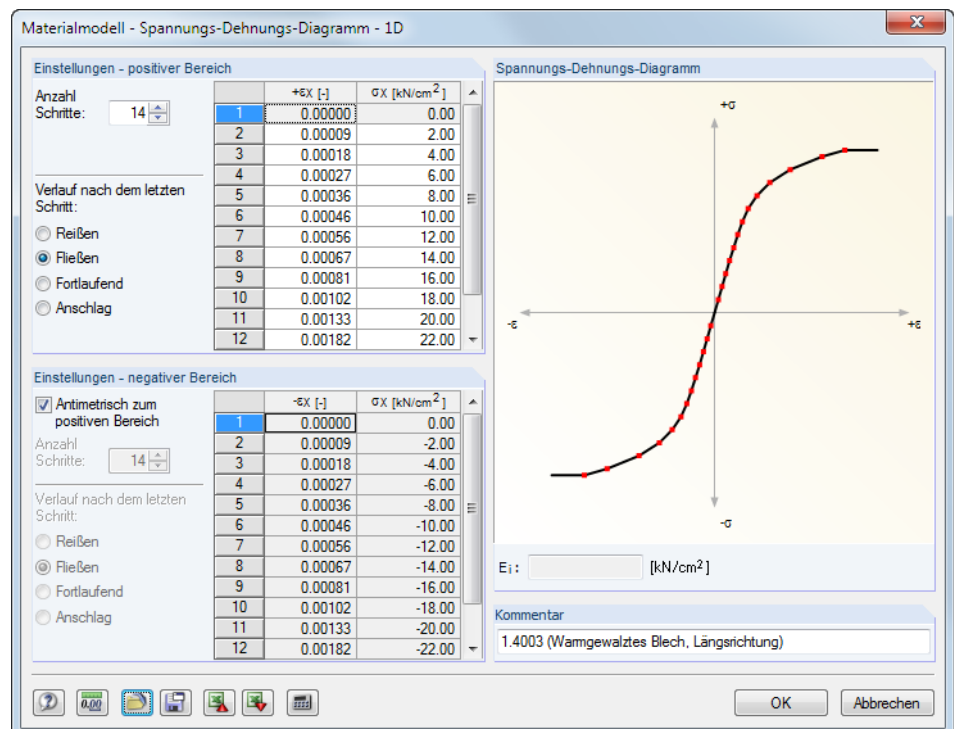


Bild 4.44 Dialog *Materialmodell - Spannungs-Dehnungs-Diagramm 1D*

Die Materialeigenschaften lassen sich getrennt für den *positiven* und den *negativen Bereich* definieren. Die *Anzahl der Schritte* steuert, wie viele Definitionspunkte jeweils vorliegen. In die beiden Listen können dann die Dehnungen ε und die zugehörigen Normalspannungen σ eingetragen werden.

Für den *Verlauf nach dem letzten Schritt* bestehen mehrere Möglichkeiten: *Reißen* für den Ausfall des Materials bei Überschreitung, *Fließen* für die Begrenzung auf die Übertragung einer maximalen Spannung, *Fortlaufend* wie im letzten Schritt oder *Anschlag* für die Begrenzung auf eine maximal zulässige Verformung.



Die Kennwerte können auch aus einer [Excel]-Tabelle eingelesen werden.

Die dynamische Grafik im Abschnitt *Spannungs-Dehnungs-Diagramm* ist hilfreich, um die Materialeigenschaften zu kontrollieren. Im Feld E; unterhalb der Grafik kann der E-Modul des aktuellen Definitionspunkts abgelesen werden.

Die Schaltfläche  im Dialog ermöglicht es, das Spannungs-Dehnungs-Diagramm modellübergreifend zu speichern. Mit der Schaltfläche  lassen sich benutzerdefinierte Diagramme importieren.

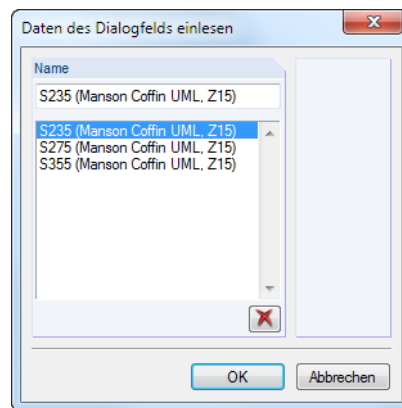


Bild 4.45 Dialog Daten des Dialogfelds einlesen



Für Stäbe mit isotrop plastischem Materialeigenschaften ist das Kontrollfeld *Schubsteifigkeit der Stäbe aktivieren* (Querschnittsflächen A_y , A_z) im *Berechnungsparameter-Dialog* (siehe [Bild 7.27](#)) ohne Wirkung. Dieses Materialmodell verwendet die Balkentheorie nach Euler-Bernoulli, bei der Schubverzerrungen vernachlässigt werden.

Isotrop nichtlinear elastisch 2D/3D

Mit diesem Materialmodell können die Eigenschaften nichtlinearer Materialien für Flächen und Volumenkörper abgebildet werden. Es wird keine Energie an das Modell abgegeben (konservative Betrachtung). Da die gleichen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen für Belastung und Entlastung gelten, liegen nach einer Entlastung keine dauerhaften plastischen Verzerrungen vor.

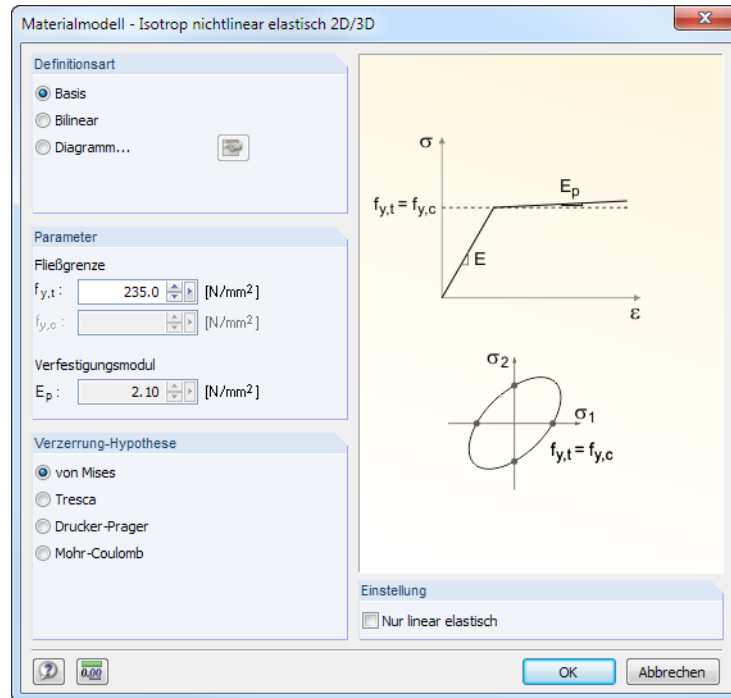


Bild 4.46 Dialog *Materialmodell - Isotrop nichtlinear elastisch 2D/3D*

Es sind die Fließgrenzen $f_{y,t}$ des ideal oder bilinear elastischen Materials anzugeben. Für die Hypothesen nach von Mises und Tresca gelten sie gleichermaßen für Zug und Druck. Zur realitätsgetreuen Abbildung des Materialverhaltens kann auch ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm definiert werden (siehe Bild 4.44 [☞](#)).

Die Elastizitätsmatrix wird isotrop gedämpft, damit die Spannungs-Dehnungs-Arbeitslinien der Vergleichsspannungen und -verzerrungen erfüllt werden.

Im Abschnitt *Verzerrung-Hypothese* stehen vier Berechnungsansätze zur Auswahl:

- von Mises:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

Gleichung 4.3

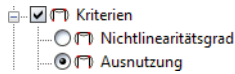
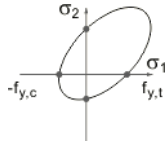
$$\varepsilon_v = \frac{\sigma_v}{E}$$

Gleichung 4.4

- Tresca:

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

Gleichung 4.5



Drucker-Prager:

Es wird ein Kriterium untersucht, das gegen 1 strebt (im plastischen Sinne). Zug- und Druckspannungen interagieren in den Gleichungen. Bei der Auswertung sollte die Ausnutzung unter den *Kriterien* betrachtet werden, nicht die Spannungen.

Mohr-Coulomb:

Ähnlich wie beim Drucker-Prager-Modell wird ein Spannungskreis untersucht, der jedoch auf der Tresca-Hypothese basiert.

In der Regel sind bei diesem Materialmodell viele Iterationen erforderlich, bis eine Konvergenz erreicht wird. Daher sollte bei den Berechnungsparametern als *Maximale Anzahl der Iterationen* ein Mindestwert von 300 vorgegeben werden (siehe [Kapitel 7.3.3](#)).

Die Option *Nur linear elastisch* ermöglicht es, die nichtlinearen Materialeigenschaften z. B. für Vergleichsuntersuchungen zu deaktivieren.

Folgender Fachbeitrag bietet weitere Erläuterungen zu den Fließgesetzen dieses Materialmodells: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000968> .

Isotrop plastisch 2D/3D

Bei diesem Materialmodell liegt im elastischen Bereich ein isotropes Materialverhalten vor. Der plastische Bereich basiert auf den Fließbedingungen verschiedener *Verzerrungs-Hypothesen* mit einer benutzerdefinierten *Fließgrenze* der Vergleichsspannung für Flächen und Volumenkörper.

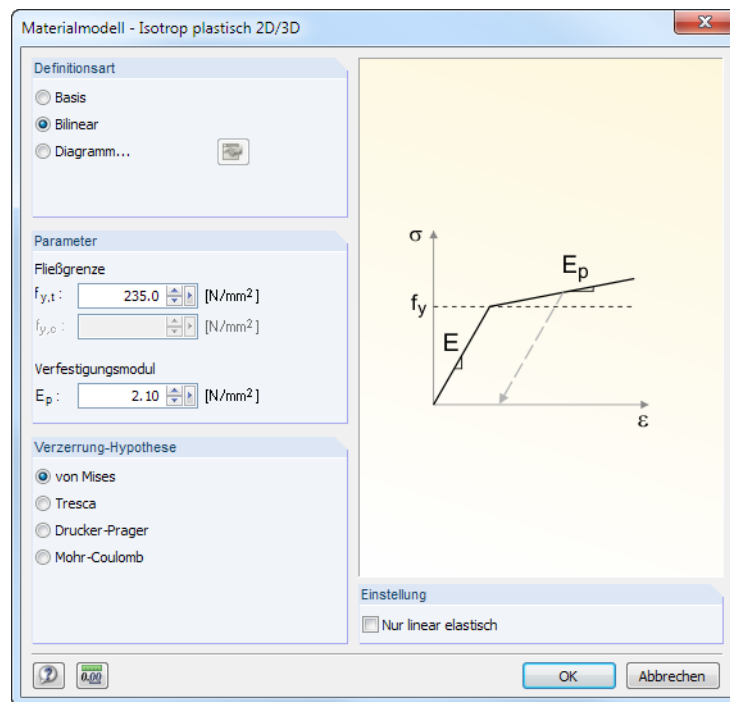


Bild 4.47 Dialog *Materialmodell - Isotrop plastisch 2D/3D*

Es sind die Parameter des ideal oder bilinear plastischen Materials anzugeben. Zur realitätsgetreuen Abbildung des Materialverhaltens kann auch ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm definiert werden (siehe [Bild 4.44](#)). Nach von Mises und Tresca gelten für Zug und Druck gleiche Fließgrenzen.

Die Fließbedingungen für 2D-Elemente nach z. B. von Mises sind in [Gleichung 4.3](#) genannt. Für 3D-Elemente lauten diese:

$$\sigma_v = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Gleichung 4.6



Bei plastischen Materialeigenschaften erfolgt die Berechnung iterativ und mit Laststeigerungen (siehe [Kapitel 7.3](#)). Wird die Spannung in einem finiten Element überschritten, so wird dort der E-Modul abgemindert und ein neuer Rechenlauf gestartet. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis sich eine Konvergenz einstellt. Nach der Berechnung können die Steifigkeitsabminderungen auch grafisch kontrolliert werden (siehe [Kapitel 9.3.2](#)).



Zur Auswertung der Ergebnisse sollte die Glättungsoption *Konstant in Elementen* benutzt werden (siehe [Bild 9.31](#)). Damit wird sichergestellt, dass die definierte Streckgrenze als Maximum im Ergebnispanel erscheint: Plastische Effekte können in der Berechnung nur elementweise berücksichtigt werden. Bei den übrigen Glättungsoptionen hingegen werden die Ergebnisse inter- bzw. extrapoliert. Dies kann zu Verzerrungen führen, die je nach Vernetzung mehr oder weniger ausgeprägt sind.

Bei der elastisch-plastischen Berechnung wird die Gesamtdehnung ε in eine elastische Komponente ε_{el} und eine plastische Komponente ε_{pl} aufgeteilt.

$$\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{pl}$$

Gleichung 4.7

Diese Aufteilung ist jedoch nur gültig unter der Annahme, dass die plastischen Dehnungen gering sind ($\varepsilon_{pl} < 0,1$). Wenn die plastischen Dehnungen diesen Grenzwert überschreiten, sind die plastischen Ergebnisse mit Vorsicht zu bewerten. Dies ist insbesondere für Berechnungen nach Theorie III. Ordnung (Berücksichtigung großer Verformungen) zu beachten.

Orthotrop elastisch 2D

Für das Material können Steifigkeitseigenschaften definiert werden, die in die beiden Flächenrichtungen x und y unterschiedlich ausgeprägt sind. Damit lassen sich z. B. Rippendecken oder Spannrichtungen bewehrter Decken abbilden. Die Flächenachsen x und y stehen in Flächenebene senkrecht zueinander (vgl. [Bild 4.75](#)).



Die RFEM4-Materialmodelle *Orthotrop* und *Orthotrop Extra* werden in dieses Modell konvertiert.

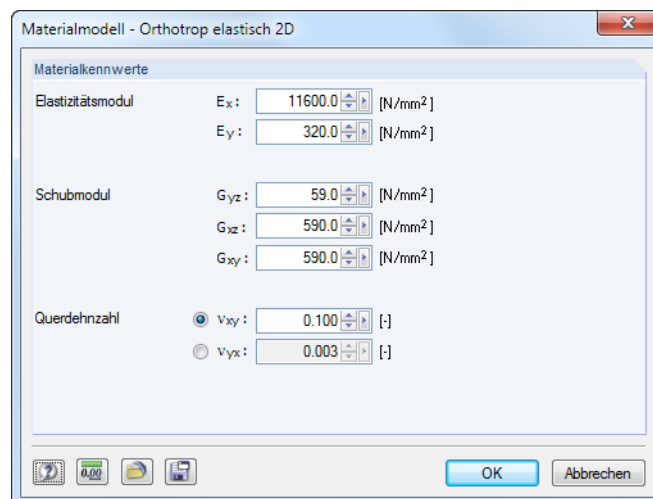


Bild 4.48 Dialog *Materialmodell - Orthotrop elastisch 2D*

Mit diesem Materialmodell kann allen Flächen, die aus einem bestimmten Material bestehen, global eine Orthotropieeigenschaft zugewiesen werden. Alternativ lassen sich die Parameter für jede Fläche einzeln definieren (siehe [Kapitel 4.12](#)).

Ein orthotropes elastisches Material wird durch die E-Moduln E_x und E_y , die Schubmoduln G_{yz} , G_{xz} und G_{xy} sowie die Querdehnzahlen ν_{xy} und ν_{yx} charakterisiert. Die Nachgiebigkeitsmatrix (Umkehrung der Steifigkeitsmatrix) ist wie folgt definiert:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{bmatrix}$$

Gleichung 4.8

Es besteht folgender Zusammenhang zwischen der Hauptquerdehnzahl ν_{xy} und der Nebenquerdehnzahl ν_{yx} :

$$\frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x}$$

Gleichung 4.9

Für eine positiv definite Steifigkeitsmatrix müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- $E_x > 0$; $E_y > 0$
- $G_{yz} > 0$; $G_{xz} > 0$; $G_{xy} > 0$
- $|\nu_{xy}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_y}}$

Orthotrop elastisch 3D

Im dreidimensionalen Materialmodell können die elastischen Steifigkeiten in alle Richtungen des Volumenkörpers getrennt definiert werden. Damit lassen sich z. B. die Festigkeitseigenschaften von Holzwerkstoffen abbilden.

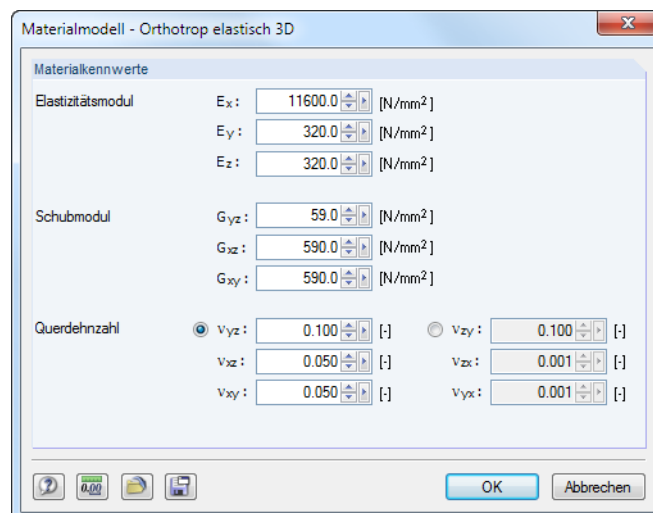


Bild 4.49 Dialog Materialmodell - Orthotrop elastisch 3D

Die Nachgiebigkeitsmatrix ist wie folgt definiert:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & -\frac{\nu_{zx}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & -\frac{\nu_{zy}}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{xz}}{E_x} & -\frac{\nu_{yz}}{E_y} & \frac{1}{E_z} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{yz}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xz}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}$$

Gleichung 4.10

Es bestehen folgende Zusammenhänge zwischen den Hauptquerdehnzahlen ν_{yz} , ν_{xz} , ν_{xy} und den Nebenquerdehnzahlen ν_{zy} , ν_{zx} , ν_{yx} :

$$\frac{\nu_{zy}}{E_z} = \frac{\nu_{yz}}{E_y}; \quad \frac{\nu_{zx}}{E_z} = \frac{\nu_{xz}}{E_x}; \quad \frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x}$$

Gleichung 4.11

Für eine positiv definite Steifigkeitsmatrix müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- $E_x > 0$; $E_y > 0$; $E_z > 0$
- $G_{yz} > 0$; $G_{xz} > 0$; $G_{xy} > 0$
- $|\nu_{yz}| < \sqrt{\frac{E_y}{E_z}}$; $|\nu_{xz}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_z}}$; $|\nu_{xy}| < \sqrt{\frac{E_x}{E_y}}$
- $1 - \nu_{yz}^2 \frac{E_z}{E_y} - \nu_{xz}^2 \frac{E_z}{E_x} - \nu_{xy}^2 \frac{E_y}{E_x} - 2 \frac{E_z}{E_x} \nu_{yz} \nu_{xz} \nu_{xy} > 0$

Orthotrop plastisch 2D / Orthotrop plastisch 3D

Das Materialmodell nach Tsai-Wu vereint plastische und orthotrope Eigenschaften. Damit sind spezielle Modellierungen von Werkstoffen mit anisotroper Charakteristik wie Kunststoff oder Holz möglich. Beim Plastizieren des Materials bleiben die Spannungen konstant. Es erfolgt eine Umlagerung in Abhängigkeit von den Steifigkeiten, die in die einzelnen Richtungen vorliegen.

Materialmodell - Orthotrop plastisch - Tsai-Wu 3D

Materialkennwerte

Elastizitätsmodul
 E_x : 12600.0 [N/mm²]
 E_y : 420.0 [N/mm²]
 E_z : 420.0 [N/mm²]

Schubmodul
 G_{yz} : 78.0 [N/mm²]
 G_{zx} : 780.0 [N/mm²]
 G_{xy} : 780.0 [N/mm²]

Querdehnungszahl
 ν_{yz} : 0.100 [-] ν_{zy} : 0.100 [-]
 ν_{xz} : 0.050 [-] ν_{zx} : 0.002 [-]
 ν_{xy} : 0.050 [-] ν_{yx} : 0.002 [-]

Verfestigungsmodul
 $E_{p,x}$: 0.0 [N/mm²]
 $E_{p,y}$: 0.0 [N/mm²]
 $E_{p,z}$: 0.0 [N/mm²]

Materialfestigkeiten

Grenzzugfestigkeit
 $f_{t,x}$: 19.5 [N/mm²]
 $f_{t,y}$: 0.5 [N/mm²]
 $f_{t,z}$: 0.5 [N/mm²]

Grenzdrukfestigkeit
 $f_{c,x}$: 26.5 [N/mm²]
 $f_{c,y}$: 3.0 [N/mm²]
 $f_{c,z}$: 3.0 [N/mm²]

Grenzscherfestigkeit
 $f_{v,yz}$: 0.9 [N/mm²]
 $f_{v,xz}$: 3.2 [N/mm²]
 $f_{v,xy}$: 3.2 [N/mm²]

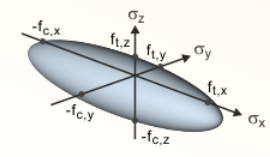
$$\sigma_x \left[\frac{1}{f_{t,x}} - \frac{1}{f_{c,x}} \right] + \frac{\sigma_x^2}{f_{t,x} f_{c,x}} +$$

$$\sigma_y \left[\frac{1}{f_{t,y}} - \frac{1}{f_{c,y}} \right] + \frac{\sigma_y^2}{f_{t,y} f_{c,y}} +$$

$$\sigma_z \left[\frac{1}{f_{t,z}} - \frac{1}{f_{c,z}} \right] + \frac{\sigma_z^2}{f_{t,z} f_{c,z}} +$$

$$\frac{\tau_{yz}^2}{f_{v,yz}^2} + \frac{\tau_{xz}^2}{f_{v,xz}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{f_{v,xy}^2} -$$

$$\left[\frac{1}{f_{t,x}} + \frac{1}{f_{c,x}} \right]^2 \frac{E_x E_{p,x}}{E_x - E_{p,x}} \alpha \leq 1$$

$$\alpha = \sum_i \Delta \gamma_i$$


Option
 Nur linear elastisch

OK Abbrechen

Bild 4.50 Dialog Materialmodell - Orthotrop plastisch - Tsai-Wu 3D

Der elastische Bereich entspricht dem Materialmodell *Orthotrop - 3D* (siehe oben). Für den plastischen Bereich gilt folgende Fließbedingung nach Tsai-Wu:

$$f_{\text{crit}}(\sigma) = \frac{1}{C} \left[\frac{(\sigma_x - \sigma_{x,0})^2}{f_{t,x} f_{c,x}} + \frac{(\sigma_y - \sigma_{y,0})^2}{f_{t,y} f_{c,y}} + \frac{(\sigma_z - \sigma_{z,0})^2}{f_{t,z} f_{c,z}} + \frac{\tau_{yz}^2}{f_{v,yz}^2} + \frac{\tau_{xz}^2}{f_{v,xz}^2} + \frac{\tau_{xy}^2}{f_{v,xy}^2} \right]$$

Gleichung 4.12

mit

$$\sigma_{x,0} = \frac{f_{t,x} - f_{c,x}}{2}$$

$$\sigma_{y,0} = \frac{f_{t,y} - f_{c,y}}{2}$$

$$\sigma_{z,0} = \frac{f_{t,z} - f_{c,z}}{2}$$

$$C = 1 + \left[\frac{1}{f_{t,x}} + \frac{1}{f_{c,x}} \right]^2 \frac{E_x E_{p,x}}{E_x - E_{p,x}} \alpha + \frac{\sigma_{x,0}^2}{f_{t,x} f_{c,x}} + \frac{\sigma_{y,0}^2}{f_{t,y} f_{c,y}} + \frac{\sigma_{z,0}^2}{f_{t,z} f_{c,z}}$$

$f_{t,x}, f_{t,y}, f_{t,z}$: Plastische Grenzzugfestigkeit in x-, y- oder z-Richtung

$f_{c,x}, f_{c,y}, f_{c,z}$: Plastische Grenzdrukfestigkeit in x-, y- oder z-Richtung

$f_{v,yz}, f_{v,xz}, f_{v,xy}$: Plastische Schubfestigkeit in yz-, xz- oder xy-Richtung

$E_{p,x}$: Verfestigungsmodul

α : Zustandsvariable der Verfestigung

$$\alpha = \sum_i \Delta \gamma_i$$

Sämtliche Festigkeiten sind positiv zu definieren.

Die Fließbedingung kann man sich als ellipsenförmige Fläche im sechsdimensionalen Spannungsraum vorstellen. Wird eine der drei Spannungskomponenten als konstanter Wert angesetzt, kann die Fläche auf einen dreidimensionalen Spannungsraum projiziert werden (siehe Bild 4.51 [↗](#)).

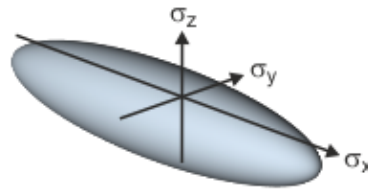


Bild 4.51 Projektion der Fließflächen für Normalspannungen nach Tsai-Wu

Ist der Wert für $f_y(\sigma)$ nach Gleichung 4.12 [↗](#) kleiner als 1, so liegen die Spannungen im elastischen Bereich. Der plastische Bereich ist erreicht, sobald $f_y(\sigma) = 1$. Werte größer als 1 sind unzulässig. Das Modell verhält sich ideal-plastisch, d. h. es findet keine Versteifung statt.



Gleichung 4.12 [↗](#) ist nur für das lokale FE-Koordinatensystem gültig. Falls dieses lokale Koordinatensystem nicht mit dem Koordinatensystem des Volumens übereinstimmt, das für die Spannungsausgabe in RFEM benutzt wird, sind die Werte entsprechend zu transformieren.

Orthotropes Mauerwerk 2D

Mit diesem elastoplastischen Materialmodell lässt sich eine Materialerweichung berücksichtigen, die in lokaler x- und y-Richtung der Fläche unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Das Materialmodell ist für unbewehrte Mauerwerkswände geeignet, bei denen eine Beanspruchung in Scheibenebene vorliegt. Der Gesamtdehnungstensor ε wird in die Summe seiner elastischen und plastischen Anteile zerlegt ($\varepsilon = \varepsilon_{el} + \varepsilon_p$). Dieser Ansatz beruht auf der Annahme, dass die Beschädigung ein „verschmiertes“ Rissverhalten abbildet, bei dem das Material auch nach der Beschädigung ein Kontinuum darstellt.

Materialmodell - Orthotropes Mauerwerk 2D

Materialkennwerte

Elastizitätsmodul
 E_x : 28300.00 [N/mm²]
 E_y : 28300.00 [N/mm²]

Schubmodul
 G_{yz} : 11800.00 [N/mm²]
 G_{zx} : 11800.00 [N/mm²]
 G_{xy} : 11800.00 [N/mm²]

Querdehnungszahl
 ν_{xy} : 0.199 [-]
 ν_{yx} : 0.199 [-]

Materialfestigkeiten

Grenzzugfestigkeit
 $f_{t,x}$: 2.90 [N/mm²]
 $f_{t,y}$: 2.90 [N/mm²]

Grenzdrukfestigkeit
 $f_{c,x}$: 2.90 [N/mm²]
 $f_{c,y}$: 2.90 [N/mm²]

Bruchenergien

Zugbruchenergie
 $G_{t,x}$: 0.000 [N/mm]
 $G_{t,y}$: 0.000 [N/mm]

Drukbruchenergie
 $G_{c,x}$: 0.000 [N/mm]
 $G_{c,y}$: 0.000 [N/mm]

Andere Parameter

Anteil der Schubspannung im Zug
 α : 0.00 [-]

Verbindung zwischen den Normalspannungen
 β : 0.00 [-]

Anteil der Schubspannung im Druckbereich
 γ : 0.00 [-]

Inelastische Dehnrate am Gipfel der Druckspannung
 κ_p : 0.00000 [-]

Option
 Nur linear elastisch

OK Abbrechen

Bild 4.52 Dialog *Materialmodell - Orthotropes Mauerwerk 2D*

Im Dialog sind neben den Materialkennwerten eines orthotrop elastischen 2D-Materialmodells sieben Festigkeitsparameter ($f_{t,x}$, $f_{t,y}$, $f_{c,x}$, $f_{c,y}$, α , β , γ) und fünf Parameter zur Beschreibung des inelastischen Verhaltens ($G_{t,x}$, $G_{t,y}$, $G_{c,x}$, $G_{c,y}$, κ_p) festzulegen. Diese Parameter können in Versuchsanordnungen bestimmt werden, in denen ein- und zweiachsige Druck- und Zugbeanspruchungen untersucht werden. Die Korrelationsbeiwerte sind dabei wie folgt:

$$\alpha = \frac{1}{9} \left(1 + 4 \frac{f_{t,x}}{f_{c,x}} \right) \left(1 + 4 \frac{f_{t,y}}{f_{c,y}} \right)$$

Gleichung 4.13

$$\beta = \left(\frac{1}{f_{c,x}^2} - \frac{1}{f_{c,x}^2} - \frac{1}{f_{c,y}^2} \right) f_{c,x} f_{c,y}$$

Gleichung 4.14

$$\gamma = \left[\frac{16}{f_{c,x}^2} - 9 \left(\frac{1}{f_{c,x}^2} + \frac{\beta}{f_{c,x} f_{c,y}} + \frac{1}{f_{c,y}^2} \right) \right] f_{c,x} f_{c,y}$$

Gleichung 4.15

Für den Zugbereich wird nach [45] eine Hypothese nach Rankine verwendet, während für den Druckbereich ein Fließkriterium nach Hill zum Ansatz kommt. In obigen Gleichungen beschreibt der Parameter α den Anteil der Schubspannungen, die bei Zugbeanspruchung zum Versagen führen. Bei Druckbeanspruchung wird der Schubanteil analog durch die Parameter β und γ ausgedrückt.

Das folgende Bild zeigt eine typische Fließfläche für das anisotrope Rankine-Hill-Versagenskriterium.

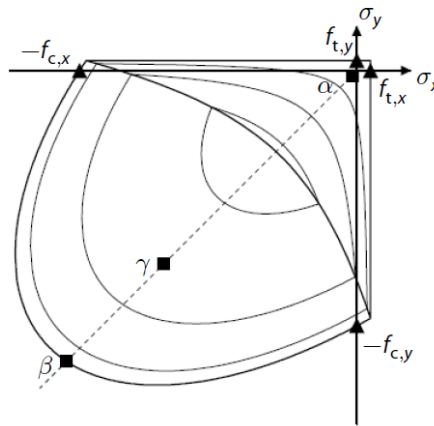


Bild 4.53 Fließfläche mit Materialparametern und Schub-Isolinien nach [45] [↗](#)

Isotrop thermisch-elastisch



Die temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungseigenschaften eines elastischen isotropen Materials können in einem Diagramm definiert oder auch aus [Excel] importiert werden. Diese Materialparameter werden für Stab- und Flächenelemente berücksichtigt, die thermisch beansprucht sind (Temperaturänderung oder -differenz).

Materialmodell - Isotrop thermisch-elastisch | Cr-Mo Stahl Cr 2 1/4% - 3%

Einstellungen	Temperatur T [°C]	E-Modul E [N/mm ²]	Schubmodul G [N/mm ²]	Querdehnzahl ν [-]	Koeffizient α [1/°C]
1	-200.0	224777.0	86452.7	0.300	1.2000E-05
2	-129.0	220640.0	84861.5	0.300	1.2000E-05
3	-70.0	216503.0	83270.4	0.300	1.2000E-05
4	21.0	210987.0	81148.8	0.300	1.2000E-05
5	93.0	205471.0	79027.3	0.300	1.2000E-05
6	149.0	202713.0	77966.5	0.300	1.2000E-05
7	204.0	198576.0	76375.4	0.300	1.2000E-05
8	260.0	195128.0	75049.4	0.300	1.2000E-05
9	316.0	190992.0	73458.3	0.300	1.2000E-05
10	371.0	186855.0	71867.1	0.300	1.2000E-05
11	427.0	181339.0	69745.6	0.300	1.2000E-05
12	482.0	176512.0	67889.2	0.300	1.2000E-05
13	538.0	169617.0	65237.3	0.300	1.2000E-05
14	593.0	163412.0	62850.6	0.300	1.2000E-05
15	649.0	155138.0	59668.3	0.300	1.2000E-05

Temperaturdiagramm
Temperatur - Elastizitätsmodul

Parameter
Anzahl Schritte: 15

Optionen
 Identische Querdehnzahlen

Referenztemperatur
Referenztemperatur: 20.0 [°C]

Kommentar
Cr-Mo Stahl Cr 2 1/4% - 3%

OK Abbrechen

Bild 4.54 Dialog *Materialmodell - Isotrop thermisch-elastisch*

Die *Referenztemperatur* legt die Steifigkeiten für die Stäbe oder Flächen fest, die keine Temperaturlasten aufweisen. Wird z. B. eine Referenztemperatur von 300 °C eingestellt, so wird für alle Stäbe und Flächen der reduzierte E-Modul dieses Punkts der Temperaturkurve angesetzt.

Der Abschnitt *Optionen* steuert, ob *Identische Querdehnzahlen* für das gesamte Temperaturdiagramm angesetzt werden. Wird das Häkchen aus dem Kontrollfeld entfernt, so wird die Tabellenspalte *Querdehnzahl* für individuelle Einträge zugänglich.



Über die Schaltfläche [Einlesen] lassen sich vordefinierte Temperaturdiagramme für verschiedene Stahllegierungen importieren (vgl. [Bild 4.45](#) [↗](#)).



Mit der Schaltfläche [Sichern] können benutzerdefinierte Temperaturdiagramme modellübergreifend gespeichert werden.

Isotropes Mauerwerk 2D

Dieses Materialmodell ermöglicht die Berücksichtigung von Mauerwerkswänden, die keine Zugkräfte aufnehmen können und mit Rissen reagieren.

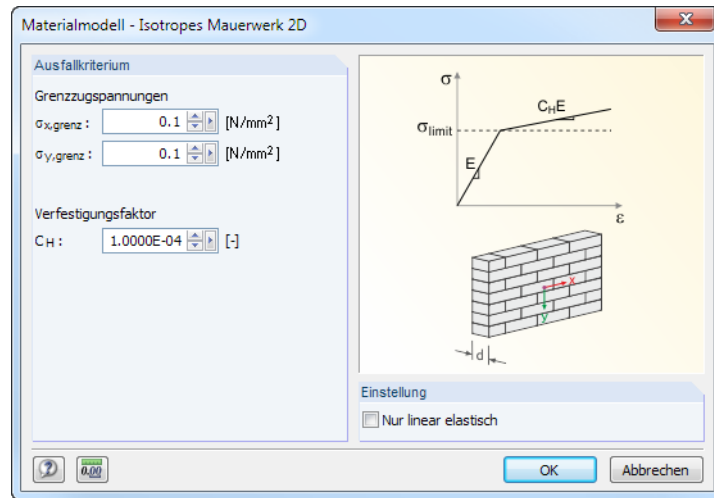


Bild 4.55 Dialog *Materialmodell - Isotropes Mauerwerk 2D*

Im Dialog können die *Grenzzugspannungen* in Richtung der Flächenachsen x und y definiert werden, d. h. parallel und senkrecht zu den Lagerfugen. Bei der Berechnung wird dann in mehreren Iterationen untersucht, welche finiten Elemente wegen des Ausfallkriteriums spannungslos werden.



Wenn eine Grenzzugspannung von null vorgegeben wird, setzt RFEM bei der Berechnung aus Stabilitätsgründen den Wert $1 \cdot 10^{-11}$ N/mm² an. Minimale Zugspannungen sind daher nicht ganz auszuschließen.

Sollten bei der Berechnung numerische Probleme auftreten, kann durch eine Erhöhung des *Verfestigungsfaktors* C_H versucht werden, eine Konvergenz zu erreichen.

Wenn das Mauerwerksmaterial schon vor dem Aufruf des *Materialmodell*-Dialogs in der Bibliothek festgelegt wurde, sind folgende Grenzwerte voreingestellt:

Norm	$\sigma_{x,grenz}$	$\sigma_{y,grenz}$
DIN 1053-100	f_{x2} Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge	0
EN 1996-1-1	f_{xk1} Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge	f_{xk2} Zugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge

Tabelle 4.1 Grenzzugspannungen nach Mauerwerksnormen



Folgender Beitrag beschreibt, wie Materialien für Mauerwerk angelegt werden können:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001291>



Ein weiterer Fachbeitrag gibt Hinweise zur Abschätzung des Tragverhaltens von Mauerwerk in RFEM:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001341>

Isotrope Beschädigung 2D/3D

Mit diesem Materialmodell kann das Materialverhalten von Stahlfaserbeton abgebildet werden, bei dem eine kontinuierliche Abminderung der Festigkeit infolge der Rissbildung auftritt.

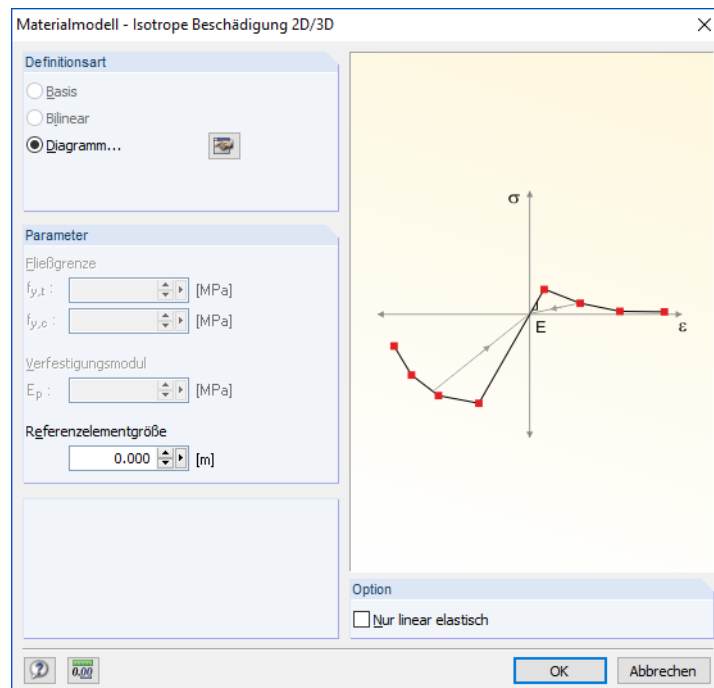



Bild 4.56 Dialog *Materialmodell - Isotrope Beschädigung 2D/3D*

Die Spannungs-Dehnungslinie des Stahlfaserbetons ist in einem *Diagramm* zu definieren, das über die Schaltfläche  zugänglich ist. Dieses Diagramm ist im [Bild 4.44](#) dargestellt.

Bei diesem Materialmodell ("Mazars damage model") wird die isotrope Steifigkeit mit einem skalaren Schädigungsparameter abgemindert. Dieser Schädigungsparameter bestimmt sich aus dem Verlauf der Spannung, die im *Diagramm* festgelegt ist. Dabei wird nicht die Richtung der Hauptspannungen berücksichtigt, sondern die Schädigung erfolgt vielmehr in Richtung der Vergleichsdehnung, die auch die dritte Richtung senkrecht zur Ebene erfasst. Der Zug- und Druckbereich des Spannungstensors wird separat behandelt. Es gelten jeweils unterschiedliche Schädigungsparameter.

Die *Referenzelementgröße* steuert, wie die Dehnung im Rissbereich auf die Länge des Elements skaliert wird. Mit dem voreingestellten Wert null erfolgt keine Skalierung. Damit wird das Materialverhalten des Stahlfaserbetons realitätsnah abgebildet.

In folgenden Fachbeiträgen finden Sie weiterführende Erläuterungen zum Materialmodell *Isotrope Beschädigung 2D/3D*:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001461>


<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001601>



Materialbibliothek

In einer umfangreichen, erweiterbaren Datenbank sind die Eigenschaften vieler Materialien hinterlegt.

Bibliothek aufrufen

Die Bibliothek kann im Dialog *Neues Material* (siehe Bild 4.40) über die Schaltfläche [Materialbibliothek] aufgerufen werden. In Tabelle 1.3 *Materialien* (vgl. Bild 4.41) ist diese Datenbank ebenfalls zugänglich: Setzen Sie den Cursor in Spalte A und betätigen dann die Schaltfläche  oder die Funktionstaste [F7].

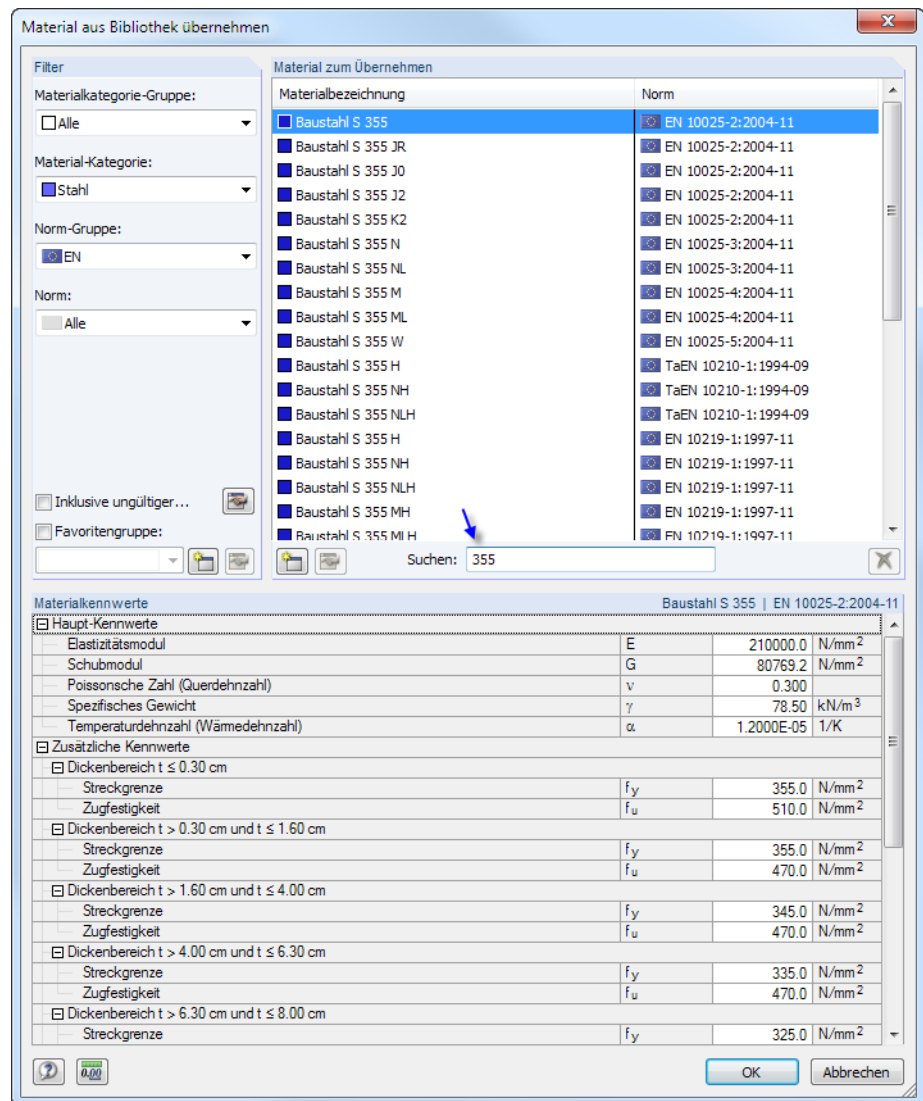


Bild 4.57 Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

In der Liste *Material zum Übernehmen* können Sie ein Material auswählen und dessen Kennwerte im unteren Bereich des Dialogs kontrollieren. Mit [OK] oder [↵] wird es in den vorherigen Dialog oder die Tabelle übernommen.

Im Eingabefeld *Suchen* ist eine Volltextsuche unter den Einträgen möglich (siehe Bild 4.55).

Bibliothek filtern

Da die Materialbibliothek sehr umfangreich ist, bietet der Abschnitt *Filter* verschiedene Selektionsmöglichkeiten. Sie können die Liste der Materialien nach den Kriterien *Materialkategorie-Gruppe*, *Material-Kategorie*, *Norm-Gruppe*, *Norm* und *Spezielle Anwendung* filtern. So lässt sich das Angebot reduzieren.

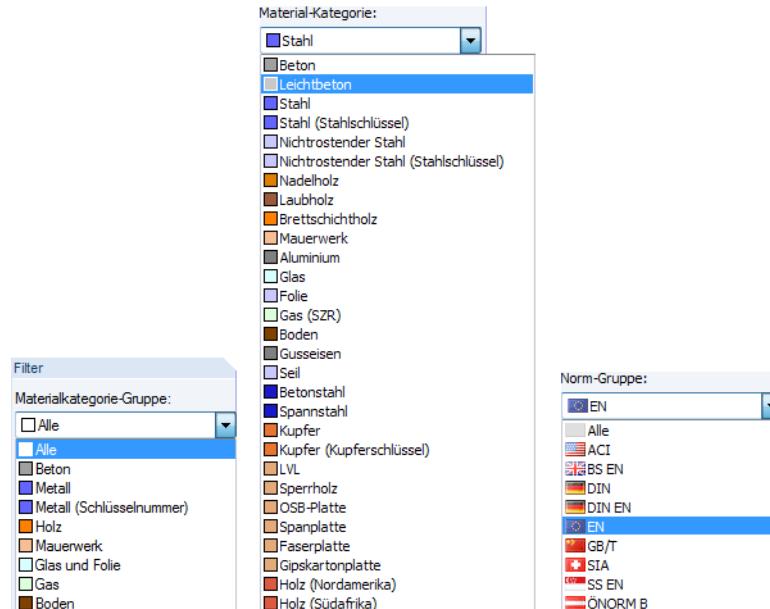
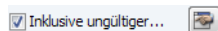


Bild 4.58 Filter für Materialkategorie-Gruppe, Material-Kategorie und Norm-Gruppe



Das Kontrollfeld *Inklusive ungültiger* in diesem Abschnitt steuert, ob auch die Materialien „alter“ Normen in der Bibliothek angezeigt werden.

Mit den Schaltflächen  und  können Kategorien erstellt und bearbeitet werden.

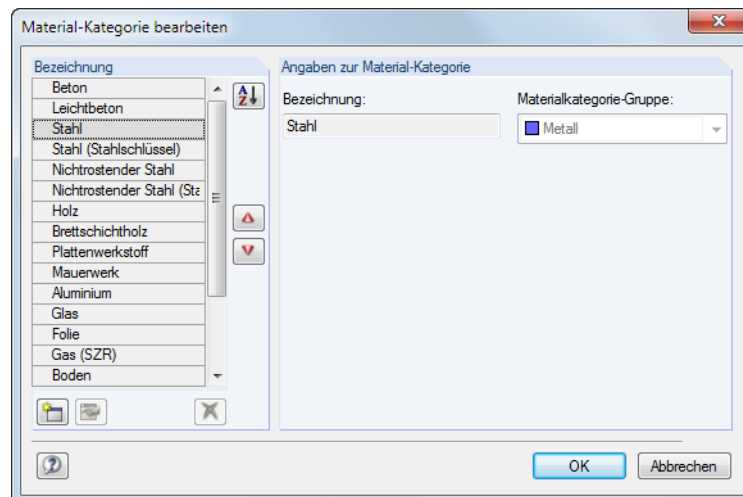
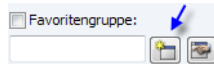


Bild 4.59 Dialog Material-Kategorie bearbeiten

Mit den Schaltflächen  und  lässt sich die Reihenfolge anpassen.



Favoriten anlegen

Meist sind für die tägliche Arbeit einige wenige Materialien ausreichend. Diese Materialien können als Favoriten markiert werden. Der Dialog zum Anlegen bevorzugter Materialien wird mit der Schaltfläche [Neue Favoritengruppe] aufgerufen.

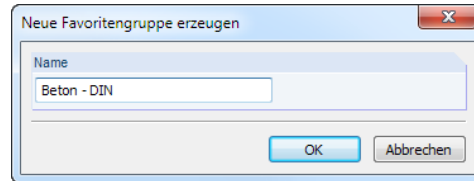


Bild 4.60 Dialog Neue Favoritengruppe erzeugen

Es ist der *Name* für die neue Favoritengruppe anzugeben. Nach [OK] erscheint ein Dialog, der wie die Materialbibliothek aufgebaut ist. Auch hier stehen die oben beschriebenen Filtermöglichkeiten zu Verfügung.

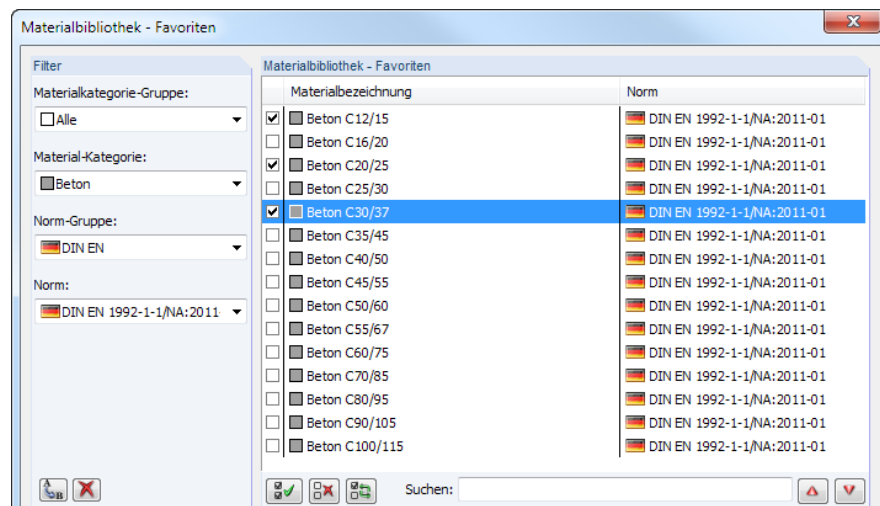


Bild 4.61 Dialog Materialbibliothek - Favoriten (Ausschnitt)

Im Abschnitt *Materialbibliothek - Favoriten* können bevorzugte Materialien mit einem Häkchen markiert werden. Mit den Schaltflächen und lässt sich auch die Reihenfolge ändern.

Nach dem Schließen des Dialogs präsentiert sich die Materialbibliothek in übersichtlicher Form, sobald das Kontrollfeld *Favoritengruppe* aktiviert ist und die Gruppe in der Liste feststeht.

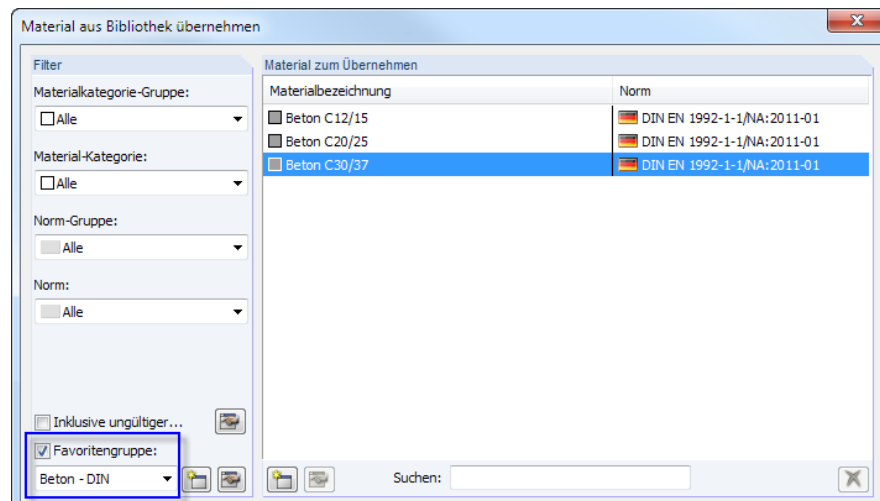



Bild 4.62 Dialog Material aus Bibliothek übernehmen mit Option Favoritengruppe

Bibliothek ergänzen

Die Materialdatenbank ist erweiterbar. Wird ein neues Material hinzugefügt, kann es modellübergreifend verwendet werden.

Klicken Sie in der Bibliothek auf die Schaltfläche  (links neben dem Suchen-Feld, siehe Bild 4.60 [↗](#)). Es erscheint der Dialog *Neues Material*. Die Parameter des in der Liste *Material zum Übernehmen* selektierten Eintrags sind voreingestellt. Das Anlegen eines neuen Materials wird also erleichtert, wenn zuerst ein Material mit ähnlichen Eigenschaften selektiert wird.

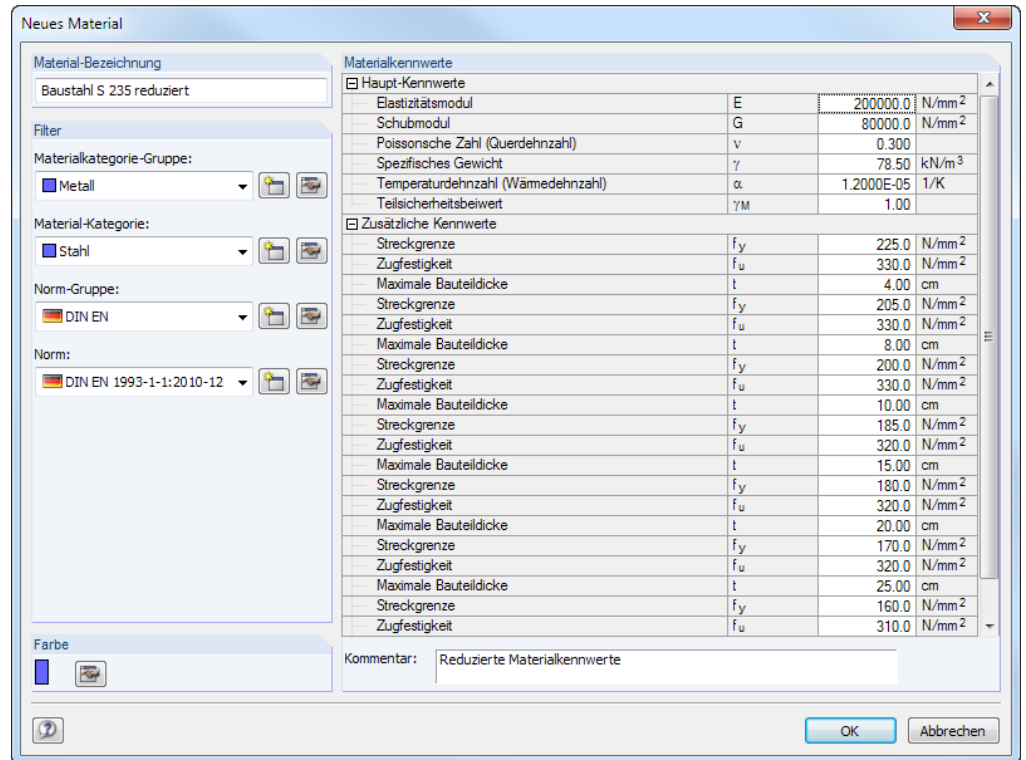


Bild 4.63 Dialog Neues Material

Legen Sie die *Material-Bezeichnung* fest, definieren die *Materialkennwerte* und legen die geeigneten Gruppen und Kategorien für die *Filter*-Funktionen fest.

Sichern der benutzerdefinierten Materialien

Verwenden Sie eigendefinierte Materialien, so können Sie vor der Installation eines Updates die Datei **Materialien_User.dbd** sichern. Diese befindet sich im Stammdatenordner von RFEM 5
 C:\ProgramData\Dlubal\RFEM 5.xx\General Data.

4.4

Flächen

Allgemeine Beschreibung

Mit Flächen wird nicht nur die Geometrie, sondern auch die Steifigkeit beschrieben, die sich aus den Material- und Dickeneigenschaften ergibt. Beim Generieren des FE-Netzes werden an Flächen 2D-Elemente erzeugt. Hintergrundinformationen zu den verwendeten Elementen finden Sie im [Kapitel 7.2.1](#).

Der Steifigkeitstyp *Null* ist für die Geometriebeschreibung von Volumenkörpern zu verwenden.

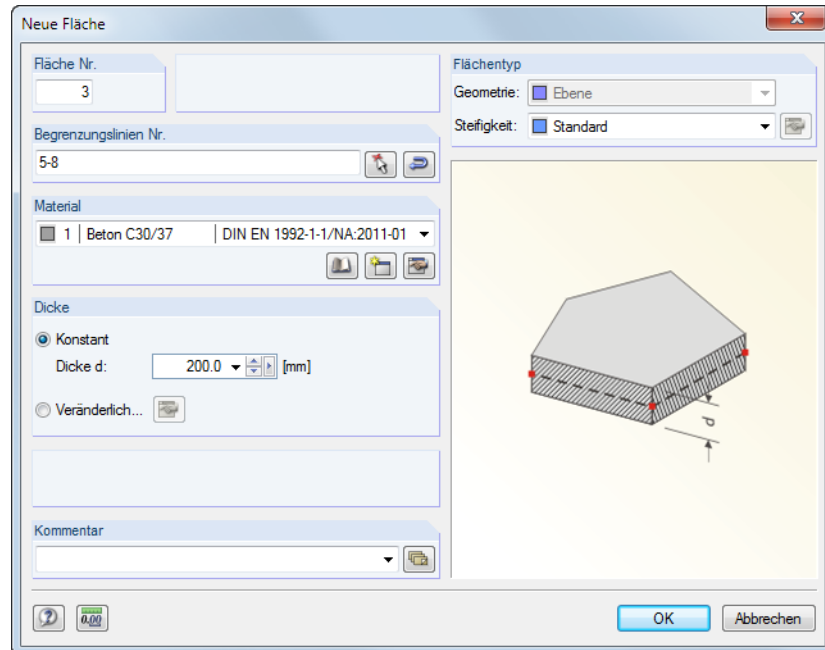


Bild 4.64 Dialog Neue Fläche

Fläche Nr.	Flächentyp		Begrenzungslinien Nr.	Material Nr.	Dicke Typ	Dicke d [mm]	Exzentrizität e _z [mm]	Integrierte Objekte			Fläche A [m ²]	Gewicht G [kg]	Kommentar
	Geometrie	Steifigkeit						Knoten	Linien	Öffnung			
1	Ebene	Standard	1,2,5,4	1	Konstant	200.0	0.0	3	1	53.611	26805.7	Decke	
2	Quadrangel	Standard	7,6,8,5	1	Konstant	200.0	0.0			37.699	18849.6	Schale	
3	Ebene	Orthotrop	24-29	1	Konstant	200.0	0.0			32.889	16444.3		
4	Rotiert	Standard	30/360.00/(7.000;2)	3	Konstant	20.0	0.0			122.232	19190.4		
5	Rghr	Standard	33/0.600	2	Konstant	10.0	0.0			18.850	1479.7		
6													

Bild 4.65 Tabelle 1.4 Flächen

Für die Modellierung sind verschiedene Geometrie- und Steifigkeitseigenschaften verfügbar. Die Einträge der beiden *Flächentyp*-Listen bzw. Tabellenspalten können – im Rahmen der typspezifischen Voraussetzungen – miteinander kombiniert werden.

Farbsymbole erleichtern die Aufgabe, die diversen Typen für *Geometrie* und *Steifigkeit* zuzuweisen. Diese Farben können im Modell zur Darstellung der einzelnen Flächentypen benutzt werden. Die Steuerung erfolgt im Zeigen-Navigator mit der Option *Farben in Grafik nach* (siehe [Kapitel 11.1.9](#)).

Flächentyp	
Geometrie	Steifigkeit
■ Ebene	■ Standard
■ Quadrangel	■ Orthotrop
■ B-Spline	■ Glas
■ Rotiert	■ Starr
■ Rghr	■ Membran - Isotrop
■ Trajektorie	■ Null

Flächentyp - Geometrie

Ebene Fläche

Ebene Flächen können grafisch durch das Aufziehen eines Rechtecks, Parallelogramms, Kreises, Rings, Polygons etc. definiert werden. Über die links dargestellte Listenschaltfläche oder das Menü sind verschiedene Formen ebener Flächen zugänglich.

Bei der grafischen Eingabe über eine der Schaltflächen öffnet sich folgender Dialog.

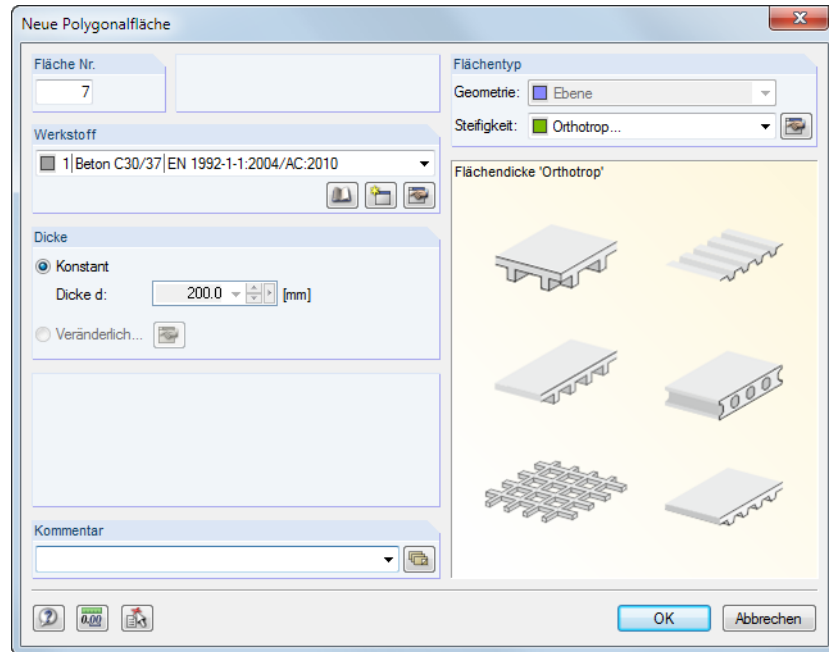
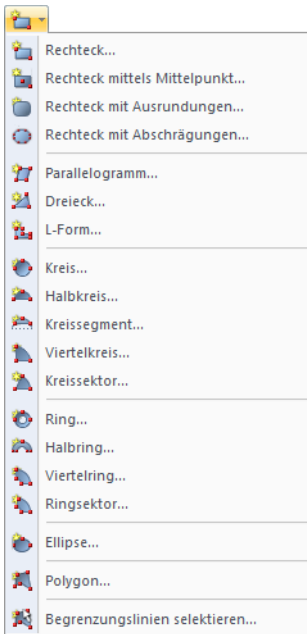


Bild 4.66 Dialog Neue Polygonalfläche

Zunächst sind neben der Flächennummer die Parameter *Material*, *Dicke* und *Steifigkeit* zu definieren. Nach [OK] können die Begrenzungslinien der Fläche im Arbeitsfenster durch Anklicken der relevanten Eckpunkte festgelegt werden.

Die Funktion [Begrenzungslinien selektieren] ermöglicht es, vorhandene Linien grafisch auszuwählen. Die Linien müssen einen geschlossenen Linienzug bilden, der in einer Ebene liegt. Die Linientypen sind im Kapitel 4.2 beschrieben.

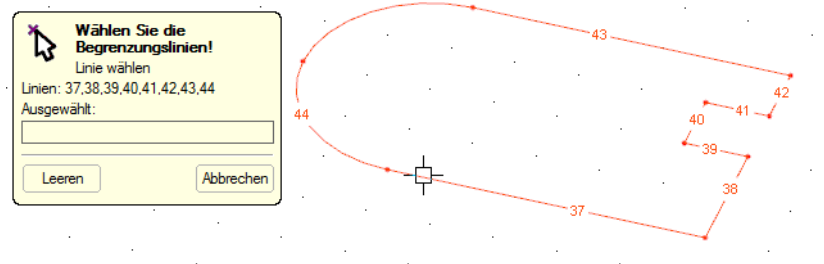


Bild 4.67 Selektieren der Begrenzungslinien in der Grafik

Die Flächen werden automatisch erkannt, sobald eine ausreichende Anzahl an Begrenzungslinien feststeht.



Quadrangelfläche

Dieser Flächentyp stellt eine allgemeine vierseitige Fläche dar. Als Begrenzungslinien sind neben geraden Linien auch Bögen, Polylinien oder Splines möglich. Mit diesem Flächentyp lassen sich Schalen modellieren, denn die Begrenzungslinien müssen nicht in einer Ebene liegen.

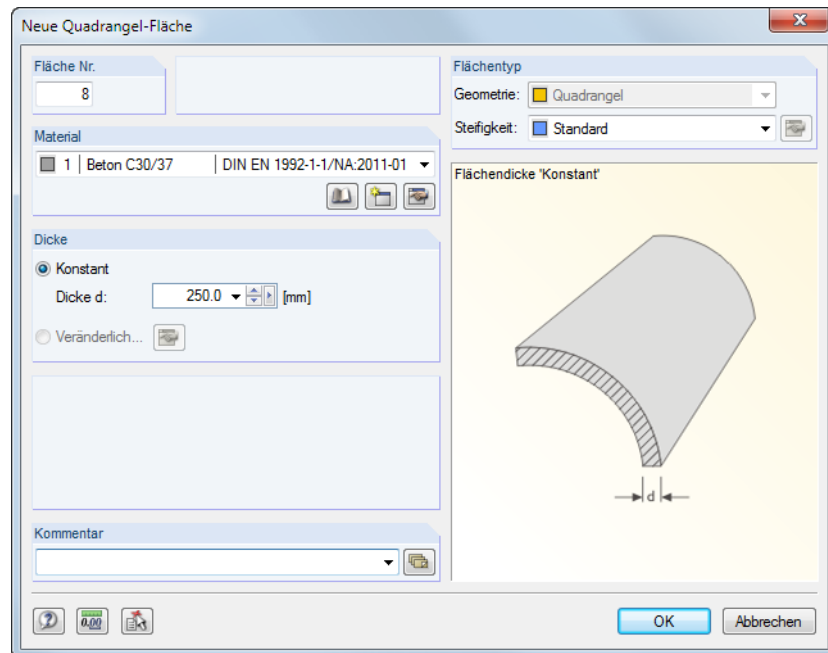


Bild 4.68 Dialog Neue Quadrangelfläche

Die Begrenzungslinien können nach [OK] grafisch ausgewählt werden.

Rotationsfläche



Eine Rotationsfläche wird erzeugt, indem eine Linie um eine feste Achse gedreht wird. Die Fläche ergibt sich aus der Anfangs- und Endlage der Linie sowie den rotierten Definitionspunkten der Linie.

Der Dialog *Neue Rotationsfläche* besteht aus zwei Registern. Im Register *Basis* sind *Material*, *Dicke* und *Steifigkeit* der Fläche festzulegen (siehe [Bild 4.67](#)). Eine veränderliche Flächendicke ist nicht zulässig.

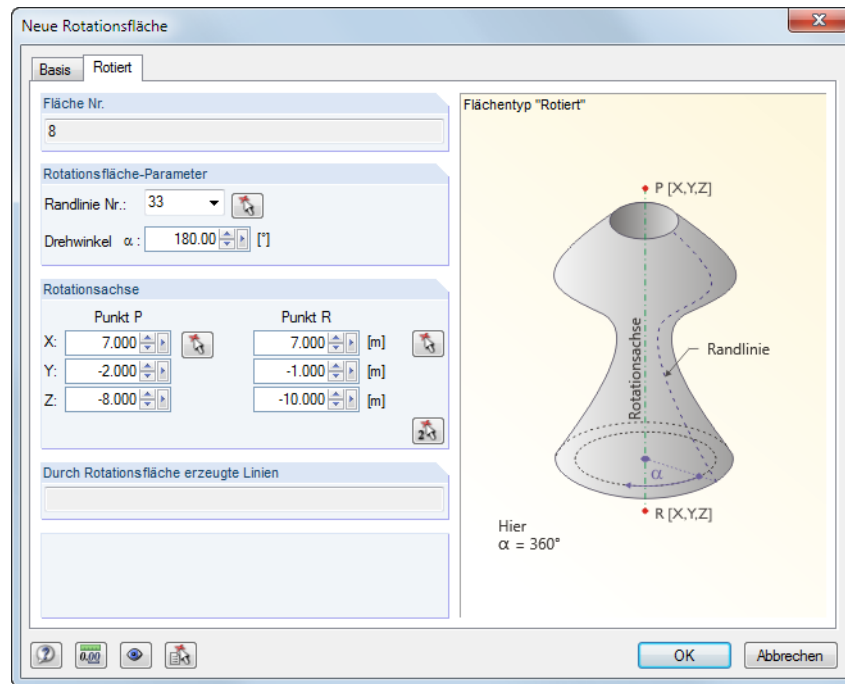



Bild 4.69 Dialog Neue Rotationsfläche, Register Rotiert

Im Register *Rotiert* ist der *Drehwinkel* anzugeben. Die beiden Punkte der *Rotationsachse* können über die Koordinaten oder grafisch mit  definiert werden. Nach [OK] ist die zu rotierende *Randlinie* im Arbeitsfenster per Mausklick festzulegen.

Rotationsflächen lassen sich auch aus generierten Linien erzeugen.

Rohr



Eine Rohrfläche wird erzeugt, indem die Rohrmittellinie in einem Radius um diese Achse rotiert wird.

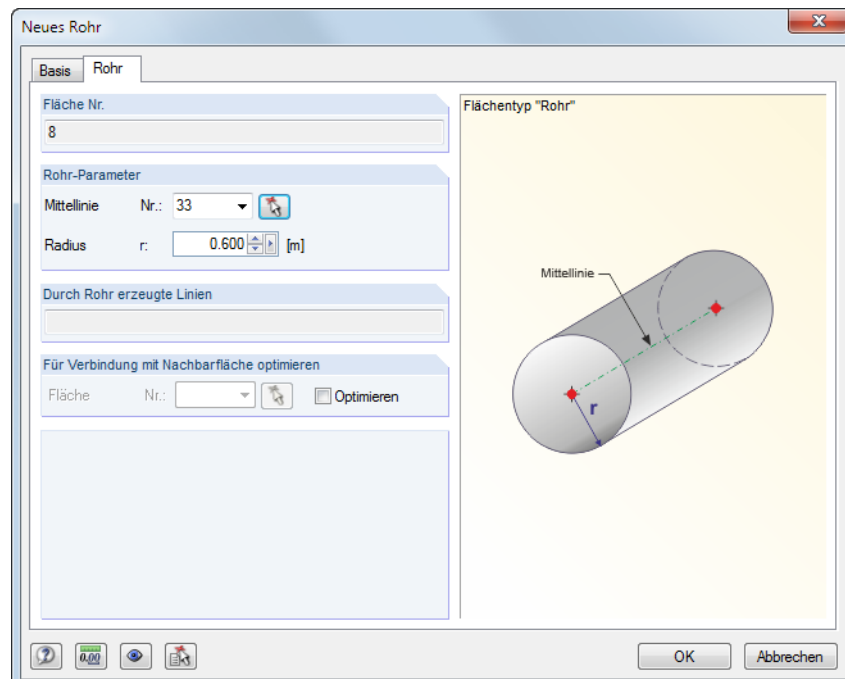


Bild 4.70 Dialog Neues Rohr, Register Rohr



Der Dialog *Neues Rohr* ist in zwei Register gegliedert. Im Register *Basis* sind die Parameter *Material*, *Dicke* und *Steifigkeit* der Fläche, im Register *Rohr* die Parameter *Mittellinie* und *Radius r* festzulegen. Die *Mittellinie* lässt sich auch grafisch bestimmen.

Mit der Rohrfläche werden zwei Kreise und eine zur Rohrachse parallele Polylinie erzeugt.

B-Splinefläche



Eine B-Splinefläche ähnelt einer Quadrangelfläche (siehe [Bild 4.66](#)). Zusätzlich werden Hilfsknoten auf der Fläche erzeugt. Durch das nachträgliche Anpassen der Hilfsknoten-Koordinaten kann die Form der Fläche beeinflusst werden.

Der Eingabedialog ist in zwei Register gegliedert. Im Register *Basis* sind die Parameter *Material*, *Dicke* und *Steifigkeit* der Fläche festzulegen. Eine veränderliche Flächendicke ist nicht zulässig.

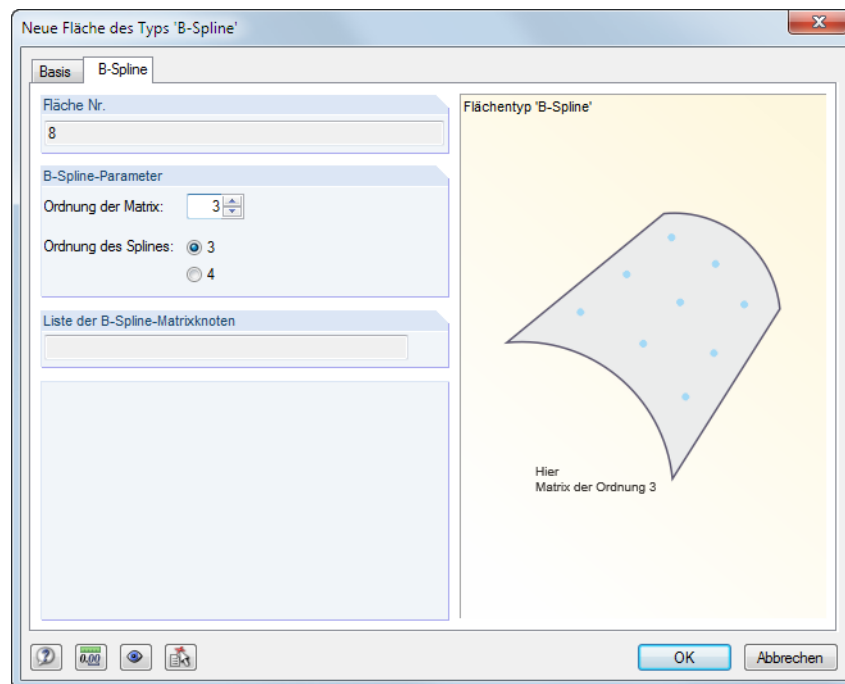


Bild 4.71 Dialog *Neue Fläche des Typs 'B-Spline'*, Register *B-Spline*

Im Register *B-Spline* wird über das Eingabefeld *Ordnung der Matrix* angegeben, wie viele Hilfsknoten erzeugt werden: Bei der Eingabe von z. B. „3“ wird ein Raster von 3 x 3 Hilfsknoten über die Fläche gelegt. Das Auswahlfeld *Ordnung des Splines* steuert, ob ein Polynom dritten oder vierten Grades zur Berechnung der Fläche verwendet wird.

NURBS-Fläche



NURBS-Flächen werden aus vier geschlossenen NURBS-Linien (siehe [Kapitel 4.2](#)) gebildet. Sie ermöglichen die Modellierung nahezu beliebiger Freiformflächen.

Bei der Eingabe der Begrenzungslinien ist zu beachten, dass die jeweils gegenüberliegenden Paare der NURBS-Linien zueinander „kompatibel“ sind: Nur bei gleicher Anzahl an Kontrollpunkten liegt auch die gleiche Ordnung der gegenüberliegenden NURBS-Linien vor.

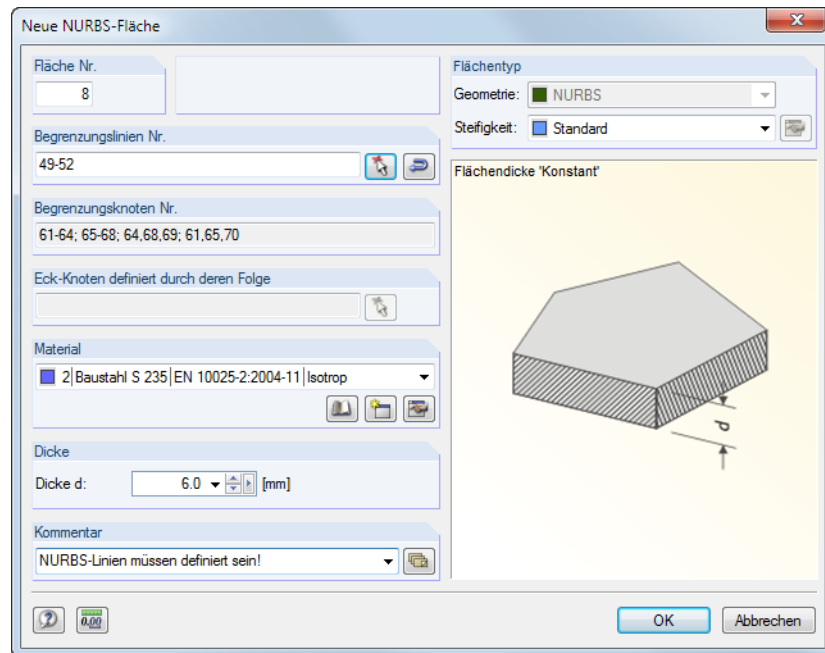


Bild 4.72 Dialog Neue NURBS-Fläche

Trajektorienfläche



Bei einer Trajektorienfläche wird aus einem Anfangsprofil eine räumlich gekrümmte Fläche erzeugt, die auf eine beliebige Trajektorie bezogen ist.

Der Dialog *Neue Trajektorienfläche* ist in zwei Register gegliedert. Im Register *Basis* sind die Parameter *Material*, *Dicke* und *Steifigkeit* der Fläche festzulegen.

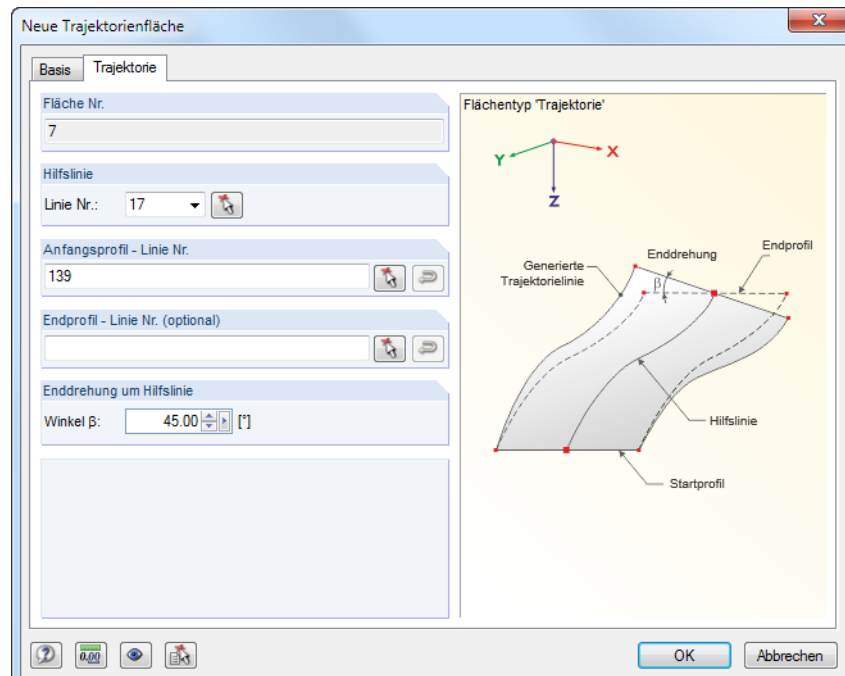


Bild 4.73 Dialog Neue Trajektorienfläche, Register Trajektorie



Im Register *Trajektorie* ist die Nummer der *Hilfslinie* anzugeben oder grafisch auszuwählen, die die Bezugslinie der Fläche darstellt. Anschließend ist das *Anfangsprofil* in der Grafik zu bestimmen. Gegebenenfalls wird eine zweite Linie als *Endprofil* festgelegt. Der Winkel β beschreibt die Verdrehung der generierten, parallelen Begrenzungslinie gegenüber der Trajektorie.

Komponente

Dieser Eintrag erscheint in der Tabellenspalte und im Navigator, wenn eine Durchdringung aus Flächen erzeugt wurde (siehe [Kapitel 4.22](#)). Für die Komponenten von Durchdringungsflächen stehen die gleichen Bearbeitungsfunktionen wie für „vollwertige“ Flächen zur Verfügung. Damit lassen sich schnell die Eigenschaften von Teilflächen ändern, ohne erneut eine Durchdringung zu erzeugen.

Die Ursprungsfläche einer Komponente wird im Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Bauteil* angegeben.



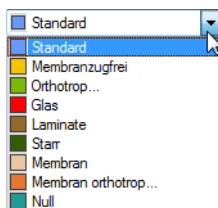
Bild 4.74 Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Bauteil*



Über die Schaltfläche [Gehe zu] lässt sich der Bearbeitungsdialog der Ursprungsfläche aufrufen.

Flächentyp - Steifigkeit

In der Liste des Dialogs bzw. der Tabelle stehen verschiedene Steifigkeitsmodelle zur Auswahl, die eine realitätsnahe Modellierung ermöglichen.



Standard

Die Fläche überträgt Momente und Membrankräfte. Dieser Ansatz beschreibt das allgemeine Verhalten eines homogenen und isotropen Materials. Die Steifigkeitseigenschaften der Fläche sind richtungsunabhängig.

Membranzugfrei

Es werden nur Momente und Membrankräfte im Druckzustand übertragen. Bei Membrankräften, die Zug verursachen, erfolgt ein Ausfall der betroffenen Flächenelemente (Beispiel: Lochleibung).

Orthotrop

Es liegen unterschiedliche Steifigkeiten in beide Flächenrichtungen vor (siehe [Kapitel 4.12](#)). Die Parameter können über die [Bearbeiten]-Schaltfläche definiert werden.

Alternativ kann dem Material eine Orthotropieeigenschaft zugewiesen werden (siehe [Kapitel 4.3](#)). Damit lässt sich die Definition für jede einzelne Fläche umgehen.

Glas

Dieser Steifigkeitstyp wird für das Zusatzmodul RF-GLAS benötigt. Es werden Momente und Membrankräfte übertragen, jedoch in RFEM keine Spannungen ermittelt. Die eigentliche Spannungsberechnung erfolgt erst in RF-GLAS.

Laminate

Bei diesem Steifigkeitstyp werden Momente und Membrankräfte übertragen. Zur Berechnung des Laminatmodells wird das Zusatzmodul RF-LAMINATE benötigt. Dort erfolgt auch die eigentliche Spannungsberechnung. In RFEM werden keine Spannungen ausgegeben.



Starr

Es werden sehr steife Flächen erzeugt, die eine starre Verbindung zwischen den angrenzenden Objekten herstellen.

Membran

Die Fläche weist eine gleichförmige Steifigkeit in alle Richtungen auf. Es werden nur Membrankräfte übertragen.

Membran orthotrop



Es werden nur Membrankräfte übertragen. Die Steifigkeiten in beide Flächenrichtungen sind unterschiedlich ([Kapitel 4.12](#)) und können über die Schaltfläche [Bearbeiten] festgelegt werden.

Null

Nullflächen werden zur Definition von Volumenkörpern benötigt (siehe [Kapitel 4.5](#)).

Begrenzungslinien Nr.

Dieses Eingabefeld bzw. diese Tabellenspalte verwaltet die Randlinien der Fläche. Die Linien müssen einen geschlossenen Linienzug bilden.

Bei Rotationsflächen erscheinen in der Tabellenspalte die Generierungsparameter.

Material Nr.

In der Liste der bereits angelegten Materialien kann ein Eintrag ausgewählt werden. Die Materialfarben erleichtern die Zuweisung.

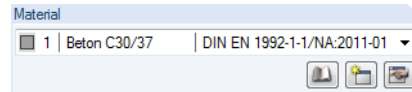


Bild 4.75 Schaltflächen im Abschnitt *Material*

Im Dialog *Neue Fläche* befinden sich unterhalb der Liste drei Schaltflächen. Sie ermöglichen den Zugang zur Materialbibliothek oder das Anlegen bzw. Bearbeiten eines Materials.

Im [Kapitel 4.3](#) auf finden Sie ausführliche Hinweise zu den Materialien.

Dicke

Typ

Es besteht die Wahlmöglichkeit zwischen zwei Typen der Flächendicke.

- Konstant

Die Fläche ist an jeder Stelle gleich dick.

- Veränderlich



Die Dicke der Fläche ist linear veränderlich (siehe [Kapitel 4.11](#)). Die Parameter können über die Schaltfläche [Bearbeiten] definiert werden.



Dicke d

In diesem Eingabefeld ist die Flächendicke d anzugeben – sofern keine veränderliche Dicke oder Nullfläche definiert ist. Bei den Steifigkeiten *Standard*, *Membranzugfrei*, *Glas* und *Membran* wird diese Dicke zur Ermittlung des Eigengewichts und der Steifigkeit, bei den Steifigkeiten *Orthotrop* und *Membran orthotrop* nur zur Berechnung des Eigengewichts benutzt (bei orthotropen Flächen sind die Steifigkeiten gesondert zu definieren).

Die Flächendicken lassen sich am Modell mit unterschiedlichen Farben visualisieren: Aktivieren Sie im Zeigen-Navigator unter **Modell** → **Flächen** das Kontrollfeld *Farbskala der Dicken im Panel* (siehe folgendes Bild).

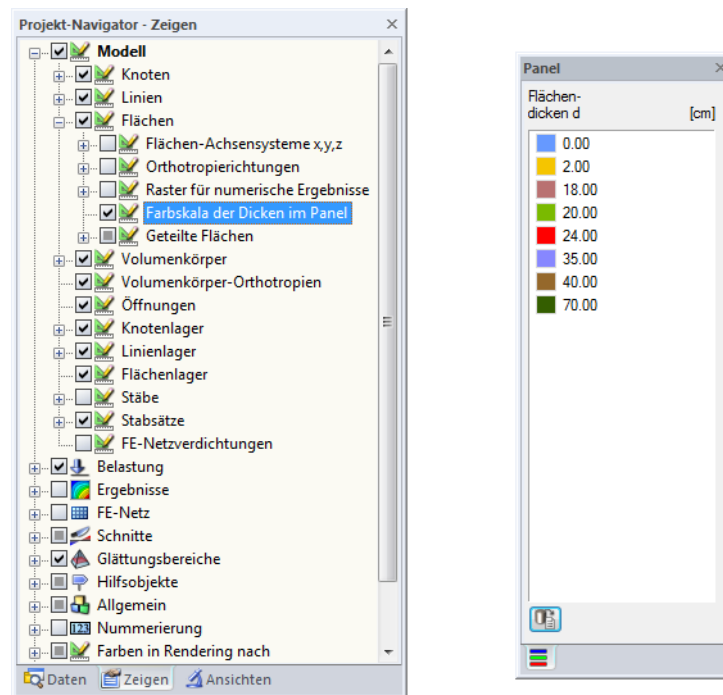


Bild 4.76 Zeigen-Navigator: Flächen → Farbskala der Dicken im Panel

Exzentrizität

Die Ebene in Flächenmitte stellt die Bezugsfläche der Dicke dar. Sie wird in gleichen Anteilen beidseits dieser „Schwerebene“ angenommen. Dies kann im Zeigen-Navigator über die Option **Rendering** → **Modell** → **Vollmodell** → **Flächen** → **Gefüllt einschließlich Dicke** überprüft werden (siehe Bild 4.118 [a](#)).

Durch die Vorgabe einer *Exzentrizität* e_z ist es möglich, einen Höhenversatz für die Fläche anzuordnen. Auf diese Weise wird erreicht, dass nebeneinander liegende Flächen mit unterschiedlich dicken Flächen eine einheitliche Ober- oder Unterkante erhalten.

Die Exzentrizität wirkt sich in Form von Zusatzmomenten auf die Schnittgrößen der Fläche aus.

Integrierte Objekte

RFEM erkennt in der Regel alle Objekte automatisch, die auf einer Fläche liegen und die nicht zur Flächendefinition benutzt werden. In den Tabellenspalten bzw. Eingabefeldern des Dialogs werden die Nummern dieser Knoten, Linien und Öffnungen angezeigt.

Bild 4.77 Dialog Fläche bearbeiten, Register Integriert

Falls ein Objekt nicht erkannt wird, kann es manuell integriert werden: Doppelklicken Sie die Fläche, um den Dialog *Fläche bearbeiten* aufzurufen. Im Register *Integriert* deaktivieren Sie dann die *Automatische Objekterkennung*. Dadurch werden die Eingabefelder der Abschnitte links davon zugänglich. Die Objekte lassen sich mit auch grafisch bestimmen.

Fläche

Zu Kontrollzwecken wird in dieser Tabellenspalte der Flächeninhalt einer jeden Fläche angegeben. Die Flächen von Öffnungen sind nicht berücksichtigt, der Wert stellt somit die Nettofläche dar.

Gewicht

In der vorletzten Tabellenspalte wird die Masse jeder Fläche ausgewiesen. Sie ermittelt sich aus dem Flächeninhalt und dem spezifischen Gewicht des Materials.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden.

Achsensystem

Jede Fläche besitzt ein lokales Koordinatensystem. Dieses Flächenachsensystem ist für verschiedene Eingabeparameter wie z. B. Orthotropie- und Bettungseigenschaften oder die Richtung einer Flächenlast bedeutsam. Die Grundschnittgrößen sind ebenfalls auf ein Flächenachsensystem bezogen.

Die Koordinatensysteme werden eingeblendet, sobald sich der Mauszeiger über einer Fläche befindet. Sie lassen sich auch über das Kontextmenü einer Fläche ein- und ausblenden (siehe [Bild 4.76](#)).

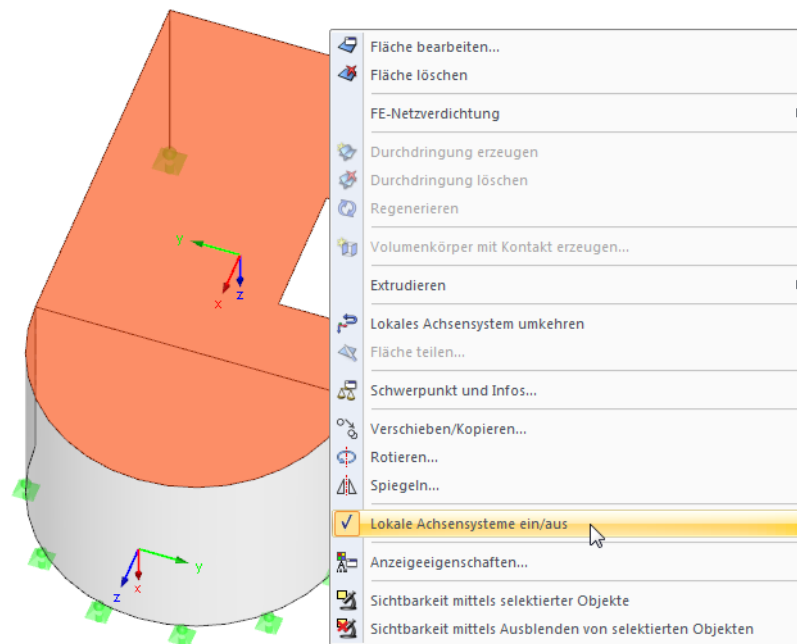


Bild 4.78 Fläche-Kontextmenü

Falls erforderlich, können die lokalen Flächenachsen angepasst werden:

- Kontextmenü-Option *Lokales Achsensystem umkehren*

Die Ausrichtung der lokalen z-Achse wird umgekehrt, die übrigen Achsen werden nach der Drei-Finger-Regel angepasst. Dies bewirkt, dass die Bettungen auf der anderen Flächenseite angetragen werden oder die „obere“ und „untere“ Bewehrungslagen für die Stahlbetonbemessung die Flächenseiten wechseln.

- Dialog *Fläche bearbeiten*

Der Dialog *Fläche bearbeiten* wird durch Doppelklicken der Fläche aufgerufen. Im Register *Achsen* können die lokalen Flächenachsen für die *Eingabe* und die *Ergebnisse* angepasst werden.

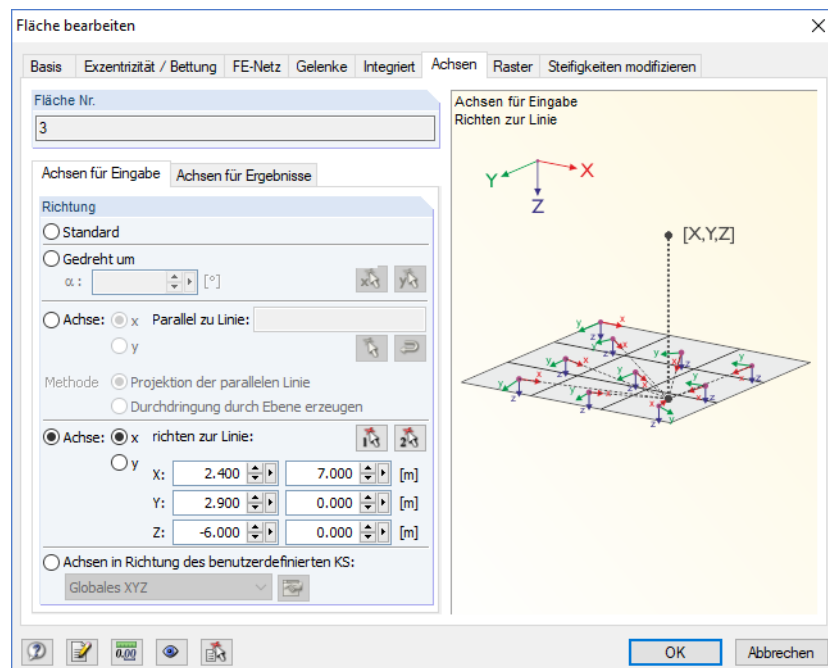


Bild 4.79 Dialog Fläche bearbeiten, Register Achsen

In den beiden Unterregistern besteht die Möglichkeit, die lokale Flächenachse x oder y *parallel* zu einer Linie, auf den Schnittpunkt einer Linie mit der Fläche (*richten zu Linie*, für radiales Achsensystem) oder die Achsen des *benutzerdefinierten Koordinatensystems* (siehe Kapitel 11.3.4) auszurichten.

Raster

Jede Fläche ist mit einem Raster überzogen, das für die Ausgabe der Ergebnisse in den Tabellen benutzt wird. Dieses Raster ist unabhängig vom FE-Netz.

Nähere Informationen zum Flächenraster und zu den Anpassungsmöglichkeiten der Rasterpunkte finden Sie im Kapitel 8.13.

Steifigkeiten modifizieren

Bei den Flächentypen *Standard* und *Membranzugfrei* ist das Dialogregister *Steifigkeiten modifizieren* verfügbar. Hier können die Flächensteifigkeiten beeinflusst werden.

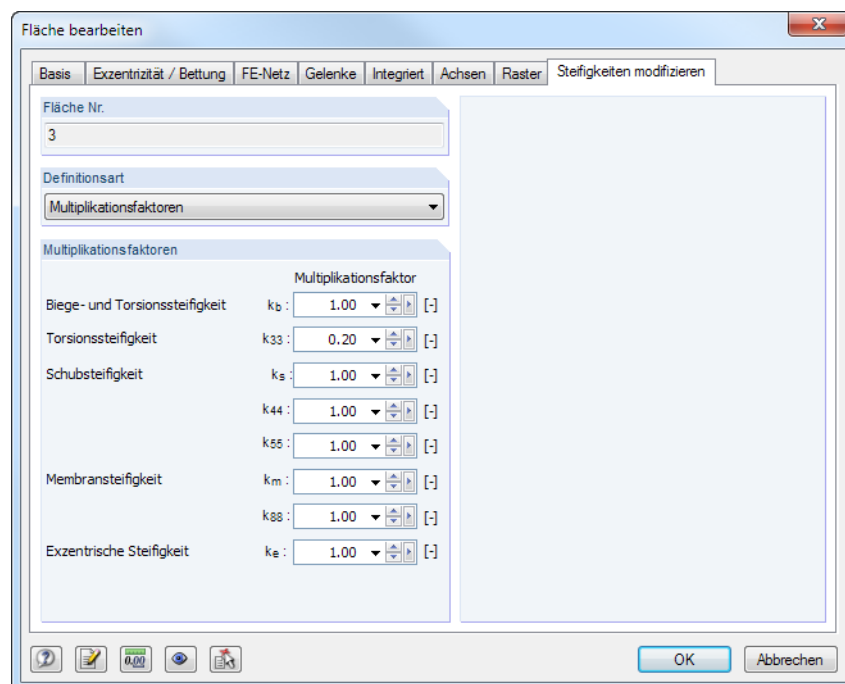
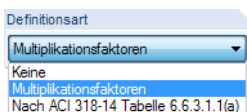


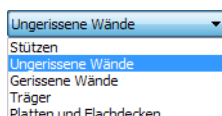
Bild 4.80 Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Steifigkeiten modifizieren*



Die *Definitionsart* der Steifigkeitsanpassung kann in der Liste ausgewählt werden. Wird *Keine* Änderung der Steifigkeit angesetzt, so gehen alle Steifigkeitsanteile mit dem Faktor 1,00 in die Berechnung ein.

Mit der Option *Multiplikationsfaktoren* lassen sich die Steifigkeitsbeiwerte k für die Torsions-, Biege-, Schub-, Membran- und exzentrischen Steifigkeiten der Fläche benutzerdefiniert festlegen. Die Flächen-Steifigkeitsglieder sind in Gleichung 4.20 dargestellt.

Die *Definitionsart Nach ACI 318-14 Tabelle 6.6.3.1.1(a)* stellt die Reduktionsfaktoren gemäß der US-Stahlbetonbaunorm ein, die je nach *Bauteiltyp* gelten. Die Liste bietet hierbei verschiedene Auswahlmöglichkeiten, um die adäquaten Beiwerte z. B. für Wände oder Platten anzusetzen.



4.5

Volumenkörper

Allgemeine Beschreibung



Mit Volumenkörpern werden in RFEM räumliche Körper beschrieben. Beim Generieren des FE-Netzes werden dort 3D-Elemente erzeugt. Durch Volumen lassen sich auch Orthotropieeigenschaften oder Kontaktproblematiken zwischen Flächen abbilden. Zudem können Volumenkörper mit den Eigenschaften von Gasen belegt werden.

In der Regel sind die Volumenbegrenzungsflächen mit dem Steifigkeitstyp *Null* zu definieren (siehe [Kapitel 4.4](#)). Falls jedoch in einem Modell, das den Kontakt zwischen zwei Flächen abbildet, kein weiteres Volumen anschließt, sind beide Kontaktflächen mit einer Steifigkeit zu versehen.



Volumenkörper lassen sich schnell grafisch aus Flächen erzeugen. Die Generierungsfunktionen sind in den [Kapiteln 11.7.1.3](#) und [11.7.1.4](#) beschrieben.



Für Volumenkörper ist derzeit keine Stahlbetonbemessung implementiert.

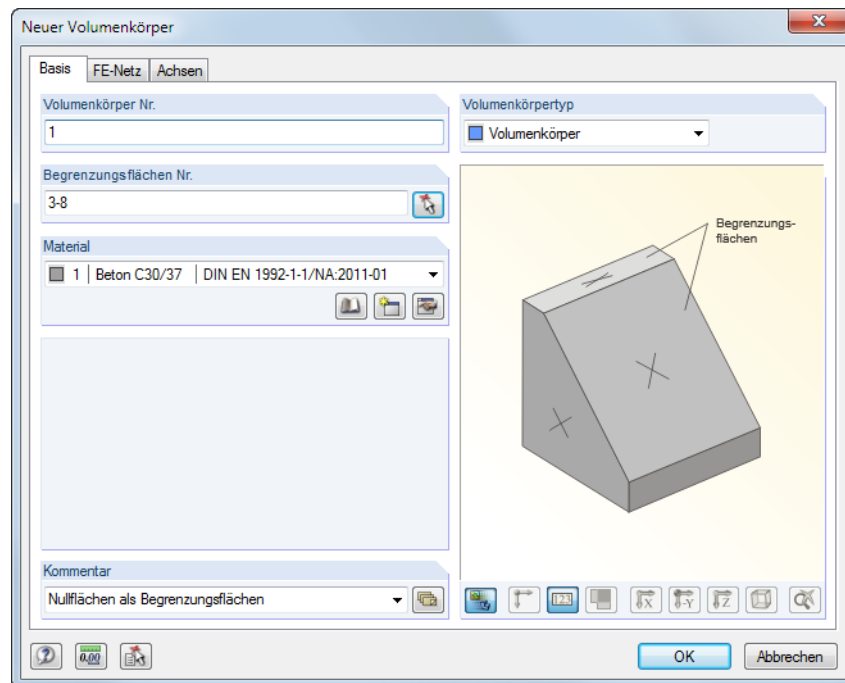
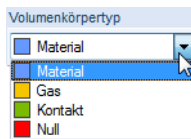


Bild 4.81 Dialog Neuer Volumenkörper

1.5 Volumenkörper										
Volumen Nr.	A	B	C	D		E	F	G	H	I
	Volumenkörpertyp	Begrenzungsflächen Nr.	Material Nr.	Gas (Herstellung)		Zusammengesetzte Volumenkörper	Inhalt V [m ³]	Gewicht G [kg]	Kommentar	
				Druck P [bar]	Temperatur T [°C]					
1	Material	3-8	1			<input type="checkbox"/>	1.800	4500.0	Nullflächen	
2	Kontakt	9-14	2			<input type="checkbox"/>	0.794	0.0		
3	Gas	15-20	4	1.00	20.0	<input type="checkbox"/>	10.689	0.0	Helium	
4										
5										
6										
7										

Bild 4.82 Tabelle 1.5 Volumenkörper



Volumenkörpertyp

In der Liste des Dialogs bzw. der Tabelle stehen verschiedenen Steifigkeitstypen zur Auswahl, die eine realitätsnahe Modellierung ermöglichen. Jedem Typ ist eine Farbe zugeordnet; sie kann im Modell zur Unterscheidung der Volumenkörper benutzt werden. Die Steuerung erfolgt im Zeigen-Navigator mit der Option *Farben in Grafik nach* (siehe [Kapitel 1 1.1.9](#)).

Material

Das Standardmodell stellt ein 3D-Objekt mit den volumenspezifischen Eigenschaften eines homogenen und isotropen Materials dar. Die Begrenzungsflächen sollten deshalb als Steifigkeitstyp *Null* definiert werden.

Falls der Volumenkörper orthotrope Eigenschaften aufweist, werden die Steifigkeiten ebenfalls aus den Materialkennwerten abgeleitet. Die elastischen Steifigkeiten des dreidimensionalen Materialmodells sind im Dialog *Materialmodell - Orthotrop elastisch 3D* zu definieren (siehe [Bild 4.49](#)).

Gas

Mit diesem Typ lassen sich Volumenkörper modellieren, die die Eigenschaften eines idealen Gases aufweisen (z. B. Behälter, Hüpfburg, Isolierglas). Die Gas-Parameter sind in einem separaten Register des Dialogs anzugeben (siehe [Bild 4.84](#)).


Kontakt

Der Volumentyp *Kontakt* eignet sich zur Modellierung von Kontakteigenschaften zwischen zwei Flächen. Die Parameter sind in einem separaten Register des Dialogs festzulegen (siehe [Bild 4.83](#)).

Null

Ein Null-Volumenkörper mitsamt Belastung wird in der Berechnung nicht berücksichtigt. Damit kann beispielsweise untersucht werden, wie sich das Tragverhalten des Modells ändert wenn ein Volumenkörper nicht wirksam ist. Das Volumen muss nicht gelöscht werden, die Lasten bleiben ebenfalls erhalten.

Begrenzungsflächen Nr.

Ein Volumenkörper wird durch Flächen definiert, die einen Raum vollständig umschließen. Die Nummern der Flächen sind in das Eingabefeld einzutragen oder mit  in der Grafik auszuwählen.

Sind die Begrenzungsflächen im Dialog *Neuer Volumenkörper* vollständig definiert, kann über die Schaltfläche [Rendering] unterhalb der Grafik eine Vorschau einblendend werden.

Material Nr.

In der Liste der bereits angelegten Materialien kann ein Eintrag ausgewählt werden. Die Materialfarben erleichtern die Zuweisung.

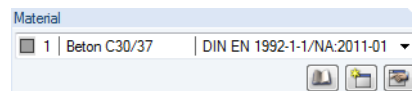


Bild 4.83 Schaltflächen im Abschnitt *Material*

Im Dialog *Neues Volumen* befinden sich unterhalb der Liste drei Schaltflächen. Sie ermöglichen den Zugang zur Materialbibliothek oder das Anlegen bzw. Bearbeiten eines Materials.

Das [Kapitel 4.3](#) enthält ausführliche Hinweise zu den Materialien.



Zusammengesetzte Volumenkörper

Diese Spalte erscheint, wenn eine Durchdringung von Volumenkörpern erzeugt wurde.

Durchdringungen lassen sich nicht nur für Flächen, sondern auch für Volumen generieren. RFEM ermittelt die Verschneidungslinien von ineinanderliegenden Volumen und erzeugt 3D-Volumenobjekte als Vereinigung, Ausschnitt oder reine Schnittmenge. Aus den zwei ursprünglichen Objekten entsteht so ein neuer Volumenkörper.

Die Ermittlung der Durchdringungsfigur ist rechenaufwendig und zeitintensiv. Bei jeder Änderung des Modells ist eine Neuberechnung der Geometrie erforderlich.

Durchdringung erzeugen

Durchdringungen von Volumen lassen sich schnell grafisch erzeugen: Selektieren Sie die zwei Volumen durch Aufziehen eines Fensters oder per Mehrfachselektion mit gedrückter [Strg]-Taste. Klicken Sie dann eines der Objekte mit der rechten Maustaste an, um das Kontextmenü aufzurufen. Dort wählen Sie den Menüeintrag **Volumen** → **Neues zusammengesetztes Volumen**.

Es erscheint der Dialog *Neuer Volumenkörper*. Das Register *Zusammengesetzte Volumenkörper* regelt, wie die beiden Volumen verknüpft werden.

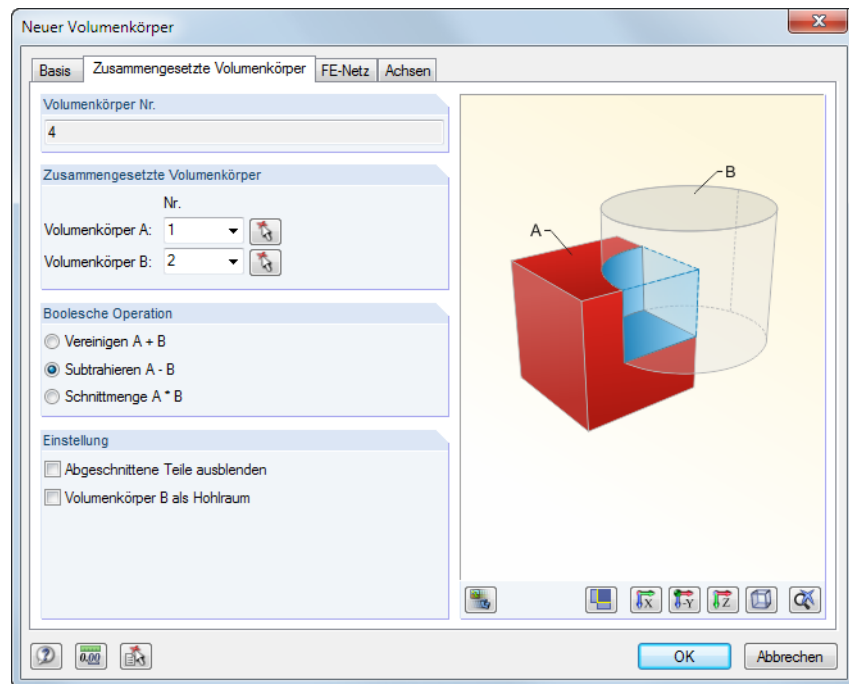
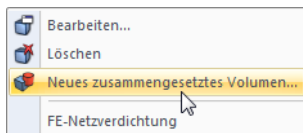


Bild 4.84 Dialog Neuer Volumenkörper, Register Zusammengesetzte Volumenkörper

Die Nummern der beiden selektierten Volumen sind in den Eingabefeldern eingetragen. Über die Liste oder mit wären Änderungen möglich.

Boolesche Operation

Es bestehen drei Möglichkeiten, die Volumen zu einem neuen Objekt zu verknüpfen:

- **Vereinigen:** Volumen A und B werden zu einer Einheit verschmolzen.
- **Subtrahieren:** Volumen B wird aus Volumen A herausgeschnitten.
- **Schnittmenge:** Es wird der gemeinsame Bereich von Volumen A und B ermittelt.

Das Grafikschemata rechts veranschaulicht das Prinzip der einzelnen Verknüpfungen. Über die Schaltfläche [Grafik/Rendering] ist es möglich, zwischen dem Schema und der Modelldarstellung zu wechseln.

Der Abschnitt *Einstellung* regelt, wie die abgeschnittenen Teile behandelt werden. Beim Subtrahieren von Volumen lassen sich mit der Option *Hohlraum* z. B. Bohrlöcher modellieren.

Nach [OK] wird das zusammengesetzte Volumen gebildet. Dabei entstehen Durchdringungen von Flächen (siehe [Kapitel 4.22](#)) mit aktiven oder inaktiven Flächenkomponenten (siehe [Kapitel 4.4](#)). Gleichzeitig werden die ursprünglichen Volumen auf den Typ *Null* geändert.

Inhalt V

In dieser Tabellenspalte wird der Rauminhalt eines jeden Volumenkörpers angegeben.

Gewicht G

Die Masse der Volumenkörper wird in der vorletzten Tabellenspalte ausgewiesen. Sie ermittelt sich aus dem Rauminhalt und dem spezifischen Gewicht des Materials.

Gas

Dieses Dialogregister steht zur Verfügung, wenn im Register *Basis* der Volumenkörpertyp *Gas* ausgewählt wird.

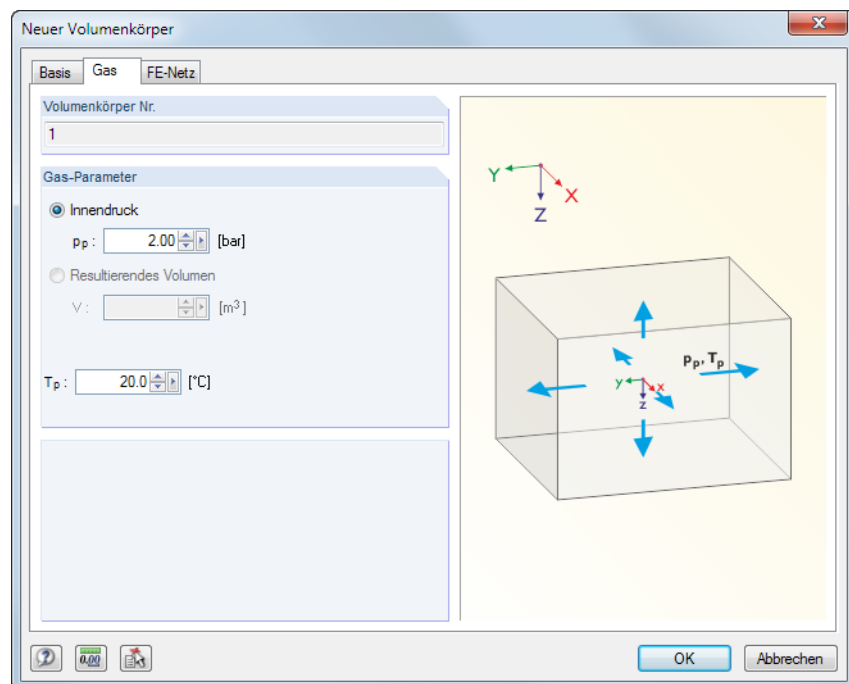
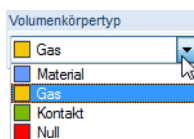


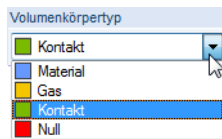
Bild 4.85 Dialog Neuer Volumenkörper, Register Gas

In diesem Register sind die *Gas-Parameter* Innendruck p_p und Temperatur T_p zu definieren.

Ein Vakuum kann durch Werte p_p zwischen 0 und 1 bar modelliert werden. Auf <https://de.wikipedia.org/wiki/Vakuum> sind verschiedene Vakuum-Druckbereiche vorgestellt.

Folgender Fachbeitrag bietet Hintergrundinformationen zur Modellierung eines idealen Gases: <https://www.dlupal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001507>





Kontakt

Dieses Dialogregister steht zur Verfügung, wenn im Register *Basis* der Volumentyp *Kontakt* ausgewählt wird.

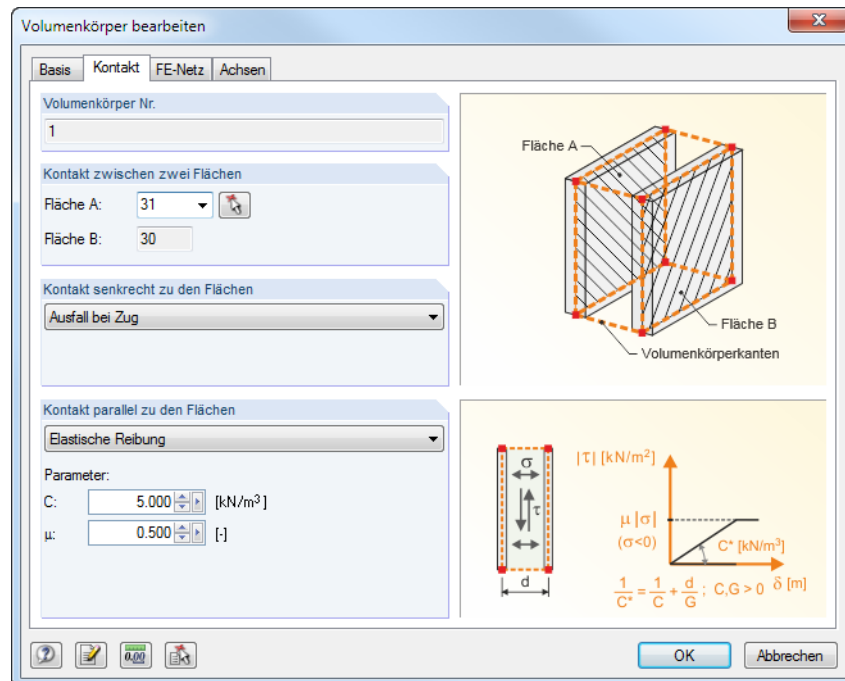


Bild 4.86 Dialog Neuer Volumenkörper, Register Kontakt



Bei einem Kontaktvolumen sind folgende Punkte zu beachten:

- Die beiden Kontaktflächen müssen parallel angeordnet und identisch angelegt sein. Es empfiehlt sich, die zweite Kontaktfläche durch Kopieren zu erstellen.
- Jede seitliche Verbindungsfläche zwischen den Kontaktflächen ist als einfache Fläche anzulegen, die aus vier Begrenzungslinien besteht. Die Unterteilung der Verbindungsfläche z. B. auf halber Höhe in zwei Teilflächen ist nicht zulässig.
- Bei der Modellierung gekrümmter Kontaktflächen ist das Kontaktvolumen in mehrere einfache Teile zu zerlegen.
- RFEM generiert zwischen den finiten Elementen der Kontaktflächen ungeteilte 3D-Elemente (parallele „Säulen“) und stellt so eine direkte Verbindung her. Die FE-Teilung der Fläche ist deshalb auf den Abstand der Kontaktflächen abzustimmen.
- Polygonalvolumen sind Dreiecksvolumen vorzuziehen.

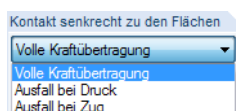
RFEM versucht die Kontaktflächen automatisch zu finden. Die *Fläche A* kann im Abschnitt *Kontakt zwischen zwei Flächen* über die Liste geändert oder mit grafisch festgelegt werden. Als *Fläche B* wird automatisch diejenige Fläche des Volumenkörpers eingetragen, die zur ersten Fläche parallel liegt.

Im Abschnitt *Kontakt senkrecht zu den Flächen* stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl:

- Volle Kraftübertragung
- Ausfall bei Druck
- Ausfall bei Zug

Die Ausfallkriterien *Ausfall bei Druck* und *Ausfall bei Zug* werden bei der Berechnung über die Verformungen der Volumen-FE-Netzknoten berücksichtigt.

Der *Kontakt parallel zu den Flächen* kann unabhängig von den Kontakteigenschaften definiert werden, die senkrecht zu den beiden Kontaktflächen vorliegen.



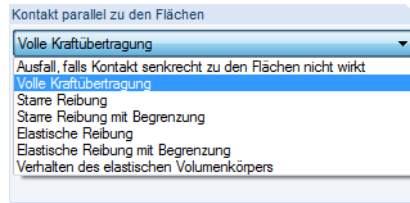


Bild 4.87 Abschnitt Kontakt parallel zu den Flächen

Die Kontaktkriterien parallel zu den Flächen sind wie folgt definiert:

Kontakt	Diagramm	Beschreibung
Ausfall, falls Kontakt senkrecht zu den Flächen nicht wirkt		Wenn das Kontaktvolumen auf Zug oder Druck ausfällt, werden keine Scherkräfte übertragen.
Volle Kraftübertragung		Alle Scherkräfte werden übertragen.
Starre Reibung		Die starre Reibung ist sofort wirksam. Die Schubspannung ist von der Normalspannung abhängig. Es ist der Reibungskoeffizient μ anzugeben.
Starre Reibung mit Begrenzung		Sobald die maximal zulässige Schubspannung τ_{\max} erreicht wird, wird die Spannung durch eine Vergrößerung der Verformung nicht weiter gesteigert, sondern bleibt konstant.
Elastische Reibung		Diese Reibung bildet ein elastisches Verhalten ab: Die Scherkraft steigt proportional zur Verformung an. Für die Verformung gibt es keine Begrenzung. Als Parameter sind die Federsteifigkeit C (die Kraft, um eine Fläche von 1 m^2 um 1 m zu bewegen) und der Reibungskoeffizient μ anzugeben.

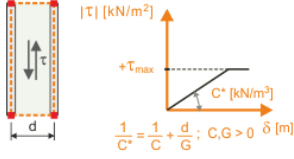
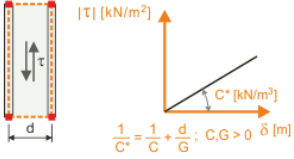
<p>Elastische Reibung mit Begrenzung</p>		<p>Anders als bei der elastischen Reibung ist die maximale Schubspannung nicht von der Normalspannung abhängig: Es kann nur eine definierte Schubspannung aufgenommen werden. Als Parameter sind die Federsteifigkeit C und die Schubspannung τ_{max} anzugeben.</p>
<p>Verhalten des elastischen Volumenkörpers</p>		<p>Die Eigenschaften der elastischen Schubübertragung können durch Angabe der Federsteifigkeit C beschrieben werden.</p>

Tabelle 4.2 Kontakteigenschaften parallel zu den Kontaktflächen

FE-Netz

Das Dialogregister *FE-Netz* bietet die Möglichkeit, für jeden Volumenkörper spezifische Vorgaben hinsichtlich des FE-Netzes zu treffen.

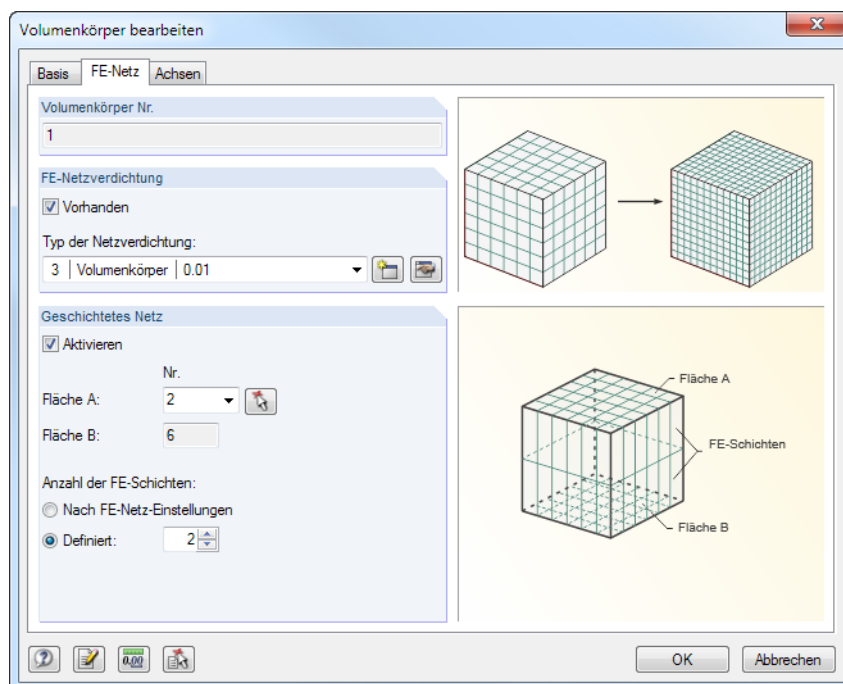



Bild 4.88 Dialog *Volumenkörper bearbeiten*, Register *FE-Netz*

Um dem Volumenkörper eine *FE-Netzverdichtung* zuzuweisen, ist das Kontrollfeld anzuhaken. In der Liste kann dann der Typ der Netzverdichtung ausgewählt werden. Für Volumen sind Netzverdichtungen durch Vorgabe der FE-Länge möglich (siehe [Kapitel 4.23](#)).

Wird die Option *Geschichtetes Netz* gewählt, kann die Anzahl der FE-Schichten zwischen zwei gegenüberliegenden Flächen direkt vorgegeben werden. Die *Fläche A* ist in der Liste auszuwählen oder mit  grafisch festzulegen; die parallele *Fläche B* wird automatisch eingetragen. Die Anzahl der Schichten lässt sich dann *Definiert* steuern.



Folgender Beitrag stellt ein Beispiel für ein geschichtetes Volumen-FE-Netz vor:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000738>

Achsensystem

Jeder Volumenkörper besitzt ein lokales Koordinatensystem. Dieses Achsensystem ist z. B. für Orthotropieeigenschaften von Bedeutung. Auch die Spannungen und Verzerrungen sind auf dieses Achsensystem bezogen.

Die Koordinatensysteme werden eingeblendet, sobald sich der Mauszeiger über einer Fläche befindet. Sie lassen sich über das Kontextmenü eines Volumenkörpers ein- und ausblenden.

Das Volumenkörper-Koordinatensystem kann im Dialog *Volumenkörper bearbeiten* angepasst werden. Dieser Dialog wird durch Doppelklicken des Volumenkörpers aufgerufen. Das Register *Achsen* verwaltet die Ausrichtung der lokalen Achsen.

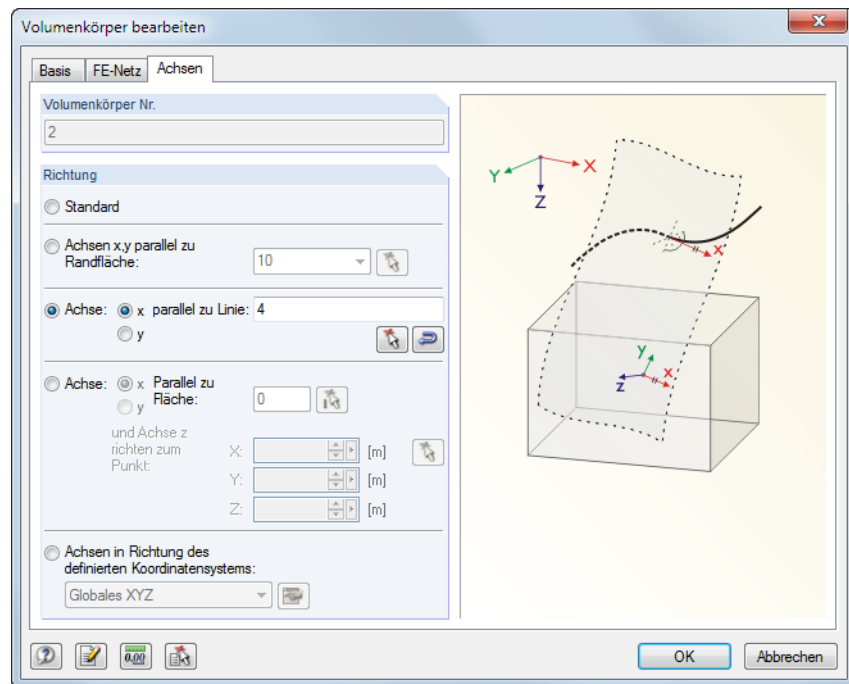


Bild 4.89 Dialog *Volumenkörper bearbeiten*, Register *Achsen*

Die lokalen Achsen *x* oder *y* des Volumenkörpers lassen sich parallel zu den Achsen einer *Randfläche*, einer *Linie*, einer *Fläche* oder in Richtung eines *benutzerdefinierten Koordinatensystems* (siehe [Kapitel 11.3.4](#)) ausrichten.

4.6

Öffnungen

Allgemeine Beschreibung



Mit Öffnungen können Aussparungen in Flächen erzeugt werden. In Öffnungsbereichen werden weder finite Elemente generiert noch Flächenlasten angesetzt.

Öffnungen lassen sich grafisch in Flächen setzen. RFEM erzeugt den Linienzug für verschiedene Öffnungstypen und integriert ihn in die Fläche.

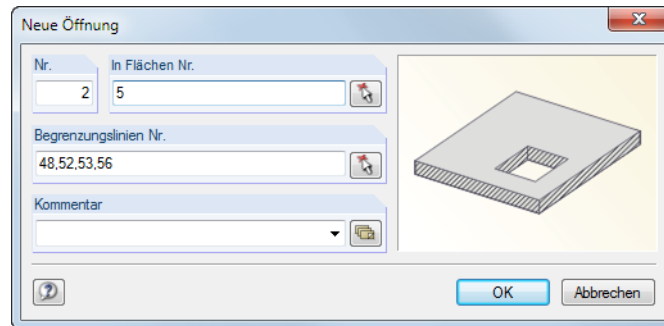


Bild 4.90 Dialog Neue Öffnung

Öffnung Nr.	Begrenzungslinien Nr.	In Fläche Nr.	Fläche A [m ²]	Kommentar
1	9-12	1	2.500	Treppe
2	64	21	1.186	
3				
4				
5				
6				
7				

Bild 4.91 Tabelle 1.6 Öffnungen

Begrenzungslinien Nr.

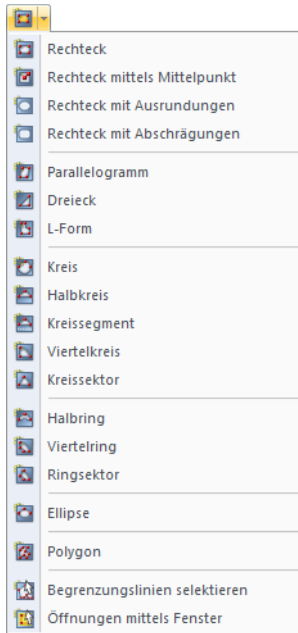
In diesem Eingabefeld sind die Linien anzugeben, die die Öffnung umschließen. Diese Linien müssen einen geschlossenen Polygonzug bilden. Es sind auch Öffnungen am Rand einer Fläche zulässig.



Bei der grafischen Auswahl sind die Begrenzungslinien der Öffnung nacheinander anzuklicken. Die Öffnung wird automatisch erkannt, sobald eine ausreichende Anzahl an Begrenzungslinien feststeht.



Über die Öffnungen-Listenschaltfläche *Begrenzungslinien* selektieren können bereits definierte Linien grafisch ausgewählt werden. Die Linien müssen einen geschlossenen Linienzug bilden.



4.7

Öffnungen können über eine der links dargestellten Schaltflächen direkt in Flächen gesetzt werden, die sich in der Arbeitsebene befinden. Den Definitionsarten liegen — in etwas reduziertem Umfang — die im [Kapitel 4.2](#) beschriebenen Linientypen zugrunde (z. B. Kreis, Ellipse). Sobald die Umrisslinien bestimmt sind, wird die Öffnung erzeugt. Damit erübrigt es sich, die Linien der Öffnung vorher anzulegen.

In Fläche Nr.

Bei ebenen Flächen ist als Standard die automatische Integration aktiv. Bei einer gekrümmten Fläche muss die Öffnung manuell in die Fläche integriert werden. Im Register *Integriert* des Dialogs *Fläche bearbeiten* ist die Nummer der Öffnung in das Eingabefeld einzutragen (siehe [Bild 4.75](#)).

Fläche

In dieser Spalte der Tabelle wird der Flächeninhalt der Öffnung angegeben.

Knotenlager

Allgemeine Beschreibung

Jedes Tragwerk leitet seine Lasten über die Auflager in die Fundamente ab. Ohne jegliche Lagerung wären alle Knoten frei und in ihren Verschiebungen und Verdrehungen unbehindert. Soll ein Knoten als Lager wirken, muss mindestens einer der Freiheitsgrade gesperrt oder durch eine Feder eingeschränkt werden. Zudem muss dieser Knoten Teil einer Fläche oder eines Stabes sein. Die Randbedingungen der Stäbe sollten dabei auch berücksichtigt werden, um Doppelgelenke an den gelagerten Knoten auszuschließen.

Knotenlager sind erforderlich, um Zwangsverformungen aufbringen zu können.

Knotenlager können mit nichtlinearen Eigenschaften versehen werden (Ausfallkriterien für Zug- oder Druckkräfte, Arbeits- und Steifigkeitsdiagramme).

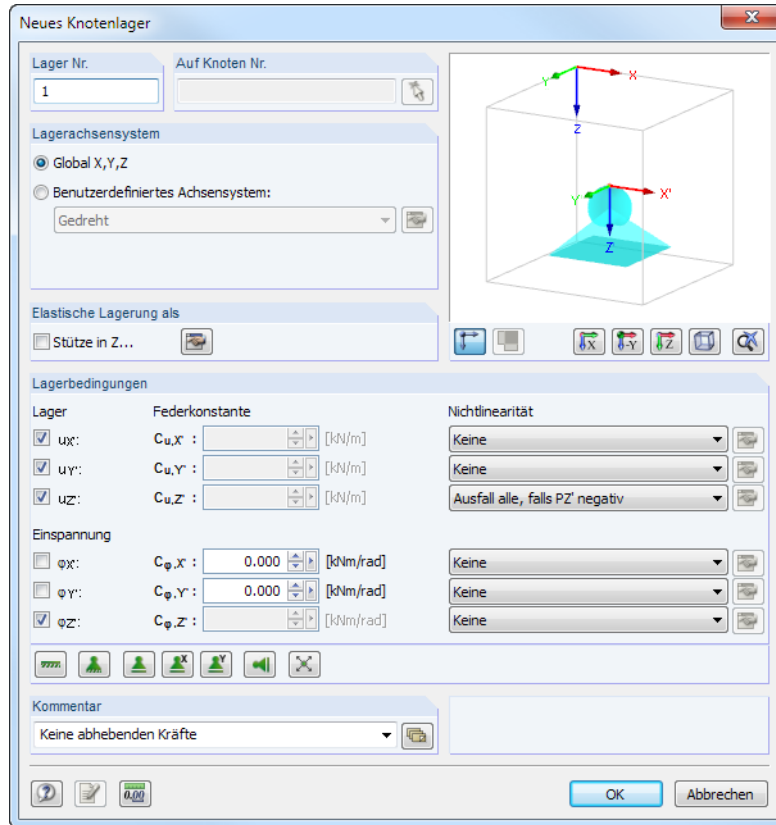


Bild 4.92 Dialog Neues Knotenlager

1.7 Knotenlager

Lager Nr.	An Knoten Nr.	Achsen-system	Stütze in Z	Stützung bzw. Feder [kN/m]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad]			Kommentar
				ux	uy	uz	φx	φy	φz	
1	1.7.11.19.20.28.29	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Gelenkig
2	66-69	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	11320.000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	8-10.63-65	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4										
5										
6										
7										
8										
9										

Bild 4.93 Tabelle 1.7 Knotenlager



Über das Menü **Einfügen** → **Modelldaten** → **Knotenlager** → **Grafisch** oder die entsprechende Schaltfläche wird folgender Dialog aufgerufen.

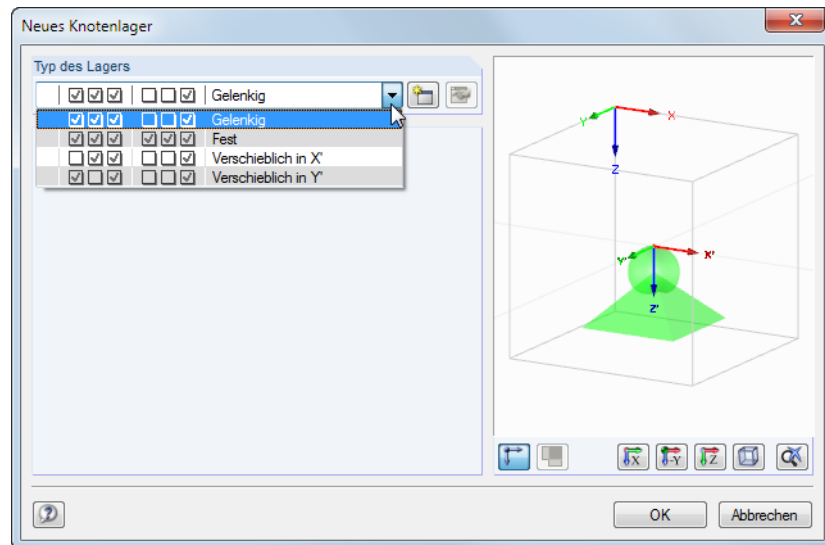


Bild 4.94 Dialog Neues Knotenlager

Folgende Lagertypen sind vordefiniert und stehen in der Liste zur Auswahl:

- Gelenkig (JJJ NNJ)
- Fest (JJJ JJJ)
- Verschieblich in X' (NJJ NNJ)
- Verschieblich in Y' (JNJ NNJ)

Nach [OK] kann der gewählte Lagertyp den Knoten grafisch zugewiesen werden.



Die Schaltfläche [Neu] erzeugt einen weiteren Lagertyp. Es erscheint der im [Bild 4.90](#) gezeigte Dialog.

An Knoten Nr.

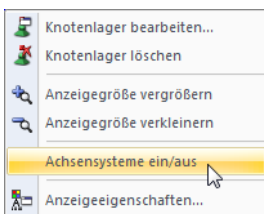


Punktuelle Lager können nur an Knoten gesetzt werden. Die Knotennummer ist in diese Spalte bzw. dieses Eingabefeld einzutragen oder grafisch zu bestimmen.

Lagerdrehung

Jedes Knotenlager besitzt ein lokales Koordinatensystem. Es ist standardmäßig parallel zu den globalen Achsen X, Y und Z ausgerichtet. Über das Kontextmenü eines Knotenlagers kann die Darstellung der Lager-Koordinatensysteme aktiviert werden.

Mit der Option *Benutzerdefiniertes Achsensystem* kann das lokale Achsensystem des Lagers gedreht werden. In der Liste stehen dann verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl.



Knotenlager-Kontextmenü

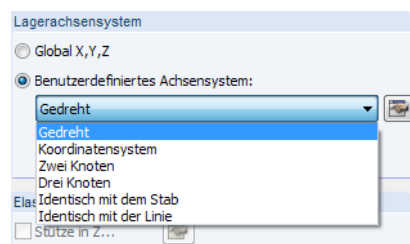



Bild 4.95 Achsensysteme für Lager

Das Lager kann um die Lagerachsen X' , Y' und Z' gedreht, auf ein benutzerdefiniertes Koordinatensystem oder bestimmte Knoten bezogen werden. Zudem besteht die Möglichkeit, das Lager zur Lage eines Stabes oder einer Linie auszurichten. Die Objekte können jeweils mit  grafisch im Arbeitsfenster festgelegt werden.

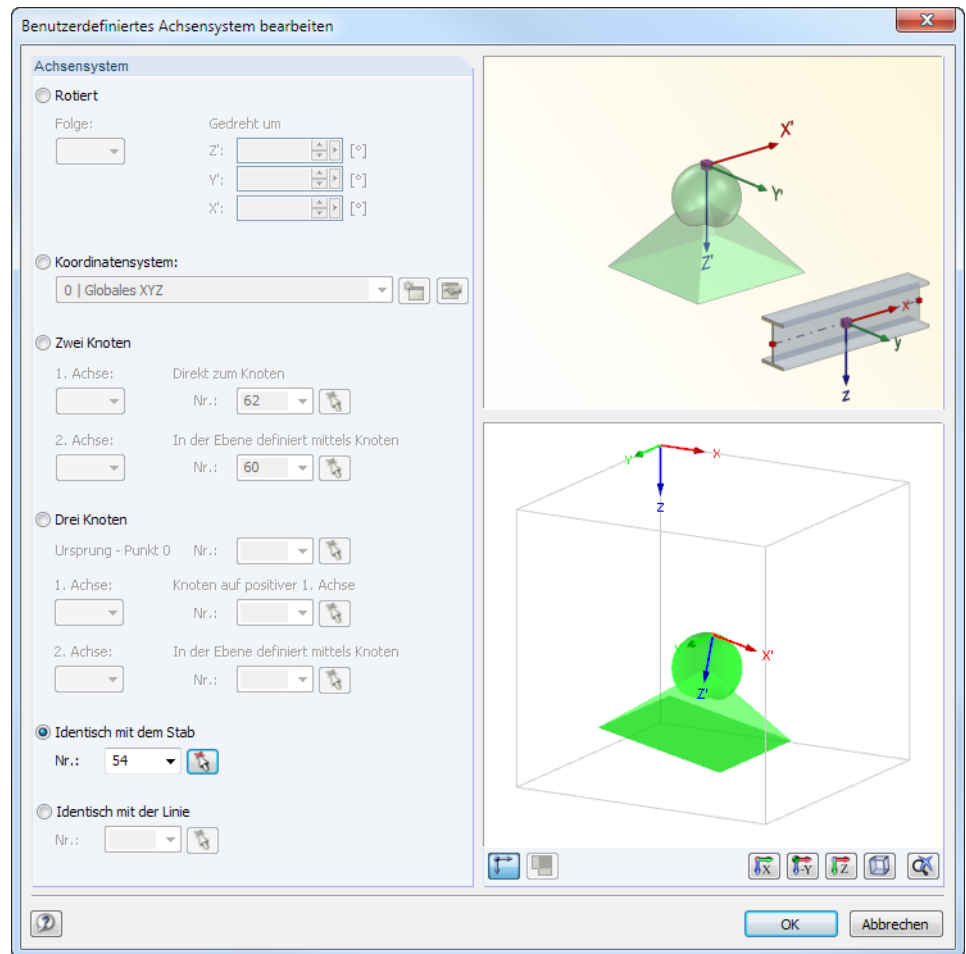


Bild 4.96 Dialog Benutzerdefiniertes Achsensystem bearbeiten

In der dynamischen Dialoggrafik wird die Drehung des Lagers dargestellt.



Nach der Berechnung können die Lagerreaktionen eines gedrehten Knotenlagers sowohl auf das globale als auch auf das lokale Achsensystem bezogen ausgewertet werden.

Stütze in Z

Weist der Lagerbereich größere Abmessungen auf, so bildet ein Knotenlager die realen Gegebenheiten nur ungenau ab. Solche Lagerungsbedingungen lassen sich mit speziellen Stützen-Makroelementen über Material und Geometrie der Stütze erfassen. RFEM errechnet die Federsteifigkeiten und passt die Lagerungsbedingungen an. Mit dieser realitätsnahen Modellierung lassen sich Singularitäten vermeiden, die bei einer festen Stützung in einem einzigen FE-Knoten auftreten.

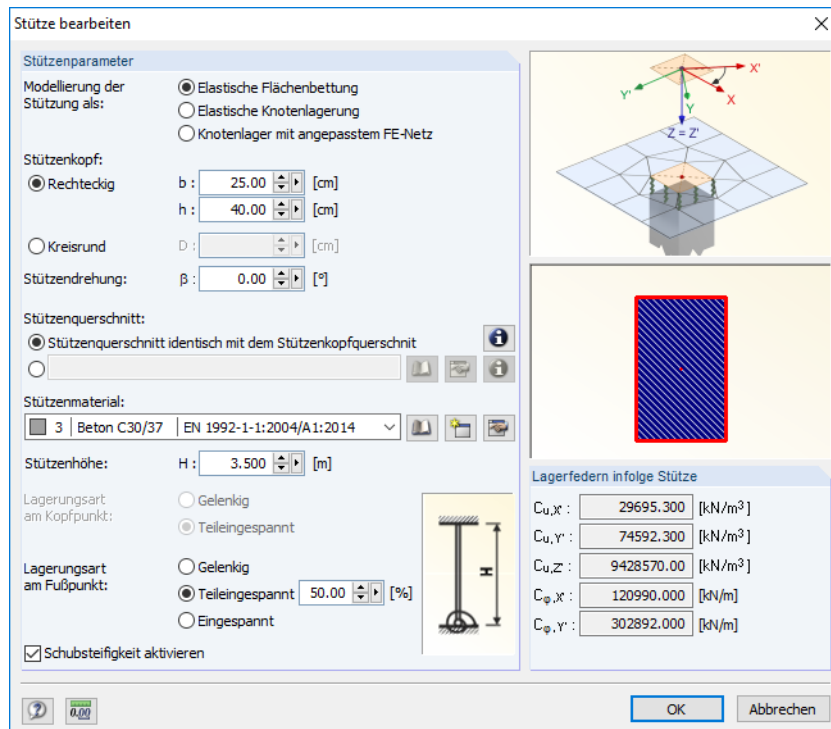


Bild 4.97 Dialog Stütze bearbeiten

Die *Modellierung der Stütze* ist über drei verschiedene Ansätze möglich, die jeweils in der Dialoggrafik symbolisiert sind:

- Beim Modell *Elastische Flächenbettung* wird intern eine Fläche in den Stützenabmessungen herausgelöst und elastisch gebettet. Die Bettungskoeffizienten ermitteln sich aus den Geometrie- und Materialdaten der Stütze.
- Beim Modell *Elastische Knotenlagerung* wird ebenfalls eine Fläche herausgelöst. Diese wird jedoch punktförmig gelagert. Das Lager wird mit Weg- und Drehfedern versehen, die aus den Geometrie- und Materialdaten der Stütze errechnet werden. Zur Berücksichtigung der höheren Biegesteifigkeit im Stützenbereich wird die Fläche intern verdoppelt.
- Das Modell *Knotenlager mit angepasstem FE-Netz* entspricht der elastischen Knotenlagerung, jedoch werden keine Federn an den punktförmigen Lagern angesetzt.

Bei allen Varianten werden die herausgelösten Flächen in den Modulen RF-BETON Flächen und RF-LAMINATE nicht bemessen. Es werden die Schnittgrößen an der Begrenzungslinie der Stütze angesetzt.

Bei der Modellierung als „Flächenbettung“ oder „Elastische Knotenlagerung“ sind die Daten zur Stütze anzugeben, die für die Ermittlung der Federsteifigkeiten benötigt werden. Die Geometrie des Stützenkopfes kann *Rechteckig* oder *Kreisrund* beschrieben werden. Liegt ein Stahlprofil als *Stützenquerschnitt* vor, so kann der Querschnitt nach dem Aktivieren des Kontrollfeldes der zweiten Zeile in der [Bibliothek] festgelegt werden.

Das *Stützenmaterial* lässt sich in der Liste der definierten Materialien auswählen oder [Neu] anlegen (siehe [Kapitel 4.3](#)). Auch die *Stützenhöhe* H übt einen Einfluss auf die Konstanten der Senk- und Drehfedern aus. Die *Lagerungsart* am Kopfpunkt bzw. Fußpunkt fließt — wie die eventuelle *Schubsteifigkeit* der Stütze — ebenfalls in die Ermittlung der Weg- und Drehfedern des Lagers ein.

Rechts im Dialog werden die Federkonstanten C angegeben, die sich aus den Stützenparametern ergeben.

Stützung bzw. Feder

Eine Stützung wird definiert, indem man im Dialog oder in der Tabelle die jeweilige Option anhakt. Das Häkchen zeigt somit an, dass der Freiheitsgrad gesperrt und die Verschiebung des Knotens in die entsprechende Richtung nicht möglich ist.

Falls keine Stützung vorliegt, ist das Häkchen im entsprechenden Kontrollfeld zu entfernen. Im Dialog *Knotenlager* wird dann die Konstante der Wegfeder zu null gesetzt. Die Federkonstante kann jederzeit modifiziert werden, um eine elastische Lagerung des Knotens abzubilden. In der Tabelle ist die Konstante direkt in die Spalte einzutragen.

Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte einzugeben.

Die Zuweisung nichtlinearer Lagereigenschaften ist weiter unten beschrieben.

Einspannung bzw. Feder

Einspannungen werden analog zu Stützungen definiert. Auch hier bedeutet das Häkchen, dass der entsprechende Freiheitsgrad gesperrt und die Verdrehung des Knotens um die jeweilige Achse nicht möglich ist. In gleicher Weise lassen sich Konstanten für Drehfedern angeben, sobald das Häkchen im Kontrollfeld deaktiviert ist. In der Tabelle ist die Federkonstante direkt in die entsprechende Spalte einzutragen.

Im Dialog *Neues Knotenlager* (siehe [Bild 4.90](#)) liegen verschiedene Lagertypen in Form von Schaltflächen vor, die die Definition der Freiheitsgrade erleichtern.

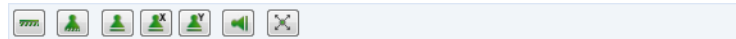
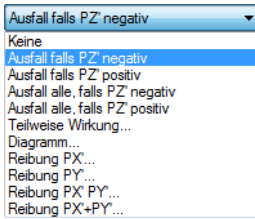


Bild 4.98 Schaltflächen im Dialog *Neues Knotenlager*

Die Schaltflächen sind mit folgenden Lagereigenschaften belegt:

Schaltfläche	Lagertyp
	Eingespannt
	Gelenkig mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in X' und Y' mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in X' mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in Y' mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in Z' und Y' mit Einspannung um Z'
	Frei

Tabelle 4.3 Schaltflächen *Knotenlager*



Nichtlinearitäten

Um die Übertragung von Schnittgrößen detailliert zu steuern, können Knotenlager mit nichtlinearen Eigenschaften versehen werden. Die Liste der Nichtlinearitäten beinhaltet folgende Möglichkeiten:

- Ausfall der Komponente falls Lagerkraft oder -moment negativ bzw. positiv
- Kompletter Ausfall des Lagers falls Lagerkraft oder -moment negativ bzw. positiv
- Teilweise Wirkung
- Diagramm
- Reibung in Abhängigkeit von übrigen Lagerkräften

Im Dialog und in der Tabelle sind die nichtlinearen Eigenschaften über die Liste zugänglich (siehe Bild 4.90 und Bild 4.91). Damit kann für jeden Lagerfreiheitsgrad festgelegt werden, ob und welche Kräfte bzw. Momente am gelagerten Knoten übertragen werden.

Nichtlinear wirkende Lager werden in der Grafik andersfarbig dargestellt. In der Tabelle ist eine Lagerkomponente mit nichtlinearen Eigenschaften am blauen Kästchen erkennbar.


Ausfall falls Lagerkraft/-moment negativ bzw. positiv

Die beiden Optionen steuern auf einfache Weise, ob das Lager nur positive bzw. negative Kräfte oder Momente aufnehmen kann: Wirkt eine Kraft oder ein Moment in die untersagte Richtung, fällt diese Komponente des Lagers aus. Die übrigen Festhaltungen und Einspannungen sind weiterhin wirksam.

Die Richtungen *negativ* bzw. *positiv* sind auf die Kräfte oder Momente bezogen, die im Hinblick auf die jeweiligen Achsen in das Knotenlager eingeleitet werden (d. h. **nicht** die Reaktionskräfte vonseiten des Lagers). Die Vorzeichen ergeben sich somit aus der Richtung der globalen Achsen. Ist die globale Z-Achse nach unten gerichtet, so hat der Lastfall ‚Eigengewicht‘ eine positive Lagerkraft P_z zur Folge.

Ausfall alle falls Lagerkraft/-moment negativ bzw. positiv

Um Unterschied zum oben beschriebenen Ausfall einer einzelnen Komponente fällt das Lager vollständig aus, sobald die Komponente unwirksam ist.

Die folgenden Dialoge werden über die Schaltflächen [Eigenschaften] im Dialog bzw.  in der Tabelle aufgerufen, die sich rechts neben der Liste befinden.

Teilweise Wirkung

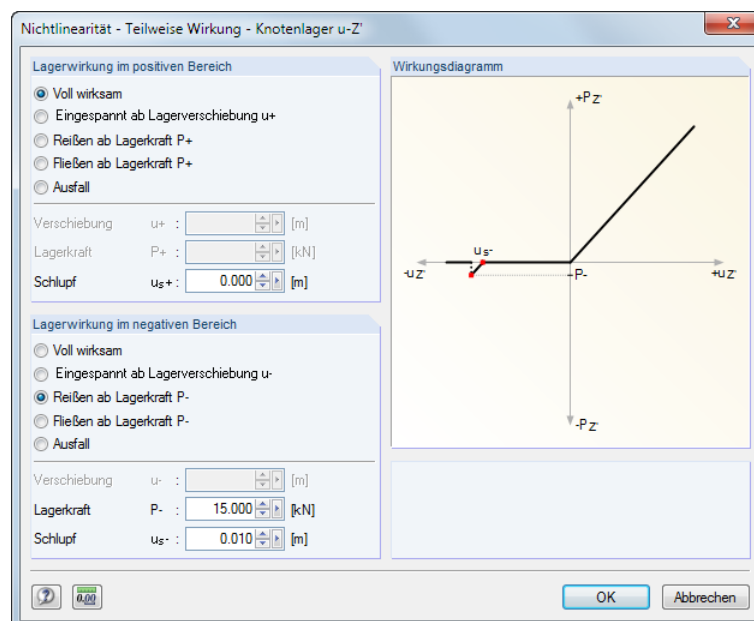


Bild 4.99 Dialog Nichtlinearität - Teilweise Wirkung

Die Wirkung des Lagers kann für den *positiven* und den *negativen Bereich* getrennt definiert werden. Die Vorzeichenregelung ist im vorherigen Abschnitt erläutert. Neben der vollen Wirksamkeit oder dem kompletten Ausfall kann festgelegt werden, dass die Lagerung erst ab einer bestimmten Verschiebung oder Verdrehung wirken soll (hierfür muss vorher im *Knotenlager*-Dialog eine Weg- bzw. Drehfeder definiert werden). Ferner sind *Reißen* (Lagerausfall bei Überschreitung einer Kraft bzw. eines Moments) sowie *Fließen* (Wirksamkeit nur bis Kraft bzw. Moment) in Kombination mit einem *Schlupf* möglich.

Die dynamische *Wirkungsdiagramm*-Grafik ermöglicht die Kontrolle der Lagereigenschaften.

Diagramm

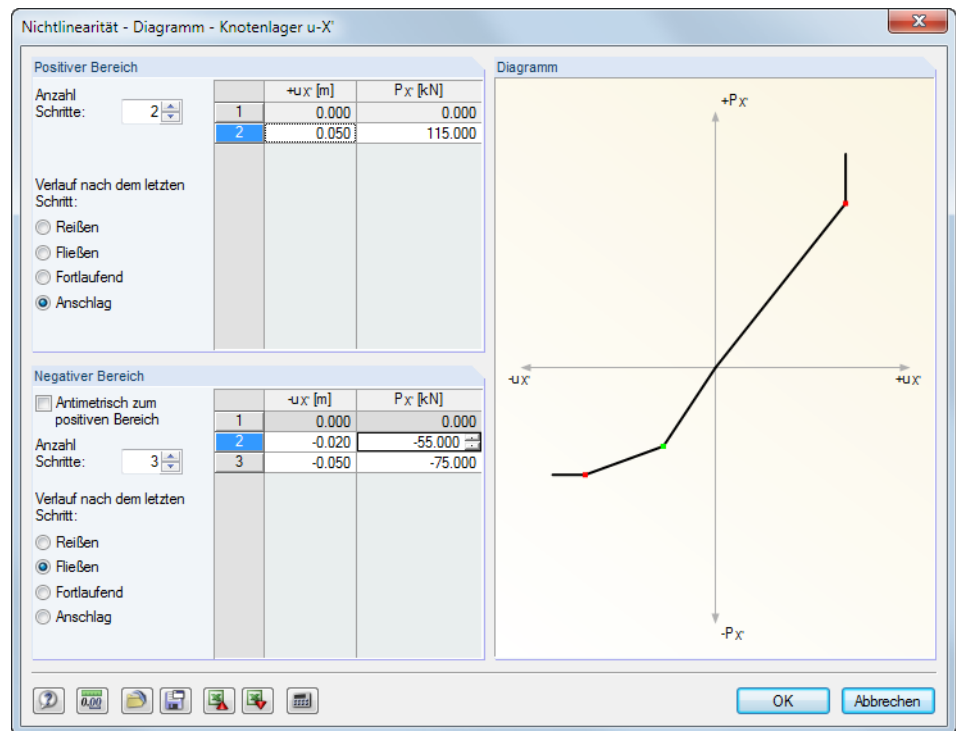



Bild 4.100 Dialog Nichtlinearität - Diagramm

Die Wirkung des Lagers kann für den *positiven* und den *negativen Bereich* getrennt definiert werden. Legen Sie zunächst die Anzahl der *Schritte* (d. h. Definitionspunkte) für das Arbeitsdiagramm fest und tragen dann in der Liste die Abszissenwerte der Verschiebungen bzw. Verdrehungen mit den zugeordneten Lagerkräften bzw. -momenten ein.

Für den *Verlauf nach dem letzten Schritt* bestehen mehrere Möglichkeiten: *Reißen* für den Lagerausfall bei Überschreitung, *Fließen* für die Begrenzung auf die Übertragung einer maximal zulässigen Lagerkraft bzw. -moment, *Fortlaufend* wie im letzten Schritt oder *Anschlag* für die Begrenzung auf eine maximal zulässige Verschiebung bzw. Verdrehung mit nachfolgend fester bzw. eingespannter Lagerwirkung.

Reibung abhängig von Lagerkraft

Mit diesen vier Optionen werden die übertragenen Lagerkräfte in Beziehung gesetzt zu den Druckkräften, die in eine andere Richtung wirken. Je nach Auswahl ist die Reibung abhängig von nur einer Lagerkraft oder von der Gesamtkraft zweier gleichzeitig wirkender Lagerkräfte.

Die Schaltfläche  ruft einen Dialog auf, in dem der *Reibungskoeffizient* μ zu definieren ist.

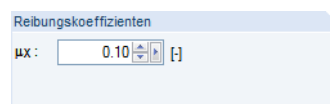
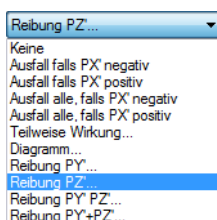
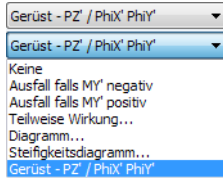


Bild 4.101 Dialog Reibung in $\mu X'$ (Ausschnitt)



4.8

Es besteht folgender Zusammenhang zwischen Normalkraft und Reibungskraft des Lagers:

$$P_{\text{Lager}} = \mu \cdot P_{\text{Normalkraft}}$$

Gleichung 4.16

Gerüst

Für Einspannungen um die Achsen X' und Y' bietet die Liste den Zusatzeintrag *Gerüst*. Damit lassen sich die Tragwirkungen von Auflagerplatten modellieren, die bei Arbeitsgerüsten oder Baustützen vorliegen. Diese Funktion ist in folgendem Fachbeitrag beschrieben:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000973>

Linienlager

Allgemeine Beschreibung

Ein Linienlager beschreibt die Randbedingungen aller FE-Knoten entlang einer Linie: Die Verschiebungen und Verdrehungen an diesen internen Knoten können verhindert oder durch Weg- und Drehfedern eingeschränkt werden.

Die Verschiebungen von Linienlagern können mit nichtlinearen Eigenschaften belegt werden, sodass Zug- oder Druckkräfte zu einem Lagerausfall führen.

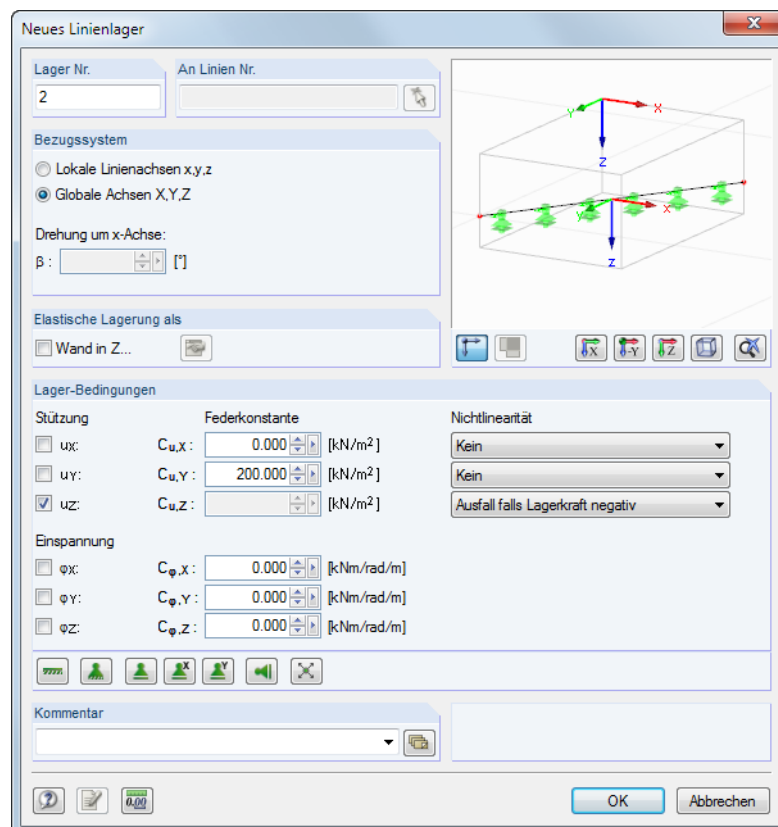


Bild 4.102 Dialog Neues Linienlager

1.8 Linienlager

Lager Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	An Linien Nr.	Bezugs-system	Drehung β [°]	Wand in Z	Stützung bzw. Feder u_x	Stützung bzw. Feder u_y	Stützung bzw. Feder u_z	Einspannung bzw. Feder φ_x	Einspannung bzw. Feder φ_y	Einspannung bzw. Feder φ_z	Kommentar
1	6,9.15	Global		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	4	Lokal	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	200.000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	3	Global		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4							Ja				
5							Nein				
6							Federkonstante				
7							Ausfall...				
8											

Knoten | Linien | Materialien | Flächen | Volumenkörper | Öffnungen | Knotenlager | Linienlager | Flächenlager | Liniengelenke | Querschnitte

Feste Stützung der Linie in Richtung ('J' a / 'N' ein / Federkonstante / Ausfall / F7 zum Wählen)

Bild 4.103 Tabelle 1.8 Linienlager



Über das Menü **Einfügen** → **Modelldaten** → **Linienlager** → **Grafisch** oder die entsprechende Schaltfläche wird folgender Dialog aufgerufen:

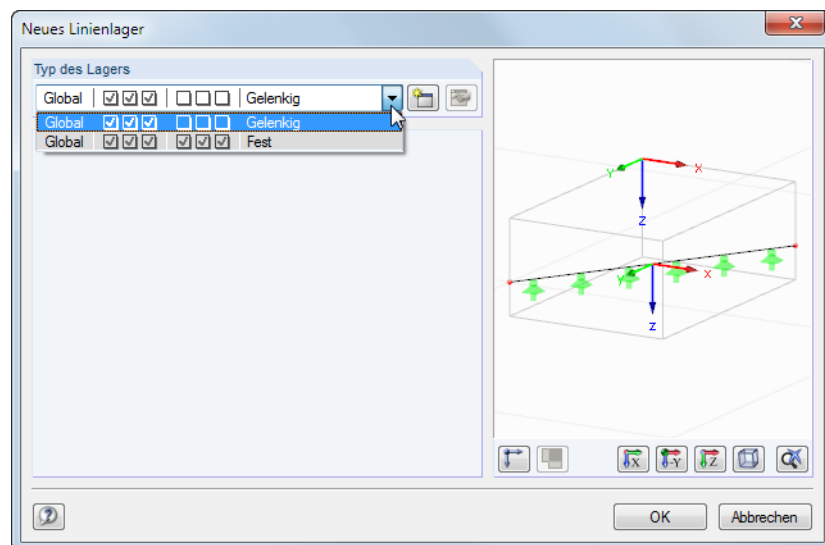


Bild 4.104 Dialog Neues Linienlager

Die Lagertypen *Gelenkig* (JJJ NNN) und *Fest* (JJJ JJJ) sind vordefiniert und stehen in der Liste zur Auswahl. Nach [OK] kann der gewählte Lagertyp den Linien grafisch zugewiesen werden.



Die Schaltfläche [Neu] erzeugt einen weiteren Lagertyp. Es erscheint der im Bild 4.100 gezeigte Dialog.

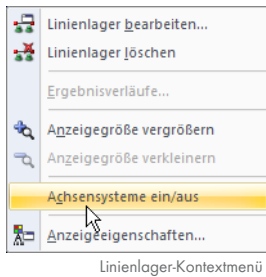
An Linien Nr.



Linienlager können nur an Linien gesetzt werden, die zu einer Fläche oder einem Volumenkörper gehören. Die Liniennummer ist in diese Spalte bzw. das Eingabefeld einzutragen oder grafisch auszuwählen.

Bezugssystem

Die Lagerparameter können *Lokal* auf die Linienachsen x, y, z oder *Global* auf die Achsen X, Y, Z bezogen werden. Je nach Vorgabe ändern sich die Indizes im Dialogabschnitt *Lagerbedingungen* bzw. die Überschriften der Tabellenspalten E bis J.



Das lokale Linien-Achsensystem einschließlich Nummerierung kann über den Zeigen-Navigator einblendet werden. Alternativ wird das Kontextmenü eines Linienlagers benutzt.

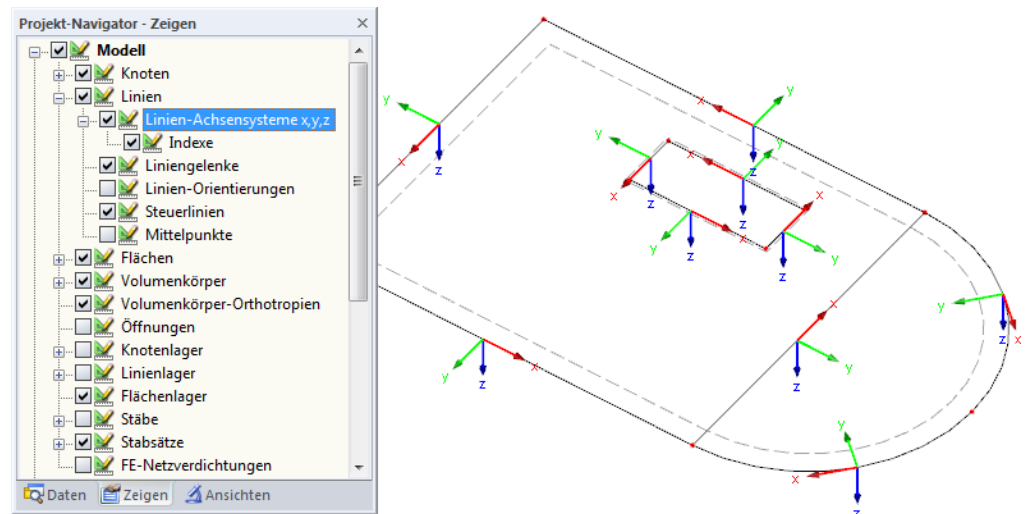


Bild 4.105 Aktivieren der lokalen Linienachssysteme x,y,z im Zeigen-Navigator

Lagerdrehung

Das Achsensystem eines lokalen Linienlagers kann rotiert werden. Die *Drehung* um einen positiven Winkel β rotiert das Lager rechtsschraubig um die positive Linienachse x.

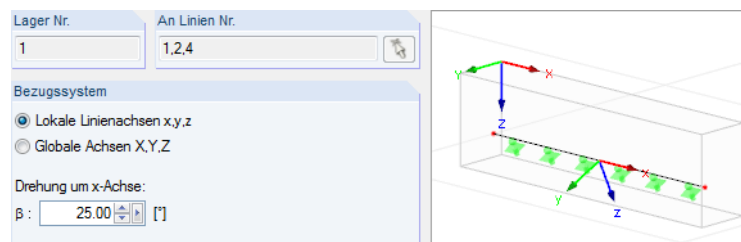


Bild 4.106 Lagerdrehung

Die Dialoggrafik zeigt die Drehung des Lagers dynamisch an.



Nach der Berechnung können die Lagerreaktionen eines gedrehten Linienlagers sowohl auf das globale als auch auf das lokale Achsensystem bezogen ausgewertet werden.

Wand in Z

Ist eine Fläche auf einer Wand gelagert, so liegt eine elastische Bettung vor, die von der Steifigkeit der Wand abhängt. Ein festes Linienlager würde die Nachgiebigkeit nicht korrekt abbilden. Für diese Lagerungsart kann eine *Wand* definiert werden, aus deren Material und Geometrie RFEM die Konstanten der Weg- und Drehfedern errechnet. Damit lassen sich insbesondere bei 2D-Platten Singularitäten vermeiden, die bei einer festen Stützung der Linie entstünden.

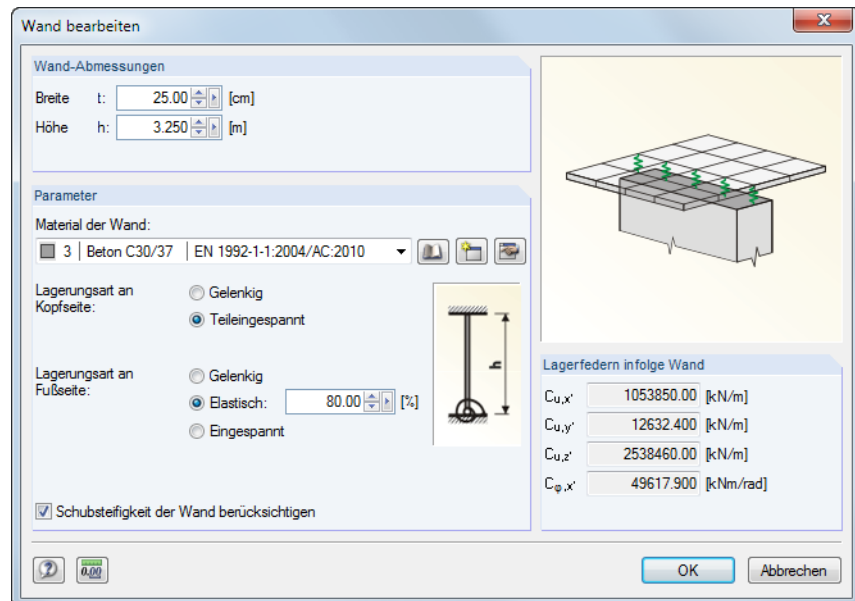


Bild 4.107 Dialog Wand bearbeiten

Im Abschnitt *Wand-Abmessungen* ist die Geometrie festzulegen. Neben der *Breite t* fließt die *Höhe h* in die Konstanten der Senk- und Drehfedern ein.



Im Abschnitt *Parameter* kann das *Material der Wand* in der Liste der definierten Materialien ausgewählt oder [Neu] angelegt werden (siehe [Kapitel 4.3](#)).

Zur Ermittlung der Federsteifigkeiten sind noch Angaben zur *Lagerungsart an Kopfseite* bzw. *Fußseite* erforderlich. Wird die *Schubsteifigkeit* der Wand berücksichtigt, fließt diese ebenfalls in die Konstanten der *Lagerfedern infolge Wand* ein.

Die aus den Parametern ermittelten Federkonstanten werden rechts im Dialog angezeigt.

In der RFEM-Grafik werden die Wandbreiten an der gelagerten Linie dargestellt.

Stützung bzw. Feder

Eine Stützung wird definiert, indem man im Dialog oder in der Tabelle die jeweilige Option anhakt. Das Häkchen zeigt somit an, dass der Freiheitsgrad gesperrt und die Verschiebung der Linie in die entsprechende Richtung nicht möglich ist.

Falls keine Stützung vorliegt, ist das Häkchen im entsprechenden Kontrollfeld zu entfernen. Im Dialog *Linienlager* wird dann die Konstante der Wegfeder zu null gesetzt. Die Federkonstante kann jederzeit modifiziert werden, um eine elastische Lagerung der Linie abzubilden. In der Tabelle ist die Konstante direkt in die Spalte einzutragen.



Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Die Zuweisung eines Ausfallkriteriums ist weiter unten beschrieben.

Einspannung bzw. Feder

Einspannungen werden analog zu Stützungen definiert. Auch hier bedeutet das Häkchen, dass der entsprechende Freiheitsgrad gesperrt und die Verdrehung der Linie um die jeweilige Achse nicht möglich ist. In gleicher Weise lassen sich Konstanten für Drehfedern angeben, sobald das Häkchen im Kontrollfeld deaktiviert ist. In der Tabelle ist die Federkonstante direkt in die entsprechende Spalte einzutragen.



Im Dialog *Neues Linienlager* (siehe [Bild 4.100](#)) liegen verschiedene Lagertypen in Form von Schaltflächen vor, die die Definition der Freiheitsgrade erleichtern.

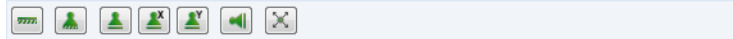


Bild 4.108 Schaltflächen im Dialog *Neues Linienlager*

Die Schaltflächen sind mit folgenden Lagereigenschaften belegt:

Schaltfläche	Lagertyp
	Eingespannt
	Gelenkig mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in X' und Y' mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in X' mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in Y' mit Einspannung um Z'
	Verschieblich in Z' und Y' mit Einspannung um Z'
	Frei

Tabelle 4.4 Schaltflächen *Linienlager*

Nichtlinearitäten

Den Komponenten eines Linienlagers können verschiedene nichtlineare Eigenschaften zugewiesen werden:

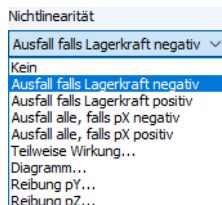
- Ausfall der Komponente falls Lagerkraft oder -moment negativ bzw. positiv
- Kompletter Ausfall des Lagers falls Lagerkraft oder -moment negativ bzw. positiv
- Teilweise Wirkung
- Diagramm
- Reibung in Abhängigkeit von übrigen Lagerkräften

Die nichtlinearen Eigenschaften entsprechen im Wesentlichen den Nichtlinearitäten, die für Knotenlager zur Verfügung stehen (siehe [Kapitel 4.7](#)).

Im Dialog und in der Tabelle sind die nichtlinearen Eigenschaften über die Liste zugänglich (siehe [Bild 4.100](#) und [Bild 4.101](#)). Damit kann für jeden Lagerfreiheitsgrad separat festgelegt werden, ob und welche Kräfte bzw. Momente an der gelagerten Linie übertragen werden.

Positiv bzw. *negativ* ist auf die Kräfte bezogen, die in Richtung der jeweiligen Achsen in das Lager eingeleitet werden (d. h. **nicht** die Reaktionskräfte vonseiten des Linienlagers). Die Vorzeichen ergeben sich somit aus der Richtung der lokalen bzw. globalen Achsen. Ist beispielsweise die lokale z-Achse einer Linie nach unten gerichtet, so hat der Lastfall ‚Eigengewicht‘ eine positive Lagerkraft p_z zur Folge.

Nichtlinear wirkende Linienlager werden in der Grafik andersfarbig dargestellt. In der Tabelle ist eine Lagerkomponente mit einem Ausfallkriterium am blauen Kästchen erkennbar.



4.9

Flächenlager

Theoretischer Hintergrund

Eine Flächenbettung drückt die elastische Lagerung aller 2D-Elemente einer Fläche aus.

Das Winklersche Bettungsmodell nimmt den Baugrund als ideale dicke Flüssigkeit an, auf der die Platte gleichsam schwimmt. Die großen Unterschiede der E-Moduln von Beton und (linearisiertem) Boden, die typischerweise 1000:1 und mehr betragen, rechtfertigen diese Annahme. In einer Gleichung ausgedrückt lautet sie:

$$p_z = C_z w_z$$

Gleichung 4.17

Sie setzt in jedem Punkt die Kontaktpressung p_z mit der Verschiebung w_z über die Bettungszahl C_z in Beziehung. Diese Annahme impliziert jedoch, dass sich jeder Punkt unabhängig von den anderen Punkten des Grundrisses verschiebt. Für die Verformung einer Fläche spielt damit der umliegende Baugrund keine Rolle (Bild 4.107 a).

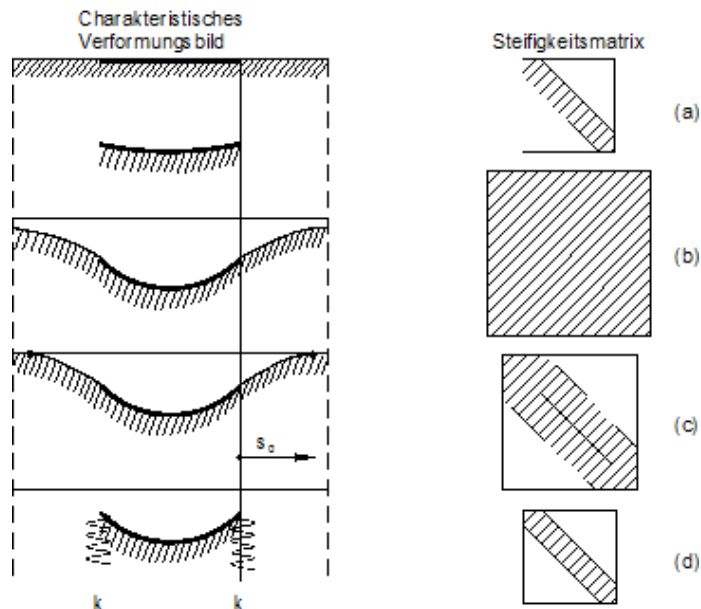


Bild 4.109 Zusammenhang zwischen Verformungsbild und Bandbreite der Steifigkeitsmatrix

Dieses rudimentäre Bettungsmodell ist den heutigen Anforderungen nicht mehr gewachsen.

Eine Weiterentwicklung beruht auf dem so genannten *Steifemodulverfahren*: Der Baugrund wird als ein elastischer Halbraum aufgefasst, dessen Punkte in mathematisch-mechanischer Interaktion stehen. Es entsteht eine „unendlich“ ausgedehnte Senkmulde, die den Einfluss der weiter entfernten Bodenbereiche abklingen lässt (siehe Bild 4.107 b). Der Vorteil dieses mechanisch besseren Baugrundmodells wird jedoch durch numerische Nachteile in Form einer erheblich größeren Systemmatrix wieder aufgehoben.

Das Verfahren des Effektiven Baugrundes nach Kolar/Nemec vereint die Vorteile der beiden beschriebenen Modelle, ohne dass die Nachteile in Kauf genommen werden müssen. Dieses Baugrundmodell baut auf der Idee von Pasternak [1] auf:

- Für die Fläche im Kontakt mit dem Baugrund sind nur die mechanischen Eigenschaften des allgemein geschichteten und nichtlinear elastischen bzw. plastischen Halbraums in der Kontaktfuge von Bedeutung. Das dreidimensionale Bettungsproblem wird damit in die Kontaktfuge kondensiert, d. h. in ein 2D-Problem überführt.

- Das Winklersche Modell führt diese 2D-Kondensation zwar durch (siehe Gleichung 4.17), jedoch energetisch defekt. Durch Einbeziehung eines zweiten Koeffizienten C_v für die Schubtragwirkung des Baugrundes wird die Zusammenwirkung des Baugrundes über den Plattenrand hinaus hergestellt. Es entsteht eine natürliche Senkmulde endlicher Ausdehnung, wie sie an realen Bauwerken gemessen werden kann.
- Es entsteht ein zweiparametrisches System (C_u, C_v) wobei $C_{u,z}$ in etwa der Winklerschen Bettungszahl gleichkommt und in praktischen Berechnungen auch angesetzt werden kann. Detailliert betrachtet ergibt sich ein System von fünf Einzelparametern: $C_{u,x}$, $C_{u,y}$, $C_{u,z}$, $C_{v,x}$ und $C_{v,y}$.

Bild 4.107 c zeigt dieses Baugrundmodell im Vergleich. Numerisch ist das FE-Verfahren ebenso stabil wie das auf Winkler basierende Verfahren. Aus der Einbeziehung der Baugrundelemente im Bereich der Senkmulde resultiert allerdings eine größere Systemmatrix.

Auch das Baugrundmodell nach Kolar/Nemec wurde weiterentwickelt. Es hat sich gezeigt, dass durch geeignete Maßnahmen die Baugrundelemente aus dem System eliminiert werden können. Das Ergebnis ist das in RFEM implementierte *Effektive Baugrundmodell*, das in Bild 4.107 d symbolisch dargestellt ist. Damit wird der Nachteil der größeren Systemmatrix beseitigt. In [2] ist das Effektive Baugrundmodell ausführlich beschrieben.

Der umliegende Baugrund („Erdkeil“) wird aus dem Flächenmodell dadurch eliminiert, dass dessen Steifigkeit in eine elastische Randlinien- und Eckknotenlagerung umgerechnet wird.

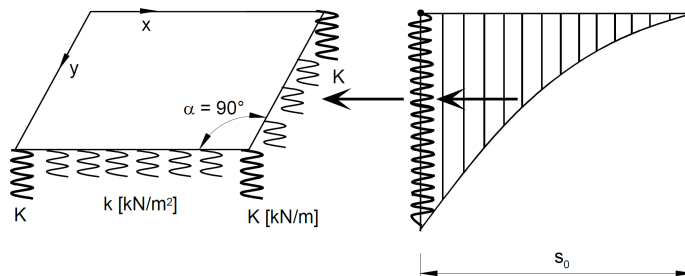


Bild 4.110 Umrechnung des Erdkeils in eine Linien- und Eckknotenlagerung

In einer ersten Näherung errechnen sich die Federkonstanten k und K der Linien- und Eckknotenlagerung mit folgenden Gleichungen:

Federkonstante Linienlagerung:

$$k = \sqrt{C_{u,z} C_{v,\perp}}$$

Gleichung 4.18

Federkonstante Eckknotenlagerung:

$$K = \frac{C_{v,x} + C_{v,y}}{4}$$

Gleichung 4.19

In Gleichung 4.18 ist der C_v -Parameter einzusetzen, der senkrecht zur Randlinie wirkt.

Die Gleichung 4.19 gilt für Ecken mit dem Winkel $\alpha = 90^\circ$ (andere Winkelgrößen siehe [3]). Größere Winkel von α ergeben kleinere Werte von K ; für $\alpha = 0^\circ$ ist allerdings auch $K = 0$.

Die auf diese Weise ermittelten Federn sind im Modell als Linien- und Knotenlager zusätzlich zur elastischen Flächenbettung anzuordnen.



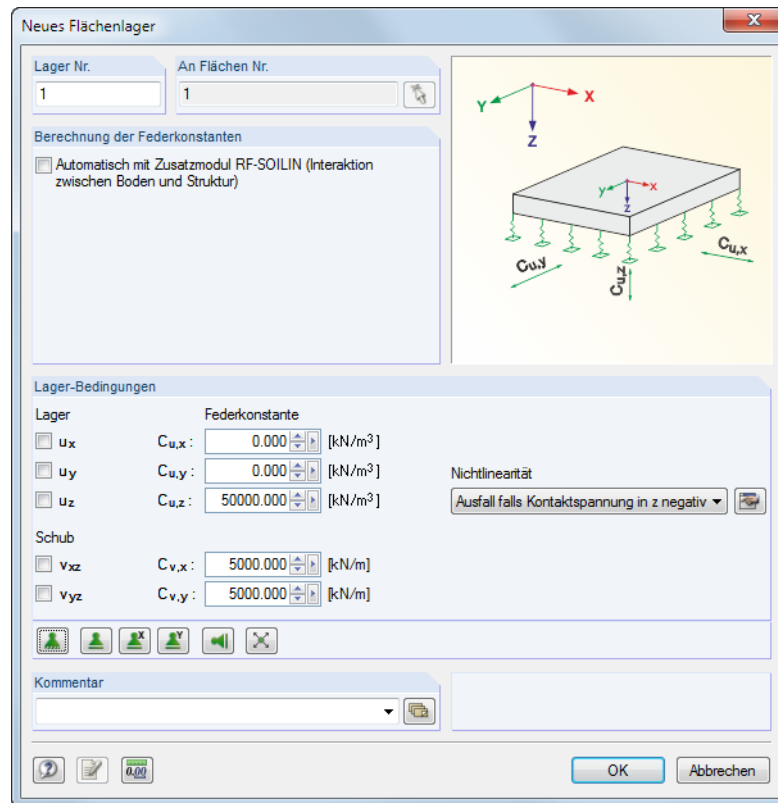


Bild 4.111 Dialog Neues Flächenlager

Bettung Nr.	A An Flächen Nr.	B Federkonstanten mit RF-SOILIN	C Stützung bzw. Feder [kN/m³] C _{ux}	D C _{uy}	E C _{uz}	F Schubfeder [kN/m] C _{v,xz}	G C _{v,yz}	H Ausfall der Bettung	I Kommentar
1	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50000.00	5000.00	5000.00	Kein	
2	2-4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30000.00	3000.00	3000.00	Falls Kontaktspannung neg	
3					Ja				
4					Nein				
5					Federkonstante				
6									

Bild 4.112 Tabelle 1.9 Flächenlager

An Flächen Nr.




Die Nummern der gelagerten Flächen sind in diese Spalte bzw. dieses Eingabefeld einzutragen oder grafisch zu bestimmen.

Federkonstanten mit RF-SOILIN

Jeder Baugrund besitzt mehr oder weniger ausgeprägte nichtlinear elastische bis plastische Eigenschaften. Die Bettungskennwerte lassen sich bequem mit dem Zusatzmodul RF-SOILIN ermitteln. Dieses Programm führt Setzungsberechnungen durch, die auf Lasteinwirkungen und den Ergebnissen von Probebohrungen basieren und ermittelt die Federkoeffizienten in jedem finiten Element. Dabei können unterschiedliche Bodenaufbauten an mehreren Messstellen berücksichtigt werden.

Falls diese Option aktiviert wird und keine Ergebnisse aus RF-SOILIN vorliegen, so werden vor der eigentlichen RFEM-Berechnung die Bettungskennwerte ermittelt.

Stützung bzw. Feder $C_{u,x}$ / $C_{u,y}$ / $C_{u,z}$

Die Richtungen der Lager oder Federn beziehen sich auf die lokalen Flächenachsen x , y und z . Diese können über den Zeigen-Navigator oder das Kontextmenü einer Fläche eingeblendet werden (siehe Bild 4.76 ).



Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte einzugeben.

Wirkt die Lagerung senkrecht zur Fläche, ist das Lager bzw. die Federkonstante in das Eingabefeld $C_{u,z}$ einzutragen. Dieser Parameter ist der Winklerschen Bettungszahl C_z praktisch gleich. Er kann einem Baugrundgutachten entnommen werden.

Die Parameter $C_{u,x}$ und $C_{u,y}$ repräsentieren die Wegfedern, die den Widerstand der Bettung gegen die Verschiebung in die Flächenrichtungen x bzw. y beschreiben. Bei einer Bodenplatte wird damit der (auflastunabhängige) Widerstand in die horizontalen Richtungen definiert.




In der Grafik werden die Federn stets in Richtung der positiven Flächenachse z angetragen. Sollten die Federsymbole auf der „falschen“ Flächenseite liegen, kann die Ausrichtung der lokalen z -Achse schnell geändert werden: Klicken Sie die Fläche mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü *Lokales Achsensystem umkehren*. Diese Möglichkeit steht nur bei 3D-Modellen zur Verfügung, nicht bei eben angelegten Modellen. Beim Ändern ist ggf. zu beachten, dass das Ausfallkriterium auch die Wirkrichtung wechselt.

Feste Lagerungen ermöglichen es, z. B. bei symmetrischen Volumenmodellen nur einen Teil des Modells abzubilden. Auf diese Weise kann die Rechenzeit deutlich verkürzt werden.

Schubfeder $C_{v,xz}$ / $C_{v,yz}$

Eine Eingabe in diesen Feldern bewirkt, dass die Schubtragfähigkeit des Baugrundes in Richtung der Flächenachsen x bzw. y berücksichtigt wird. Die Pasternaksche Konstante C_v liegt in den meisten Fällen zwischen $0,1 \cdot C_{u,z}$ (geringe Schubtragwirkung) und $0,5 \cdot C_{u,z}$ (mittlere Schubtragwirkung). In der Regel kann $C_{v,xz} = C_{v,yz}$ angesetzt werden.

Ist das Lager u_z unverschieblich, so sind die zugehörigen Schubglieder für die Steifigkeitsmatrix automatisch aktiviert.

Kolar [\[3\]](#)  gibt eine Tabelle mit Orientierungswerten für unterschiedliche Böden an. Diese Angaben können jedoch die Werte eines Bodengutachtens oder eine Berechnung mit RF-SOILIN nicht ersetzen!

Bodenkonsistenz	Bettung $C_{u,z}$ [kN/m ³]	Schubtrag- wirkung C_v [kN]	Schubtrag- wirkung C_v [kN]	Schubtrag- wirkung C_v [kN]
		keine	mittel	groß
sehr weich	1 000	0	500	1 000
mitteldicht	10 000	0	5 000	10 000
dicht	100 000	0	50 000	100 000

Tabelle 4.5 Orientierungswerte für $C_{u,z}$ und C_v

Im Dialog *Neues Flächenlager* (siehe Bild 4.109 ) liegen verschiedene Lagertypen in Form von Schaltflächen vor, die die Definition der Freiheitsgrade erleichtern.

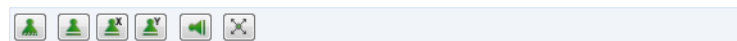


Bild 4.113 Schaltflächen im Dialog *Neues Flächenlager*

Die Schaltflächen sind mit folgenden Lagereigenschaften belegt:

Schaltfläche	Lagertyp
	Fest
	Verschieblich in x und y
	Verschieblich in x
	Verschieblich in y
	Verschieblich in z
	Frei

Tabelle 4.6 Schaltflächen Flächenlager

Nichtlinearität

Die Lagerung kann für positive oder negative Kontaktspannungen ausgeschlossen werden, die in Richtung der Verschiebung u_z auftreten: Die Bettung fällt z. B. bei abhebenden Kräften aus. Die Vorgabe erfolgt über die Liste im Dialog oder der Tabelle (siehe Bild 4.110 [↗](#)).

Positiv bzw. negativ sind auf die Spannungen bezogen, die in Richtung bzw. entgegengesetzt zur lokalen Flächenachse z wirken: Positive Kontaktspannungen entstehen, wenn eine Bodenplatte bei nach unten gerichteter globaler Z - und lokaler z -Achse durch Eigengewicht belastet wird. Mit einer nach oben orientierten Flächenachse z wäre die Kontaktspannung negativ.

Die Anzeigemöglichkeit für die Flächenachsen ist im Bild 4.76 [↗](#) dargestellt.

Nichtlineare Flächenlager werden in der Grafik und der Tabelle andersfarbig gekennzeichnet.

Über die Dialog-Schaltfläche [Bearbeiten] (siehe Bild 4.109 [↗](#)) lassen sich spezifische Nichtlinearitäten wie *Fließen* (Begrenzung der Kontaktspannung) und *Reibung* definieren.

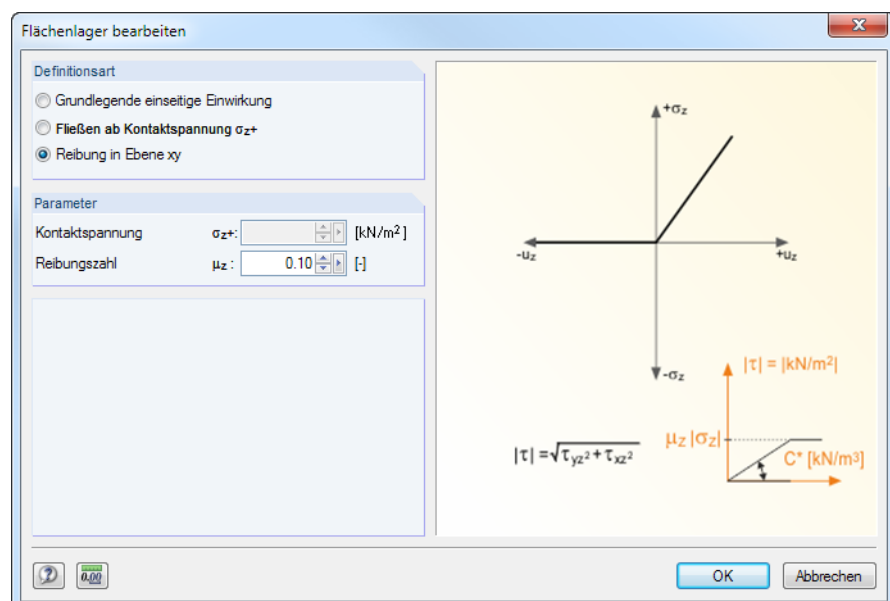
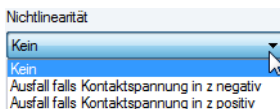


Bild 4.114 Dialog Flächenlager bearbeiten





Bei einer Nichtlinearität berechnet RFEM die Verformungen und Spannungen in mehreren Iterationen. Dabei wird untersucht, welche finiten Elemente spannungslos werden, wenn die Bettung wegen des Ausfalls nicht mehr wirkt.

Bei Ergebniskombinationen mit nichtlinear wirkenden Lagern besteht die Gefahr, dass Ergebnisse mit örtlich unterschiedlichem Lagerausfall kombiniert werden. In diesen Fällen empfiehlt es sich, Lastkombinationen zu verwenden (siehe Beispiel im Bild 5.28).

4.10

Liniengelenke

Allgemeine Beschreibung

Flächen, die sich an einer Linie berühren, sind dort biegesteif verbunden. Ein Liniengelenk ermöglicht es, bestimmte Freiheitsgrade von der Übertragung auszuschließen.

Liniengelenke können nicht nur an Begrenzungslinien von Flächen angeordnet werden. Sie lassen sich auch - wie links gezeigt - Linien zuweisen, die in die Fläche integriert sind.

Ein Liniengelenk ist die Eigenschaft einer Fläche, nicht die einer Linie. Das Gelenk muss deshalb einer Fläche zugeordnet werden. Die Zuweisung ist auch grafisch möglich über das Menü **Einfügen** → **Modelldaten** → **Liniengelenke** → **Zu Linien grafisch zuordnen**.

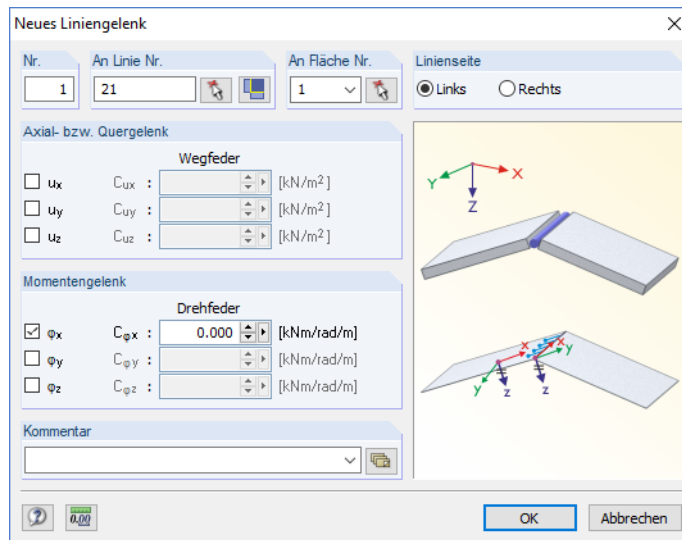
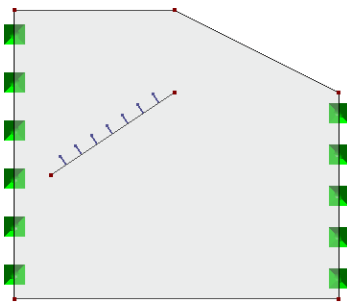


Bild 4.115 Dialog Neues Liniengelenk (für integrierte Linie)

1.10 Liniengelenke

Gelenk Nr.	A	B	C	D			E			F	G			H	I	J
	Linie Nr.	Fläche Nr.	Seite	Axial-/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m ²]			Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad/m]				Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad/m]					
				u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z		φ _x	φ _y	φ _z			Kommentar
1	3	1	Links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
2	22	2		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>					
3											Ja					
4											Nein					
5											Federkonstante					
6																

Linien | Materialien | Flächen | Volumenkörper | Öffnungen | Knotenlager | Linienlager | Flächenlager | Liniengelenke | Querschnitte

Gelenk ('J' a / 'N' ein / Federkonstante / F7 zum Wählen)

Bild 4.116 Tabelle 1.10 Liniengelenke



Linie Nr.

Es ist die Nummer der Linie einzutragen oder in der Liste bzw. grafisch auszuwählen, an der das Gelenk wirken soll. Wurde vor der Dialogeingabe die Fläche selektiert, lassen sich mit der Schaltfläche [Alle Begrenzungslinien] sämtliche Randlinien dieser Fläche übernehmen.



Fläche Nr.

Das Liniengelenk wird einer Fläche zugeordnet. Da das Gelenk die Eigenschaft einer Fläche ist, kann es nachträglich auch im Dialog *Fläche bearbeiten* angepasst werden.

Seite

Die Auswahlfelder bzw. Spalte sind nur dann zugänglich, wenn es sich um eine in die Fläche integrierte Linie handelt. Die Anordnung des Gelenks steuert, wie die finiten Elemente auf den Linienseiten in der Steifigkeit berücksichtigt werden.

Für die Anordnung des Gelenks *Links* oder *Rechts* von der Linie sind die Linienrichtung (\blacktriangle im Bild unten) und die Richtung der Flächenachse z maßgebend. Wenn die globale Z -Achse nach **unten** orientiert ist, gilt folgende Regel: „Standpunkt auf der Linie, lokale z -Achse der Fläche in Richtung der Füße, Blick in Richtung der Linie, links/rechts wie Arme“. Im Falle einer nach **oben** gerichteten Z -Achse gilt diese Regel mit der Bedingung „Blick entgegen Richtung der Linie“.

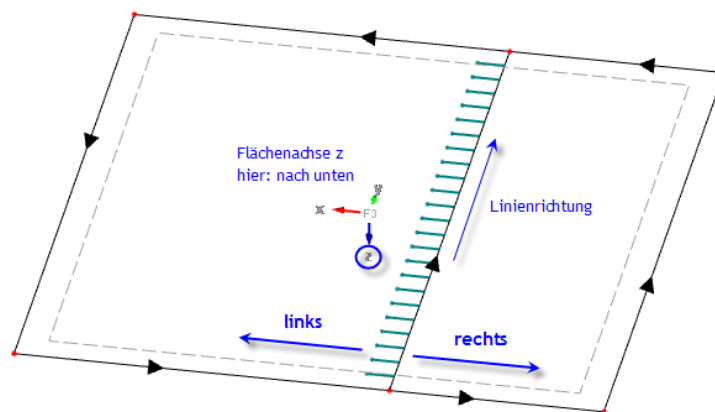
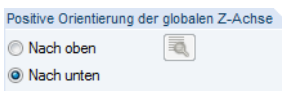


Bild 4.117 Definition der Linienseiten

Für die Begrenzungslinie einer Fläche ist diese Option gesperrt: Die Zuweisung zur Fläche regelt eindeutig, auf welcher Seite der Linie das Gelenk wirksam ist.

Axial-/Quergelenk bzw. Feder

Diese Eingabefelder bzw. Spalten steuern die Freiheitsgrade für Normal- und Querkräfte. Ist ein Kontrollfeld angehakt, so bedeutet dies, dass die Verschiebung in diese Richtung möglich ist und somit die Kraft nicht übertragen wird. Es kann auch die Konstante einer Wegfeder eingegeben werden.



Die Freiheitsgrade basieren auf folgender Achsdefinition: Die Achse x zeigt in Richtung der Linie; die Achse y stellt die Tangente zur Flächenebene dar, die Achse z die Normale zur Fläche.

Momentengelenk bzw. Feder

Die Freiheitsgrade der Momente sind auf das lokale Gelenk-Koordinatensystem bezogen (Achse x in Richtung der Linie, Achse y als Tangente und Achse z als Normale zur Flächenebene). Ein Häkchen bedeutet, dass die Verdrehung frei ist und die Schnittgröße nicht übertragen wird. Es kann auch die Konstante einer Drehfeder eingegeben werden.



Die Grafik im Dialog stellt die lokalen Achsenrichtungen dar. Ein „Scharniergelenk“ zwischen zwei Flächen wird durch ein φ_x -Gelenk abgebildet. Damit entsteht ein Momentengelenk um die Längsachse der Linie.



Soll ein Liniengelenk nichtlineare Eigenschaften erhalten, muss das Gelenk in eine *Linienfreigabe* (siehe Kapitel 4.26 [\[2\]](#)) konvertiert werden. Hierzu besteht im Kontextmenü des Liniengelenks eine spezielle Funktion, die auch in folgendem Beitrag vorgestellt ist: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001143> [\[2\]](#)

4.11

Veränderliche Dicken

Allgemeine Beschreibung

Eine veränderliche Dicke beschreibt die lineare Zu- oder Abnahme der Flächendicke. Damit lassen sich gevoutete Flächen modellieren. Die veränderliche Dicke ist an drei Punkten zu definieren, zwischen denen RFEM dann linear interpoliert.

Eine veränderliche Dicke wird nicht direkt eingegeben, sondern zunächst als Parameter bei der Flächendefinition gesetzt: Beim Anlegen der Fläche ist die **Dicke** als **Veränderlich** festzulegen (siehe Kapitel 4.4 [\[2\]](#)). Damit werden die links dargestellten [Bearbeiten]-Schaltflächen im Dialog bzw. in der Tabelle zugänglich.

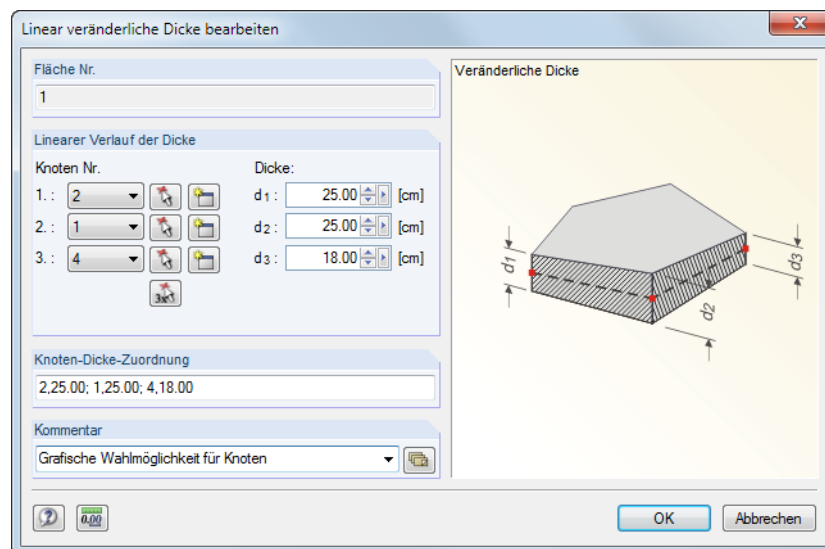


Bild 4.118 Dialog *Linear veränderliche Dicke bearbeiten*

1.11 Veränderliche Dicken							
Fläche-Nr.	1. Knoten		2. Knoten		3. Knoten		Kommentar
	Nr.	Dicke d ₁ [cm]	Nr.	Dicke d ₂ [cm]	Nr.	Dicke d ₃ [cm]	
1	2	25.00	1	25.00	4	18.00	Balkonplatte
3	22	22.00	21	22.00	23	18.00	

Bild 4.119 Tabelle 1.11 *Veränderliche Dicken*



Fläche

Veränderliche Dicken können nur für ebene Flächen verwendet werden, nicht jedoch für z. B. gekrümmte Flächen.

Linearer Verlauf der Dicke

Die Dicke ist über drei Knoten festzulegen, zwischen denen linear interpoliert wird. Es können beliebige Knoten in der Ebene der Fläche zur Definition der Dicken benutzt werden. Die Knoten brauchen nicht zur Fläche gehören; es ist jedoch erforderlich, dass an diesen Definitionspunkten FE-Knoten generiert werden können.



Die drei *Knoten* sind in der Liste oder mit  bzw.  in der Grafik auszuwählen. Knoten können auch [Neu] angelegt werden. Die *Dicke* d kann dann jeweils zugewiesen werden.

Der Abschnitt *Knoten-Dicke-Zuordnung* stellt die Eingabe in Kurzform dar: Knotennummer und Dicke werden durch Komma getrennt, die einzelnen Knoten-Dicke-Paare durch ein Semikolon.

Zur Kontrolle kann der Verlauf der Flächendicken im Rendering dargestellt werden: Aktivieren Sie im *Zeigen-Navigator* die Option *Gefüllt einschließlich Dicke*.

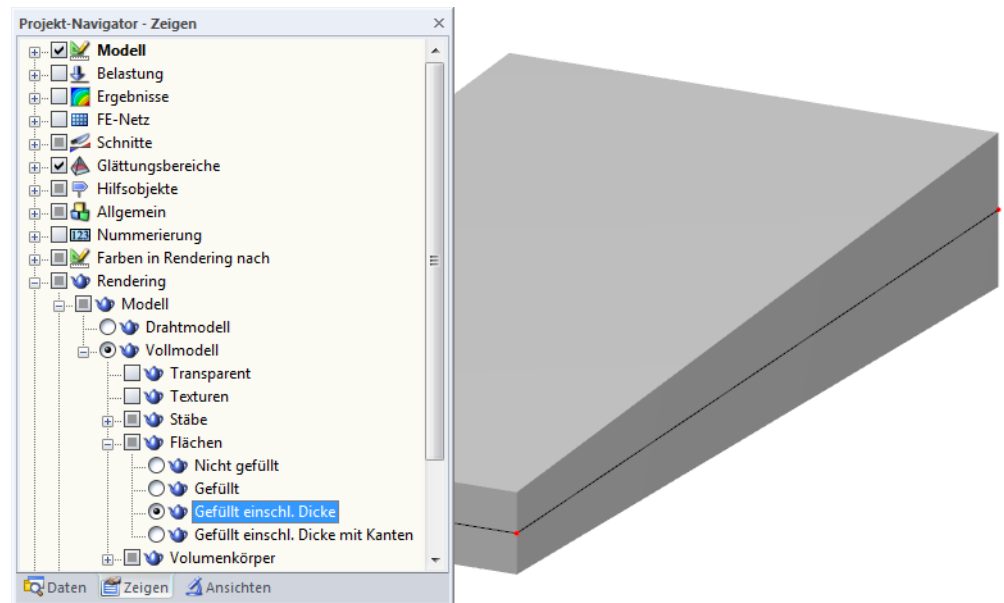


Bild 4.120 Zeigen-Navigator: Rendering → Modell → Vollmodell → Flächen → Gefüllt einschl. Dicke

4.12

Orthotrope Flächen und Membranen

Allgemeine Beschreibung

Bei orthotropen Flächen liegen unterschiedliche Steifigkeiten in Richtung der lokalen Flächenachsen x und y vor. Damit lassen sich z. B. Brettschichtholzträger oder Rippendecken modellieren. Orthotropieeigenschaften sind nicht nur für ebene Flächen, sondern auch für Quadrangelflächen möglich.

Die orthotropen Eigenschaften können über das Material (Materialorthotropie mit unveränderlicher Geometrie), die Geometrie (uneinheitliche Flächenform bei isotropem Material) oder in kombinierter Form definiert werden.

Die allgemeine Steifigkeitsmatrix einer orthotropen Fläche in RFEM ist wie folgt:

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & D_{26} & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & D_{36} & D_{37} & D_{38} \\ & & & D_{44} & D_{45} & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & \text{sym} & & & & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

Gleichung 4.20

Orthotrope Flächen können nach Theorie I., II. oder III. Ordnung berechnet werden. Bei Matrizen mit reinen Membrankoeffizienten ist nur eine Analyse nach Theorie III. Ordnung möglich.

Ausführliche Informationen zum Thema *Orthotropie* finden Sie in einem englischen Dokument, das Sie bei Dlubal Software anfordern können.

Eine Orthotropie wird nicht direkt eingegeben, sondern zunächst als Parameter bei der Flächendefinition gesetzt: Beim Neuanlegen der Fläche ist die *Steifigkeit* als **Orthotrop** oder **Membran orthotrop** festzulegen (siehe [Kapitel 4.4](#)). Damit werden die links dargestellten Schaltflächen [Parameter bearbeiten] im Dialog bzw. in der Tabelle zugänglich.

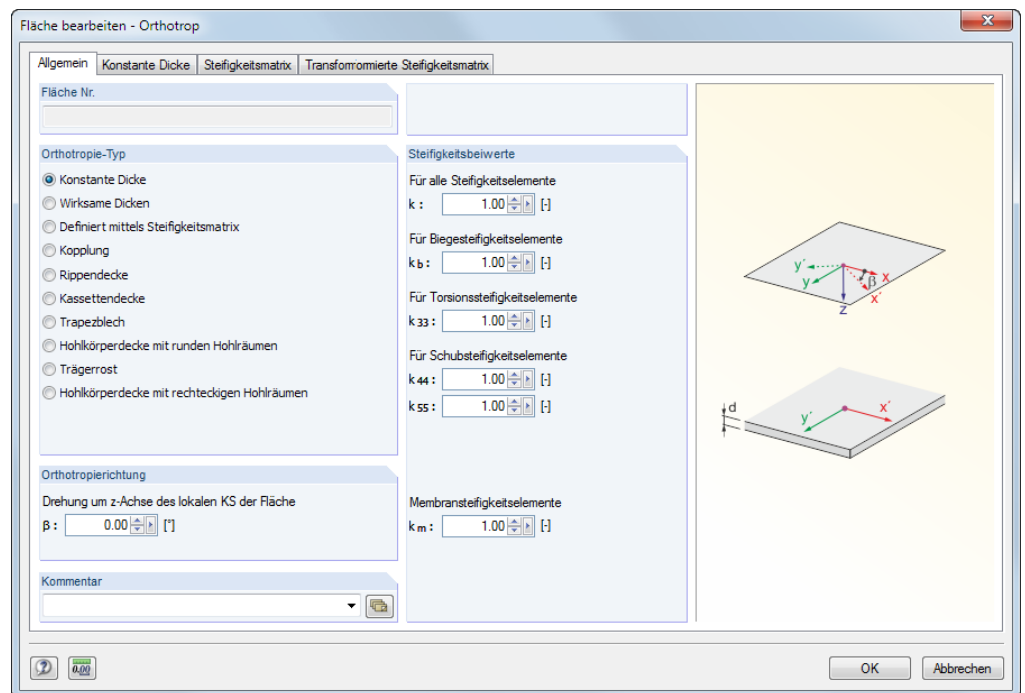


Bild 4.121 Dialog Fläche bearbeiten - Orthotrop

1.12 Orthotrope Flächen und Membranen

Fläche Nr.	A	B	C	D	E			G	H	I
					Steifigkeitsbeiwerte					
	Orthotropie-Typ	Orthotropie-Richtung β [°]	k [-]	k_s [-]	k_{33} [-]	k_{44} [-]	k_{55} [-]	k_m [-]	Kommentar	
1	Membran - orthotrop	0.00	1.00							
2	Wirksame Dicken	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
3	Konstante Dicke	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	BSH	
4	Konstante Dicke	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	BSH	
5	Konstante Dicke	45.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
6	Koeffizienten	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		

Knotenlager | Linienlager | Flächenlager | Liniengelenke | Orthotrope Flächen | Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten

Definitionsart der Orthotropie ('D'icken / 'K'oeffizienten / 'S'tarr / 'K'o'pplung / F7 zum Wählen)

Bild 4.122 Tabelle 1.12 Orthotrope Flächen und Membranen

Der Dialog gliedert sich in mehrere Register, die vom gewählten *Orthotropietyp* abhängig sind.

Im Abschnitt *Steifigkeitsbeiwerte* können die Steifigkeiten entweder global mit dem Faktor k oder individuell für die Biege-, Torsions-, Schub- und Membransteifigkeitsanteile abgemindert werden (siehe Abschnitt [Steifigkeitsbeiwerte](#)).

Im Register *Steifigkeitsmatrix* werden jeweils die Elemente der Matrix ausgewiesen (siehe [Bild 4.121](#)).

Beim RFEM 4-Import werden die Steifigkeitsmatrix-Elemente gemäß [Gleichung 4.1](#) angepasst.

Orthotropie-Typ

Orthotrope Flächen können über Material- und Geometrieparameter oder auch direkt durch die Koeffizienten der lokalen Steifigkeitsmatrix definiert werden. Je nach Vorgabe ändern sich die Register des Dialogs.

Die Orthotropietypen werden auf den folgenden Seiten vorgestellt. Bei jeder Definitionsart ist die *Äquivalente Dicke* anzugeben, die zur Ermittlung des Eigengewichts angesetzt werden soll.

Konstante Dicke

Es werden die im Dialog *Materialmodell - Orthotrop* definierten Orthotropieeigenschaften des Materials benutzt (siehe [Bild 4.48](#)). Dieser Typ eignet sich nur für homogene, gleich dicke Flächen, deren Material ausgeprägte Orthotropieeigenschaften aufweist.

Wirksame Dicken

Im Register *Wirksame Dicke* können unterschiedliche Dicken in Richtung x' und in Richtung y' definiert werden, um ungleiche Steifigkeitsverhältnisse abzubilden.

Das Eigengewicht wird nicht aus den Dicken dieses Dialogs ermittelt, sondern es wird die Flächendicke benutzt, die im Dialog *Fläche bearbeiten* bzw. in [Tabelle 1.4 Flächen](#) eingetragen ist.

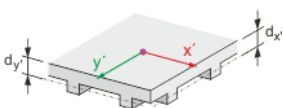
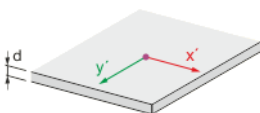
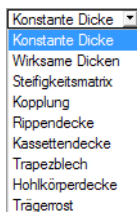
Zur Kontrolle werden die Elastizitäts- und Schubmoduln des verwendeten Materials angezeigt (siehe [Kapitel 4.3](#)). Alternativ wäre es möglich, die Orthotropieeigenschaften über das Material zu steuern und gleiche Dicken für die Richtungen x' und y' anzusetzen.

Für orthotrope Flächen werden keine Spannungen berechnet: Die unterschiedlichen Steifigkeitskoeffizienten hätten „verschmierte“ Ergebnisse zur Folge, da sie auf einen Mittelwert der Dicke bezogen sind. Diese Spannungen entsprechen nicht dem Orthotropiemodell.

Steifigkeitsmatrix

Die Koeffizienten der lokalen Steifigkeitsmatrix können manuell festgelegt werden.

Mit dieser Option lassen sich auch generierte Koeffizienten (z. B. einer Kopplung oder Rippendecke) benutzerdefiniert anpassen.



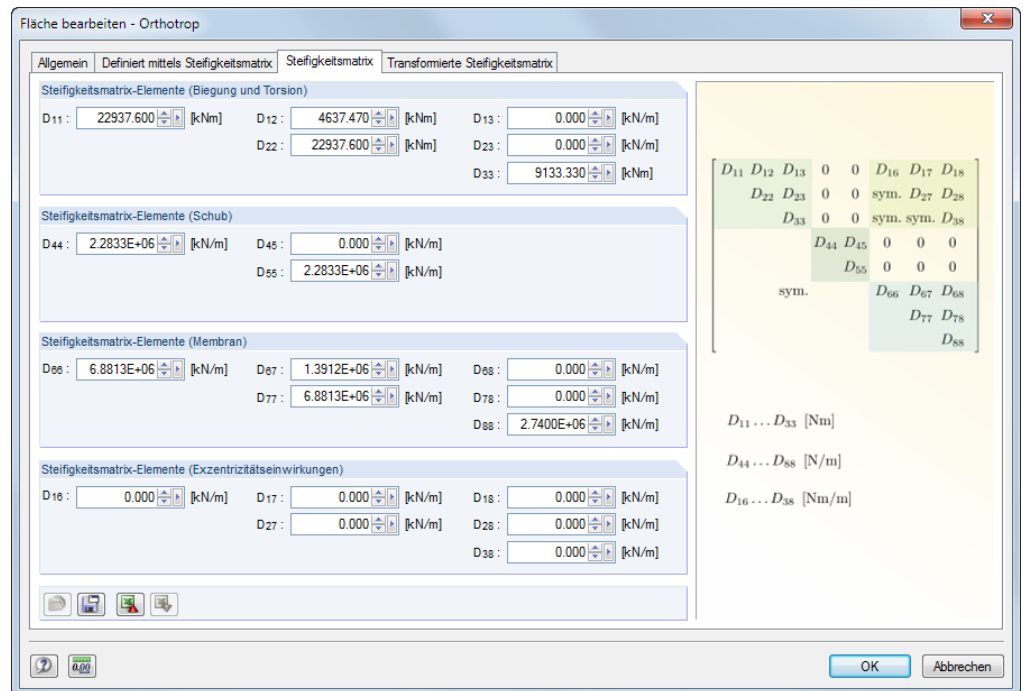


Bild 4.123 Dialog Orthotrope Fläche bearbeiten - Orthotrop, Register Steifigkeitsmatrix



Die [Info]-Schaltfläche gibt Aufschluss über die Rolle der Koeffizienten in der Steifigkeitsmatrix.

Falls die Achsen der Orthotropie nicht mit den Achsen des Element-Koordinatensystems übereinstimmen, müssen die Matrizen transformiert werden (siehe [4] [a](#), S. 305 - 313).

Falls sich bei der Kontrolle vor der Berechnung herausstellt, dass die Steifigkeitsmatrix nicht positiv definit ist, sind entsprechende Anpassungen der Koeffizienten erforderlich.

Kopplung

Damit lassen sich Verbindungen zwischen Flächen oder Stäben modellieren, die durch Kopplungselemente aus iso- oder orthotropem Material gegeben sind.

Im Dialogregister *Kopplung* sind die Parameter Kopplungsdicke d_p , Kopplungsabstand a und Koppelbreite b gemäß Schema anzugeben. Ein realistisches Kopplungsmodell liegt vor, wenn der Abstand a größer ist als die Breite b der gekoppelten Elemente.

Die effektive Dicke d^* ermittelt sich gemäß folgender Gleichung:

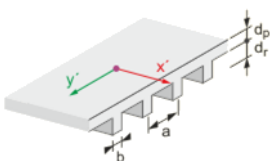
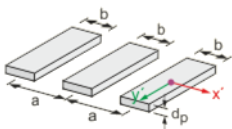
$$d^* = d_p \frac{b}{a}$$

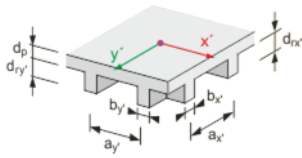
Gleichung 4.21

Rippendecke

Die orthotropen Eigenschaften einer Rippendecke beruhen auf dem Prinzip einer einachsig gespannten Plattenbalkendecke. RFEM ermittelt die Steifigkeiten aus den Geometrieparametern Deckendicke d_p , Rippenhöhe d_r , Rippenabstand a und Rippbreite b , die im Dialogregister *Rippendecke* gemäß Schema anzugeben sind.

Bitte beachten Sie, dass die Entwicklung von Rissen (z. B. Zustand II für Beton) bei der Ermittlung der Steifigkeiten **nicht** berücksichtigt wird. Es sind nur isotrope Materialien zulässig.



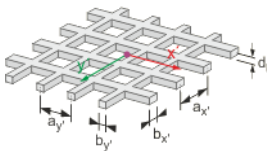
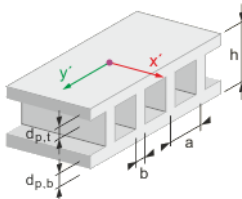
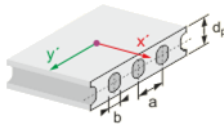
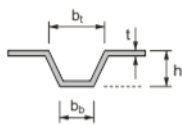
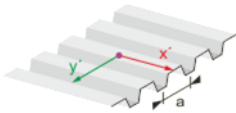


Kassettendecke

Dieser Deckentyp ist durch Stege charakterisiert, die sich orthogonal in einem gleichmäßigen Raster kreuzen und so die Decke kassettentartig gliedern. Die orthotropen Eigenschaften lassen sich wie bei einer Rippendecke (siehe oben) anhand der Geometrie beschreiben. Hierzu sind die Steifigkeitsparameter für zwei Richtungen anzugeben.

Im Dialogregister *Kassettendecke* sind die Parameter Deckendicke d_p sowie Rippenhöhe d_r , Rippenabstand a und Rippenbreite b für die Richtungen x' und y' gemäß Schema anzugeben.

Trapezblech



Die Möglichkeit, Trapezbleche als Flächen mit Orthotropieeigenschaften abzubilden, erleichtert die Modellierungsaufgabe erheblich. RFEM ermittelt die Steifigkeitskoeffizienten aus den Geometrieparametern des Profils. Dabei sind nur isotrope Materialien zulässig.

Im Dialogregister *Trapezblech* sind die Parameter Blechdicke t , Gesamtprofilhöhe h , Rippenabstand a , Sickenbreite oben b_t und Sickenbreite b_b gemäß Schema anzugeben.

Hohlkörperdecke mit runden/rechteckigen Hohlräumen

Hohlkörper in einer Decke reduzieren das Eigengewicht, begünstigen jedoch ein orthotropes Tragverhalten. RFEM ermittelt die Steifigkeiten aus den Geometrieparametern Deckendicke d_p bzw. Profilhöhe h und obere/untere Plattendicke $d_{p,t}$ bzw. $d_{p,b}$, Hohlkörper- bzw. Rippenabstand a sowie Hohlkörperdurchmesser bzw. Rippenbreite b . Die Parameter sind im Dialogregister *Hohlkörperdecke* gemäß Schema anzugeben.

Wie bei den übrigen geometrischen Orthotropien (Wirksame Dicken, Trapezblech, Rippen- und Kassettendecke, Trägerrost) sind nur isotrope Materialien zulässig.

Trägerrost

Ein Trägerrost kann nicht nur als Stabmodell, sondern auch als orthotrope Fläche abgebildet werden. Wie bei den übrigen geometrischen Orthotropien sind nur isotrope Materialien zulässig.

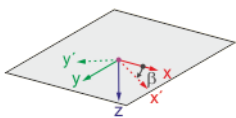
RFEM ermittelt die Steifigkeitskoeffizienten aus den Geometrieparametern Deckendicke d_p , Rippenabstand a_x' und a_y' sowie Rippenbreite b_x' und b_y' , die im Dialogregister *Trägerrost* gemäß Schema anzugeben sind.

Details zur Ermittlung der Steifigkeitsanteile aus den Geometrievorgaben finden Sie in einem englischen Dokument, das Sie bei Dlubal Software anfordern können.

Orthotropierichtung β

Die Orthotropierichtung ist auf die lokalen Achsen x und y der Fläche bezogen. Der Winkel β beschreibt die Drehung der x' -Achse zur lokalen x -Achse der Fläche. Er bewirkt, dass die Matrizen transformiert werden, die im Register *Transformierte Steifigkeitsmatrix* abrufbar sind.

Die Koordinatensysteme der Flächen können über den Zeigen-Navigator oder das Kontextmenü einer Fläche eingeblendet werden (siehe Bild 4.122 [\[1\]](#)).



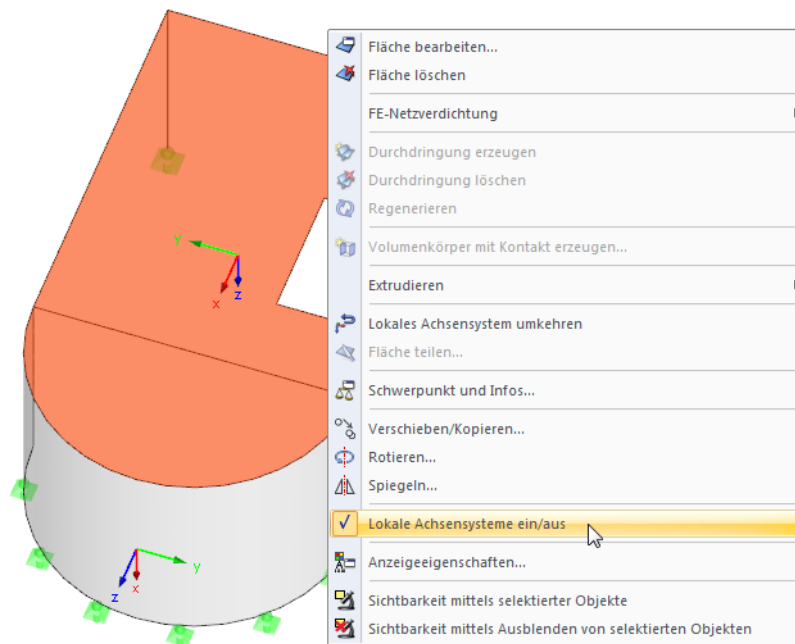


Bild 4.124 Fläche-Kontextmenü zur Darstellung des lokalen Flächenachsensystems xyz

Ein positiver Winkel β ist rechtsschraubig um die positive lokale z-Achse der Fläche definiert.

Steifigkeitsbeiwerte

Die Steifigkeiten können global mit dem Faktor k oder individuell für die Biege-, Torsions-, Schub- und Membrananteile der Matrix (siehe Gleichung 4.20) abgemindert werden.

Alle Steifigkeitselemente

Alle Koeffizienten der Steifigkeitsmatrix werden global mit einem Faktor multipliziert.

Biegesteifigkeitselemente

Über den Faktor k_b können die Koeffizienten D_{11} , D_{12} , D_{22} und D_{33} der Steifigkeitsmatrix angepasst werden, die die Biegeanteile repräsentieren. Es sind Faktoren zwischen 0 (keine Biegesteifigkeit) und 1 (volle Biegesteifigkeit) zulässig.

Drillsteifigkeitselemente

Das Eingabefeld k_{33} steuert den Faktor für die Torsionssteifigkeit D_{33} um die Achsen x' und y' . Die Bandbreite reicht dabei von 0 (keine Drillsteifigkeit) bis 1 (volle Drillsteifigkeit). Ein kleiner Wert empfiehlt sich z. B. bei Verbundkonstruktionen mit semisteifen Verbindungen.

Schubsteifigkeitselemente

Die Faktoren k_{44} und k_{55} beeinflussen die Koeffizienten D_{44} und D_{55} der Matrix (Schubanteile).

MembranstEIFigkeitselemente

Über den Faktor k_m können die Koeffizienten D_{66} , D_{77} , D_{67} und D_{88} der Steifigkeitsmatrix angepasst werden, die die Normalkraftanteile repräsentieren. Es sind Faktoren zwischen 0 (keine MembranstEIFigkeit) und 1 (volle MembranstEIFigkeit) zulässig.

4.13

Querschnitte

Allgemeine Beschreibung

Vor der Eingabe eines Stabes muss ein Querschnitt definiert werden. Die Querschnittskennwerte und die zugeordneten Materialeigenschaften bestimmen die Steifigkeit des Stabes.

Jedem Querschnitt ist eine Farbe zugeordnet, die im Modell zur Darstellung der unterschiedlichen Profile benutzt werden kann. Die Steuerung erfolgt im Zeigen-Navigator mit der Option *Farben in Grafik nach* (siehe Kapitel 11.1.9 [☐](#)).

Nicht jeder Querschnitt, der definiert wird, muss auch im Modell verwendet werden. Bei der Modellierung kann somit ohne Löschen von Querschnitten experimentiert werden. Bitte beachten Sie jedoch, dass die Querschnitte nicht unnummeriert werden können.

Um einen gevouteten Träger abzubilden, sind für den Stab unterschiedliche Anfangs- und Endquerschnitte zu definieren. RFEM ermittelt automatisch die veränderlichen Steifigkeiten entlang des Stabes.

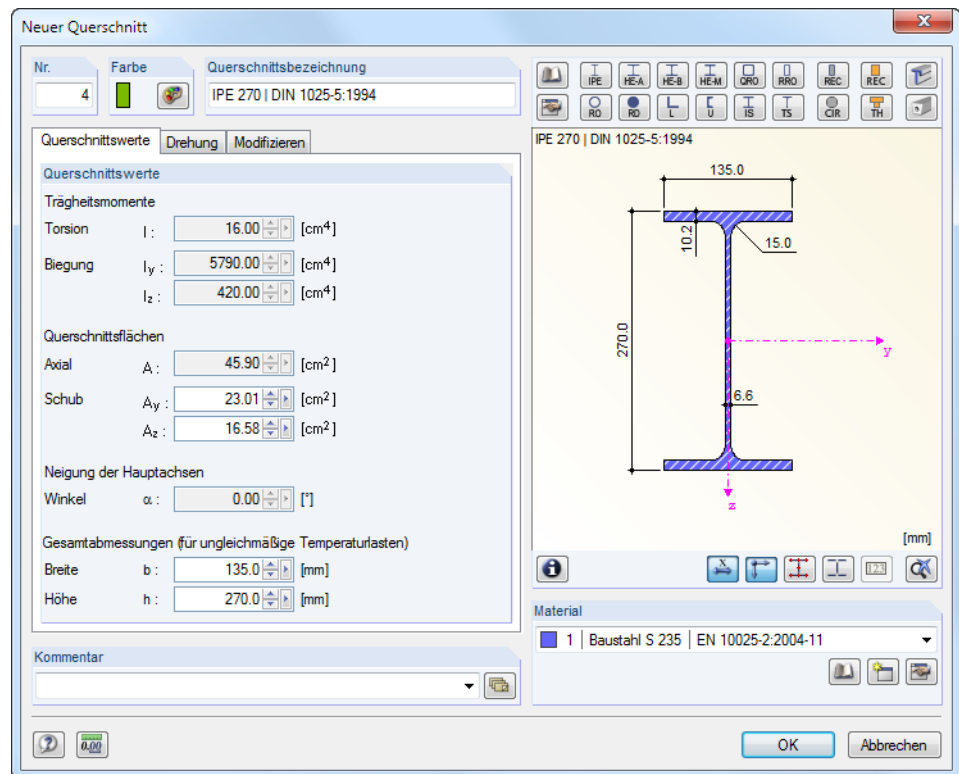


Bild 4.125 Dialog Neuer Querschnitt, Register Querschnittswerte

1.13 Querschnitte

Quersch. Nr.	A Querschnitt Bezeichnung	B Material Nr.	C Trägheitsmomente [cm ⁴]			G Querschnittsflächen [cm ²]			I Hauptachsen α [°]	J Drehung α [°]
			Torsion I _t	Biegung I _y	Biegung I _z	Axial A	Schub A _y	Schub A _z		
1	Kreis 300	1	79521.56	39760.78	39760.78	706.86	599.03	599.03	0.00	0.00
2	Rechteck 250/400	1	127335.23	133333.34	52083.33	1000.00	833.33	833.33	0.00	0.00
3	HE A 300 DIN 1025-3	2	85.60	18260.00	6310.00	113.00	69.96	21.73	0.00	0.00
4	HE B 260 DIN 1025-2	2	124.00	14920.00	5130.00	118.00	75.90	22.53	0.00	0.00
5	L 80x8	2	2.67	115.00	29.60	12.30	5.20	5.06	-45.00	0.00
6	PB 800/950/200/200	1	411906.08	1600107.52	1468958.62	3100.00	1775.43	1305.96	0.00	0.00
7										

Orthotrope Flächen | Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten

Querschnittsbezeichnung (F7 zum Aufruf der Querschnittsbibliothek mit Übernahmefähigkeit der Querschnittswerte)

Bild 4.126 Tabelle 1.13 Querschnitte

Die Querschnittskennwerte brauchen nicht manuell eingegeben werden. Es stehen eine umfangreiche, erweiterbare Querschnittsbibliothek sowie Importmöglichkeiten zur Verfügung.

Querschnittsbezeichnung

Die *Bezeichnung* des Querschnitts kann frei gewählt werden. Wenn der eingegebene Name mit einem Eintrag der Querschnittsbibliothek übereinstimmt, liest RFEM die Profilkennwerte ein. Die Werte der *Trägheitsmomente* und Fläche *Axial A* sind in diesem Fall nicht änderbar. Bei benutzerdefinierten Querschnittsbezeichnungen können die Trägheitsmomente und die Querschnittsflächen manuell eingetragen werden.

Die Kennwerte parametrisierter Querschnitte werden ebenfalls automatisch eingelesen. Bei der Eingabe von z. B. „Rechteck 80/140“ erscheinen die Querschnittswerte dieses Profils. Die Auswahl von Querschnitten aus der Bibliothek ist weiter unten beschrieben.



Für Kopplungen kann auch ein starrer Dummy-Querschnitt benutzt werden. Bei diesem Querschnittstyp werden die Steifigkeiten wie bei einem Kopplungsstab angesetzt. Geben Sie als Querschnittsbezeichnung den Namen „Dummy Rigid“ an, ohne die Querschnittswerte im Detail zu definieren. Damit können Stäbe mit hoher Steifigkeit unter Berücksichtigung von Gelenken oder anderen Stabeigenschaften benutzt werden. Als neue Variante in RFEM 5 ist der Stabtyp **Starrstab** möglich, womit sich die Definition eines *Dummy Rigid* erübrigt.

Material Nr.

Das Material des Querschnitts kann in der Liste der bereits definierten Materialien ausgewählt werden. Die Zuweisung wird durch die Materialfarben erleichtert, die standardmäßig für die gerenderte Darstellung benutzt werden.



Im Dialog *Neuer Querschnitt* befinden sich unterhalb der Liste drei Schaltflächen. Sie ermöglichen den Zugang zur Materialbibliothek, die Neudefinition oder die Bearbeitung eines Materials.

Im [Kapitel 4.3](#) finden Sie ausführliche Hinweise zu den Materialien.

Die Option *Hybrid* ist nur bei parametrisierten Holzquerschnitten zugänglich. Damit können den Querschnittsteilen spezifische Materialeigenschaften zugewiesen werden, falls unterschiedliche Materialgüten vorliegen (z. B. Holz minderer Klasse für Stege).



Die Schaltfläche [Bearbeiten] öffnet den Dialog *Hybrides Material bearbeiten*.

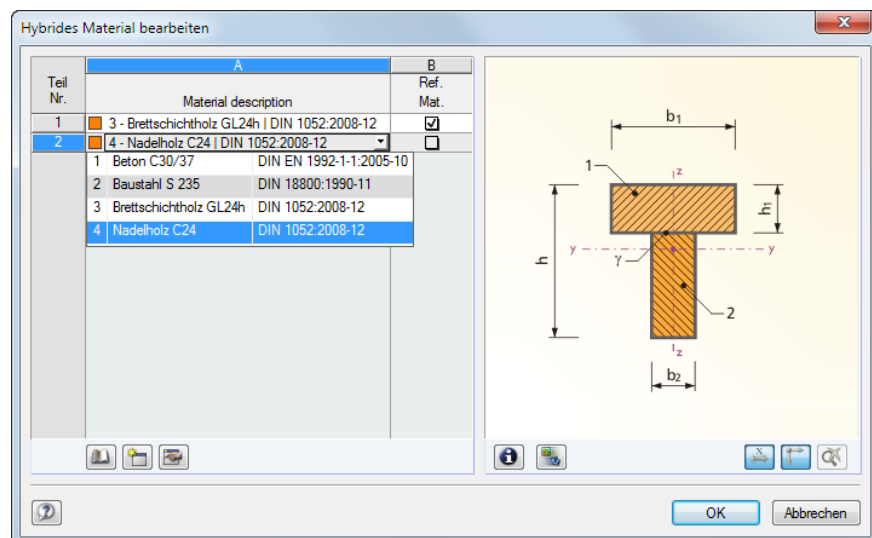
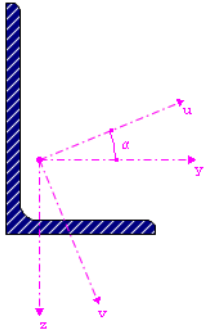


Bild 4.127 Dialog *Hybrides Material bearbeiten*

Die Materialien sind gemäß Grafikschemata den einzelnen Querschnittsteilen zuzuweisen. Sie können über die Liste ausgewählt werden. Eines dieser Materialien ist als *Referenzmaterial* für die Ermittlung der ideellen Querschnittswerte festzulegen.



Trägheitsmomente

Die Trägheitsmomente werden für die Querschnittssteifigkeit benötigt: Das Torsionsträgheitsmoment I_t beschreibt die Steifigkeit gegen Verdrehen um die Längsachse, die Flächenmomente 2. Grades I_y und I_z die Steifigkeiten gegen Biegung um die lokalen Achsen y und z . Die y -Achse ist als „starke“ Achse zu verstehen. In der Grafik des Dialogs *Neuer Querschnitt* werden die lokalen Querschnittsachsen dargestellt.

Bei unsymmetrischen Profilen werden die Trägheitsmomente um die Hauptachsen u und v des Querschnitts angegeben.

Die Trägheitsmomente und die Querschnittsflächen lassen sich im Register *Modifizieren* über Faktoren anpassen. In der Tabelle ist dieses Register über die Schaltfläche zugänglich, die nach einem Mausklick in die Zelle erscheint. Der Anpassungsfaktor für die Querschnittsfläche A übt dabei keinen Einfluss auf das Querschnittsgewicht aus.

Querschnittswerte			Drehung	Modifizieren
Querschnittswerte mittels Faktor modifizieren				
Trägheitsmomente				
	Ursprünglich [cm ⁴]	Multiplikationsfaktor [-]		Modifiziert [cm ⁴]
I_t :	99804.33	0.05		4990.22
I_y :	33333.34	1.00		33333.34
I_z :	208333.32	1.00		208333.32
Querschnittsflächen				
	Ursprünglich [cm ²]	Multiplikationsfaktor [-]		Modifiziert [cm ²]
A :	1000.00	1.00		1000.00
A_y :	833.33	1.00		833.33
A_z :	833.33	1.00		833.33

Bild 4.128 Dialog *Neuer Querschnitt*, Register *Modifizieren*

Mit der Vorgabe in [Bild 4.126](#) wird das Torsionsträgheitsmoment nur mit 5 % berücksichtigt.



Der Multiplikationsfaktor der Querschnittswerte wird standardmäßig nur bei Lastkombinationen berücksichtigt (siehe [Bild 7.21](#)). Bei Lastfällen hingegen sind per Voreinstellung alle Steifigkeitsbeiwerte deaktiviert, sodass die entsprechenden *Optionen* bei Bedarf angehakt werden müssen.

Querschnittsflächen

Die Profilkennwerte der Querschnittsflächen untergliedern sich in die Gesamtfläche A_{axial}/A und die Schubflächen $\text{Schub } A_y$ und $\text{Schub } A_z$.

Die Schubfläche A_y steht im Zusammenhang mit dem Trägheitsmoment I_z , die Schubfläche A_z entsprechend mit I_y . Zwischen den Schubflächen A_y und A_z sowie der Gesamtfläche A bestehen über einen Korrekturfaktor κ folgende Beziehungen:

$$A_y = \frac{A}{\kappa_y} ; \quad A_z = \frac{A}{\kappa_z}$$

Gleichung 4.22

$$\kappa_{y/z} = \frac{A}{I_{z/y}^2} \cdot \iint_A \frac{S_{z/y}^2(x)}{t^2(x)} dA$$

Gleichung 4.23


mit

A : Gesamtfläche des Querschnitts

$I_{z/y}$: Trägheitsmomente des Querschnitts

$S_{z/y(x)}$: Statische Momente des Querschnitts an der Stelle x

$t_{(x)}$: Breite des Querschnitts an der Stelle x

Die Schubflächen A_y und A_z beeinflussen die Schubverformung, die vor allem bei kurzen, massiven Stäben berücksichtigt werden sollte. Werden die Schubflächen zu null gesetzt, bleibt der Einfluss des Schubes unberücksichtigt. Die Steuerung kann auch im Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter* vorgenommen werden (siehe Bild 7.27 ). Falls extrem kleine Werte für die Schubflächen vorliegen, können numerische Probleme auftreten, denn die Schubflächen sind im Nenner von Gleichungen enthalten.

In folgendem Fachbeitrag finden Sie weitere Informationen zu den Schubflächen:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000966> 



Die Werte der Querschnittsflächen sollten realistisch gewählt werden: Extreme Unterschiede in den Querschnittsflächen von Profilen bedeuten große Steifigkeitsunterschiede, die wiederum numerische Probleme beim Lösen des Gleichungssystems bereiten können.

Hauptachsenwinkel α

Die Hauptachsen sind bei symmetrischen Profilen als y und z , bei unsymmetrischen Profilen als u und v bezeichnet (siehe oben). Der Hauptachseneckwinkel α beschreibt die Lage der Hauptachsen in Bezug auf das Standard-Hauptachsensystem symmetrischer Querschnitte. Bei unsymmetrischen Profilen ist dies der Winkel zwischen der Achse y und der Achse u (siehe Grafik auf vorheriger Seite am Rand). Dieser ist positiv im Uhrzeigersinn definiert. Bei symmetrischen Querschnitten gilt $\alpha = 0^\circ$. Die Hauptachseneigung von Bibliotheksprofilen ist nicht editierbar.

Der Hauptachseneckwinkel wird aus der folgenden Gleichung ermittelt:

$$\tan 2\alpha = \frac{2 I_{yz}}{I_z - I_y}$$


Gleichung 4.24



In 2D-Modellen sind nur die Querschnittsdrehwinkel 0° und 180° zulässig.

Querschnittsdrehung α'

Der Drehwinkel α' beschreibt den Winkel, um den die Profile aller Stäbe gedreht werden, die diesen Querschnitt verwenden. Hier handelt es sich also um einen globalen Querschnittsdrehwinkel. Zusätzlich kann jeder Stab separat um einen Stabdrehwinkel β gedreht werden.

Im Dialogregister *Drehung* (siehe Bild 4.127 ) besteht zudem die Möglichkeit, unsymmetrische Querschnitte zu *Spiegeln*. Damit lässt sich z. B. ein L-Profil in die korrekte Lage versetzen.

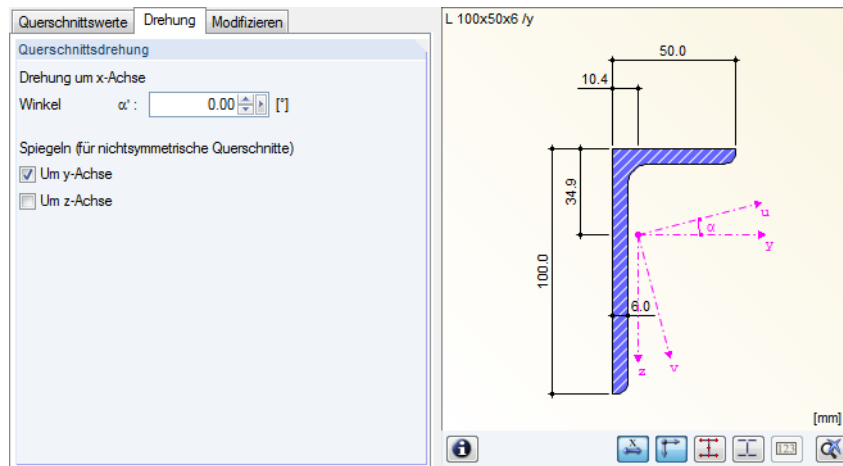


Bild 4.129 Dialog Neuer Querschnitt, Register Drehung

Wird ein Profil aus der Querschnittsbibliothek oder aus DUENQ eingelesen, braucht man sich um den Winkel α' nicht kümmern. RFEM liest diesen Winkel wie die übrigen Querschnittswerte automatisch ein. Bei eigendefinierten Profilen jedoch muss der Hauptachsenwinkel selbst ermittelt und dann über die Querschnittsrotation manuell angepasst werden.

Gesamtabmessungen

Die *Breite* b und *Höhe* h des Querschnitts ist für Temperaturlasten von Bedeutung.

Querschnittsbibliothek

Eine Vielzahl von Querschnitten ist in einer Datenbank hinterlegt.

Bibliothek aufrufen

Der Dialog *Neuer Querschnitt* und die Tabelle 1.13 *Querschnitte* ermöglichen den direkten Zugriff auf häufig verwendete Profilvereihen:

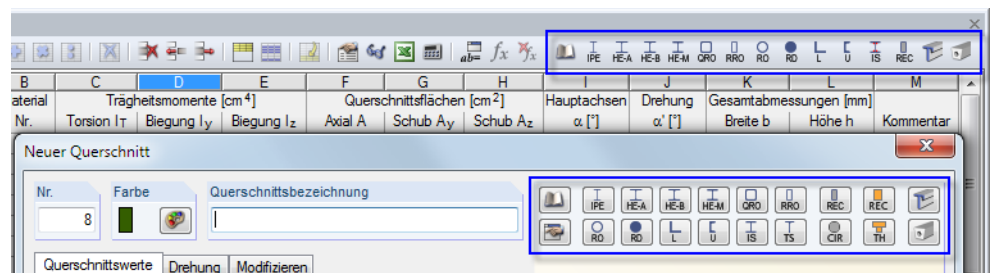



Bild 4.130 Schaltflächen häufig verwendeter Profilvereihen in Tabelle (oben) und Dialog (unten)



Die komplette Profilibibliothek ist über die Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] zugänglich. In der Tabelle kann auch der Cursor in Spalte A platziert werden. Dadurch wird die Schaltfläche  zugänglich, die - wie die Funktionstaste [F7] - die Querschnittsdatenbank öffnet.

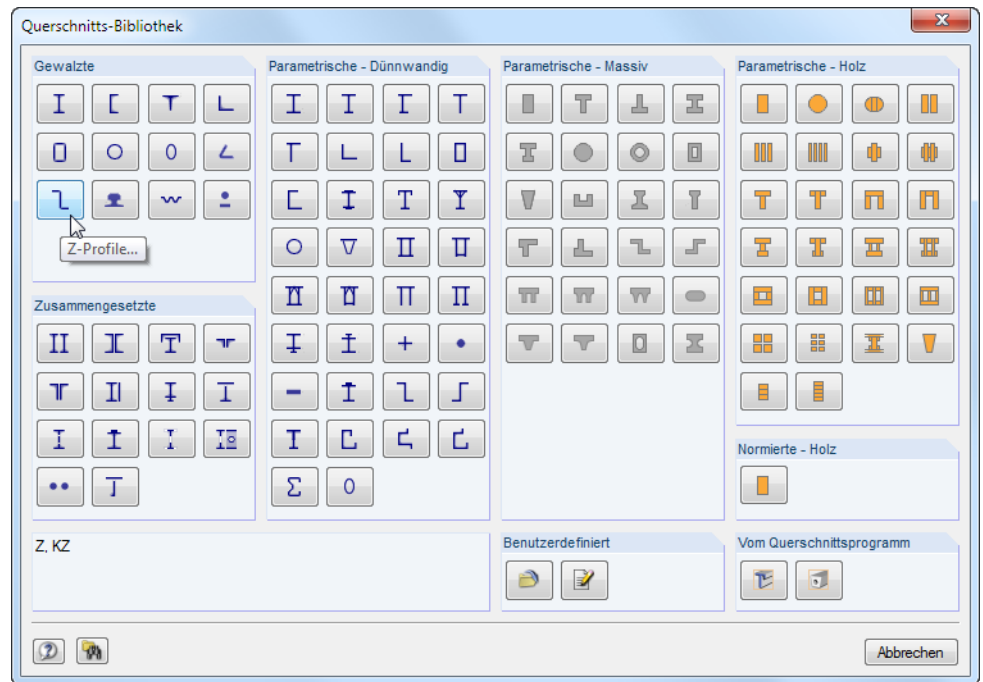


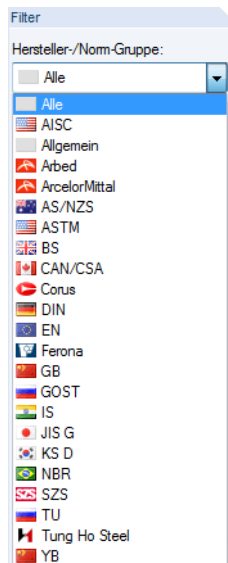
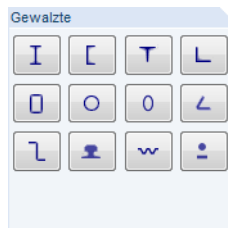
Bild 4.131 Querschnittsbibliothek

Die Querschnittsbibliothek ist in mehrere Bereiche gegliedert. Diese sind auf den folgenden Seiten beschrieben.

Gewalzte Querschnitte

Die tabellierten Werte vieler Walzprofile sind in einer Datenbank hinterlegt.

Mit einem Klick auf eine der zwölf Schaltflächen ist zunächst der *Querschnittstyp* festzulegen. Im nächsten Fenster kann dann die Reihe selektiert und in dieser der geeignete *Querschnitt* ausgewählt werden.



Filter für Hersteller-/Norm-Gruppe

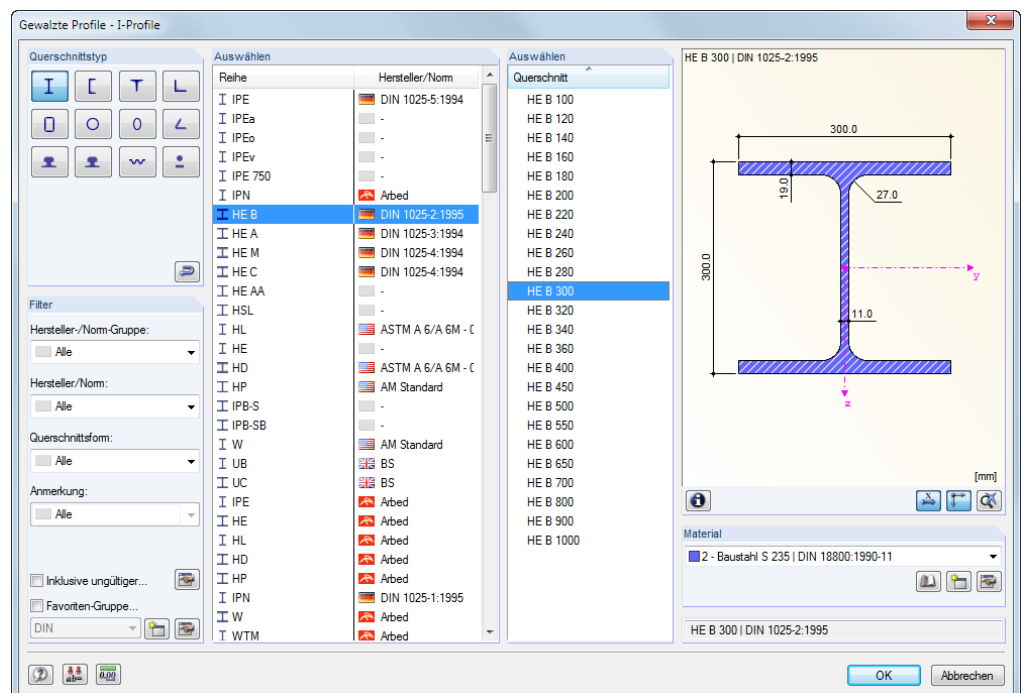


Bild 4.132 Walzprofil wählen

Im Abschnitt *Filter* ist es möglich, die Bibliothek nach den Kriterien *Hersteller-/Norm-Gruppe*, *Hersteller/Norm*, *Querschnittsform* und *Anmerkung* zu filtern. So wird das Angebot an Reihen und Profilen übersichtlicher. Die Anzeige lässt sich über die Spaltenüberschriften sortieren.

Sollten Querschnitte alter Normen benötigt werden, so können diese über das Kontrollfeld *Inklusive ungültiger* im Abschnitt *Filter* einblendend werden.

Favoriten anlegen

Bestimmte Querschnitte können als Favoriten gekennzeichnet werden. Der Dialog zum Anlegen bevorzugter Profile wird mit der Schaltfläche [Neue Favoritengruppe] unten im Abschnitt *Filter* aufgerufen. Ist der Name für die neue Gruppe festgelegt, erscheint der im folgenden Bild dargestellte Dialog.

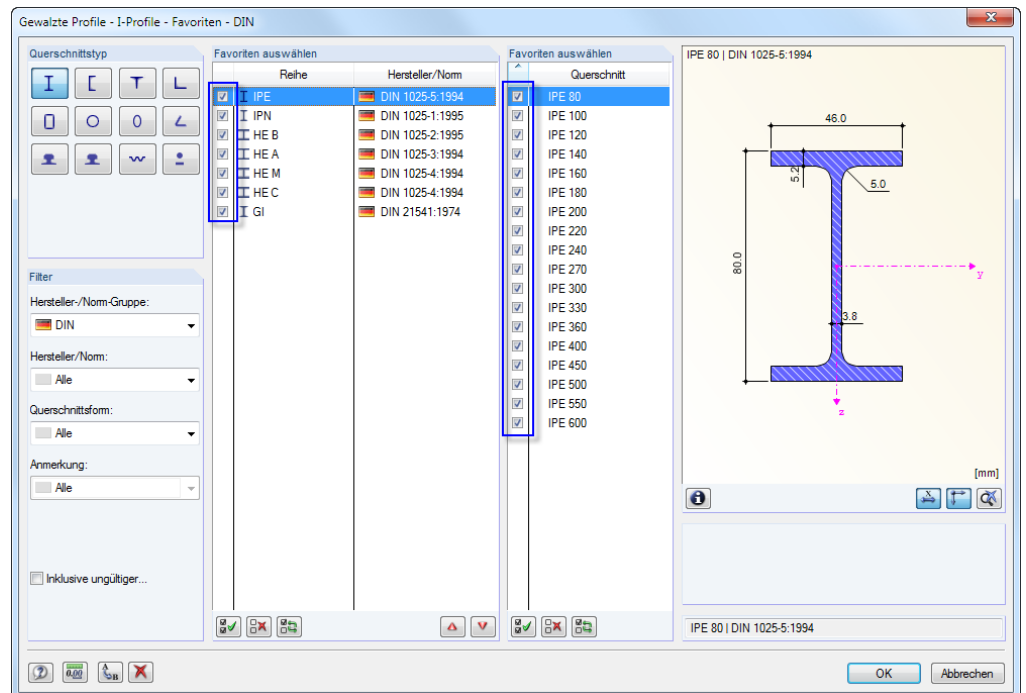
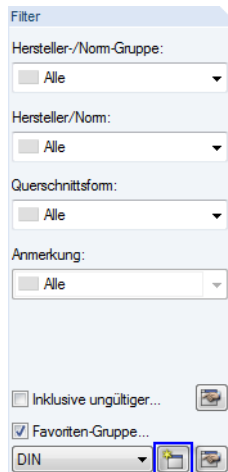
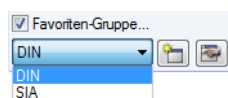


Bild 4.133 Dialog Gewalzte Profile - I-Profile - Favoriten, gefiltert nach DIN

Der Dialog ist wie die Profilibibliothek aufgebaut. Es stehen die oben beschriebenen Filtermöglichkeiten zur Verfügung. In den Abschnitten *Favoriten auswählen* können bevorzugte Reihen und Querschnitte mit einem Häkchen markiert werden.

Nach dem Schließen des Dialogs präsentiert sich die Querschnittsbibliothek in übersichtlicher Form, sobald das Kontrollfeld *Favoriten-Gruppe* aktiviert ist.

Auf diese Weise können verschiedene Gruppen von Favoriten erzeugt werden, die dann in der Liste unten im Abschnitt *Filter* zur Auswahl stehen.





Zusammengesetzte Querschnitte

Walzprofile können über die Angabe von Parametern zusammengefügt werden.

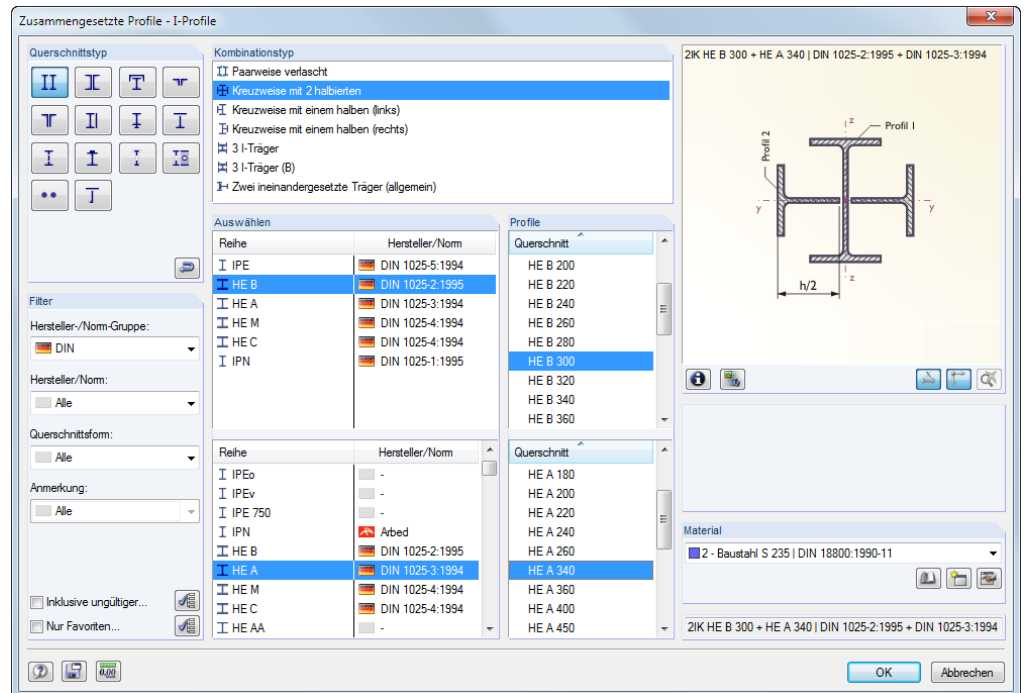


Bild 4.134 Dialog Zusammengesetzte Profile - I-Profile



Die Schaltfläche [Sichern] speichert ein zusammengesetztes Profil. Es wird in der Kategorie *Benutzerdefiniert* mit seiner genauen Bezeichnung (z. B. im Bild oben *2IK HE B 300 + HE A 340*) abgelegt und kann von dort wieder eingelesen werden.

Parametrische Querschnitte - Dünnwandig

In den Eingabefeldern können die Profilparameter eines aus Blechen zusammengesetzten Querschnitts frei definiert werden. Die Querschnittswerte werden nach der Theorie für dünnwandige Querschnitte ermittelt. Diese gilt nur für Profile, deren Elementdicke deutlich geringer ist als die jeweilige Elementlänge. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, sollte der Querschnitt nach Möglichkeit in der Rubrik *Massiv* (siehe Bild 4.134) definiert werden.

Der Parameter a stellt das Wurzelmaß der Schweißnaht dar, nicht den Ausrundungsradius (siehe Bild 4.133). Die Schweißnahtdicken wirken sich nur auf die Längen der c/t -Teile aus. Sie fließen nicht in die Querschnittswerte ein.



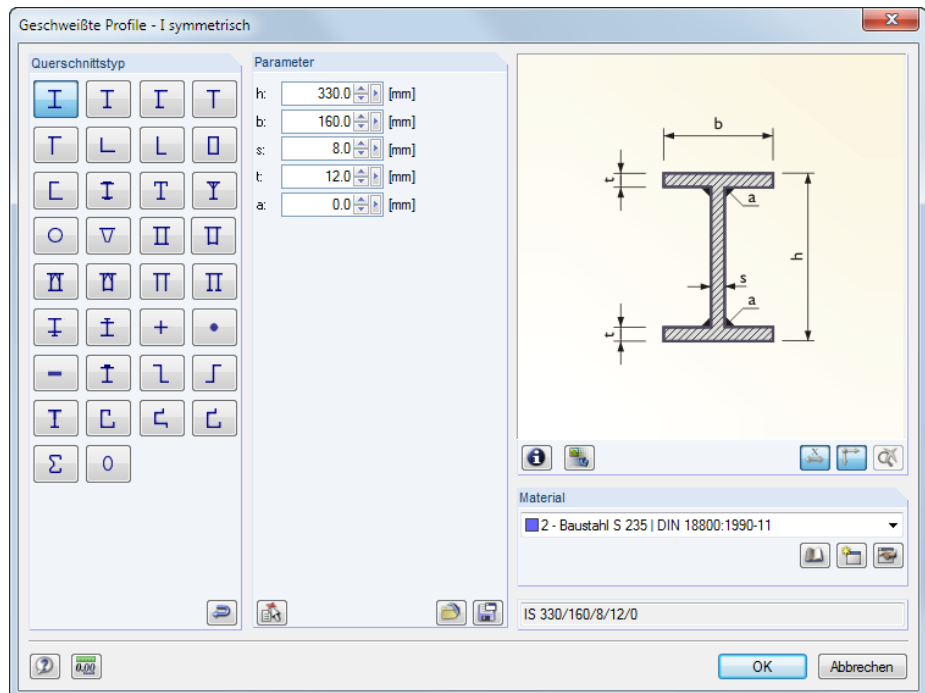


Bild 4.135 Eingabedialog eines parametrisierten dünnwandigen Querschnitts



Mit der links dargestellten Schaltfläche können die Parameter eines Walzprofils übernommen werden. Damit lassen sich gewisse Geometrieangaben voreinstellen.



Die Schaltfläche [Sichern] legt ein parametrisiertes Profil unter der genauen Bezeichnung ab, z. B. im Bild oben IS 330/160/8/12/0. Mit der Schaltfläche [Öffnen] lässt es sich wieder einlesen.

Parametrische Querschnitte - Massiv

In den Eingabefeldern können die Parameter massiver Profile (z. B. Stahlbetonquerschnitte) frei definiert werden. Die Querschnittskennwerte werden nach der Theorie für dickwandige Querschnitte ermittelt, die Elemente mit ausgeprägten Wandstärken voraussetzt.

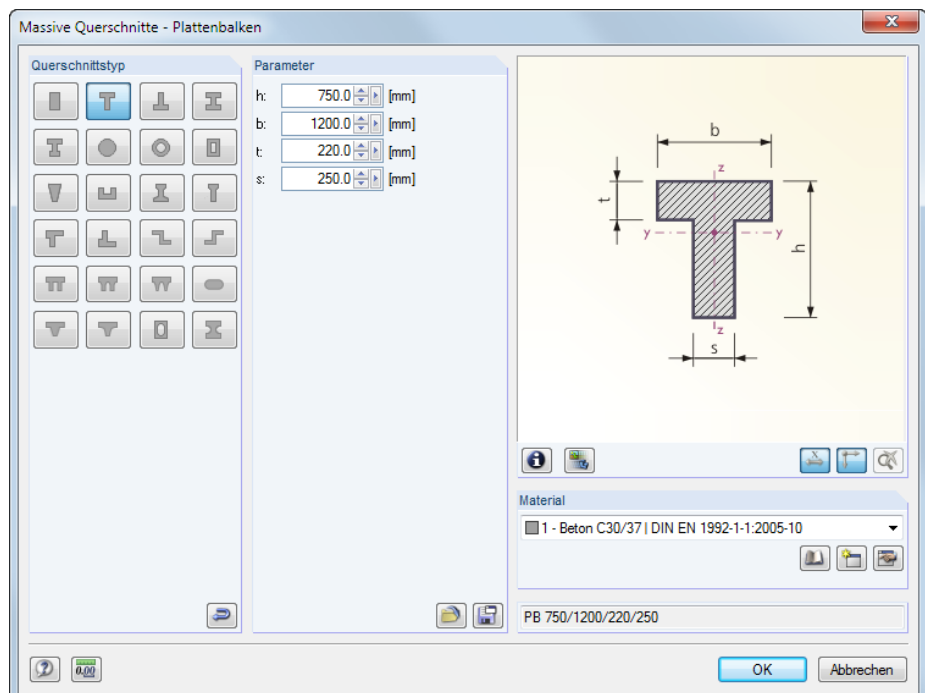
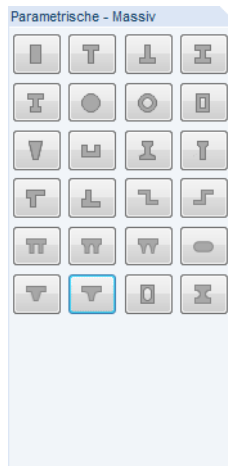


Bild 4.136 Eingabedialog eines massiven Querschnitts



Parametrische Querschnitte - Holz

In den Eingabefeldern können die Parameter für Holzquerschnitte frei definiert werden. Die Querschnittskennwerte der massiven oder auch zusammengesetzten Profile werden nach der Theorie für dickwandige Querschnitte ermittelt.

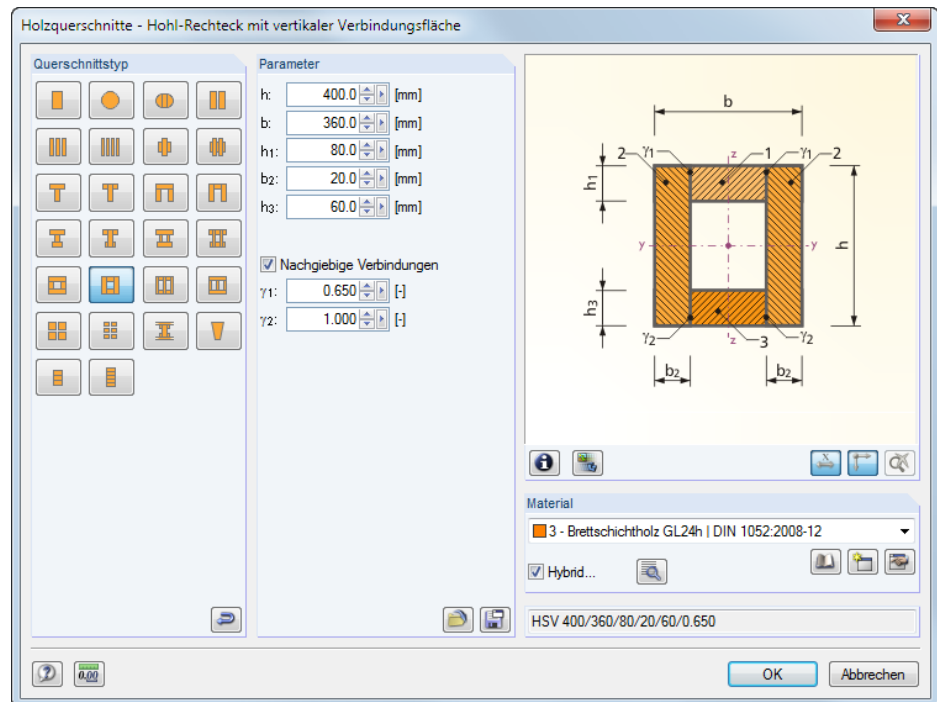


Bild 4.137 Eingabedialog eines Holzquerschnitts

Ist der Querschnitt durch *Nachgiebige Verbindungen* zusammengefügt, können die wirksamen Biegestab-Steifigkeiten gemäß EN 1995-1-1 Anhang B.2 verwendet werden. Hierzu sind die Abminderungsbeiwerte γ anzugeben. Für die Modellierung gelten die Einschränkungen nach Anhang B.1.2. Zusammengesetzte Druckstäbe gemäß Anhang C werden mit dieser Option **nicht** erfasst!

Liegt ein Material des Typs *Hybrid* vor, so können die Eigenschaften der Querschnittsteile über die Schaltfläche [Bearbeiten] zugewiesen werden (siehe Bild 4.125 [↗](#)).

Normierte Querschnitte - Holz

Im Dialog *Genormte Holzquerschnitte* stehen Standard-Rechteckprofile für Bretter, Bohlen, Kant- und Vollhölzer zur Auswahl. Dort sind auch genormte amerikanische Holzquerschnitte für die Nachweise nach AWC und CSA hinterlegt.

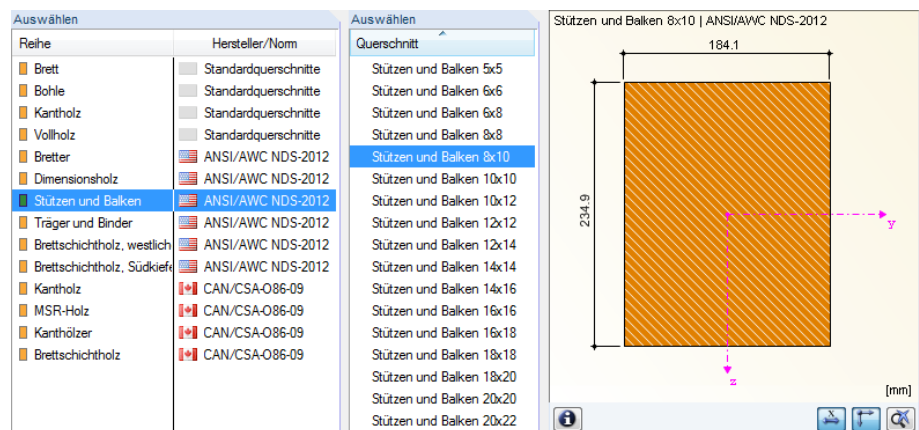
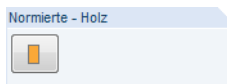


Bild 4.138 Normierte Holzquerschnitte (Dialogausschnitt)



Benutzerdefinierte Querschnitte

- Gespeicherten Querschnitt einlesen

Der Klick auf die Schaltfläche [Öffnen] ruft einen Dialog auf, in dem alle Profile erscheinen, die durch die Funktion **Sichern** erstellt wurden.

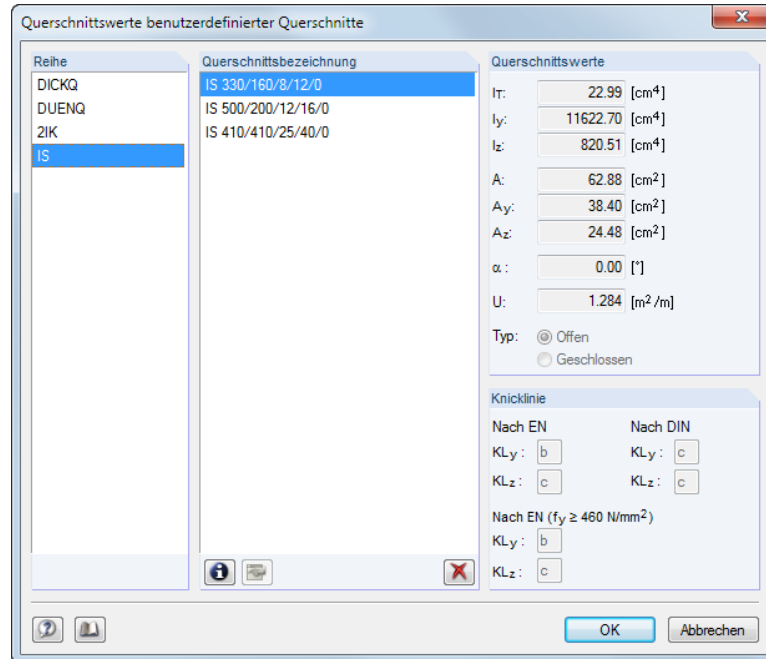


Bild 4.139 Dialog Querschnittswerte benutzerdefinierter Querschnitte



- Benutzerdefinierten Querschnitt anlegen

In einem Dialog können die Querschnittswerte frei eingegeben werden.

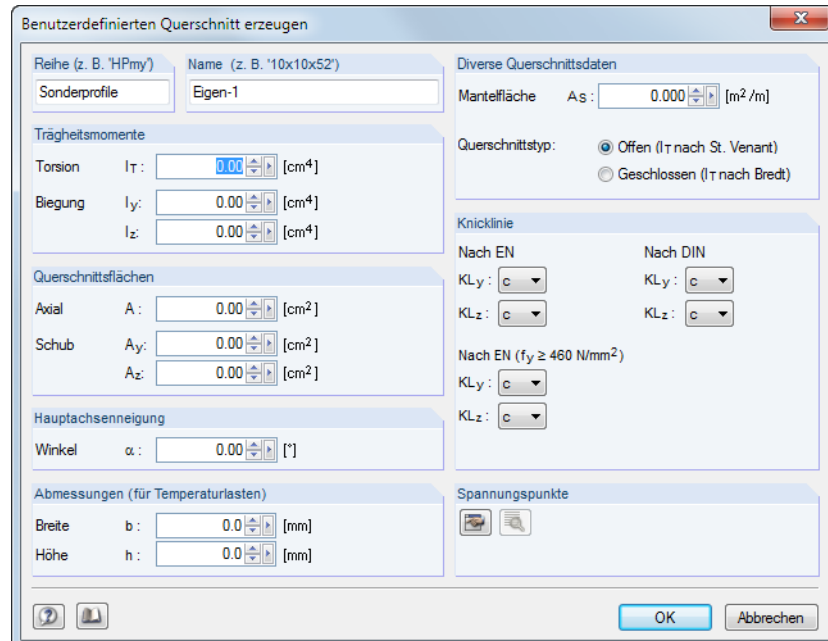
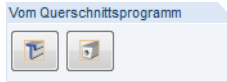


Bild 4.140 Dialog Benutzerdefinierten Querschnitt erzeugen

Es sind die *Reihe*, in der das Profil verwaltet werden soll, und der *Name* als Bezeichnung des neuen Querschnitts anzugeben. Dann können die Profilkennwerte eingetragen und die Knicklinien festgelegt werden.



Querschnitte von Querschnittsprogramm

Es lassen sich auch Profile aus den Dlubal-Querschnittsprogrammen **DUENQ** und **DICKQ** importieren.

Bitte beachten Sie, dass die Profile in DUENQ oder DICKQ berechnet und gespeichert sein müssen, ehe die Querschnittswerte eingelesen werden können.

Profilreihe aus ASCII-Datei importieren

Über die Schaltfläche links unten in der Bibliothek ist es möglich, eine ganze Profilreihe aus einer Datei einzulesen. Diese Datei muss im CSV-Format vorliegen, d. h. als Textdatei, deren Tabellenspalten jeweils durch ein Semikolon (;) getrennt sind. Jede Excel-Datei lässt sich in diesem Format speichern. Wichtig ist, dass die Syntax der ASCII-Reihe mit den Definitionsparametern der entsprechenden RFEM-Profilreihe übereinstimmt.

Beispiel: Doppelsymmetrische I-Profile sollen importiert werden.

Diese Profile werden als **IS**-Reihe verwaltet (vgl. Bild 4.133 [\[1\]](#)). Für IS-Profile werden folgende Parameter benötigt: h, b, s, t, a. Die Tabelle wird in Excel nach diesen Vorgaben aufgebaut:

	A	B	C	D	E	F
1	Bezeichnung	h	b	s	t	a
2	Profil 1	400,00	200,00	10,00	10,00	0,00
3						
4						
5						

Bild 4.141 Excel-Tabelle mit Profilkennwerten

Im Importdialog ist das Verzeichnis der CSV-Datei anzugeben und in der Liste auszuwählen, in welcher Querschnittsreihe die importierten Profile verwaltet werden sollen.

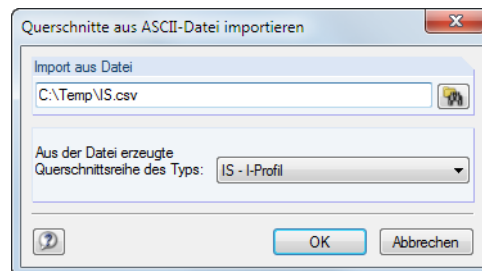


Bild 4.142 Dialog Querschnitte aus ASCII-Datei importieren

Die importierten Profile stehen anschließend in der Kategorie *Benutzerdefinierte Querschnitte* zur Verfügung (siehe Bild 4.137 [\[1\]](#)).

Beim Import werden die Querschnittswerte und Spannungspunkte berechnet, sodass auch Spannungsnachweise geführt werden können.

4.14

Stabendgelenke

Allgemeine Beschreibung

Stabendgelenke beschränken die Schnittgrößen, die von einem Stab auf andere Stäbe übertragen werden. Gelenke werden nur den Stabenden (Knoten) zugewiesen, sie können nie an anderen Stellen wie beispielsweise in Stabmitte angesetzt werden.

Einige Stabtypen sind intern bereits mit Gelenken versehen: Ein Fachwerkstab beispielsweise überträgt keine Momente, ein Seilstab weder Momente noch Querkräfte. Für die Eingabe bedeutet dies, dass die Zuweisung von Gelenken für Stäbe dieser Stabtypen gesperrt ist.

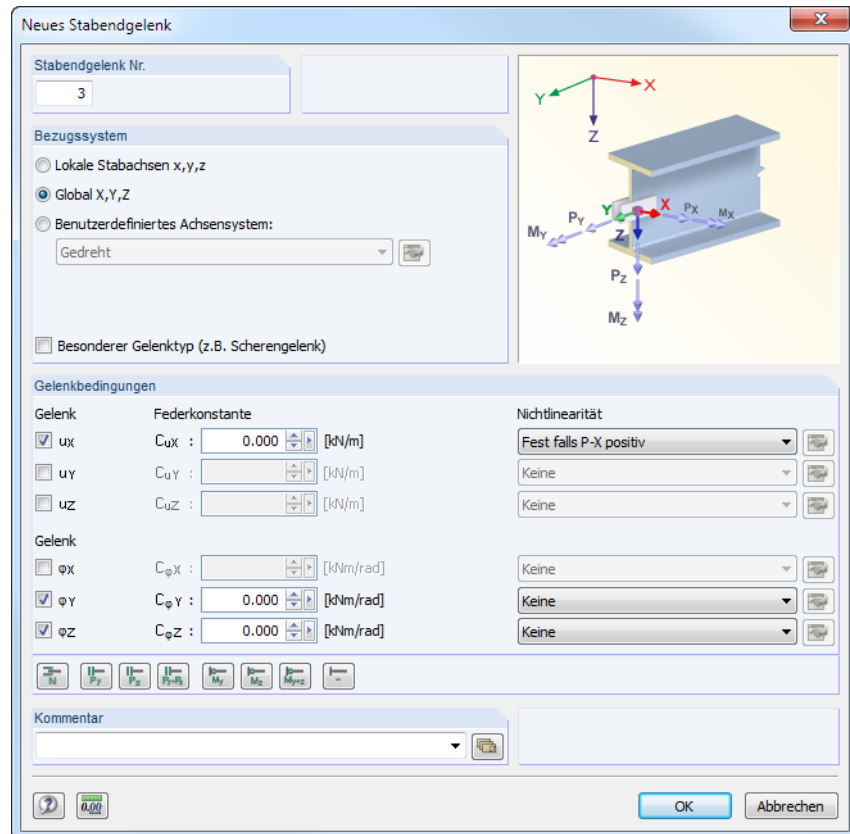


Bild 4.143 Dialog Neues Stabendgelenk

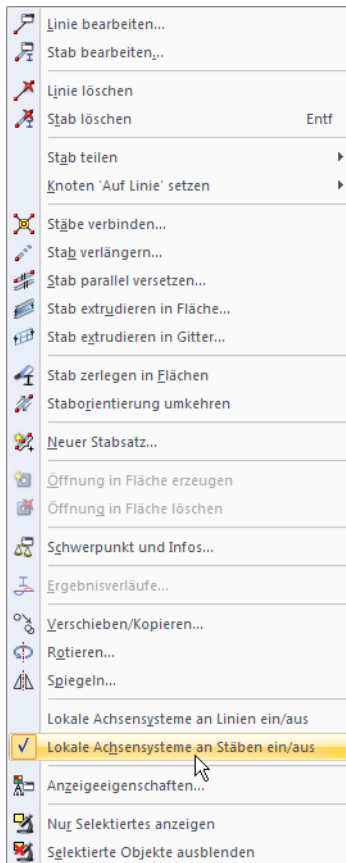
1.14 Stabendgelenke

Gelenk Nr.	A Bezugs-System	B Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m]			E Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad]			H Kommentar
		ux	uy	uz	φ_x	φ_y	φ_z	
1	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50.000	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Global X,Y,Z	Ja	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Scheren	Scheren	
4		Nein						
5		Federkonstante						
6		Fest falls N negativ						
7		Fest falls N positiv						
8		Teilweise Wirkung...						
9		Diagramm...						
		Gerüst - N / PhiX' PhiY'						

Linien-gelenke | Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Gelenk-Kennziffer ('J' a / 'N' ein / Federkonstante / F7 zum Wählen). Die Gelenk-Nr. wird in Tabelle 1.17 dem Stab zugeordnet.

Bild 4.144 Tabelle 1.14 Stabendgelenke



Stab-Kontextmenü

Bezugssystem

Ein Stabendgelenk kann auf eines der folgenden Achsensysteme bezogen werden:

- Lokales Stabachsensystem x,y,z
- Globales Koordinatensystem X,Y,Z (optional als Scherengelenk)
- Benutzerdefiniertes Achsensystem X',Y',Z'

Die lokalen Stabachsen können über den Zeigen-Navigator (siehe Bild 4.169) oder das links dargestellte Stab-Kontextmenü eingeblendet werden.

Detaillierte Informationen zur Ausrichtung der lokalen Stabachsen im globalen XYZ-Koordinatensystem finden Sie im Kapitel 4.17.

Im Regelfall sind die Gelenke auf das lokale Achsensystem x,y,z bezogen. Scherengelenke (siehe Bild 4.144) können nur auf das globale oder benutzerdefinierte Achsensystem bezogen definiert werden.

Axial-/Quergelenk bzw. Feder

Ein Normalkraft- oder Querkraftgelenk wird definiert, indem im Dialog oder in der Tabelle die jeweilige Verschiebung durch Anhaken freigegeben wird. Das Häkchen bedeutet somit, dass die Normal- bzw. Querkraft am Stabende nicht übertragen werden kann, weil ein Gelenk vorliegt. Dies wird im Stabendgelenk-Dialog ersichtlich: Im Eingabefeld rechts neben dem Häkchen wird die Konstante der Wegfeder mit null angegeben.

Die Federkonstante kann jederzeit geändert werden, um z. B. einen nachgiebigen Anschluss abzubilden. In der Tabelle ist die Konstante direkt in die Spalte einzutragen. Die Steifigkeiten der Federn sind dabei als Design-Werte zu verstehen.

Momentengelenk bzw. Feder

Gelenke für Torsions- und Biegemomente sind wie Gelenke für Kräfte zu definieren. Auch hier bedeutet ein Häkchen, dass die Verdrehung frei ist und die Schnittgröße nicht übertragen wird.

Elastische Verbindungen lassen sich über Federkonstanten modellieren, die direkt eingetragen werden können. Dabei sollten keine extremen Steifigkeitswerte verwendet werden, da sonst numerische Probleme bei der Berechnung auftreten können: Anstelle sehr großer oder kleiner Konstanten sind starre Verbindungen (kein Häkchen) oder Gelenke (Häkchen) zu verwenden.

Die Möglichkeit nichtlinearer Gelenkeigenschaften ist am Ende dieses Kapitels beschrieben.

Grafisches Setzen von Gelenken

Gelenke lassen sich grafisch im Arbeitsfenster zuweisen über das Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Stabendgelenke** → **Stäben grafisch zuordnen**

oder

Bearbeiten → **Modelldaten** → **Stabendgelenke** → **Stäben grafisch zuordnen**.

Zunächst ist ein Gelenktyp aus der Liste auszuwählen bzw. neu anzulegen. Nach [OK] sind die Stäbe grafisch in den Dreittelpunkten geteilt.

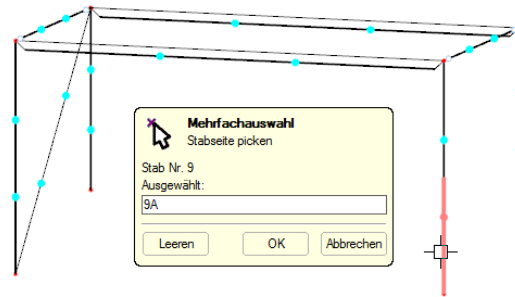


Bild 4.145 Stabendgelenke grafisch zuordnen

Nun können die Stabseiten angeklickt werden, die das gewählte Gelenk erhalten sollen. Wird der Stab im Mittelbereich angeklickt, so wird das Gelenk beiden Stabenden zugeordnet.

Scherengelenk

Mit Scherengelenken lassen sich Kreuzungen von Trägern abbilden. Es schließen beispielsweise vier Stäbe an einem Knoten an, von denen jeweils zwei Stäbe Momente in ihrer „Durchlaufrichtung“ weiterleiten, jedoch keine Momente auf das andere Stabpaar übertragen. Im Knoten werden nur Normal- und Querkräfte übergeben.

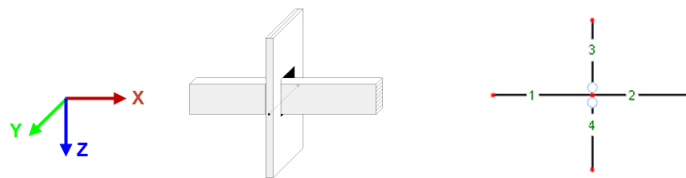


Bild 4.146 Trägerkreuzung

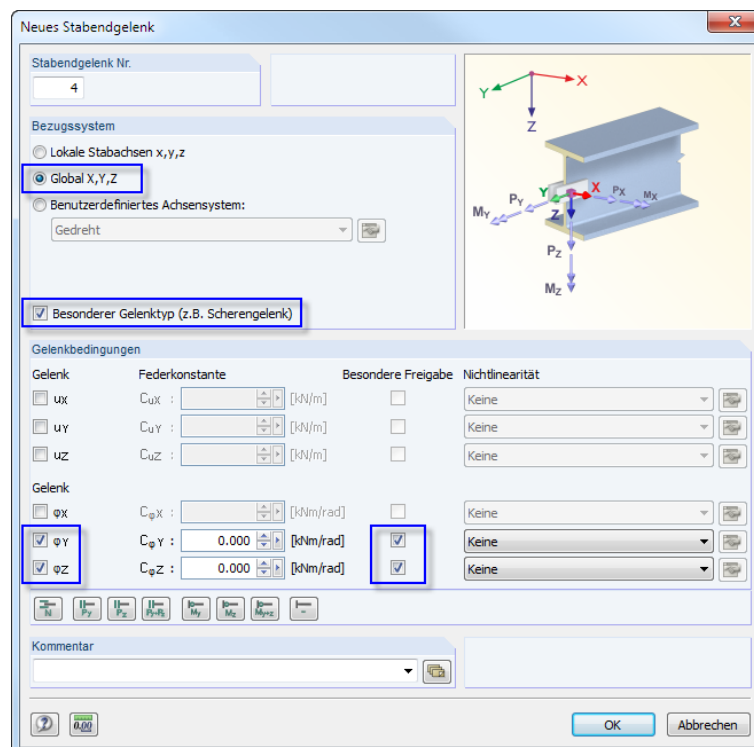


Bild 4.147 Dialog Neues Stabendgelenk

Das Gelenk ist dann entweder den Stäben 1 und 2 **oder** den Stäben 3 und 4 zuzuweisen. Das andere kreuzende Stabpaar wird biegesteif ohne Gelenk modelliert.

Nichtlinearitäten

Stabendgelenken können nichtlineare Eigenschaften zugewiesen werden. Dadurch lässt sich die Übertragung von Schnittgrößen detailliert steuern. Die Liste der Nichtlinearitäten bietet verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl.

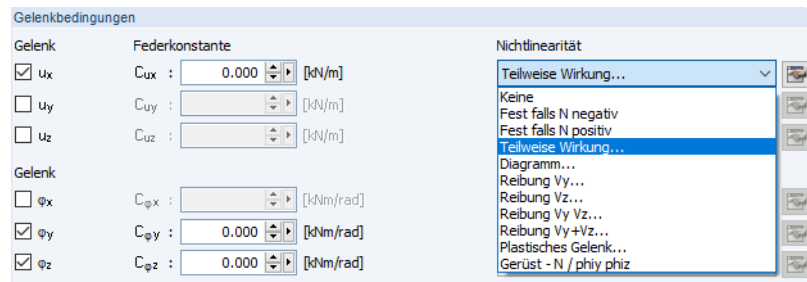


Bild 4.148 Liste der nichtlinearen Eigenschaften



In der Tabelle werden Gelenktypen mit nichtlinearen Eigenschaften blau gekennzeichnet.

Fest falls Schnittgröße negativ bzw. positiv

Mit diesen beiden Optionen kann für jede Schnittgröße die Wirkung des Gelenks richtungsabhängig gesteuert werden. Ein Normalkraftgelenk mit der Nichtlinearität *Fest falls N positiv* beispielsweise bewirkt, dass am Stabende Zugkräfte (positiv), aber keine Druckkräfte (negativ) übertragen werden können. Bei negativen Normalkräften ist das Gelenk wirksam.

Die Schnittgrößen sind auf das lokale xyz-Stabachsensystem bezogen.



Die übrigen Einträge der Liste *Nichtlinearität* bieten detaillierte Modellierungsmöglichkeiten für Gelenkeigenschaften. Diese werden über die rechts daneben angeordneten Schaltflächen [Bearbeiten] im Dialog bzw.  in der Tabelle (siehe Bild 4.142 ) aufgerufen.

Teilweise Wirkung

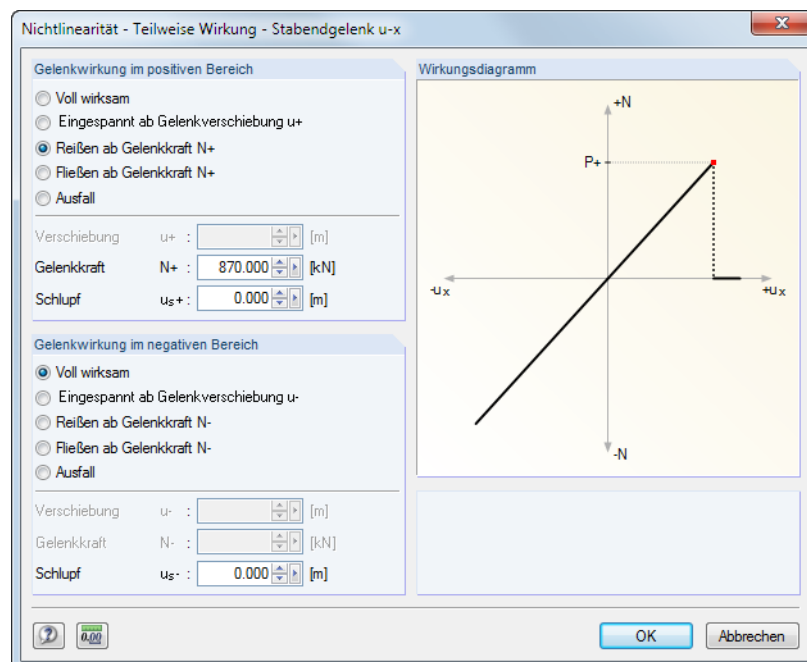


Bild 4.149 Dialog *Nichtlinearität - Teilweise Wirkung*

Die Wirkung des Gelenks kann separat für den *positiven* und den *negativen Bereich* definiert werden. Neben der vollen Wirksamkeit oder dem Ausfall kann das Gelenk ab einer bestimmten Verschiebung

oder Verdrehung seine Wirkung verlieren und dann als feste oder starre Verbindung wirken. Zudem sind *Reißen* (nach Überschreiten eines Wertes wird keine Schnittgröße mehr übertragen) und *Fließen* (Schnittgrößen werden auch bei größeren Verformungen nur bis zu einem bestimmten Wert übertragen) in Kombination mit einem *Schlupf* möglich.

In den Eingabefeldern unterhalb können die Grenzwerte festgelegt werden. Die Gelenkeigenschaften werden im Abschnitt *Wirkungsdiagramm* als dynamische Grafik angezeigt.

Diagramm

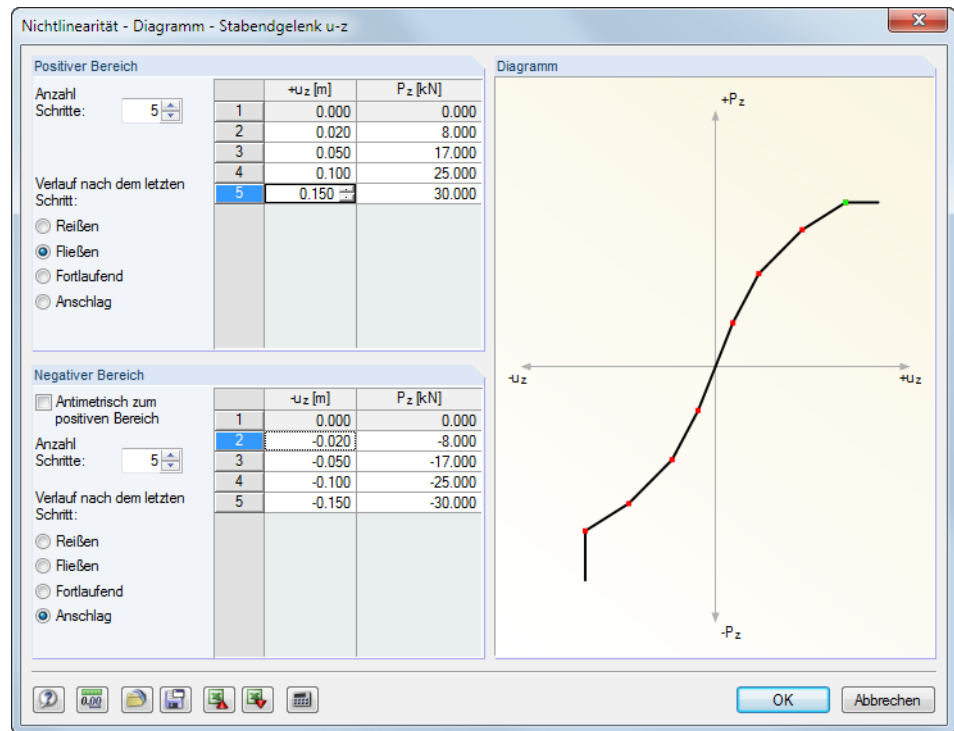


Bild 4.150 Dialog Nichtlinearität - Diagramm


Die Wirkung des Gelenks kann separat für den *positiven* und den *negativen Bereich* definiert werden. Zunächst ist die *Anzahl der Schritte* (d. h. Definitionspunkte) im Diagramm festzulegen. Danach können die Abszissenwerte der Schnittgrößen mit den zugeordneten Verschiebungen bzw. Verdrehungen in die Liste rechts eingetragen werden.

Für den *Verlauf nach dem letzten Schritt* bestehen mehrere Möglichkeiten: *Reißen* für die volle Gelenkwirkung (es wird keine Schnittgröße mehr übertragen), *Fließen* für die Begrenzung auf die Übertragung einer maximal zulässigen Schnittgröße, *Fortlaufend* wie im letzten Schritt oder *Anschlag* für die Begrenzung auf eine maximal zulässige Verschiebung oder Verdrehung mit anschließend fester bzw. starrer Wirkung.

Die Gelenkeigenschaften werden im Abschnitt *Diagramm* als dynamische Grafik angezeigt.

Reibung abhängig von Kraft

Bei diesen vier Optionen werden die vom Gelenk übertragenen Kräfte in Beziehung gesetzt zu den Druckkräften, die in eine andere Richtung wirken. Je nach Auswahl ist die Reibung abhängig von nur einer Normalkraft oder von der Gesamtkraft zweier gleichzeitig wirkender Kräfte. So kann beispielsweise die Reibkraft für die x-Richtung nur aus der y-Komponente oder nur aus der z-Komponente, aber auch aus beiden zusammen oder gar der Addition der beiden Kräfte berechnet werden.

Die Schaltfläche  ruft einen Dialog auf, in dem die Federkonstante C und der Reibungskoeffizient μ zu definieren sind.

- Reibung Vz... ▾
- Keine
- Fest falls N negativ
- Fest falls N positiv
- Teilweise Wirkung...
- Diagramm...
- Reibung Vy...
- Reibung Vz...
- Reibung Vy Vz...
- Reibung Vy+Vz...
- Plastisches Gelenk...
- Gerüst - N / phiy phiz

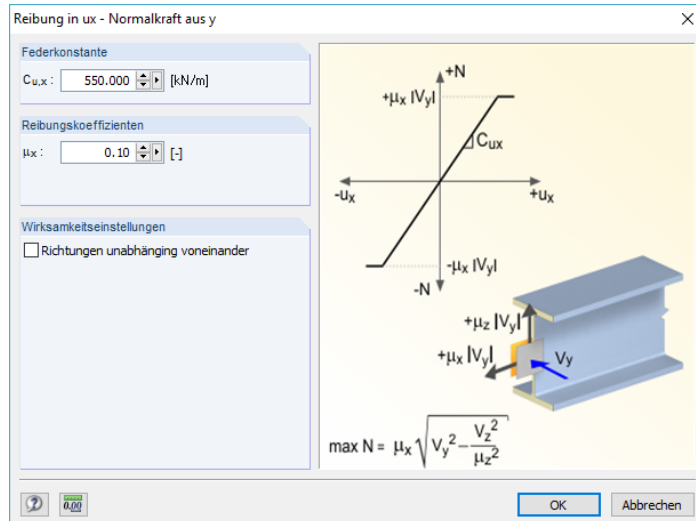



Bild 4.151 Dialog *Reibung in ux - Normalkraft aus y*

Plastisches Gelenk

Die plastischen Eigenschaften des Gelenks können in einem separaten Dialog definiert werden.

Gerüst

Dieser Nichtlinearitätstyp ermöglicht die mechanische Simulation eines gesteckten Rohrstoßes mit innerem Rohrstummel zwischen zwei Stäben. Das Ersatzmodell überträgt — abhängig vom Druckzustand am Stabende — das Biegemoment über das überdrückte Außenrohr und nach Formschluss zusätzlich über den inneren Rohrstummel. Die Schaltfläche  öffnet einen Dialog, in dem die Parameter für das *Innenrohr* und das *Außenrohr* getrennt festgelegt werden können.

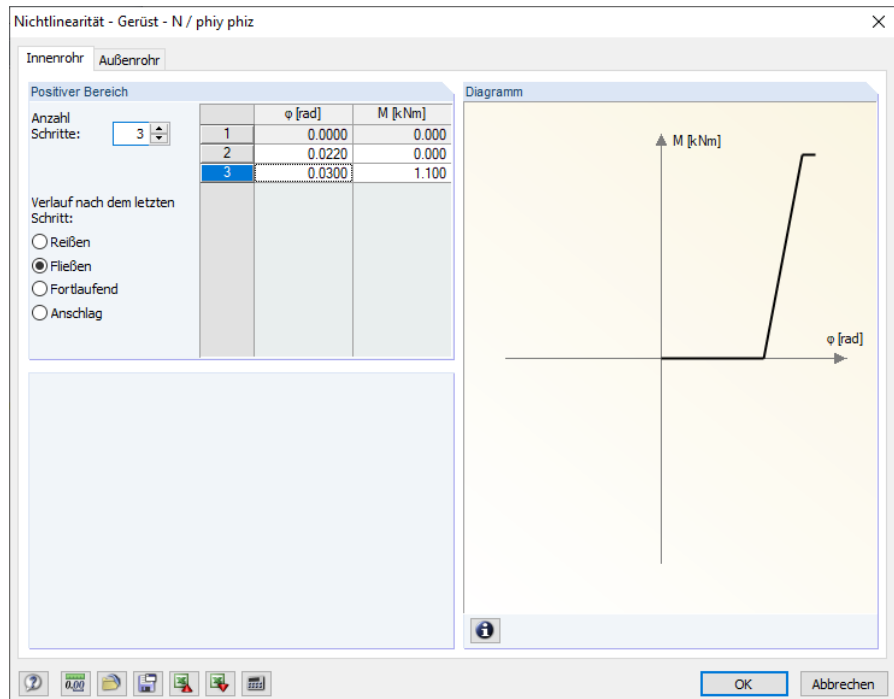


Bild 4.152 Dialog *Nichtlinearität - Gerüst - N / phi y phi z*, Register *Innenrohr*



In folgenden Fachbeiträgen sind Gerüst-Nichtlinearitäten vorgestellt:

<https://www.dlupal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000973> 

<https://www.dlupal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001116> 

Beispiel: Sparrendach

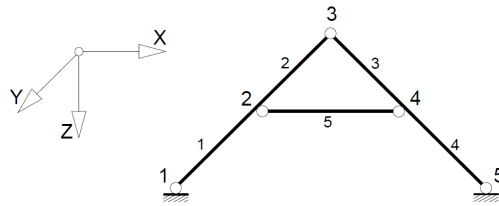


Bild 4.153 Sparrendach

Es liegt ein ebenes System vor. Das Gelenk ist wie folgt zu definieren.

1.14 Stabendgelenke

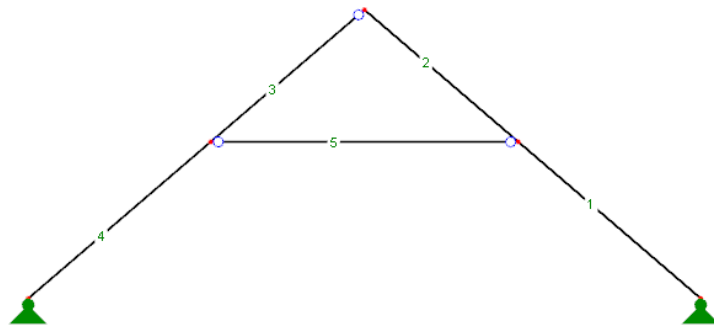
Gelenk Nr.	A Bezugs-System	Gelenk bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]			E Kommentar
		B u_x	C u_z	D ϕ_y	
1	<input checked="" type="checkbox"/> Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2					
3					

Linien-gelenke | Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Gelenk-Kennziffer ('J'a' / 'N'ein / Federkonstante / F7 zum Wählen). Die Gelenk-Nr. wird in Tabelle 1.17 dem Stab zugeordnet.

Bild 4.154 Tabelle 1.14 Stabendgelenke

Dieser Gelenktyp kann dann den Stäben zugewiesen werden.



1.17 Stäbe

Stab Nr.	A Linie Nr.	B Stabtyp	C Querschnitt Nr.		D Anfang	E Ende	F Stabdrehung Typ	G Stabdrehung β [°]	H Gelenk Nr.		I Exzentr. Nr.	J Teilung Nr.	K Vouten-Ansatz	L Länge L [m]	M Gewicht W [kg]
			Anfang	Ende					Anfang	Ende					
1	1	Balkenstab	1	1	1	1	Winkel	0.00	0	0	0	0		5.000	72.0
2	2	Balkenstab	1	1	1	1	Winkel	0.00	0	0	0	0		4.220	60.8
3	3	Balkenstab	1	1	1	1	Winkel	0.00	1	0	0	0		4.220	60.8
4	4	Balkenstab	1	1	1	1	Winkel	0.00	0	0	0	0		5.000	72.0
5	5	Balkenstab	1	1	1	1	Winkel	0.00	1	1	0	0		6.407	92.3

Linien-gelenke | Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Nummer der Linie, an der der Stab angeordnet ist.

Bild 4.155 Grafik und Tabelle 1.17 Stäbe

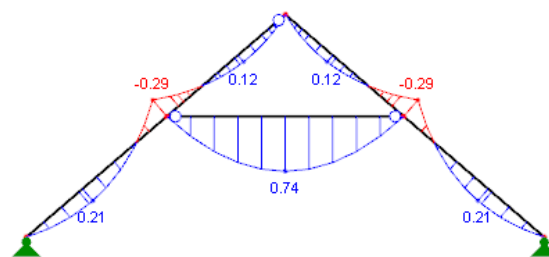


Bild 4.156 Momentenverläufe im Lastfall Eigengewicht

4.15

Stabexzentrizitäten

Allgemeine Beschreibung

In RFEM entspricht die Stablänge dem Abstand der beiden Knoten, der durch die Linie des Stabes definiert ist. Bei Profilschlüssen oder Unterzügen wird damit die Realität nur angenähert abgebildet. Über Stabexzentrizitäten ist es möglich, Stäbe durch spezifische Stabendabschnitte außermittig anzuschließen. Damit lassen sich z. B. bei Rahmen mit großen Stützenprofilen die Riegelanschnittmomente reduzieren. Stabexzentrizitäten werden durch eine Transformation der Freiheitsgrade in der lokalen Elementsteifigkeitsmatrix berücksichtigt.

Die Exzentrizitäten lassen sich gut im fotorealistischen 3D-Rendering überprüfen.

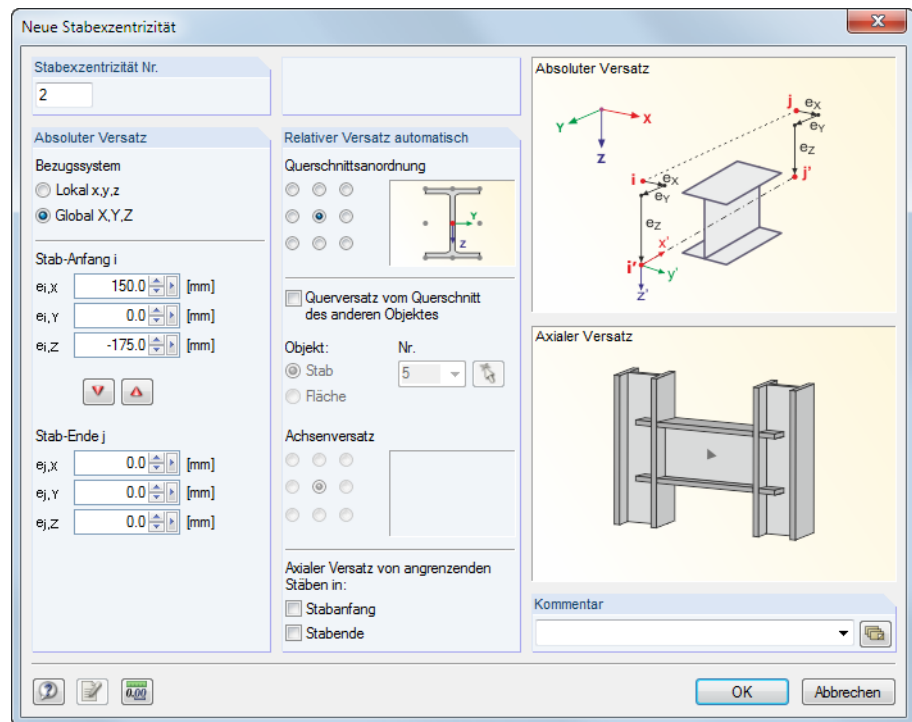


Bild 4.157 Dialog Neue Stabexzentrizität

1.15 Stabexzentrizitäten

Exzentr. Nr.	Bezugs-system	Stabanfang-Exzentrizität			Stabend-Exzentrizität			Querschnittsanordnung y-Achse	z-Achse	Querversatz vom Querschnitt des anderen Objektes	Objekttyp	Objekt Nr.	y-Achse	z-Achse	Axialer Versatz Stabanfang
		$e_{i,X}$	$e_{i,Y}$	$e_{i,Z}$	$e_{j,X}$	$e_{j,Y}$	$e_{j,Z}$								
1	Global	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Mitte	Mitte	Stab	6	Mitte	Unten (+z)	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Global	150.0	0.0	-175.0	0.0	0.0	0.0	Mitte	Mitte	Keine	0	Mitte	Mitte	<input type="checkbox"/>	
3															
4															
5															

Öffnungen | Knotenlager | Linienlager | Flächenlager | Liniengelenke | Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen


Exzentrizität am Stabanfang. Weisen Sie bitte den Exzentrizitätstyp zu dem Stab in Tabelle 1.17 zu.

Bild 4.158 Tabelle 1.15 Stabexzentrizitäten

Bezugssystem



Die Stabexzentrizität kann auf eines der folgenden Achsensysteme bezogen werden:

- Lokales Linienachsensystem x,y,z unter Berücksichtigung der Stab- und Querschnittsdrehung
- Globales Koordinatensystem X,Y,Z

Die lokalen xyz-Linienachsen können über den Zeigen-Navigator oder das Linien-Kontextmenü eingeblendet werden (siehe Bild 4.169 ).

Exzentrizität Stabanfang / Stabende

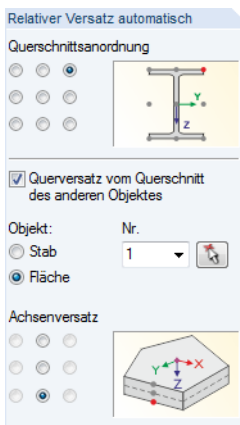
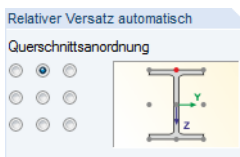
Im Dialogabschnitt *Absoluter Versatz* oder den Tabellenspalten B bis G sind die Exzentrizitäten für den *Stabanfang* i und das *Stabende* j festzulegen. Die Abstände beziehen sich auf das gewählte Achsensystem, wie an den klein- bzw. großgeschriebenen Indizes und in der Dialoggrafik erkennbar ist.

Im Dialog können die Werte mit den Schaltflächen  und  von einer Seite auf die andere übertragen werden.


Querschnittsanordnung

Im Dialogabschnitt *Relativer Versatz automatisch* kann anhand der neun Kontrollfelder festgelegt werden, welcher Punkt des Querschnitts für die Ermittlung der Exzentrizität relevant ist. In der Tabelle ist die Lage dieses Punkts in den Spalten H und I zu definieren. Dieser Punkt legt fest, um welchen Abstand der Querschnitt an den Anfangs- und Endknoten verschoben wird.

Wenn wie im Bild links gezeigt der Punkt mittig am oberen Flansch gewählt wird, so wird z. B. ein Riegelstab bündig mit seiner Oberkante an eine Stütze angeschlossen (ohne Überstand).



Querversatz vom Querschnitt des anderen Objekts

Mit einem *Querversatz* lässt sich ein Stab in einem bestimmten Abstand parallel zu einem Objekt anordnen (Stab in Fläche, gleichgerichteter Stab). Die Nummer dieses Objekts — ein *Stab* oder eine *Fläche* — ist aus der Liste oder mit  im Arbeitsfenster auszuwählen. Die Exzentrizität ermittelt sich aus der oben definierten *Querschnittsanordnung* und dem *Achsenversatz* (Profilgeometrie bzw. Flächendicke), der anhand der neun bzw. drei Kontrollfelder festzulegen ist. In der Tabelle ist der *Achsenversatz* in den Spalten L und M zu definieren.

Wenn z. B. wie in den Bildern links gezeigt die Punkte am Rand des oberen Flansches und an der Flächenunterseite festgelegt werden, so wird ein Stahlprofil bündig am Rand unter einer Platte angeordnet.

Axialer Versatz von angrenzenden Stäben

Die letzte Option im Dialogabschnitt *Relativer Versatz automatisch* ermöglicht es, z. B. einen Stab auf einfache Weise exzentrisch am Flansch einer Stütze anzuschließen. Der Versatz kann getrennt für *Stabanfang* und *Stabende* angeordnet werden. Die Exzentrizität ermittelt sich automatisch aus der Querschnittsgeometrie der angrenzenden Stäbe. In der Tabelle ist der axiale Versatz in den Spalten N und O zuzuweisen.

Die Dialoggrafik *Axialer Versatz* ist interaktiv zur Eingabe; sie veranschaulicht die Wirkungsweise der Kontrollfelder.

Die Eingabe über den Dialogabschnitt *Relativer Versatz automatisch* bietet den Vorteil, dass bei Querschnittsänderungen die Exzentrizitäten unmittelbar angepasst werden. RFEM berücksichtigt die geänderten Flächen- oder Profilabmessungen automatisch.

Grafisches Setzen von Exzentrizitäten

Exzentrizitäten können den Stäben auch grafisch im Arbeitsfenster zugewiesen werden. Wählen Sie hierzu Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Exzentrizitäten** → **Stäben grafisch zuordnen**

bzw.

Bearbeiten → **Modelldaten** → **Exzentrizitäten** → **Stäben grafisch zuordnen**.

Zunächst sind das Bezugssystem festzulegen und die Ausmittigkeiten zu definieren.



Nach [OK] sind die Stäbe grafisch in den Drittelpunkten geteilt. Nun können die Stabseiten angeklickt werden, die die Exzentrizität erhalten sollen (siehe Bild 4.143 [□](#)). Wird der Stab im Mittelbereich angeklickt, so wird der exzentrische Anschluss beiden Stabenden zugeordnet.

4.16

Stabteilungen

Allgemeine Beschreibung

Stabteilungen ermöglichen es, Punkte auf Stäben festzulegen, an denen Schnittgrößen und Verformungen in den Ergebnistabellen und im numerischen Ausdruck ausgegeben werden. Eine Stabteilung hat weder einen Einfluss auf die Ermittlung der Extremwerte noch auf den grafischen Ergebnisverlauf (RFEM benutzt intern eine feinere Teilung). In den meisten Fällen sind deshalb Stabteilungen nicht erforderlich.

Stabteilungen dürfen nicht mit FE-Teilungen von Stäben verwechselt werden. FE-Knoten auf „freien“ (nicht zu einer Fläche gehörenden) Linien mit Stabeigenschaften werden nur dann generiert, wenn die Linien eine FE-Netzverdichtung besitzen (siehe Kapitel 4.23 [□](#)).

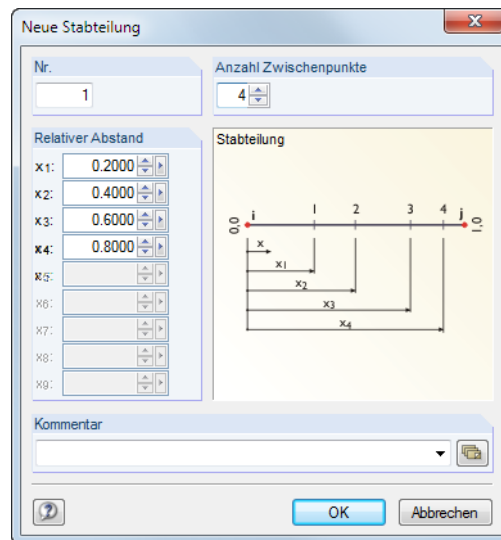


Bild 4.159 Dialog Neue Stabteilung

Teilung Nr.	Anzahl Punkte	Relativer Abstand des Teilungspunktes vom Stabanfang									Kommentar
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	
1	4	0.2000	0.4000	0.6000	0.8000						
2	9	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000	0.6000	0.7000	0.8000	0.9000	Zehntelpunkte
3											
4											
5											
6											

Bild 4.160 Tabelle 1.16 Stabteilungen

Anzahl Punkte

Im Dialog können maximal 99 Teilungspunkte vorgegeben werden. Ein Eintrag bewirkt zunächst eine gleichmäßige Unterteilung des Stabes in der gewünschten Anzahl der Punkte.

Relativer Abstand vom Stabanfang

Beim Anlegen einer neuen Teilung im Dialog sind die Abstände von drei Zwischenpunkten eingestellt. Es handelt sich hier um die relativen Distanzen im Intervall von 0 (Stabanfang) bis 1 (Stabende).

Für die vorgegebenen Punkte sind auch unregelmäßige Teilungen möglich, da die relativen Abstände frei eingetragen werden können. Hierbei ist nur auf die Reihenfolge der Intervalle zu achten, denn es gilt: $x_1 < x_2 < x_3 \dots$

Grafisch kann jede beliebige x-Stelle am Stab gezielt ausgewertet werden (siehe [Kapitel 9.5](#)). In den meisten Fällen erübrigt sich so die manuelle Eingabe von Stabteilungen mit der mühsamen Ermittlung relativer Abstände.



4.17

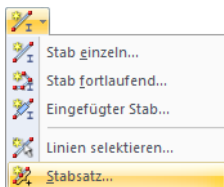
Stäbe

Allgemeine Beschreibung

Stäbe sind Eigenschaften von Linien. Durch die Zuweisung eines Querschnitts (durch den auch ein Material festgelegt ist) erhält der Stab eine Steifigkeit. Beim Generieren des Netzes werden an Stäben 1D-Elemente generiert.

Stäbe können nur an Knoten miteinander verbunden werden. Kreuzen sich Stäbe, ohne dass sie einen Knoten gemeinsam haben, liegt keine Verbindung vor. An solchen Kreuzungsstellen werden keine Schnittgrößen übertragen.

Grafisch können Stäbe *einzel*n, *fortlaufend* oder an bereits vorhandenen *Linien* gesetzt werden. Die Option *Eingfügter Stab* ist im [Kapitel 11.4.13](#) beschrieben.



Listenschaltfläche Stab

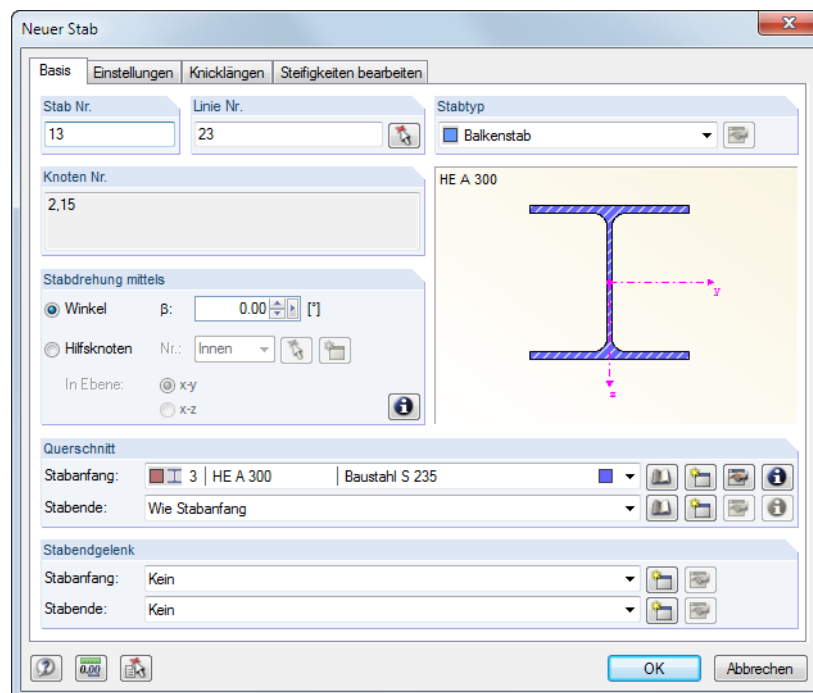


Bild 4.161 Dialog Neuer Stab, Register Basis

1.17 Stäbe

Stab Nr.	Linie Nr.	Stabtyp	Querschnitt Nr.		Stabdrehung Typ	Stabdrehung β [°]	Gelenk Nr.		Exzentr. Nr.	Teilung Nr.	Vouten-Ansatz	Länge L [m]	Gewicht W [kg]	N
			Anfang	Ende			Anfang	Ende						
1	13	Balkenstab	1	1	Winkel	0.00	0	0	1	0		3.984	704.0	Z
2	14	Balkenstab	1	1	Winkel	0.00	0	0	0	0		4.000	706.9	Z
3	3	Rippe	2	2	Winkel	0.00	1	1		0		6.000	1500.0	Y
4	15	Zugstab	5	5	Winkel	-90.00			0			3.000	29.0	Z
5	16	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	1	1	0	0		6.059	537.5	YZ
6	17	Fachwerkstab	3	3	Winkel	0.00			0			3.843	340.9	Z
7	19	Balkenstab	3	4	Winkel	0.00	0	0	0	0	Linear	3.000	272.0	Z
8	20	Knickstab	5	5	Winkel	45.00			0			6.059	58.5	YZ
9	21	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	0	0	0	0		3.843	340.9	Z

Querschnitte Stabendgelenke Stabexzentrizitäten Stabteilungen Stäbe Rippen Stabbettungen Stabnichtlinearitäten Stabsätze

Stabtyp (F7 zum Wählen).

Bild 4.162 Tabelle 1.17 Stäbe

Stab bearbeiten

Basis Einstellungen Knicklängen Steifigkeiten bearbeiten

Stab Nr.: 12

Stabexzentrizität: 2 | G | 150.0;0.0;-175.0 | 0.0;0.0;0.0 | -

Stabteilung: 1 | 4 | 0.2; 0.4; 0.6; 0.8

Stabbettung: Keine

Stabnichtlinearität: 1 - Fließen

Voutenansatz: Linear

Kommentar:

OK Abbrechen

Bild 4.163 Dialog Neuer Stab, Register Einstellungen

Linie Nr.

In diesem Eingabefeld bzw. dieser Tabellenspalte ist die Nummer der Linie mit Stabeigenschaften anzugeben. Im Dialog *Neuer Stab* ist auch eine grafische Auswahl möglich.

Die Anfangs- und Endknoten der Linie legen die Stabrichtung fest, die wiederum die Lage des lokalen Stabkoordinatensystems beeinflusst (siehe folgender Abschnitt „Stabdrehung“). Die Stabrichtung kann grafisch schnell geändert werden: Klicken Sie den Stab mit der rechten Maustaste an und wählen die Kontextmenü-Option *Staborientierung umkehren*.

Stabtyp

Der Stabtyp steuert, in welcher Weise Schnittgrößen aufgenommen werden können oder welche Eigenschaften für den Stab vorausgesetzt werden.



In der *Stabtyp*-Liste stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl. Jedem *Stabtyp* ist eine *Farbe* zugeordnet, die im Modell zur Darstellung der unterschiedlichen Stabarten benutzt werden kann. Die Steuerung erfolgt im Zeigen-Navigator mit der Option *Farben in Grafik nach* (siehe [Kapitel 11.1.9](#)).

Stabtyp	Kurzbeschreibung
Balkenstab	Biegesteifer Stab, der alle Schnittgrößen übertragen kann
Starrstab	Kopplungsstab mit starrer Steifigkeit
Rippe	Unterzug mit Berücksichtigung der mitwirkenden Plattenbreite
Fachwerkstab	Balkenstab mit Momentengelenken an beiden Enden
Fachwerkstab (nur N)	Stab, der nur die Steifigkeit $E \cdot A$ besitzt
Zugstab	Fachwerkstab (nur N), der bei einer Druckkraft ausfällt
Druckstab	Fachwerkstab (nur N), der bei einer Zugkraft ausfällt
Knickstab	Fachwerkstab (nur N), der bei einer Druckkraft $> N_{cr}$ ausfällt
Seilstab	Stab, der nur Zugkräfte überträgt. Die Berechnung erfolgt nach Theorie III. Ordnung mit großen Verformungen.
Seil an Scheiben	Stab auf einer Polylinie, der sich nur in Längsrichtung verschieben kann und nur Zugkräfte aufnimmt (Flaschenzug)
Ergebnisstab	Stab zur Integration von Flächen-, Volumen- oder Stabergebnissen
Steifigkeiten	Stab mit benutzerdefinierten Steifigkeiten
Kopplung Fest-Fest	Starre Kopplung mit beidseits biegesteifen Anschlüssen
Kopplung Fest-Gelenk	Starre Kopplung mit biegesteifem Anschluss am Anfang und gelenkigem Anschluss am Ende
Kopplung Gelenk-Gelenk	Starre Kopplung mit beidseits gelenkigen Anschlüssen (nur Normal- und Querkräfte werden übertragen, keine Momente)
Kopplung Gelenk-Fest	Starre Kopplung mit gelenkigem Anschluss am Anfang und biegesteifem Anschluss am Ende
Feder	Stab mit Federsteifigkeit und definierbaren Wirkungsbereichen und Dämpfungskoeffizienten
Dämpfer	Stab mit viskosen Dämpfungseigenschaften für RF-DYNAM Pro
Nullstab	Stab, der in der Berechnung nicht berücksichtigt wird

Tabelle 4.7 Stabtypen

Balkenstab

Ein Balkenstab besitzt keine Gelenke an seinen Enden. Schließen zwei Balken aneinander an, ohne dass ein Gelenk für den gemeinsamen Knoten definiert wurde, so liegt ein biegesteifer Anschluss vor. Ein Balkenstab kann durch alle Lastarten belastet werden.

Starrstab

Dieser Stabtyp koppelt die Verschiebungen zweier Knoten durch eine starre Verbindung. Er entspricht daher prinzipiell einem [Kopplungsstab](#). Damit lassen sich Stäbe mit hoher Steifigkeit unter Berücksichtigung von Gelenken definieren, die auch Federkonstanten und Nichtlinearitäten aufweisen können. Es treten kaum numerische Probleme auf, da die Steifigkeiten dem System angepasst sind. Für Starrstäbe werden auch Schnittgrößen ausgewiesen.

Es werden folgende Steifigkeiten angenommen (gilt auch für Kopplungen und *Dummy Rigid*):

- Längs- und Torsionssteifigkeit:

$$E \cdot A \text{ und } G \cdot I_T: 10^{13} \cdot \ell \text{ [SI-Einheit]} \quad (\ell = \text{Stablänge})$$

Gleichung 4.25

- Biegesteifigkeit:

$$E \cdot I: 10^{13} \cdot \ell^3 \text{ [SI-Einheit]}$$

Gleichung 4.26

- Schubsteifigkeit (falls aktiviert):

$$G_{Ay} \text{ bzw. } G_{Az}: 10^{16} \cdot \ell^3 \text{ [SI-Einheit]}$$

Gleichung 4.27

Durch diesen Stabtyp ist es nicht mehr erforderlich, einen *Dummy Rigid* (siehe [Kapitel 4.13](#)) zu definieren und als Querschnitt zuzuweisen.

Rippe

Die Rippen sind im [Kapitel 4.18](#) beschrieben.

Fachwerkstab (nur N)

Dieser Typ eines Fachwerkstabs nimmt Normalkräfte in Form von Zug und Druck auf. Ein Fachwerkstab besitzt interne Momentengelenke an seinen Enden. Deshalb ist eine zusätzliche Gelenkdefinition nicht zulässig. Es werden nur Knotenschnittgrößen ausgegeben (und in die anschließenden Stäbe übertragen), am Stab selbst gibt es einen linearen Schnittgrößenverlauf. Eine Ausnahme ist die Einzellast am Stab. Das bedeutet, dass infolge Eigengewicht oder einer Linienlast kein Momentenverlauf sichtbar wird. Die Randmomente sind wegen des Gelenks null, am Stab wird ein linearer Verlauf angenommen. Die Knotenkräfte werden jedoch aus den Stablasten errechnet, wodurch die korrekte Weiterleitung gewährleistet ist.

Der Grund für diese Sonderbehandlung ist, dass nach allgemeinem Verständnis ein Fachwerkstab nur Normalkräfte überträgt – die Momente sind nicht von Interesse. Sie werden deshalb bewusst nicht ausgewiesen und gehen auch nicht in die Bemessung ein. Um die Momente aus den Stablasten anzuzeigen, ist der Stabtyp *Fachwerkstab* zu verwenden.

Beim Stabtyp *Fachwerkstab (nur N)* ist kein Ausweichen rechtwinklig zu den Hauptachsen möglich. Effekte des Stabknickens werden daher in der Berechnung nicht berücksichtigt!



Zugstab / Druckstab

Ein Zugstab kann nur Zugkräfte aufnehmen, ein Druckstab entsprechend nur Druckkräfte. Die Berechnung eines Stabwerks mit diesen Stabtypen erfolgt iterativ: Im ersten Iterationsschritt werden die Schnittgrößen aller Stäbe ermittelt. Erhalten Zugstäbe eine negative Normalkraft (Druck) bzw. Druckstäbe eine positive Normalkraft (Zug), wird ein weiterer Iterationsschritt gestartet, wobei die Steifigkeitsanteile dieser Stäbe nicht mehr berücksichtigt werden — sie sind ausgefallen. Dieser Iterationsprozess wird so lange durchgeführt, bis kein Zug- bzw. Druckstab mehr ausfällt. Je nach Modellierung und Belastung kann ein System durch den Ausfall von Zug- oder Druckstäben instabil werden.



Ein ausgefallener Zug- bzw. Druckstab kann erneut in der Steifigkeitsmatrix berücksichtigt werden, wenn er in einem späteren Iterationsschritt infolge Umlagerungen im System wieder wirksam wird. Über das Menü **Berechnung** → **Berechnungsparameter** kann im Dialogregister **Globale Berechnungsparameter** die *Reaktivierung der ausgefallenen Stäbe* geregelt werden. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im [Kapitel 7.3](#).

Knickstab

Ein Knickstab nimmt unbegrenzt Zugkräfte auf, Druckkräfte jedoch nur bis zum Erreichen der kritischen Eulerlast.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{\ell_{cr}^2} \quad \text{mit } \ell_{cr} = \ell$$

Gleichung 4.28

Mit diesem Stabtyp lassen sich oft Instabilitäten umgehen, die bei nichtlinearen Berechnungen nach Theorie II. oder III. Ordnung durch das Knicken von Fachwerkstäben entstehen. Ersetzt man diese — realitätsgetreu — durch Knickstäbe, wird in vielen Fällen die kritische Last erhöht.

Seilstab

Ein Seil ist nur auf Zug beanspruchbar. Es ermöglicht durch iterative Berechnung und Berücksichtigung der Seiltheorie (Theorie III. Ordnung — siehe [Kapitel 7.3.1](#)) die Erfassung von Seilketten mit Longitudinal- und Transversalkräften. Dazu ist es erforderlich, das gesamte Seil als Seilkette zu definieren, die aus mehreren Seilstäben besteht.

Kettenlinien lassen sich schnell über das Menü **Extras** → **Modell generieren - Stäbe** → **Bogen** erzeugen ([Kapitel 11.7.2](#)). Je genauer die Ausgangsform der Kettenlinie mit der realen Seilkette übereinstimmt, desto stabiler und schneller kann die Berechnung ablaufen.

Es empfiehlt sich, die Seilstäbe vorzuspannen. Dadurch wird Druckkräften vorgebeugt, die zum Ausfall führen würden. Seile sollten auch nur dann angewendet werden, wenn die Verformungen einen wesentlichen Anteil an den Änderungen der Schnittgrößen besitzen, d. h. wenn große Verformungen auftreten können. Für einfache geradlinige Abspannungen wie beispielsweise bei einem Vordach sind Zugstäbe völlig ausreichend.



Bei der Auswertung der Verformungsfigur von Seilstäben sollte der Skalierungsfaktor im Steuerpanel (siehe [Bild 3.19](#)) auf „1“ gesetzt werden, damit die Straffungseffekte realistisch wirken.

Seil an Scheiben

Auch dieser Seilstabtyp nimmt nur Zugkräfte auf und wird nach Seiltheorie (Theorie III. Ordnung) berechnet. Ein Seilstab an Scheiben kann jedoch nur an einer Polylinie definiert werden, die mindestens drei Knoten aufweist. Dieser Stabtyp eignet sich für biegeschlaffe Zugelemente, deren Längskräfte über Umlenkpunkte durch das Modell geleitet werden (z. B. Flaschenzug).

Im Unterschied zu einem normalen Seilstab ist nur eine Verschiebung in den inneren Knoten in Längsrichtung u_x möglich. Der Stab darf daher nicht durch Stablasten belastet werden, die in lokale y - oder z -Richtung wirken.

An den Enden des Seilstabes darf die Verschiebung in Längsrichtung nicht frei sein.

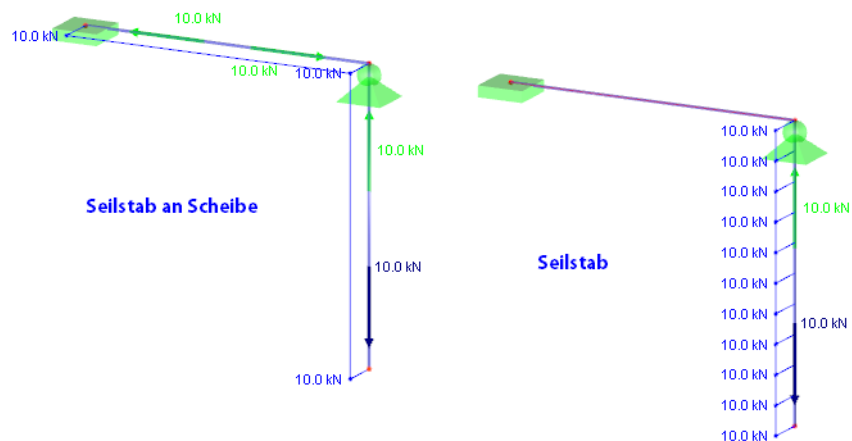


Bild 4.164 System mit Seilstab an Scheibe und Seilstab — Normalkräfte und Lagerreaktionen

An den inneren Knoten der Polylinie spielt es keine Rolle, ob ein Knotenlager vorliegt oder ob der Stab mit einer anderen Konstruktion verbunden ist: Es wird das Gesamtsystem des Seilstabes über die Länge der Polylinie untersucht.

Bei Stäben des Stabtyps *Seil an Scheiben* werden nur Verschiebungen u_x und Normalkräfte N berücksichtigt.

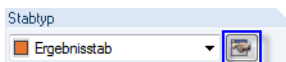
Ergebnisstab

Ein Ergebnisstab kann als fiktiver Stab - wie ein Schnitt - beliebig im Modell platziert werden. Er ermöglicht es, die Schnittgrößen von Flächen, Stäben und Volumenkörpern in Form integrierter Ergebnisse abzulesen. Damit lassen sich z. B. die resultierenden Querkräfte einer Fläche für den Mauerwerksnachweis ablesen.

Dieser Stabtyp benötigt weder eine Lagerung noch eine Verbindung zum Modell. Es können keine Lasten auf einen Ergebnisstab aufgebracht werden.

Die Integrationsparameter sind in einem Dialog anzugeben (siehe [Bild 4.163](#)), der über die Schaltfläche [Bearbeiten] aufgerufen wird.

Im Dialogabschnitt *Spannungen und Schnittgrößen integrieren* ist der Einzugsbereich des Ergebnisstabes festzulegen. Die Dialoggrafik veranschaulicht die Parameter, die für die einzelnen Möglichkeiten relevant sind.



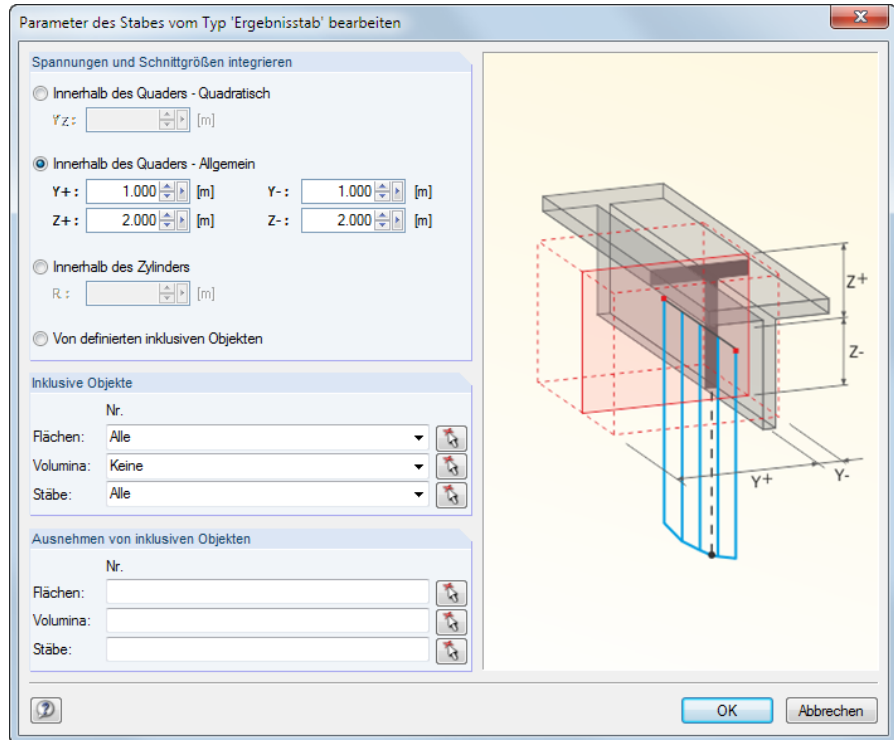
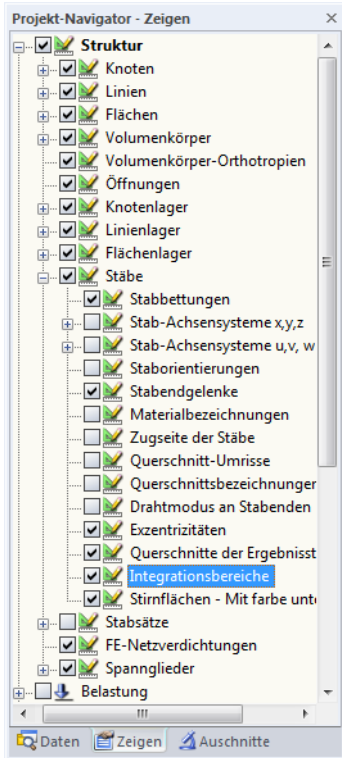


Bild 4.165 Dialog Parameter der Stabes vom Typ 'Ergebnisstab' bearbeiten

Der Abschnitt *Inklusive Objekte* ermöglicht eine gezielte Auswahl der Modellelemente, deren Ergebnisse für die Integration berücksichtigt werden sollen: Flächen, Volumen, Stäbe.

Ist der Ergebnisstab definiert, kann die Anzeige des Integrationsbereichs über den Zeigen-Navigator ein- und ausgeblendet werden (siehe Bild links).

Steifigkeiten

Die Stabsteifigkeiten können direkt in einem Dialog angegeben werden, der über die Schaltfläche [Bearbeiten] zugänglich ist. Damit erübrigt sich die Zuordnung eines Querschnitts.

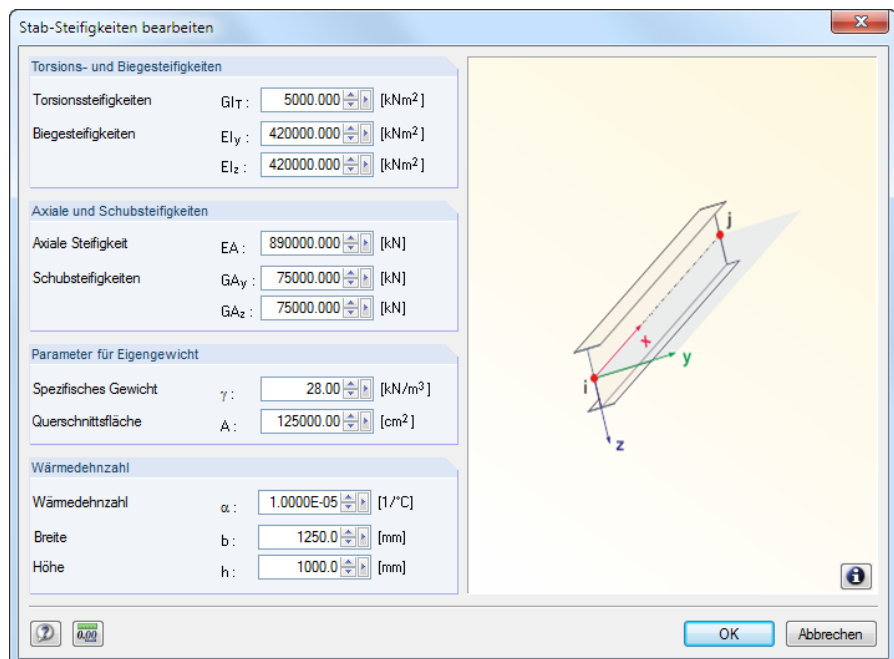
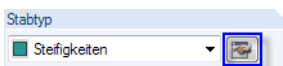


Bild 4.166 Dialog Stab-Steifigkeiten bearbeiten



Die Definition der Steifigkeitsmatrix lässt sich mit der [Info]-Schaltfläche einblenden.

Kopplung

Ein Kopplungsstab ist ein virtueller, sehr steifer Stab mit definierbaren starren oder gelenkigen Eigenschaften. Die Freiheitsgrade der Anfangs- und Endknoten können auf vier verschiedene Arten gekoppelt werden. Die Normal- und Querkkräfte bzw. Torsions- und Biegemomente werden direkt von Knoten zu Knoten übertragen. Mit Kopplungen lassen sich spezielle Situationen für Kraft- und Momentenübertragungen modellieren.

Die Steifigkeiten der Kopplungen werden modellabhängig berechnet, um numerische Probleme auszuschließen.

Mit der Variante **Starrstab** lassen sich auch Kopplungsstäbe unter Berücksichtigung von Gelenkfedern und -nichtlinearitäten definieren.

Der Zeigen-Navigator steuert, ob die Ergebnisse von Kopplungen angezeigt werden.

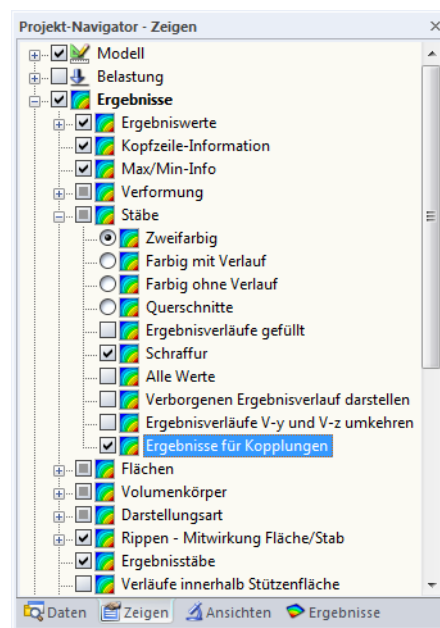
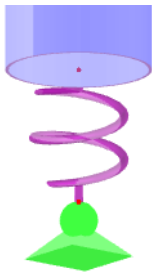


Bild 4.167 Ergebnisse von Koppelstäben über Zeigen-Navigator einblenden



Feder

Bei *Feder*-Stäben ist über die Schaltfläche [Bearbeiten] im Dialog bzw. in der Tabelle ein separater Dialog zugänglich.

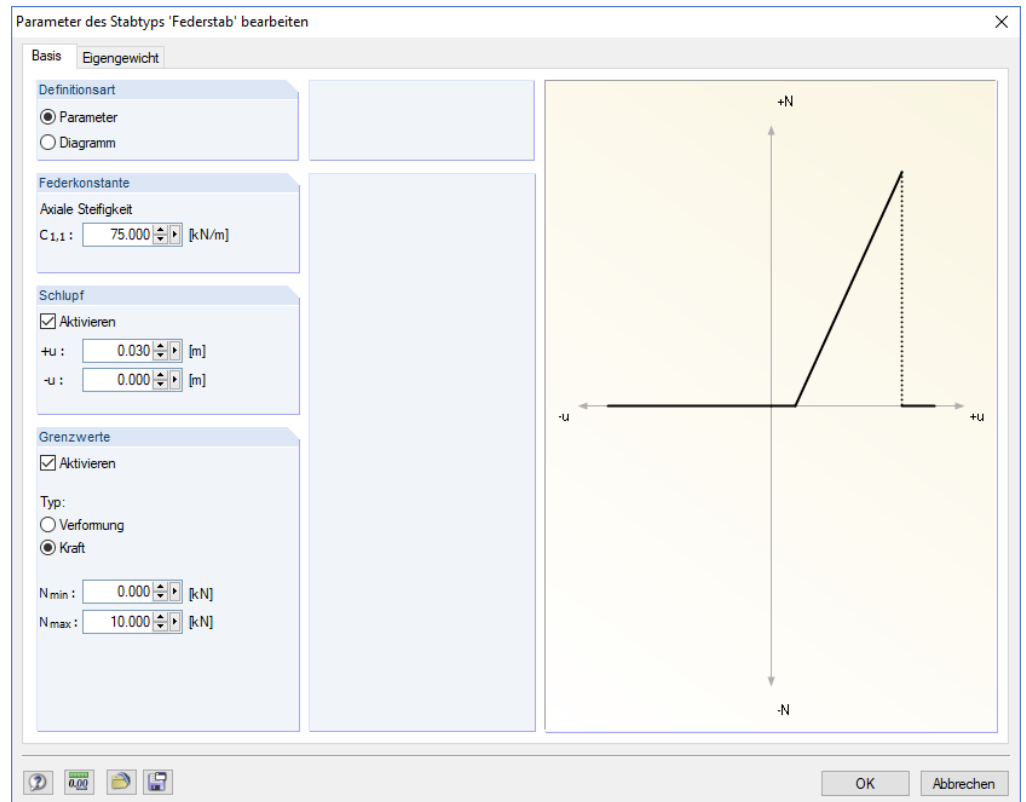


Bild 4.168 Dialog Parameter des Stabtyps 'Federstab' bearbeiten

Die Stabeigenschaften können über die *Parameter* oder in einem *Diagramm* definiert werden. Die Federkonstante $C_{1,1}$ beschreibt die Steifigkeit des Stabes in seiner lokalen x-Richtung gemäß folgender Beziehung:

$$k = \frac{EA}{\ell}$$

Gleichung 4.29

Der *Schlupf* legt einen Bereich der Verformung fest, in dem die Feder keine Kräfte aufnimmt.

Für die Definition der Feder- *Grenzwerte* bestehen zwei Möglichkeiten:

- *Verformung*: Die Werte u_{\min} und u_{\max} legen den geometrischen Wirkungsbereich der Feder fest. Bei Verformungen außerhalb dieses Bereichs wirkt die Feder als starrer Stab (Anschlag).
- *Kraft*: Die Werte N_{\min} und N_{\max} legen den Wirkungsbereich der Kräfte fest, die von der Feder aufgenommen werden können. Liegt die Normalkraft außerhalb dieser Schranken, fällt die Feder aus.

Im Register *Diagramm* können die Federeigenschaften noch präziser definiert werden. Diese Optionen decken sich weitgehend mit den Parametern nichtlinearer Stabendgelenke (siehe [Kapitel 4.14](#)).



Dämpfer

Dieser Stabtyp ist für Zeitverlaufsanalysen in den Dynamik-Zusatzmodulen [RF-DYNAM Pro - Erzwungene Schwingungen](#) und [RF-DYNAM Pro - Nichtlinearer Zeitverlauf](#) relevant. Die Stabeigenschaften können in einem Dialog angegeben werden, der über die Schaltfläche [Bearbeiten] im Dialog bzw.  in der Tabelle zugänglich ist.

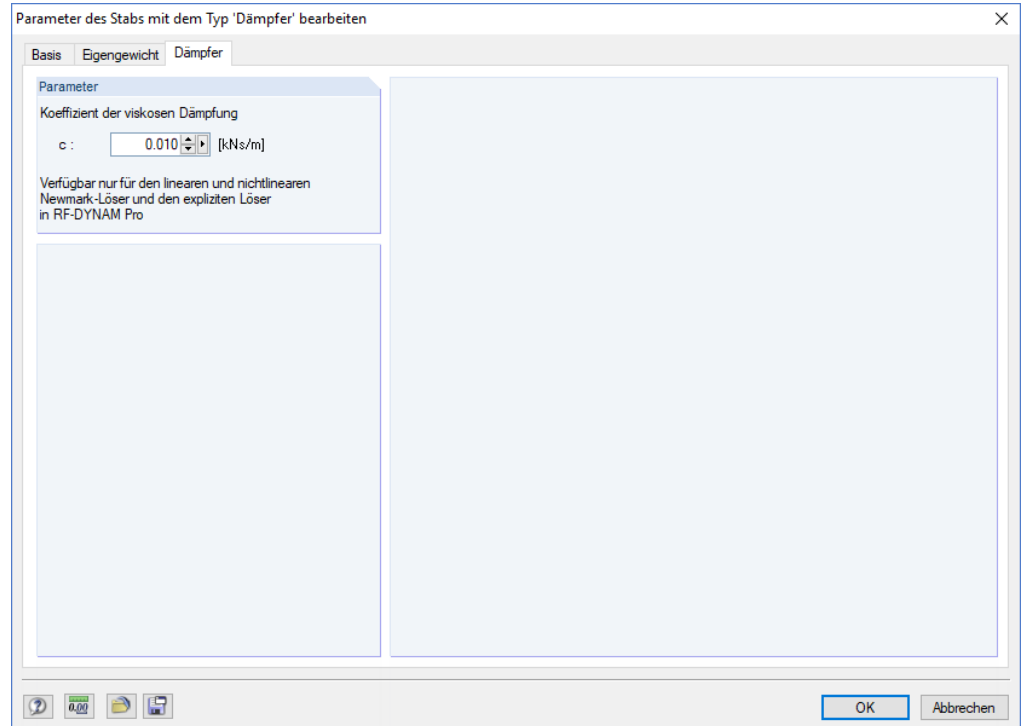


Bild 4.169 Dialog Parameter des Stabs mit dem Typ 'Dämpfer' bearbeiten

Dieses linear viskose Dämpfungselement entspricht dem oben beschriebenen Stabtyp "Feder". Im Register *Dämpfer* ist zusätzlich der *Koeffizient der viskosen Dämpfung* c anzugeben. Damit können in den Dynamikmodulen die Kräfte berücksichtigt werden, die von der Geschwindigkeit abhängen. In viskoelastischer Hinsicht gleicht der Stabtyp "Dämpfer" dem Kelvin-Voigt-Modell, das aus dem Dämpferelement und einer elastischen Feder (beides parallelgeschaltet) besteht.

Nullstab

Ein Nullstab mitsamt Belastung wird in der Berechnung nicht berücksichtigt. Mit Nullstäben kann beispielsweise untersucht werden, wie sich das Tragverhalten des Modells ändert, wenn bestimmte Stäbe nicht wirksam sind. Die Stäbe brauchen nicht gelöscht werden, die Lasten bleiben ebenfalls erhalten.

Querschnitt Nr. Stabanfang / Stabende

In diesen beiden Eingabefeldern oder Spalten werden die Querschnitte für den Stabanfang und das Stabende festgelegt. Die Querschnittsnummern beziehen sich auf die Einträge in Tabelle 1.13 *Querschnitte* (siehe [Kapitel 4.13](#)). Die Farben der unterschiedlichen Querschnitte erleichtern die Zuweisung.



Voutenstab

Durch unterschiedliche Nummern für Anfangs- und Endquerschnitt wird eine Voute gebildet. RFEM interpoliert die veränderlichen Steifigkeiten entlang des Stabes nach höhergradigen Polynomen. Unsinnige Eingaben wie z. B. eine Voute aus einem IPE-Profil und einem Rundstahl werden von der Plausibilitätskontrolle beanstandet.

Die interne Ermittlung der Vouten-Querschnittswerte wird über den *Voutenansatz* im Register **Optionen** bzw. der entsprechenden Spalte geregelt (siehe [Kapitel 4.17](#)).

Stabdrehung

Das stabbezogene xyz-Koordinatensystem ist rechtwinklig und rechtsschraubig definiert. Die lokale Achse **x** stellt stets die Schwerachse des Stabes dar. Sie verbindet den Anfangs- mit dem Endknoten der Linie (positive Richtung). Die Stabachsen **y** und **z** bzw. **u** und **v** bei unsymmetrischen Querschnitten repräsentieren die Hauptachsen des Stabes.

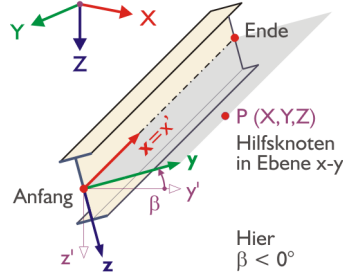


Bild 4.170 Stabdrehung und lokale Stabachsen x,y,z (beliebige Lage im Raum)

Die Lage der lokalen Achsen y und z wird zunächst automatisch festgelegt: Die Achse **y** ist rechtwinklig zur Längsachse x und parallel zur globalen XY-Ebene ausgerichtet. Die Lage der Achse **z** ergibt sich gemäß der Rechte-Hand-Regel. Die z'-Komponente der z-Achse zeigt dabei stets nach „unten“ (d. h. in Richtung der Schwerkraft) — unabhängig davon, ob die globale Z-Achse nach oben oder nach unten ausgerichtet ist.

Die Stablage kann über das 3D-Rendering kontrolliert werden. Alternativ lassen sich über das Stab-Kontextmenü oder den Zeigen-Navigator die Stab-Achsensysteme x,y,z anzeigen.

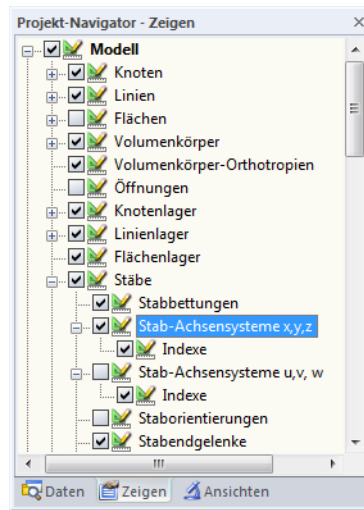
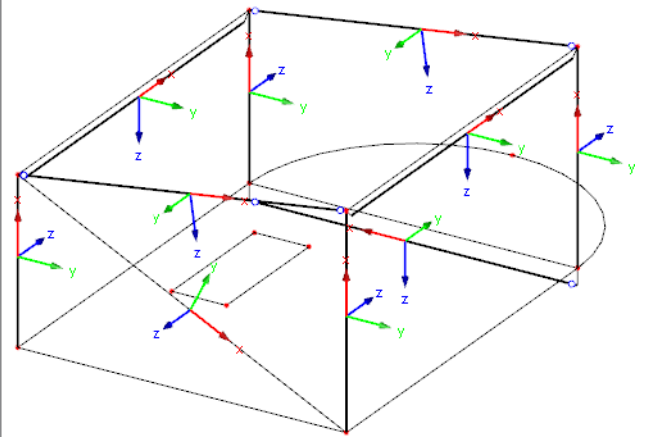
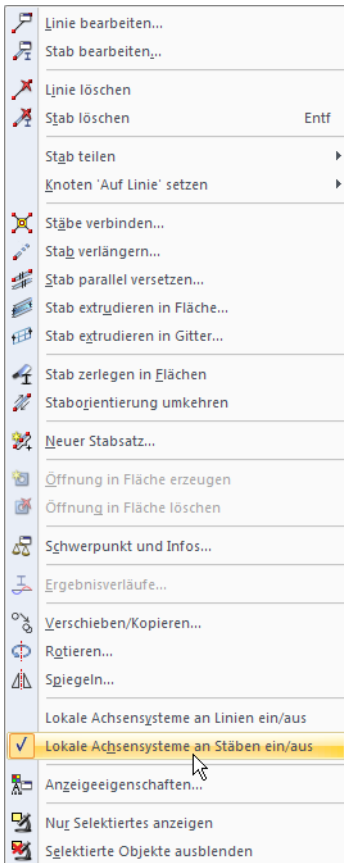


Bild 4.171 Aktivieren der lokalen Stabachsensysteme im Zeigen-Navigator



Die Spalte **N** der Tabelle gibt Auskunft darüber, zu welcher globalen Achse der Stab parallel verläuft oder in welcher Ebene er sich befindet, die von den globalen Achsen aufgespannt wird. Ist kein Eintrag vorhanden, befindet sich der Stab in einer beliebigen Lage im Raum.

Wenn ein Stab parallel zur globalen Z-Achse und damit vertikal ausgerichtet ist, verfügt die lokale Achse **z** natürlich über keine Z-Komponente. In diesem Fall gilt folgende Regelung: Die lokale Achse **y** wird parallel zur globalen Y-Achse ausgerichtet. Die Achse **z** ergibt sich dann gemäß der Rechte-Hand-Regel (siehe Bild 4.170).



Stab-Kontextmenü

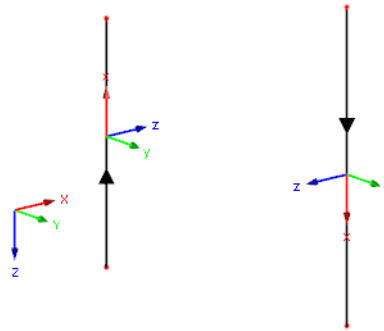


Bild 4.172 Vertikale Stablage bei Stäben mit unterschiedlichen Stabrichtungen ($\beta = 0^\circ$)

Befindet sich in einem Stützen-Stabzug ein Stab nicht in exakt vertikaler Lage (wegen minimaler Abweichungen der X- oder Y-Knotenkoordinaten), können die Achsen des Stabes ihre Ausrichtung ändern: RFEM stuft die Lage des minimal geneigten Stabes als „allgemein“ ein. Über das Menü **Extras** → **Modell regenerieren** ist es möglich, Stäbe in allgemeiner Lage dennoch als *vertikal* zu klassifizieren (siehe [Kapitel 7.1.3](#)).

Stabdrehungen lassen sich auf zwei Arten vornehmen:

- Stabdrehung über Winkel β

Es wird ein *Winkel* β festgelegt, um den der Stab gedreht wird. Ein positiver Drehwinkel β dreht die Achsen y und z rechtsschraubig um die Stablängsachse x.

Bitte beachten Sie, dass der Stabdrehwinkel β und der Querschnittsdrehwinkel α' (siehe [Kapitel 4.13](#)) addiert werden.

In 2D-Modellen sind nur die Stabdrehwinkel 0° und 180° zulässig.

- Stabdrehung über Hilfsknoten

Das Stabachsensystem wird auf einen bestimmten Knoten ausgerichtet. Zunächst ist anzugeben, welche Achse (y oder z) über den Hilfsknoten beeinflusst werden soll. Der Hilfsknoten bestimmt folglich die Ebene xy oder xz des Stabes. Anschließend ist der Hilfsknoten einzugeben, grafisch auszuwählen oder neu anzulegen. Er darf nicht auf der Geraden liegen, die durch die x-Achse des Stabes festgelegt ist.

Das folgende Beispiel zeigt Stützen, die auf den Mittelpunkt ausgerichtet sind.

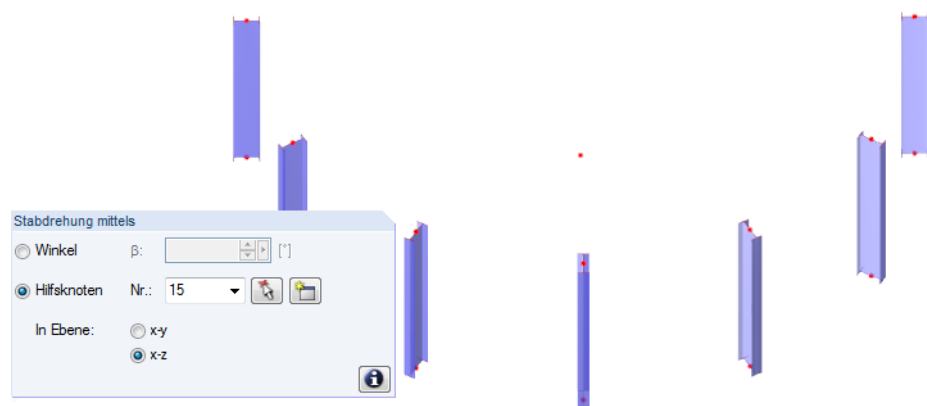


Bild 4.173 Stabdrehung über Hilfsknoten

Änderungen des lokalen Stabachsensystems können sich auf die Vorzeichen der Schnittgrößen auswirken. Das folgende Bild veranschaulicht die allgemeine Vorzeichenregelung.

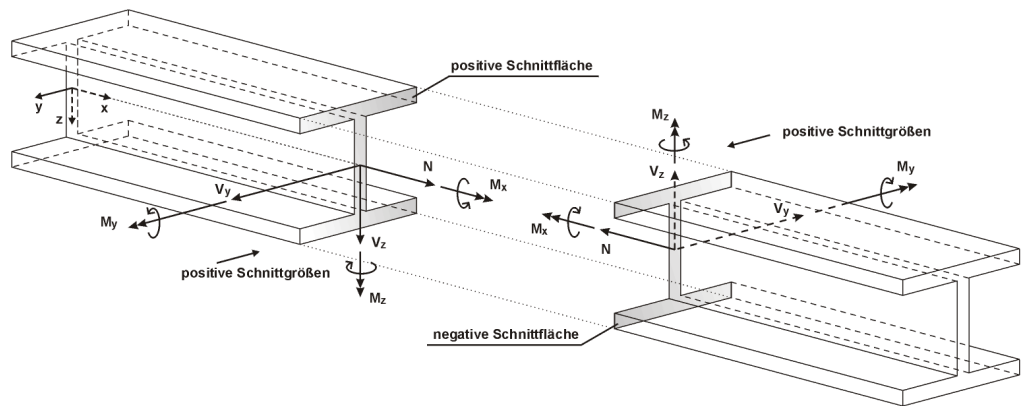


Bild 4.174 Positive Definition der Schnittgrößen



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

Gelenk Nr. Stabanfang / Stabende

In den beiden Eingabefeldern oder Tabellenspalten können Gelenke definiert werden, die die Übertragung von Schnittgrößen an den Knoten steuern. Die Gelenknummern beziehen sich auf die Einträge in Tabelle 1.14 *Stabendgelenke* (siehe [Kapitel 4.14](#)).

Für bestimmte Stabtypen sind keine Einträge möglich, da bereits interne Gelenke vorliegen.

Exzentrizität Nr.

In dieser Tabellenspalte bzw. diesem Eingabefeld des Registers *Einstellungen* (siehe [Bild 4.161](#)) kann dem Stab ein exzentrischer Anschluss zugewiesen werden. Die Nummern der Exzentrizitäten beziehen sich auf die Tabelle 1.15 *Stabexzentrizitäten* (siehe [Kapitel 4.15](#)). Ein Anschluss-Typ erfasst die Exzentrizitäten von sowohl Stabanfang als auch Stabende.

Teilung Nr.



Stabteilungen steuern die numerische Ausgabe der Schnittgrößen und Verformungen entlang des Stabes (siehe [Kapitel 4.16](#)). Über die Tabellenspalte bzw. das Eingabefeld des Registers *Einstellungen* können Teilungen zugewiesen oder neu erstellt werden. Die Nummern der Teilungen beziehen sich auf die Einträge in Tabelle 1.16 *Stabteilungen*.

Eine Stabteilung hat weder einen Einfluss auf die Ermittlung der Extremwerte noch auf den grafischen Ergebnisverlauf (RFEM benutzt intern eine feinere Teilung). Da in den meisten Fällen Stabteilungen nicht erforderlich sind, ist die Voreinstellung ‚Keine‘ bzw. ‚0‘.

Stabbettung

In diesem Eingabefeld des Registers *Einstellungen* (siehe [Bild 4.161](#)) kann dem Stab eine Bettung zugewiesen werden. Die Nummern der Bettungen werden in Tabelle 1.19 *Stabbettungen* verwaltet (siehe [Kapitel 4.19](#)).

Stabnichtlinearität

Das Eingabefeld des Registers *Einstellungen* (siehe Bild 4.161 ) ermöglicht es, den Stab mit einer nichtlinearen Eigenschaft auszustatten. Die Nummern der Nichtlinearitäten beziehen sich auf die Einträge in Tabelle 1.20 *Stabnichtlinearitäten* (siehe Kapitel 4.20 )

Voutenansatz

Liegen unterschiedliche Querschnitte für Stabanfang und Stabende vor, kann in dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld des Registers *Einstellungen* zwischen einem *linearen* und einem *quadratischen* Ansatz gewählt werden. Damit lässt sich die Voutengeometrie für die Ermittlung der interpolierten Querschnittswerte erfassen.


In den meisten Fällen liegt ein linearer Verlauf der Voute vor: Die Höhe des Profils ändert sich gleichmäßig vom Anfangsquerschnitt zum Endquerschnitt, die Breite bleibt mehr oder weniger konstant. Falls jedoch auch die Breite des Profils entlang des Stabes ausgeprägte Veränderungen aufweist (z. B. Voute aus Massivquerschnitten), dann sollte die Interpolation der Querschnittswerte besser über eine quadratische Funktion erfolgen.

Länge

Diese Tabellenspalte gibt die absolute Länge des Stabes als Distanz zwischen dem Anfangs- und dem Endknoten an. Exzentrizitäten werden berücksichtigt.

Im Arbeitsfenster lässt sich die Stablänge ebenfalls ablesen: Platzieren Sie den Mauszeiger über dem Stab und warten einen Moment, um die Stab-Schnellinfo einzublenden.


Gewicht

Die Masse des Stabes ermittelt sich als Produkt von Querschnittsfläche A und spezifischem Gewicht des Materials. Als Erdbeschleunigung wird $g = 10 \text{ m/s}^2$ angesetzt. Dieser Wert kann ggf. im Dialog *Basisangaben*, Register *Optionen* geändert werden (siehe Bild 12.32 )

Lage

Die Spalte **N** der Tabelle gibt Auskunft darüber, zu welcher globalen Achse der Stab parallel verläuft oder in welcher Ebene er sich befindet, die von den globalen Achsen aufgespannt wird. Ist kein Eintrag vorhanden, befindet sich der Stab in einer beliebigen Lage im Raum.



Befindet sich in einem Stützen-Stabzug ein Stab nicht in exakt vertikaler Lage (wegen minimaler Abweichungen der X- oder Y-Knotenkoordinaten), können die Achsen des Stabes ihre Ausrichtung ändern: RFEM stuft die Lage des minimal geneigten Stabes als „allgemein“ ein. Über das Menü **Extras** → **Modell regenerieren** ist es möglich, Stäbe in allgemeiner Lage dennoch als *vertikal* zu klassifizieren (siehe Kapitel 7.1.3 )

Weisen durchlaufende Stäbe keine einheitliche Stablage auf, können Probleme beispielsweise beim Aufbringen gleichgerichteter Imperfektionen entstehen. In folgender FAQ ist ein Beispiel mitsamt Lösungsvorschlag vorgestellt:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/000619> 

Knicklängen

Das Register *Knicklängen* des Dialogs verwaltet die *Knicklängenbeiwerte* $k_{cr,y}$ und $k_{cr,z}$.

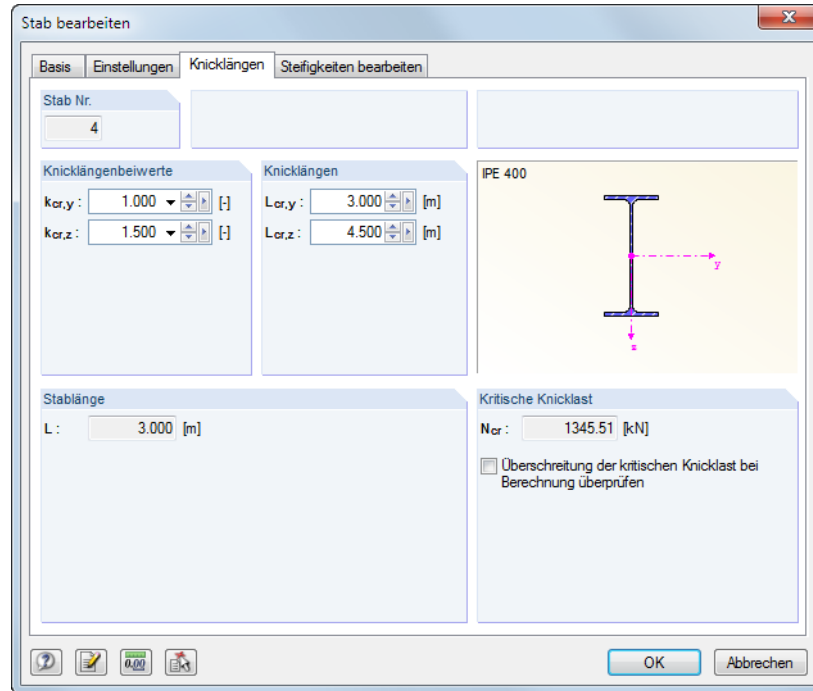


Bild 4.175 Dialog *Stab bearbeiten*, Register *Knicklängen*

Die *Knicklängenbeiwerte* lassen sich getrennt für beide Stabachsen anpassen. In den Feldern rechts werden die *Knicklängen* angezeigt, die sich aus diesen Beiwerten und der *Stablänge* ergeben.

Die *Knicklängenbeiwerte* sind für Zusatzmodule wie RF-STAHl EC3 bedeutsam, in denen Stabilitätsnachweise geführt werden. Für RFEM selbst spielen die Vorgaben eine untergeordnete Rolle, da z. B. bei *Knickstäben* die *Knicklängen* aus den Randbedingungen intern ermittelt und entsprechend berücksichtigt werden.

Im Abschnitt *Kritische Knicklast* kann festgelegt werden, ob bei der Berechnung die Biegeknicklast des Stabes überprüft werden soll. Dieses Kontrollfeld ist für *Fachwerk*-, *Druck*- und *Knickstäbe* standardmäßig angehakt. Im Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter* (siehe [Bild 7.27](#)) besteht eine globale Einstellmöglichkeit für diese Art der Kontrolle.

Steifigkeiten modifizieren

Das Dialogregister *Steifigkeiten modifizieren* ermöglicht es, die Stabsteifigkeiten zu beeinflussen.

Falls auch Änderungen bei den Querschnittsteifigkeiten vorgenommen wurden (siehe [Kapitel 4.3](#)), so werden diese bei der Berechnung zusätzlich berücksichtigt.

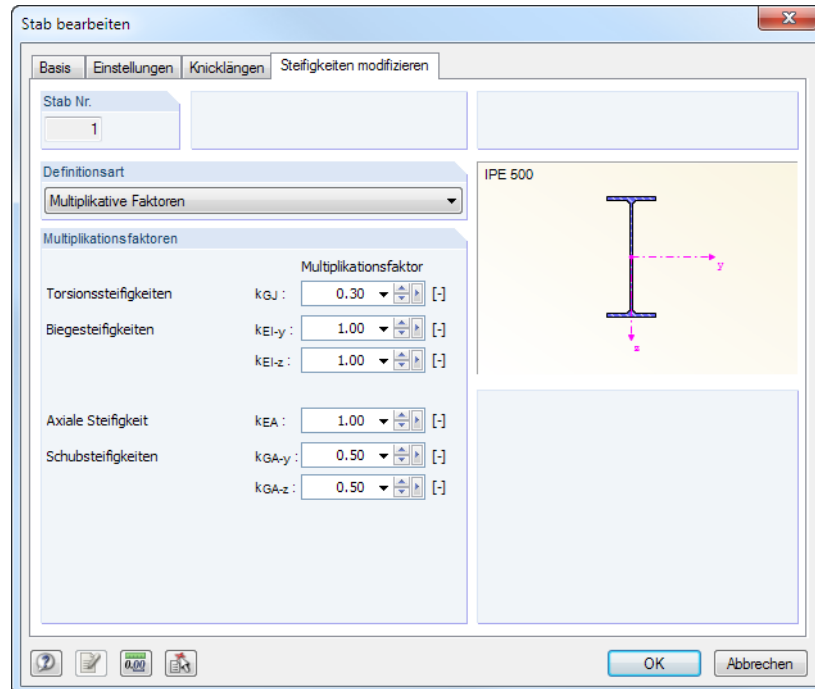
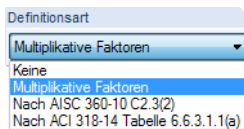


Bild 4.176 Dialog Stab bearbeiten, Register *Steifigkeiten modifizieren*



Die *Definitionsart* der Steifigkeitsanpassung kann in der Liste ausgewählt werden. Wird *Keine* Änderung der Steifigkeit angesetzt, so gehen alle Steifigkeitsanteile mit dem Faktor 1,00 in die Berechnung ein.

Mit der Option *Multiplikative Faktoren* lassen sich die Steifigkeitsbeiwerte k für die Torsions-, Biege-, Axial- und Schubsteifigkeiten des Stabes benutzerdefiniert festlegen (siehe [Bild 4.174](#)).

Bei der *Definitionsart* *Nach AISC 360-10 C2.3(2)* bestehen im Dialogregister Auswahlmöglichkeiten, die auf die US-Stahlbaunorm abgestimmt sind.

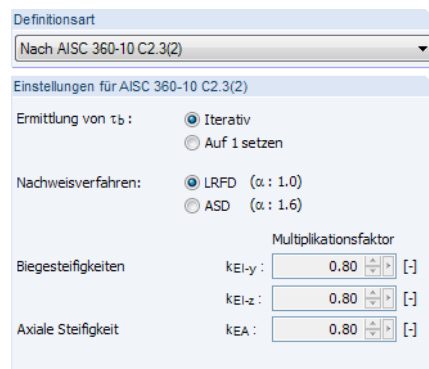
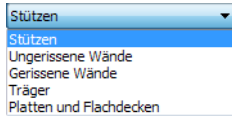


Bild 4.177 Dialogabschnitt *Multiplikationsfaktoren* für AISC 360-10

Bei der Schnittgrößenermittlung nach ANSI/AISC 360-10 muss ein Abminderungsbeiwert τ_β bei allen Stäben berücksichtigt werden, deren Biegesteifigkeit einen Beitrag zur Stabilität des Modells leistet. Dieser Beiwert ist abhängig von der Normalkraft im Stab: Je größer die Normalkraft, desto größer ist auch τ_β .



Wenn τ_{β} iterativ ermittelt werden soll, ist das Nachweisverfahren anzugeben — LRFD oder ASD. RFEM berechnet den Beiwert dann nach Gleichung (C2-2a) bzw. (C2-2b) des AISC 360-10 in mehreren Schritten, bis sich eine Konvergenz einstellt.

Unabhängig vom Beiwert τ_{β} wird — wie in AISC 360-10 gefordert — für alle Stäbe der Abminderungsbeiwert 0,8 für die Biege- und Axialsteifigkeiten angesetzt. Mit dem Kontrollfeld *Auf 1* setzen lässt sich die iterative Ermittlung von τ_{β} umgehen, sodass nur eine Steifigkeitsabminderung von 0,8 angesetzt wird.

Die Definitionsart *Nach ACI 318-14 Tabelle 6.6.3.1.1(a)* stellt die Reduktionsfaktoren gemäß der US-Stahlbetonbaunorm ein, die je nach *Bauteiltyp* gelten. Die Liste bietet hierzu verschiedene Auswahlmöglichkeiten, um die adäquaten Beiwerte z. B. für Stützen oder Träger einzustellen.

Um Steifigkeitsmodifikationen mehreren Stäben zuzuweisen, können diese mit der Mehrfach- oder Fensterselektion markiert und dann durch Doppelklicken eines der Stäbe bearbeitet werden.

Stab als Flächenmodell



Über die Funktion *Stab zerlegen in Flächen* ist es möglich, einen Stab (1D-Elemente) für Detailnachweise in adäquate Flächenelemente umzuwandeln. Diese Funktion ist im [Kapitel 11.7.1.5](#) beschrieben.

Doppelte Stäbe



In der Regel sind übereinanderliegende Stäbe im Modell unerwünscht. Wird daher ein neuer Stab über die Knoten eines bereits existierenden Stabes definiert, so löscht RFEM automatisch den alten Stab.

Über das Menü **Bearbeiten** → **Doppelte Stäbe zulassen** kann das Löschen der bereits definierten Stäbe unterbunden werden. Damit werden die Steifigkeiten beider Stäbe in der Berechnung berücksichtigt.

4.18

Rippen

Allgemeine Beschreibung

Rippen sind ein besonderer Stabtyp – die Voraussetzung für eine Rippe ist somit ein Stab. Mit Rippen können Plattenbalken im FEM-Modell durch die Erfassung der Exzentrizitäten und mitwirkenden Breiten abgebildet werden.



Rippen eignen sich in erster Linie für Modelle mit Stahlbetonelementen: Im Zusatzmodul **RF-BETON Stäbe** können die Rippenschnittgrößen und -querschnitte für die Bemessung verwendet werden. Ein Stahlblech mit aufgeschweißter „Rippe“ hingegen sollte als Fläche mit einem exzentrisch angeschlossenen Stab modelliert werden.

Eine Rippe kann direkt über das Navigator-Kontextmenü **Rippen** oder die Dialogeingabe definiert werden. Wird beim Anlegen eines neuen Stabes der **Stabtyp Rippe** gewählt (siehe Kapitel 4.17 [2]), können über die Schalfläche [Bearbeiten] die Parameter festgelegt werden. Der folgende Dialog ist auch über das Navigator-Kontextmenü oder im Menü zugänglich.

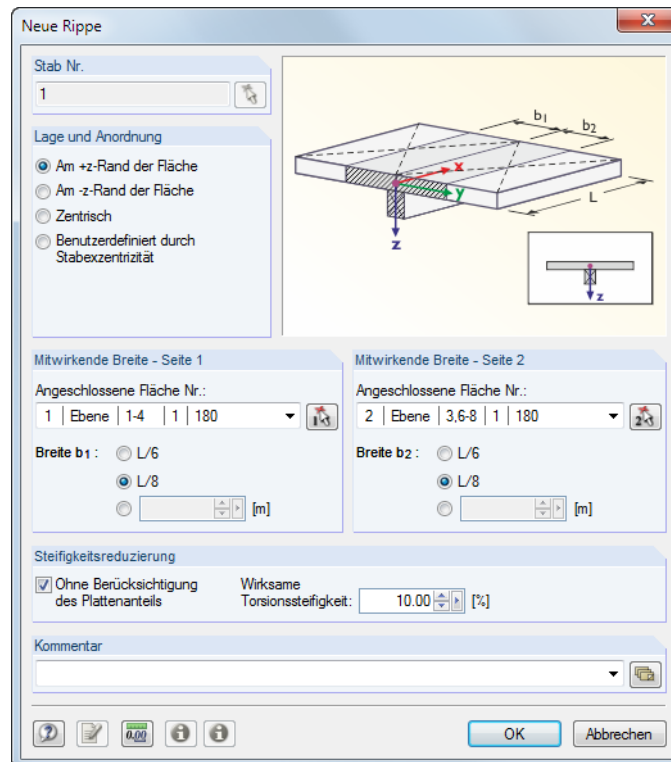
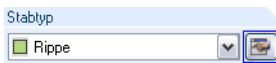


Bild 4.178 Dialog Neue Rippe (bei Modelltyp 2D - XY)

1.18 Rippen

Stab Nr.	Lage der Rippe	Mitwirkende Breite - Seite 1		Mitwirkende Breite - Seite 2		Steifigkeitsreduzierung		Kommentar
		Fläche Nr.	b ₁ [m]	Fläche Nr.	b ₂ [m]	Ohne Plattenanteil	Akt. Torsionssteifigkeit [%]	
1	Am -z-Rand	1	0.704	2	0.704	<input checked="" type="checkbox"/>	10.00	
2	Am -z-Rand	1	0.704		0.000	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	
3	Zentrisch	2	0.375		0.000			

Querschnitte | Stabengelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Wirksame Torsionssteifigkeit der Rippe in %. Bei 100 % wird die volle Torsionssteifigkeit einschl. des Plattenanteils angesetzt.

Bild 4.179 Tabelle 1.18 Rippen

Lage der Rippe

Eine Rippe ist im Regelfall ein exzentrisch angeordneter Stab. Die Exzentrizität wird automatisch aus der halben Flächendicke und der halben Stabhöhe ermittelt (die Tabelle 1.15 *Stabexzentrizitäten* wird dadurch nicht berührt) oder kann manuell definiert werden. Durch die Exzentrizität der Rippe wird die Steifigkeit des Modells erhöht.

Folgende Anordnungsmöglichkeiten stehen zur Verfügung:

Am +/–z-Rand der Fläche

Die Exzentrizität als Summe von halber Flächendicke und halber Steghöhe wird automatisch in Richtung der positiven bzw. negativen Flächenachse **z** angesetzt. Zur Kontrolle lassen sich die xyz-Flächenachsen über den Zeigen-Navigator einblenden (siehe Bild 4.122 [☞](#)).

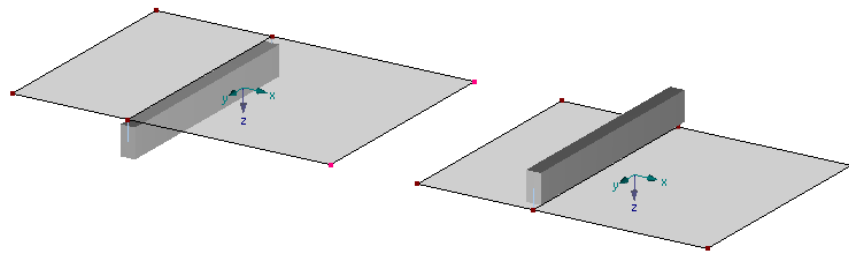


Bild 4.180 Rippe am positiven z-Rand (links) und am negativen z-Rand (rechts) der Flächen

Zentrisch

Die Rippe wird ohne Exzentrizität modelliert, die Schwerachse liegt in der Flächenmitte.

Benutzerdefiniert durch Stabexzentrizität

Im Dialog *Neue Stabexzentrizität* bzw. Tabelle 1.15 (siehe Kapitel 4.15 [☞](#)) ist die Exzentrizität rechtwinklig zur Plattenebene zu definieren. Sie kann dann dem Stab zugewiesen werden.

Die Rippenlage lässt sich gut im Renderingmodus kontrollieren: Wählen Sie hierzu im Zeigen-Navigator die beiden Vollmodell-Darstellungen **Stäbe** → **Querschnitte** und **Flächen** → **Gefüllt einschließlich Dicke**.

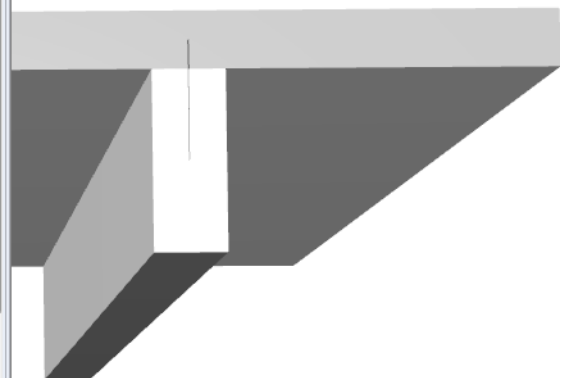
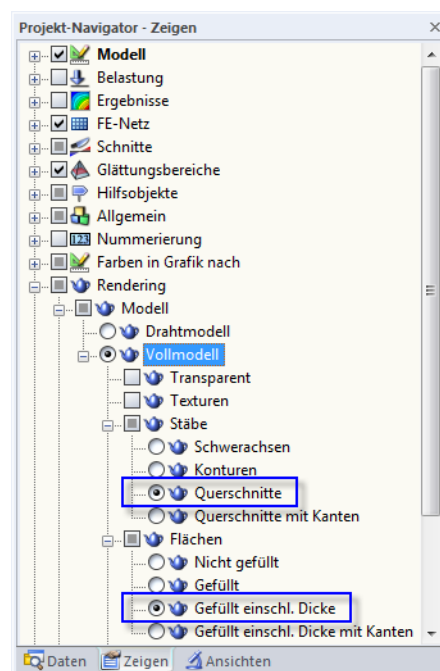


Bild 4.181 Zeigen-Navigator: Rendering - Vollmodell

Mitwirkende Breite

Die mitwirkende Breite hat bei 3D-Modellen keinen Einfluss auf die Steifigkeit, denn die erhöhte Steifigkeit wird bereits durch den exzentrischen Stab berücksichtigt. Die mitwirkende Breite beeinflusst nur die Schnittgrößen. Bei 2D-Modellen hingegen (Modelltyp 2D - XY) wird die Steifigkeit von den Einstellungen gesteuert, die für die *Steifigkeitsreduzierung* gelten (siehe Abschnitt unten).

Wird statt einer Rippe ein exzentrisch angeschlossener Balken verwendet, so liefert das FEM-Modell Schnittgrößen im Stab und in der Deckenplatte. In der Stahlbetonbemessung wird jedoch der Stab und ein Teil der Deckenplatte als Einheit betrachtet — als Plattenbalken. Um die Schnittgrößen für diesen Plattenbalken zu erhalten, ist das Biegemoment im Stab um das Produkt aus der Normalkraft in der Platte und der Exzentrizität zu vergrößern. Zur Bestimmung der Platten-Normalkraft muss bekannt sein, in welchem Bereich die Normalkräfte summiert werden sollen. Daher sind die mitwirkenden Breiten und die Flächen anzugeben.

Angeschlossene Fläche

Die mitwirkenden Breiten der Rippe sind getrennt für die linke und für die rechte Seite zu definieren. Meist kann im Dialog *Neue Rippe* in der Liste *Angeschlossene Fläche* die Einstellung *Automatisch finden* beibehalten werden. Nur wenn an der Linie der Rippe mehr als zwei Flächen zusammentreffen, müssen die angeschlossenen Flächen explizit festgelegt werden.

Mitwirkende Breite

Die mitwirkende *Breite* b_1 bzw. b_2 kann im Eingabefeld entweder direkt eingegeben oder mit den Optionen *L/6* und *L/8* automatisch aus der Stablänge berechnet werden. Beim Bestätigen des Dialogs ermittelt RFEM die mitwirkenden Breiten und trägt die Werte ein.

Achtung: Wenn die Stablänge im Nachhinein geändert wird, erfolgt **keine** automatische Anpassung der mitwirkenden Breiten!

Nach der Berechnung können die mitwirkenden Anteile der Flächen für die Stab-Ergebnisse im *Zeigen-Navigator* berücksichtigt werden: **Ergebnisse** → **Rippen - Effektive Mitwirkung auf Fläche/Stab**. Die Stab-Ergebnisverläufe ermöglichen ebenfalls die gezielte Auswertung der Rippenschnittgrößen (siehe [Kapitel 9.5](#)).

Steifigkeitsreduzierung

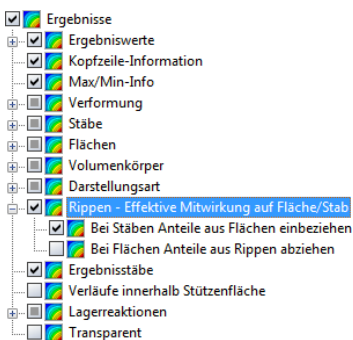
Dieser Abschnitt bzw. diese Tabellenspalten werden angezeigt, wenn bei den Basisangaben (siehe [Bild 12.23](#)) der Modelltyp 2D - XY eingestellt ist. Hier wird für Plattenbalken ein anderer Berechnungsansatz verwendet als bei räumlich definierten Modellen, in denen die Rippe ohnehin als exzentrisch angeordneter Stab in der FE-Analyse berücksichtigt werden kann.

Ohne Plattenanteil

Für die Berechnung wird ein Ersatzquerschnitt angesetzt, dessen Steifigkeit aus dem Stabquerschnitt und dem mitwirkenden Plattenanteil der Flächen ermittelt wird. Bei exzentrisch angeordneten Rippen wird somit die Steifigkeit der Platte doppelt erfasst, da diese sowohl im Ersatzquerschnitt als auch direkt über die Flächenelemente wirksam ist. Wird das Kontrollfeld *Ohne Plattenanteil* aktiviert, bleibt der Platten-Steifigkeitsanteil im Ersatzquerschnitt unberücksichtigt.

Wirksame Torsionssteifigkeit

Über dieses Eingabefeld kann die Torsionssteifigkeit der Rippe abgemindert werden.



4.19

Stabbettungen

Allgemeine Beschreibung

Während Knotenlager eine Lagerung an den beiden Stabenden leisten, ermöglichen Stabbettungen eine elastische Lagerung des Stabes in seiner gesamten Länge. Damit lassen sich z. B. Fundamentbalken unter Erfassung der Baugrundeigenschaften modellieren. Falls die Bettung bei Zug- oder Druckspannungen nicht wirksam ist, können die nichtlinearen Effekte in der Berechnung berücksichtigt werden.

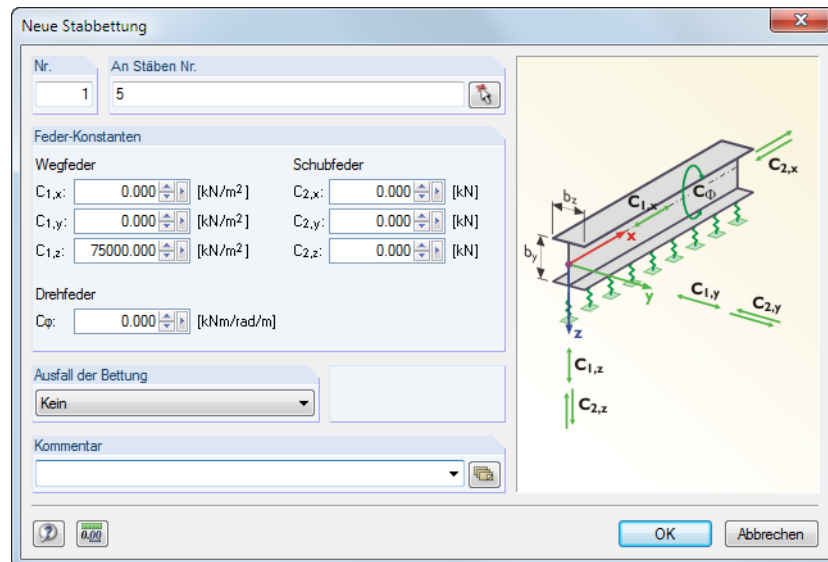


Bild 4.182 Dialog Neue Stabbettung

1.19 Stabbettungen

Bettung Nr.	A An Stäben Nr.	B C _{1,x} [kN/m ²]	C C _{1,y} [kN/m ²]	D C _{1,z} [kN/m ²]	E C _{2,x} [kN]	F C _{2,y} [kN]	G C _{2,z} [kN]	H C _φ [kNm/rad/m]	I Ausfall der Bettung	J Kommentar
1	5	0.000	0.000	75000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Kein	
2	1,6	0.000	0.000	50000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Falls Kontaktspannung neg	
3									Kein	
4									Falls Kontaktspannung negativ	
5									Falls Kontaktspannung positiv	

Querschnitte | Stabengelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Ausfall der Bettung ('K'ein / Bei 'Z'ug / Bei 'D'ruck / F7 zum Wählen)

Bild 4.183 Tabelle 1.19 Stabbettungen

An Stäben Nr.

Bettungen können nur für den Stabtyp *Balkenstab* definiert werden. Die Nummer des Stabes ist in der Spalte bzw. im Eingabefeld einzutragen oder grafisch festzulegen.

Federkonstanten

Wegfeder

Die Kennwerte der Wegfedern sind jeweils für die Bettungen in Richtung der lokalen Stabachsen x, y und z anzugeben.

Als Anhaltswerte dienen die Steifemoduln E_S der [Tabelle 4.8](#). Bitte beachten Sie, dass sich die Eingabe in RFEM auf den Bettungsmodul bezieht, der unter Berücksichtigung des Formfaktors zu ermitteln ist.

Bodenart	E_s statische Belastung	E_s dynamische Belastung
Sand, dicht	40 - 100	200 - 500
Kiessand, dicht	80 - 150	300 - 800
Ton/Lehm, halbfest bis fest	8 - 30	120 - 250
Ton/Lehm, steifplastisch	5 - 20	70 - 150
Mischböden, halbfest bis fest	20 - 100	200 - 600

Tabelle 4.8 Steifemoduln ausgewählter Bodenarten in $[N/mm^2]$

Bei den Werten der [Tabelle 4.8](#) handelt es sich um flächenbezogene Kennwerte: Sie beschreiben, welche Flächenkraft in $[N/mm^2]$ benötigt wird, um den Boden um 1 mm zusammenzudrücken. Die Einheit wäre damit volumenbezogen als $[N/mm^3]$ zu interpretieren. Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Bei Bettungsbalken, die z. B. zur Modellierung von Streifenfundamenten benutzt werden, ist der Federkoeffizient unter Berücksichtigung der Querschnittsbreite zu ermitteln. Damit erhält man eine auf den Stab bezogene Wegfeder in $[N/mm^2]$. Diese gibt an, welche Stabkraft in $[N/mm]$ benötigt wird, um den Boden um 1 mm zusammenzudrücken — daher die Einheit $[N/mm^2]$ für die Eingabe. Das Ergebnis ist als Wegfeder $C_{1,z}$ einzutragen: Bei Streifenfundamenten (Stäbe in horizontaler Lage) zeigt die lokale z-Achse in der Regel nach unten.

Die lokalen Stabachsen lassen sich über den Zeigen-Navigator oder das Stab-Kontextmenü einblenden (siehe [Bild 4.169](#)).

Schubfeder

Über Schubfedern kann die Schubtragfähigkeit des Baugrundes erfasst werden. Die Federkonstanten C_2 ermitteln sich aus dem Produkt $v \cdot C_{1,z}$, wobei die Querdehnzahl v für Sand- und Kiesböden zwischen 0.125 und 0.5 und für Tonböden zwischen 0.2 und 0.4 liegt.

Drehfeder

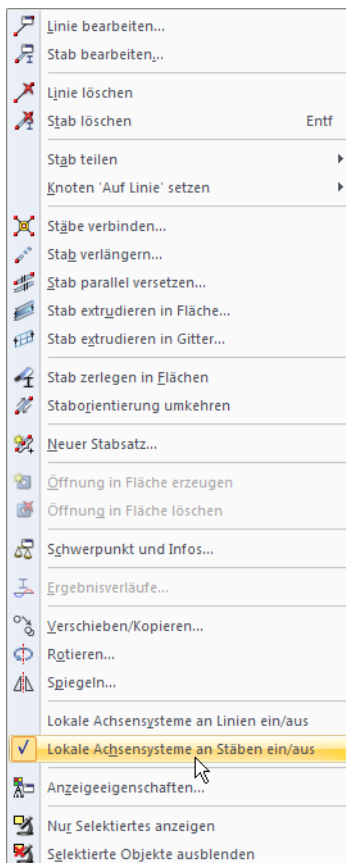
In dieses Eingabefeld bzw. diese Spalte kann die Konstante einer Drehfeder eingetragen werden, die die Rotation des Stabes um seine Längsachse behindert.

Ausfall der Bettung

Sollte die Bettung bei Zug- oder Druckspannungen nicht wirksam sein, ist dem Bettungstyp die nichtlineare Eigenschaft *Ausfall* zuzuweisen.


Bitte beachten Sie, dass sich das Ausfallkriterium *Falls Kontaktspannung negativ* bzw. *positiv* nur auf die lokale Stabachse z bezieht. Die Nichtlinearität gilt **nicht** für die Wegfedern in Richtung der lokalen Achsen x oder y ! Ein zweiachsig wirkender Ausfall von Bettungsstäben ist somit nicht möglich.


Der Ausfall bei negativer Kontaktspannung bedeutet: Die Bettung ist ohne Wirkung, falls sich ein Stabelement entgegen der lokalen z -Achse bewegt.



Stab-Kontextmenü



Werden Ausfallkriterien angesetzt, sollten Lage und Ausrichtung der lokalen z-Achsen kontrolliert werden (siehe Bild 4.169 ). Es kann erforderlich sein, Stäbe zu drehen.

Die Stabteilung elastisch gebetteter Stäbe kann im Register *Globale Berechnungsparameter* des Dialogs *Berechnungsparameter* angepasst werden (siehe Kapitel 7.3 ).


4.20

Stabnichtlinearitäten

Allgemeine Beschreibung

Mit Stabnichtlinearitäten lassen sich nichtlineare Beziehungen zwischen Kraft (oder Moment) und Dehnung in den Stäben abbilden.

Bereits bei der Definition des Stabtyps können eine Reihe von nichtlinearen Eigenschaften festgelegt werden: Ein Zugstab beispielsweise ist ein Fachwerkstab, bei dem die Dehnung linear mit der Zugkraft anwächst, aber dessen Dehnung auf Druck zunehmen kann, ohne dass dafür eine nachweisbare Kraft erforderlich wäre.

Stabnichtlinearitäten können prinzipiell jedem Stabtyp zugewiesen werden. Dabei ist natürlich auf eine sinnvolle Kombination zu achten. Ein Druckstab mit dem Kriterium „Ausfall bei Druck“ würde bei der Berechnung Probleme bereiten. Stabnichtlinearitäten sind deshalb für die Stabtypen Zug-, Druck-, Knick- und Seilstab sowie für Stäbe mit Querschnitten des Typs *Dummy Rigid*  nicht zulässig.

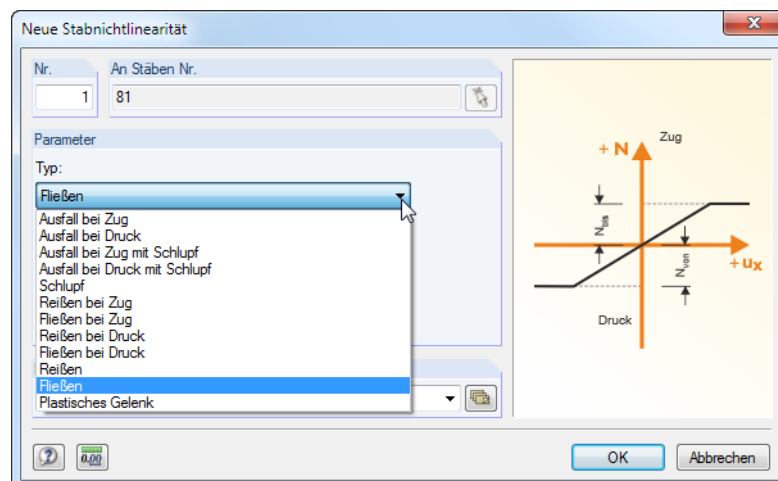
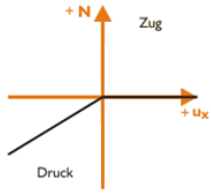
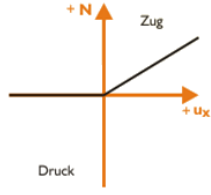
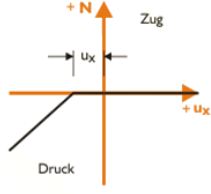
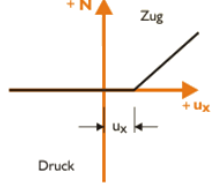
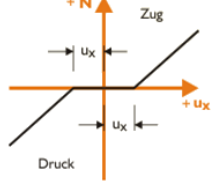
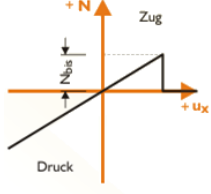
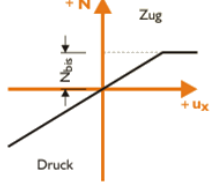


Bild 4.184 Dialog Neue Stabnichtlinearität

1.20 Stabnichtlinearitäten									
Nichtlin. Nr.	A An Stäben Nr.	B Typ der Nichtlinearität	Nichtlineare Parameter						
			C N _{pl} [kN]	D V _{y,pl} [kN]	E V _{z,pl} [kN]	F M _{T,pl} [kNm]	G M _{y,pl} [kNm]	H M _{z,pl} [kNm]	I Kommentar
1	10	Fließen	300.00	300.00					
2	5	Ausfall bei Zug							
3	2,3	Ausfall bei Zug mit Schlupf	6.00						
4	4	Plastisches Gelenk	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	150.00	9999.00	
5									
6									
7									

Bild 4.185 Tabelle 1.20 Stabnichtlinearitäten

Nichtlinearität	Diagramm	Beschreibung
Ausfall bei Zug		Der Stab kann keine Zugkraft aufnehmen.
Ausfall bei Druck		Der Stab kann keine Druckkraft aufnehmen.
Ausfall bei Zug mit Schlupf		Der Stab kann keine Zugkraft aufnehmen. Eine Druckkraft wird erst dann aufgenommen, wenn der Schlupf u_x überwunden ist.
Ausfall bei Druck mit Schlupf		Der Stab kann keine Druckkraft aufnehmen. Eine Zugkraft wird erst dann aufgenommen, wenn der Schlupf u_x überwunden ist.
Schlupf		Der Stab kann erst nach einer Dehnung oder Stauchung um den Betrag u_x eine Normalkraft aufnehmen. Achtung: Eine Linienverdichtung an einem Stab mit <i>Schlupf</i> bewirkt, dass der Stab intern in kleine Stäbe geteilt wird. An jedem dieser Teilstäbe wird das Schlupf-Kriterium angesetzt.
Reißen bei Zug		Der Stab nimmt Druckkräfte unbeschränkt auf, fällt jedoch bei einer Zugkraft größer N_{bis} aus.
Fließen bei Zug		Der Stab nimmt Druckkräfte unbeschränkt auf, aber nur eine maximale Zugkraft N_{bis} . Vergrößert sich die Dehnung, bleibt die Zugkraft im Stab gleich.



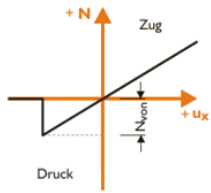
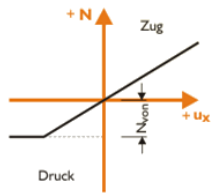
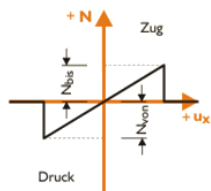
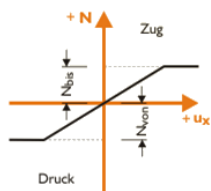
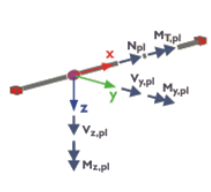
Reißen bei Druck		Der Stab nimmt Zugkräfte unbeschränkt auf, fällt jedoch bei einer Druckkraft größer N_{von} aus.
Fließen bei Druck		Der Stab nimmt Zugkräfte unbeschränkt auf, aber nur eine maximale Druckkraft N_{von} . Vergrößert sich die Dehnung, bleibt die Druckkraft im Stab gleich.
Reißen		Der Stab fällt beim Erreichen der Druckkraft N_{von} oder beim Erreichen der Zugkraft N_{bis} aus.
Fließen		Der Stab beginnt beim Erreichen der Druckkraft N_{von} oder der Zugkraft N_{bis} zu fließen: Vergrößert sich die Dehnung, kann die Kraft nicht gesteigert werden.
Plastisches Gelenk		Wird an einer Stelle des Stabes eine plastische Schnittgröße erreicht, so bildet sich dort ein plastisches Gelenk für diese Schnittgröße aus. Die Schnittgrößen sind als Beträge positiv einzugeben. Für Schnittgrößen-Parameter, die zu keinen Plastizierungen führen, sind große Werte einzutragen.

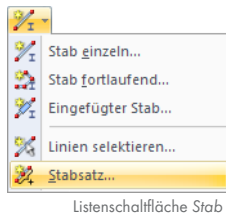
Tabelle 4.9 Stabnichtlinearitäten

4.21

Stabsätze

Allgemeine Beschreibung

Stabsätze sind als zusammengefasste Stäbe zu verstehen. Damit lassen sich mehrere Stäbe wie ein einziger Stab behandeln, wie dies an manchen Stellen im Tragwerk wünschenswert sein kann (z. B. für Biegedrillknicknachweis, Bemessung Durchlaufträger, Lastaufbringung).



Listenschalfläche Stab

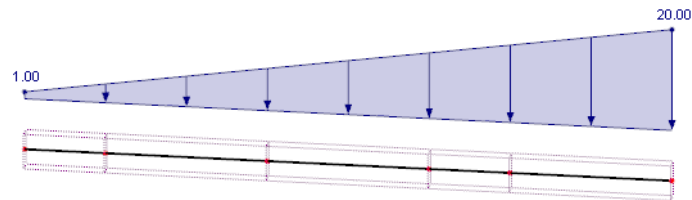


Bild 4.186 Stabsatz mit Trapezlast

Das Bild oben zeigt eine Trapezlast, die auf die ganze Länge eines Stabsatzes wirkt.

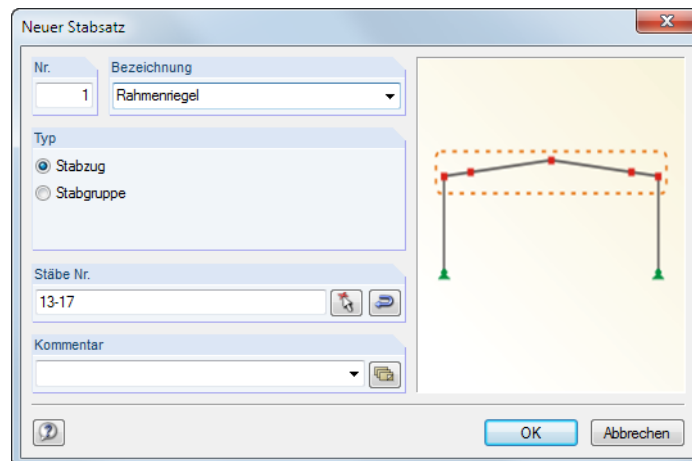


Bild 4.187 Dialog Neuer Stabsatz

Stabsatz Nr.	A Stabsatz Bezeichnung	B Typ	C Stab Nr.	D Stabsatzlänge [m]	E Gewicht [kg]	F Kommentar
1	Rahmenriegel A-A	Stabzug	13-17	8.000	530.7	
2	Rahmenriegel B-B	Stabzug	18-22	8.000	530.7	
3	Stütze A-A	Stabgruppe	2.4.23	7.384	931.3	
4	Giebelrahmen	Stabgruppe	24-31	15.384	1462.0	Rahmen für FE-Biegedrillknicknachweis
5						
6						
7						
8						

Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze | Durchdringungen

Typ des Stabsatzes (Stab'zug / Stab'gruppe / F7 zum Wählen)

Bild 4.188 Tabelle 1.21 Stabsätze

Stabsatz-Bezeichnung

Für den Stabsatz kann ein beliebiger Name eingetragen oder aus der Liste gewählt werden. Manuell eingegebene Bezeichnungen werden in der Liste gespeichert und stehen ab sofort in der Auswahl bereit.

Typ

Es gibt es zwei unterschiedliche Typen von Stabsätzen – Stabzüge und Stabgruppen.

Ein **Stabzug** wird durch zusammenhängende Stäbe gebildet, die nicht verzweigen. Man könnte sie mit einem Stift zeichnen, ohne den Stift absetzen zu müssen.



Bild 4.189 Stabzug

Eine **Stabgruppe** besteht aus zusammenhängenden Stäben, die verzweigen können.

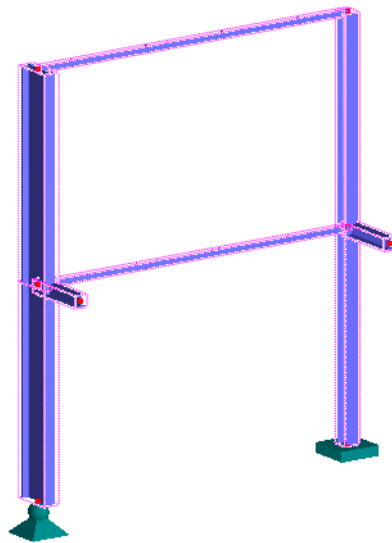




Bild 4.190 Stabgruppe

In einigen Zusatzmodulen können auch Stabsätze bemessen werden. Meist ist nur der Nachweis für Stabzüge möglich, da Parameter wie z. B. Knicklängen eindeutig definierbar sein müssen.

Stäbe Nr.

In das Eingabefeld bzw. die Spalte sind die Nummern der Stäbe einzutragen, die den Stabsatz bilden. Mit  können sie auch im Arbeitsfenster grafisch ausgewählt werden. Die Schaltfläche  verändert die Anordnung der Stabnummern und damit die Richtung des Stabsatzes.

Ein Stabsatz lässt sich am schnellsten wie folgt definieren: Selektieren Sie im Arbeitsfenster die relevanten Stäbe durch Aufziehen eines Fensters über diesen Stäben oder per Mehrfachselektion mit gedrückter [Strg]-Taste. Klicken Sie dann einen der selektierten Stäbe mit der rechten Maustaste an. Im Stab-Kontextmenü wählen Sie dann **Stab** → **Neuer Stabsatz** bzw. **Neuer Stabsatz**. Es öffnet sich der Dialog *Neuer Stabsatz* mit den voreingestellten Nummern der selektierten Stäbe.



Stabsatzlänge

Die Gesamtlänge des Stabsatzes ermittelt sich aus der Summe der einzelnen Stablängen.

Gewicht

Die Masse des Stabsatzes ermittelt sich aus der Summe der einzelnen Stabmassen.

4.22

Durchdringungen

Allgemeine Beschreibung

Wenn sich Flächen schneiden und Schnittgrößen an der gemeinsamen Linie übertragen werden, muss eine Durchdringung erzeugt werden. Anderenfalls lägen zwei unabhängige Teilsysteme ohne jegliche Verbindung vor. Folgendes Beispiel veranschaulicht diesen Effekt.

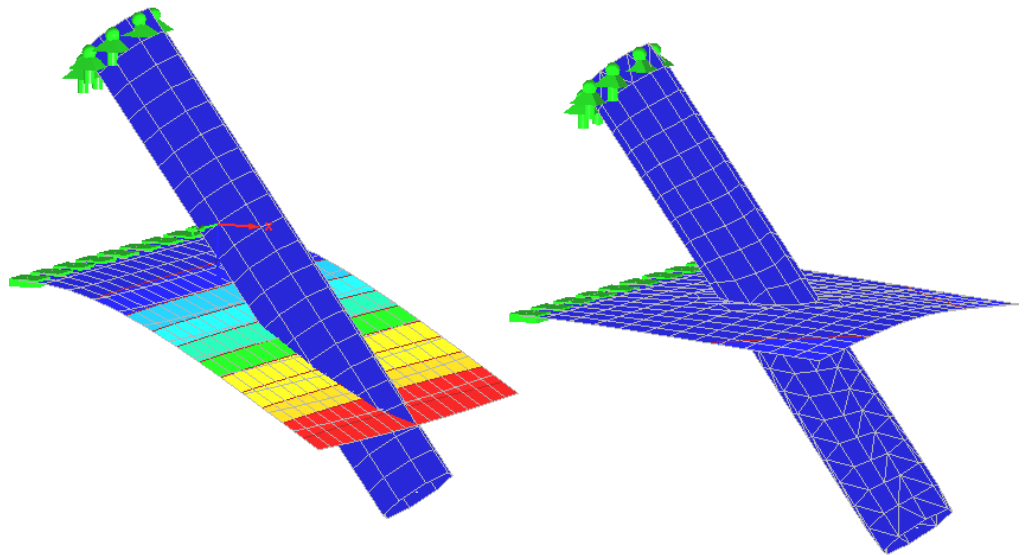


Bild 4.191 Verformungen aus Eigengewicht ohne Durchdringung (links) und mit Durchdringung (rechts)



Bei jeder Änderung des Modells muss RFEM die Durchdringungen neu berechnen. Dies ist bei komplexen Modellen mit einem hohen Zeitaufwand für die Grafikanzeige verbunden. Die Eingabe wird entsprechend verlangsamt.

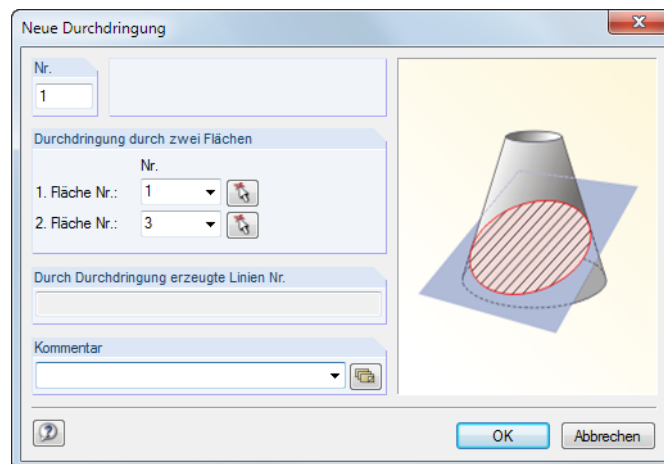


Bild 4.192 Dialog Neue Durchdringung


Durchdr. Nr.	A		B		C		D	
	1. Fläche Nr.	2. Fläche Nr.	Durch Durchdringung erzeugte Linien Nr.		Kommentar			
1	1	3	47					
2	34	35	80		Rohranschluss			
3								
4								
5								
6								
7								

Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze | Durchdringungen | FE-Netzverdichtungen

Liste der durch die Durchdringung erzeugten Linien

Bild 4.193 Tabelle 1.22 Durchdringungen

Durchdringung von zwei Flächen

In den Eingabefeldern bzw. Tabellenspalten sind die Nummern der beiden Flächen anzugeben, die sich durchdringen. Im Dialog *Neue Durchdringung* können die Flächen in der Liste oder mit  grafisch ausgewählt werden.

Durchdringungen (u. U. auch von mehr als zwei Flächen) lassen sich schnell grafisch erzeugen: Selektieren Sie die Flächen durch Aufziehen eines Fensters oder per Mehrfachselektion mit gedrückter [Strg]-Taste. Klicken Sie dann eine der selektierten Flächen mit der rechten Maustaste an. Im folgenden Kontextmenü wählen Sie **Fläche** → **Durchdringung erzeugen**. Die Durchdringung wird dann automatisch gebildet.

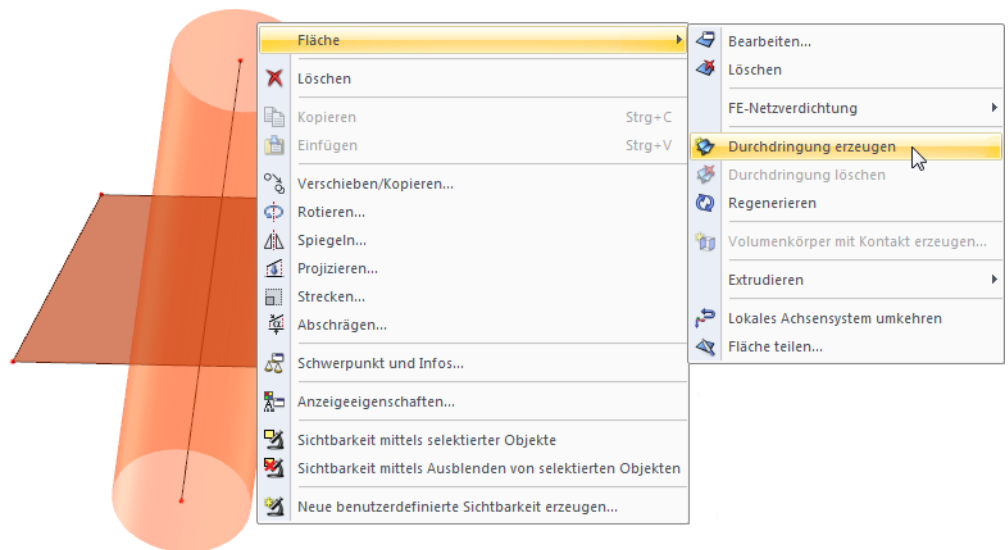


Bild 4.194 Kontextmenü **Fläche** → **Durchdringung erzeugen**

Durch Durchdringung erzeugte Linien Nr.

Bei der Generierung der Durchdringung entsteht eine Linie, die beiden Flächen gemeinsam ist („Verschneidungslinie“). Die Nummer dieser neuen Linie wird im Dialogfeld und der Tabellenspalte angezeigt.

Durchdringungslinien sind in Tabelle 1.2 *Linien* als Linientyp *Durchdringung* gekennzeichnet. Der Kommentar weist sie als *Generiert* aus. Für Durchdringungslinien ist auch der Dialog *Linie bearbeiten* nutzbar, sodass Stab- oder Lagereigenschaften zugewiesen werden können.

Aktive Flächenkomponenten

Eine Durchdringungslinie unterteilt eine Fläche in Komponenten, die einzeln aktiv oder inaktiv gesetzt werden können. Inaktive Teilflächen werden im Arbeitsfenster nicht dargestellt. Hierfür werden weder FE-Elemente erzeugt noch wird eine Belastung angesetzt. Für den Rechenkern sind nur aktive Flächenkomponenten existent.

Komponenten von Durchdringungen lassen sich wie folgt aktivieren und deaktivieren:

■ Dialog *Fläche bearbeiten*



Doppelklicken Sie im *Daten-Navigator* auf die Ursprungsfläche. Wenn Sie die Fläche im Arbeitsfenster doppelklicken, so benutzen Sie im Register *Bauteil* (siehe Bild 4.72) die Schaltfläche [Gehe zu], um den Bearbeitungsdialog der Ursprungsfläche aufzurufen.

Das Register *Integriert/Komponenten* listet im Abschnitt *Aktive Flächenkomponenten* alle Teilflächen auf, die beim Generieren der Durchdringung angelegt wurden.

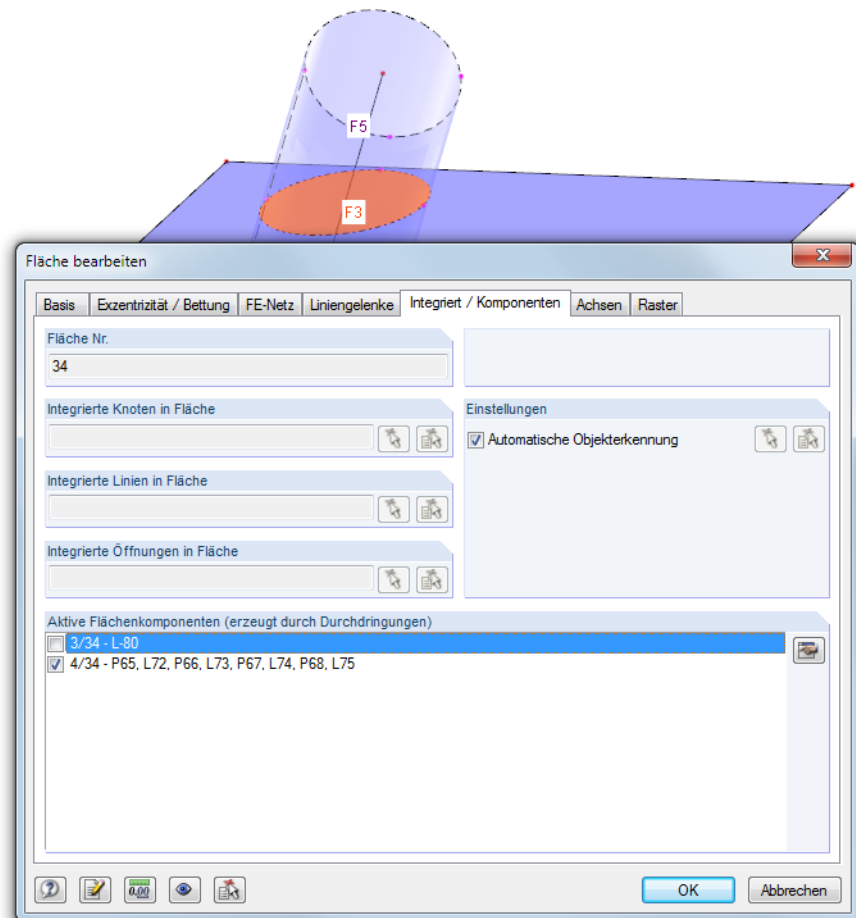


Bild 4.195 Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Integriert*

Die in der Liste markierte Flächenkomponente wird im Arbeitsfenster farbig hervorgehoben. Um eine Komponente inaktiv zu setzen, ist das Häkchen vom entsprechenden Kontrollfeld zu entfernen. Die inaktive Teilfläche wird dann ohne Füllfarbe dargestellt.

■ Kontextmenü der Flächenkomponente im Daten-Navigator / Kontextmenü

Klicken Sie den *Flächen*-Navigatoreintrag oder die Komponente im Arbeitsfenster direkt mit der rechten Maustaste an. Im Kontextmenü lässt sich die Teilfläche dann aktiv oder inaktiv setzen.

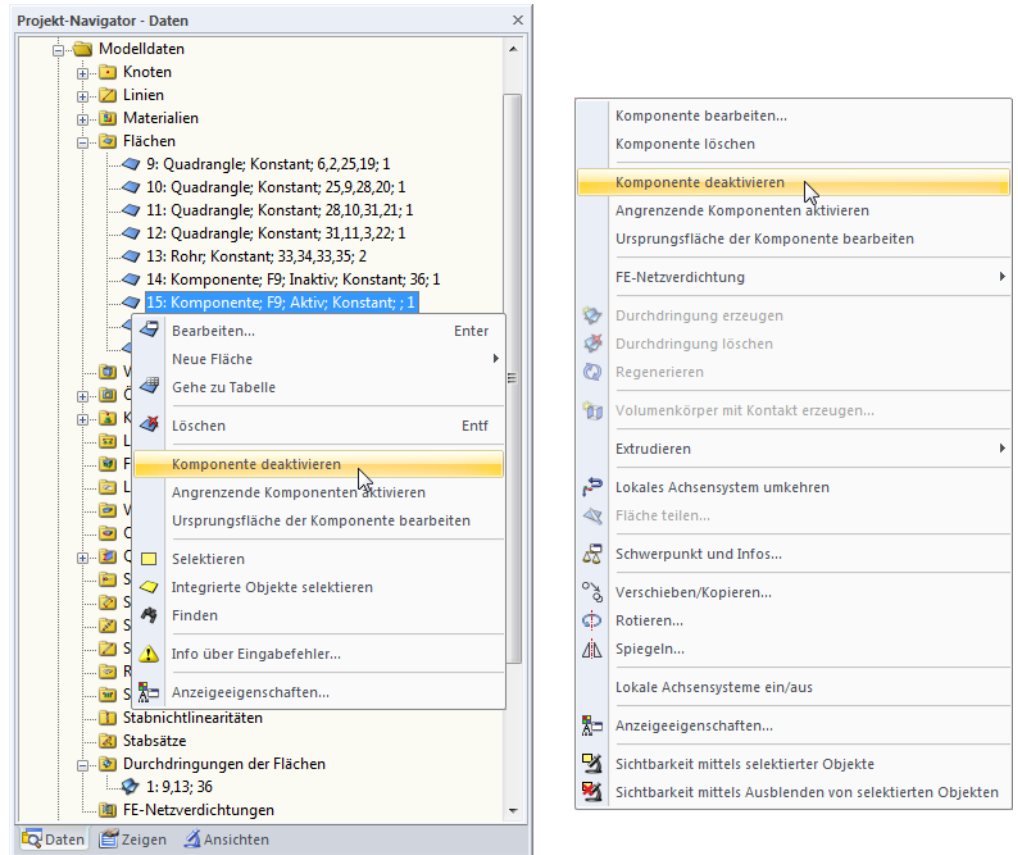


Bild 4.196 Kontextmenü einer Flächenkomponente in Navigator und Arbeitsfenster

Das Kontextmenü enthält weitere nützliche Funktionen zum Bearbeiten der Komponente oder der Ursprungsfläche.



Die Geometrieinformationen der Ursprungsfläche bleiben programmintern erhalten, da sie für Neuberechnungen der Durchdringung nach Änderungen benötigt werden. Inaktive Flächenkomponenten können deshalb nicht gelöscht, sondern nur ausgeblendet werden.

4.23

FE-Netzverdichtungen

Allgemeine Beschreibung

Sind keine FE-Netzverdichtungen definiert, wird das FE-Netz mit der global anzustrebenden Maschenweite generiert. Die allgemeinen Parameter des FE-Netzes sind im [Kapitel 7.2.2](#) beschrieben.

Das Konzept des FE-Netzgenerierers gestattet es nicht, das Netz nachträglich anzupassen. Über FE-Netzverdichtungen ist es jedoch möglich, die Generierung für ausgewählte Bereiche zu beeinflussen. Damit wird eine benutzerdefinierte Diskretisierung erreicht, wie sie z. B. in Eckbereichen, bei Anschlüssen von Stäben an Flächen oder zur dynamischen Analyse von Stäben erforderlich sein kann.



Die Funktion *Adaptive Netzverdichtung* (siehe [Kapitel 7.2.2.3](#)) ermöglicht es, automatisch Verdichtungsbereiche im FE-Netz bilden zu lassen. FE-Netzverdichtungen müssen dann nicht manuell definiert werden.

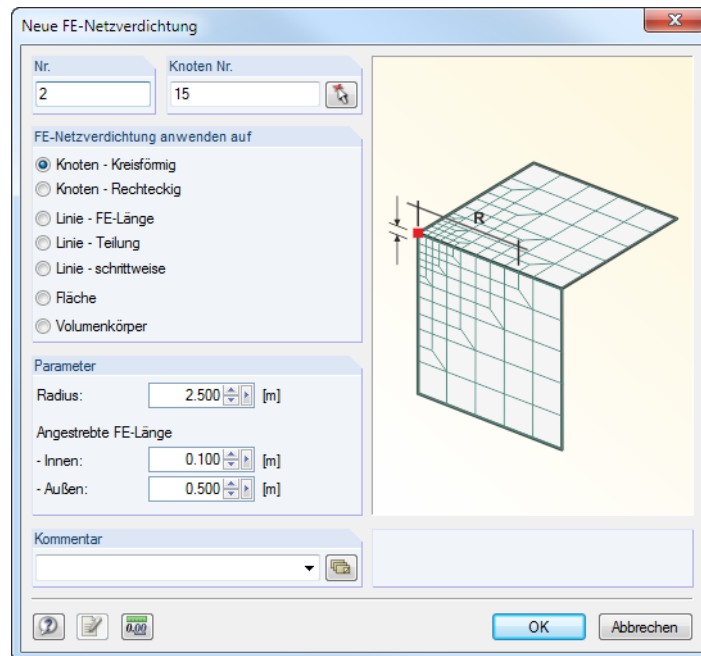


Bild 4.197 Dialog Neue FE-Netzverdichtung

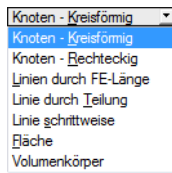
1.23 FE-Netzverdichtungen

Verdicht. Nr.	A FE-Netzverdichtung anwenden auf	B Knoten Nr.	C Nummer Teilungen	D Umkreis Radius [m]	E Angestrebte FE-Länge [m]	F Innen Außen	G Kommentar
1	Knoten - Kreisförmig	3,4,15		2.500	0.100	0.500	
2	Fläche	2		0.200			
3	Linien durch FE-Länge	10,11		0.250			
4	Volumenkörper	5		0.200			
5							
6							
7							

Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze | Durchdringungen | FE-Netzverdichtungen

Typ der FE-Netzverdichtung (F7 zum Wählen).

Bild 4.198 Tabelle 1.23 FE-Netzverdichtungen



FE-Netzverdichtung anwenden auf

Dieser Dialogabschnitt bzw. diese Tabellenspalte steuert, welche Objekte von der FE-Netzverdichtung erfasst werden und wie die Verdichtung vorzunehmen ist. Es stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl.

Kreisförmige Verdichtung um Knoten

Es ist ein radialer Verdichtungsbereich um einen Knoten zu definieren, der sich in alle räumlichen Richtungen erstreckt.

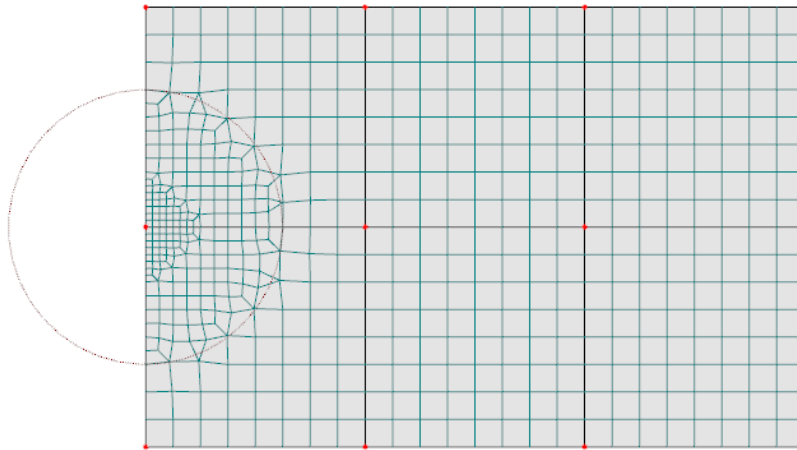


Bild 4.199 Kreisförmige Verdichtung um einen Knoten

Rechteckige Verdichtung um Knoten

Alternativ kann ein rechteckiger Verdichtungsbereich vorgegeben werden.

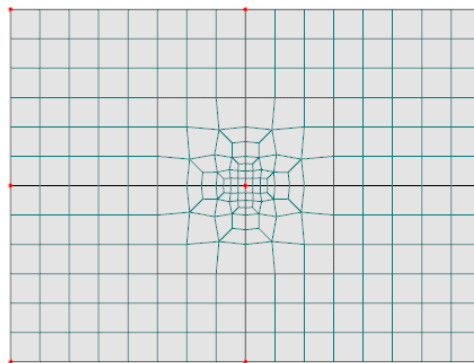


Bild 4.200 Rechteckige Verdichtung um einen Knoten

Verdichtung an Linie durch FE-Länge

Es sind gleichmäßige Abstände der FE-Knoten auf einer Linie festzulegen.

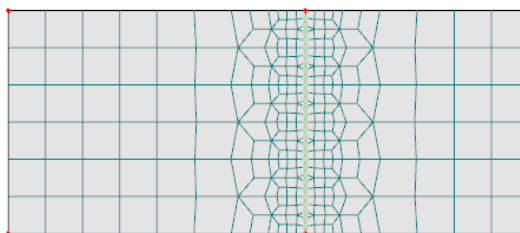


Bild 4.201 Verdichtung an einer Linie durch FE-Länge

Verdichtung an Linie durch Teilung

Das FE-Netz einer Linie kann in regelmäßigen Intervallen verdichtet werden. Diese Art der Verdichtung eignet sich insbesondere für Linien mit Stabeigenschaften.

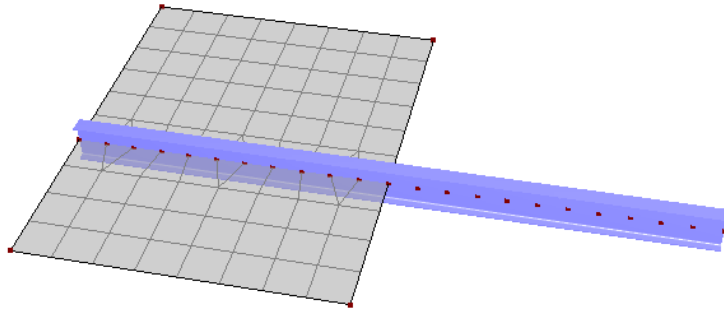


Bild 4.202 Verdichtung an einer Linie durch Teilung

Verdichtung an Linie schrittweise

Die an die Linie angrenzenden finiten Elemente können durch n Zeilen unterteilt werden. Damit lassen sich z. B. die Randbereiche von Flächen mit einer Verdichtung überziehen. Dieser Typ der Verdichtung ist mit der Generierungsoption *Netzverdichtung entlang von Linien* vergleichbar (siehe Kapitel 7.2.2 [\[4\]](#)), die für 2D-Platten besteht.

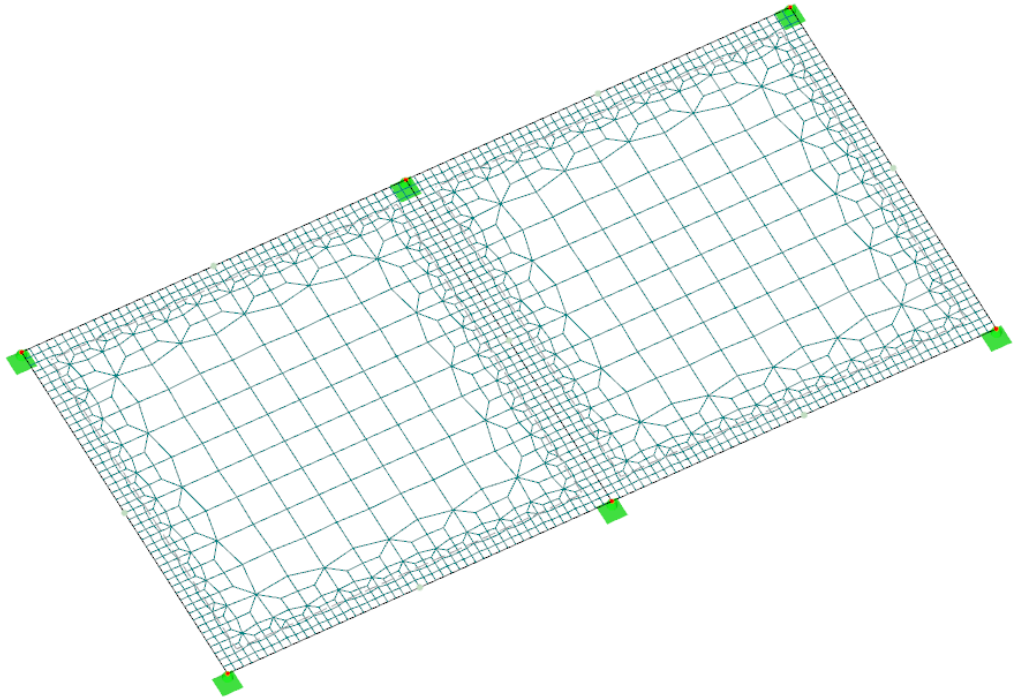


Bild 4.203 Schrittweise Verdichtung an Linien durch zwei Zeilen

Verdichtung an Fläche

Es ist eine Seitenlänge der finiten Elemente vorzugeben, die als Maschenweite für die ganze Fläche angepeilt wird.

Dieser Typ der Verdichtung lässt sich umgekehrt auch für solche Flächen benutzen, die für die Analyse relativ unbedeutend sind: Als „Verdichtung“ wird eine größere Maschenweite als die global angestrebte FE-Netzlänge vorgegeben.

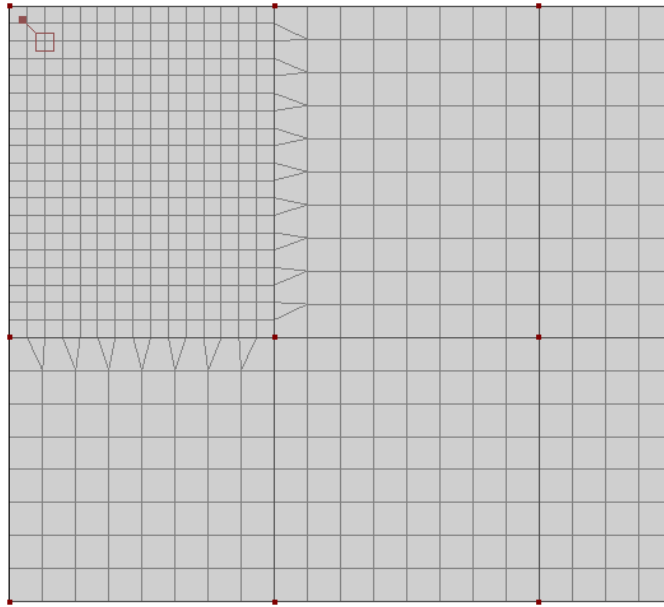


Bild 4.204 Verdichtung an einer Fläche

Verdichtung an Volumenkörper

FE-Netzverdichtungen können auch für Volumenkörper definiert werden, um die Generierung der 3D-Elemente zu beeinflussen.

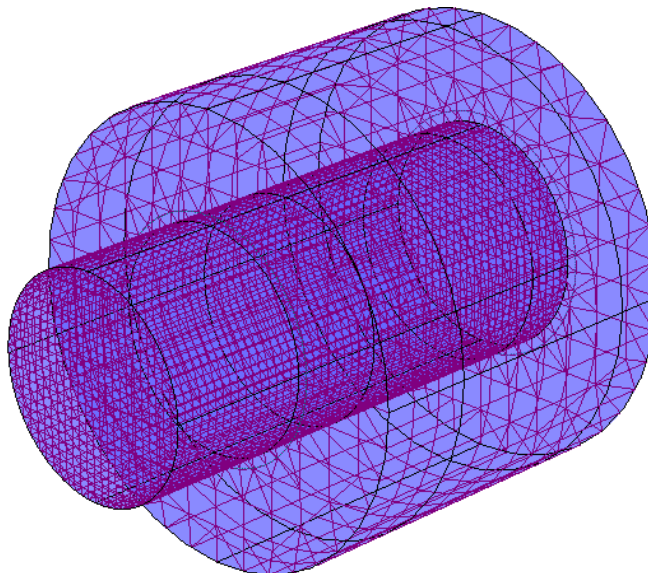



Bild 4.205 Verdichtung an einem Volumenkörper

Knoten / Linien / Flächen / Volumenkörper Nr.

Im Eingabefeld bzw. der Tabellenspalte sind die Nummern der Objekte anzugeben, auf die die Verdichtung des FE-Netzes angewandt werden soll. Im Dialog *Neue FE-Netzverdichtung* lassen sich die Objekte mit  grafisch bestimmen.

Parameter

Radius

Bei einer kreisförmigen Verdichtung um einen Knoten ist der Radius des Verdichtungsbereichs anzugeben. Zusätzlich muss die *Angestrebte FE-Länge* im Zentrum (*Innen*) und an der Peripherie (*Außen*) des Kreises angegeben werden. Wenn die FE-Länge am Rande des Verdichtungsbereichs mit der globalen Maschenweite übereinstimmt, wird das Netz von außen nach innen graduell verfeinert.

Bei einem größeren Unterschied zwischen innerer und äußerer FE-Länge sollte ein entsprechend großzügiger Radius vorgegeben werden. Damit lassen sich spitzwinklige Dreieckselemente im Verdichtungsbereich vermeiden.

Seitenlänge

Bei einer rechteckigen Verdichtung um einen Knoten ist der Bereich der Verdichtung durch seine Seitenlänge festzulegen. Zusätzlich muss die *Angestrebte FE-Länge* im Zentrum (*Innen*) der Verdichtung angegeben werden.

Anzahl Teilungsknoten

Bei einer Linienverdichtung durch Teilung ist die Anzahl der Teilungsknoten festzulegen. Es wird dann diese Anzahl an FE-Knoten in gleichmäßigen Abständen auf der Linie generiert.

Anzahl Zeilen

Bei einer schrittweisen Linienverdichtung ist die Anzahl der Zeilen n festzulegen. Die unmittelbar an die Linie grenzenden FE-Elemente der Fläche werden dann in die entsprechende Zeilenanzahl geteilt. Dabei erfolgt eine Verdichtung in Richtung der Linie.

FE-Länge Linie / Fläche / Volumenkörper

Wurde die Verdichtung an einer Linie, einer Fläche oder einem Volumen gewählt, so muss für das jeweilige Objekt die anzustrebende Maschenweite festgelegt werden.

4.24

Knotenfreigaben

Allgemeine Beschreibung

Eine Knotenfreigabe ermöglicht es, das Modell an einer Stelle zu entkoppeln. Damit kann beispielsweise modelliert werden, dass ein Träger nur lose auf einem anderen liegt. Für die Freigabe des Knotens ist ein Gelenk mit den geeigneten Eigenschaften – auch nichtlinearer Art – zu definieren.



Bei Knotenfreigaben erzeugt RFEM doppelte Knoten, die zu verschiedenen Teilen des Modells gehören. Zwischen diesen Knoten wird ein unsichtbarer Stab angelegt. Die Schnittgrößen sind wie für einen Stab mit Anfang im Originalknoten und Ende im entkoppelten Knoten geregelt.

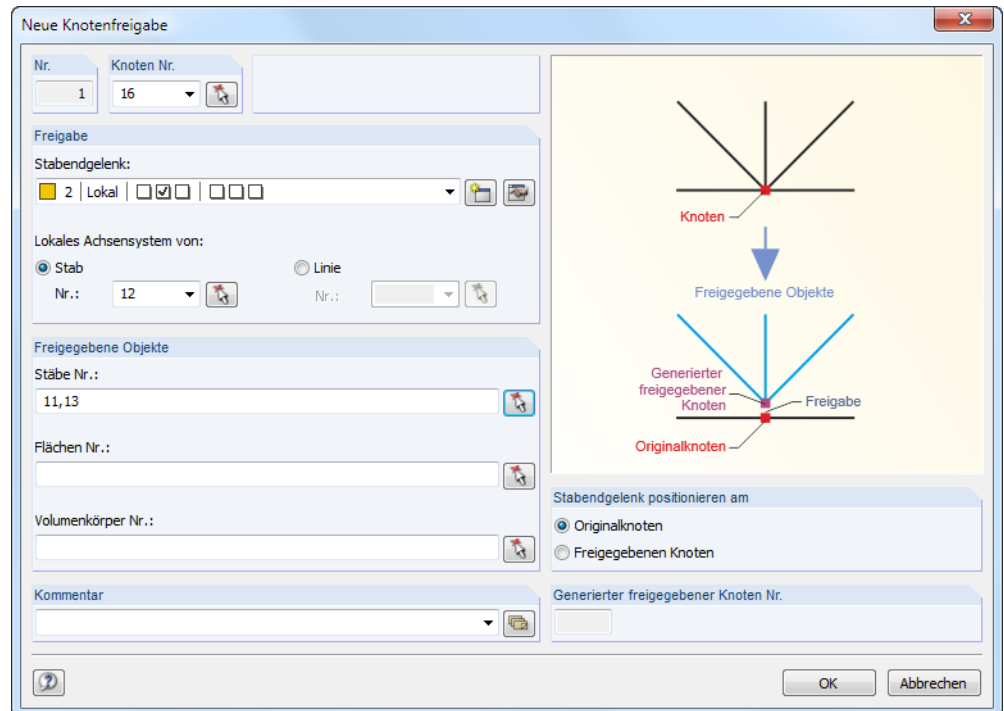


Bild 4.206 Dialog Neue Knotenfreigabe



Freigabe Nr.	Knoten Nr.	Stabengelenk Nr.	Lokales Achsensystem von	Nr.	Stäbe Nr.	Freigegebene Objekte Flächen Nr.	Volumenkörper Nr.	Freigabe Lage	Freigegeben Knoten Nr.	Kommentar
1	1	2	Stab	1	2,4			Ursprungsknoten	5	
2	7	4	Stab	4	5			Ursprungsknoten	6	
3										
4										
5										
6										

Bild 4.207 Tabelle 1.24 Knotenfreigaben

Knoten

Die Nummer des relevanten Knotens kann eingetragen, in der Liste ausgewählt oder mit grafisch im Arbeitsfenster bestimmt werden.


Stabendgelenk

Die Gelenkeigenschaften können anhand der Stabendgelenke zugewiesen werden, die in der Liste verfügbar sind. Die Schaltfläche  bzw.  öffnet den Dialog *Neues Stabendgelenk* zur Eingabe eines weiteren Gelenktyps. Dieser Dialog ist im [Kapitel 4.14](#) beschrieben.

Lokales Achsensystem

Beim Bezug auf ein lokales Achsensystem ist anzugeben, welcher *Stab* oder welche *Linie* als Referenz dient. Bei global bezogenen Gelenken sind die Eingabefelder gesperrt.

Freigegebene Objekte

Die freigegebenen *Stäbe*, *Flächen* und *Volumenkörper* können direkt eingetragen oder mit  grafisch im Arbeitsfenster ausgewählt werden.

Freigabelage

Wie bereits erwähnt, erzeugt RFEM eine Kopie des Knotens. Es kann angegeben werden, ob das Stabendgelenk am *Originalknoten* oder am *Freigegeben Knoten* positioniert werden soll. Auf die Ergebnisse sollte diese Festlegung keine Auswirkung haben.

Beispiel: Trägerkreuzung mit abhebenden Kräften

Ein Kragträger liegt lose auf einem Unterzug. Bei abhebenden Lasten wird der Knoten freigegeben, wenn ein Querkraftgelenk für die Richtung u_z mit nichtlinearer Wirkung gegeben ist.

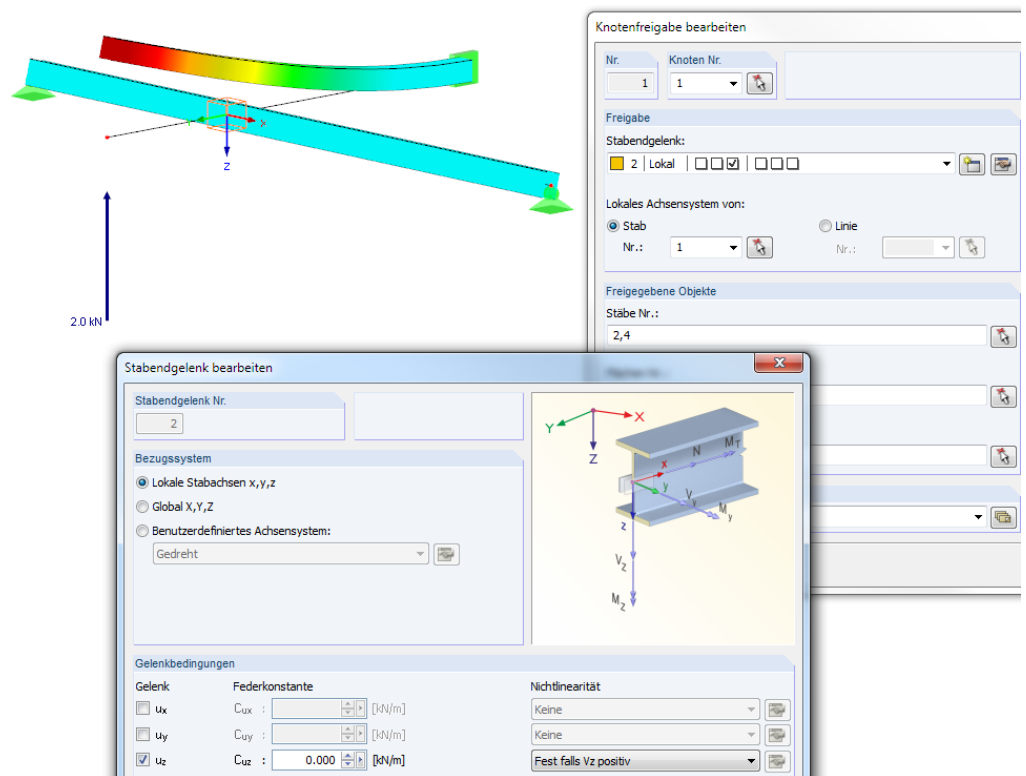


Bild 4.208 Verformungsfigur mit Gelenkdefinition

4.25

Linienfreigabe-Typen

Allgemeine Beschreibung

Über eine Linienfreigabe ist es möglich, das Modell entlang einer Linie zu entkoppeln – beispielsweise wenn Flächen lose verbunden sind oder nur Druckkräfte übertragen werden können.



Zunächst ist in einem *Linienfreigabe-Typ* ein Gelenk mit spezifischen Eigenschaften zu definieren. Diese können dann Stäben, Flächen und Volumenkörpern zugewiesen werden, die eine Linie gemeinsam verwenden (siehe Kapitel 4.26 [↗](#)).

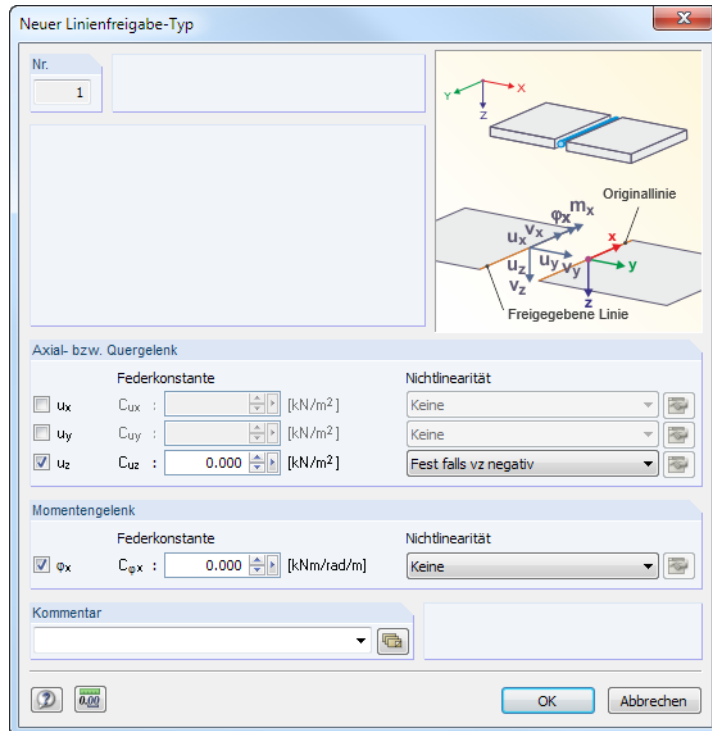


Bild 4.209 Dialog Neuer Linienfreigabe-Typ

1.25 Linienfreigabe-Typen

Freigabe-Typ Nr.	A Axial-/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m ²]			D Momentengelenk bzw. Feder phi_x [kNm/rad/m]	E Kommentar
	u_x	u_y	u_z		
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fest falls vz negativ	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Diagramm...				
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Stabnichtlinearitäten | Stabsätze | Durchdringungen | FE-Netzverdichtungen | Knotenfreigaben | Linienfreigabe-Typen | Linienfreigaben

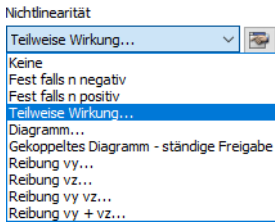
Gelenk ('J'a / 'N' ein / Federkonstante / F7 zum Wählen)

Bild 4.210 Tabelle 1.25 Linienfreigabe-Typen


Axial-/Quergelenk bzw. Feder u_x / u_y / u_z

Ein Gelenk längs oder quer zur Linienrichtung wird definiert, indem im Dialog oder in der Tabelle die jeweilige Verschiebung durch Anhängen freigegeben wird. Über die Kennwerte einer Feder lassen sich auch nachgiebige Freigaben modellieren.

Die Richtungen der Verschiebungen x, y und z beziehen sich auf das Achsensystem der Linie. Die



Linienachsen können über das Linien-Kontextmenü oder den Zeigen-Navigator eingeblendet werden (siehe Bild 4.103 [↗](#)).

Für die Gelenke sind auch nichtlineare Eigenschaften möglich. Die *Nichtlinearität* kann in einer Liste ausgewählt und über die Schaltfläche  in einem Dialog definiert werden. Die Eingabe nichtlinearer Gelenkeigenschaften ist im [Kapitel 4.14](#) [↗](#) beschrieben. Die Option *Gekoppeltes Diagramm - ständige Freigabe* ermöglicht es, das Ausfallkriterium eines bestimmten Freiheitsgrades auch für die übrigen Richtungen anzusetzen: Wird die Übertragung einer Schnittgröße verhindert, sind auch alle anderen Freiheitsgrade gelöst. Ein Beispiel hierfür finden Sie in folgendem Fachbeitrag: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001446> [↗](#)

Momentengelenk bzw. Feder φ_x

Über ein Momentengelenk um die Linienlängsachse x kann die Verdrehung der Linie (Torsion) zwischen Objekten freigegeben werden.

Ein Beispiel zur Definition einer Linienfreigabe finden Sie in folgendem Beitrag:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001110> [↗](#)

4.26

Linienfreigaben

Allgemeine Beschreibung

Linienfreigaben ermöglichen es, das Modell an einer Stelle zu entkoppeln oder nur bestimmte Kräfte oder Momente entlang einer Linie zu übertragen.

Für die Linienfreigabe muss zunächst ein *Linienfreigabe-Typ* definiert werden (siehe [Kapitel 4.25](#) [↗](#)).

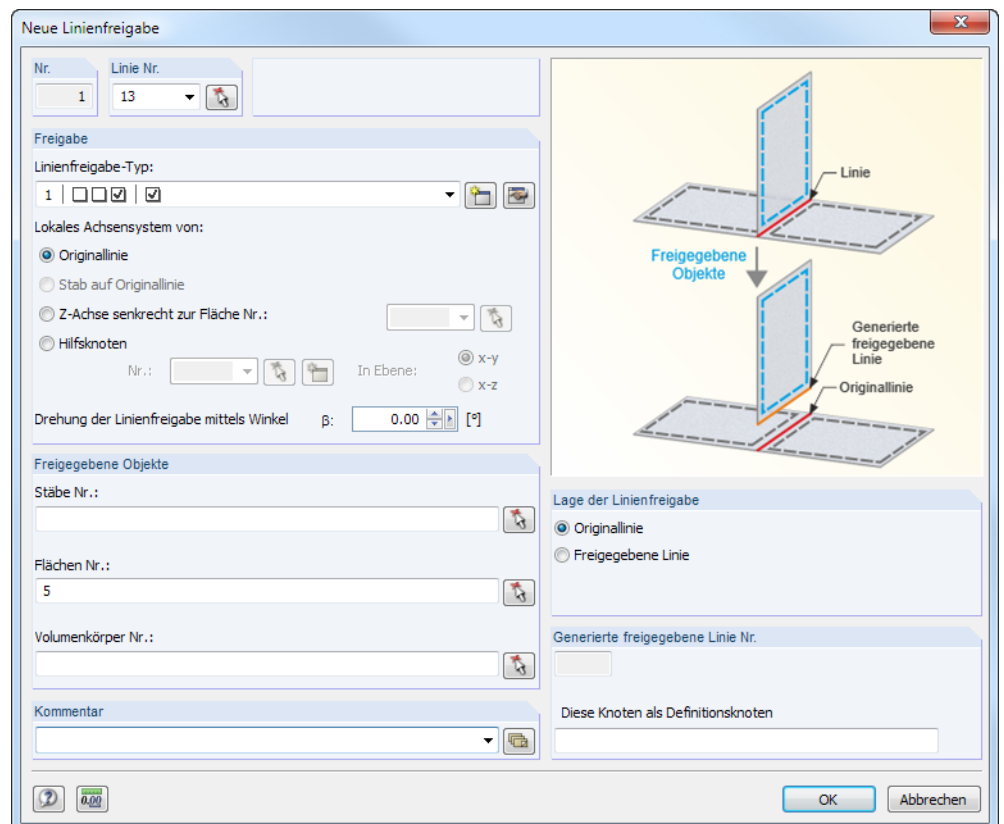


Bild 4.211 Dialog Neue Linienfreigabe

1.26 Linienfreigaben


Freigabe Nr.	A Linie Nr.	B Linienfreigabe-Typ Nr.	C Lokales Achsensystem Von	D Verdrehung Winkel β [°]	E	F	G Freigegebene Objekte Stäbe Nr. Flächen Nr. Volumenkörper Nr.	H	I Freigabe Lage	J Freigegeben Linie Nr.
1	13	1	Originallinie		0.00		5		Originallinie	343
2										
3										
4										
5										

Durchdringungen | FE-Netzverdichtungen | Knotenfreigaben | Linienfreigabe-Typen | Linienfreigaben | Flächenfreigabe-Typen | Flächenfreigaben


Flächenliste (z.B. '1,3,5-7')

Bild 4.212 Tabelle 1.26 Linienfreigaben

Linie

Die Nummer der relevanten Linie kann eingetragen, in der Liste ausgewählt oder mit  grafisch im Arbeitsfenster bestimmt werden.

Linienfreigabe-Typ

In dieser Tabellenspalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Linie ein Freigabetyp zuzuweisen, der in der Tabelle 1.25 definiert wurde (siehe Kapitel 4.25 [\[2\]](#)). Die Auswahl ist über die Schaltfläche  möglich. In der Liste kann auch ein *Neuer Linienfreigabe-Typ* erstellt werden. Hierzu erscheint der im Bild 4.203 [\[2\]](#) dargestellte Dialog.

Linienfreigabe-Typ Nr.

1

1

Neuer Linienfreigabe-Typ

Lokales Achsensystem Von

Originallinie

Originallinie
Stab auf Originallinie
Z-Achse senkrecht zur Fläche
Hilfsknoten


Lokales Achsensystem

Für die Linienfreigabe ist anzugeben, welches lokale Achsensystem als Referenz dient. In der Liste bzw. im Dialogabschnitt stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl. Bei dem Achsenbezug auf eine Fläche oder einen Hilfsknoten sind die entsprechenden Objekte anzugeben.

Drehung

Die Linienfreigabe kann bei Bedarf um einen *Winkel* β gedreht werden.

Freigegebene Objekte

Die freigegebenen *Stäbe*, *Flächen* und *Volumenkörper* können direkt eingetragen oder mit  grafisch im Arbeitsfenster ausgewählt werden.

Folgender Fachbeitrag stellt ein Beispiel für die Definition freigegebener Objekte vor:


<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001137> [\[2\]](#)

Freigabelage

Intern erzeugt RFEM eine Kopie der Linie an derselben Stelle, die die freigegebenen Verschiebungen zulässt. Es kann angegeben werden, ob das Gelenk an der *Originallinie* oder *Freigegebenen Linie* positioniert werden soll. Auf die Ergebnisse sollte diese Festlegung keine Auswirkung haben.

Freigegebene Linie

Es wird die Nummer der Linie angegeben, die RFEM für die Linienfreigabe erzeugt. In der Tabelle 1.2 *Linien* und im Navigator ist diese generierte Linie mit dem Linientyp *Kopie* gekennzeichnet; sie kann nicht bearbeitet werden.

 42: Polylinie; 16,47; L: 12 mm
44: Kopie; 5,31; L: 1000 mm



Im Modell wird die Linienfreigabe durch einen durchsichtigen Quader symbolisiert.

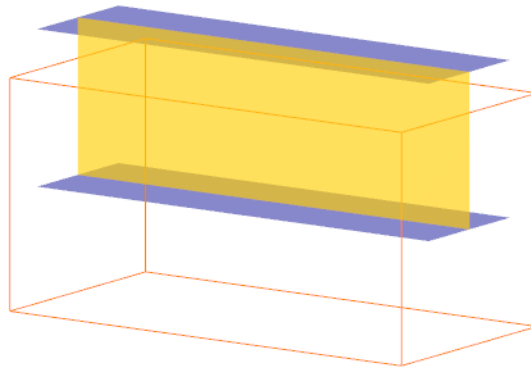


Bild 4.213 Linienfreigabe im Modell

4.27

Flächenfreigabe-Typen

Allgemeine Beschreibung

Über eine Flächenfreigabe ist es möglich, das Modell an einer Fläche zu entkoppeln – beispielsweise wenn Flächen verschieblich verbunden sind oder nur Druckkräfte übertragen. Damit lassen sich z. B. nichtlineare Kontakteigenschaften für Flächen definieren, ohne ein Kontaktvolumen zwischen den Flächen zu erzeugen.



Zunächst ist in einem *Flächenfreigabe-Typ* ein Gelenk mit spezifischen Eigenschaften zu definieren. Diese können dann Stäben, Flächen und Volumenkörpern zugewiesen werden, die eine Fläche gemeinsam verwenden (siehe Kapitel 4.28 [☞](#)).

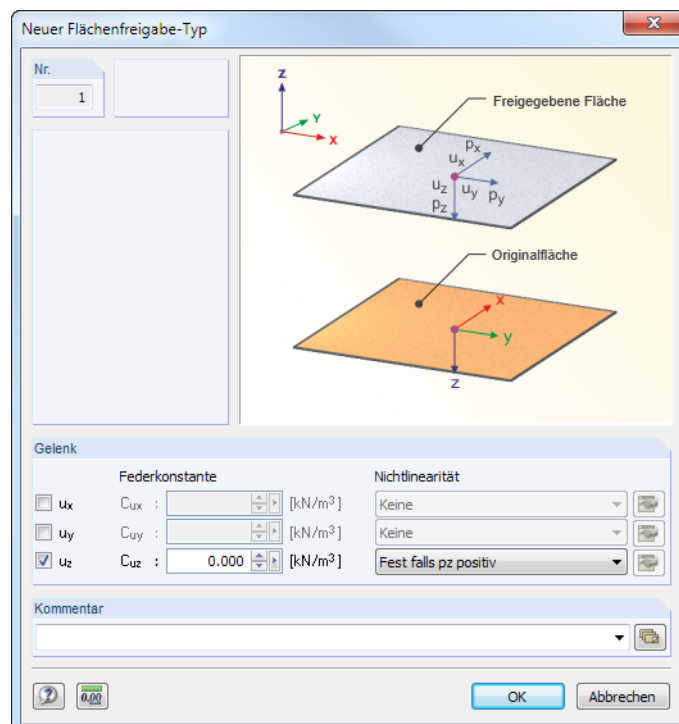


Bild 4.214 Dialog Neuer Flächenfreigabe-Typ

1.27 Flächenfreigabe-Typen

Freigabe-Typ Nr.	A	B	C	D
	u_x	Freigabe bzw. Feder $[kN/m^3]$ u_y	u_z	Kommentar
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fest falls pz positiv	
2	Diagramm...	Diagramm...	Fest falls pz positiv	
3				
4				
5				
6				

Linienfreigabe-Typen | Linienfreigaben | Flächenfreigabe-Typen | Flächenfreigaben | Verbindung von zwei Stäben | Anschlüsse

Gelenk ('J'a' / 'N'ein' / Federkonstante / F7 zum Wählen)

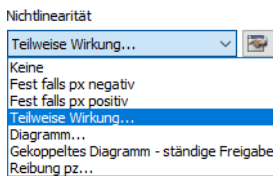
Bild 4.215 Tabelle 1.27 Flächenfreigabe-Typen

Freigabe bzw. Feder u_x / u_y / u_z

Ein Gelenk in Flächenebene (u_x , u_y) oder senkrecht zur Fläche (u_z) wird definiert, indem im Dialog oder in der Tabelle die jeweilige Verschiebung durch Anhaken freigegeben wird. Über die Kennwerte einer Feder lassen sich auch nachgiebige Freigaben modellieren.

Die Richtungen der Verschiebungen x , y und z beziehen sich auf das Achsensystem der Fläche. Die Flächenachsen können über das Flächen-Kontextmenü oder den Zeigen-Navigator eingeblendet werden (siehe Bild 4.75).

Für die Gelenke sind auch nichtlineare Eigenschaften möglich. Die Nichtlinearität kann in einer Liste ausgewählt und über die Schaltfläche in einem Dialog definiert werden. Im Kapitel 4.14 ist die Eingabe nichtlinearer Gelenkeigenschaften beschrieben.



4.28

Flächenfreigaben

Allgemeine Beschreibung

Flächenfreigaben ermöglichen es, das Modell an einer Fläche zu entkoppeln oder nur bestimmte Kräfte an Flächen zu übertragen. Damit braucht – im Gegensatz zu einem Kontaktvolumen – kein künstlicher Abstand zwischen den Flächen modelliert werden.

Für die Flächenfreigabe ist zunächst ein Flächenfreigabe-Typ zu definieren (siehe Kapitel 4.27).

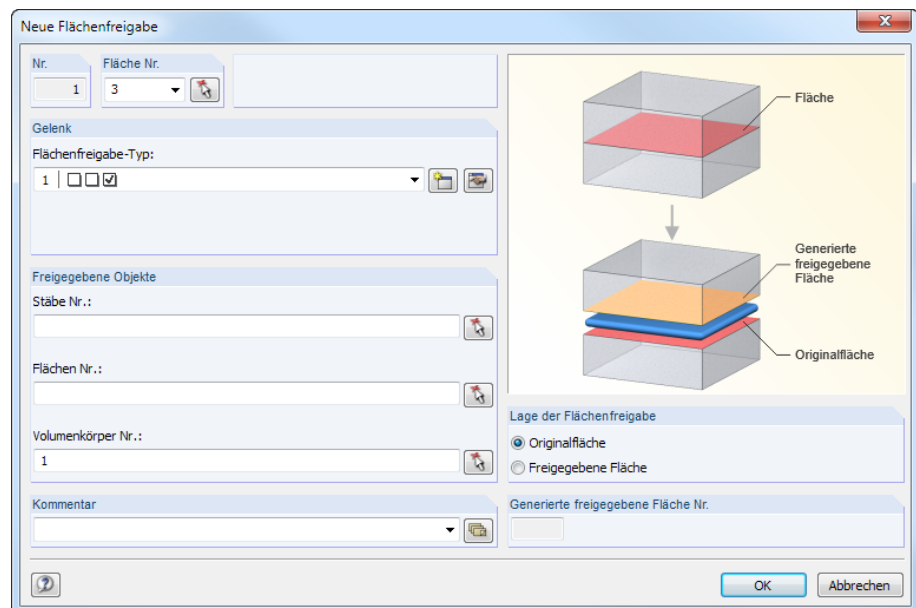


Bild 4.216 Dialog Neue Flächenfreigabe

1.28 Flächenfreigaben


Freigabe Nr.	A Fläche Nr.	B Flächenfreigabe Typ Nr.	C Stäbe Nr.	D Freigegebene Objekte Flächen Nr.	E Volumenkörper Nr.	F Freigabe Stelle	G Freigegeben Fläche Nr.	H Kommentar
1	195	1			44	Freigegebene Fläche	1	
2	196	1			44	Freigegebene Fläche	2	
3	197	1			44	Freigegebene Fläche	3	
4	194	1			44	Freigegebene Fläche	4	
5								
6								

Knotenfreigaben | Linienfreigabe-Typen | Linienfreigaben | Flächenfreigabe-Typen | Flächenfreigaben | Verbindung von zwei Stäben | Anschlüsse


Volumenkörperliste (z.B. 1,3,5-7)

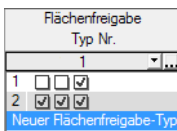
Bild 4.217 Tabelle 1.28 Flächenfreigaben

Fläche


Die Nummer der relevanten Fläche kann eingetragen, in der Liste ausgewählt oder mit  grafisch im Arbeitsfenster bestimmt werden.

Flächenfreigabe-Typ

In dieser Tabellenspalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Fläche ein Freigabetyp zuzuweisen, der in der Tabelle 1.27 definiert wurde (siehe [Kapitel 4.27](#)). Die Auswahl ist über die Schaltfläche  möglich. In der Liste kann auch ein *Neuer Flächenfreigabe-Typ* erstellt werden. Hierzu erscheint der im [Bild 4.208](#) dargestellte Dialog.



Freigegebene Objekte



Die freigegebenen *Stäbe*, *Flächen* und *Volumenkörper* können direkt eingetragen oder mit  grafisch im Arbeitsfenster ausgewählt werden.

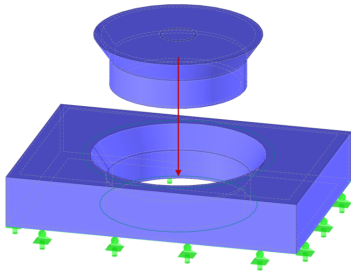
Freigabelage

Intern erzeugt RFEM eine Kopie der Fläche an derselben Stelle, die die freigegebenen Verschiebungen zulässt. Es kann angegeben werden, ob das Gelenk an der *Originalfläche* oder *Freigegebenen Fläche* positioniert werden soll. Auf die Ergebnisse sollte diese Festlegung keine Auswirkung haben.

Freigegebene Fläche

Es wird die Nummer der Fläche angegeben, die RFEM für die Flächenfreigabe erzeugt. In der Tabelle 1.4 *Flächen* und im Navigator ist diese generierte Fläche mit dem Flächentyp *Kopie* gekennzeichnet.

-  13: Ebene; 31,14,30,26; Null
-  14: Kopie; 5-8; Null



Beispiel: Trichtermodell

Bei einem trichterförmigen Bauteil soll der Verschluss nur bei Druckkräften wirken. Hierzu ist ein Flächenfreigabe-Typ mit der Wirkung *Fest falls pz positiv* zu definieren und anschließend den konischen Begrenzungsflächen zuzuweisen.

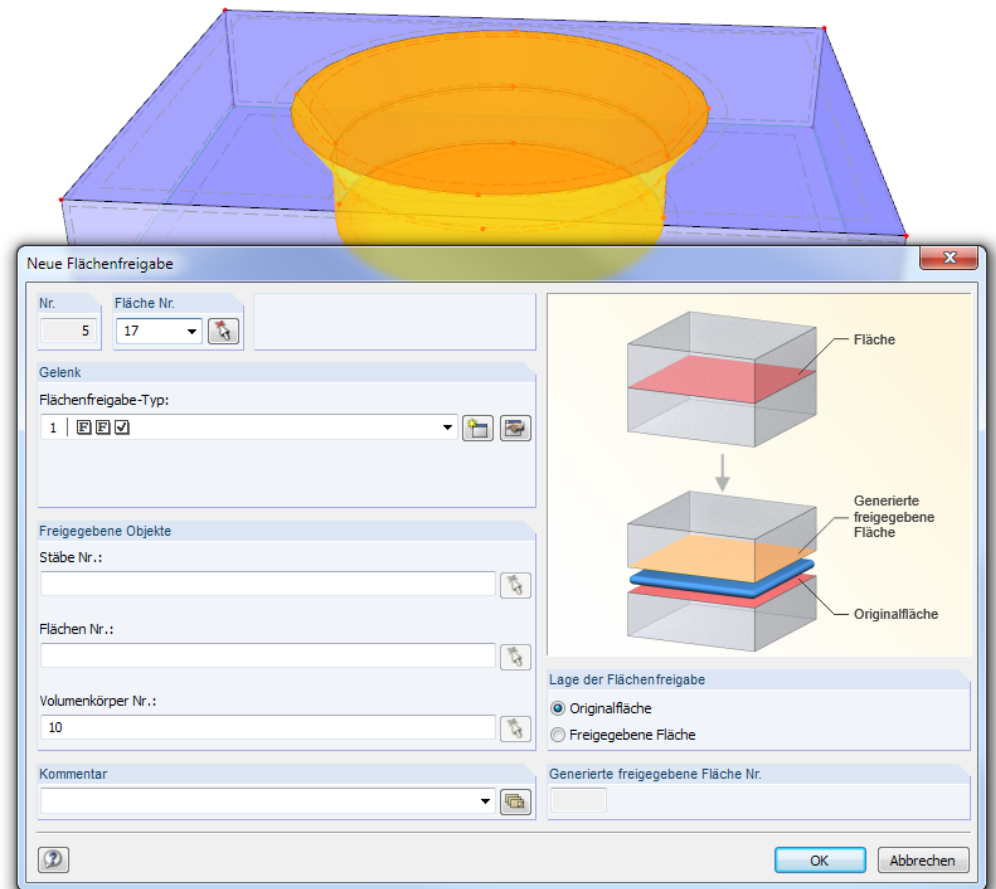


Bild 4.218 Trichterförmiges Verschlussstück mit nichtlinearen Kontakteigenschaften

4.29

Verbindung von zwei Stäben

Allgemeine Beschreibung

Schließen zwei Stäbe mit größeren Profilhöhen an einem Knoten an, wirken sich die Exzentrizitäten und ggf. auch die Anschlusssteifigkeiten auf die Ermittlung der Schnittgrößen aus (beispielsweise bei Holzbauverbindungen). Die Verbindung kann als Einheit definiert werden, um so die Exzentrizitäten und Gelenke des Anschlusses gemeinsam zu verwalten.

Diese Eingabemöglichkeit ist in erster Linie für den Import aus den Zusatzmodulen RF-JOINTS Holz relevant: Die Verbindungsparameter liegen dort infolge der Geometriebedingungen vor; sie können nach RFEM exportiert werden. Daneben besteht aber auch die Möglichkeit, Verbindungen manuell zu definieren.

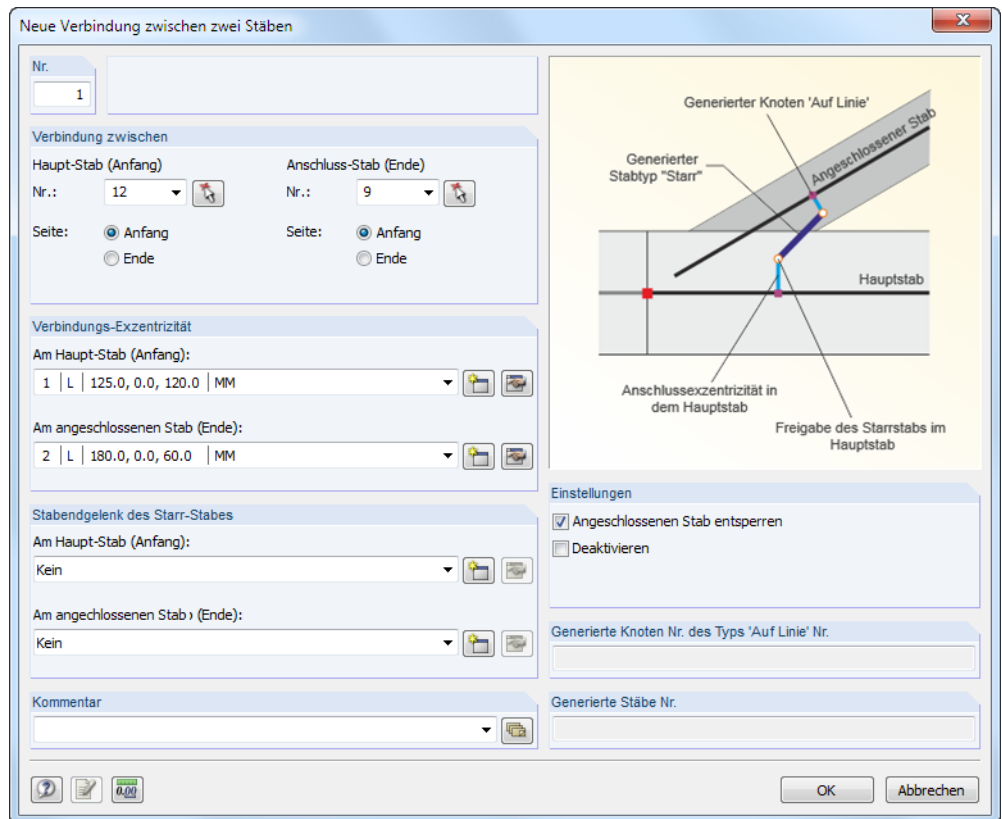


Bild 4.219 Dialog Neue Verbindung zwischen zwei Stäben

1.29 Verbindung von zwei Stäben


Anschl. Nr.	Hauptstab		Angeschlossenener Stab		Exzentrizität Nr. in		Stabengelenk Nr. in		Optionen	
	Nr.	Seite	Nr.	Seite	Hauptstab	Angeschlossenener Stab	Hauptstab	Angeschlossenener Stab	Entsperren	Deaktivieren
1	12	Anfang	9	Anfang	1	2	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	11	Anfang	10	Anfang	0	0	1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3										
4										
5										
6										

Linierfreigaben | Flächenfreigabe-Typen | Flächenfreigaben | Verbindung von zwei Stäben | Anschlüsse | Knotenkopplungen

Nummer der Anschluss-Exzentrizität in dem angeschlossenen Stab (F7 zum Wählen)

Bild 4.220 Tabelle 1.29 Verbindung von zwei Stäben



Hauptstab

In Konformität mit RF-JOINTS Holz besitzt dieser Stab die höchste Priorität: Er steuert die Parameter der übrigen Stäbe und des Anschnitts (z. B. Pfette). Der Stab kann mit  im Arbeitsfenster grafisch ausgewählt werden.

Angeschlossenener Stab

Der zweite Stab wird als *Angeschlossenener Stab* klassifiziert. Auch hier ist die grafische Auswahl möglich.

Exzentrizität

Die Ausmitte des Anschlusses kann sowohl für den Hauptstab als auch für den angeschlossenen Stab festgelegt werden. Die Schaltfläche  bzw.  öffnet einen Dialog, in dem der Versatz unter Bezug auf die lokalen oder globalen Achsen definiert werden kann.

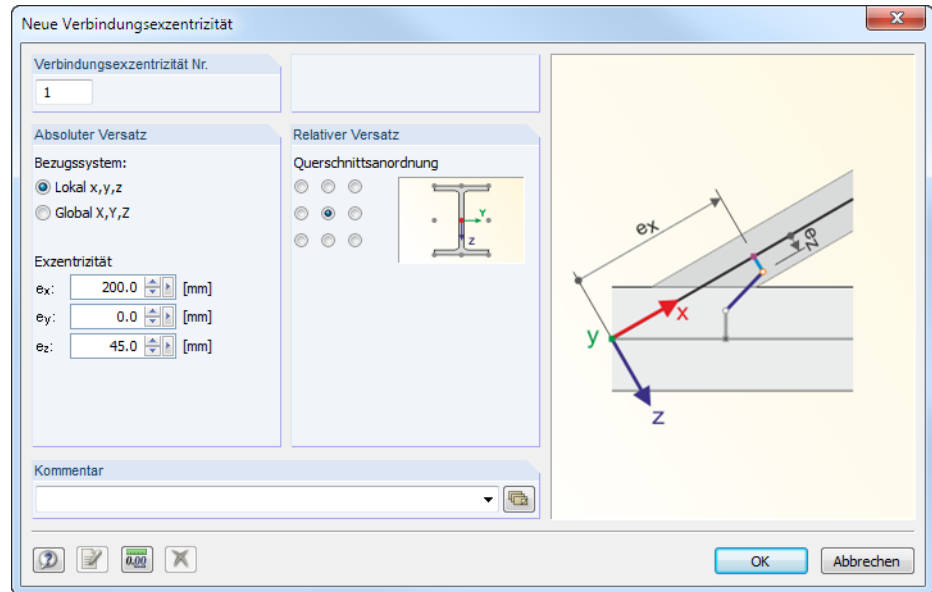




Bild 4.221 Dialog Neue Verbindungsexzentrizität

Stabendgelenk

Die Freiheitsgrade für den Haupt- und Anschlussstab können über Gelenke beschrieben werden, die die Schnittgrößenübergabe an den Enden des Starrstabs steuern. Der Gelenktyp kann jeweils in der Liste ausgewählt oder über die Schaltfläche  bzw.  im Dialog *Neues Stabendgelenk* definiert werden (siehe Kapitel 4.14 [↗](#)).

Optionen

Mit der Standardvorgabe *Entsperrn* wird für den Hauptstab eine Knotenfreigabe erzeugt (siehe Kapitel 4.24 [↗](#)).

Optional lässt sich die Verbindung über das Kontrollfeld *Deaktivieren*, ohne die Parameter zu löschen.

4.30

Anschlüsse

Die Funktionen des Dialogs *Neue Verbindung* und der Tabelle 1.30 *Anschlüsse* sind im vorherigen Kapitel 4.29 [↗](#) beschrieben.

4.31

Knotenkopplungen

Allgemeine Beschreibung

Eine Knotenkopplung setzt die Verschiebungen und Verdrehungen zwischen zwei oder mehreren Knoten in Beziehung. Damit lassen sich beispielsweise Wand- oder Deckenscheiben in Stabmodellen abbilden, ohne Flächen zu verwenden.

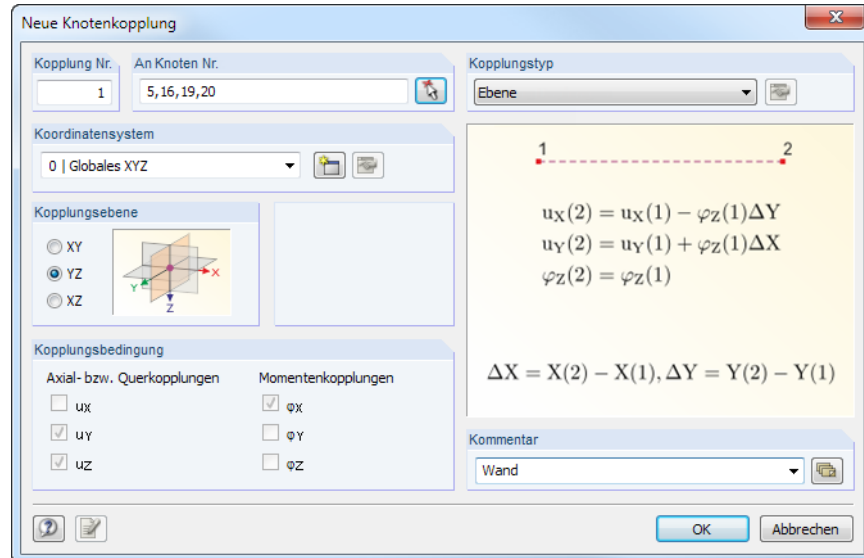


Bild 4.222 Dialog Neue Knotenkopplung

Kopplung Nr.	A Typ der Knoten-Kopplung	B An Knoten Nr.	C Koordinatensystem	D Kopplungsebene	E Translationalkopplungen	F u _x	G u _y	H u _z	I Rotationskopplungen	J phi _x	K phi _y	L phi _z	M Kommentar
1	Ebene	5,16,19,20	0 Globales XYZ	YZ	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wand
2	Gleiche Freiheitsgrade	4,20	0 Globales XYZ		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3													
4													
5													
6													
7													

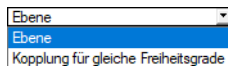
Bild 4.223 Tabelle 1.31 Knotenkopplungen

Typ der Knotenkopplung


Für die Kopplung stehen zwei Möglichkeiten zur Auswahl: Beim Typ *Ebene* werden die Verschiebungen in Kopplungsebene sowie die Verdrehungen rechtwinklig zur Ebene gekoppelt. So lassen sich beispielsweise aussteifende Scheiben modellieren.

Der Kopplungstyp *Gleiche Freiheitsgrade* ermöglicht es, die gekoppelten Verschiebungen und Verdrehungen zwischen den Knoten individuell festzulegen.

Bei Kopplungen in einer Ebene werden die Freiheitsgrade im Dialogabschnitt *Kopplungsbedingung* bzw. den Tabellenspalten E bis J automatisch gesetzt. Für gleiche Freiheitsgrade sind alle sechs Kontrollfelder zur Definition der Kopplungsbedingungen zugänglich.



An Knoten

Die Nummern der gekoppelten Knoten können eingetragen, in der Liste ausgewählt oder mit  grafisch im Arbeitsfenster bestimmt werden.

Soll mit der Kopplung eine Scheibe modelliert werden, sind alle Eckknoten der Ebene einzutragen.

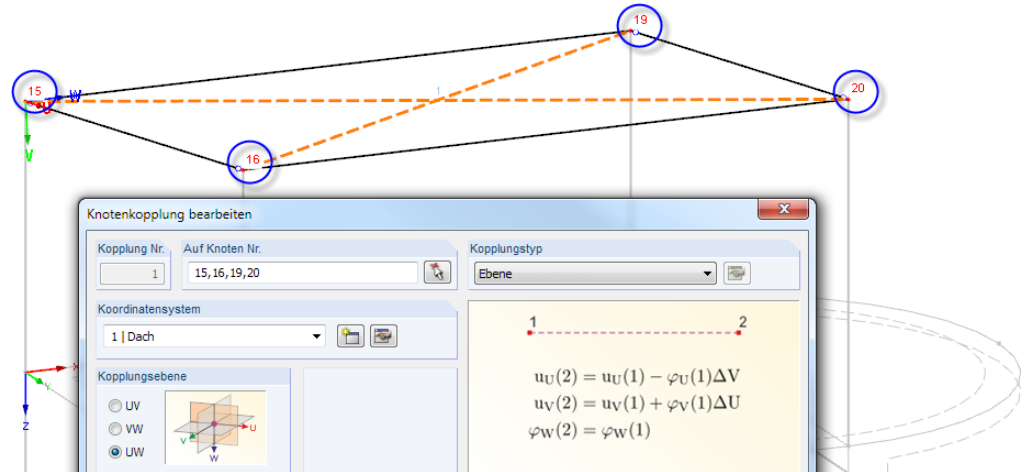





Bild 4.224 Kopplung einer Dachebene

Koordinatensystem

Für die Kopplung ist das Bezugs-Achsen-system anzugeben. In der Liste bzw. im Dialogabschnitt stehen das *Globale XYZ-Koordinatensystem* und die benutzerdefinierten UVW-Koordinatensysteme zur Auswahl. Über die Schaltfläche  kann auch ein *Neues Koordinatensystem* definiert werden. Hierzu erscheint der im [Bild 11.49](#) dargestellte Dialog.

Mit den Schaltflächen  oder  lassen sich benutzerdefinierte Koordinatensysteme anpassen.

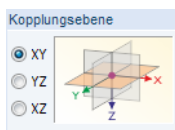
Benutzerdefinierte Koordinatensysteme erleichtern die Eingabe geneigter Ebenenkopplungen für Dächer (siehe [Bild 4.218](#)).



Kopplungsebene

Dieser Dialogabschnitt bzw. die Tabellenspalte D ist nur bei Ebenenkopplungen zugänglich. Es ist anzugeben, in welcher Ebene eine Kopplung der Verschiebungen oder Verdrehungen erfolgt. Beim globalen Koordinatensystem stehen die Ebenen XY, YZ und XZ zur Auswahl, bei einem benutzerdefinierten Koordinatensystem die Ebenen UV, VW und UW.

Diese Vorgabe steuert, welche Kopplungsbedingungen im Dialogabschnitt unterhalb bzw. den Tabellenspalten E bis J automatisch aktiviert werden.



Translationskopplungen $u_x / u_y / u_z$

Das Häkchen bei einer Komponente der Axial- oder Querkopplungen bedeutet, dass die Verschiebung in Richtung der jeweiligen globalen (oder benutzerdefinierten) Achse gekoppelt ist.

Die Felder sind nur beim Kopplungstyp *Gleiche Freiheitsgrade* zugänglich. Bei Ebenenkopplungen legt RFEM die Kopplungsbedingungen automatisch durch die Kopplungsebene fest.



Rotationskopplungen $\phi_x / \phi_y / \phi_z$

Kopplungsbedingungen können auch für die Verdrehungen definiert werden, die die Übertragung der Momente regeln. Es stehen die drei globalen (oder benutzerdefinierten) Achsen zur Auswahl.

5 Lastfälle und Kombinationen



Die auf das Modell wirkenden Lasten werden in unterschiedlichen Lastfällen verwaltet. Diese Lastfälle können — manuell oder automatisch — in Last- und Ergebniskombinationen überlagert werden (siehe Kapitel 12.2.1 [\[2\]](#)).



Es muss ein Lastfall angelegt werden, ehe Lasten (siehe Kapitel 6 [\[2\]](#)) definiert werden können.

5.1

Lastfälle

Allgemeine Beschreibung

Die Belastungen aus einer bestimmten Einwirkung werden in einem Lastfall (**LF**) abgelegt. Lastfälle können beispielsweise Eigengewicht, Schnee oder Nutzlast sein.



Die Lasten sollten im Lastfall als charakteristische Einwirkungen, d. h. **ohne Faktoren** definiert werden. Die Teilsicherheitsbeiwerte können später beim Überlagern der Lastfälle in Last- oder Ergebniskombinationen berücksichtigt werden.

Für jeden Lastfall kann gesondert festgelegt werden, welche Berechnungsmethode (Theorie I., II. oder III. Ordnung), Lösungsmethode und Berechnungsparameter (Lasterhöhungsfaktor, Steifigkeitsreduktion durch Material-Teilsicherheitsbeiwert) anzuwenden sind.

Anlegen eines neuen Lastfalls



Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Dialog zum Anlegen eines Lastfalls aufzurufen:

- Menü **Einfügen** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Lastfall**
- Schaltfläche [Neuer Lastfall] in der Symbolleiste

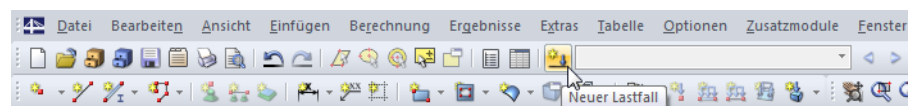


Bild 5.1 Schaltfläche Neuer Lastfall in der Symbolleiste

- Kontextmenü des Navigatoreintrags *Lastfälle*

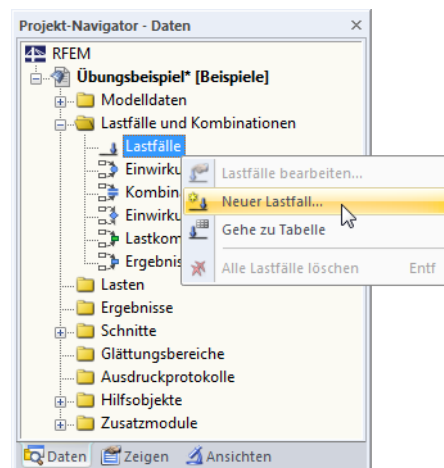


Bild 5.2 Kontextmenü Lastfälle im Daten-Navigator

Es erscheint der Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*. Im Register *Lastfälle* ist ein neuer Lastfall voreingestellt.

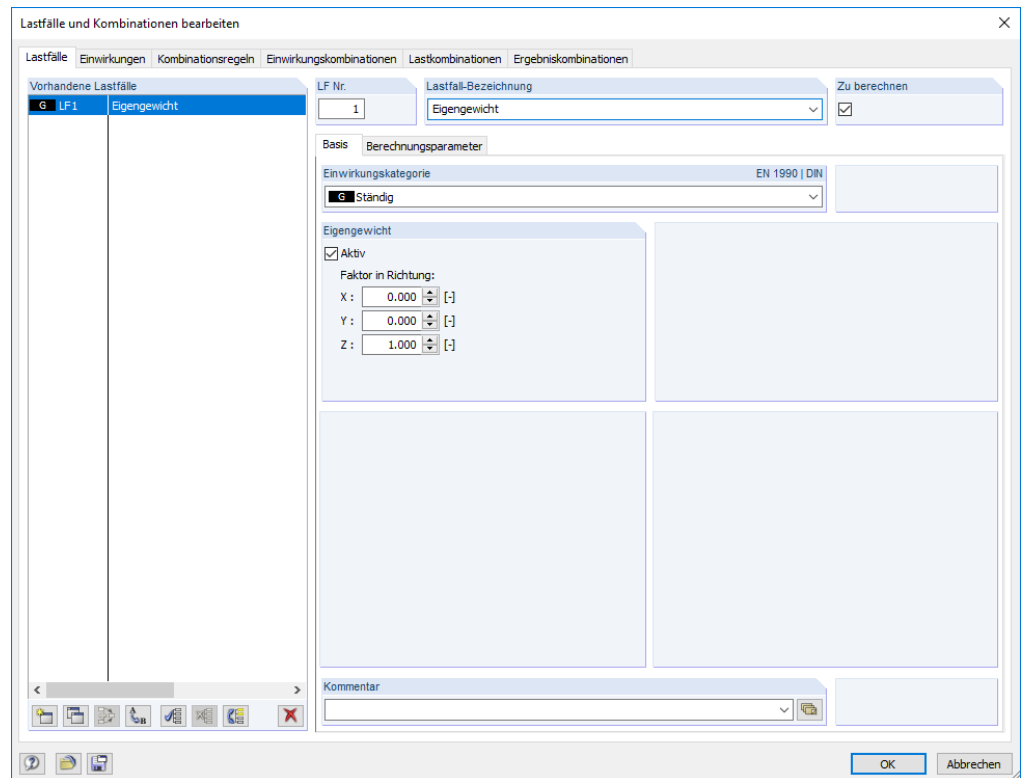


Bild 5.3 Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

- Ein neuer Lastfall kann auch in einer freien Zeile der Tabelle 2.1 *Lastfälle* eingetragen werden.

2.1 Lastfälle

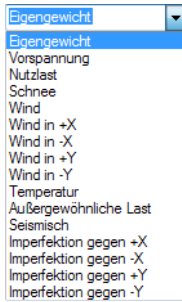
Lastfall	Lastfall-bezeichnung	Zu berechnen	EN 1990 CEN			Kommentar
			Einwirkungskategorie	Eigengewicht Aktiv	Faktor in Richtung X Y Z	
LF1	Eigengewicht, Aufbau, Erddruck	<input checked="" type="checkbox"/>	G Ständige Lasten	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000 0.000 1.000	
LF2	Nutzlast	<input checked="" type="checkbox"/>	On C Nutzlasten - Kategorie C: Versammlung	<input type="checkbox"/>		
LF3	Schnee	<input checked="" type="checkbox"/>	cs Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	<input type="checkbox"/>		
LF4	Wind in +Y	<input checked="" type="checkbox"/>	Cw Wind	<input type="checkbox"/>		
LF5	Imperfektion in +Y	<input checked="" type="checkbox"/>	Imp Imperfektion	<input type="checkbox"/>		
LF6						
LF7						

Bild 5.4 Tabelle 2.1 *Lastfälle*

Lastfall Nr.

Die Nummer des neuen Lastfalls ist voreingestellt, kann aber im Eingabefeld *LF Nr.* geändert werden. Falls diese Nummer schon vergeben ist, erscheint beim Schließen des Dialogs eine Warnung.

Das Anlegen der Lastfälle sollte gut organisiert erfolgen. Es sind auch Lücken in der Nummerierung zulässig, die das Einfügen zusätzlicher Lastfälle erlauben. Die Reihenfolge der Lastfälle lässt sich über die Schaltfläche [Unnummerieren] im Dialog nachträglich ändern (siehe [Tabelle 5.1](#) und [Kapitel 11.4.8](#)).



Lastfall-Bezeichnung

Es kann ein beliebiger Name manuell eingegeben oder aus der Liste gewählt werden, um den Lastfall kurz zu beschreiben.

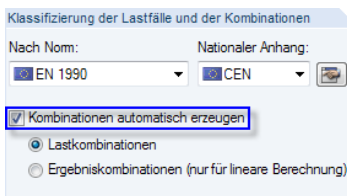
Zu berechnen

Das Kontrollfeld steuert, ob der Lastfall bei der Berechnung als eigenständiger Lastfall berücksichtigt wird. Auf diese Weise lassen sich Lastfälle von der Berechnung ausklammern, die nicht isoliert auftreten (z. B. Wind ohne Berücksichtigung des Eigengewichts) oder deren Ergebnisse für eine Vorbemessung nicht relevant sind.

Einwirkungskategorie

In den Normen werden verschiedene Einwirkungskategorien genannt, die die Überlagerung der Lastfälle sowie die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte steuern. Jeder Lastfall ist einer Kategorie zuzuweisen.

In der Liste des Dialogs bzw. der Tabelle stehen verschiedene Kategorien zur Auswahl. Sie sind von der Norm abhängig, die im Dialog *Modell-Basisangaben* eingestellt ist (siehe [Kapitel 12.2.1](#)).



Normeinstellungen im Dialog
Modell-Basisangaben

Einwirkungskategorie		EN 1990 CEN
G	Ständig	1.A
G _q	Ständig/Nutzlast	1.B
P	Vorspannung	2
Q _{n A}	Nutzlasten - Kategorie A: Wohn/Aufenthaltsräume	3.A
Q _{n B}	Nutzlasten - Kategorie B: Büros	3.B
Q _{n C}	Nutzlasten - Kategorie C: Versammlungsräume	3.C
Q _{n D}	Nutzlasten - Kategorie D: Verkaufsräume	3.D
Q _{n E}	Nutzlasten - Kategorie E: Lagerräume	3.E
Q _{n F}	Nutzlasten - Kategorie F: Verkehrslasten - Fahrzeuglast ≤ 30 kN	3.F
Q _{n G}	Nutzlasten - Kategorie G: Verkehrslasten - Fahrzeuglast ≤ 160 kN	3.G
Q _{n H}	Verkehrslasten - Kategorie H: Dächer	3.H
Q _s	Schnee (Finnland, Island, Norwegen, Schweden)	4.A
Q _s	Schnee (H > 1000 m über NN)	4.B
Q _s	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	4.C
Q _w	Wind	5
Q _t	Temperatur (ohne Brand)	6
A	Außergewöhnlich	7
AE	Erdbeben	8
Imp	Imperfektion	

Bild 5.5 Einwirkungskategorien nach EN 1990

Diese Kategorien spielen für die manuelle oder automatische Kombination der Lastfälle eine Rolle. Die Klassifizierung des Lastfalls regelt, welche Beiwerte bei der Bildung von Last- und Ergebniskombinationen angesetzt werden.

Eigengewicht

Soll das Eigengewicht der Konstruktion als Last berücksichtigt werden, so ist das Kontrollfeld *Aktiv* anzuhaken. Die Wirkrichtung der Last kann in einem der drei Eingabefelder über den Faktor des Eigengewichts festgelegt werden. Die Voreinstellung ist 1.00 in Richtung Z bzw. -1.00, falls die globale Z-Achse nach oben zeigt.

Wird das automatische Eigengewicht in mehreren Lastfällen angesetzt, ist dies bei der Kombination der Lastfälle entsprechend zu beachten.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden, um den Lastfall näher zu beschreiben.

Berechnungsparameter

Das Register *Berechnungsparameter* im Dialog *Belastung* verwaltet verschiedene Optionen zur Steuerung der Berechnung. Im Kapitel 7.3.1 sind diese Parameter ausführlich beschrieben.

Bearbeiten der Basisangaben eines Lastfalls

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Basisangaben eines bestehenden Lastfalls zu ändern:

- Menü **Bearbeiten** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Lastfall-Basisangaben** (aktueller Lastfall)
- Menü **Bearbeiten** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Lastfälle** (Auswahl aus allen Lastfällen)
- Kontextmenü oder Doppelklicken eines Lastfalls im *Daten-Navigator*

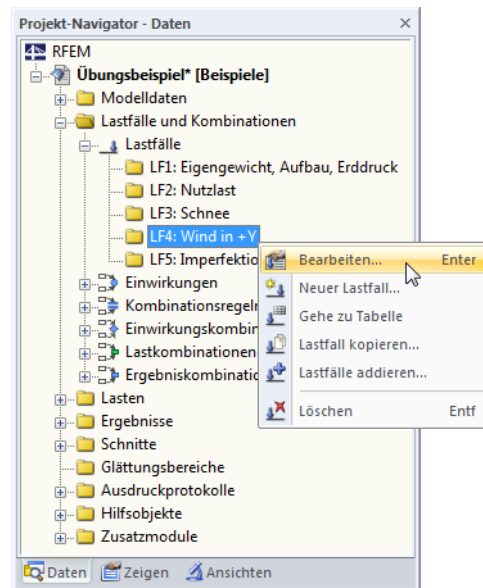


Bild 5.6 Kontextmenü eines Lastfalls



- Schaltfläche [Basisangaben] in der Belastungstabellen-Symbolleiste (aktueller Lastfall)

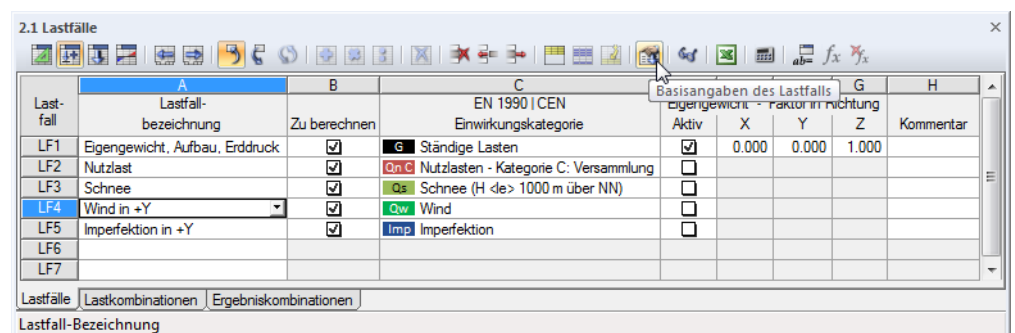
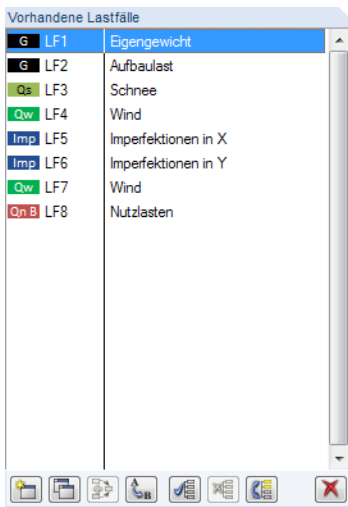


Bild 5.7 Schaltfläche [Basisangaben] in der Symbolleiste der Belastungstabellen



Schaltflächen

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* stehen unterhalb der Lastfall-Liste mehrere Schaltflächen zur Verfügung (siehe Bild 5.3 [☞](#)). Sie sind mit folgenden Funktionen belegt:









	Ein neuer Lastfall wird angelegt.
	Ein neuer Lastfall wird als Kopie des selektierten Lastfalls erzeugt (siehe unten).
	Sind mehrere Lastfälle selektiert, werden alle darin enthaltenen Lasten in einen neuen Lastfall kopiert (siehe unten).
	Der selektierte Lastfall wird mit einer neuen Nummer versehen, die in einem Dialog anzugeben ist. Diese Lastfallnummer darf nicht bereits vergeben sein.
	Es werden alle Lastfälle selektiert.
	Die Selektion in der Liste wird aufgehoben.
	Die Auswahl der Lastfälle wird umgekehrt.
	Der selektierte Lastfall wird gelöscht.

Tabelle 5.1 Schaltflächen im Register *Lastfälle*

Kopieren und Addieren von Lastfällen

Bereits bestehende Lastfälle können genutzt werden, um neue Lastfälle anzulegen.



Zum **Kopieren** eines Lastfalls ist der relevante Lastfall in der Liste *Vorhandene Lastfälle* zu selektieren. Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Kopieren] wird eine Kopie des Lastfalls mit der nächsten freien Nummer erzeugt. Anschließend können die Bezeichnung des neuen Lastfalls und die Lasten angepasst werden.



Beim **Addieren** von Lastfällen werden die Lasten mehrerer Lastfälle in einen neuen Lastfall kopiert. Zunächst sind die relevanten Lastfälle in der Liste *Vorhandene Lastfälle* anzugeben (Mehrfachselektion mit gedrückter [Strg]-Taste). Über die Schaltfläche [Hinzufügen] werden die Lasten in einen neuen Lastfall kopiert.

5.2

Einwirkungen

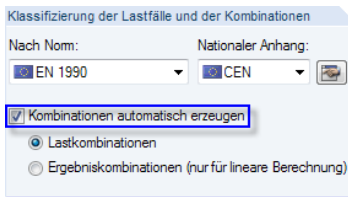
Allgemeine Beschreibung

Bei den aktuellen Normen wie z. B. EN 1990 und ASCE 7-16 ist es oft aufwendig, alle infrage kommenden Belastungssituationen zu berücksichtigen und die maßgebenden Situationen für die Nachweise auszuwählen. Im Dialog *Modell-Basisangaben* besteht die Möglichkeit, die Kombinationen automatisch zu erzeugen (siehe Bild 12.23 [↗](#)).

Die in Tabelle 2.1 definierten Lastfälle (siehe vorheriges [Kapitel 5.1](#) [↗](#)) bilden die Ausgangsdaten für die automatische Überlagerung. Bei diesen Lastfällen unterscheidet RFEM zwischen zwei Kategorien: Standardlastfälle und Lastfälle des Typs *Imperfektion*. Für die Kombination der Lastfälle ist zudem entscheidend, in welche Einwirkungskategorie die Standardlastfälle eingeteilt wurden.

Die Normen geben Regeln für die Kombination unabhängiger Einwirkungen in unterschiedlichen Bemessungssituationen vor. Einwirkungen sind voneinander unabhängig, wenn sie aus verschiedenen Ursprüngen herrühren und der zwischen ihnen bestehende Zusammenhang im Hinblick auf die Zuverlässigkeit des Tragwerks vernachlässigt werden darf.

Diesem Konzept zufolge sind für die automatische Überlagerung in RFEM *Einwirkungen* zu definieren, denen Lastfälle zugewiesen sind. Der bei den Lastfällen definierte Einwirkungstyp (siehe [Kapitel 5.1](#) [↗](#)) steuert die Zuordnung zu den Einwirkungskategorien gemäß Norm.



Kontrollfeld im Dialog *Modell-Basisangaben*

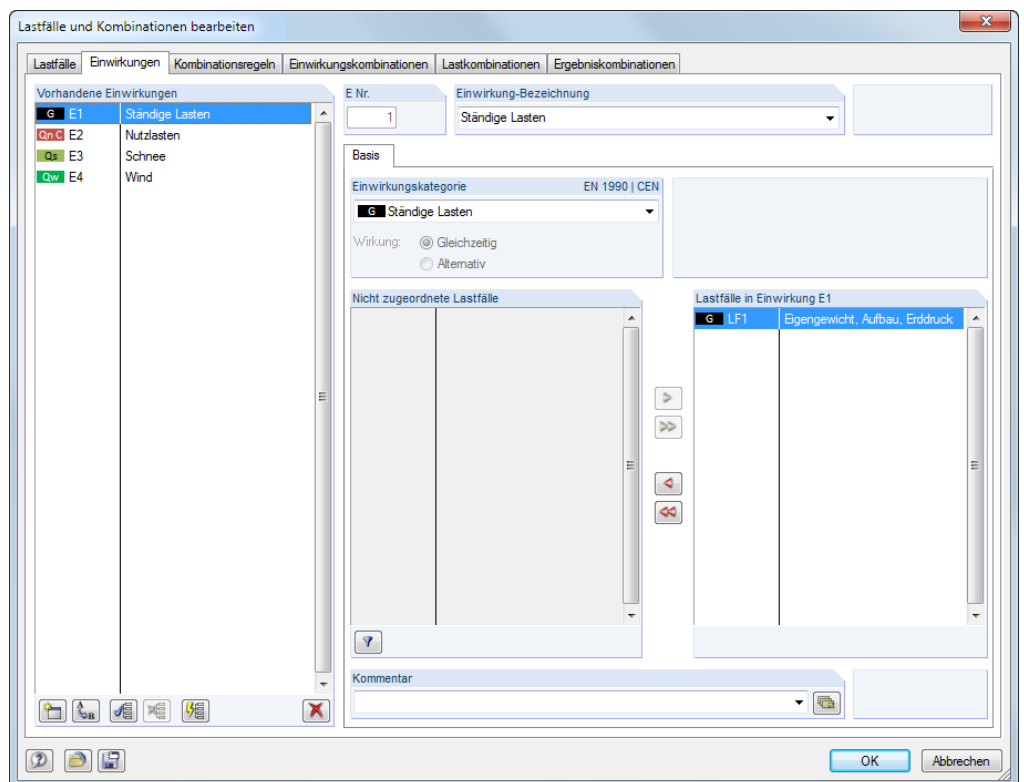
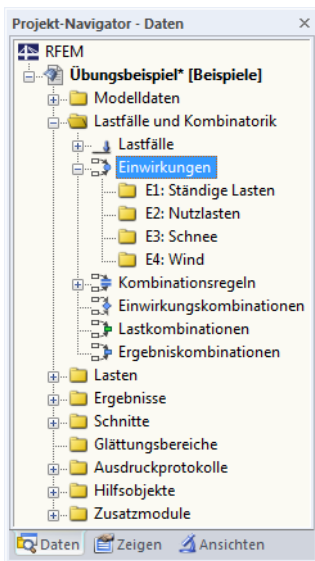


Bild 5.8 Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Einwirkungen*

Einwirkung	Einwirkung Bezeichnung	EN 1990 CEN		Wirkung	Lastfälle in Einwirkung			Kommentar
		Einwirkungskategorie	Einwirkungskategorie		LF.1	LF.2	LF.3	
E1	Ständige Lasten	G	Ständige Lasten		LF1			
E2	Nutzlasten	QnB	Nutzlasten - Kategorie C: Versammlungsräume		LF2			
E3	Schnee	S	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)		LF3			
E4	Wind	Sw	Wind	Alternativ	LF4	LF5		
E5				Alternativ				
E6				Gleichzeitig				
				Unterschiedlich				

Bild 5.9 Tabelle 2.2 Einwirkungen

Einwirkung Nr.

Die Einwirkungen werden bereits mit dem Anlegen der Lastfälle erzeugt. Sie sind fortlaufend nummeriert. Die Reihenfolge spielt keine Rolle, kann bei Bedarf aber über die Dialog-Schaltfläche [Umnummerieren] geändert werden.

Einwirkungen können manuell ergänzt werden, um z. B. bei großen Modellen Lastfälle benutzerdefiniert zuzuweisen.

Einwirkung Bezeichnung

Die Bezeichnung der Einwirkung leitet sich vom Einwirkungstyp ab, der bei den Lastfällen gewählt wurde. Die voreingestellte Bezeichnung kann bei Bedarf geändert werden.

Einwirkungskategorie

In den Normen werden verschiedene Einwirkungskategorien genannt, die die Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsbeiwerte steuern (siehe [Kapitel 5.1](#)).

In der Liste des Dialogs bzw. der Tabelle stehen nur die Kategorien zur Auswahl, die beim Anlegen der einzelnen Lastfälle benutzt wurden. Um eine neue Kategorie zu erzeugen, muss daher bei den Basisangaben eines Lastfalls ein neuer Einwirkungstyp zugewiesen werden.

Wirkung

Lastfälle können als *Gleichzeitig*, *Alternativ* oder *Unterschiedlich* wirkend definiert werden. Die Unterschiede dieser drei Optionen lassen sich anhand eines Beispiels verdeutlichen:

LF1 Einwirkung E1 Einwirkungskategorie „Ständige Lasten“

LF2, LF3, LF4 Einwirkung E2 Einwirkungskategorie „3.A Nutzlasten“

Je nach Definition der Einwirkung E2 ergeben sich verschiedene Kombinationsmöglichkeiten.

Gleichzeitig

Alle Lastfälle der Einwirkung können beliebig kombiniert werden. Sie können auch gleichzeitig in einer Kombination auftreten. Im Beispiel werden folgende Lastkombinationen erzeugt:

LK1: 1.35LF1

LK2: 1.35LF1 + 1.50LF2

LK3: 1.35LF1 + 1.50LF2 + 1.50LF3

EN 1990 CEN	
Einwirkungskategorie	
G	Ständige Lasten
QnB	Nutzlasten - Kategorie B: Büros
S	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)

Gleichzeitig
Alternativ
Gleichzeitig
Unterschiedlich

LK4: 1.35LF1 + 1.50LF2 + 1.50LF3 + 1.50LF4

LK5: 1.35LF1 + 1.50LF2 + 1.50LF4

LK6: 1.35LF1 + 1.50LF3

LK7: 1.35LF1 + 1.50LF3 + 1.50LF4

LK8: 1.35LF1 + 1.50LF4

Alternativ

Von den Lastfällen der Einwirkung kann immer nur einer wirksam sein (z. B. Wind aus unterschiedlichen Richtungen). Im Beispiel werden folgende Lastkombinationen erzeugt:

LK1: 1.35LF1

LK3: 1.35LF1 + 1.50LF3

LK2: 1.35LF1 + 1.50LF2

LK4: 1.35LF1 + 1.50LF4

Unterschiedlich

Es lassen sich differenzierte Beziehungen zwischen den Lastfällen in der Einwirkung definieren. Bei dieser Option erscheint im Dialogabschnitt *Lastfälle in Einwirkung* eine weitere Spalte. Lastfälle können dort einer *Gruppe* zugeteilt werden, sodass sie sich gegenseitig ausschließen (wie bei der Wirkung *Alternativ*). Die Nummer der Gruppe kann in der Liste ausgewählt werden.

Definiert man im Beispiel LF2 und LF3 als Gruppe, so werden folgende Lastkombinationen gebildet:

LK1: 1.35LF1

LK2: 1.35LF1 + 1.50LF2

LK3: 1.35LF1 + 1.50LF2 + 1.50LF4


LK4: 1.35LF1 + 1.50LF3

LK5: 1.35LF1 + 1.50LF3 + 1.50LF4

LK6: 1.35LF1 + 1.50LF4

Lastfälle in Einwirkung

Die Zuteilung der Lastfälle erfolgt nach den Vorgaben des Lastfall-Einwirkungstyps, sodass hier eine weitgehende Automatik besteht.

Um einen Lastfall aus einer Einwirkung zu entfernen, ist der Lastfall in der Spalte *Lastfälle in Einwirkung* des Dialogs zu selektieren. Mit der Schaltfläche  oder per Doppelklick wird er dann in die Spalte *Nicht zugeordnete Lastfälle* übergeben. In der Tabelle besteht ebenfalls die Möglichkeit, einen Lastfall inaktiv zu setzen: In der Liste der betreffenden Zelle ist der leere Eintrag zu wählen.

Nr.	LF-Bezeichnung	Gruppe
Qn A LF2	Nutzlast	1
Qn A LF3	Nutzlast	1
Qn A LF4	Nutzlast	-
		1
		2

Lastfall einer Gruppe zuweisen

LF.1	LF.2	LF.3
LF1		
LF3		
LF5	LF2	Aufbaulast



Manuell entfernte Lastfälle werden — unter Berücksichtigung des Einwirkungstyps — in die Liste *Nicht zugeordnete Lastfälle* übergeben. Dies bedeutet auch, dass sich nur Lastfälle des gleichen Einwirkungstyps in eine Einwirkungskategorie einbinden lassen. Es können beispielsweise keine Lastfälle des Typs „Nutzlasten“ für „Schnee“-Einwirkungen ausgewählt werden — weder im Dialog noch in der Liste der Tabelle (siehe Bild links). In der Liste *Vorhandene Lastfälle* sind typfremde Lastfälle daher nicht sichtbar. Über die Schaltfläche [Nicht verwendete anzeigen] können Lastfälle anderer Kategorien eingeblendet werden. Sie werden gesperrt dargestellt und können nicht ausgewählt werden.



Lastfälle, die keiner Einwirkung zugeordnet sind, werden beim Generieren der Kombinationen nicht berücksichtigt.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden.

Die Schaltflächen im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Einwirkungen* sind mit folgenden Funktionen belegt:







	Eine neue Einwirkung wird angelegt.
	Die selektierten Einwirkungen werden unnummeriert.
	Alle Einwirkungen werden selektiert.
	Die Selektion in der Liste wird aufgehoben.
	Nicht zugeordnete Lastfälle werden automatisch Einwirkungen zugewiesen.
	Die selektierten Einwirkungen werden gelöscht.

Tabelle 5.2 Schaltflächen im Register *Einwirkungen*

5.3

Kombinationsregeln

Allgemeine Beschreibung

In den Normen ist erläutert, wie die Einwirkungen zu kombinieren sind. EN 1990 beispielsweise verlangt den Nachweis der Grenzzustände der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit. Grenzzustände der **Tragfähigkeit** sind dabei in vier Bemessungssituationen nachzuweisen, für die bestimmte Kombinationsregeln gelten:

- Ständige Situationen, die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen sowie vorübergehende Situationen, die sich auf zeitlich begrenzte Zustände des Tragwerks beziehen (z. B. Bauzustand, Instandsetzung)

Als Kombinationsregel für ständige und vorübergehende Situationen (Grundkombination) ist entweder

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.1

oder für die Grenzzustände STR und GEO die ungünstigere Kombination mit Gleichung 5.2 und Gleichung 5.3 anzuwenden.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.2

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.3

- Außergewöhnliche Situationen, die sich auf außergewöhnliche Einwirkungen des Tragwerks oder seiner Umgebung beziehen (z. B. Feuer, Explosion, Anprall)

$$\sum_{j \geq 1} H_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ oder } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.4

- Situationen bei Erdbeben

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

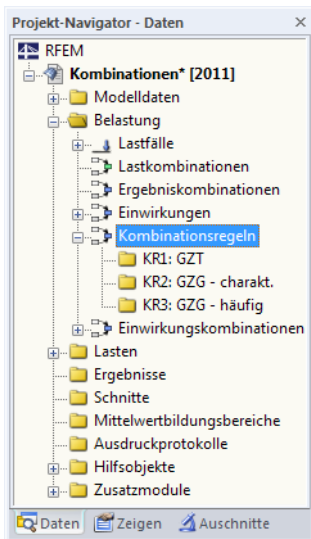
Gleichung 5.5

Grenzzustände der **Gebrauchstauglichkeit** sind nach EN 1990 in drei Bemessungssituationen nachzuweisen, für die folgende Kombinationsregeln gelten.

- Seltene Situationen mit nicht umkehrbaren (bleibenden) Auswirkungen auf das Tragwerk

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.6



- Häufige Situationen mit umkehrbaren (nicht bleibenden) Auswirkungen auf das Tragwerk

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.7

- Quasi-ständige Situationen mit Langzeitauswirkungen auf das Tragwerk

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Gleichung 5.8

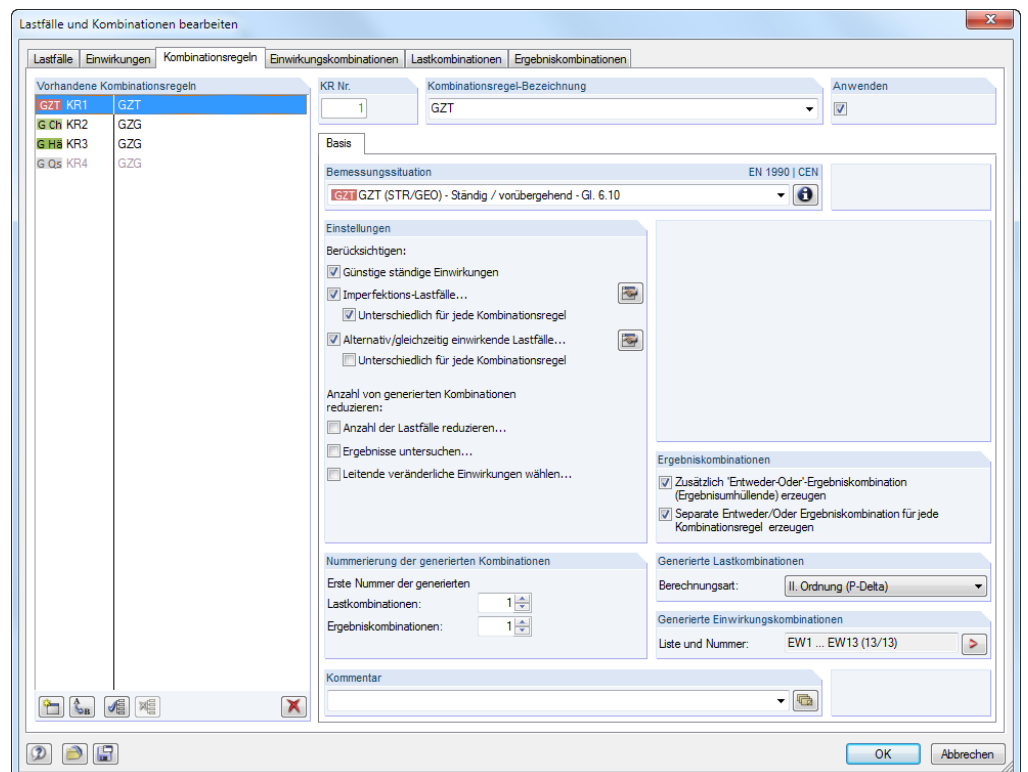


Bild 5.10 Dialog Lastfälle und Kombinationen bearbeiten, Register Kombinationsregeln

Kombin. Regel	A Kombinationsregel Bezeichnung	B Anwenden	C EN 1990 CEN		D Berücksichtigen			G Ergebnisse	H Anzahl reduzieren infolge Leitende Einwirkungen	I Generierte Einwirkungskombinationen
			Bemessungssituation	Günstig	Imperfektion	Ex./Inklusive	LFe			
KR1	GZT	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT	GZT (STR/GEO) - Sta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	EW1 ... EW13 (13/26)
KR2	GZG	<input checked="" type="checkbox"/>	G Ch	GZG - Charakteristisch	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	EW14 ... EW26 (13/26)
KR3	GZG	<input type="checkbox"/>	G Hb	GZG - Häufig	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR4	GZG	<input type="checkbox"/>	G Qs	GZG - Quasi-ständig	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR5										

Bild 5.11 Tabelle 2.3 Kombinationsregeln

Kombinationsregel Nr.

Beim Aufruf des Dialogs bzw. der Tabelle sind z. B. für EN 1990 die Kombinationsregeln folgender Bemessungssituationen voreingestellt:

GZT : Grenzzustand der Tragfähigkeit für ständige oder vorübergehende Situation

GZG : Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für charakteristische Situation

GZG : Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für häufige Situation

GZG : Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für quasi-ständige Situation



Eine neue Kombinationsregel kann in einer weiteren Tabellenzeile oder im Dialog über die Schaltfläche [Neu] angelegt werden. Hierfür stehen die unten beschriebenen Bemessungssituationen zur Auswahl.



In der Dialogliste markierte Kombinationsregeln lassen sich auch [Löschen].

Kombinationsregel Bezeichnung

Die Kurzbezeichnungen der Kombinationsregeln können nachträglich geändert werden. In der Liste stehen einige Vorschläge zur Auswahl.

Anwenden

Das Kontrollfeld steuert, ob die selektierte Kombinationsregel bei der Erzeugung von Einwirkungskombinationen berücksichtigt wird. Auf diese Weise lassen sich Bemessungssituationen von der Generierung ausklammern oder wieder aktivieren.

Bemessungssituation

In den Normen sind die Situationen beschrieben, für die die Tragwerksnachweise erfüllt werden müssen. Diese Bemessungssituationen erfassen die Bedingungen, die während der Ausführung und Nutzung des Tragwerks zu erwarten sind.

Für EN 1990 stehen in der Liste folgende Bemessungssituationen zur Auswahl:

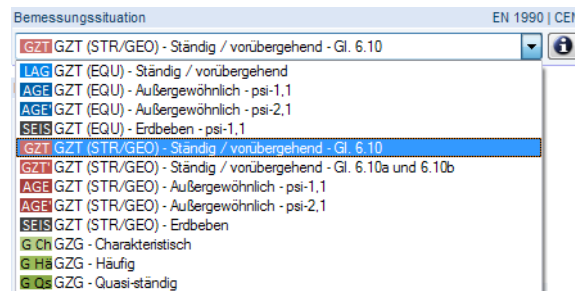


Bild 5.12 Bemessungssituationen nach EN 1990



Bei den Normen DIN 1055-100, DIN EN 1990 und EN 1990 + DIN EN 1995 stehen zusätzlich die Bemessungssituationen *Außergewöhnlich - Schnee* zur Auswahl, in denen die Faktoren für die Norddeutsche Tiefebene berücksichtigt werden.



Über die [Info]-Schaltfläche kann die Kombinationsregel der aktuellen Bemessungssituation überprüft werden. Es öffnet sich ein Dialog, der die Gleichung mit den relevanten Parametern erläutert.

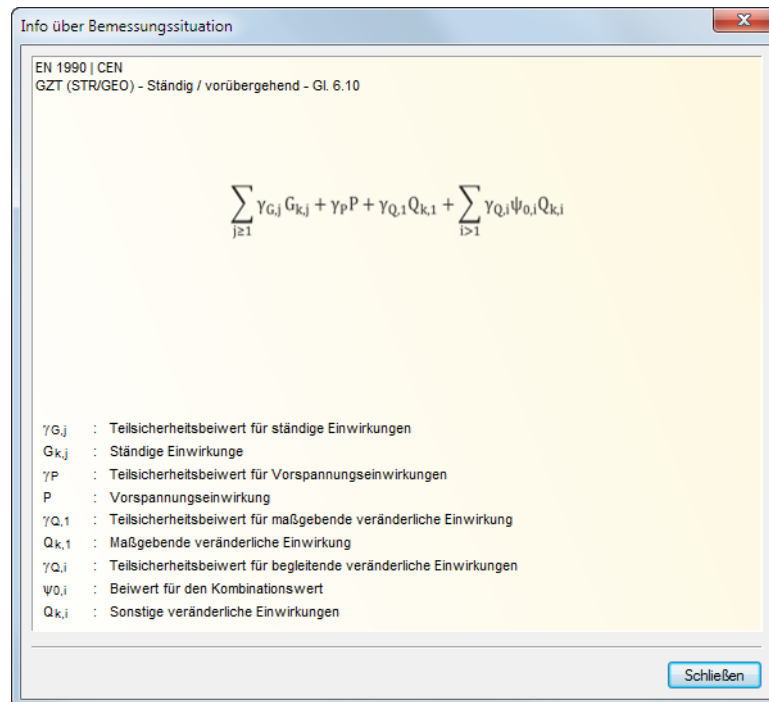


Bild 5.13 Dialog Info über Bemessungssituation

Günstige ständige Einwirkungen

Mit dieser Option wird bei der Generierung zwischen günstig und ungünstig wirkenden ständigen Einwirkungen unterschieden. Sie fließen mit unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten in die Überlagerung ein; es entstehen zusätzliche Kombinationen.

Die Einstellungen dieses Kontrollfeldes wirken sich nur auf die Bemessungssituationen der Tragfähigkeit aus. Für die Bemessungssituation „Lagesicherheit“ erfolgt die Unterscheidung zwischen günstig und ungünstig wirkenden ständigen Einwirkungen automatisch, während für die Bemessungssituation „Gebrauchstauglichkeit“ die ständigen Einwirkungen nicht differenziert werden.

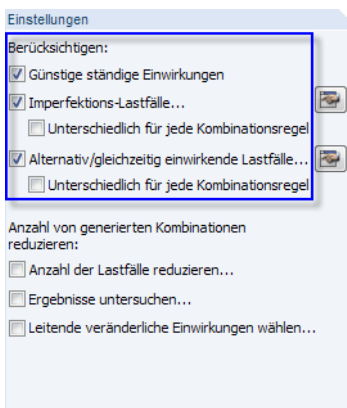
Imperfektions -Lastfälle

Bei den Lastfällen unterscheidet RFEM zwischen zwei Kategorien: Standardlastfälle und Lastfälle des Typs *Imperfektion*. Diese Sonderbehandlung der Imperfektion erlaubt es, jede mögliche Lastkombination einmal mit und einmal ohne Imperfektion zu bilden.

Imperfektionslastfälle werden nur bei der Generierung von Lastkombinationen berücksichtigt.

Das Kontrollfeld *Unterschiedlich für jede Kombinationsregel* ermöglicht es, die Imperfektionen bei den Kombinationsregeln separat anzusetzen: Nach EN 1992-1-1 beispielsweise müssen Imperfektionen für die Tragfähigkeitsnachweise berücksichtigt werden. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise können ohne Imperfektionen erfolgen.

Beim Anhängen des Kontrollfeldes wird die Schaltfläche [Einstellungen] bzw. zugänglich. Sie ruft den Dialog *Einstellungen* für spezifische Vorgaben zu den Imperfektionslastfällen auf.



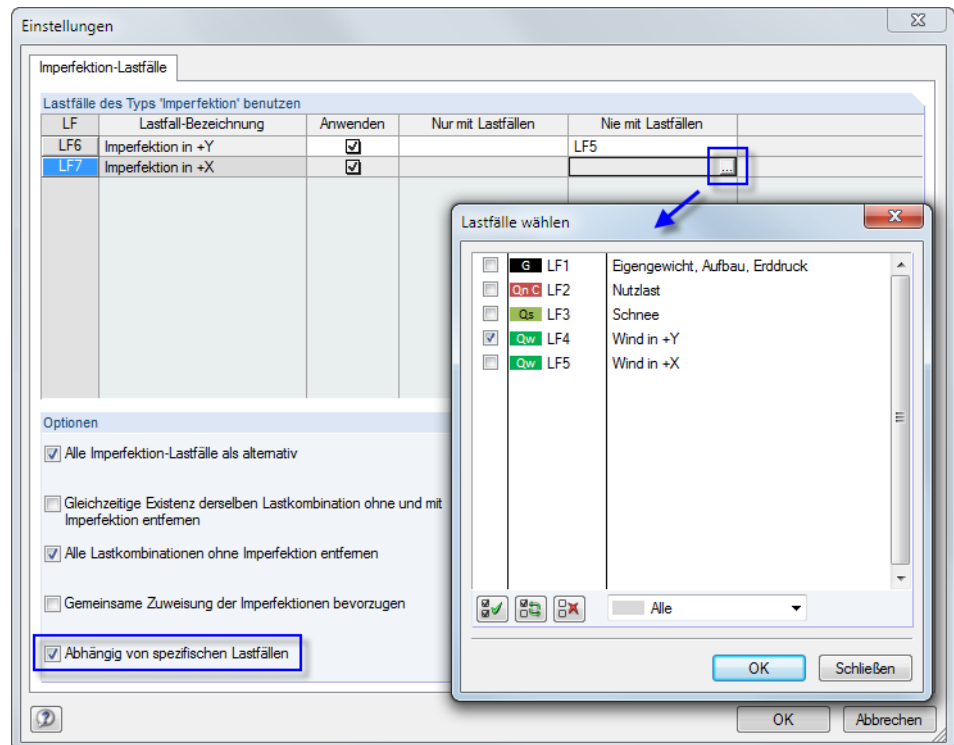


Bild 5.14 Dialog Einstellungen mit Dialog Lastfälle wählen zur Selektion von Lastfällen

Im Abschnitt **Lastfälle des Typs 'Imperfektion' benutzen** sind alle Lastfälle aufgelistet, die als Einwirkungstyp „Imperfektion“ klassifiziert wurden (siehe [Kapitel 5.1](#)). Über die Kontrollfelder der Spalte **Anwenden** kann im Einzelnen gesteuert werden, welche dieser Lastfälle in die Generierung der Lastkombinationen einfließen.

Die Spalten **Nur mit Lastfällen** und **Nie mit Lastfällen** werden angezeigt, wenn die Imperfektionslastfälle **Abhängig von spezifischen Lastfällen** sind (Beschreibung siehe unten).

Der Abschnitt **Optionen** steuert, wie die Imperfektionslastfälle berücksichtigt werden. Wirken **Alle Imperfektionslastfälle als alternativ**, wird in jeder LK nur ein einziger Imperfektionslastfall angesetzt.

Mit dem Kontrollfeld **Gleichzeitige Existenz derselben Lastkombination ohne und mit Imperfektion entfernen** kann die Anzahl der erzeugten Lastkombinationen reduziert werden: Bei gleichartigen Kombinationen werden die Konstellationen ohne Imperfektionslastfall unterdrückt. Es lassen sich auch grundsätzlich **Alle Lastkombinationen ohne Imperfektion entfernen**.

Liegen mehrere Imperfektionslastfälle vor, kann mit dem Kontrollfeld **Gemeinsame Zuweisung der Imperfektionen bevorzugen** die separate Zuweisung zu Lastkombinationen unterbunden werden.

Mit der Option **Abhängig von spezifischen Lastfällen** lässt sich die Anzahl der generierten Lastkombinationen weiter reduzieren. Im Abschnitt oberhalb werden dann die beiden zusätzlichen Spalten **Nur mit Lastfällen** und **Nie mit Lastfällen** eingeblendet. Nach einem Klick in eine Zelle ist die Schaltfläche zugänglich, die den Dialog **Lastfälle wählen** aufruft. Dort kann eine Beziehung zwischen dem Imperfektionslastfall und einem oder mehreren zugehörigen bzw. sich ausschließenden Lastfällen definiert werden (siehe [Bild 5.14](#)).

Alternativ/gleichzeitig einwirkende Lastfälle

Um die Anzahl der erzeugten Lastkombinationen weiter zu reduzieren, können Lastfälle als sich gegenseitig ausschließend bzw. nur gemeinsam auftretend klassifiziert werden. Das Kontrollfeld **Unterschiedlich für jede Kombinationsregel** ermöglicht es, die Konstellationen der Lastfälle bei den Kombinationsregeln separat zu definieren.

Beim Anhängen des Kontrollfeldes wird die Schaltfläche bzw. zugänglich, die einen Dialog mit detaillierten Vorgaben zum Ansatz von Lastfällen aufruft.

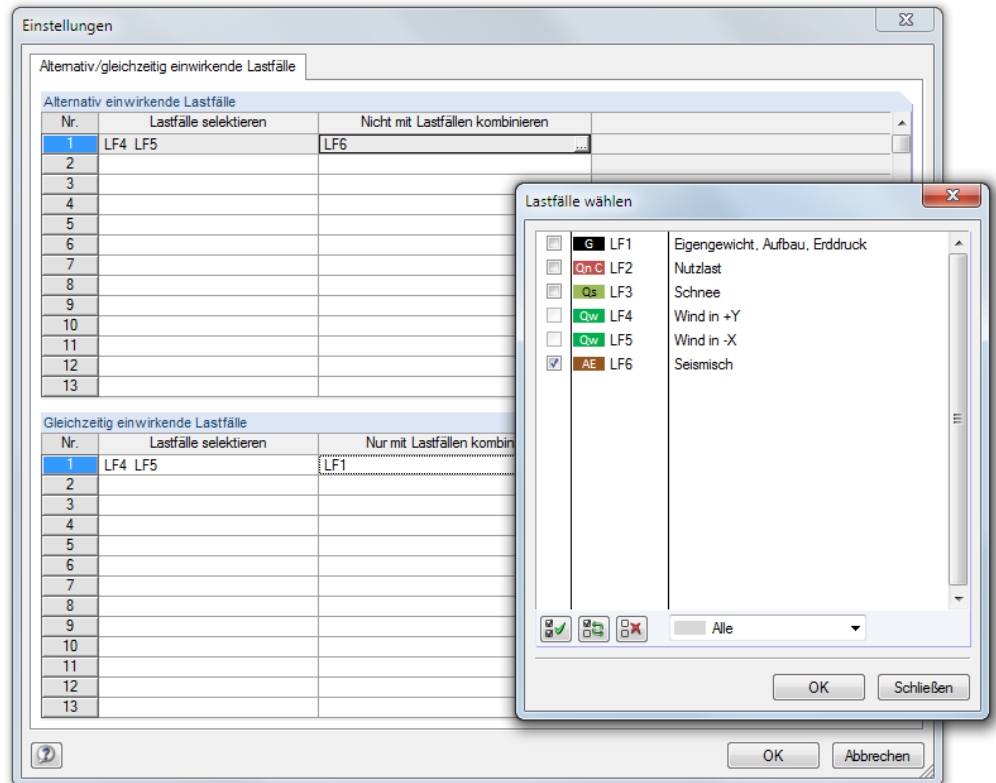


Bild 5.15 Dialog Einstellungen, Register Alternativ/gleichzeitig wirkende Lastfälle mit Dialog Lastfälle wählen

Im Abschnitt **Alternativ einwirkende Lastfälle** ist zunächst in der Spalte *Lastfälle selektieren* ein Lastfall einzutragen oder über die Schaltfläche im Dialog *Lastfälle wählen* festzulegen. In der Spalte *Nicht mit Lastfällen kombinieren* kann dann festgelegt werden, welcher oder welche Lastfälle nie gemeinsam mit diesem Lastfall in der Lastkombination berücksichtigt werden sollen. Auf diese Weise lässt sich z. B. vermeiden, dass Schnee- und Mannlastfälle kombiniert werden.

Im Abschnitt **Gleichzeitig einwirkende Lastfälle** lassen sich die Vorgaben analog für Lastfälle treffen, die in jeder Lastkombination stets gemeinsam erscheinen sollen. Diese Beziehungen sind jedoch nur wirksam, wenn die Option *Anzahl von generierten Kombinationen reduzieren infolge Ergebnisse untersuchen* (siehe unten) **nicht** aktiviert ist.

Die Vorgaben des Abschnitts *Inklusive Lastfälle* werden nur bei der Generierung von Lastkombinationen berücksichtigt, nicht bei Ergebniskombinationen.

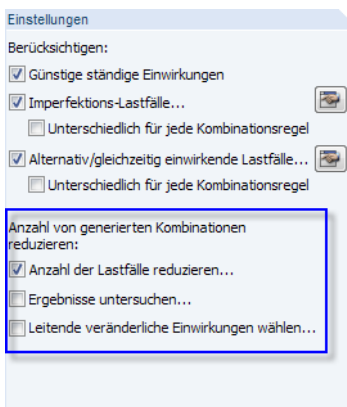
Anzahl von generierten Kombinationen reduzieren

Die Komplexität des Tragwerks und die Anzahl der Einwirkungen und Lastfälle beeinflussen die Anzahl der generierten Kombinationen erheblich. RFEM bietet drei Möglichkeiten an, mit denen sich die Anzahl der Konstellationen wirkungsvoll reduzieren lässt. Die ersten beiden Verfahren sind nur für die Generierung von Lastkombinationen verfügbar, nicht für Ergebniskombinationen. Sie sind in einem [Beispiel](#) erläutert.

Anzahl der Lastfälle reduzieren

Mit dieser Option lässt sich die Anzahl der Lastfälle, die in den Lastkombinationen auftreten, generell begrenzen. Das Kontrollfeld ist im Register *Basis* der *Kombinationsregeln* zugänglich (siehe [Bild 5.10](#)). Dieses Verfahren untersucht, welche Lastfälle positive bzw. negative Schnittgrößen und Verformungen liefern. Anschließend werden alle positiv wirkenden und alle negativ wirkenden Lastfälle zusammengefasst. Damit werden in den Kombinationen nur diejenigen Lastfälle berücksichtigt, die für die Maximal- bzw. Minimalwerte relevant sind.

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Anzahl der Kombinationen deutlich reduziert



werden kann – was sich positiv auf die Dauer der Berechnung und Auswertung auswirkt. Als Nachteil ist zu anzuemerken, dass bei ungünstigen Lastkonstellationen und Vorgaben für die Reduzierung ein gewisser Unsicherheitsfaktor besteht, die Extremwerte zu finden.

Beim Anhaken des Kontrollfeldes erscheint das Zusatzregister *Reduzieren - Anzahl der Lastfälle*. Dort kann im Detail festgelegt werden, welche Lastfälle, Schnittgrößen und Objekte bei der Bildung der maßgebenden Kombinationen berücksichtigt werden sollen.

Auswahl der Lastfälle

Manuell

Automatisch

Maximale Anzahl der relevantesten Lastfälle: 3

Vernachlässigung der Lastfälle, deren Ergebnisse im Vergleich zu den relevantesten kleiner sind als: [%] 10

Zu berücksichtigende Lastfälle

Gruppe Nr.	Zu berücksichtigende Lastfälle
1	LF1
2	LF1,LF2
3	LF1,LF3
4	LF1,LF4
5	LF1,LF2,LF4
6	LF1,LF3
7	LF1,LF3,LF4
8	LF1,LF4

Zu untersuchende Ergebnisse

- Globale Verformungen
- Stäbe
 - Lokale Verformungen
 - Schnittgrößen
 - N
 - Vy
 - Vz
 - M-T
 - My
 - M-z
- Flächen
- Lagerreaktionen

Für jedes Objekt getrennt zuordnen

Zu untersuchende Ergebnisse von Objekten

Knoten Nr.: 13,14 Alle

Linien Nr.: 5 Alle

Flächen Nr.: Alle

Volumenkörper Nr.: Alle

Stäbe Nr.: Alle

< Automatisch ermitteln

Kombinationsart:

Zu berücksichtigende Lastfälle kombinieren

Zu berücksichtigende Lastfälle in Gruppen zusammenfassen

Bild 5.16 Register *Reduzieren - Anzahl der Lastfälle* für Kombinationsregeln



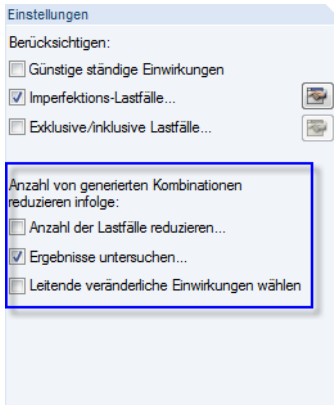
Die Lastfälle können *Manuell* ausgewählt oder *Automatisch* auf Basis von Relevanzkriterien ermittelt werden. Der Klick auf die Schaltfläche [Automatisch ermitteln] startet eine Berechnung, um die maximalen und minimalen Schnittgrößen, Verformungen und Lagerreaktionen in den Lastfällen zu ermitteln.

Bei der automatischen Ermittlung ist festzulegen, welche *Ergebnisse* (Verformungen, Stab- und Flächenschnittgrößen, Lagerreaktionen) und welche *Objekte* (Knoten, Flächen, Stäbe etc.) bei der Auswertung der Lastfälle berücksichtigt werden sollen. Die relevanten Objekte können mit grafisch ausgewählt werden, sobald das Kontrollfeld *Alle* deaktiviert ist. Mit dem Kontrollfeld *Für jedes Objekt getrennt zuordnen* ist es möglich, Objekten spezifische Ergebnisarten für die Untersuchung zuzuweisen.

Wie viele Lastfälle nach Berechnung in einer *Gruppe* enthalten sind, hängt von den Einstellungen im Abschnitt *Auswahl der Lastfälle* ab:

- Bei der Option **Maximale Anzahl der relevantesten Lastfälle** liegt in einer Gruppe entweder die vorgegebene Höchstanzahl an Lastfällen oder nur positiv bzw. negativ wirkende Lastfälle in einer geringeren Anzahl vor.
- Es ist eine **Vernachlässigung der Lastfälle** möglich, die nur einen sehr geringen Beitrag zu den Maximal- und Minimalwerten leisten. Die Prozentangabe ist auf die Schnittgrößen, Verformungen und Lagerkräfte der Lastfälle bezogen, die jeweils die Extremwerte liefern.

Imperfektionslastfälle werden nicht zur automatischen Bildung der Gruppen herangezogen.



Ergebnisse untersuchen

Es werden nur die maßgebenden Lastkombinationen erzeugt (für Ergebniskombinationen steht diese Möglichkeit nicht zur Verfügung).

Beim Aktivieren des Kontrollfeldes wird im Dialog das neue Register *Reduzieren - Ergebnisse untersuchen* hinzugefügt.

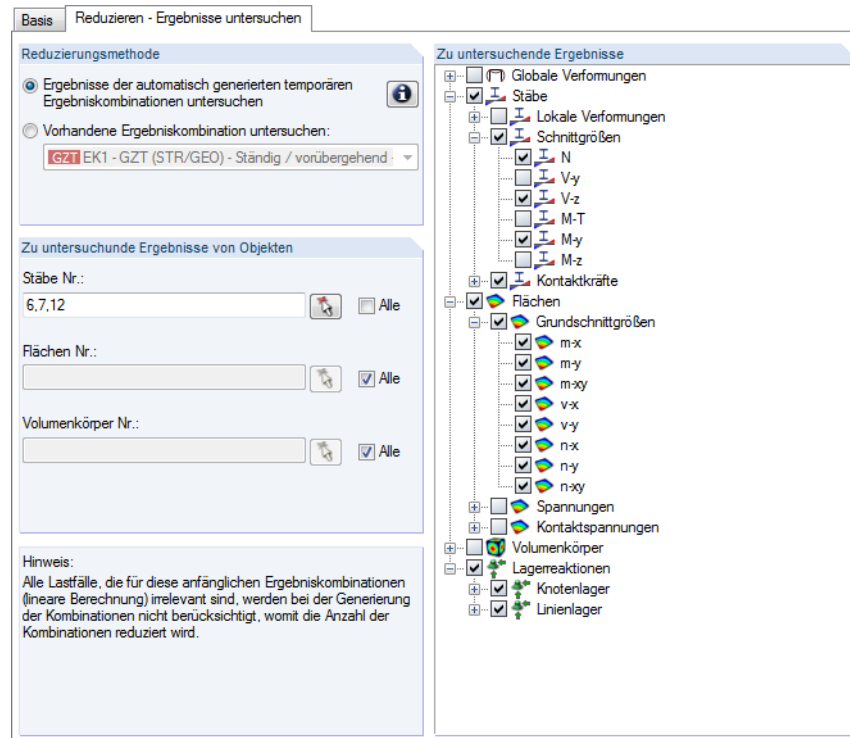



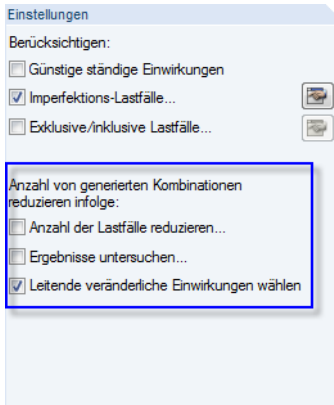
Bild 5.17 Register *Reduzieren - Ergebnisse untersuchen* für Kombinationsregeln

Die erste *Reduzierungsmethode* besteht darin, automatisch generierte temporäre Ergebniskombinationen auswerten zu lassen. Die temporären Ergebniskombinationen umfassen alle im Modell angelegten Lastfälle und berücksichtigen auch alle Beziehungen zwischen ihnen. Anhand der Ergebnisse an jedem FE-Knoten wird untersucht, welche gleichzeitig wirkenden Lastfälle dort ein Maximum oder ein Minimum hervorrufen. Die Reduzierungsmethode basiert auf der Annahme, dass nur die Kombinationen maßgebend sein können, die genau diese gleichzeitig wirkenden Lastfälle beinhalten.

Alternativ lassen sich die Ergebnisse einer benutzerdefinierten Ergebniskombination für die Reduzierung der Ergebnisse heranziehen.

Im Abschnitt *Zu untersuchende Ergebnisse* rechts kann festgelegt werden, welche Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen oder Lagerreaktionen bei der Ermittlung der Extremwerte berücksichtigt werden sollen.

Im Abschnitt *Zu untersuchende Ergebnisse von Objekten* bestehen Möglichkeiten, die Extremwertanalyse auf die Ergebnisse ausgewählter Stäbe, Flächen und Volumen zu beschränken. Mit  können die Objekte grafisch ausgewählt werden.



Leitende veränderliche Einwirkungen wählen

Die dritte Möglichkeit, die Anzahl der generierten Kombinationen zu reduzieren, besteht darin, nur ausgewählte Einwirkungen als Leiteinwirkungen zu klassifizieren. Diese Option besteht sowohl für die Generierung von Last- als auch von Ergebniskombinationen.

Beim Aktivieren des Kontrollfeldes wird im Dialog das neue Register *Reduzieren - Leitende Einwirkungen* hinzugefügt.

Maßgebende veränderliche Einwirkungen wählen					
Einwirkung	Einwirkung Bezeichnung	EN 1990 CEN Einwirkungskategorie	Lastfälle in Einwirkung	Leitende Einwirkungen	
E2	Nutzlasten	On C Nutzlasten - Kategor	LF2	<input checked="" type="checkbox"/>	
E3	Schnee	On S Schnee (H <le> 100	LF3	<input type="checkbox"/>	
E4	Wind	On W Wind	LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	

Bild 5.18 Register *Reduzieren - Leitende veränderliche Einwirkungen* für Kombinationsregeln

Die Liste der leitenden Einwirkungen enthält nur veränderliche Einwirkungen.

Wird in der Spalte *Leitende Einwirkungen* das Häkchen von einem Eintrag entfernt, so wird diese Einwirkung nur als Begleiteinwirkung überlagert.

Nummerierung der generierten Kombinationen

In diesem Abschnitt des Dialogs *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* (siehe [Bild 5.10](#)) kann die *Erste Nummer der generierten Lastkombinationen* bzw. *Ergebniskombinationen* beeinflusst werden, die in RFEM angelegt werden.

Ergebniskombinationen

Optional lässt sich eine *Zusätzliche „Entweder-Oder“-Ergebniskombination (Ergebnishüllende)* erzeugen. Diese Ergebniskombination überlagert die Extremwerte aller Last- oder Ergebniskombinationen nach folgendem Schema:

„LK1/ständig oder LK2/ständig oder LK3/ständig etc.“

Sind mehrere Kombinationsregeln für die Generierung vorgegeben, so lässt sich eine *Separate „Entweder/Oder“-Ergebniskombination für jede Kombinationsregel* erzeugen.

Berechnungsart

Über die Liste lässt sich steuern, nach welcher Berechnungstheorie die Kombinationen untersucht werden (siehe [Kapitel 7.3.1.1](#)). Für Lastkombinationen ist die nichtlineare Berechnung nach Theorie II. Ordnung (P-Delta) voreingestellt.

Generierte Einwirkungskombinationen

Dieser Abschnitt bzw. diese Spalte wird im Zuge der Generierung gefüllt, die beim Verlassen des Dialogregisters bzw. der Tabelle automatisch erfolgt. Die Einträge bieten eine Kurzübersicht über die Anzahl der generierten Kombinationen.

RFEM erzeugt mit den Vorgaben des Dialogs bzw. der Tabelle so genannte „Einwirkungs-kombinationen“ (EW). Sie sind im folgenden Kapitel beschrieben. Anhand der Einträge im aktuellen Dialog lässt sich abschätzen, wie sich die Kombinationsregeln auf die Anzahl der Kombinationen auswirken.

Generierte Einwirkungskombinationen
EW1 ... EW13 (13/47)
EW14 ... EW26 (13/47)
EW27 ... EW39 (13/47)
EW40 ... EW47 (8/47)

Im links dargestellten Beispiel werden für die vier vorgegebenen Bemessungssituationen insgesamt 47 Einwirkungskombinationen generiert:

■ **GZT (STR/GEO):**

EW1 bis EW13

■ **GZG - Charakteristisch:**


EW14 bis EW26

■ **GZG - Häufig:**

EW27 bis EW39

■ **GZG - Quasi-ständig:**

EW40 bis EW47

Mit der Dialog-Schaltfläche  erfolgt ein Sprung in das nächste Register, wobei RFEM automatisch die Einwirkungskombinationen ermittelt. Dort ist die erste Einwirkungskombination selektiert, die mit der aktuellen Kombinationsregel erzeugt wird.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden.

Beispiel: Anzahl generierter Kombinationen reduzieren

Die Kombination von Einwirkungen zielt darauf ab, für jede Stelle des Tragwerks die ungünstigste Lastkonstellation zu finden. Hierzu kann man

- entweder alle mathematisch möglichen Kombinationen ermitteln
- oder man versucht logische Zusammenhänge vor der Kombination der Einwirkungen zu finden, um so die Anzahl der möglichen Kombinationen zu verringern.

Bei einem symmetrischen Zweigelenrahmen beispielsweise liegen folgende Lastfälle vor:

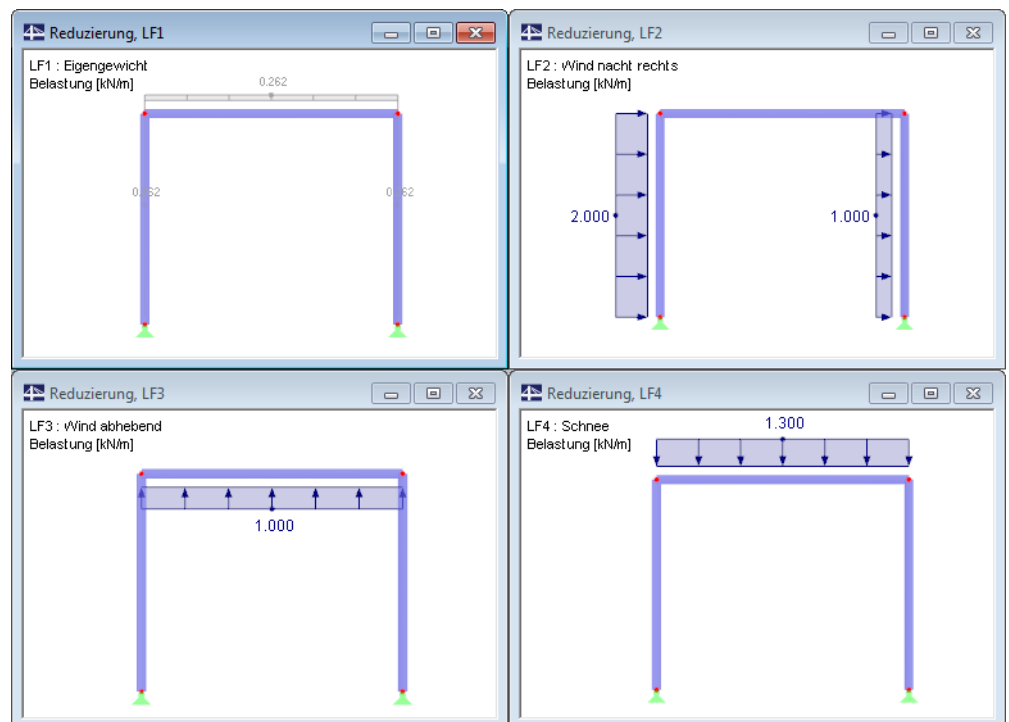
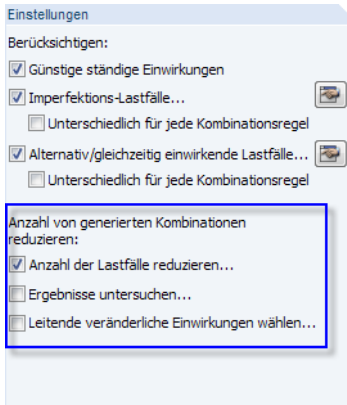


Bild 5.19 Zweigelenrahmen mit vier Lastfällen



Option *Anzahl der Lastfälle reduzieren*

Die Lastfälle führen zu folgenden Normalkräften in den Stützen:

Lastfall	Bezeichnung	Wirkung	N-Kraft Stütze links	N-Kraft Stütze rechts
1	Eigengewicht	ständig	Druck	Druck
2	Wind nach rechts	veränderlich	Zug	Druck
3	Wind abhehend	veränderlich	Zug	Zug
4	Schnee	veränderlich	Druck	Druck

Tabelle 5.3 Zug- und Druckkräfte der Stützen

Theoretisch sind folgende acht Kombinationen möglich:

$$\text{LK1: } \text{LF1} + \text{LF2} + \text{LF3} + \text{LF4}$$

$$\text{LK2: } \text{LF1}$$

$$\text{LK3: } \text{LF1} + \text{LF2}$$

$$\text{LK4: } \text{LF1} + \text{LF3}$$

$$\text{LK5: } \text{LF1} + \text{LF4}$$

$$\text{LK6: } \text{LF1} + \text{LF2} + \text{LF3}$$

$$\text{LK7: } \text{LF1} + \text{LF3} + \text{LF4}$$

$$\text{LK8: } \text{LF1} + \text{LF2} + \text{LF4}$$

Diese acht Kombinationen können reduziert werden, falls z. B. nur die Konstellationen mit den Extremwerten der Stützennormalkräfte gesucht sind. Es kann für jede Stütze eine Gruppe der Lastfälle gebildet werden, die — unter Berücksichtigung des ständigen wirkenden LF1 — ausschließlich Zug- oder Druckkräfte liefern.

Gruppe	Stütze links	Stütze rechts
Zugkräfte	LF1, LF2, LF3	LF1, LF3
Druckkräfte	LF1, LF4	LF1, LF2, LF4

Tabelle 5.4 Gruppen von Lastfällen

Damit ergeben sich nicht mehr acht, sondern nur noch vier Kombinationen von Lastfällen.

Diese Reduzierung ist im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* (siehe Bild 5.10) zu realisieren, indem

- das Kontrollfeld *Anzahl der Lastfälle reduzieren* aktiviert,
- im Register *Reduzieren - Anzahl der Lastfälle*, Abschnitt *Zu untersuchende Ergebnisse* nur die Normalkräfte angehakt und
- im Abschnitt *Zu untersuchende Ergebnisse von Objekten* nur die Nummern der Stützenstäbe eingetragen werden (siehe Bild 5.20).



Nach dem Anklicken der Schaltfläche [Automatisch ermitteln] führt RFEM eine kurze Berechnung durch. Danach werden im Abschnitt *Zu berücksichtigende Lastfälle* die vier Gruppen von Lastfällen aufgelistet, die auch in Tabelle 5.4 dargestellt sind.

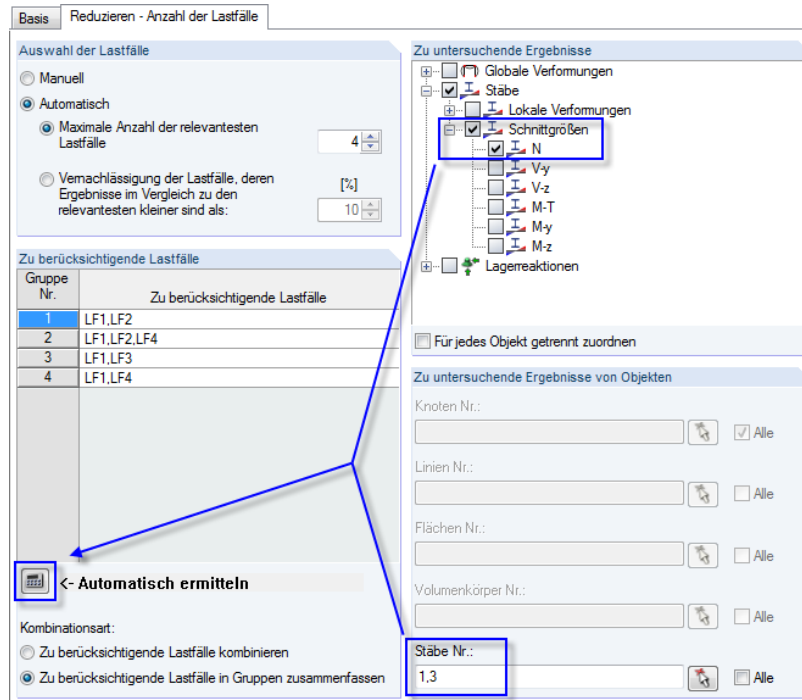
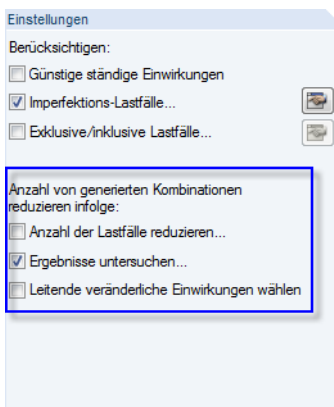


Bild 5.20 Automatische Ermittlung von Lastfällen in Gruppen



Option Ergebnisse untersuchen

Bei dieser Methode wird aus den Lastfällen eine lineare Ergebniskombination gebildet. Für jeden Punkt werden die Extremwerte und die beteiligten Lastfälle ausgewertet, sodass jeweils eine Max- und eine Min-Kombination von Lastfällen vorliegt. Diese extremen Kombinationen werden dann für die Erzeugung der Lastfall-Kombinationen verwendet.

Die Lastfälle führen zu folgenden Normalkräften N in den Stützen:

LF	Bezeichnung	Wirkung	N Stütze links	N Stütze rechts
1	Eigengewicht	ständig	Druck (-10 kN)	Druck (-10 kN)
2	Wind nach rechts	veränderlich	Zug (5 kN)	Druck (-5 kN)
3	Wind abhebend	veränderlich	Zug (3 kN)	Zug (3 kN)
4	Schnee	veränderlich	Druck (-12 kN)	Druck (-12 kN)

Tabelle 5.5 Zug- und Druckkräfte der Stützen

RFEM bildet diese temporäre Ergebniskombination: LF1/ständig + LF2 + LF3 + LF4

Für die Normalkräfte der Stützen ergeben sich bei der Überlagerung folgende Extremwerte:

Gruppe	Stütze links	Stütze rechts
Maximale Normalkraft	-2 kN (LF1, LF2, LF3)	-7 kN (LF1, LF3)
Minimale Normalkraft	-22 kN (LF1, LF4)	-27 kN (LF1, LF2, LF4)

Tabelle 5.6 Gruppen von Lastfällen

Auch damit ergeben sich nicht mehr acht, sondern nur noch vier Kombinationen von Lastfällen.

Die Vorgaben im Register Reduzieren - Ergebnisse untersuchen sind analog zu Bild 5.20 zu treffen.

5.4

Einwirkungskombinationen

Allgemeine Beschreibung

Beim Aufruf dieses Dialogregisters bzw. der Tabelle 2.4 werden die Einwirkungen automatisch gemäß den Kombinationsregeln überlagert und als so genannte „Einwirkungskombinationen“ ausgewiesen. Die Übersicht ist nach Einwirkungen geordnet. Sie entspricht der Art und Weise, wie die Einwirkungen in den Normen behandelt werden. Hier kann festgelegt werden, welche Einwirkungskombinationen letztendlich für die Generierung von Last- bzw. Ergebniskombinationen infrage kommen.

Eine Einwirkungskombination umfasst sämtliche Möglichkeiten, wie die in der Einwirkung enthaltenen Lastfälle kombiniert werden können. Sie darf daher nicht mit einer Last- oder Ergebniskombination verwechselt werden, die nur eine einzelne Variante dieser Möglichkeiten darstellt.

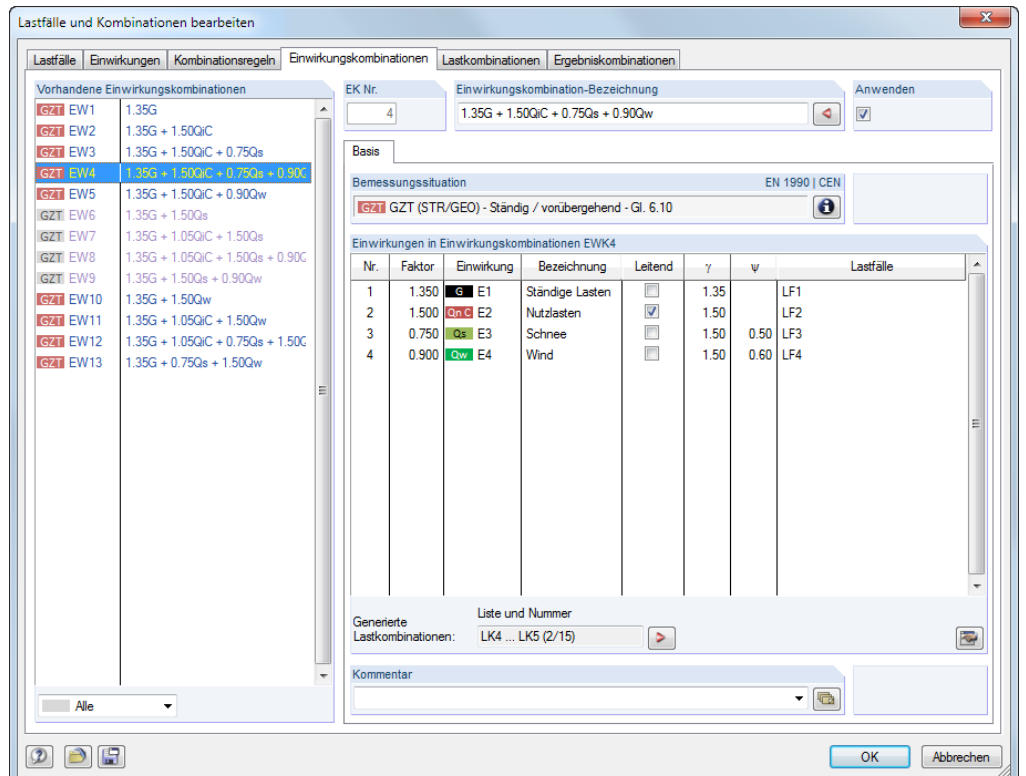
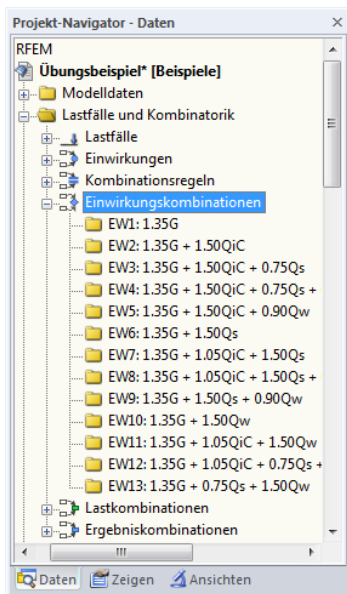


Bild 5.21 Dialog Lastfälle und Kombinationen bearbeiten, Register Einwirkungskombinationen

2.4 Einwirkungskombinationen

Einwirk.-Kombin.	A Einwirkungskombination Bezeichnung	B Anwenden	C EN 1990 CEN Bemessungssituation	D Einwirkung.1 Faktor Nr.	E Einwirkung.2 Faktor Nr.	F Einwirkung.3 Faktor Nr.	G Einwirkung.4 Faktor Nr.	H Einwirkung.5 Faktor Nr.	I Einwirkung.6 Faktor Nr.	J Einwirkung.7 Faktor Nr.	K Einwirkung.8 Faktor Nr.	L Generierte Lastkombinationen
EW1	1.35G	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1							LK1 (1/15)
EW2	1.35G + 1.50QiC	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qn C E2					LK2 (1/15)
EW3	1.35G + 1.50QiC + 0.75Qs	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qn C E2	0.75	Qs E3			LK3 (1/15)
EW4	1.35G + 1.50QiC + 0.75Qs	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qn C E2	0.75	Qs E3	0.90	Qw E4	LK4 ... LK5 (2/15)
EW5	1.35G + 1.50QiC + 0.90Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qn C E2	0.90	Qw E4			LK6 ... LK7 (2/15)
EW6	1.35G + 1.50Qs	<input type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qs E3					
EW7	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qs	<input type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Qn C E2	1.50	Qs E3			
EW8	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qs	<input type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Qn C E2	1.50	Qs E3	0.90	Qw E4	
EW9	1.35G + 1.50Qs + 0.90Qw	<input type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qs E3	0.90	Qw E4			
EW10	1.35G + 1.50Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Qw E4					LK8 ... LK9 (2/15)
EW11	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Qn C E2	1.50	Qw E4			LK10 ... LK11 (2/15)
EW12	1.35G + 1.05QiC + 0.75Qs	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Qn C E2	0.75	Qs E3	1.50	Qw E4	LK12 ... LK13 (2/15)
EW13	1.35G + 0.75Qs + 1.50Qw	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	0.75	Qs E3	1.50	Qw E4			LK14 ... LK15 (2/15)

Lastfälle | Einwirkungen | Kombinationsregeln | Einwirkungskombinationen | Lastkombinationen | Ergebniskombinationen

Aktiv

Bild 5.22 Tabelle 2.4 Einwirkungskombinationen

Einwirkungskombination Nr.

Die aus den Einwirkungen generierten Kombinationen sind fortlaufend nummeriert. Eine Einwirkungskombination umfasst sämtliche Möglichkeiten, wie die in der Einwirkung enthaltenen Lastfälle berücksichtigt werden können. Diese Möglichkeiten sind von der Einwirkungskategorie und den Kombinationsregeln abhängig.

Links unten im Abschnitt *Vorhandene Einwirkungskombinationen* des Dialogs *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* können die generierten Kombinationen nach Bemessungssituation oder Relevanz gefiltert werden.

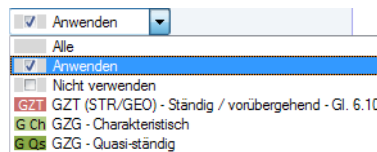



Bild 5.23 Filtermöglichkeit im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*

Einwirkungskombination Bezeichnung

RFEM vergibt automatisch Kurzbezeichnungen, die auf den Sicherheitsfaktoren und Symbolen der Einwirkungen basieren und die Kombinationsregeln ausdrücken. Diese Bezeichnungen können bei Bedarf geändert werden.


Mit der Dialog-Schaltfläche  erfolgt ein Sprung in das vorherige Register. Dort ist die Kombinationsregel selektiert, mit der die aktuelle Einwirkungskombination erzeugt wurde.

Anwenden

Das Kontrollfeld steuert, ob die selektierte Einwirkungskombination zur Erzeugung von Last- bzw. Ergebniskombinationen berücksichtigt wird. Auf diese Weise lassen sich Einwirkungskombinationen von der Generierung ausklammern oder wieder aktivieren.

Sollte eine Einwirkungskombination wegen besonderer Konstellationen doppelt erzeugt werden, ist eine davon automatisch deaktiviert.

Bemessungssituation

Die Bemessungssituation der aktuellen Einwirkungskombination wird zur Kontrolle nochmals angegeben. Über die [Info]-Schaltfläche kann die Kombinationsregel der Bemessungssituation eingesehen werden. Es öffnet sich der Dialog mit Erläuterungen (siehe Bild 5.13 ).



Einwirkungen in Einwirkungskombination

In diesen Spalten werden die Einwirkungen mit den zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten ausgewiesen.

Wird eine Einwirkung als *Leitend* in der Kombination angenommen, so ist sie im Dialog entsprechend gekennzeichnet. In diesem Fall wird sie als Einwirkung $Q_{k,1}$ in [Gleichung 5.1](#) bis [Gleichung 5.7](#) eingesetzt (siehe Kapitel [5.3 Kombinationsregeln](#)).

Die in Spalte *Factor* angegebenen Werte basieren auf den Beiwerten, die von der gewählten Norm abhängig sind. Bei EN 1990 handelt es sich um die Teilsicherheitsbeiwerte γ , Kombinationsbeiwerte ψ , Abminderungsfaktoren ξ und ggf. Zuverlässigkeitsbeiwerte K_{FI} einer jeden Einwirkung, die sich aus der Bemessungssituation und der Einwirkungskategorie ergeben.

Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte können über die Schaltfläche [Bearbeiten] überprüft und – bei einer benutzerdefinierten Norm – angepasst werden. Im Dialog *Beiwerte* sind die Beiwerte in mehreren Registern organisiert. Das erste Register *Teilsicherheitsbeiwerte* ist im [Bild 12.27](#) dargestellt. Im Register *Kombinationsbeiwerte* werden die Faktoren ψ und ξ verwaltet.

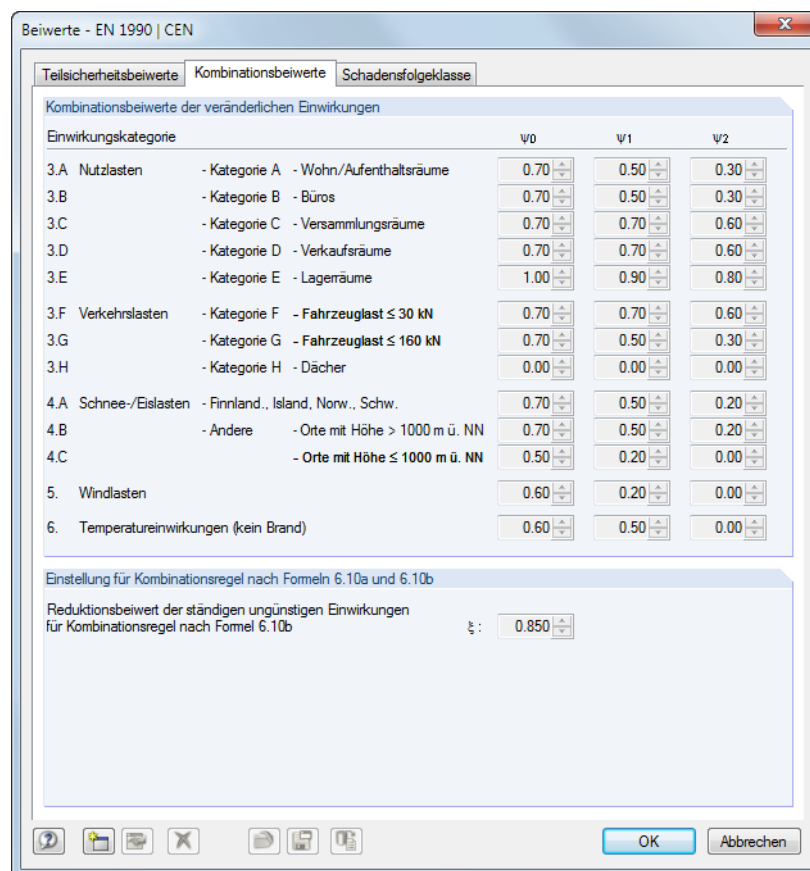


Bild 5.24 Dialog Beiwerte, Register Kombinationsbeiwerte

Der Dialogabschnitt *Einwirkungen in Einwirkungskombination* listet die in den Einwirkungen enthaltenen Lastfälle mit allen Möglichkeiten auf, wie diese Lastfälle in der Einwirkung berücksichtigt werden können. Diese Möglichkeiten sind vom Einwirkungstyp und von der definierten Wirkung (gleichzeitig oder alternativ) abhängig. Es ist vorausgesetzt, dass bei den Einwirkungstypen „Ständige Lasten“ und „Vorspannung“ alle zugeordneten Lastfälle immer zusammen verwendet werden, sofern die Beziehung nicht als „Alternativ“ definiert ist. Bei veränderlichen, außergewöhnlichen und seismischen Einwirkungen können die zugeordneten Lastfälle in allen relevanten Kombinationen überlagert werden.

Generierte Last- bzw. Ergebniskombinationen

Dieser Abschnitt bzw. diese Spalte wird im Zuge der Generierung gefüllt, die beim Verlassen des Dialogregisters bzw. der Tabelle automatisch erfolgt. Die Einträge bieten eine Kurzübersicht über die Nummern und Anzahl der generierten Last- bzw. Ergebniskombinationen.

Die Last- bzw. Ergebniskombinationen sind in den folgenden [Kapiteln 5.5](#) und [5.6](#) beschrieben.

Beispiel

Im links dargestellten Beispiel werden für die Bemessungssituation GZT insgesamt 47 Lastkombinationen generiert. Bei der Einwirkungskombination **EW12** (vorletzte Zeile) entstehen die vier Lastkombinationen LK40 bis LK43 mit folgendem Hintergrund:

Die erste Einwirkung E1 wurde in die Einwirkungskategorie „Ständige Lasten“ eingestuft und ist in den generierten Lastkombinationen mit dem Faktor $\gamma = 1,35$ versehen. Die enthaltenen Lastfälle 1 und 2 treten in allen Lastkombinationen gemeinsam auf.

Als zweite Einwirkung E2 liegt die Einwirkungskategorie „Schnee“ vor, die in die Lastkombinationen mit dem Faktor $\gamma \cdot \psi = 1,50 \cdot 0,50 = 0,75$ einfließt.

Die dritte Einwirkung E3 verdoppelt die Anzahl der generierten Lastkombinationen, da die Kategorie „Wind“ mit den beiden alternativ wirkenden Lastfällen 4 und 5 vorliegt. In den Lastkombinationen ist diese Einwirkung mit dem Faktor $\gamma \cdot \psi = 1,50 \cdot 0,60 = 0,90$ multipliziert.

Die vierte Einwirkung E4 ist als Einwirkungstyp „Nutzlasten - Kategorie B“ klassifiziert und ist in allen vier Lastkombinationen mit dem Faktor $\gamma = 1,50$ versehen. Hier handelt es sich um die leitende Einwirkung.

Generierte Lastkombinationen	
LK1 ... LK3 (3/47)	
LK4 ... LK6 (3/47)	
LK7 ... LK10 (4/47)	
LK11 ... LK14 (4/47)	
LK15 ... LK17 (3/47)	
LK18 ... LK21 (4/47)	
LK22 ... LK25 (4/47)	
LK26 ... LK29 (4/47)	
LK30 ... LK33 (4/47)	
LK34 ... LK36 (3/47)	
LK37 ... LK39 (3/47)	
LK40 ... LK43 (4/47)	
LK44 ... LK47 (4/47)	

Einwirkungen in Einwirkungskombinationen EW12							
Nr.	Faktor	Einwirkung	Bezeichnung	Leitend	γ	ψ	Lastfälle
1	1.350	G E1	Ständige Lasten	<input type="checkbox"/>	1.35		LF1 LF2
2	0.750	Qs E2	Schnee	<input type="checkbox"/>	1.50	0.50	LF3
3	0.900	Qw E3	Wind	<input type="checkbox"/>	1.50	0.60	LF4 LF5
4	1.500	Qn B E4	Nutzlasten	<input checked="" type="checkbox"/>	1.50		LF6

Generierte Lastkombinationen:

Bild 5.25 Einwirkungen in Einwirkungskombination EW12

Zusätzlich sind die beiden Imperfektionslastfälle 7 und 8 zu berücksichtigen, die mit den Richtungen der beiden Windlastfälle gekoppelt sind. Es sollen einmal Lastkombinationen mit und einmal ohne Imperfektionen erzeugt werden.

Mit diesen Vorgaben bildet RFEM folgende Lastkombinationen für die EW12:

$$\text{LK40: } 1.35\text{LF1} + 1.35\text{LF2} + 0.75\text{LF3} + 0.9\text{LF4} + 1.5\text{LF6}$$


$$\text{LK41: } 1.35\text{LF1} + 1.35\text{LF2} + 0.75\text{LF3} + 0.9\text{LF4} + 1.5\text{LF6} + \text{LF7}$$

5.5

Unterschied Last- und
Ergebniskombination

$$\text{LK42:} \quad 1.35\text{LF1} + 1.35\text{LF2} + 0.75\text{LF3} + 0.9\text{LF5} + 1.5\text{LF6}$$

$$\text{LK43:} \quad 1.35\text{LF1} + 1.35\text{LF2} + 0.75\text{LF3} + 0.9\text{LF5} + 1.5\text{LF6} + \text{LF8}$$

Mit der Dialog-Schaltfläche  erfolgt ein Sprung in das Register *Lastkombinationen*. Dort ist die erste Kombination selektiert, die aus der aktuellen Einwirkungskombination erzeugt wird.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden.

Lastkombinationen

Allgemeine Beschreibung

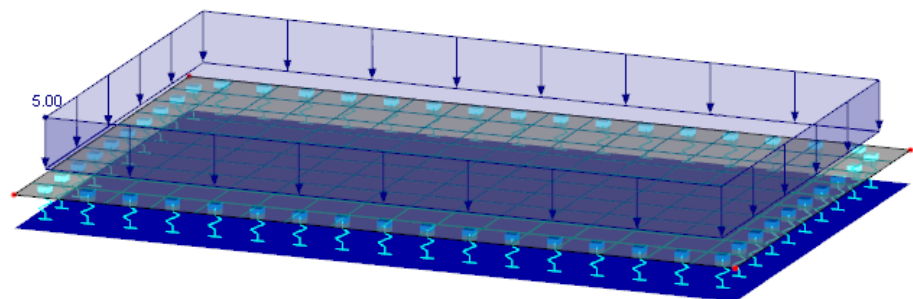
Lastfälle können in einer Lastkombination (**LK**) und in einer Ergebniskombination (**EK**) überlagert werden.

Eine Lastkombination fasst die Lasten der enthaltenen Lastfälle unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte zu „einem großen Lastfall“ zusammen, der dann berechnet wird. Bei einer Ergebniskombination (siehe [Kapitel 5.6](#)) werden zunächst die enthaltenen Lastfälle berechnet. Anschließend werden diese Ergebnisse unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren überlagert.

Die Lastfälle lassen sich manuell kombinieren (siehe [Kapitel 5.5.1](#)) oder automatisch von RFEM überlagern (siehe [Kapitel 5.5.2](#)) — je nach Einstellung im Dialog *Modell-Basisangaben* (siehe [Bild 12.23](#)). Diese Vorgabe wirkt sich auch auf das Erscheinungsbild des Registers *Lastkombinationen* im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* aus.

Wenn die Berechnung kombinierter Lastfälle nach Theorie II. oder III. Ordnung erfolgen soll, sind grundsätzlich Lastkombinationen zu bilden. Gleiches gilt für Modelle mit nichtlinearen Elementen. Das folgende Beispiel soll dies veranschaulichen.

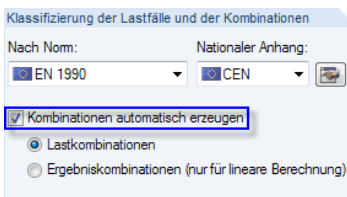
Auf eine elastisch gebettete Platte wirken zwei Lastfälle: Im ersten Lastfall wirkt die Flächenlast auf die gesamte Platte, im zweiten Lastfall nur auf einen Teil der Fläche. Das Eigengewicht wird nicht berücksichtigt. Die Bettung der Platte ist bei Zug nicht wirksam; es werden daher keine abhebenden Kräfte aufgenommen.



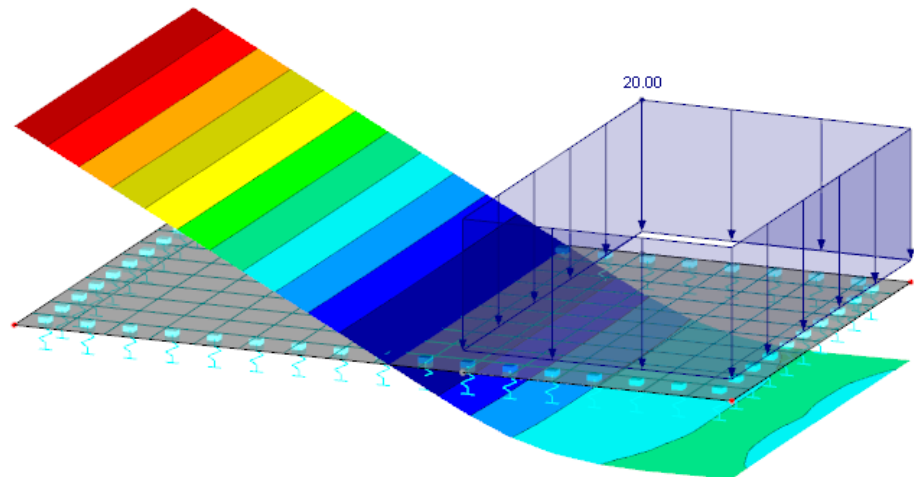
Max u: 0.2, Min u: 0.2 mm

Bild 5.26 Last und Verformung im LF 1

Die Bettung ist im Lastfall 1 für die gesamte Fläche wirksam.



Kontrollfeld im Dialog *Modell-Basisangaben*



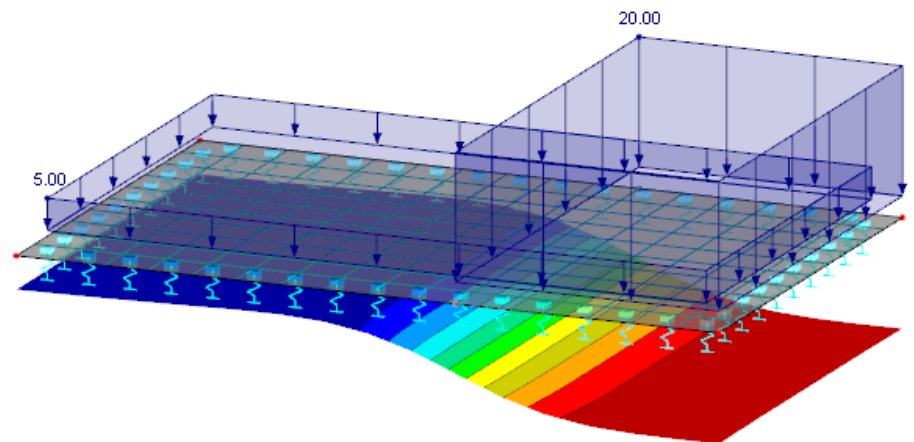
Max u: 1.1, Min u: 0.0 mm

Bild 5.27 Last und Verformung im LF 2

Im Lastfall 2 wirkt die Bettung nur im rechten Teil der Fläche. Links hebt die Platte ab.

Beim Kombinieren der beiden Lastfälle in einer **Ergebniskombination** erscheint eine Warnung, da eine Addition der Ergebnisse wegen der nichtlinearen Effekte unzulässig wäre: Den Verformungen in beiden Lastfällen liegen unterschiedliche statische Systeme zugrunde. Bei einer Ergebniskombination wäre das Abheben im linken Bereich aus dem zweiten Lastfall zu sehen.

Korrekt ist deshalb die Überlagerung in einer **Lastkombination**. Das folgende Bild zeigt, dass die Bettung für die addierten Lasten ohne Ausfall wirksam ist.



Max u: 0.6, Min u: 0.2 mm

Bild 5.28 Last und Verformung der Lastkombination

5.5.1 Benutzerdefinierte Kombinationen

Anlegen einer neuen Lastkombination

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Dialog *Lastfälle und Kombinationen* bearbeiten zum Anlegen einer Lastkombination aufzurufen:



- Menü **Einfügen** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Lastkombination**
- Schaltfläche [Neue Lastkombination] in der Symbolleiste

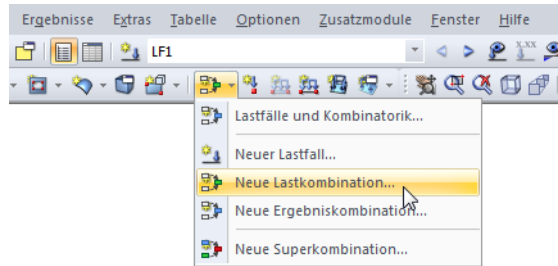


Bild 5.29 Schaltfläche Neue Lastkombination in der Symbolleiste

■ Kontextmenü des Navigatoreintrags Lastkombinationen

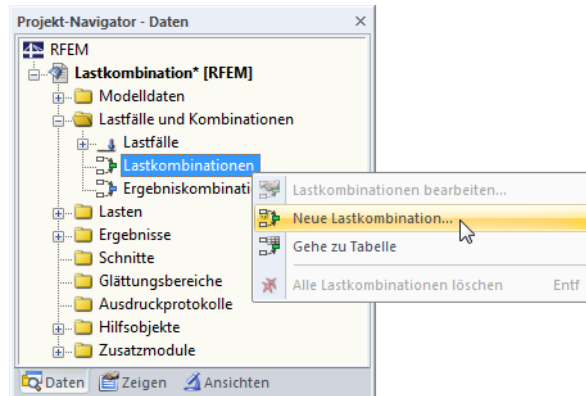


Bild 5.30 Kontextmenü Lastkombinationen im Daten-Navigator

Es erscheint der Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*. Im Register *Lastkombinationen* ist eine neue Lastkombination voreingestellt.

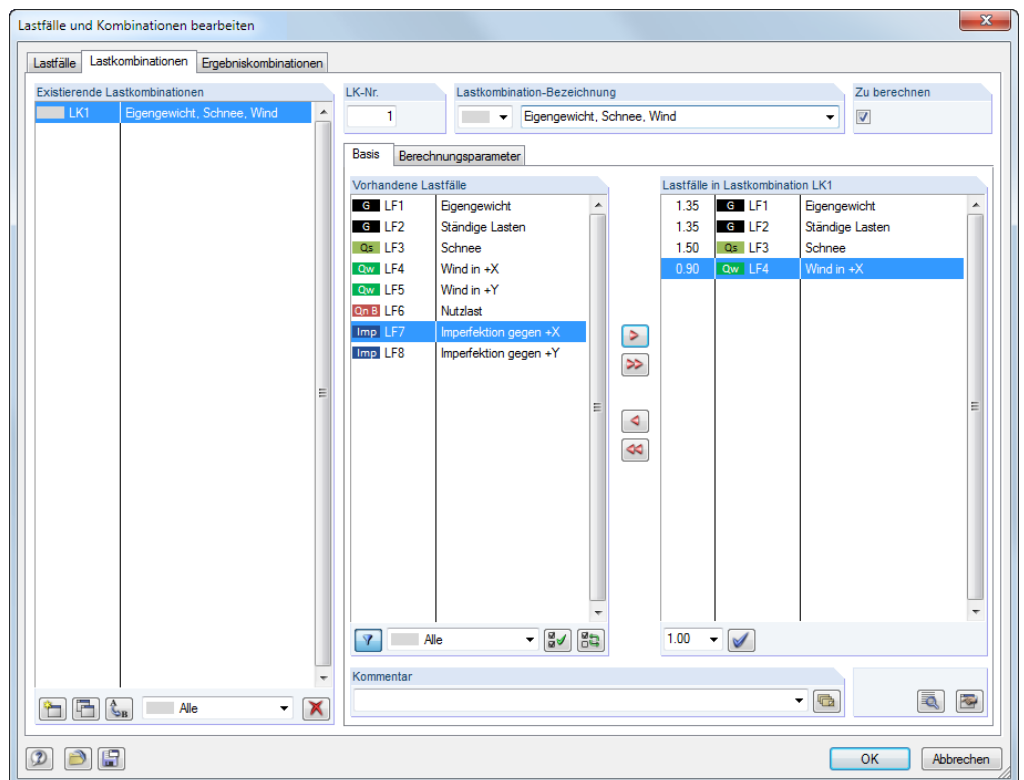


Bild 5.31 Dialog Lastfälle und Kombinationen bearbeiten, Register Lastkombinationen

Folgende Beschreibung bezieht sich auf das Register *Basis*. Das Register *Berechnungsparameter* ist im Kapitel 7.3.1 [erläutert](#).

- Eine neue Lastkombination kann auch in einer freien Zeile der Tabelle 2.5 *Lastkombinationen* eingetragen werden.

Last-Kombin.	BS	Lastkombination Bezeichnung	Zu berechnen	LF.1		LF.2		LF.3		LF.4		LF.5	
				Faktor	Nr.	Faktor	Nr.	Faktor	Nr.	Faktor	Nr.	Faktor	Nr.
LK1		Eigengewicht, Schnee, Wind	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.35	G LF2	1.50	Qs LF3	0.90	Qw LF4		
LK2		Eigengewicht, Schnee	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.35	G LF2	1.50	Qs LF3				
LK3													
LK4													
LK5													
LK6													
LK7													

Bild 5.32 Tabelle 2.5 Lastkombinationen

Lastkombination Nr.

Die Nummer der neuen Lastkombination ist voreingestellt, kann aber im Eingabefeld *LK Nr.* geändert werden. Die Reihenfolge der Lastkombinationen lässt sich über die Schaltfläche [Umnummerieren] im Dialog nachträglich anpassen (siehe [Tabelle 5.7](#) und [Kapitel 11.4.18](#)).

Lastkombination-Bezeichnung

Es kann ein beliebiger Name manuell eingegeben oder aus der Liste gewählt werden, um die Lastkombination kurz zu beschreiben. Da manuelle Einträge in der Liste gespeichert werden, sind sie für weitere Modelle verfügbar.

Zu berechnen

Das Kontrollfeld steuert, ob die Lastkombination bei der Berechnung berücksichtigt wird. Auf diese Weise lassen sich Lastkombinationen von der Berechnung ausklammern oder aktivieren.

Lastfälle in Lastkombination

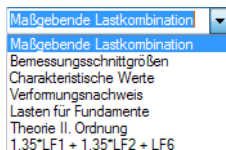
In diesen Spalten werden die Lastfälle mit den zugehörigen Beiwerten ausgewiesen.

Die in Spalte *Faktor* angegebenen Werte basieren auf den Beiwerten, die von der gewählten Norm abhängig sind. Bei EN 1990 handelt es sich um die Teilsicherheitsbeiwerte γ , Kombinationsbeiwerte ψ , Abminderungsfaktoren ξ und ggf. Zuverlässigkeitsbeiwerte K_{FI} einer jeden Einwirkung, die sich aus der Bemessungssituation und der Einwirkungskategorie ergeben.

Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte können über die Schaltfläche [Details] überprüft und angepasst werden. Es öffnet sich der Dialog *Beiwerte*, in dem die diversen Beiwerte in mehreren Registern organisiert sind. Das erste Register *Teilsicherheitsbeiwerte* für EN 1990 ist im [Bild 12.27](#) dargestellt. Im Register *Kombinationsbeiwerte* werden die Faktoren ψ und ξ verwaltet (siehe [Bild 5.24](#)). Der Zuverlässigkeitsfaktor K_{FI} kann im Register *Schadensfolgeklassen* in einer Liste ausgewählt oder benutzerdefiniert festgelegt werden.

Kombinieren von Lastfällen

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* können die Lastfälle wie folgt in die Kombination aufgenommen werden: Die relevanten Lastfälle sind in der Liste *Vorhandene Lastfälle* durch Anklicken zu selektieren. Eine Mehrfachselektion ist (wie in Windows üblich) mit der gedrückten [Strg]-Taste möglich. Über die Schaltfläche werden die selektierten Lastfälle nach rechts in die Liste *Lastfälle in Lastkombination* übertragen und dabei automatisch mit Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten berücksichtigt.



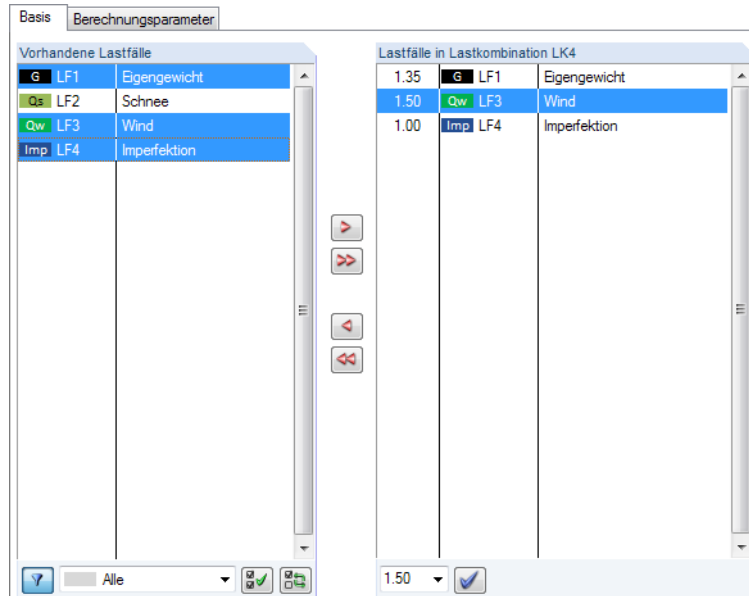
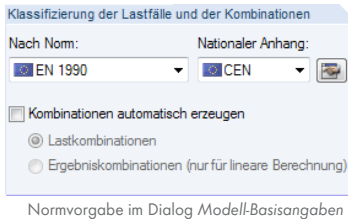


Bild 5.33 Mehrfachselektion von Lastfällen und gebildete Lastkombination nach EN 1990

Die Beiwerte werden gemäß der Norm gebildet, die im Dialog *Modell-Basisangaben* vorgegeben ist (siehe [Kapitel 12.2.1](#)).

Die voreingestellten Beiwerte können über die Schaltfläche [Details] im Dialog *Beiwerte* überprüft und ggf. angepasst werden (siehe [Bild 5.24](#) und [Bild 12.27](#)).

Um den Beiwert eines Lastfalls zu ändern, der in eine Lastkombination übernommen wurde, ist dieser Lastfall in der Liste *Lastfälle in Lastkombination* zu selektieren. Nun kann im Eingabefeld unterhalb der geeignete Faktor eingetragen oder in der Liste gewählt werden. Ein Klick auf die Schaltfläche [Beiwert zuordnen] wendet den neuen Faktor auf den Lastfall an.

Um einen Lastfall aus einer Lastkombination zu entfernen, ist der Lastfall in der Spalte *Lastfälle in Lastkombination* des Dialogs zu selektieren. Mit der Schaltfläche oder per Doppelklick wird er dann in die Spalte *Vorhandene Lastfälle* zurückgeführt.

Am unteren Ende der Liste *Vorhandene Lastfälle* sind mehrere Filteroptionen verfügbar. Sie erleichtern es, die Lastfälle nach Einwirkungskategorien geordnet zuzuweisen oder aus noch nicht zugeordneten Lastfällen zu wählen. Die Schaltflächen sind in [Tabelle 5.7](#) beschrieben.

Über die Schaltfläche [Bearbeiten] rechts unten im Dialog *Belastung* lassen sich Lastkombinationen in einem Dialog manuell definieren.

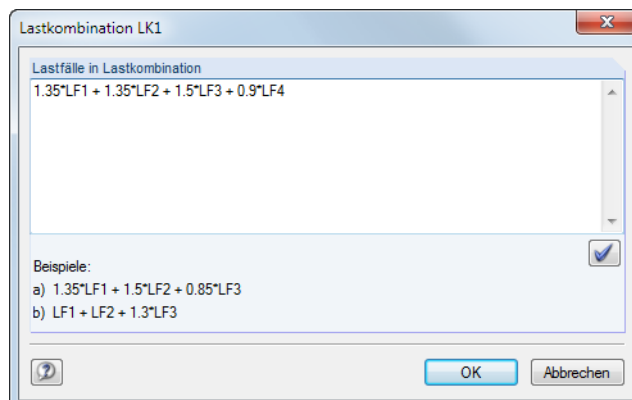


Bild 5.34 Dialog *Lastkombination* zur Definition über Bearbeitungsfeld



Im Eingabefeld *Lastfälle in Lastkombination* können die Lastfälle mit beliebigen Faktoren addiert (oder ggf. auch subtrahiert) werden. Eine Schachtelung der Eingabe ist nicht zulässig.

Beispiel: $LF1 + 0.5 * LF3$

Zur einfachen Belastung des Lastfalls 1 wird die halbe Last des Lastfalls 3 addiert.



Die Schaltfläche [Eingabe setzen] übergibt den Eintrag in die Liste *Lastfälle in Lastkombination* des Ausgangsdialogs.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden, um die Lastkombination näher zu beschreiben.

Berechnungsparameter

Das Register *Berechnungsparameter* im Dialog *Belastung* verwaltet verschiedene Optionen zur Steuerung der Berechnung. Im [Kapitel 7.3.1](#) sind diese Parameter ausführlich beschrieben.

Bearbeiten einer Lastkombination

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Lastkombinationen nachträglich zu ändern:

- Menü **Bearbeiten** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Lastkombinationen**
- Kontextmenü oder Doppelklicken einer Lastkombination im *Daten-Navigator*

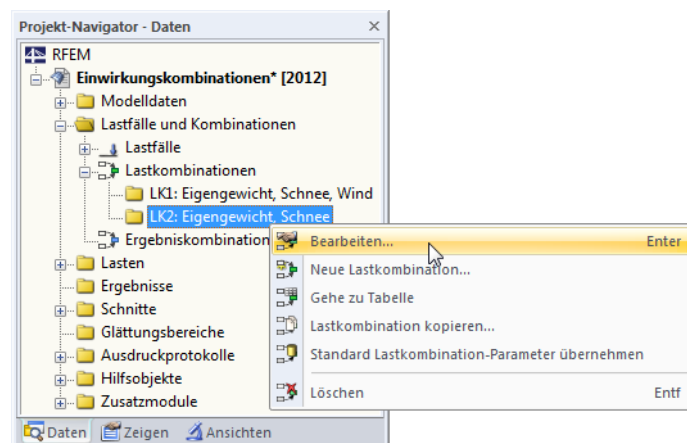


Bild 5.35 Kontextmenü einer Lastkombination

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* (siehe [Bild 5.31](#)) ist die LK durch Anklicken zu selektieren. Anschließend können die Definitionskriterien bearbeitet werden.

Schaltflächen

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* werden unterhalb der Listen *Vorhandene Lastkombinationen* und *Vorhandene Lastfälle* verschiedene Schaltflächen angezeigt. Sie bedeuten:

	Eine neue Lastkombination wird angelegt.
	Eine neue Lastkombination wird als Kopie der selektierten Kombination erzeugt.
	Die selektierte Lastkombination wird mit einer neuen Nummer versehen, die ist in einem Dialog anzugeben ist. Diese LK-Nummer darf noch nicht vergeben sein.





	Die selektierte Lastkombination wird gelöscht.
	Die Liste zeigt nur Lastfälle an, die noch nicht in der Lastkombination enthalten sind.
	Alle Lastfälle in der Liste werden selektiert.
	Die Auswahl der Lastfälle wird umgekehrt.

Tabelle 5.7 Schaltflächen im Register *Lastkombinationen*

5.5.2 Generierte Kombinationen

Beim Wechsel in das Dialogregister *Lastkombinationen* bzw. die Tabelle 2.5 werden die Kombinationen automatisch gebildet. Da die Lastfälle nicht manuell überlagert sind, präsentiert sich das Register *Basis* in abgewandelter Form (siehe Bild 5.31 [↗](#), für benutzerdefinierte Kombinationen).

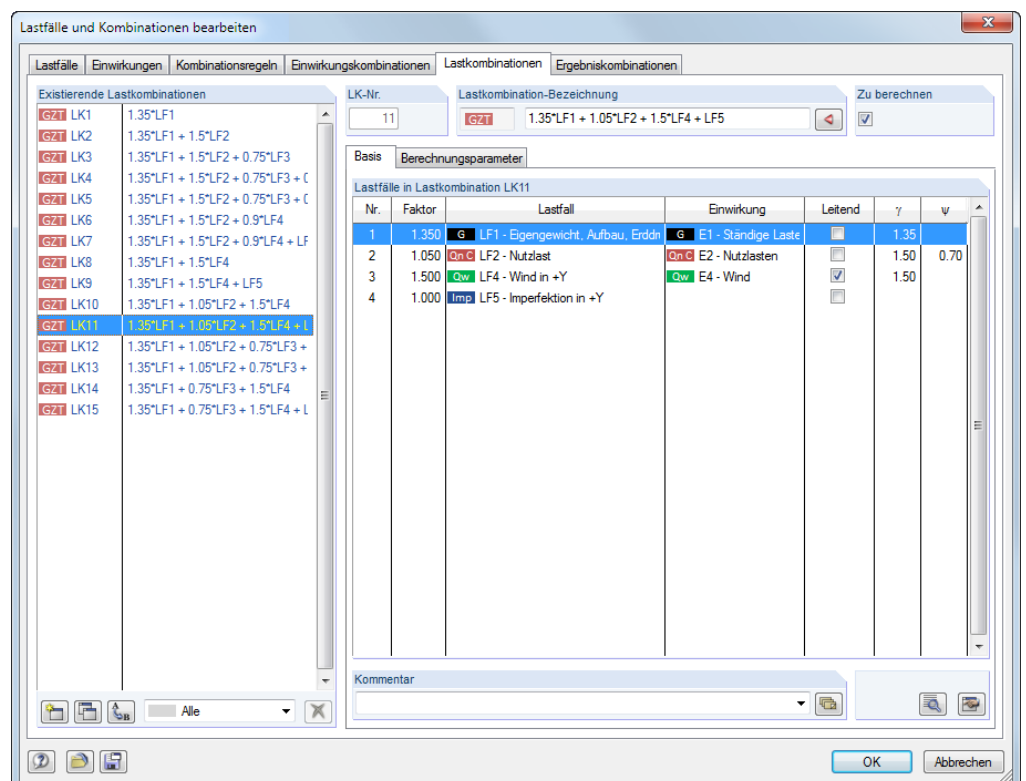
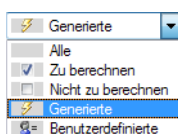


Bild 5.36 Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastkombinationen*

Lastkombination Nr.


Die aus den Einwirkungskombinationen generierten Lastkombinationen sind fortlaufend nummeriert.

Links unten im Dialogabschnitt *Existierende Lastkombinationen* können die generierten Kombinationen nach bestimmten Kriterien gefiltert werden.



Lastkombination Bezeichnung

RFEM vergibt Kurzbezeichnungen, die auf den Sicherheitsfaktoren und Lastfallnummern basieren und die Kombinationsregeln ausdrücken. Diese Bezeichnungen können bei Bedarf geändert werden.

Mit der Dialog-Schaltfläche  erfolgt ein Sprung zurück in das Register *Einwirkungskombinationen* (siehe Kapitel 5.4 [↗](#)). Dort ist die Einwirkungskombination selektiert, mit der die aktuelle Lastkombination erzeugt wurde.

Zu berechnen

Dieses Kontrollfeld steuert die Ergebnisermittlung für die im Abschnitt *Vorhandene Lastkombinationen* selektierte(n) Kombination(en).

Lastfälle in Lastkombination

In den Spalten werden die Lastfälle mit den zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten ausgewiesen. Es ist nicht möglich, die Faktoren generierter Kombinationen zu ändern.

Ein als *Leitend* wirkender Lastfall ist im Dialog entsprechend gekennzeichnet.



Über die Schaltfläche [Details] können die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte überprüft werden. Der Dialog *Beiwerte* ist in mehrere Register unterteilt (siehe Bild 12.27 [↗](#) und Bild 5.24 [↗](#)).

Lastkombination hinzufügen

Die generierten Lastkombinationen können nicht bearbeitet, sondern nur gelöscht oder über das Kontrollfeld *Zu berechnen* von der Berechnung ausgeschlossen werden.



Mit der Schaltfläche [Neu] links unten im Abschnitt *Vorhandene Lastkombinationen* (siehe Bild 5.37 [↗](#)) kann eine benutzerdefinierte Kombination hinzugefügt werden. Für die manuelle Definition wird das Erscheinungsbild des Registers *Basis* angepasst.

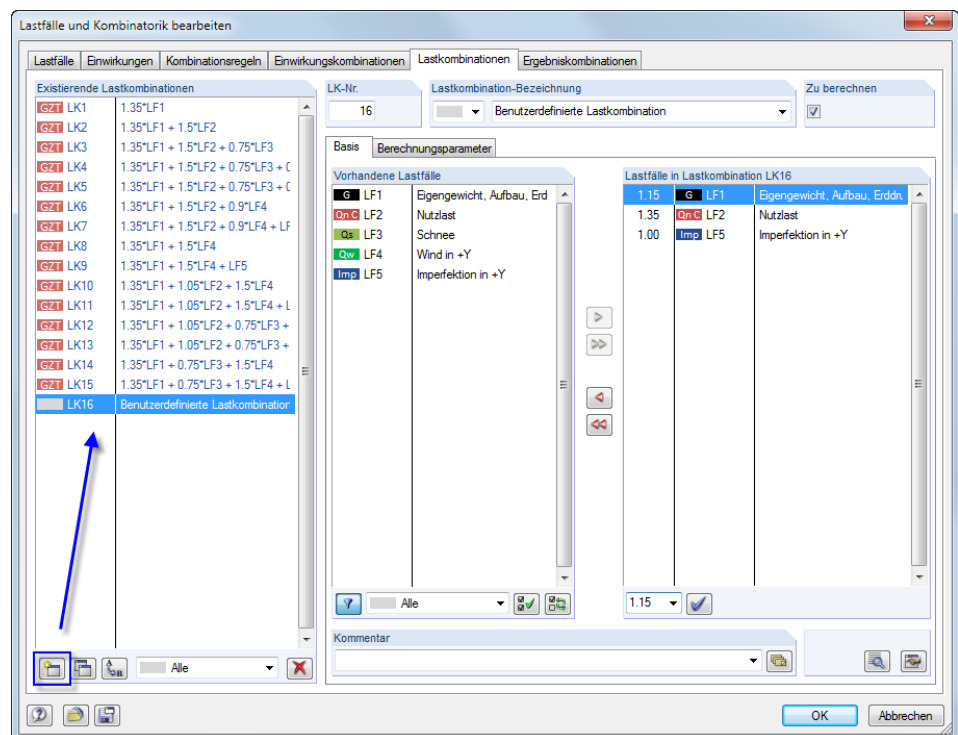


Bild 5.37 Hinzufügen einer benutzerdefinierten Lastkombination

Im Kapitel 5.5.1 [↗](#) ist beschrieben, wie Lastkombinationen manuell gebildet werden können.

5.6

Ergebniskombinationen

Allgemeine Beschreibung

Unterschied Ergebnis- und Lastkombination

Lastfälle können in einer Ergebniskombination (**EK**) und in einer Lastkombination (**LK**) überlagert werden.

Bei einer Ergebniskombination werden zunächst die enthaltenen Lastfälle berechnet. Die Ergebnisse werden dann unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren überlagert. Eine Lastkombination (siehe [Kapitel 5.5](#)) fasst die Lasten der enthaltenen Lastfälle unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsbeiwerte zu „einem großen Lastfall“ zusammen, der dann berechnet wird.

Die Lastfälle lassen sich manuell kombinieren (siehe [Kapitel 5.6.1](#)) oder automatisch von RFEM überlagern (siehe [Kapitel 5.7](#)) — je nach Einstellung im Dialog *Modell-Basisangaben* (siehe [Bild 12.23](#)). Diese Vorgabe wirkt sich auch auf das Erscheinungsbild des Registers *Ergebniskombinationen* im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* aus.

Ergebniskombinationen eignen sich nicht für nichtlineare Berechnungen, da sie zu verfälschten Ergebnissen führen: Meist erfolgt der Ausfall nichtlinearer Elemente (z. B. Zugstäbe, Bettungen) unterschiedlich in den einzelnen Lastfällen. Es stellen sich Umlagerungseffekte ein, sodass die Schnittgrößen aus verschiedenen Modellen kombiniert würden (siehe Beispiel im [Kapitel 5.5](#)).

In einer Ergebniskombination können die Ergebnisse von Lastfällen, Lastkombinationen und auch von anderen Ergebniskombinationen überlagert werden.

Üblicherweise werden die Schnittgrößen addiert. Prinzipiell sind auch Subtraktionen möglich. Dabei ist aber zu beachten, dass sich die Vorzeichen der Schnittgrößen umkehren: Zugkräfte werden zu Druckkräften etc. Als Alternative empfiehlt es sich deshalb, den Lastfall zu kopieren (siehe [Kapitel 5.1](#)) und in der Lastfall-Kopie im Register *Berechnungsparameter* den Belastungsfaktor auf -1.00 zu setzen. Dieser Lastfall kann dann in einer Ergebniskombination addiert werden.

5.6.1 Benutzerdefinierte Kombinationen

Anlegen einer neuen Ergebniskombination

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Dialog *Belastung* zum Anlegen einer Ergebniskombination aufzurufen:

- Menü **Einfügen** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Ergebniskombination**
- Schaltfläche [Neue Ergebniskombination] in der Symbolleiste

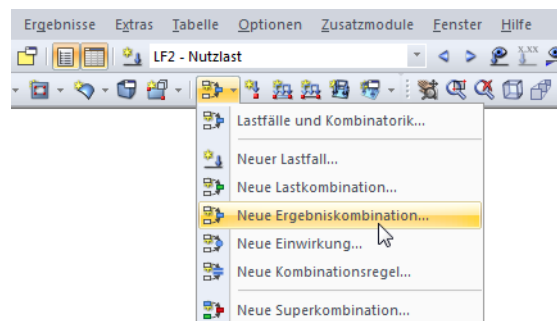
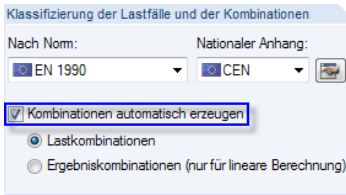


Bild 5.38 Schaltfläche *Neue Ergebniskombination* in der Symbolleiste



Kontrollfeld im Dialog *Modell-Basisangaben*



- Kontextmenü des Navigatoreintrags *Ergebniskombinationen*

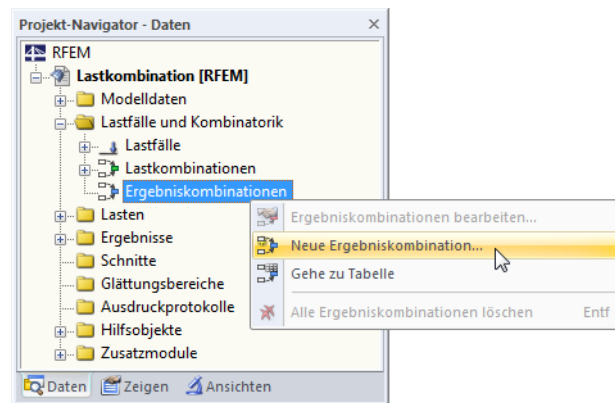


Bild 5.39 Kontextmenü *Ergebniskombinationen* im *Daten-Navigator*

Es erscheint der Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*. Im Register *Ergebniskombinationen* ist eine neue Ergebniskombination voreingestellt.

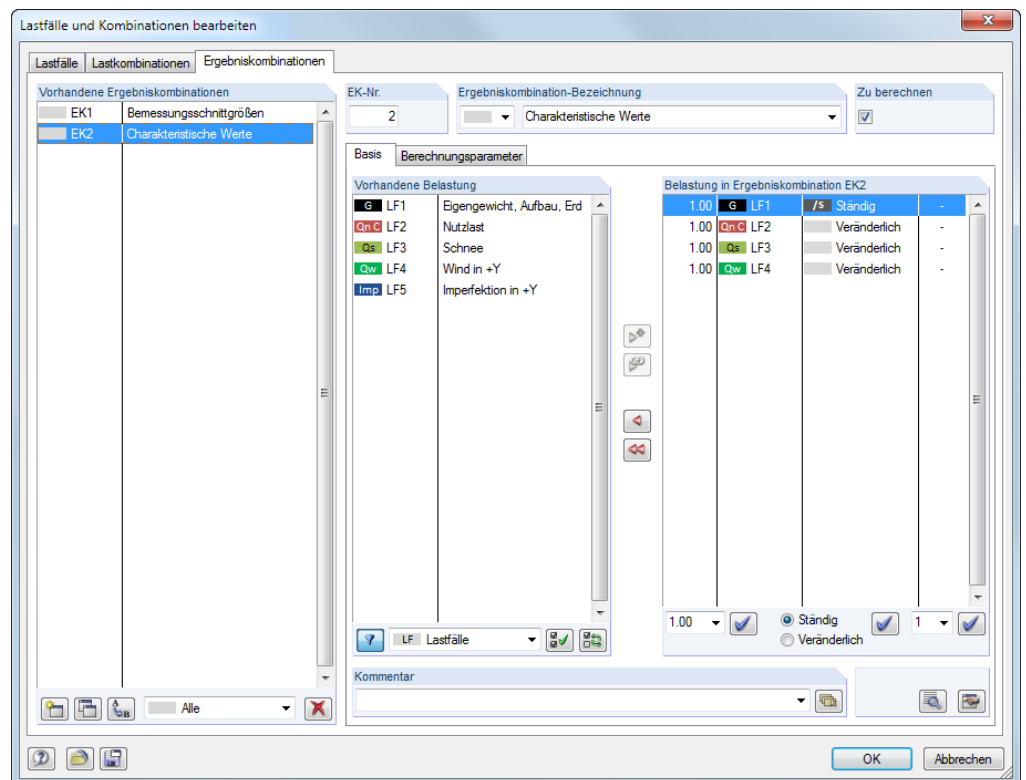


Bild 5.40 Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Ergebniskombinationen*

Folgende Beschreibung bezieht sich auf das Register *Basis*. Das Register *Berechnungsparameter* ist im Kapitel 7.3.2 [erläutert](#).

- Eine neue Ergebniskombination kann auch in einer freien Zeile der Tabelle 2.6 *Ergebniskombinationen* eingetragen werden.

Ergebn.-Kombin.	BS	Ergebniskombination Bezeichnung	Zu berechnen	Belastung.1				Belastung.2				Belastung.3				
				Faktor	Nr.	Krit.	Gr.	Faktor	Nr.	Krit.	Gr.	Faktor	Nr.	Krit.		
EK1		Bemessungsschnittgrößen	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	LK1	/s	1	1.00	LK2	/s	1	1.00	LK3	/s		
EK2		Charakteristische Werte	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00	G	LF1	/s	-	1.00	Qn	C	LF2	-	1.00	Gs	LF3
EK3																
EK4																
EK5																

Bild 5.41 Tabelle 2.6 Ergebniskombinationen

Ergebniskombination Nr.

Die Nummer der neuen Ergebniskombination ist voreingestellt, kann aber im Eingabefeld *EK Nr.* geändert werden. Die Reihenfolge der Ergebniskombinationen lässt sich über die Schaltfläche [Umnummerieren] im Dialog auch nachträglich anpassen (siehe [Tabelle 5.8](#) und [Kapitel 11.4.18](#)).

Ergebniskombination-Bezeichnung

Es kann ein beliebiger Name manuell eingegeben oder aus der Liste gewählt werden, um die Ergebniskombination kurz zu beschreiben. Da manuelle Einträge in der Liste gespeichert werden, sind sie für weitere Modelle verfügbar.

Zu berechnen

Das Kontrollfeld steuert, ob die Ergebniskombination bei der Berechnung berücksichtigt wird. Auf diese Weise lassen sich Ergebniskombinationen gezielt von der Berechnung ausklammern oder wieder aktivieren.

Belastung in Ergebniskombination

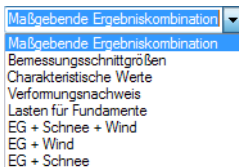
In diesen Spalten werden die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen mit den zugehörigen Beiwerten ausgewiesen.

Die in Spalte *Faktor* angegebenen Werte basieren u. a. auf den Beiwerten, die von der gewählten Norm abhängig sind. Bei EN 1990 handelt es sich um die Teilsicherheitsbeiwerte γ , Kombinationsbeiwerte ψ , Abminderungsfaktoren ξ und ggf. Zuverlässigkeitsbeiwerte K_{FI} einer jeden Einwirkung, die sich aus der Bemessungssituation und der Einwirkungskategorie ergeben.

Die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte gemäß Norm können über die Schaltfläche [Details] überprüft und ggf. angepasst werden. Es öffnet sich der Dialog *Beiwerte*, in dem die diversen Beiwerte in mehrere Register unterteilt sind. Das Register *Teilsicherheitsbeiwerte* für EN 1990 ist im [Bild 12.27](#) dargestellt. Im Register *Kombinationsbeiwerte* werden die Faktoren ψ und ξ verwaltet (siehe [Bild 5.24](#)). Der Zuverlässigkeitsfaktor K_{FI} kann im Register *Schadensfolgeklassen* in einer Liste ausgewählt oder benutzerdefiniert festgelegt werden.

Kombinieren von Belastungen

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* können Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen wie folgt in einer Kombination überlagert werden: Die relevanten Einträge sind in der Liste *Vorhandene Belastung* durch Anklicken zu selektieren. Eine Mehrfachselektion ist (wie in Windows üblich) mit der gedrückten [Strg]-Taste möglich (siehe [Bild 5.42](#)). Über die Schaltflächen und werden die selektierten Einträge nach rechts in die Liste *Belastung in Ergebniskombination* übertragen.



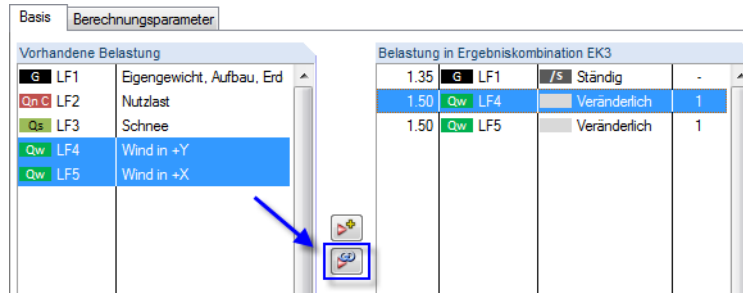



Bild 5.42 Mehrfachselektion zur Alternativbetrachtung zweier Lastfälle

Die Lastfall-Beiwerte werden nach der Norm angesetzt, die im Dialog *Modell-Basisangaben* vorgegeben ist. Falls erforderlich, können die voreingestellten Teilsicherheitsbeiwerte (siehe Kapitel 12.2.1 [☞](#)) dort über die Schaltfläche [Einstellungen bearbeiten] angepasst werden.

Um eine Belastung aus einer Ergebniskombination zu entfernen, ist der Eintrag in der Spalte *Belastung in Ergebniskombination* des Dialogs zu selektieren. Mit der Schaltfläche  oder per Doppelklick wird er dann in die Spalte *Vorhandene Belastung* zurückgeführt.

Die in der Ergebniskombination enthaltenen Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen können ihrer Wirkung entsprechend überlagert werden:

■ Belastungskriterium

- Ständige Wirkung


Soll die Belastung permanent oder unbedingt angesetzt werden, ist sie mit dem Kriterium *Ständig* bzw. */s* zu versehen.

- Veränderliche Wirkung


Eine Belastung mit dem Kriterium *Veränderlich* wird nur dann in der Überlagerung berücksichtigt, wenn deren Schnittgrößen einen ungünstigen Beitrag zum Ergebnis liefern.

■ Überlagerungskriterium

- Additive Kombination

Die Ergebnisse der Belastungen werden mit dem Kriterium „+“ additiv verknüpft. Im Dialog dient die Schaltfläche  dazu, die markierten Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen in die Definitionsliste der Ergebniskombination zu übergeben.

- Alternative Kombination

Bei der Alternativbetrachtung anhand des Kriteriums „oder“ bzw. „o“ werden die Ergebnisse bestimmter Belastungen als sich gegenseitig ausschließend behandelt. Es fließen nur die Werte derjenigen Belastung ein, die den größten ungünstigen Beitrag liefert. Im Dialog lassen sich ausgewählte Belastungen mit der Schaltfläche  in die Definitionsliste der Ergebniskombination übertragen.

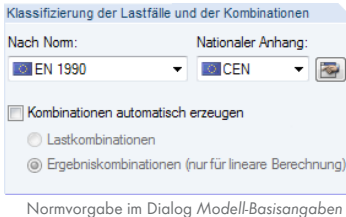
Alternativ wirkende Belastungen sind in der Spalte *Gruppe* mit der gleichen Nummer gekennzeichnet.

Das Kriterium „orto“ (Englisch: „oder bis“) verknüpft eine Liste alternativer Belastungen vom ersten bis zum letzten Objekt. Die dazwischen liegenden Objekte sind nicht aufgelistet.

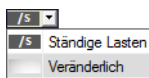
Alle in der Alternativüberlagerung erfassten Belastungen müssen einheitlich als ‚Ständig‘ oder ‚Veränderlich‘ gekennzeichnet sein. Nicht zulässig ist somit z. B. ‚LF1/s oder LF2‘.

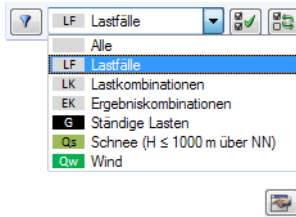
Die Beiwerte für übernommene Belastungen lassen sich individuell anpassen: Nach dem Selektieren der Belastung(en) in der Liste *Belastung in Ergebniskombination* kann im Eingabefeld unterhalb der geeignete Faktor eingetragen oder in der Liste gewählt werden. Ein Klick auf die Schaltfläche [Faktor zuordnen] wendet den neuen Faktor dann auf die Belastung(en) an.

Analog kann das Belastungskriterium (ständige oder veränderliche Wirkung) oder auch die Gruppenzugehörigkeit einer alternativen Belastung nachträglich geändert werden. Das neue Kriterium wird mit der Schaltfläche [Zuordnen] der selektierten Belastung zugewiesen.



Normvorgabe im Dialog *Modell-Basisangaben*





Am unteren Ende der Liste *Vorhandene Belastung* sind mehrere Filteroptionen verfügbar. Sie erleichtern es, die Belastungen nach Lastfällen, Last- und Einwirkungskombinationen sowie Einwirkungskategorien geordnet zuzuweisen. Zudem besteht die Möglichkeit, die Auflistung auf noch nicht zugeordnete Belastungen einzugrenzen. Die Schaltflächen sind in [Tabelle 5.8](#) beschrieben.

Über die Schaltfläche [Bearbeiten] rechts unten im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* lassen sich Ergebniskombinationen in einem Dialog manuell definieren.

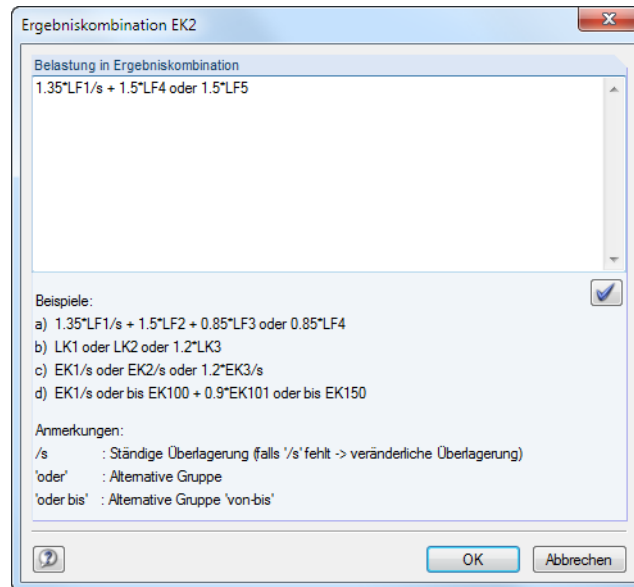


Bild 5.43 Dialog *Ergebniskombination* zur Definition über Bearbeitungsfeld

Im Eingabefeld *Belastung in Ergebniskombination* können die Lastfälle mit beliebigen Faktoren addiert bzw. mit „oder“ kombiniert werden. Eine Schachtelung der Eingabe ist nicht zulässig.

Beispiele:

- **LF1/s + LF2/s + LF3**

Die Lastfälle 1 und 2 werden als ständig, der Lastfall 3 als veränderlich überlagert.

- **LF1/s + LK2 + LF3 oder LF4 oder LF5** (entspricht **LF1/s + LK2 + LF3 oder bis LF5**)

Lastfall 1 fließt als ständig in die Überlagerung ein, Lastkombination 2 als veränderlich. Der ungünstigste der Lastfälle 3, 4 oder 5 wird ebenfalls mit dem Kriterium veränderlich überlagert (d. h. nur einer davon ist wirksam — falls er die Ergebniswerte vergrößert).

- **1.2LK1/s + 0.2EK1 oder -0.2EK1**

Das 1.2-fache der Lastkombination 1 wird als ständig mit dem ungünstigeren Beitrag der positiven bzw. negativen 0.2-fachen Ergebniskombination 1 überlagert.

- **EK1/s o EK2/s o EK3/s o EK4/s** (entspricht **EK1/s oder bis EK4/s**)

Die Ergebniskombinationen 1 bis 4 werden als ständig wirkend untereinander verglichen. Die Einhüllende wird als ungünstigstes Ergebnis ermittelt.

Die Schaltfläche [Eingabe setzen] übergibt den Eintrag in die Liste *Belastung in Ergebniskombination* des Ausgangsdialogs.

Kommentar

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste gewählt werden, um die Ergebniskombination näher zu beschreiben.

Berechnungsparameter

Das Register *Berechnungsparameter* im Dialog *Belastung* verwaltet verschiedene Optionen zur Steuerung der Berechnung. Im Kapitel 7.3.1 sind diese Parameter ausführlich beschrieben.

Bearbeiten einer Ergebniskombination

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Ergebniskombinationen nachträglich zu ändern:

- Menü **Bearbeiten** → **Lastfälle und Kombinationen** → **Ergebniskombinationen**
- Kontextmenü oder Doppelklicken einer Ergebniskombination im *Daten*-Navigator

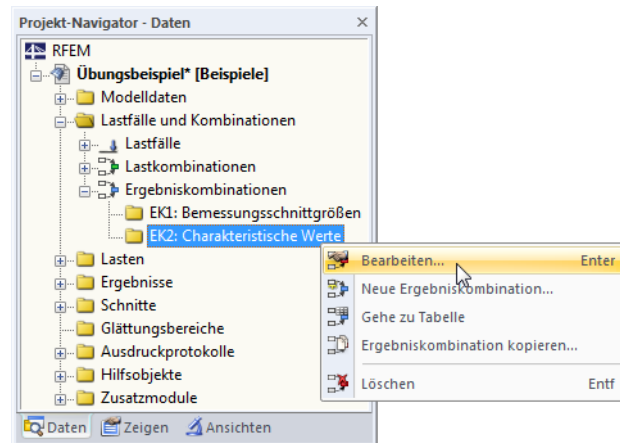


Bild 5.44 Kontextmenü einer Ergebniskombination

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* (siehe Bild 5.40) ist die EK durch Anklicken zu selektieren. Anschließend können die Definitionskriterien bearbeitet werden.

Schalflächen

Im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* stehen unterhalb der Listen *Vorhandene Ergebniskombinationen* und *Vorhandene Belastung* mehrere Schalflächen zur Verfügung. Sie sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Eine neue Ergebniskombination wird angelegt.
	Eine neue Ergebniskombination wird als Kopie der selektierten Kombination erzeugt.
	Die selektierte Ergebniskombination wird mit einer neuen Nummer versehen, die in einem Dialog anzugeben ist. Diese EK-Nummer darf noch nicht vergeben sein.
	Die selektierte Ergebniskombination wird gelöscht.
	Die Liste zeigt nur Lastfälle an, die nicht in der Ergebniskombination enthalten sind.
	Alle Lastfälle in der Liste werden selektiert.
	Die Auswahl der Lastfälle wird umgekehrt.

Tabelle 5.8 Schalflächen im Register *Ergebniskombinationen*

5.6.2 Generierte Kombinationen

Beim Wechsel in das Dialogregister *Ergebniskombinationen* bzw. die Tabelle 2.6 werden die Kombinationen automatisch gebildet. Da die Lastfälle nicht manuell überlagert sind, präsentiert sich das Register *Basis* in abgewandelter Form (siehe Bild 5.40 für benutzerdefinierte Kombinationen).

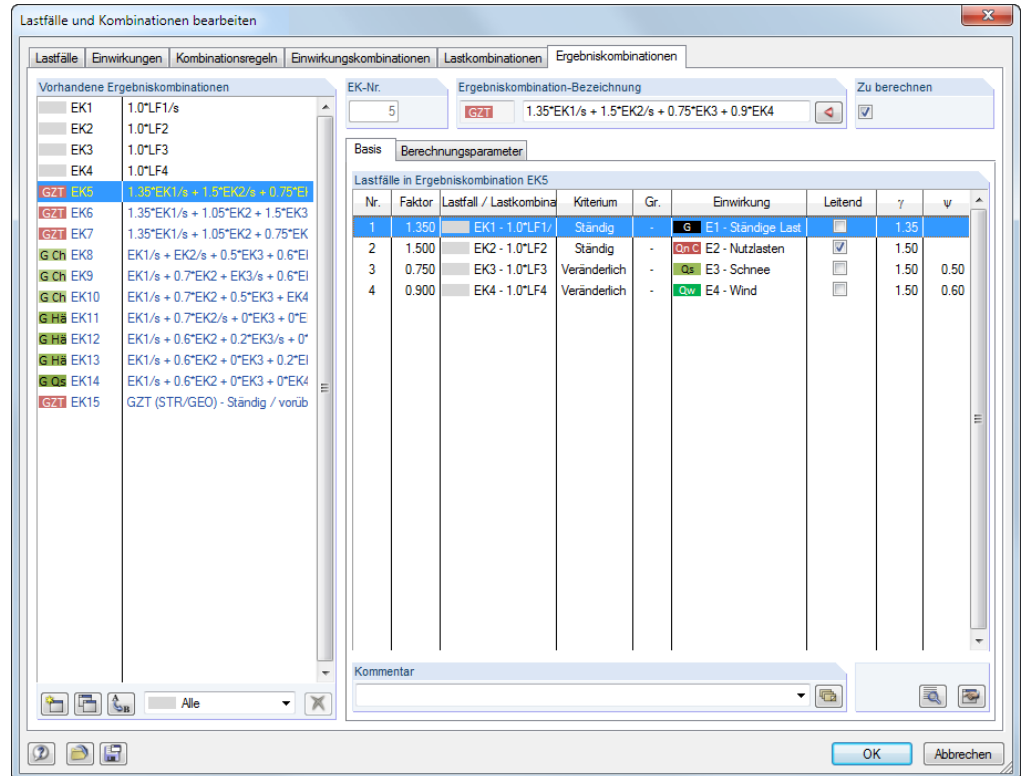
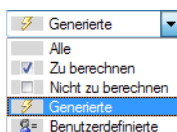


Bild 5.45 Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Ergebniskombinationen*

Ergebniskombination Nr.

Die aus den Einwirkungskombinationen generierten Ergebniskombinationen sind fortlaufend nummeriert.

Links unten im Abschnitt *Vorhandene Ergebniskombinationen* des Dialogs *Belastung* können die generierten Kombinationen nach verschiedenen Kriterien gefiltert werden.



Ergebniskombination Bezeichnung

RFEM vergibt Kurzbezeichnungen, die auf den Kombinationsregeln (Sicherheitsfaktoren und Lastfallnummern) basieren. Diese Bezeichnungen können bei Bedarf geändert werden.

Mit der Dialog-Schaltfläche erfolgt ein Sprung zurück in das Register *Einwirkungskombinationen* (siehe Kapitel 5.4). Dort ist die Einwirkungskombination selektiert, mit der die aktuelle Ergebniskombination erzeugt wurde.

Zu berechnen

Dieses Kontrollfeld steuert die Ergebnisermittlung für die im Abschnitt *Vorhandene Ergebniskombinationen* selektierte(n) Kombination(en).

Lastfälle in Ergebniskombination

In den Spalten werden die Lastfälle mit den zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten ausgewiesen. Es ist nicht möglich, die Faktoren generierter Kombinationen zu ändern.

Wird ein Lastfall als *Leitend* in der Kombination angenommen, so ist er im Dialog entsprechend gekennzeichnet.



Über die Schaltfläche [Details] können die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte überprüft und ggf. angepasst werden. Der Dialog *Beiwerte* ist in mehrere Register unterteilt (siehe Bild 12.27 und Bild 5.24).

Ergebniskombination hinzufügen

Die generierten Ergebniskombinationen können nicht bearbeitet, sondern nur gelöscht oder über das Kontrollfeld *Zu berechnen* von der Berechnung ausgeschlossen werden.



Mit der Schaltfläche [Neu] links unten im Abschnitt *Vorhandene Ergebniskombinationen* ist es möglich, eine benutzerdefinierte Kombination hinzuzufügen. Um die manuelle Definition zu ermöglichen, wird das Erscheinungsbild des Registers *Basis* angepasst.

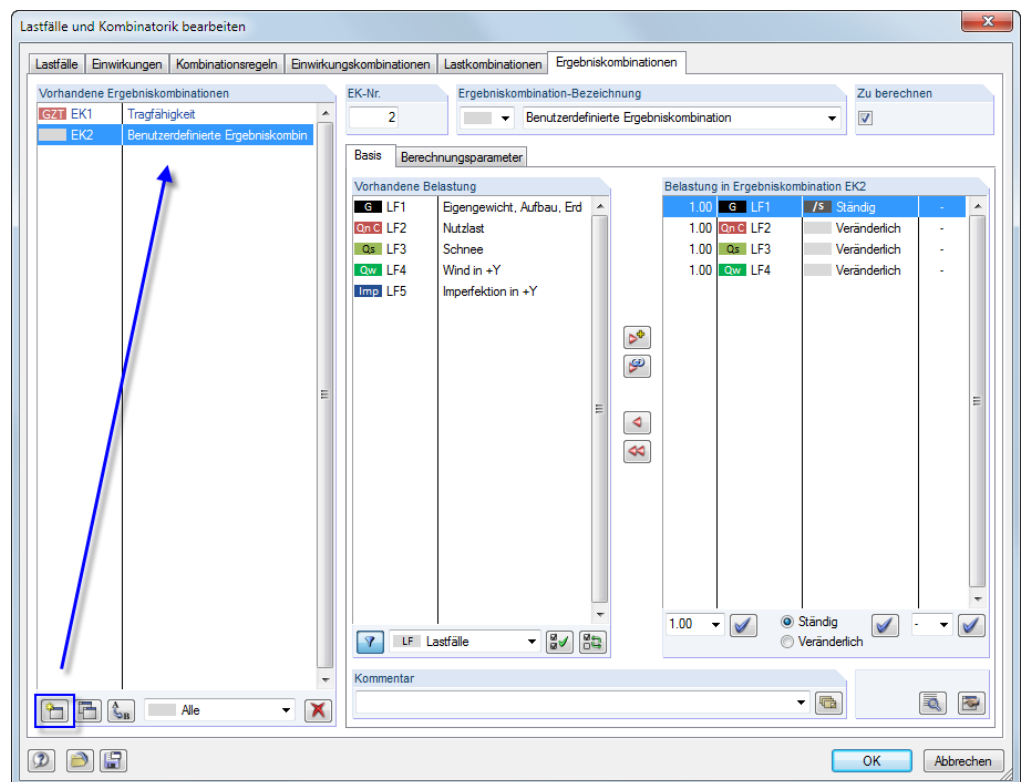


Bild 5.46 Hinzufügen einer benutzerdefinierten Ergebniskombination

Im Kapitel 5.6.1 ist beschrieben, wie Ergebniskombinationen manuell gebildet werden können.

5.7

Kombinationsschema

Lastfallkonstellationen lassen sich als *Kombinationsschema* speichern und wieder für ähnliche Anwendungsfälle verwenden. Diese Funktion wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Kombinationsschema**.

LF	LF-Bezeichnung	Lastfalltyp	Eigengewicht	LF-Faktor
1	Eigengewicht, Aufbau, Erddruck	Ständige Lasten	<input checked="" type="checkbox"/>	1.00
2	Nutzlast	Nutzlasten - Kategorie C: Versammlungsräume	<input type="checkbox"/>	1.00
3	Schnee	Schnee (H <le> 1000 m über NN)	<input type="checkbox"/>	1.00
4	Wind in +Y	Wind	<input type="checkbox"/>	1.00
5	Imperfektion in +Y	Imperfektion	<input type="checkbox"/>	1.00
6				

LK	Lastkombination-Bezeichnung	Lastfälle in Lastkombination
1	1.35*LF1	1.35*LF1
2	Maßgebende Lastkombination	1.35*LF1 + 1.5*LF2
3	Bemessungsschnittgrößen	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3
4	Charakteristische Werte	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3 + 0.9*LF4
5	Verformungsnachweis	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3 + 0.9*LF4 + LF5
6	Lasten für Fundamente	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.9*LF4
	Theorie II. Ordnung	
	Eigengewicht, Schnee, Wind	

EK	Ergebniskombination-Bezeichnung	Kombinationskriterien
1	Tragfähigkeit	LK1/s oder bis LK15
2	Gebrauchstauglichkeit	LF1 + LF2 + LF3 + LF4
3		
4		
5		
6		



Bild 5.47 Dialog Kombinationsschema



Im Abschnitt *Bezeichnung* kann ein Kombinationsschema aus der Liste gewählt oder über die Schaltfläche [Neu] erstellt werden.

Wurden im Modell schon Lastfälle definiert, so sind diese im Abschnitt *Lastfälle* eingetragen. Lastfälle können ergänzt werden, indem die letzte Zelle der Liste mit [Enter] oder [Tab] bestätigt wird. In Spalte *LF-Bezeichnung* können vordefinierte Bezeichnungen aus einer Liste gewählt werden.

Die Abschnitte *Lastkombinationen* und *Ergebniskombinationen* verwalten die Überlagerungsbedingungen für Lastkombinationen (siehe [Kapitel 5.5](#)) und Ergebniskombinationen (siehe [Kapitel 5.6](#)).

Ein Klick auf die Schaltfläche  speichert das Kombinationsschema. Mit der Schaltfläche  werden dann die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen erzeugt.



Vergessen Sie nicht, die Belastung einzugeben: Das Kombinationsschema generiert nur ein Gerüst von Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen!

Bei Modellen, denen das gleiche Lastschema zugrunde liegt, können sämtliche Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen ohne weitere Eingaben generiert werden: Rufen Sie diesen Dialog auf, wählen das Schema in der Liste *Bezeichnung* aus und übernehmen es mit [OK].

6 Lasten



Wie bei den Modelldaten bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Lasten einzugeben: Sie können in einem **Dialog**, einer **Tabelle** und oft auch direkt **grafisch** definiert werden.

Eingabedialog aufrufen

Die Eingabedialoge und die grafische Eingabe sind auf verschiedene Arten zugänglich.

Menü Einfügen

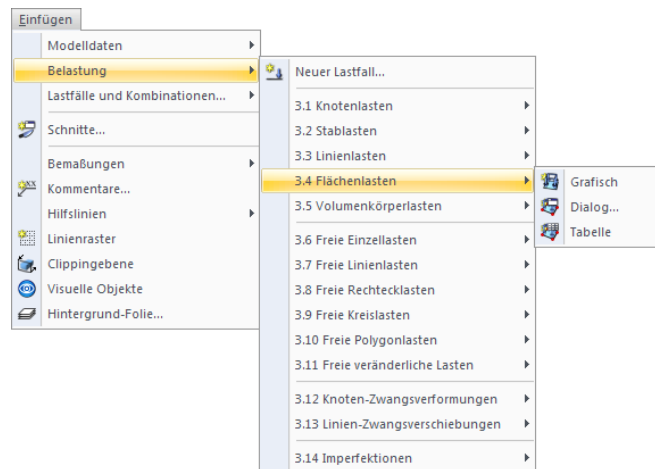


Bild 6.1 Menü Einfügen → Belastung

Symbolleiste Einfügen



Bild 6.2 Symbolleiste Einfügen

Kontextmenü im Daten-Navigator

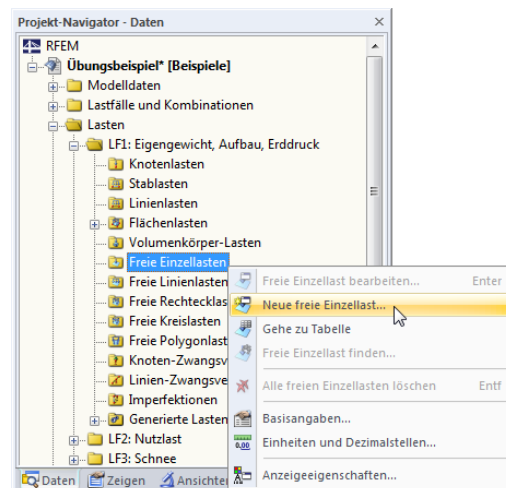


Bild 6.3 Kontextmenü der Lastobjekte im Daten-Navigator



Kontextmenü oder Doppelklicken in Tabelle

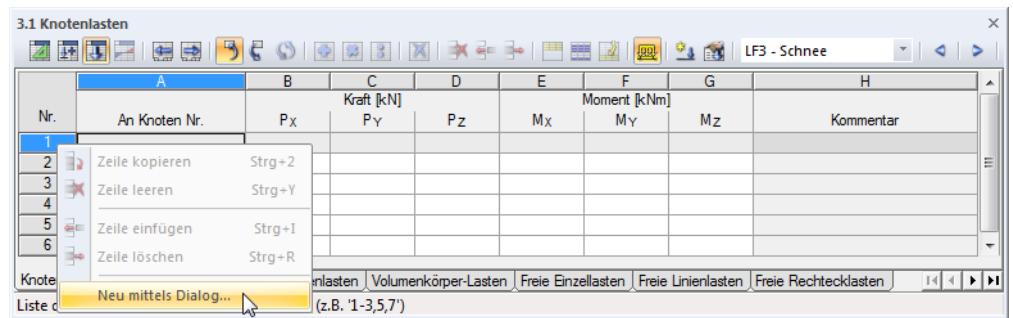


Bild 6.4 Kontextmenü in Lasten-Tabellen

Der Eingabedialog ist über das Kontextmenü (oder durch Doppelklicken) der Zeilennummer aktivierbar.

Bearbeitungsdialog aufrufen

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, den Dialog zum Bearbeiten eines Lastobjekts aufzurufen.

Menü Bearbeiten

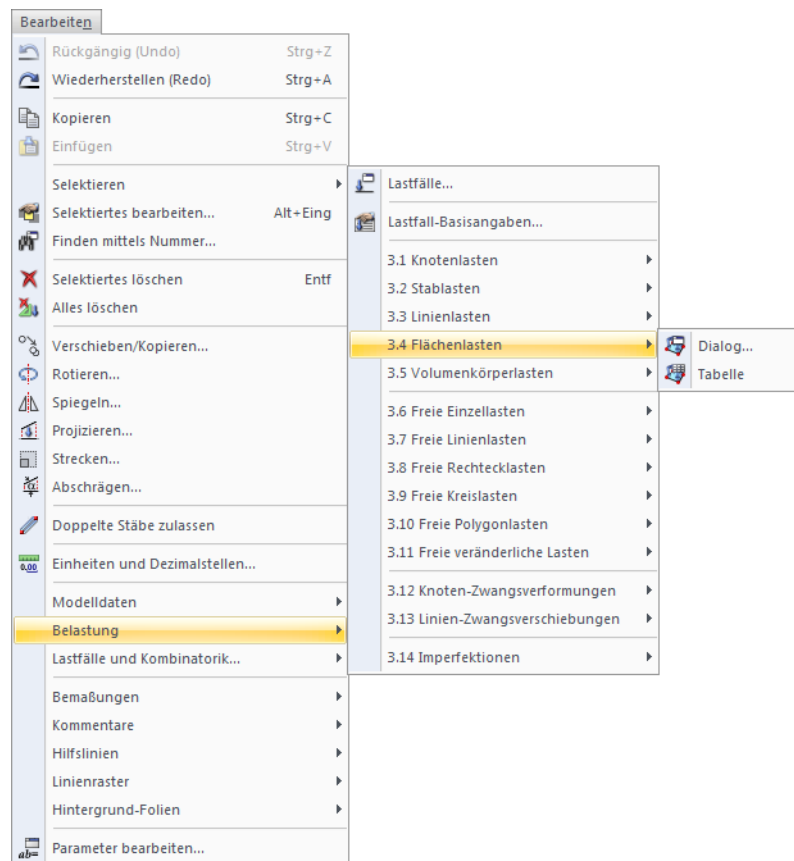


Bild 6.5 Menü Bearbeiten → Belastung

Die Option *Dialog* ist nur dann zugänglich, wenn das Lastobjekt vorher selektiert wurde.

Kontextmenü oder Doppelklicken in Grafik

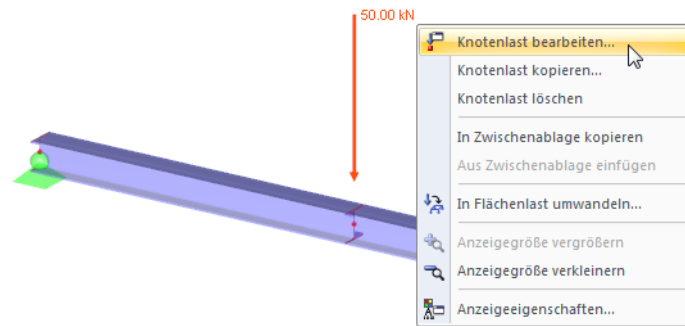


Bild 6.6 Kontextmenü einer Last im Arbeitsfenster

Kontextmenü oder Doppelklicken im Daten-Navigator

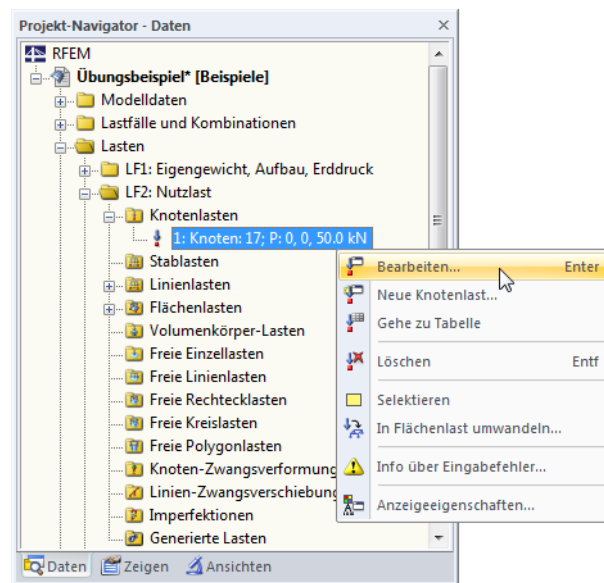


Bild 6.7 Kontextmenü der Belastungsobjekte im Daten-Navigator

Kontextmenü oder Doppelklicken in Tabelle

3.1 Knotenlasten

LF2 - Nutzlast

Nr.	An Knoten Nr.	P _X	Kraft [kN]			Moment [kNm]			Kommentar
			P _Y	P _Z	M _X	M _Y	M _Z		
1	17	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00		
2									
3									
4									
5									
6									

Knotenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten

Liste d... Mittels Dialog bearbeiten... (1-3,5,7)

Bild 6.8 Kontextmenü in Lasten-Tabellen

Der Bearbeitungsdialog ist über das Kontextmenü (oder durch Doppelklicken) der Zeilennummer aktivierbar.



Tabelleneingabe

Die in der grafischen Oberfläche vorgenommenen Eingaben und Änderungen spiegeln sich sofort in den Tabellen wider und umgekehrt. Die Belastungstabellen sind über die dritte Schaltfläche von links in der Tabellen-Symbolleiste zugänglich.

Tabelle 3. Lasten		B	C	D	E	F	G	H
Nr.	An Knoten Nr.	Kraft [kN]			Moment [kNm]			Kommentar
		P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z	
1	17	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	0.00	
2								
3								
4								
5								
6								

Knotenlasten | Stablasten | Linienlasten | Flächenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten

Liste der Knoten, an die die Knotenlast wirkt (z.B. '1-3,5,7')

Bild 6.9 Schaltfläche [Tabelle 3. Lasten]

Daten lassen sich in tabellarischer Form schnell bearbeiten oder importieren (siehe [Kapitel 11.5](#)).

In jedem Dialog und jeder Tabelle kann ein Kommentar ergänzt werden, der die Last näher beschreibt. Es lassen sich auch vordefinierte Kommentare verwenden (siehe [Kapitel 11.1.4](#)).



Das Menü **Tabelle** → **Organisation Lastfalldaten** steuert, ob die Lasten in der aktuellen bzw. in allen Tabellen zeilenweise gelistet oder zusammengefasst werden. Die Einstellung kann auch in der Tabellen-Symbolleiste über die links dargestellten Schaltflächen vorgenommen werden; sie befinden sich rechts neben der Lastfall-Liste.

6.1

Knotenlasten

Allgemeine Beschreibung



Knotenlasten sind Kräfte und Momente, die an Knoten (siehe Kapitel 4.1 [\[2\]](#)) wirken.

Die Voraussetzung für eine Knotenlast ist, dass bereits ein Knoten definiert ist.

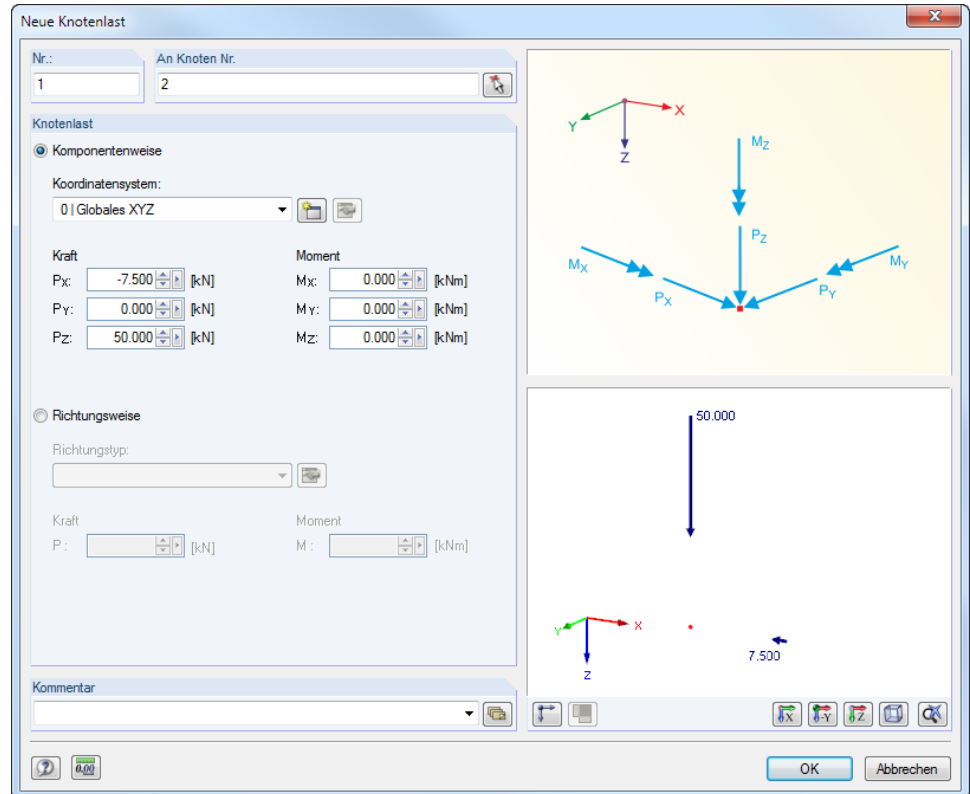


Bild 6.10 Dialog Neue Knotenlast

3.1 Knotenlasten

Nr.	An Knoten Nr.	Definitionstyp	Koordinatensystem	P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z	Richtungstyp	Kraft P [kN]	Moment M [kNm]	Kommentar
1	2	Komponentenweise	0 Globales XYZ	-7.500	0.000	50.000	0.000	0.000	0.000				
2	1,11	Komponentenweise	0 Globales XYZ	0.000	0.000	12.350	0.000	0.000	0.000				
3													
4													
5													

Knotenlasten | Stablasten | Linienlasten | Flächenlasten | Volumenkörperlasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten

Liste der Knoten, an die die Knotenlast wirkt (z.B. '1-3,5,7')

Bild 6.11 Tabelle 3.1 Knotenlasten

Die Nummer der Knotenlast wird im Dialog *Neue Knotenlast* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

An Knoten Nr.

In diesem Eingabefeld sind die Nummern der Knoten festzulegen, an denen die Last wirkt. Die Auswahl kann über auch grafisch erfolgen.



Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Knoten nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.

Definitionstyp

Knotenlasten können *Komponentenweise* auf die Achsen des globalen oder benutzerdefinierten Koordinatensystems oder *Richtungsweise* auf ein Objekt bezogen definiert werden.

Koordinatensystem

In den meisten Fällen sind die Kräfte und Momente *Komponentenweise* als Vektoren auf das globale Koordinatensystem bezogen. Auch ein benutzerdefiniertes Koordinatensystem kann als Referenz dienen.

Kraft $P_x / P_y / P_z$

Beim Definitionstyp *Komponentenweise* sind die Werte der Kräfte in diese Eingabefelder bzw. Spalten einzutragen. Falls der Modelltyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert wurde, sind nur die relevanten Felder zugänglich.

Moment $M_x / M_y / M_z$

Diese Eingabefelder bzw. Spalten verwalten die Werte der Momente.

Ein positives Moment wirkt rechtsschraubig um die entsprechende positive globale bzw. benutzerdefinierte Achse. Das globale Achsenkreuz in der RFEM-Grafik erleichtert die Eingabe.

Die Momente können nicht nur als Vektoren, sondern auch als Bögen dargestellt werden. Die Anzeigeeigenschaften (siehe Kapitel 11.1.2) werden gesteuert über das Menü

Optionen → **Anzeigeeigenschaften** → **Bearbeiten**.

Im **Anzeigeeigenschaften**-Dialog ist die Kategorie **Belastung** → **Knotenlasten** → **Knotenmomente** zu wählen. Auf der rechten Seite steht dann die Darstellungsart **Bogen** zur Auswahl.

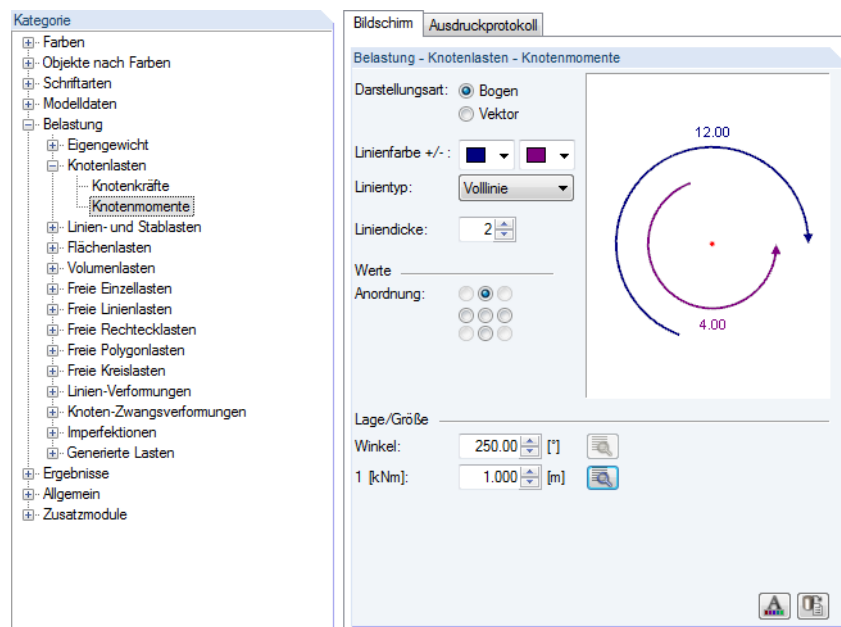
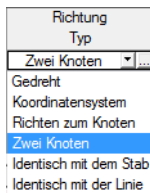


Bild 6.12 Dialog Anzeigeeigenschaften (Ausschnitt): Knotenmomente in Bogendarstellung

Knotenlasten können auch aus Excel-Tabellen übernommen werden (siehe Kapitel 12.5.2).



Richtung Typ

Beim Definitionstyp *Richtungsweise* kann die Lastrichtung unabhängig von einem Koordinatensystem beschrieben werden. Hierzu bestehen in der Liste verschiedene Definitionsmöglichkeiten.

Ist die Auswahl getroffen, öffnet sich der Dialog *Richtung bearbeiten* zur Eingabe der weiteren Parameter.

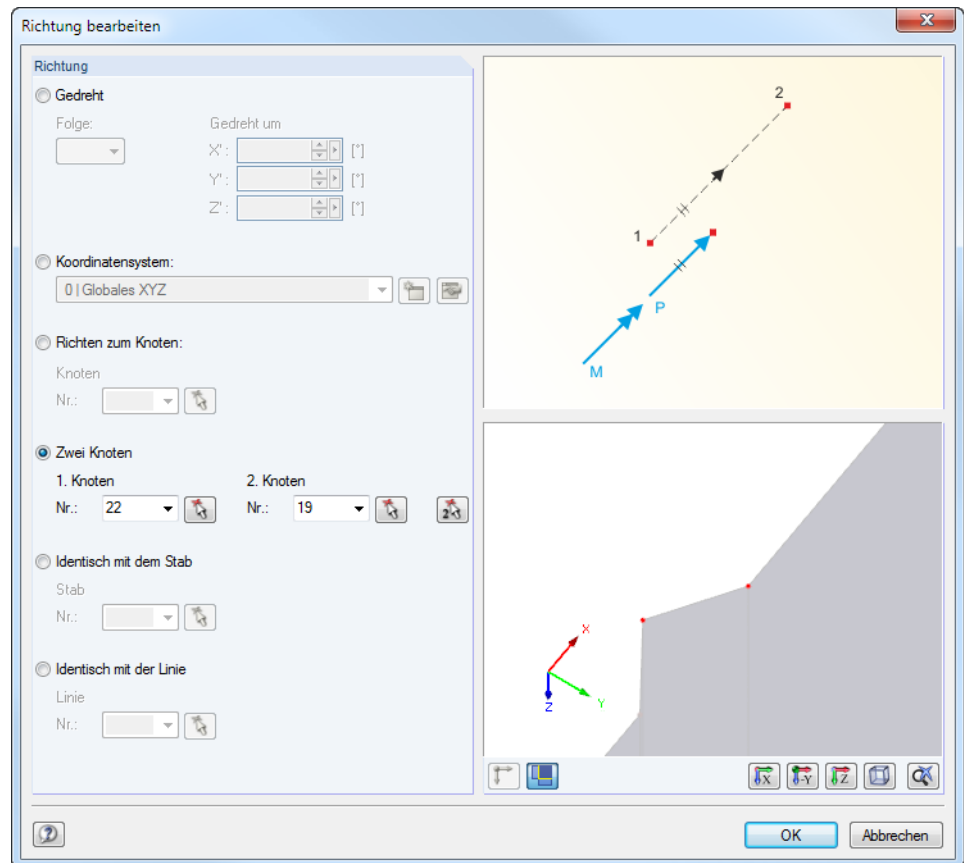


Bild 6.13 Dialog *Richtung bearbeiten*

Kraft P

Beim Definitionstyp *Richtungsweise* sind die Werte der Kräfte in diese Eingabefelder bzw. Spalten einzutragen.

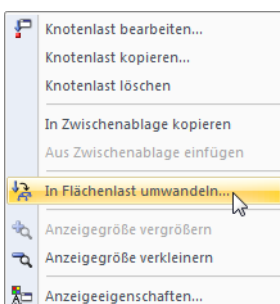
Moment M

Diese Eingabefelder bzw. Spalten verwalten die Werte der Momente.

Knotenlast in Flächenlast umwandeln

Oft führen Knotenlasten zu Singularitäten, da die Last in einem einzigen FE-Knoten konzentriert eingeleitet wird. Um diesen Effekt abzumindern, kann im Menü **Extras** die Option **Knoten-/Linienlast in Flächenlast umwandeln** genutzt werden. Der Dialog zum Konvertieren einer Knotenlast ist auch über das links dargestellte Kontextmenü einer Knotenlast zugänglich. Es wird wie üblich durch Rechtsklicken des Objekts aktiviert.

Im Dialog (siehe Bild 6.14) sind die Parameter zur Aufteilung der Last festzulegen. Nach [OK] wird die entsprechende freie Rechteck- bzw. Kreislast erzeugt.



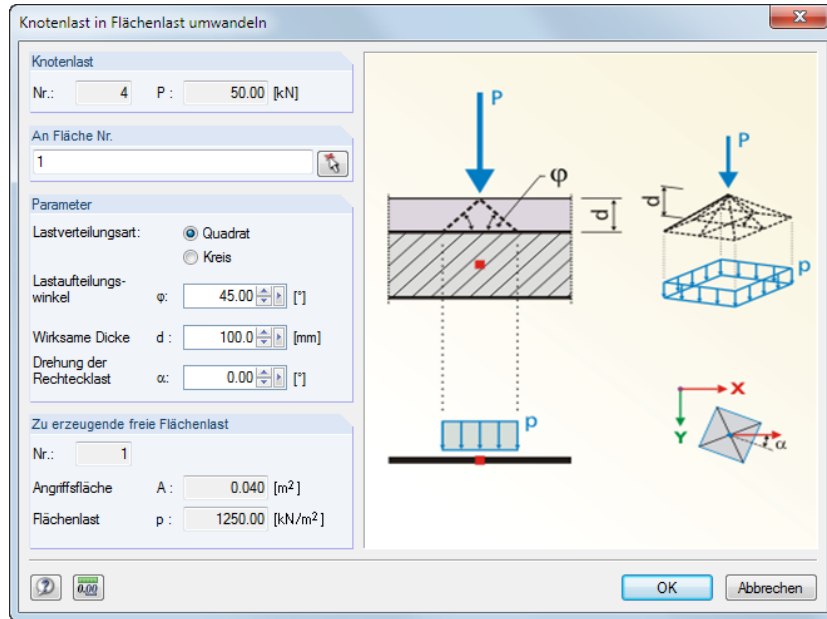


Bild 6.14 Dialog Knotenlast in Flächenlast umwandeln

6.2

Stablasten

Allgemeine Beschreibung



Stablasten sind Kräfte, Momente, Temperatureinwirkungen oder Zwangsverformungen, die an Stäben wirken.

Die Voraussetzung für eine Stablast ist, dass bereits ein Stab definiert ist.

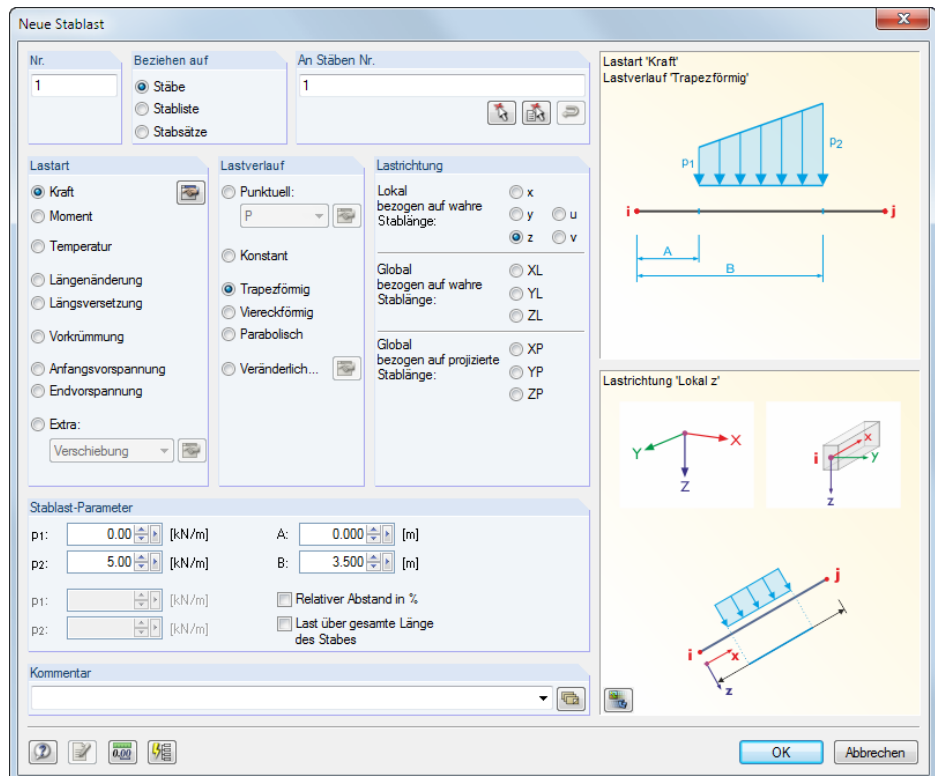


Bild 6.15 Dialog Neue Stablast

3.2 Stablasten

LF1 - Eigengewicht

Nr.	Beziehen auf	An Stabsätzen Nr.	Lastart	Lastverteilung	Lastrichtung	p [kN/m]	Stablast-Parameter	A	B	Abstand in %	Gesamt Länge
1	Stäbe	3-8,13,14,61-64	Kraft	Konstant	ZL	0.750				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Stäbe	121-124,129-136	Anfangsvorspannung	Konstant	x	2.000				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Stabsätze	2	Kraft	Konstant	z	2.000				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Stabliste	14,16,18	Kraft	unkonstant	z	1.250		0.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Stäbe	15-18,23-28,41-46	Moment	Konstant	ZL	1.500				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6			Temperatur								
7			L-Änderung								
8			Versetzung								
9			Krümmung								
			Anfangsvorspannung								
			Endvorspannung								

Knotenlasten | Stablasten | Linienlasten | Röhrenlasten

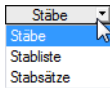
Typ der Last (F7 zum Wählen)

Bild 6.16 Tabelle 3.2 Stablasten

Die Nummer der Stablast wird im Dialog *Neue Stablast* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

Beziehen auf

Es ist festzulegen, auf welche Modellelemente die Stablast wirken soll. Folgende Möglichkeiten stehen zur Auswahl:



Stäbe

Die Last wirkt auf einen Stab oder jeweils einzeln auf mehrere Stäbe.

Stabliste

Die Last wirkt auf die Gesamtheit der Stäbe, die in einer Liste festzulegen sind. Bei trapezförmigen Stablasten werden so die Lastparameter nicht auf jeden Stab einzeln angesetzt, sondern als Gesamtlast auf alle Stäbe der Stabliste. Die Lastbilder einer trapezförmigen Stablast auf Einzelstäbe und auf eine Stabliste sind im [Bild 6.17](#) gegenübergestellt.

Über eine Stabliste lassen sich Lasten stabübergreifend aufbringen, ohne einen Stabzug zu definieren. Außerdem kann der Lastbezug schnell auf Einzelstäbe geändert werden.

Stabsätze

Die Last wirkt auf einen Stabsatz oder jeweils auf mehrere Stabsätze. Wie bei einer Stabliste werden die Lastparameter auf die Gesamtheit der im Stabsatz enthaltenen Stäbe angesetzt.

Stabsätze untergliedern sich in Stabzüge und Stabgruppen (siehe [Kapitel 4.21](#)). Während Stabsatzlasten uneingeschränkt auf Stabzüge aufgebracht werden können, ist für Stabgruppen Vorsicht geboten: Bei Trapezlasten ist der Bezug auf eine Stabgruppe meist problematisch.

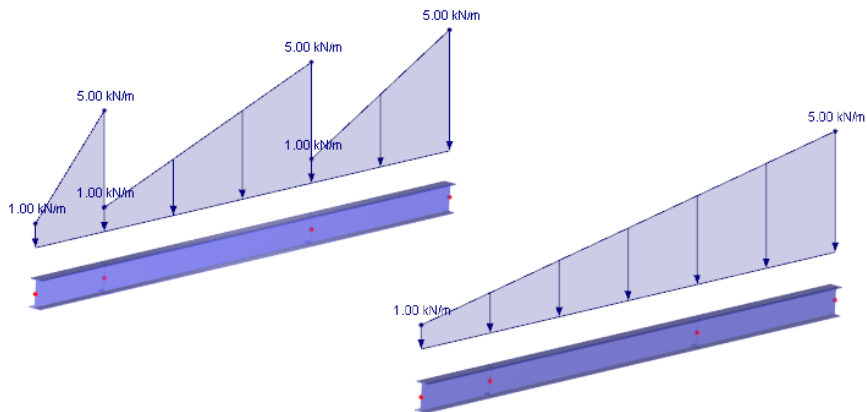
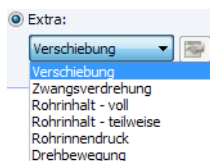
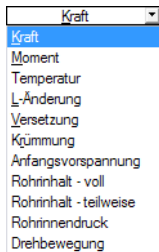


Bild 6.17 Trapezlast mit Bezug auf Stäbe (links) und mit Bezug auf Stabliste (rechts)



An Stäben Nr.


Im Eingabefeld sind die Nummern der Stäbe bzw. Stabsätze anzugeben, an denen die Last wirkt. Die Auswahl kann im Dialog auch grafisch erfolgen.

Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Stäbe oder Stabsätze nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.

Bei trapezförmigen oder veränderlichen Lasten mit Lastbezug auf eine Stabliste lassen sich die Stabnummern über die Dialog-Schaltfläche [Reihenfolge umkehren] passend anordnen.

Lastart

In diesem Abschnitt ist der Lasttyp festzulegen. Je nach Vorgabe werden bestimmte Bereiche des Dialogs bzw. Spalten der Tabelle deaktiviert. Es stehen folgende Lastarten zur Auswahl:

Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Einzel-, Strecken- oder Trapezlast Über die Schaltfläche  kann eine Lastausmitte festgelegt werden.
Moment	Einzel-, Strecken- oder Trapezmoment
Temperatur	Gleichmäßig über den Stabquerschnitt verteilte Temperaturlast oder Temperaturunterschied zwischen Staboberseite und -unterseite Die Last wirkt konstant oder trapezförmig über die Stablänge bzw. trapezförmig über den Querschnitt. Ein positiver Lastwert bedeutet, dass sich der Stab bzw. die Oberseite erwärmt.
Längenänderung	Zwangsdehnung oder -stauchung ε des Stabes Ein positiver Lastwert bedeutet, dass der Stab gedehnt wird. Eine Vorspannung als Stabverkürzung ist somit negativ einzugeben. Das Schwindmaß kann über die links dargestellte Dialog-Schaltfläche aus den Parametern für Schrumpfen und Trocknungsschwinden ermittelt werden (siehe Bild 6.25 a).
Versetzung	Zwangsdehnung oder -stauchung Δl des Stabes
Krümmung	Zwangskrümmung des Stabes
Anfangsvorspannung	Vorspannkraft, die vor der Berechnung am Stab wirkt Ein positiver Lastwert bedeutet, dass der Stab gedehnt wird.
Endvorspannung	Normalkraft, die nach der Berechnung am Stab vorliegen soll (nicht für Starr- und Seilstäbe möglich) Ein positiver Lastwert bedeutet, dass der Stab gedehnt wird.
Verschiebung	Eingeprägte Verschiebung um den Betrag Δ zur Ermittlung von Einflusslinien
Zwangsverdringung	Eingeprägte Verdringung um den Winkel φ für Einflusslinien


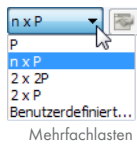
Rohrinhalt - voll	Streckenlast infolge vollständiger Füllung eines Rohres Es ist die Wichte γ des Rohrinhalts anzugeben.
Rohrinhalt - teilweise	Streckenlast infolge teilweiser Füllung eines Rohres Neben der Wichte γ des Rohrinhalts ist die Füllhöhe d anzugeben.
Rohrinnendruck	Gleichmäßiger Innendruck eines Rohres
Drehbewegung	Zentrifugalkraft aus Masse und Winkelgeschwindigkeit ω auf den Stab Die Rotationsachse kann über die Schaltfläche  festgelegt werden.

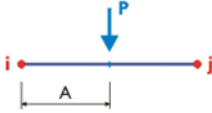
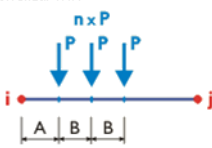

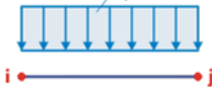
Tabelle 6.1 Lastarten

Die Grafik rechts oben im Dialog veranschaulicht die gewählte Lastart und die Wirkung der Vorzeichen von Kräften und Dehnungen.

Lastverlauf

Der Abschnitt *Lastverlauf* bietet diverse Möglichkeiten, die Wirkung der Last abzubilden. Zur Veranschaulichung ist die Grafik rechts oben im Dialog hilfreich.



Lastverlauf	Diagramm	Beschreibung
Punktuell P	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Punktuell' 	Einzellast, Einzelmoment Als <i>Stablast-Parameter</i> sind die Größe der Einzellast bzw. des Einzelmoments und der Abstand des Lastangriffspunkts vom Stabanfang anzugeben.
Punktuell n x P	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'n x P' 	Mehrfach-Einzellasten bzw. -momente Die Liste bietet verschiedene Anordnungsmöglichkeiten für Lastpaare oder Mehrfach-Einzellasten wie z. B. Achslasten. Die Lasten lassen sich auch <i>Benutzerdefiniert</i> in einem separaten Dialog definieren, der dann mit der Schaltfläche  aufzurufen ist. Die links gezeigte Option eignet sich für gleich große Einzelkräfte, die in einem konstanten Abstand voneinander wirken. Als <i>Stablast-Parameter</i> sind die Größe der Einzellast, der Abstand der ersten Last vom Stabanfang und der Abstand der Lasten untereinander festzulegen.
Konstant	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Konstant' 	Gleichstreckenlast, Gleichstreckenmoment Als <i>Stablast-Parameter</i> ist die Größe der gleichförmigen Stablast bzw. des gleichförmigen Stabmoments anzugeben.

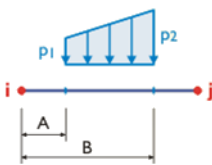
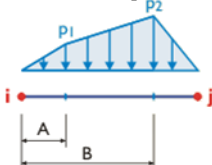
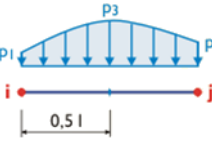
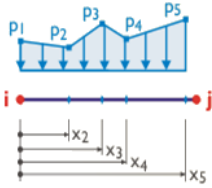

<p>Trapezförmig</p>	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Trapezförmig'</p> 	<p>Trapezlast, Trapezmoment Für einen linear veränderlichen Lastverlauf sind als <i>Stablast-Parameter</i> die beiden Lastgrößen und die Abstände gemäß Schemagrafik festzulegen. Dreieckslasten werden erzeugt, indem eine Lastgröße zu null gesetzt wird. Wenn das Kontrollfeld <i>Relativer Abstand in %</i> aktiviert ist, können die Abstände relativ zur Stablänge angegeben werden.</p>
<p>Viereckförmig</p>	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Viereckförmig'</p> 	<p>Dreieck-Trapezlast, Dreieck-Trapezmoment Für einen abschnittsweise linear veränderlichen Lastverlauf sind die Lastgrößen und Abstände als <i>Lastparameter</i> gemäß nebenstehender Grafik anzugeben.</p>
<p>Parabolisch</p>	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Parabelförmig'</p> 	<p>Parabellast, Parabelmoment Die Last wirkt parabelförmig auf den gesamten Stab. Als <i>Lastparameter</i> sind die Lastgrößen am Stabanfang und Stabende sowie in Stabmitte einzutragen.</p>
<p>Veränderlich</p>	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Veränderlich'</p> 	<p>Polygonförmige Streckenlast Beim Klick auf die Schaltfläche  öffnet sich der im Bild 6.18 dargestellte Dialog. Dort können die Parameter des Lastverlaufs eingetragen oder importiert werden.</p>

Tabelle 6.2 Lastverläufe

Um eine veränderliche Last abzubilden, können die Stellen x am Stab mit den zugeordneten Lastordinaten p frei definiert werden. Es ist nur die aufsteigende Anordnung der x -Stellen zu beachten. Die interaktive Grafik ermöglicht eine direkte Kontrolle der Eingabe.

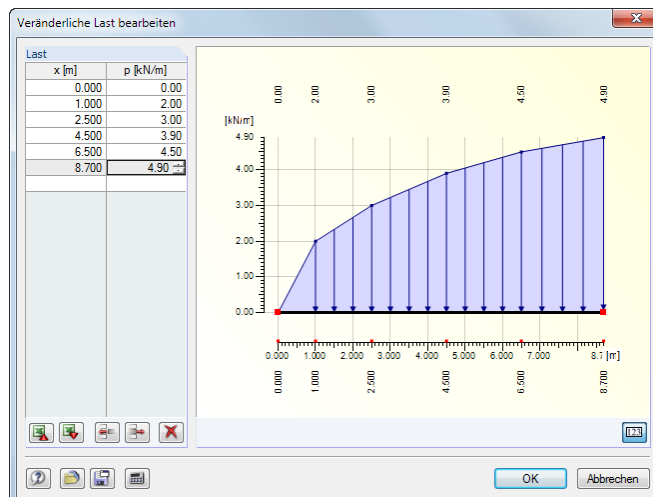


Bild 6.18 Dialog Veränderliche Last bearbeiten

Die Schaltflächen in diesem Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:






Schaltfläche	Funktion
	Exportieren der Tabelle nach MS Excel
	Importieren einer Tabelle von MS Excel
	Einfügen einer Leerzeile oberhalb des Cursors
	Löschen der aktuellen Zeile
	Löschen aller Eingaben

Tabelle 6.3 Schaltflächen im Dialog *Veränderliche Last bearbeiten*

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Stabachsen x, y, z bzw. u, v (siehe [Kapitel 4.13](#)) wirksam sein. Für die Berechnung nach Theorie I. Ordnung spielt es keine Rolle, ob eine Last lokal oder gleichwertig global definiert wird. Bei geometrisch nichtlinearen Berechnungen jedoch sind Unterschiede zwischen lokal und global definierten Lasten möglich: Wird die Last mit globaler Wirkungsrichtung definiert, so behält sie diese Richtung bei, wenn sich die finiten Elemente verdrehen. Bei lokaler Wirkungsrichtung jedoch verdreht sich die Last auf dem Stab entsprechend der Verdrehung der Elemente.

Falls der Modelltyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert wurde, sind nicht alle Lastrichtungen zugänglich.

Lokal

Die Orientierung der Stabachsen ist im [Kapitel 4.17](#), Abschnitt [Stabdrehung](#) beschrieben. Die lokale Achse x repräsentiert die Längsachse des Stabes. Bei symmetrischen Profilen stellt die Achse y die so genannte ‚starke‘ Achse des Stabquerschnitts, die Achse z entsprechend die ‚schwache‘ Achse dar. Bei unsymmetrischen Querschnitten können die Lasten sowohl auf die Hauptachsen u und v als auch auf die Standard-Eingabeachsen y und z bezogen werden.

Beispiele für lokal definierte Lasten sind Windlasten auf Dachkonstruktionen, Temperaturlasten oder Vorspannungen.

Global

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, braucht die Lage der lokalen Stabachsen für die Eingabe nicht beachtet werden.

Beispiele für global definierte Lasten sind Aufbau- oder Schneelasten auf Dachkonstruktionen und Windlasten auf Wand- oder Giebelstützen.

Die Wirkung der Last kann auf unterschiedliche Eintragslängen bezogen werden:

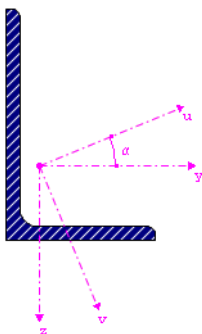
■ Bezogen auf wahre Stablänge

Der Lasteintrag wird auf die gesamte, wahre Stablänge bezogen.

■ Bezogen auf projizierte Stablänge in X / Y / Z

Die Eintragslänge der Last wird auf die Projektion des Stabes in eine der Richtungen des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Ein Anwendungsfall ist beispielsweise die Schneelast auf die projizierte Grundrissfläche eines Dachs.

z
x - Lokal in x (1)
y - Lokal in y (2)
z - Lokal in z (3)
u - Lokal in Hauptachse u
v - Lokal in Hauptachse v
XL - Global in X auf wahre Länge
YL - Global in Y auf wahre Länge
ZL - Global in Z auf wahre Länge
XP - Global in X auf projizierte Länge
YP - Global in Y auf projizierte Länge
ZP - Global in Z auf projizierte Länge





RFEM setzt die Stablasten stets im Schubmittelpunkt an. Eine planmäßige Torsion aufgrund der Profilgeometrie (Schwerpunkt ungleich Schubmittelpunkt) wird nicht erfasst. Bei unsymmetrischen Querschnitten ist daher zusätzlich ein Torsionsmoment aus Last mal Abstand zum Schubmittelpunkt aufzubringen, falls der Lasteintrag z. B. im Schwerpunkt erfolgt.

Stablast-Parameter

In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell zusätzliche Parameter verwaltet. Die Eingabefelder sind in Abhängigkeit von den zuvor aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.


Last p_1 / p_2

In diese Felder sind die Lastgrößen einzutragen. Die Vorzeichen sind mit den globalen bzw. lokalen Achsenorientierungen abzugleichen. Bei Vorspannungen, Temperatur- und Längenänderungen bedeutet ein positiver Wert, dass der Stab gedehnt wird und eine Längung erfährt.

Bei einer trapezförmigen Last müssen zwei Lastwerte angegeben werden. Die Grafik im Dialog rechts oben veranschaulicht die Lastparameter.

Abstand A / B

Bei punktuellen Lasten und Trapezlasten sind in diesen Eingabefeldern die Abstände vom Stabanfang anzugeben. Die Abstände können auch relativ zur Stablänge festgelegt werden, indem das Kontrollfeld *Relativer Abstand in %* aktiviert wird (siehe unten).

Die Grafik rechts oben im Dialog und die Schaltfläche  in der unteren Grafik sind hilfreich bei der Eingabe der Parameter.



Falls die *Lastrichtung* auf die Stablänge XP, YP oder ZP projiziert ist, sind die Abstände A und B ebenfalls auf die projizierte Stablänge bezogen anzugeben.

Relativer Abstand in %

Ist dieses Kontrollfeld aktiviert, können die Abstände von Einzel- oder Trapezlasten relativ zur Stablänge definiert werden. Anderenfalls stellen die Angaben in den oben beschriebenen *Abstand*-Eingabefeldern absolute Strecken dar.

Über gesamte Länge

Das Kontrollfeld kann nur bei trapezförmigen Lasten aktiviert werden. Es bewirkt, dass die linear veränderliche Last von Stabanfang bis Stabende angeordnet wird. Die Eingabefelder *Stablast-Parameter A / B* sind bedeutungslos und deshalb unzugänglich.

Beispiel

In einem Beispiel sind Stablasten für ein ebenes Fachwerk definiert. Es zeigt, dass die Stäbe nicht durch Zwischenknoten geteilt werden müssen, um Einzellasten anzusetzen.

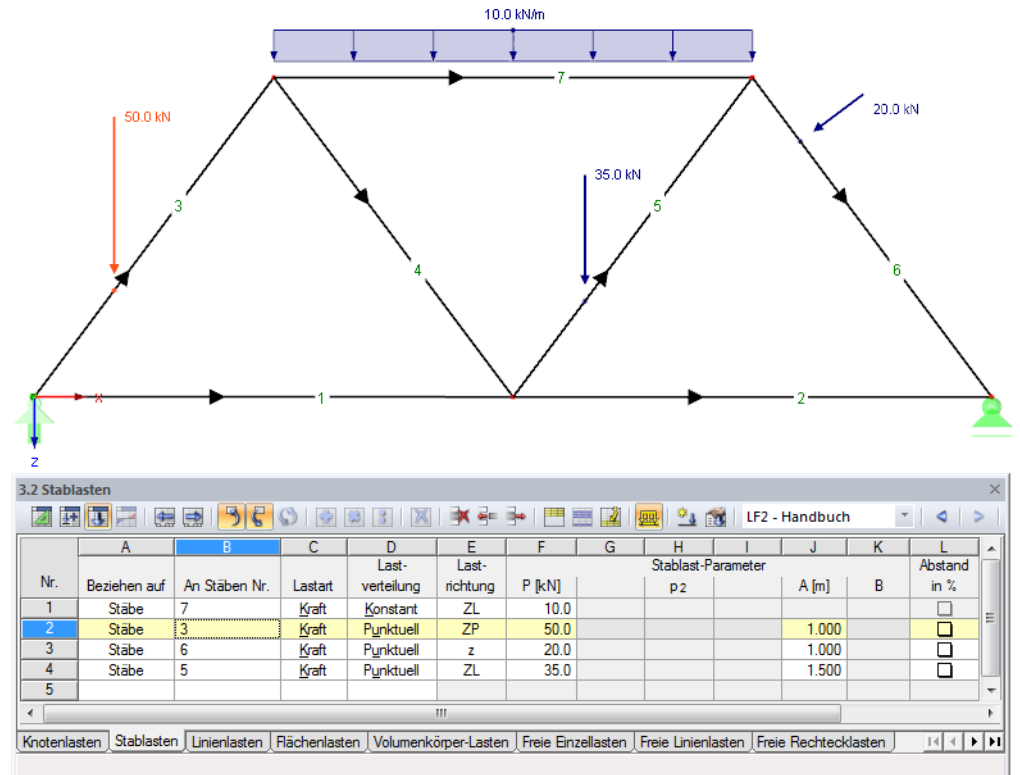


Bild 6.19 Fachwerk mit Streckenlast am Obergurt und Einzellasten an den Diagonalen

6.3

Linienlasten

Allgemeine Beschreibung

Linienlasten sind Kräfte und Momente, die an Linien (siehe [Kapitel 4.2](#)) wirken.

Die Voraussetzung für eine Linienlast ist, dass bereits eine Linie definiert ist.

Linienlasten und Stablasten sind sehr ähnlich. Den Linienlasten fehlen jedoch die Möglichkeiten, für die Materialdaten benötigt werden (z. B. Temperaturlasten, Längenänderung).

Da ein Stab die Eigenschaft einer Linie ist, können Linienlasten auch auf Stäbe wirken. Die Voraussetzung ist allerdings, dass diese Linie auch zu einer Fläche gehört. Stäbe in reinen Stabmodellen können somit nicht mit Linienlasten beaufschlagt werden.

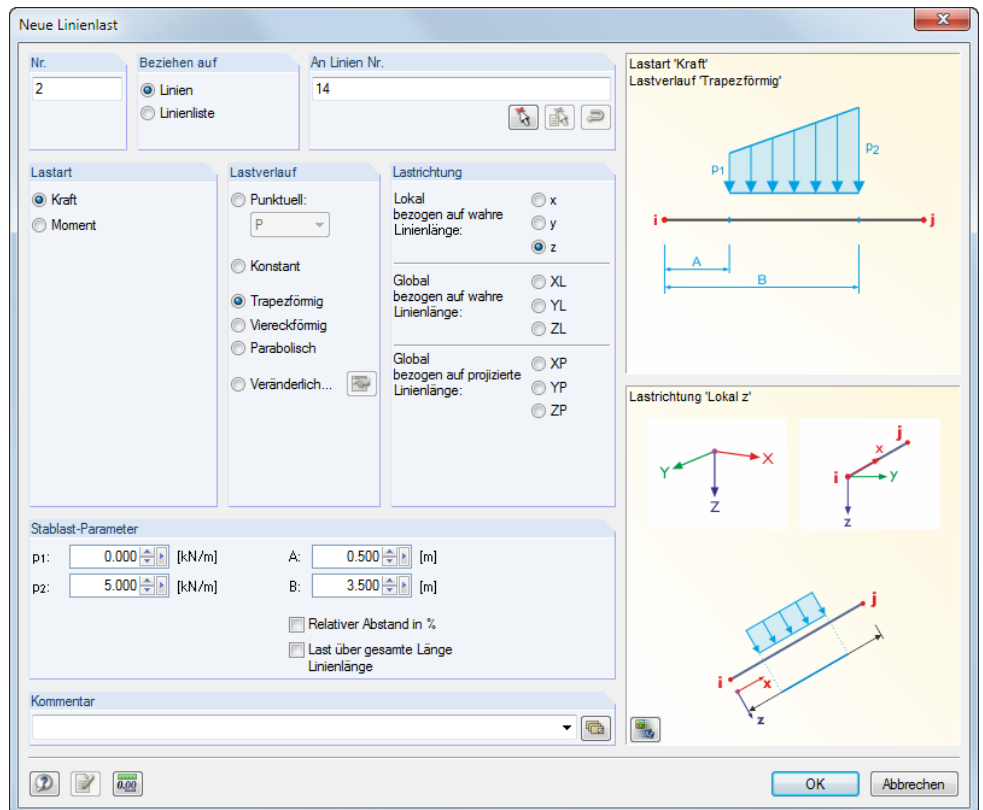


Bild 6.20 Dialog Neue Linienlast

3.3 Linienlasten

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Lastart	Lastverteilung	Lastrichtung	P [kN]	Linienlast-Parameter	Abstand in %	Gesamt Länge
							p2	A [m]	B
1	Linien	11	Kraft	Konstant	ZL	5.00			
2	Linienliste	9-12	Kraft	Trapezförmig	z	0.00	5.00		<input checked="" type="checkbox"/>
3	Linien	2	Kraft	Punktuell	XL	8.75		1.350	<input type="checkbox"/>
4	Linien	2	Moment	Punktuell	YL	2.45		1.350	<input type="checkbox"/>
5				Konstant					
				Trapezförmig					
				Veränderlich					

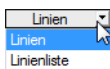
Typ des Lastverlaufes der Linienlast (F7 zum Wählen).

Bild 6.21 Tabelle 3.3 Linienlasten

Die Nummer der Linienlast wird im Dialog *Neue Linienlast* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

Beziehen auf

Es ist festzulegen, auf welche Objekte die Linienlast wirken soll. Folgende Möglichkeiten stehen zur Auswahl:




Linien

Die Last wirkt auf eine Linie oder jeweils einzeln auf mehrere Linien.

Linienliste

Die Last wirkt auf die Gesamtheit der Linien, die in einer Liste festzulegen sind. Bei trapezförmigen Linienlasten werden so die Lastparameter nicht auf jede Linie einzeln angesetzt, sondern als Gesamtlast auf alle Linien der Linienliste (vgl. Bild 6.17).

An Linien Nr.

Im Eingabefeld sind die Nummern der Linien anzugeben, an denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit  auch grafisch erfolgen.

Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Linien nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.




Lastart

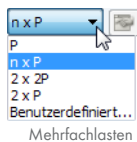
In diesem Abschnitt wird festgelegt, um welchen Lasttyp es sich handelt. Je nach Auswahl werden bestimmte Bereiche des Dialogs bzw. Spalten der Tabelle deaktiviert. Folgende Lastarten stehen zur Auswahl:

Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Einzel-, Strecken-, Trapezlast oder veränderliche Last
Moment	Einzel-, Strecken- oder Trapezmoment

Tabelle 6.4 Lastarten

Lastverlauf

Der Abschnitt *Lastverlauf* bietet diverse Möglichkeiten, die Wirkung der Last abzubilden. Zur Veranschaulichung ist die Grafik rechts im Dialog hilfreich. Mit der Schaltfläche  in der unteren Grafik kann die Last im Rendering dargestellt werden.



Mehrfachlasten



Lastverlauf	Kurzbeschreibung
Punktuell	Einzellast, Einzelmoment oder Mehrfach-Einzellasten bzw. -momente
Konstant	Gleichstreckenlast, Gleichstreckenmoment
Trapezförmig	Trapezlast, Trapezmoment
Viereckförmig	Dreieck-Trapezlast, Dreieck-Trapezmoment
Parabolisch	Parabellast, Parabelmoment
Veränderlich	Polygonförmige Streckenlast Es öffnet sich der im Bild 6.18 dargestellte Dialog, in dem die Parameter des Lastverlaufs eingetragen werden können.

Tabelle 6.5 Lastverläufe

Die Lastverläufe entsprechen weitgehend denen der Stablasten. In [Tabelle 6.2](#) sind die Diagramme ausführlich beschrieben.

z	▼
x	- Lokal in x (1)
y	- Lokal in y (2)
z	- Lokal in z (3)
XL	- Global in X auf wahre Länge
YL	- Global in Y auf wahre Länge
ZL	- Global in Z auf wahre Länge
XP	- Global in X auf projizierte Länge
YP	- Global in Y auf projizierte Länge
ZP	- Global in Z auf projizierte Länge

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Linienachsen x, y, z wirksam sein. Für die Berechnung nach Theorie I. Ordnung spielt es keine Rolle, ob eine Last lokal oder gleichwertig global definiert wird. Bei geometrisch nichtlinearen Berechnungen jedoch sind Unterschiede zwischen lokal und global definierten Lasten möglich: Wird die Last mit globaler Wirkungsrichtung definiert, so behält sie diese Richtung bei, wenn sich die finiten Elemente verdrehen. Bei lokaler Wirkungsrichtung jedoch verdreht sich die Last auf der Linie entsprechend der Verdrehung der Elemente.

Lokal

Die Orientierung der Linienachsen ist im [Bild 4.103](#) dargestellt. Die lokale Achse x stellt die Längsachse der Linie dar. Die Achse z ist in der Regel parallel zur globalen Achse Z ausgerichtet.

Global

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, braucht die Lage der lokalen Linienachsen für die Eingabe nicht beachtet werden.

Die Wirkung der Last kann auf unterschiedliche Eintragslängen bezogen werden:

■ Bezogen auf wahre Linienlänge

Der Lasteintrag wird auf die gesamte, wahre Linienlänge bezogen.

■ Bezogen auf projizierte Linienlänge in X / Y / Z

Die Eintragslänge der Last wird auf die Projektion der Linie in eine der Richtungen des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Die Projektionslängen werden in der Dialoggrafik rechts veranschaulicht.

Linienlast-Parameter


In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell zusätzliche Parameter verwaltet. Die Eingabefelder sind in Abhängigkeit von den vorher aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Last P / p / p₂ / M / m / m₂

In diesen Feldern sind die Lastgrößen einzutragen. Die Vorzeichen sind mit den globalen bzw. lokalen Achsenorientierungen abzugleichen. Bei einer trapezförmigen Last müssen zwei Lastwerte angegeben werden. Die Grafik rechts oben im Dialog veranschaulicht die Lastparameter.

Abstand A / B

Bei punktuellen Lasten und Trapezlasten sind in diesen Eingabefeldern die Abstände vom Linienanfang anzugeben. Die Abstände können auch auf die Linienlänge bezogen festgelegt werden, wenn rechts das Kontrollfeld *Relativer Abstand in %* aktiviert wird (siehe unten).

Die Grafik rechts oben im Dialog und die Schaltfläche  in der unteren Grafik sind hilfreich bei der Eingabe der Parameter.

Relativer Abstand in %

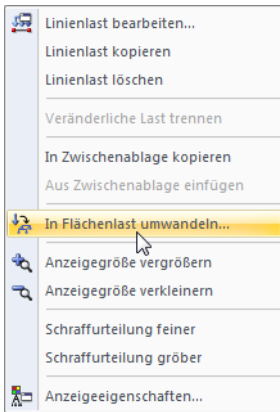
Ist dieses Kontrollfeld aktiviert, können die Abstände von punktuellen oder veränderlichen Lasten relativ zur Linienlänge definiert werden. Anderenfalls stellen die Angaben in den oben beschriebenen Abstand-Eingabefeldern absolute Strecken dar.

Über gesamte Länge

Das Kontrollfeld kann nur bei trapezförmigen Lasten aktiviert werden. Es bewirkt, dass die linear veränderliche Last von Linienanfang bis Linienende angeordnet wird. Die Eingabefelder *Linienlast-Parameter A / B* sind bedeutungslos und deshalb unzugänglich.

Linienlast in Flächenlast umwandeln

Off führen Linienlasten zu Singularitäten, da die Last konzentriert in einer Linie eingeleitet wird. Um diesen Effekt abzumindern, kann im Menü **Extras** die Option **Knoten-/Linienlast in Flächenlast umwandeln** verwendet werden. Diese Option ist für gerade Linien nutzbar. Der Dialog zum Konvertieren einer Linienlast ist auch über das links dargestellte Kontextmenü einer Linie zugänglich. Es wird wie üblich durch Rechtsklicken des Objekts aktiviert.



Linienlast-Kontextmenü

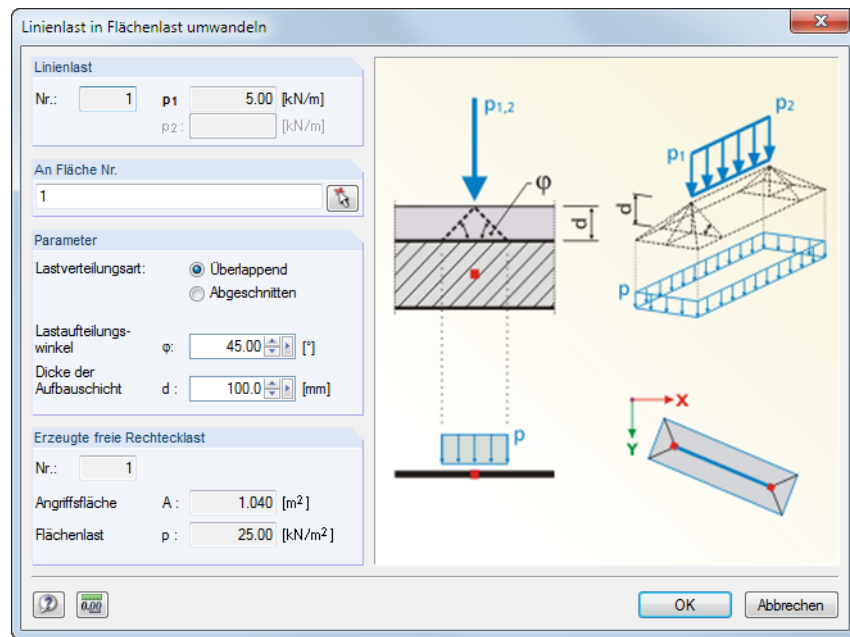


Bild 6.22 Dialog *Linienlast in Flächenlast umwandeln*

Im Dialog sind die Parameter zur Aufteilung der Last festzulegen.

Nach [OK] wird die entsprechende freie Rechteck- bzw. Polygonlast erzeugt.

6.4

Flächenlasten

Allgemeine Beschreibung



Flächenlasten wirken auf alle 2D-Elemente einer Fläche (siehe Kapitel 4.4 [2]).

Die Voraussetzung für eine Flächenlast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

Falls eine Fläche wegen einer Durchdringung in Teilflächen gegliedert ist (siehe Kapitel 4.22 [2]), so wirkt die Flächenlast nicht auf inaktiv gesetzte Teilflächen. Öffnungen werden ebenfalls von der Flächenlast ausgespart.

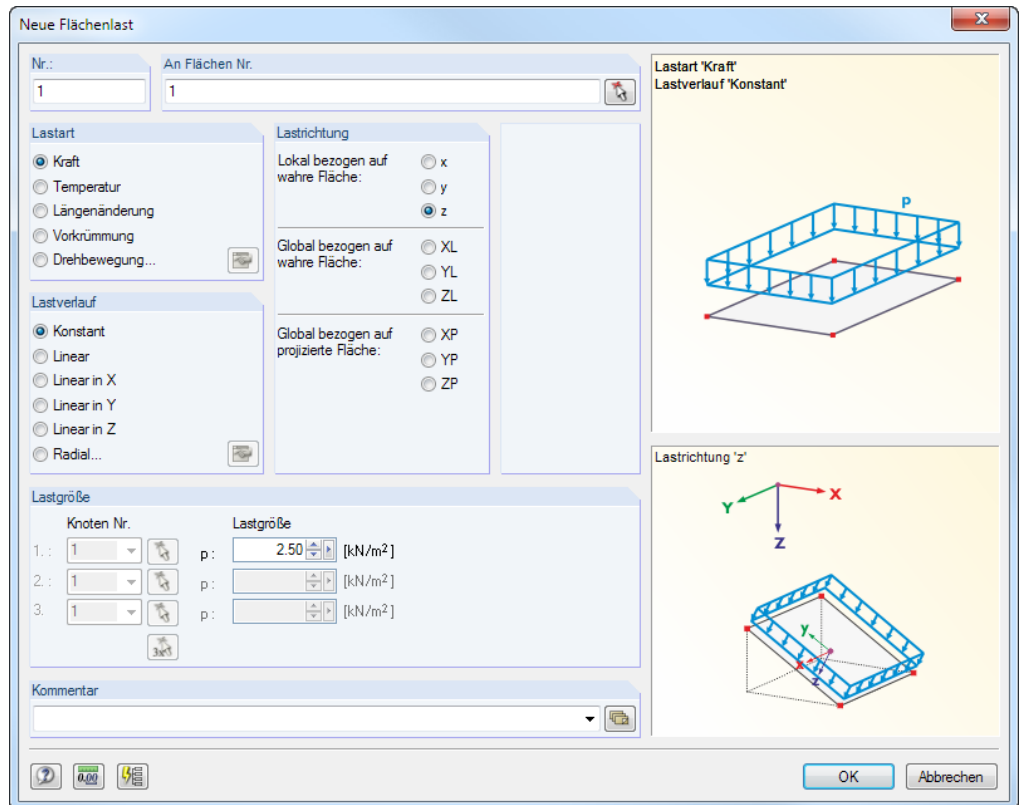


Bild 6.23 Dialog Neue Flächenlast

3.4 Flächenlasten

Nr.	An Flächen Nr.	Lastart	Lastverteilung	Last-richtung	E	1. Eckpunkt		2. Eckpunkt		3. Eckpunkt	
						Nr.	p ₁ [kN/m ²]	Nr.	p ₂ [kN/m ²]	Nr.	p ₃
1	1.4	Kraft	Konstant	ZL		1.50					
2	2	Kraft	Linear in Z	z	3	0.00		6	-64.00		
3	3	Kraft	Konstant	z		2.50					
4		Temperatur									
5		L-Änderung									
		Krümmung									
		Drehbewegung									


Knotenlasten | Stablasten | Linienlasten | Flächenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten

Typ der Last (F7 zum Wählen)

Bild 6.24 Tabelle 3.4 Flächenlasten

Die Nummer der Flächenlast wird im Dialog *Neue Flächenlast* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

An Flächen Nr.

In diesem Eingabefeld sind die Nummern der Flächen festzulegen, auf die die Last wirkt. Die Auswahl kann mit  auch grafisch erfolgen.

Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Flächen nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.

Lastart

In diesem Abschnitt wird festgelegt, um welchen Lasttyp es sich handelt. Je nach Auswahl werden bestimmte Bereiche des Dialogs bzw. Spalten der Tabelle deaktiviert. Folgende Lastarten stehen zur Auswahl:


Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Gleichmäßig, linear veränderlich oder radial wirkende Kraft auf der Fläche
Temperatur	Gleichmäßig, linear veränderlich über die Flächendicke verteilte oder radial angeordnete Temperaturlast Ein positiver Lastwert bedeutet, dass sich die Fläche bzw. deren Oberseite erwärmt.
Längenänderung	Zwangsdehnung oder -stauchung ε der Fläche Ein positiver Lastwert bedeutet, dass die Fläche gedehnt wird. Das Schwindmaß lässt sich über die links dargestellte Schaltfläche ermitteln. Es wird der im Bild 6.25 gezeigte Dialog zur Eingabe der Parameter für Schwinden aufgerufen.
Vorkrümmung	Zwangskrümmung der Fläche
Drehbewegung	Zentrifugalkraft aus Masse und Winkelgeschwindigkeit ω auf die Fläche Die Rotationsachse kann über die Schaltfläche  in einem separaten Dialog festgelegt werden.

Tabelle 6.6 Lastarten

Die Parameter für Flächen- und Stablasten infolge Schwindens können über die Schaltfläche  in einem separaten Dialog festgelegt werden (siehe [Bild 6.25](#)).

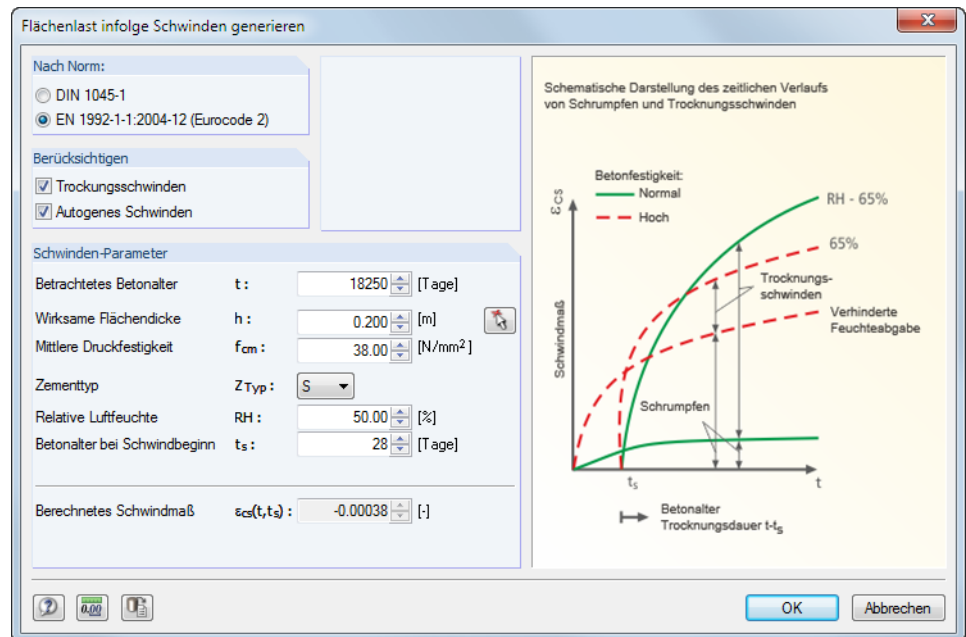


Bild 6.25 Dialog Flächenlast infolge Schwinden generieren

Schwinden als zeitabhängige Volumenänderung ohne äußere Last- oder Temperatureinwirkung äußert sich in den Erscheinungsformen Trocknungsschwinden, autogenes Schwinden, plastisches Schwinden und Karbonatisierungsschwinden. Aus den wesentlichen Einflussgrößen des Schwindprozesses (relative Luftfeuchte RH , wirksame Bauteildicke h , Betonfestigkeit f_{cm} , Zementtyp Z_{Typ} , Betonalter bei Schwindbeginn t_s) wird das Schwindmaß $\varepsilon_{cs}(t,t_s)$ zum Zeitpunkt t ermittelt.

[OK] übergibt den Wert als Längenänderung ε in den Dialog *Neue Flächenlast*.

Lastverteilung

Die Last kann *konstant*, *linear* veränderlich oder *radial* auf der Fläche wirken.

Linear

Die Lastgrößen sind für drei Knoten zu definieren. Durch diese drei Knoten wird eine Ebene gelegt.

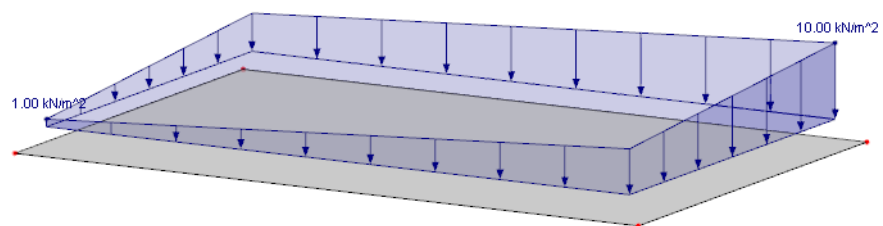
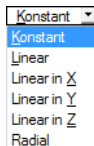


Bild 6.26 Linear veränderliche Flächenlast

Linear in X / Y / Z

Ist die Flächenlast in Richtung einer Achse des globalen Koordinatensystems veränderlich, sind die Lastgrößen von zwei Knoten erforderlich. Die Knoten dürfen auch außerhalb der belasteten Fläche liegen, sofern dort FE-Knoten erzeugt werden (d. h. es darf sich nicht um freie Knoten handeln).



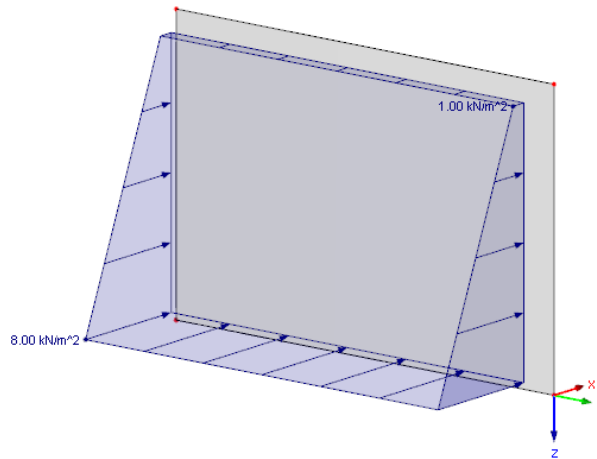


Bild 6.27 Linear in Z-Richtung veränderliche Flächenlast

Radial

Für radial wirkende Kräfte oder Temperaturlasten ist die Achse der Radialverteilung in einem separaten Dialog festzulegen. Dieser kann über die Schaltfläche aufgerufen werden.

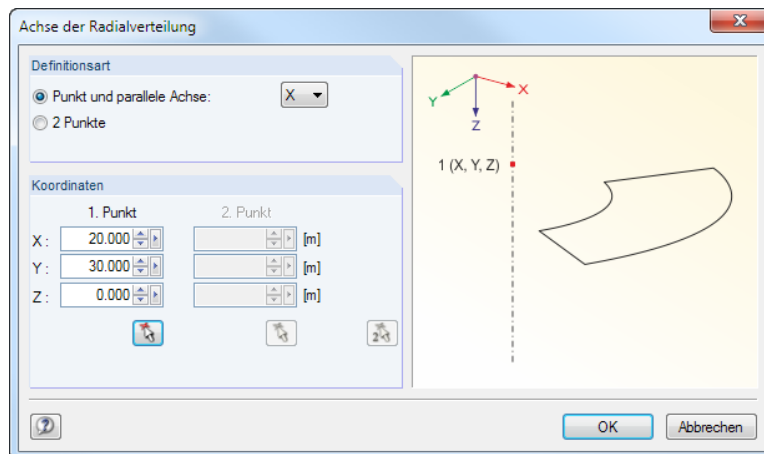


Bild 6.28 Dialog Achse der Radialverteilung

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der lokalen Flächenachsen x, y, z oder der globalen Achsen X, Y, Z wirken.

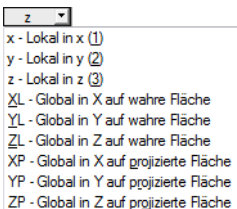
Lokal bezogen auf wahre Fläche

Rechtwinklig zur Fläche wirkende Lasten werden in der Regel lokal in Richtung z definiert. Anwendungsfälle sind z. B. Windlast auf Dachflächen oder Innendruck auf Behälterschalen.

Die Flächenachsen lassen sich über den Zeigen-Navigator einblenden, indem der Eintrag **Modell** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x, y, z** aktiviert wird. Alternativ wird das Kontextmenü einer Fläche benutzt (siehe Bild 4.122).

Global bezogen auf wahre Fläche

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, spielt für die Berechnung nach Theorie I. Ordnung die Orientierung der lokalen Flächenachsen keine Rolle. Bei nichtlinearen Berechnungen jedoch sind Unterschiede zwischen lokal und global definierten Lasten möglich: Wird die Last mit globaler Wirkungsrichtung definiert, so behält sie diese Richtung bei, wenn sich die finiten Elemente verdrehen. Bei lokaler Wirkungsrichtung hingegen verdreht sich die Last entsprechend der Verdrehung der Elemente.



Global bezogen auf projizierte Fläche

Die Last wird auf die Projektion der Fläche in eine Richtung des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Ein Anwendungsfall ist beispielsweise die Schneelast auf die projizierte Grundrissfläche eines Dachs.

Die Grafik rechts unten im Dialog veranschaulicht die Projektionsflächen.

Flächenlast-Parameter


In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell die zugeordneten Knoten verwaltet. Die Eingabefelder sind in Abhängigkeit von den zuvor aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Last $p / p_2 / p_3 / T / \Delta T / \varepsilon / R / \omega / a$

In diesen Feldern sind die Lastgrößen einzutragen. Die Vorzeichen sind mit den globalen bzw. lokalen Achsenorientierungen abzugleichen.


Bei einer linear veränderlichen Last müssen mehrere Lastwerte angegeben werden. Die Grafik rechts oben im Dialog veranschaulicht die Lastparameter.

Knoten Nr.

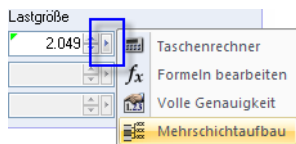
Bei linear veränderlichen Lasten sind drei Knoten anzugeben, an denen die Lastgrößen bestimmt werden können. Durch diese Knoten wird eine Ebene gelegt. Die Auswahl kann mit  auch grafisch erfolgen.

Mehrschichtaufbau-Last

Es können Lasten aus den Flächengewichten von Materialien erzeugt werden, die als mehrschichtige Lagen wirken. Damit lässt sich auf einfache Weise z. B. der Aufbau von Fußböden oder Belägen erfassen.

Die Funktion ist im Dialog *Neue Flächenlast* (Bild 6.23 [↗](#)) zugänglich über die Schaltfläche , die sich rechts neben dem Eingabefeld der Lastgröße befindet. Im Kontextmenü ist dann der Eintrag *Mehrschichtaufbau* zu wählen.

Es öffnet sich die *Mehrschichtaufbau-Bibliothek*, in der Schichtenaufbauten ausgewählt oder auch neu definiert werden können.



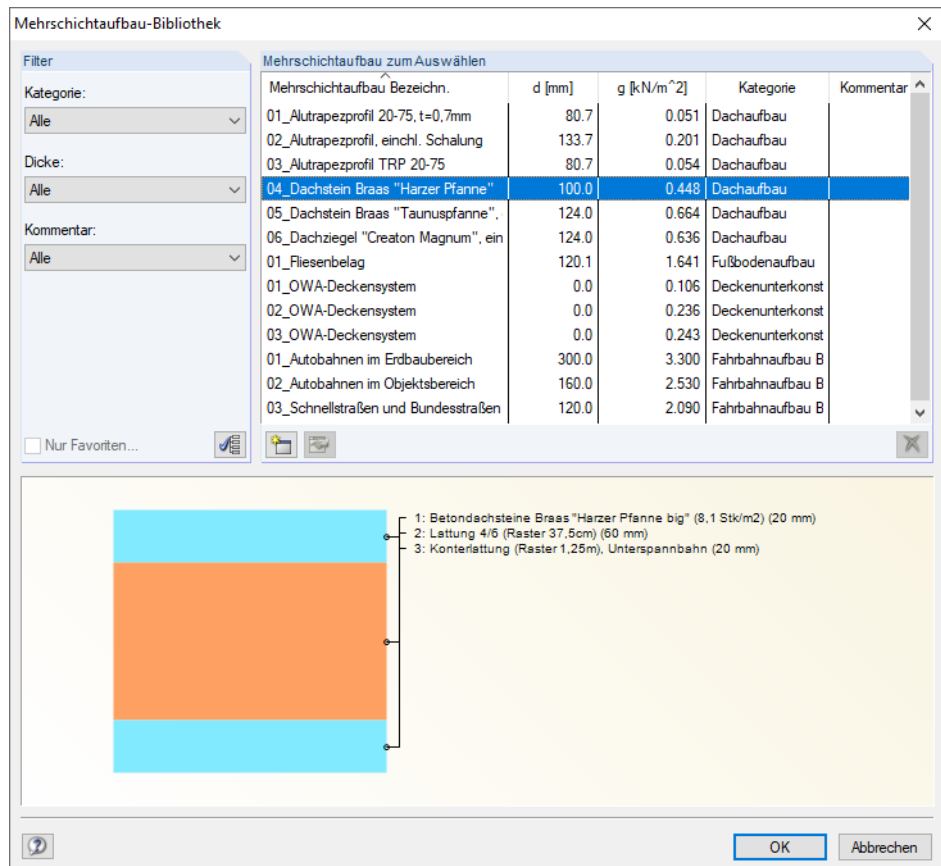


Bild 6.29 Dialog Mehrschichtaufbau-Bibliothek

Das Konzept dieser Datenbank entspricht dem der Materialbibliothek (siehe Kapitel 4.3). Über die Schaltflächen und können benutzerdefinierte Mehrschichtaufbauten erstellt bzw. geändert werden.

Schichten						
Schicht Nr.	A Schicht / Material Bezeichnung	B Dicke d [mm]	C g direkt eingeben	D Spez. Gewicht γ [kN/m ³]	E Flächengewicht g [kN/m ²]	F Kommentar
1	Baustahl S 235	10.0	<input type="checkbox"/>	78.50	0.785	
2	PVC-U (hart)	3.0	<input checked="" type="checkbox"/>		0.060	
3	Beton C30/37	160.0	<input type="checkbox"/>	25.00	4.000	
4						
		Σd :	173.0	Σg :	4.845	
Kommentar:						

Bild 6.30 Dialog Neue Mehrschicht, Abschnitt Schichten

Die Schichten können einzeln zusammengesetzt werden. Dabei besteht über die Schaltfläche Zugriff auf die Materialbibliothek (siehe Kapitel 4.3).

Aus der Dicke und dem Spezifischen Gewicht wird das Flächengewicht (Spalte E) ermittelt. Die aktuelle Schicht wird in der Dialoggrafik mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Nach der Übernahme mit [OK] wird das Flächengewicht in den Ausgangsdialog eingetragen. Im Eingabefeld erscheint ein grünes Dreieck (siehe Grafik bei Beschreibung der Mehrschichtaufbau-Last oben), das auf den parametrisierten Eingabewert hinweist. Über einen Klick auf dieses Dreieck sind die Eingabeparameter für Änderungen wieder zugänglich.

6.5

Volumenkörperlasten

Allgemeine Beschreibung



Volumenkörperlasten wirken auf alle 3D-Elemente eines Volumenkörpers (siehe Kapitel 4.5 [\[2\]](#)).

Die Voraussetzung für eine Volumenlast ist, dass bereits ein Volumenkörper definiert ist.

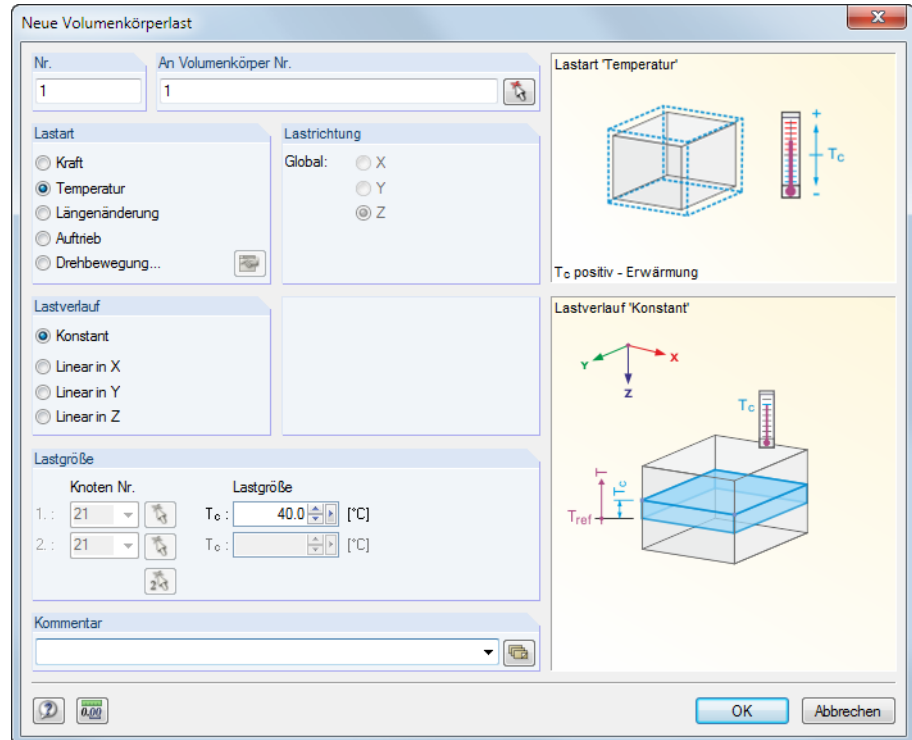


Bild 6.31 Dialog Neue Volumenkörperlast

Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H
	An Volumenkörper Nr.	Lastart	Lastverteilung	1. Eckpunkt Nr.	T ₁ [d°C]	2. Eckpunkt Nr.	T ₂ [d°C]	Kommentar
1	1,3	Temperatur	Konstant		40.0			
2	2	Temperatur	Linear in Z	19	50.0	25	20.0	
3								
4								
5								

Bild 6.32 Tabelle 3.5 Volumenkörper-Lasten

Die Nummer der Volumenlast wird im Dialog *Neue Volumenkörperlast* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden.

An Volumenkörper Nr.

Im Eingabefeld sind die Nummern der Volumen anzugeben, an denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.



Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Volumen nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.



Lastart

In diesem Abschnitt ist der Lasttyp festzulegen. Die Lastarten und Definitionsparameter werden im Dialog dynamisch visualisiert. Folgende Lastarten stehen zur Auswahl:


Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Gleichmäßig in eine der globalen Richtungen wirkende Volumenlast
Temperatur	Gleichmäßige oder linear veränderliche Temperaturänderung im Volumenkörper Ein positiver Lastwert bedeutet eine Erwärmung.
Dehnung	Gleichmäßige verteilte oder linear veränderliche Zwangsdehnung oder -stauchung des Volumenkörpers Ein positiver Lastwert bedeutet, dass das Volumen gedehnt wird.
Auftrieb	Gewichtskraft des verdrängten Materials, dessen Dichte eingetragen oder in einer [Bibliothek] ausgewählt werden kann Die <i>Umgebungsichte</i> von <i>Luft</i> ist auf eine Standardatmosphäre von 15 °C auf Meereshöhe bezogen.
Drehbewegung	Zentrifugalkraft aus Masse und Winkelgeschwindigkeit ω auf den Volumenkörper Die Rotationsachse kann über die Schaltfläche  in einem separaten Dialog definiert werden.

Tabelle 6.7 Lastarten

Weitere Kräfte können in Form von Flächen- oder Linienlasten auf einen Volumenkörper aufgebracht werden.

Lastverlauf


Die Last kann *konstant* oder *linear* veränderlich auf den Volumenkörper wirken. Sie ist auf eine der globalen Achsen X, Y oder Z bezogen.

Bei linear veränderlichen Lasten sind die Lastgrößen von zwei Knoten anzugeben. Die Knoten dürfen auch außerhalb des belasteten Volumens liegen, sofern dort FE-Knoten erzeugt werden.

Lastgröße

In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell die zugeordneten Knoten verwaltet. Die Eingabefelder sind in Abhängigkeit von den zuvor aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Knoten Nr.

Bei linear veränderlichen Lasten sind zwei Knoten anzugeben, auf die sich die Lastgrößen beziehen. Durch diese Knoten wird eine Ebene gelegt. Die Auswahl kann mit  auch grafisch erfolgen.

Lastgröße

Bei einem konstanten Lastverlauf ist nur ein Zahlenwert als Eingabe erforderlich. Bei einer linear veränderlichen Temperatur- oder Längenänderung sind zwei Lastwerte anzugeben.

6.6

Freie Einzellasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Einzellast wirkt als Kraft oder Moment an einer beliebigen Stelle einer Fläche. Am Ansatzpunkt der Last wird kein FE-Knoten erzeugt.

Die Voraussetzung für eine freie Einzellast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

Knotenlagerkräfte, die mit der Funktion *Lagerkräfte als Last übernehmen* aus einem anderen Modell importiert werden (siehe Bild 8.13), werden als freie Einzellasten abgelegt.

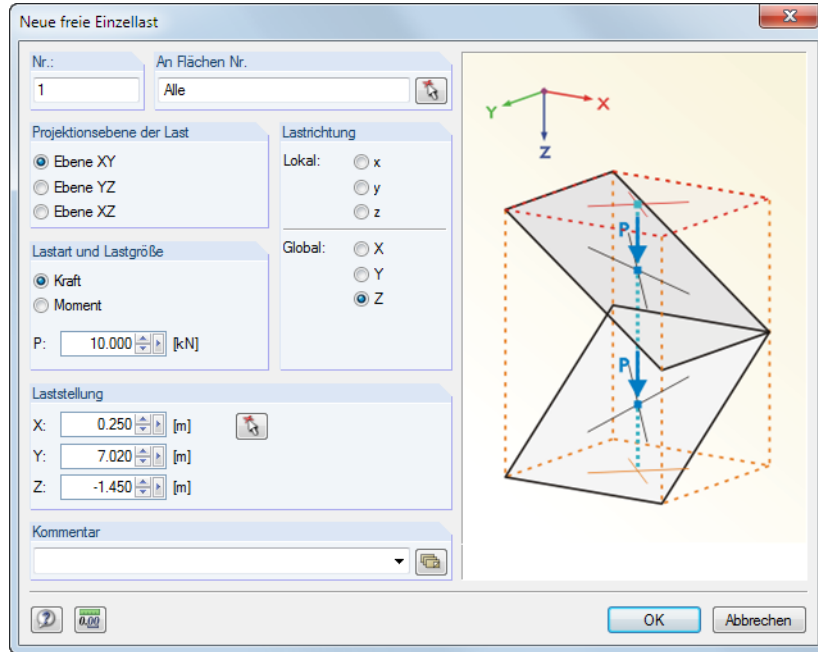


Bild 6.33 Dialog Neue freie Einzellast

3.6 Freie Einzellasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Last-art	Last-richtung	Lastposition		Lastgröße	Kommentar
					X [m]	Y [m]	P [kN]	
1	Alle	XY	Kraft	Z	0.250	7.020	10.000	
2	1	XY	Kraft	z	3.200	0.420	-5.500	
3				x - Lokal in x (1)				
4				y - Lokal in y (2)				
5				z - Lokal in z (3)				
6				X - Global in X				
7				Y - Global in Y				
8				Z - Global in Z				

Knotenlasten | Stablasten | Linienlasten | Flächenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten

Richtung der freien Einzellast (F7 zum Wählen).

Bild 6.34 Tabelle 3.6 Freie Einzellasten

An Flächen Nr.

In diesem Eingabefeld sind die Nummern der Flächen anzugeben, auf die die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.

Von der *Lastposition* aus wird eine Gerade senkrecht zur Projektionsebene „konstruiert“. Schneidet die Gerade eine Fläche der Liste, wird die Einzellast am Schnittpunkt angesetzt. Damit können gleichartige Lasten schnell auf mehreren Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie oben beschrieben wird von der Lastposition aus eine Gerade senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Last wird überall dort angesetzt, wo die imaginäre Gerade eine Fläche schneidet.

Die Projektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche sein, auf die die Last wirkt: Es gibt keinen eindeutigen Schnittpunkt mit der Fläche.

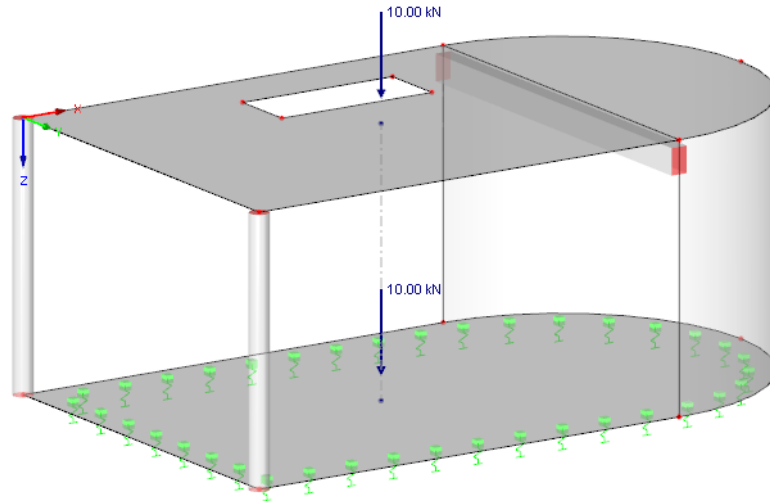


Bild 6.35 Freie Einzellast auf Decke: Lastprojektionsebene XY mit Wirkung auf Decken- und Bodenplatte


Lastart

Es ist anzugeben, ob eine Einzelkraft oder ein Einzelmoment vorliegt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb kann der Zahlenwert der Belastung eingetragen werden.

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Flächenachsen x, y, z wirken. Die Achsen lassen sich im Zeigen-Navigator über **Modell** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme xyz** oder das Kontextmenü einblenden (siehe [Bild 4.122](#)).

Lastposition

Die Koordinaten der Laststelle sind in die Eingabefelder einzutragen. Im Dialog kann die Position der Last mit  auch grafisch bestimmt werden.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Zahlenwert der Einzelkraft oder des Einzelmoments anzugeben.

6.7

Freie Linienlasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Linienlast wirkt als konstante oder linear veränderliche Kraft entlang einer beliebigen, frei definierbaren Linie einer Fläche. Entlang der Linie werden keine FE-Knoten erzeugt.

Die Voraussetzung für eine freie Linienlast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

Linienlagerkräfte, die mit der Funktion *Lagerkräfte als Last übernehmen* aus einem anderen Modell importiert werden (siehe Bild 8.13), werden als freie Linienlasten abgelegt.

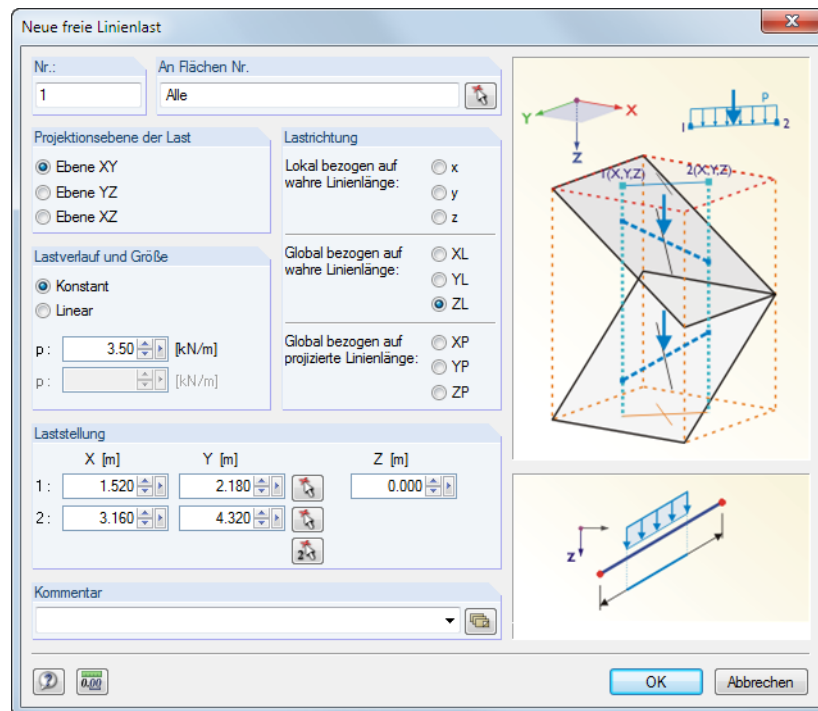


Bild 6.36 Dialog Neue freie Linienlast

3.7 Freie Linienlasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Lastverteilung	Lastrichtung	Lastposition				Lastgröße [kN/m]		Kommentar
					X1 [m]	Y1 [m]	X2 [m]	Y2 [m]	p1	p2	
1	Alle	XY	Konstant	ZL	1.520	2.180	3.160	4.320	3.50		
2	1.3	XY	Linear	ZL	4.700	4.760	8.120	3.300	4.50	2.00	
3											
4											
5											
6											

Knotenlasten | Stablasten | Linienlasten | Flächenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten

Typ des Lastverlaufes der freien Linienlast (F7 zum Wählen).

Bild 6.37 Tabelle 3.7 Freie Linienlasten

An Flächen Nr.

Dieses Eingabefeld verwaltet die Nummern der Flächen, auf denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.

Von den beiden Punkten der *Lastposition* aus werden zwei Geraden senkrecht zur Projektionsebene „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche der Liste, wird die Last an der Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte angesetzt. Damit können gleichartige Lasten schnell auf mehreren Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie oben beschrieben werden von den beiden Lastpositionen zwei Geraden senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Anfangs- und Endpunkte der freien Linienlast werden dann überall dort angenommen, wo diese imaginären Geraden eine Fläche schneiden. Die Projektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche sein, auf die die Last wirkt: Es gibt keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche.

Lastverlauf

Es ist anzugeben, ob eine konstante oder eine linear veränderliche Kraft vorliegt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb können dann ein oder zwei Zahlenwerte eingetragen werden.

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der lokalen Flächenachsen x , y , z oder der globalen Achsen X , Y , Z wirksam sein. Rechtwinklig zur Fläche wirkende Lasten sind in der Regel lokal in Richtung z zu definieren.

Verläuft eine global wirkende Last nicht rechtwinklig zur Linie, kann die Lastwirkung auf unterschiedliche Eintragslängen bezogen werden:


■ Bezogen auf wahre Linienlänge

Der Lasteintrag wird auf die gesamte, wahre Linienlänge bezogen.

■ Bezogen auf projizierte Linienlänge in X / Y / Z

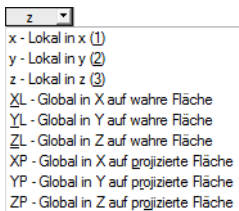
Die Eintragslänge der Last wird auf die Projektion der Linie in eine der Richtungen des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Die Projektionslängen werden in der Dialoggrafik unten rechts veranschaulicht.

Lastposition

Die Koordinaten der Laststelle sind in die Eingabefelder einzutragen. Im Dialog kann die Position der Last mit  auch grafisch bestimmt werden.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Zahlenwert der Linienlast anzugeben.



6.8

Freie Rechtecklasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Rechtecklast wirkt als konstante oder linear veränderliche Flächenlast auf einem rechteckigen, frei definierbaren Bereich einer Fläche.

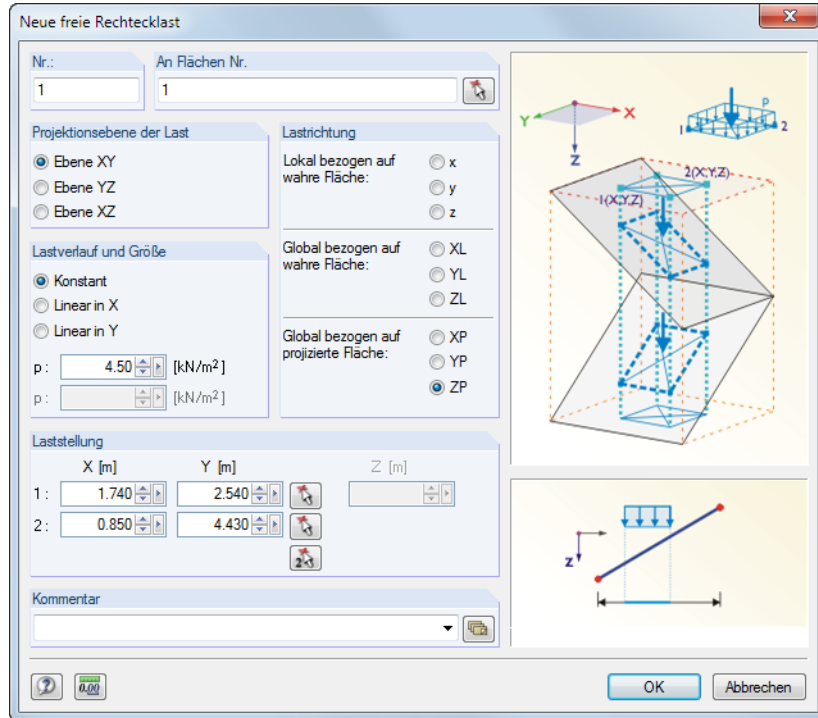


Bild 6.38 Dialog Neue freie Rechtecklast

3.8 Freie Rechtecklasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Lastverteilung	Lastrichtung	Lastposition				Lastgröße [kN/m ²]	
					X ₁ [m]	Y ₁ [m]	X ₂ [m]	Y ₂ [m]	p ₁	p ₂
1	1.3	XY	Konstant	ZP	1.740	2.540	0.850	4.430	4.50	
2	1	XY	Linear in X	z	3.410	3.200	4.450	4.100	2.00	5.50
3										
4										
5										

Flächenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten

Richtung der freien Rechtecklast (F7 zum Wählen).

Bild 6.39 Tabelle 3.8 Freie Rechtecklasten

An Flächen Nr.

Dieses Eingabefeld verwaltet die Nummern der Flächen, auf denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.

Von den Eckpunkten der Lastposition aus werden Geraden senkrecht zur Projektionsebene „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche der Liste, so bildet die Verbindung der Schnittpunkte die Begrenzung der anzusetzenden Flächenlast. Damit können gleichartige Lasten schnell auf mehreren Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie oben beschrieben werden von den beiden Lastpositionen Geraden senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Definitionspunkte des Rechtecks werden dann überall dort angenommen, wo diese imaginären Geraden eine Fläche schneiden.

Die Projektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche sein, auf die die Last wirkt: Es gibt keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche.

Lastverlauf

Es ist anzugeben, ob eine konstante oder linear veränderliche Last vorliegt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb können dann ein oder zwei Zahlenwerte eingetragen werden.

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Flächenachsen x, y, z wirksam sein.

■ Lokal bezogen auf wahre Fläche

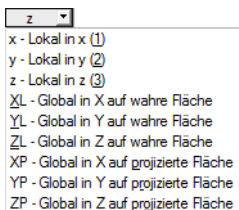
Rechtwinklig zur Fläche wirkende Lasten werden in der Regel lokal in **z** definiert.

■ Global bezogen auf wahre Fläche


Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, spielt für die Berechnung nach Theorie I. Ordnung die Orientierung der lokalen Flächenachsen keine Rolle. Ein Beispiel für den Lastbezug auf die wahre Fläche ist das Eigengewicht.

■ Global bezogen auf projizierte Fläche

Die Last wird auf die Projektion der Fläche in eine Richtung des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Ein Anwendungsfall ist beispielsweise die Schneelast. Die Grafik rechts unten im Dialog veranschaulicht die Projektionsflächen.



Lastposition

Die Koordinaten der Laststelle sind in die Eingabefelder einzutragen. Im Dialog kann die Position der Last mit  auch grafisch bestimmt werden.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Zahlenwert der Flächenlast anzugeben.

6.9

Freie Kreislasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Kreislast wirkt als konstante oder linear veränderliche Flächenlast auf einem kreisförmigen, frei definierbaren Teilbereich einer Fläche.

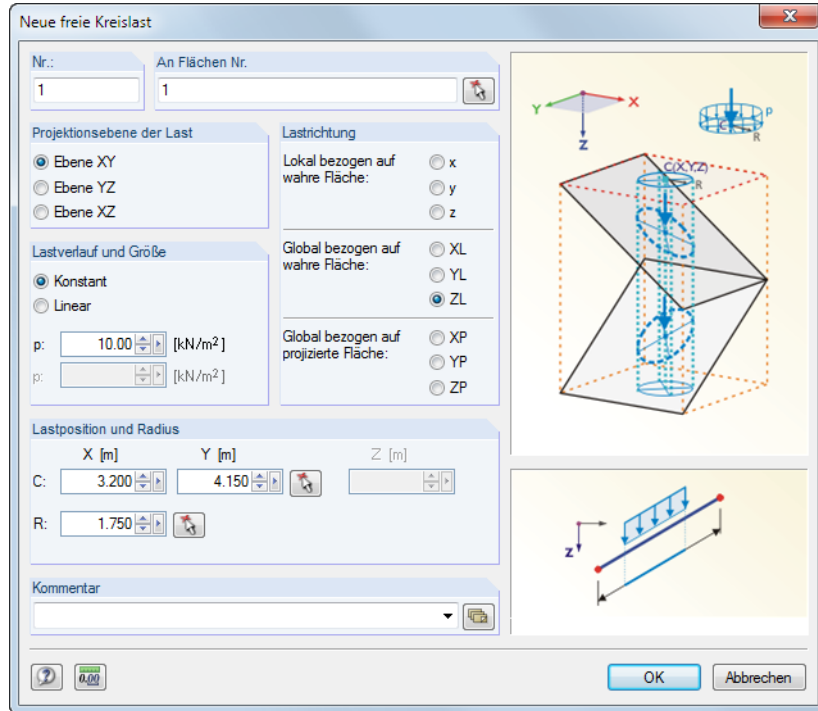


Bild 6.40 Dialog Neue freie Kreislast

3.9 Freie Kreislasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Lastverteilung	Lastrichtung	Lastposition		Radius R [m]	Lastgröße [kN/m ²]		Kommentar
					X ₁ [m]	Y ₁ [m]		p _C	p _R	
1	Alle	XY	Konstant	ZL	3.200	4.150	1.750	10.00		
2										
3										
4										
5										

Flächenlasten | Volumenkörper-Lasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten

Ebene, auf die der Wirkungsbereich der Last projiziert wird.

Bild 6.41 Tabelle 3.9 Freie Kreislasten

An Flächen Nr.

Dieses Eingabefeld verwaltet die Nummern der Flächen, auf denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.

Von der *Lastposition* aus wird eine Gerade senkrecht zur Projektionsebene „konstruiert“. Schneidet diese Gerade eine Fläche der Liste, wird die kreisförmige Last im Schnittpunkt als Zentrum mit dem Radius R angesetzt. Damit können gleichartige Lasten schnell auf mehreren Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie oben beschrieben wird von der Lastposition eine Gerade senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Das Zentrum der Kreislast wird dann überall dort angenommen, wo diese imaginäre Gerade eine Fläche schneidet.

Die Projektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche sein, auf die die Last wirkt: Es gibt keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche.


Lastverlauf

Es ist anzugeben, ob eine konstante oder linear veränderliche Last vorliegt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb können dann ein oder zwei Zahlenwerte eingetragen werden.


Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Flächenachsen x, y, z wirksam sein. Die Lastrichtungen sind im vorherigen [Kapitel 6.8](#) beschrieben.

Lastposition

Die Koordinaten des Kreislast-Mittelpunkts C sind in die Eingabefelder einzutragen. Im Dialog kann dieser Punkt mit  auch grafisch bestimmt werden.

Radius

Der Radius R der kreisförmigen Flächenlast ist in das Eingabefeld oder die Tabellenspalte einzutragen. Im Dialog kann dieser mit  grafisch im Arbeitsfenster bestimmt werden.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Zahlenwert der Flächenlast anzugeben.

6.10

Freie Polygonlasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Polygonlast wirkt als konstante oder linear veränderliche Flächenlast auf ein polygonförmig begrenzten, frei definierbaren Bereich einer Fläche.

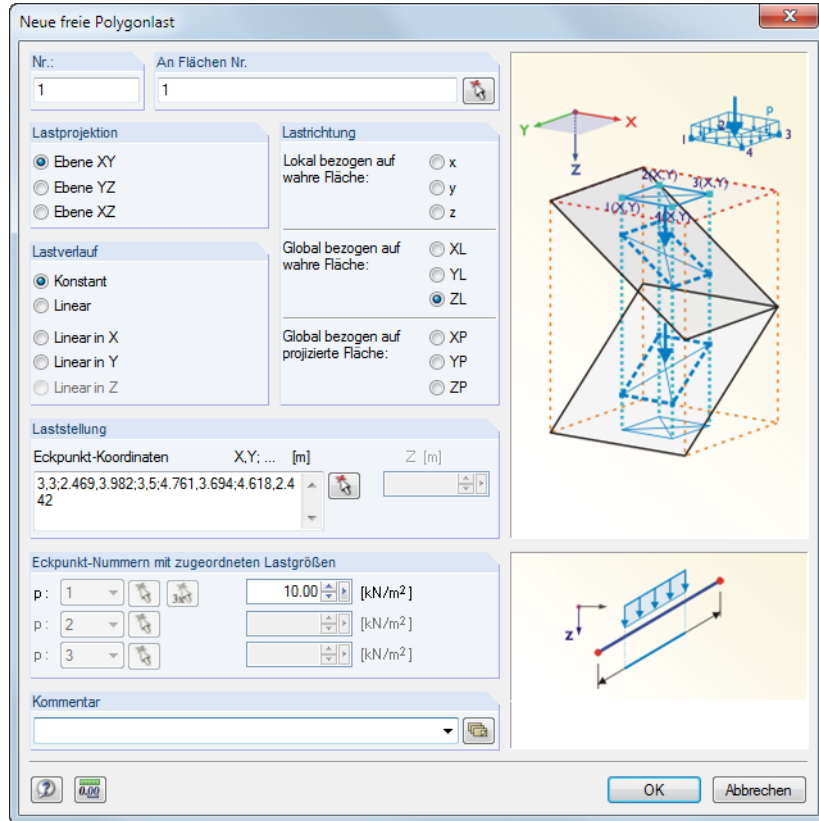


Bild 6.42 Dialog Neue freie Polygonlast

3.10 Freie Polygonlasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Lastverteilung	Lastrichtung	Polygoneckpunkt-Koordinaten [m] X ₁ ,Y ₁ ; X ₂ ,Y ₂ ; X ₃ ,Y ₃ ; ...	1. Eckpunkt			2. Eckpunkt			3. Eckpunkt		
						Nr.	p ₁ [kN/m ²]		Nr.	p ₂ [kN/m ²]		Nr.	p ₃ [kN/m ²]	
1	1	XY	Konstant	ZL	3,3;2,46929;3,98163;3,5;4,7608		10,00							
2														
3														
4														

Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Freie veränderliche Lasten

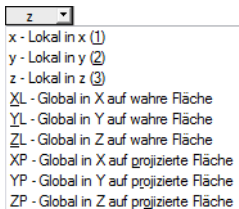
Geben Sie die Flächennummer ein!

Bild 6.43 Tabelle 3.10 Freie Polygonlasten

An Flächen Nr.

Dieses Eingabefeld verwaltet die Nummern der Flächen, auf denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.

Von den Eckpunkten der Lastposition aus werden Geraden senkrecht zur Projektionsebene „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche der Liste, so bildet die Verbindung der Schnittpunkte die Begrenzung der anzusetzenden Flächenlast. Damit können gleichartige Lasten schnell auf mehreren Flächen angeordnet werden.



Projektionsebene

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie oben beschrieben werden von den Lastpositionen Geraden senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Eckpunkte der Polygonlast werden dann an allen Schnittpunkten der Geraden mit einer Fläche angenommen.

Die Projektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche sein, auf die die Last wirkt: Es gibt keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche.

Lastverlauf

Es ist anzugeben, ob eine konstante oder linear veränderliche Flächenlast vorliegt. Im Dialogabschnitt unterhalb *Eckpunkt-Nummern mit zugeordneten Lastgrößen* können dann ein (*Konstant*), zwei (*Linear* in X / Y / Z) oder drei (*Linear*) Zahlenwerte eingetragen werden.

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Flächenachsen x, y, z wirksam sein. Die Lastrichtungen sind im [Kapitel 6.8](#) beschrieben.

Laststellung

Die *Eckpunkt-Koordinaten* sind in die Eingabefelder einzutragen. Es empfiehlt sich, den Polygonzug im Dialog mit grafisch festzulegen. Im Eingabefeld bzw. der Tabellenspalte sind die Koordinaten der Eckpunkte durch Kommata getrennt einzugeben; die Koordinatenpaare sind jeweils durch ein Semikolon abzugrenzen.

Beispiel: Eckpunkt-Koordinaten X, Y [m] 2, 3; 1,6, 4,7; 5, 45; 6, 25; 3, 2

Die dritte Koordinatenkomponente ist durch die Ebene der Lastprojektion automatisch festgelegt. Im Beispiel ist dies die Z-Koordinate, die im Dialog in einem Eingabefeld separat angegeben werden kann. Bei der grafischen Festlegung spielt diese Komponente keine Rolle, da die aktuelle Arbeitsebene relevant ist.

Eckpunkt Nr.

Bei linear veränderlichen Flächenlasten sind zwei (*Linear in X / Y / Z*) bzw. drei (*Linear*) Eckpunkte mit den zugehörigen Lastwerten anzugeben. Es können nur Eckpunkte festgelegt oder grafisch ausgewählt werden, die im Abschnitt *Laststellung* zur Definition der Begrenzungslinien benutzt werden – keine RFEM-Knoten. Die Nummern der Eckpunkte beziehen sich somit auf die Reihenfolge der *Eckpunkt-Koordinaten*.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Zahlenwert der Flächenlast anzugeben. Bei einem linear veränderlichen Verlauf müssen zwei bzw. drei Werte eingetragen werden.

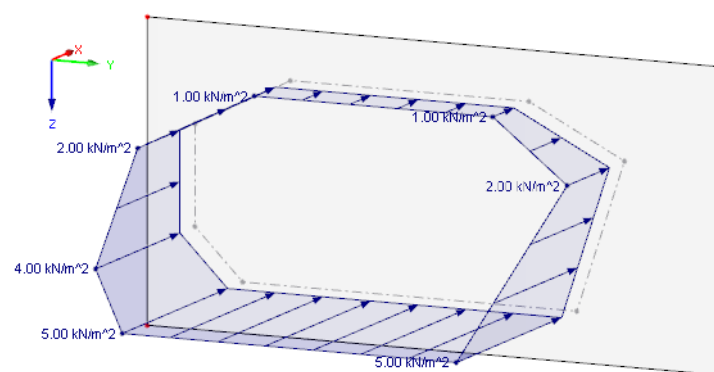


Bild 6.44 Linear in Z veränderliche Polygonlast: Lastprojektionsebene YZ und Lastrichtung lokal in z

6.11

Freie veränderliche Lasten

Allgemeine Beschreibung



Mit dieser Funktion können Flächenlasten definiert werden, die über die Höhe und den Umfang von Flächen konstant oder veränderlich wirken. Damit lassen sich z. B. Behälter- und Windlasten für rotationssymmetrische Bauteile modellieren.

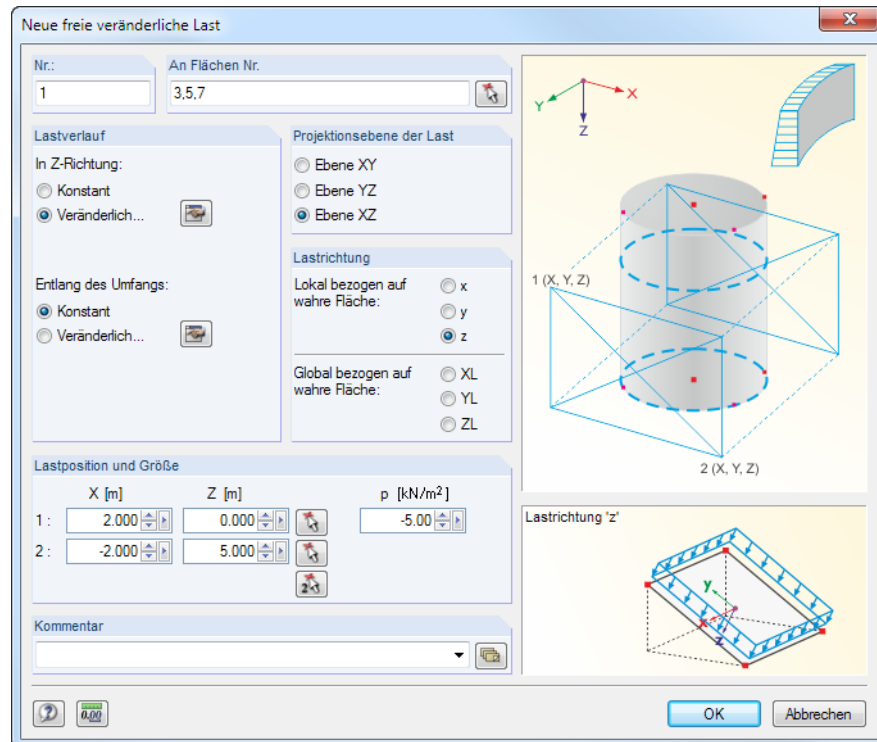


Bild 6.45 Dialog Neue freie veränderliche Last

3.11 Freie veränderliche Lasten											
Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Lastverteilung	Entlang des Umfangs	Last-richtung	X ₁ [m]	Z ₁ [m]	X ₂ [m]	Z ₂ [m]	Lastgröße [kN/m ²]	Kommentar
1	3,5,7	XZ	Veränderlich	Konstant	z	2.000	0.000	-2.000	5.000	-5.00	
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

Bild 6.46 Tabelle 3.11 Freie veränderliche Lasten

An Flächen Nr.

Dieses Eingabefeld verwaltet die Nummern der Flächen, auf denen die Last wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.


Von den Eckpunkten der *Lastposition* aus werden Geraden senkrecht zur Projektionsebene „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche der Liste, so bildet die Verbindung der Schnittpunkte die Begrenzung der anzusetzenden Flächenlast. Damit können gleichartige Lasten schnell auf mehreren Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie oben beschrieben werden von den Lastpositionen Geraden senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Punkte des Rechtecks werden dann an allen Schnittpunkten der Geraden mit einer Fläche angenommen.

Die Projektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche sein, auf die die Last wirkt.

Lastverlauf

Die Flächenlasten können *In Z-Richtung* oder/und *Entlang des Umfangs* konstant oder veränderlich wirken. Über die Schaltflächen  können die Parameter veränderlicher Lasten in separaten Dialogen festgelegt werden.

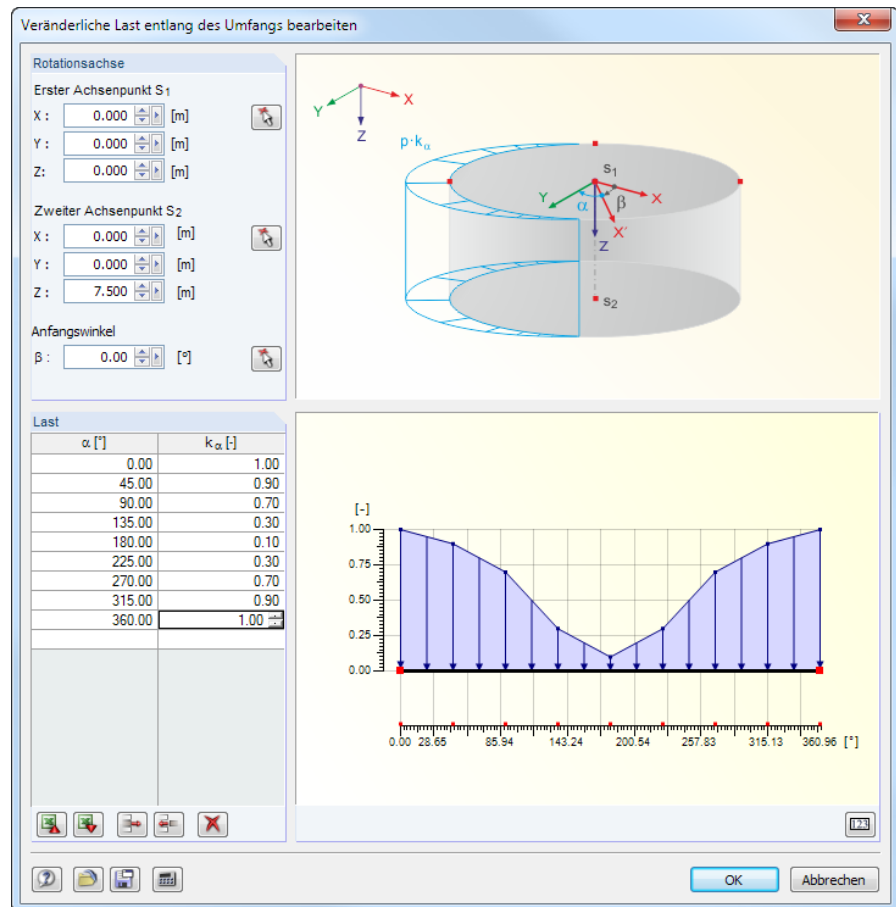




Bild 6.47 Dialog Veränderliche Last entlang des Umfangs bearbeiten

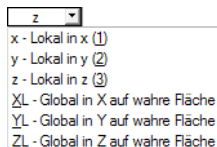
Der Faktor k_α im Bild 6.47  stellt den Bezug zur Lastgröße p des Ausgangsdialogs her (siehe unten).

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der lokalen Flächenachsen x , y , z oder der globalen Achsen X , Y , Z wirksam sein. Die Lastrichtungen sind im Kapitel 6.8  beschrieben.

Lastposition

Die Koordinaten eines Rechtecks gemäß Dialoggrafik legen fest, in welchem Bereich die Last wirken kann. Diese Eckpunkte können im Dialog mit  grafisch bestimmt werden.



Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld ist der Zahlenwert der Flächenlast anzugeben. Bei einem linear veränderlichen Verlauf können die Lastordinaten im Dialog *Veränderliche Last bearbeiten* festgelegt werden (siehe Bild 6.47).

Beispiele für freie veränderliche Lasten finden Sie in folgenden Beiträgen unserer Knowledge Base:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000965>
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000988>

6.12

Knoten-Zwangsverformungen

Allgemeine Beschreibung

Eine Knoten-Zwangsverformung ist die Verschiebung eines gelagerten Knotens, wie sie beispielsweise bei einer Stützensenkung auftritt.

Zwangsverformungen können nur an Knoten angesetzt werden, die in die Richtung der Verformung eine Lagerung aufweisen.

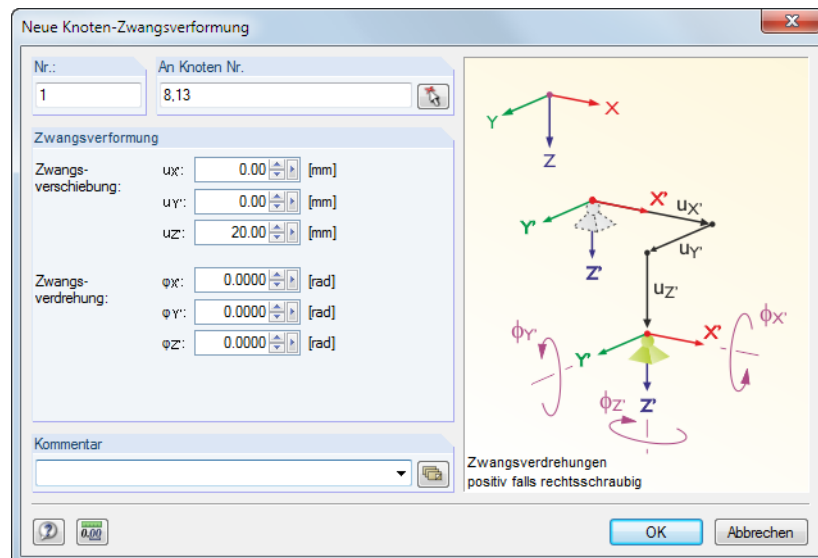



Bild 6.48 Dialog Neue Knoten-Zwangsverformung

Nr.	An Knoten Nr.	Zwangsverschiebung			Zwangsverdrehung			Kommentar
		ux [mm]	uy [mm]	uz [mm]	phi_x [rad]	phi_y [rad]	phi_z [rad]	
1	13,14	0.00	0.00	20.00	0.0000	0.0000	0.0000	
2								
3								
4								

Bild 6.49 Tabelle 3.12 Knoten-Zwangsverformungen

Die Nummer der Last wird im Dialog *Neue Knoten-Zwangsverformung* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden.

An Knoten Nr.

In diesem Eingabefeld sind die Nummern der Knoten festzulegen, an denen die Zwangsverformung wirkt. Die Auswahl kann mit  auch grafisch erfolgen.

Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Verformungen einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Knoten nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.

Zwangsverschiebung $u_{X'}$ / $u_{Y'}$ / $u_{Z'}$

Zwangsverschiebungen können in Richtungen parallel zum globalen Koordinatensystem angesetzt werden. Wirkt eine Verschiebung des gelagerten Knotens nicht parallel zu einer der globalen Achsen, so sind deren X-, Y- und Z-Anteile zu ermitteln und in die entsprechenden Eingabefelder einzutragen.

Bei Lagerdrehungen sind die Zwangsverschiebungen auf die gedrehten Achsen bezogen.

Die Grafik im Dialog veranschaulicht die Wirkung von Verschiebungen und Vorzeichen.

Zwangsverdrehung $\phi_{X'}$ / $\phi_{Y'}$ / $\phi_{Z'}$

Knotenverdrehungen sind ebenfalls auf das globale, ggf. gedrehte XYZ-Koordinatensystem bezogen. Eine schief wirkende Zwangsrotation erfordert die Zerlegung in die X-, Y- und Z-Anteile.

Eine positive Zwangsverdrehung wirkt rechtsschraubig um die entsprechende positive globale Achse.

6.13

Linien-Zwangsverschiebungen

Allgemeine Beschreibung

Eine Linien-Zwangsverschiebung ist die Verschiebung einer gelagerten Linie, wie sie beispielsweise bei einer Fundamentsenkung auftritt.

Zwangsverschiebungen können nur an Linien angesetzt werden, die in Richtung der Verschiebung oder Verdrehung eine Stützung aufweisen.

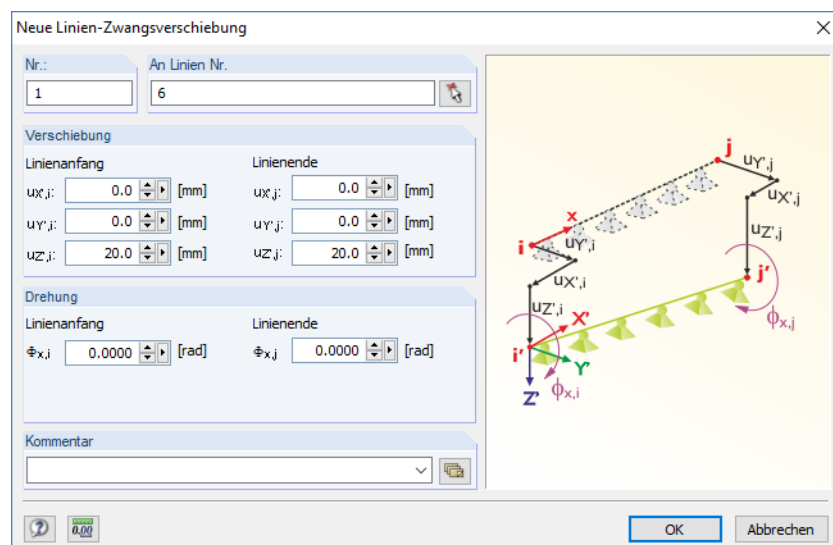


Bild 6.50 Dialog Neue Linien-Zwangsverschiebung

3.13 Linien-Zwangsverschiebungen

LF19 - Setzung

Nr.	An Linien Nr.	Verschiebung am Anfang [mm]			Verschiebung am Ende [mm]			Drehung [rad]		Kommentar
		$u_{x,i}$	$u_{y,i}$	$u_{z,i}$	$u_{x,j}$	$u_{y,j}$	$u_{z,j}$	$\Phi_{x,i}$	$\Phi_{x,j}$	
1	11	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0000	0.0000	
2	19,23	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	25.0	0.0000	0.0000	
3										
4										
5										


Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Freie veränderliche Lasten | Knoten-Zwangsverformungen | Linien-Zwangsverschiebungen | Imperfektionen

Liste der gelagerten Linien mit Verschiebungen (z.B. '1-3,5,7').

Bild 6.51 Tabelle 3.13 Linien-Zwangsverschiebungen

Die Nummer der Last wird im Dialog *Neue Linien-Zwangsverschiebung* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden.

An Linien Nr.

In diesem Eingabefeld sind die Nummern der Linien festzulegen, an denen die Zwangsverschiebung wirkt. Die Auswahl kann mit  auch grafisch erfolgen.



Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst die Werte der Verschiebung oder der Drehung einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Linien nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.

Verschiebung u_x / u_y / u_z

Linienanfang

Zwangsverschiebungen sind auf das globale XYZ-Koordinatensystem bezogen. Die drei Eingabefelder sind für die Verschiebung am Anfangsknoten der gelagerten Linie vorgesehen.

Wirkt eine Verschiebung der gelagerten Linie nicht parallel zu einer der globalen Achsen, so müssen deren X-, Y- und Z-Anteile ermittelt werden.

Linienende

In diesen Eingabefeldern ist die Verschiebung am Endknoten der gelagerten Linie anzugeben.

Über den Zeigen-Navigator lässt sich die Linienrichtung visualisieren: Aktivieren Sie dort den Eintrag **Modell** → **Linien** → **Linien-Orientierungen** (siehe Bild 4.26 [☞](#)).

Drehung Φ_x

Linienanfang

Im Eingabefeld kann eine Zwangsverdrehung vorgegeben werden, die am Anfang der Linie vorliegt. Sie wirkt lokal um die Längsachse x der Linie.

Linienende

In diesem Eingabefeld kann die Zwangsverdrehung am Ende der Linie eingetragen werden.

6.14

Imperfektionen

Allgemeine Beschreibung



In RFEM lassen sich Imperfektionen auf zwei Arten erfassen:

- Für Stäbe werden **Ersatzlasten** angesetzt.
- Es wird ein vorverformtes **Ersatzmodell** benutzt.

Dieses Kapitel beschreibt die Imperfektionen in Form von Ersatzlasten. Nähere Informationen zur Generierung von Ersatzmodellen mit dem Modul **RF-IMP** finden Sie auch im [Kapitel 7.3.1.3](#).

Die Voraussetzung für eine Imperfektion ist, dass bereits ein Stab definiert ist.

Imperfektionen bilden fertigungstechnische Abweichungen in der Modellgeometrie und in den Materialeigenschaften ab. In EN 1993-1-1 Abschnitt 5.3 ist der Ansatz von Imperfektionen als Vorkrümmungen (Durchbiegungen) und Vorverdrehungen (Schiefstellungen) geregelt. Dabei werden die Imperfektionen durch gleichwertige Ersatzlasten berücksichtigt.

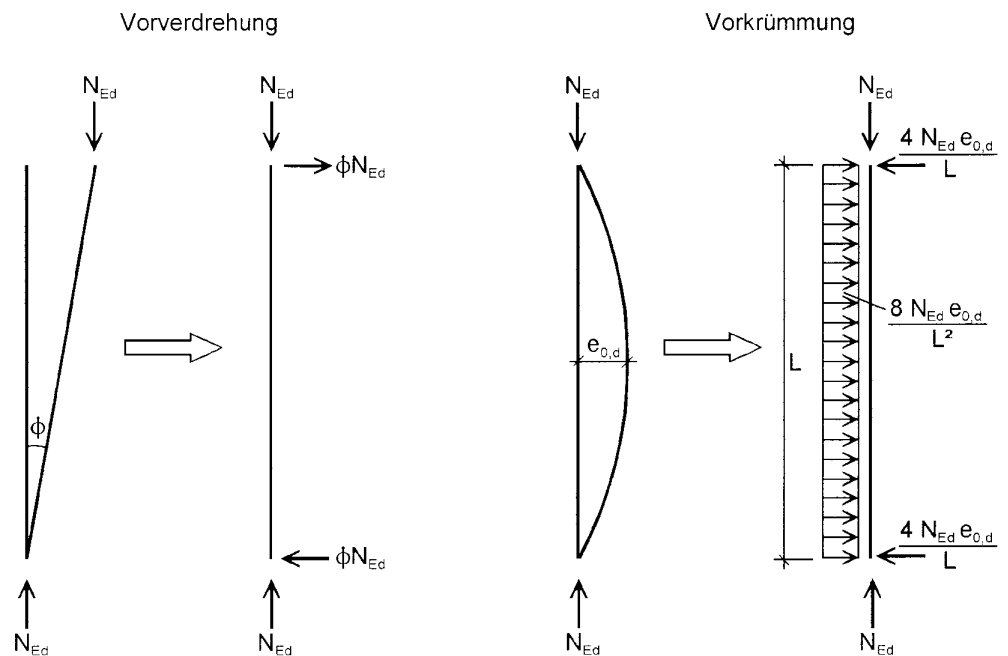


Bild 6.52 Ersatzbelastungen nach EN 1993-1-1



RFEM erfasst auch die Ersatzbelastungen, wenn nach Theorie I. Ordnung gerechnet wird. Dabei ist allerdings zu beachten, dass ein reiner Imperfektionslastfall keine Schnittgrößen liefert. Das Modell muss zusätzlich einer „echten“ Belastung unterworfen sein, die im imperfekten Stab eine Normalkraft erzeugt.

Es empfiehlt sich, Belastungen und Imperfektionen in getrennten Lastfällen zu verwalten. Diese können in Lastkombinationen in geeigneter Weise miteinander kombiniert werden. Lastfälle mit reinen Imperfektionslasten sind bei den Lastfall-Basisangaben (siehe [Bild 5.3](#)) als Einwirkungstyp **Imperfektion** zu klassifizieren. Die Plausibilitätskontrolle würde sonst eine Meldung wegen fehlender Lasten ausgeben.

Generell sind Ersatzimperfektionen affin zum niedrigsten Knickeigenwert in ungünstigster Richtung anzusetzen.

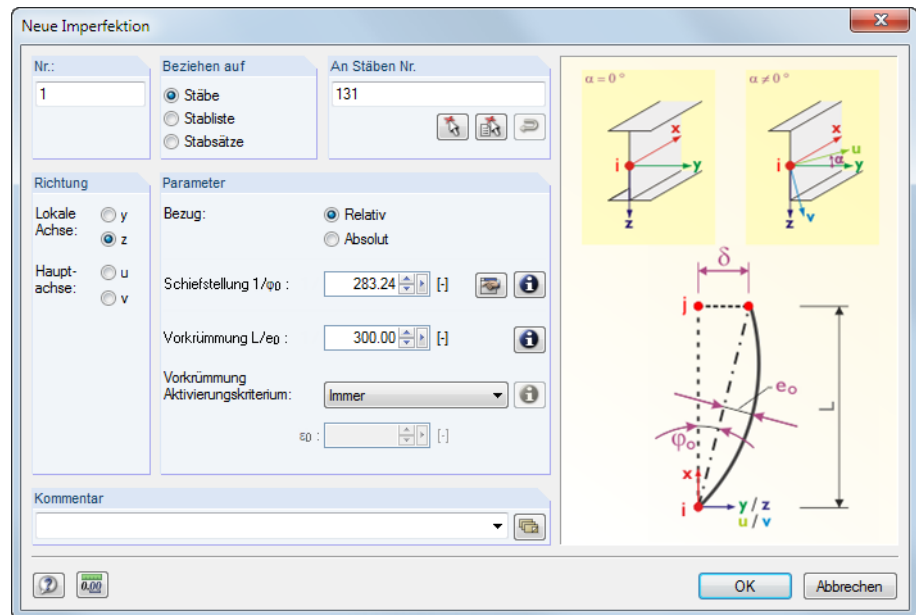


Bild 6.53 Dialog Neue Imperfektion

3.14 Imperfektionen

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Richtung	Bezug	Schiefstellung 1/φ₀ [-]	Vorkrümmung L/ε₀ [-]	Aktivität Kriterium	w₀ berücksichtigen ab ε₀ [-]	Kommentar
1	Stäbe	1	z	Relativ	200.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
2	Stäbe	81	y	Relativ	250.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
3	Stäbe	82	y	Relativ	250.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
4	Stäbe	83	y	Relativ	250.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
5	Stabliste	2,11	z	Relativ	200.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
6	Stabliste	3,12	z	Relativ	200.00	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
7	Stäbe	14	z	Relativ	283.24	300.00	EN 1993-1-1 (5.8)		

Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Knoten-Zwangsverformungen | Linien-Zwangsverschiebungen | Imperfektionen | 14 | < | > |

Bild 6.54 Tabelle 3.14 Imperfektionen

Die Nummer der Imperfektion wird im Dialog *Neue Imperfektion* automatisch vergeben, kann dort jedoch geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

Beziehen auf

Es ist festzulegen, auf welche Objekte die Imperfektion wirken soll. Folgende Möglichkeiten stehen zur Auswahl:

Stäbe

Die Imperfektion wirkt auf einen Stab oder jeweils einzeln auf mehrere Stäbe.

Stabliste

Die Imperfektion wirkt auf die Gesamtheit der Stäbe, die in einer Liste festzulegen sind. Die Vorverformungen und Schiefstellungen werden so nicht auf jeden Stab einzeln angesetzt, sondern als Gesamtimperfektion auf alle Stäbe der Stabliste. Die Lastbilder einer Imperfektion auf Einzelstäbe und auf eine Stabliste sind im [Bild 6.55](#) gegenübergestellt.

Über eine Stabliste lassen sich Imperfektionen stabübergreifend aufbringen, ohne einen Stabzug definieren zu müssen.

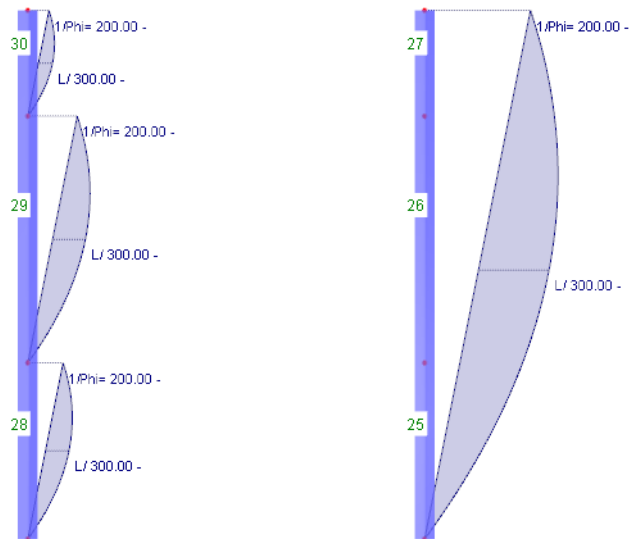


Bild 6.55 Imperfektion mit Bezug auf Stäbe (links) und Stabliste (rechts)

Stabsätze

Die Imperfektion wirkt auf einen Stabsatz oder jeweils auf mehrere Stabsätze. Wie bei einer Stabliste werden die Parameter auf die Gesamtheit der im Stabsatz enthaltenen Stäbe angesetzt.

Stabsätze untergliedern sich in Stabszüge und Stabgruppen (siehe [Kapitel 4.21](#)). Stabsatzimperfektionen können nur auf Stabszüge aufgebracht werden, die auf einer Linie liegen. Für geknickte Stabszüge und Stabgruppen sind sie nicht geeignet.

Vorkrümmungen werden über die Gesamtlänge des Stabsatzes angesetzt. Die Ersatzlasten für Schiefstellungen hingegen beziehen sich auf die enthaltenen Einzelstäbe.

An Stäben Nr.

Im Eingabefeld sind die Nummern der Stäbe bzw. Stabsätze anzugeben, an denen die Imperfektion wirkt. Die Auswahl kann mit auch grafisch erfolgen.

Wenn die grafische Eingabe über die Schaltfläche gewählt wurde, sind zunächst alle Daten zur Imperfektion einzugeben. Nach [OK] können die relevanten Stäbe oder Stabsätze nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden.

Bei Imperfektionen mit Bezug auf eine Stabliste lassen sich die Stabnummern über die Dialog-Schaltfläche [Reihenfolge umkehren] passend anordnen, um z. B. die Schiefstellung für die Grafikanzeige umzukehren. Für die Berechnung spielt die Reihenfolge wegen der identischen Ersatzlasten keine Rolle.

Richtung

Die Imperfektion kann nur in Richtung der lokalen Stabachsen y oder z aufgebracht werden. Bei unsymmetrischen Querschnitten stehen zusätzlich die Hauptachsen u und v zur Auswahl (siehe [Kapitel 4.13](#)). Global wirkende Schiefstellungen oder Vorkrümmungen sind nicht möglich. Der Bezug auf die lokalen Stabachsen bedeutet: Die Imperfektion wird an die Richtung der Verformung angepasst, die sich im Zuge einer nichtlinearen Berechnung einstellt. Damit wirken Imperfektionen in RFEM nicht konservativ, d. h. die ursprüngliche Richtung der Last ändert sich mit der Stabverformung.

Die Orientierung der Stabachsen ist im [Kapitel 4.17](#) beschrieben. Bei symmetrischen Profilen stellt die Achse y die so genannte ‚starke‘ Achse des Stabquerschnitts, die Achse z entsprechend die ‚schwache‘ Achse dar.

Falls der Modelltyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert wurde, ist nur die Richtung z zugänglich.



Bezug

Die Größen von Schiefstellung und Vorkrümmung können auf zwei Arten definiert werden: *Relativ* ermöglicht die Eingabe der auf die Stablänge bezogenen Kehrwerte von φ_0 und e_0 , *Absolut* die direkte Angabe der geometrischen Maße.

Schiefstellung $1/\varphi_0$

φ_0 gibt das Maß der Schiefstellung an, wie es beispielsweise in EN 1993-1-1 Abschnitt 5.3.2 beschrieben ist. In das Eingabefeld ist der Kehrwert von φ_0 bzw. der Absolutwert einzutragen. Die Parameter lassen sich über die [Info]-Schaltfläche im Dialog veranschaulichen.

Der Dialog bietet zudem die Schaltfläche [Schiefstellung berechnen] an, die die Ermittlung der Schiefstellungen nach verschiedenen Normen in einem separaten Dialog ermöglicht.

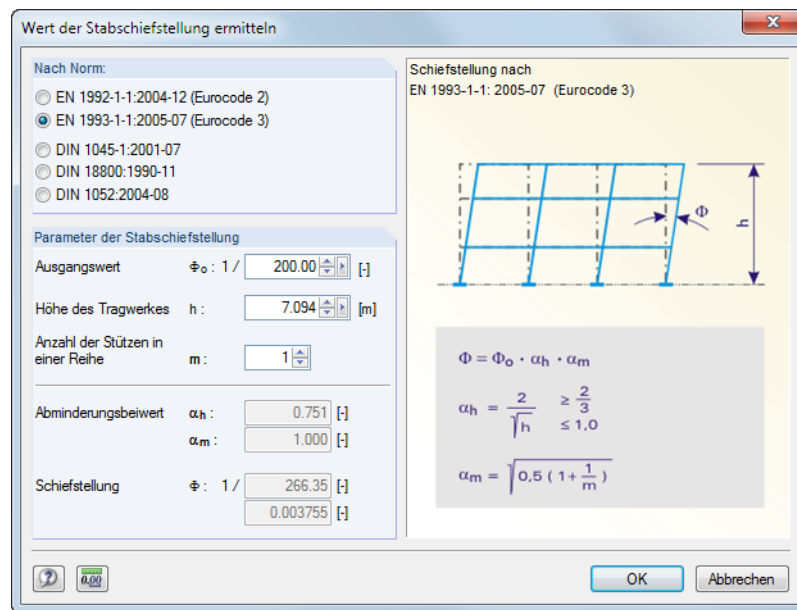


Bild 6.56 Dialog Wert der Stabschiefstellung ermitteln

Der Abschnitt *Nach Norm* steuert, welche Eingabefelder im Abschnitt *Parameter der Stabschiefstellung* erscheinen. Aus den dort getroffenen Angaben werden die Abminderungsfaktoren und Schiefstellungen normkonform ermittelt. [OK] übergibt die Werte in den Ausgangsdialog.

Vorkrümmung L/e_0

Die Vorkrümmung w_0 bzw. $e_{0,d}$ legt das Maß der Durchbiegung fest, die nach der Norm anzusetzen ist (z. B. DIN 18800 Teil 2 El. (204) oder EN 1993-1-1 Abschnitt 5.3.2). Die Vorkrümmung ist abhängig von der Knickspannungslinie des Profils und wird auf die Stablänge l bezogen bzw. als Absolutwert eingegeben.

Aktivierungskriterium

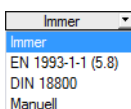
Es stehen folgende Ansätze zur Auswahl, wie Vorkrümmungen im Zusammenwirken mit Stabschiefstellungen behandelt werden:

- Immer

Die Vorkrümmung wird in allen Fällen berücksichtigt.

- EN 1993-1-1 (5.8)

Der Einfluss der Vorkrümmung $e_{0,d}$ wird bei Stäben ab einer Schlankheit χ angesetzt, die sich gemäß EN 1993-1-1:2005 Abschnitt 5.3.2 (6), Gl. (5.8) ermittelt.



■ DIN 18800

w_0 wird nur angesetzt, wenn die Stabkennzahl ε einen bestimmten Wert übersteigt. Diese Regelung bezieht sich auf DIN 18800 Teil 2 El. (207).

■ Manuell

Das Aktivierungskriterium kann benutzerdefiniert festgelegt werden.

Die Kriterien lassen sich über die [Info]-Schaltfläche im Dialog einblenden.



w_0 berücksichtigen ab ε_0

Eine Vorkrümmung wird zusätzlich zur Schiefstellung berücksichtigt, wenn die Stabkennzahl ε größer als der hier definierte Wert ist. DIN 18800-2 El. (207) gibt für die meisten Fälle $\varepsilon > 1.6$ vor.

6.15

Generierte Lasten

RFEM bietet mehrere Generierer an, mit denen Belastungen komfortabel erzeugt werden können (siehe Kapitel 11.8 [\[2\]](#)). Die generierten Stab- oder Flächenlasten finden sich in der Tabelle 3.15 und im Daten-Navigator wieder.

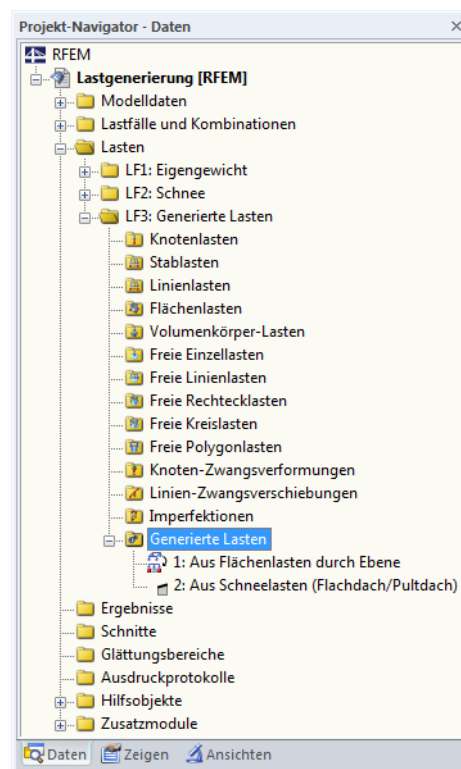


Bild 6.57 Daten-Navigator für Generierte Lasten

3.15 Generierte Lasten

LF3 - Generierte Lasten

Nr.	Typ	Kommentar
1	Aus Flächenlasten durch Ebene	
2	Aus Schneelasten (Flachdach/Pultdach)	

Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Knoten-Zwangsverformungen | Linien-Zwangsverschiebungen | Imperfektionen | Generierte Lasten

Geben Sie die Flächennummer ein:

Bild 6.58 Tabelle 3.15 Generierte Lasten

Die ursprünglichen Generiererdialoge sind als spezifische Belastungsobjekte abgelegt und auch für Änderungen zugänglich: Der Doppelklick auf einen Eintrag bzw. die Schaltfläche ruft erneut den Ausgangsdialog auf (siehe z. B. Bild 11.194 [\[a\]](#)), in dem die Parameter der Lastgenerierung angepasst werden können.

Im Last-Kontextmenü und im Zeigen-Navigator kann eingestellt werden, ob die generierten Lasten als Flächenlast-Symbol oder *Getrennt* als Stablasten angezeigt werden sollen.

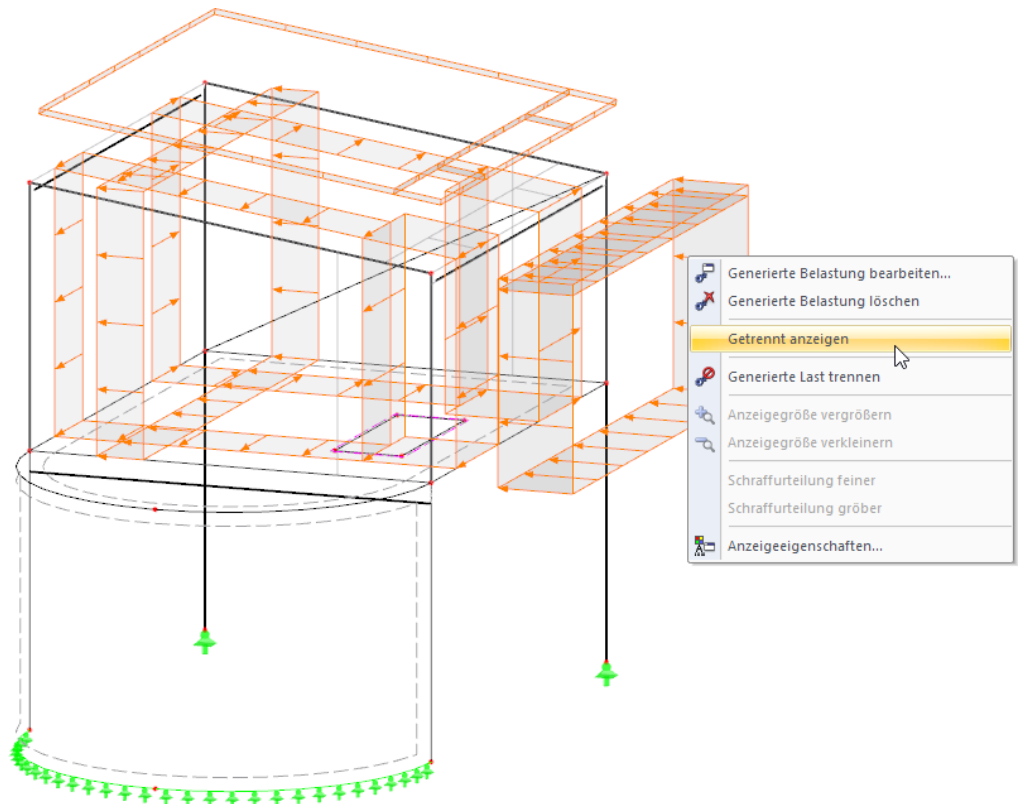
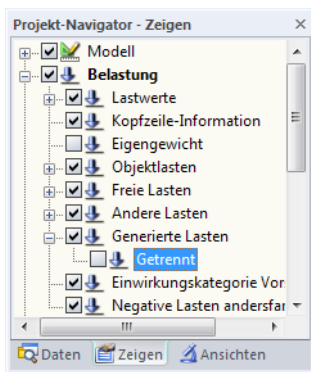


Bild 6.59 Kontextmenü generierter Lasten

7 Berechnung



7.1

Kontrolle der Eingabedaten

Vor der Berechnung empfiehlt sich eine Überprüfung der Modell- und Belastungsdaten sowie der Modellierung. RFEM kontrolliert, ob die Angaben für jedes Modell- und Belastungsobjekt vollständig vorliegen, die Bezüge der Datensätze sinnvoll definiert sind und die Modellierung stimmig ist.

Eventuelle Eingabefehler lassen sich schnell korrigieren, da die Tabellenzeile mit dem vorliegenden Problem direkt aufgerufen werden kann (siehe Bild 7.2).

7.1.1 Plausibilitätskontrolle

Sowohl die Modell- als auch die Belastungsdaten können auf die Stimmigkeit der Eingabe hin überprüft werden. Die Plausibilitätskontrolle wird aufgerufen über das Menü

Extras → Plausibilitätskontrolle

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.

In einem Dialog ist festzulegen, welche Eingabedaten überprüft werden sollen.

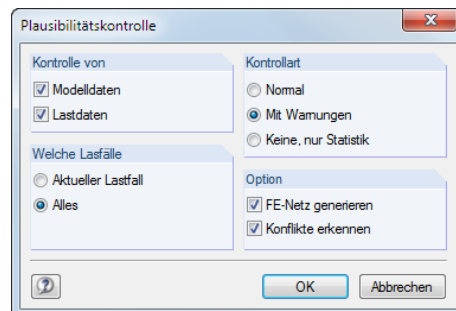


Bild 7.1 Dialog Plausibilitätskontrolle

Im Abschnitt *Kontrollart* stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl:

■ Normal

Die Standardkontrolle überprüft die Vollständigkeit der Eingabeparameter und die korrekten Bezüge der Datensätze.

■ Mit Warnungen

Es erfolgt eine ausführliche Kontrolle der Eingabedaten, die auch nach Knoten mit identischen Koordinaten oder Gelenken mit uneingeschränkten Freiheitsgraden sucht.

Bei einer Unstimmigkeit erscheint eine Meldung mit genauen Angaben zum Problem. Es besteht die Möglichkeit, die Kontrolle abzubrechen und den Fehler zu beseitigen.

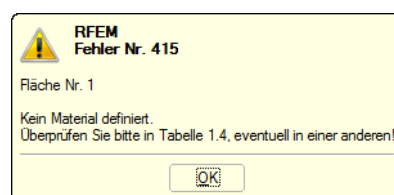


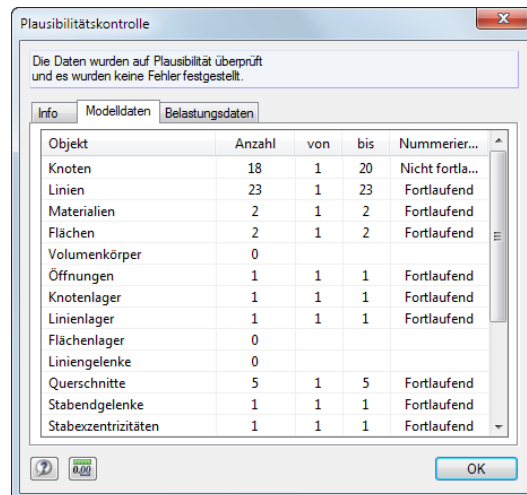
Bild 7.2 Plausibilitätskontrolle mit Warnungen

Keine, nur Statistik

Diese Funktion ermittelt nur die Bilanz der Eingabedaten (Modellmaße, Gesamtgewicht, Anzahl der Knoten, Linien, Lager, Flächen- und Stablaster etc.)

Über das Kontrollfeld *FE-Netz generieren* kann im Zuge der Plausibilitätskontrolle das FE-Netz erzeugt werden. Dieses Thema ist im [Kapitel 7.2](#) beschrieben.

Nach einer erfolgreichen Plausibilitätskontrolle erscheint das Ergebnis der Überprüfung mit einer Bilanz der Eingabedaten.



Die Daten wurden auf Plausibilität überprüft und es wurden keine Fehler festgestellt.

Objekt	Anzahl	von	bis	Numerier...
Knoten	18	1	20	Nicht fortla...
Linien	23	1	23	Fortlaufend
Materialien	2	1	2	Fortlaufend
Flächen	2	1	2	Fortlaufend
Volumenkörper	0			
Öffnungen	1	1	1	Fortlaufend
Knotenlager	1	1	1	Fortlaufend
Linienlager	1	1	1	Fortlaufend
Flächenlager	0			
Liniengelenke	0			
Querschnitte	5	1	5	Fortlaufend
Stabendgelenke	1	1	1	Fortlaufend
Stabexzentrizitäten	1	1	1	Fortlaufend

Bild 7.3 Ergebnis der Plausibilitätskontrolle, Register *Modelldaten*

7.1.2 Modellkontrolle

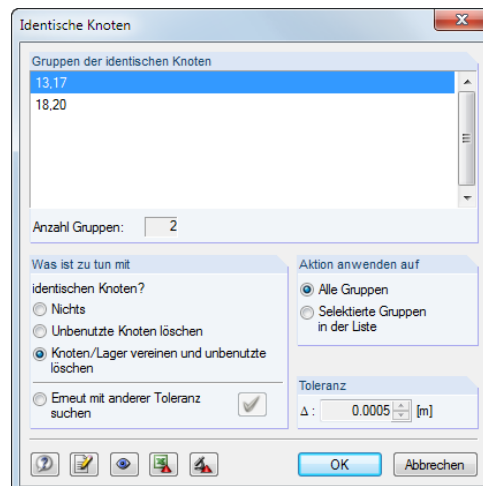
Ergänzend zur allgemeinen Plausibilitätskontrolle kann mit der Modellkontrolle gezielt nach Unstimmigkeiten gesucht werden, die sich bei der Modellierung ergeben. Über das Menü

Extras → Modellkontrolle

sind mehrere Kontrolloptionen wählbar.

Identische Knoten

RFEM filtert alle Knoten mit identischen Koordinaten. Sie werden in Gruppen zusammengefasst ausgegeben.

Gruppen der identischen Knoten

- 13,17
- 18,20

Anzahl Gruppen: 2

Was ist zu tun mit identischen Knoten?

Nichts
 Unbenutzte Knoten löschen
 Knoten/Lager vereinen und unbenutzte löschen
 Erneut mit anderer Toleranz suchen

Aktion anwenden auf

Alle Gruppen
 Selektierte Gruppen in der Liste

Toleranz

Δ: 0.0005 [m]

Bild 7.4 Ergebnis der Modellkontrolle auf identische Knoten

Der Abschnitt *Was ist zu tun mit identischen Knoten?* steuert, wie die doppelten Knoten behandelt werden sollen. Im *Aktion anwenden auf* ist zu entscheiden, ob diese Maßnahme für alle oben gelisteten Gruppen oder nur für die selektierte Zeile gilt.

Der Abschnitt *Toleranz* ermöglicht die Feinabstimmung für den Bereich, in dem die Koordinaten als identisch bewertet werden. Diese Funktion ist bei Modellen nützlich, die aus CAD-Anwendungen importiert wurden. Hier liegen oft kurze Linien infolge nahe beieinander liegender Knoten vor. Werden solche Knoten mit einer passenden Toleranz gefiltert und vereinigt, können numerische Probleme aufgrund kurzer Stäbe oder Linien vermieden werden.

Überlappende Stäbe



Diese Option filtert alle Stäbe, die in ihrer Länge ganz oder teilweise übereinander liegen.

Entdeckt die Kontrolle überlappende Stäbe, so werden diese in einem Dialog nach Gruppen geordnet ausgegeben. Die aktuelle Gruppe ist im Arbeitsfenster durch einen Pfeil gekennzeichnet. Nach [OK] kann das Problem behoben werden.

Kreuzende, nicht verbundene Stäbe



Die Kontrolle sucht nach Stäben, die sich kreuzen, jedoch keinen gemeinsamen Knoten im Schnittpunkt aufweisen.

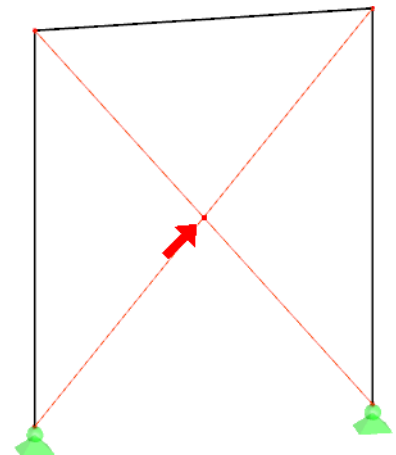
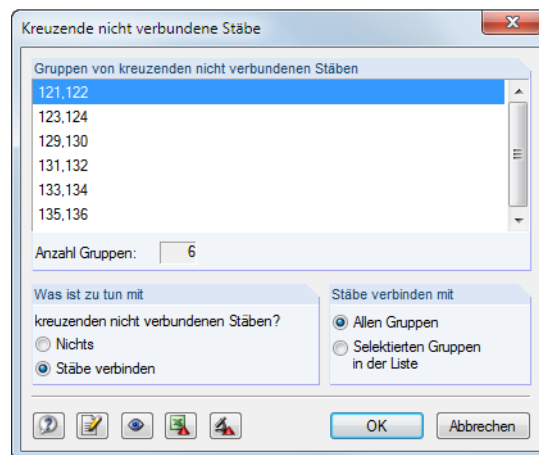


Bild 7.5 Ergebnis der Modellkontrolle auf kreuzende Stäbe

Im Abschnitt *Gruppen der kreuzenden nicht verbundenen Stäbe* wird das Ergebnis ausgewiesen. Die kreuzenden Stäbe sind gruppenweise gelistet; die aktuelle Gruppe wird in der Grafik durch einen Pfeil gekennzeichnet.

Der Abschnitt *Was ist zu tun mit* steuert, wie die kreuzenden Stäbe behandelt werden sollen. Die Option *Stäbe verbinden* eignet sich für tatsächliche Übertragungsmöglichkeiten für Schnittgrößen, nicht jedoch z. B. für übliche Diagonalauskreuzungen mit Zugstäben.

Überlappende Linien



Diese Option filtert alle Linien, die in ihrer Länge ganz oder teilweise übereinander liegen.

Entdeckt die Kontrolle überlappende Linien, so werden diese in einem Dialog nach Gruppen geordnet ausgegeben. Die aktuelle Gruppe ist im Arbeitsfenster durch einen Pfeil gekennzeichnet. Nach [OK] kann das Problem behoben werden.



Kreuzende, nicht verbundene Linien

Die Kontrolle sucht nach Linien, die sich ohne Knoten im Schnittpunkt kreuzen. Wie für Stäbe wird das Ergebnis im Dialogabschnitt *Gruppen der kreuzenden nicht verbundenen Linien* ausgewiesen (siehe Bild 7.5). Die kreuzenden Linien sind gruppenweise gelistet; die aktuelle Gruppe wird in der Grafik durch einen Pfeil gekennzeichnet.

Der Abschnitt *Was ist zu tun?* steuert, wie die kreuzenden Linien behandelt werden sollen.

Überlappende Flächen



Diese Option filtert alle Flächen, die ganz oder teilweise übereinander liegen.

Entdeckt die Kontrolle überlappende Flächen, so werden diese in einem Dialog nach Gruppen geordnet angegeben. Die aktuelle Gruppe wird im Arbeitsfenster in der Selektionsfarbe gekennzeichnet. Nach [OK] kann das Problem behoben werden.

Gering gekrümmte Flächen



Mit dieser Kontrollmöglichkeit können Flächen gesucht werden, die eine minimale Ebenenabweichung aufweisen.

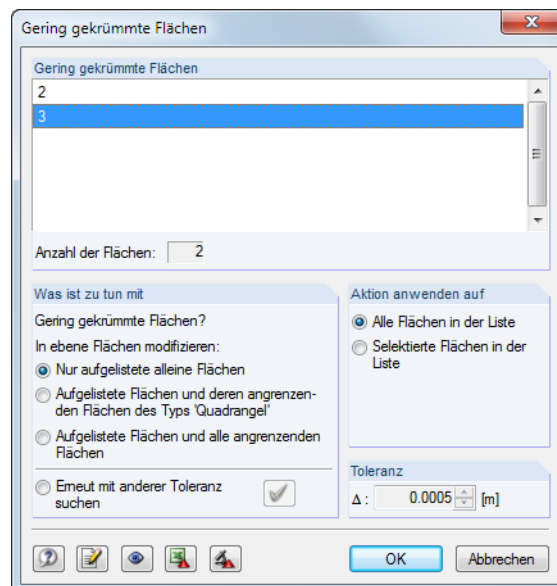


Bild 7.6 Ergebnis der Modellkontrolle hinsichtlich gering gekrümmter Flächen

Entdeckt die Kontrolle gering gekrümmte Flächen, so werden diese in einem Dialog nach Gruppen geordnet ausgegeben. Der von der Ebene abweichende Knoten der aktuellen Gruppe ist im Arbeitsfenster durch einen Pfeil gekennzeichnet.

Der Abschnitt *Was ist zu tun mit* bietet gezielte Steuerungsmöglichkeiten, wie die Flächen behandelt werden sollen. Im Abschnitt *Aktion anwenden auf* ist zu entscheiden, ob diese Maßnahme für alle oben gelisteten Gruppen oder nur für die selektierte Fläche gilt.



Der Abschnitt *Toleranz* ermöglicht die Feinabstimmung der Ebenendefinition. Bei einer Änderung lassen sich gering gekrümmte Flächen *Erneut mit anderer Toleranz suchen*.

Schaltflächen

Die Schaltflächen in den Dialogen der Modellkontrolle sind mit folgenden Funktionen belegt:





	Die Änderungen des Abschnitts <i>Was ist zu tun</i> werden angewandt.
	Es erfolgt ein Sprung in das RFEM-Arbeitsfenster, um die Ansicht anzupassen.
	Die gelisteten Objekte werden in eine Excel-Tabelle exportiert.
	Es wird ein neuer Ausschnitt für jede Objektgruppe erzeugt.

Tabelle 7.1 Schaltflächen in Modellkontrolle-Dialogen

7.1.3 Modell regenerieren



RFEM bereinigt automatisch kleine Unstimmigkeiten im Modell, die sich durch den Datenimport aus einem CAD-Programm oder im Verlauf der Modellierung ergeben haben. Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Extras → Modell regenerieren.

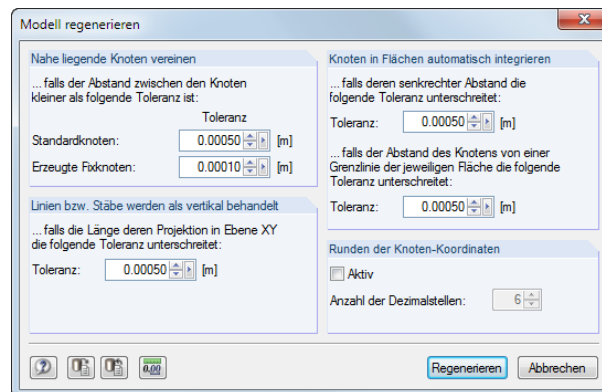


Bild 7.7 Dialog *Modell regenerieren*

Im Abschnitt *Nahe liegende Knoten vereinen* ist eine Schranke für die Knotenabstände festzulegen: Beim Unterschreiten der *Toleranz* werden Knoten als identisch bewertet und zu einem einzigen Knoten zusammengefasst. Da überflüssige Knoten gelöscht werden, kann eine Ummummerierung der Objekte die Folge sein.

Der Abschnitt *Linien bzw. Stäbe werden als vertikal behandelt* regelt die Lage der lokalen Linien- und Stabachsen. Bei Stäben in vertikaler Lage unterscheiden sich die Achsenorientierungen grundlegend von Stäben in allgemeiner (geneigter) Lage (siehe [Kapitel 4.17](#)). Für letztere lässt sich über die *Toleranz* eine vertikale Lage erzwingen. Damit wird das „Umspringen“ der Stabachsen unterbunden, was sich auch für die Belastungseingabe und Schnittgrößenangabe vorteilhaft erweist.

Über die Optionen des Abschnitts *Knoten in Flächen automatisch integrieren* lassen sich Knoten, die nur einen kleinen Abstand von einer Fläche bzw. Begrenzungslinie aufweisen, automatisch in die Liste der integrierten Objekte der Fläche aufnehmen (siehe [Integrierte Objekte](#)). Dadurch erübrigt sich eine manuelle Integration der Knoten. Bitte beachten Sie, dass vor der Berechnung eine interne Kontrolle erfolgt: Falls sich die integrierten Knoten in einem zu großen Abstand von der Fläche befinden, werden sie nicht als Teil der Fläche bewertet.

Im Dialog kann ein automatisches *Runden der Knoten-Koordinaten* aktiviert werden. Hierzu ist die gewünschte Anzahl der Dezimalstellen festzulegen.



Menü Extras → Lasten löschen

7.1.4 Nicht benutzte Lasten löschen

Lasten können nur an Objekten definiert werden, die im Modell vorhanden sind. Im Zuge der Modellierung kann es vorkommen, dass Stäbe oder Flächen aus dem System entfernt werden, die mit Lasten versehen sind. In der Regel werden diese Lasten automatisch mit gelöscht. Sollte die Plausibilitätskontrolle trotzdem einen Mangel aufdecken, lassen sich Lasten an nicht mehr vorhandenen Objekten entfernen über das Menü

Extras → Lasten löschen → Nicht benutzte Lasten.

Das Menü ist links dargestellt. In diesem Menü können auch andere Belastungsobjekte gezielt ausgewählt werden, um sie zu entfernen.

7.2

FE-Netz

Mit RFEM lassen sich Stabelemente, Platten, Scheiben, Schalen und Volumenkörper analysieren. Vor der eigentlichen Berechnung muss das FE-Netz generiert werden, um die entsprechenden 1D-, 2D- und 3D-Elemente zu erzeugen.

Das Tragwerk wird für die FE-Analyse in kleine Teilsysteme zerlegt – die finiten Elemente. Für jedes Element werden Gleichgewichtsbeziehungen aufgestellt. Es ergibt sich ein lineares Gleichungssystem mit sehr vielen Unbekannten. Je feiner die Maschenweite des FE-Netzes, desto präziser werden die Ergebnisse. Andererseits steigt die Rechenzeit wegen der Datenmenge enorm an, die bewältigt werden muss, denn für jeden weiteren FE-Knoten sind zusätzliche Gleichungen zu lösen.

Das FE-Netz wird automatisch erzeugt. Es gibt jedoch einige Möglichkeiten, die Gestaltung des Netzes zu beeinflussen.

Nützliche Hinweise zur Diskretisierung und zur Methode der finiten Elemente finden Sie in [5] [☞](#).



7.2.1 Grundlagen der finiten Elemente in RFEM

1D-Elemente

Für Stabelemente wird angenommen, dass der Querschnitt bei der Verformung eben bleibt. Zur Abbildung von Balken, Fachwerkstäben, Rippen, Seilen und starren Kopplungen werden 1D-Stabelemente benutzt. Ein 1D-Stabelement hat insgesamt zwölf Freiheitsgrade: sechs am Anfang und sechs am Ende des Elements. Dabei handelt es sich um die Verschiebungen (u_x , u_y , u_z) und um die Verdrehungen (φ_x , φ_y , φ_z). Zug, Druck und Torsion werden bei der linearen Berechnung als lineare Funktionen der Stabachse x ausgedrückt, unabhängig von Biegung und Querkraft. Diese werden durch ein Polynom 3. Ordnung in x angenähert, einschließlich des Einflusses der Schubbeanspruchungen, die aus den Querkraften V_y und V_z resultieren. Die Steifigkeitsmatrix $K_L(12, 12)$ beschreibt das lineare Verhalten der 1D-Elemente. Die gegenseitige Interaktion zwischen Normalkraft und Biegung bei geometrisch nichtlinearen Problemen wird in der Steifigkeitsmatrix $K_{NL}(12, 12)$ ausgedrückt. Weitere Informationen finden Sie in [6] [☞](#) und [7] [☞](#).

Für die Berechnung nach Theorie III. Ordnung ist eine FE-Netzverdichtung der Linien (siehe Kapitel 4.23 [☞](#)) zu empfehlen, damit die Ergebnisse exakt ermittelt werden können.

2D-Elemente

Als 2D-Elemente werden in der Regel Viereckelemente verwendet. Wo es erforderlich ist, fügt der Netzgenerierer Dreieckelemente ein.

Die Freiheitsgrade der Vierecks- und Dreieckselemente sind in den Knotenpunkten die gleichen wie bei 1D-Elementen: Verschiebungsfreiheitsgrade (u_x, u_y, u_z) und Verdrehungsfreiheitsgrade ($\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$). Dadurch wird die Verträglichkeit zwischen 1D- und 2D-Elementen in den Knoten garantiert. Die Parameter sind im ebenen lokalen Element-Koordinatensystem definiert und werden beim Zusammenstellen der globalen Steifigkeitsmatrix in das globale Koordinatensystem umgerechnet.

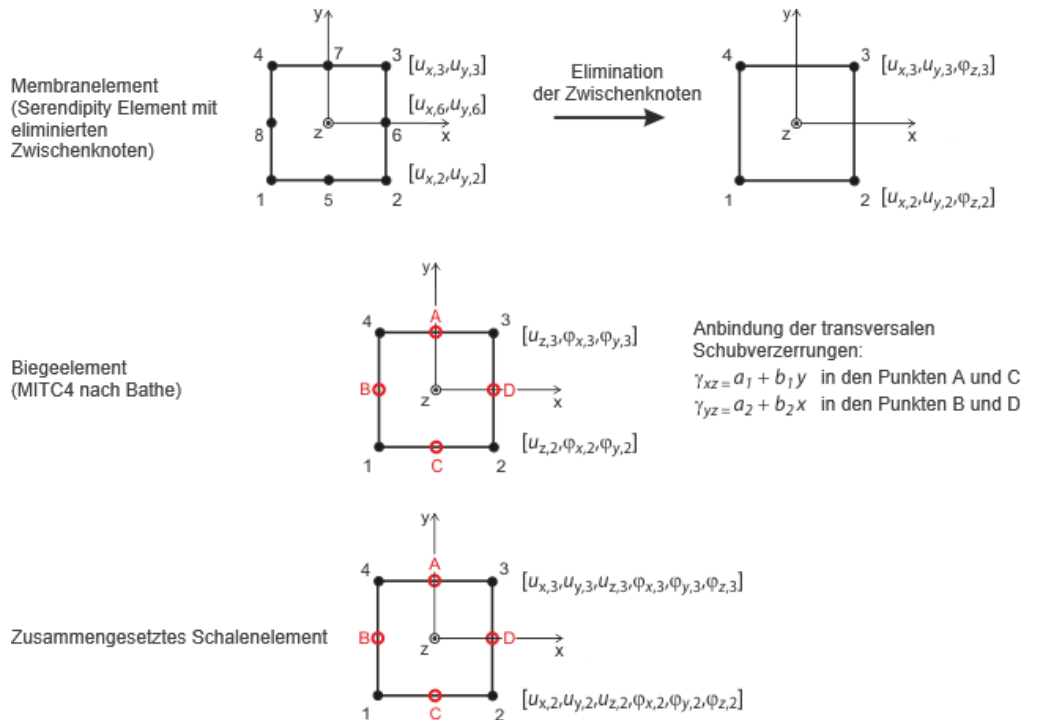


Bild 7.8 RFEM-Schalelemente (Viereck)

Die ebenen Schalelemente basieren auf der Mindlin/Reissner-Theorie. Bild 7.8 stellt die Ansätze der Elemente grafisch dar. Um eine direkte Kopplung mit Stabelementen zu gewährleisten, wird ein quadratischer Ansatz in der Schalebene gewählt (u_x, u_y). ber eine Elimination der Zwischenknoten entsteht ein Vierknoten-Element mit einem zusätzlichen Freiheitsgrad φ_x . Diese ermöglicht bei Scheibenelementen eine direkte Kopplung mit Balkenelementen. Basierend auf einer gemischten Interpolation der transversalen Verschiebungen, Querschnittsdrehungen und transversalen Schubverzerrungen kommen auch die von Bathe und Dvorkin [8] vorgestellten MITC4-Elemente (**M**ixed **I**nterpolation of **T**ensorial **C**omponents) zum Einsatz.

Derzeit erfolgt die Berücksichtigung von Stabelementen durch eine direkte Lösung der Differenzialgleichung nach Theorie II. Ordnung. Die Berücksichtigung von Verdrillungseffekten ist unter Verwendung der Saint-Venantschen Torsion nicht möglich.

Der Membranberechnung liegen die Prinzipien von Bergan [9], [10], [11] zugrunde. Die Basisfunktionen werden z. B. bei Dreieckselementen in drei Starre-Körper-Verformungen, drei konstante Dehnungszustände und drei spezielle lineare Verläufe von Spannungen und Dehnungen unterteilt. In einem Element ist das Verformungsfeld quadratisch und das Spannungsfeld linear. Die Elementsteifigkeitsmatrix K_L wird anschließend in neun gemeinsame Parameter der Typen u_x, u_y, φ_z umgewandelt. Die Komponenten dieser Matrix werden gemeinsam mit den Komponenten, die Biege- und Schubwirkungen verursachen, in die Gesamtsteifigkeitsmatrix eingefügt (18, 18). Diese Matrix ist das Ergebnis des Lynn/Dhillon-Konzepts. Danach werden so genannte Mindlin-Platten angesetzt, d. h. Platten, bei denen die Schubverzerrung eine Rolle spielt, werden nach Timoshenko berechnet. RFEM findet damit die korrekte Lösung sowohl für dicke als auch für dünne Platten (Navier-Platten).

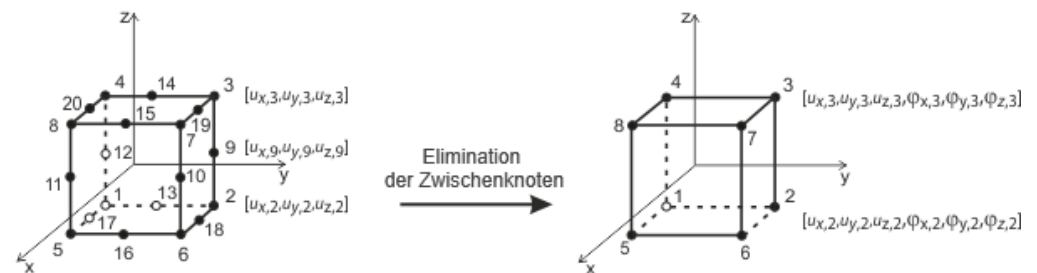


Bei geometrisch nichtlinearen Problemen ist die oben erläuterte Zerlegung des Spannung-Dehnungszustands in einen ebenen Zustand und in Biegung/Schub nicht möglich. In der Matrix \mathbf{K}_{NL} ist die gegenseitige Beeinflussung dieser Zustände berücksichtigt. RFEM verwendet eine relativ einfache, aber effektive Form der Matrix \mathbf{K}_{NL} , die auf den Ansätzen von Zienkiewicz [12] basiert. Es wird die quadratische Komponente ε_2 des Green/Lagrange-Dehnungstensors $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ herangezogen. Dabei werden ein linearer Verlauf von $u_z(x, y)$ des ebenen Spannungszustandes und lineare Verläufe von $u_x(x, y)$ und $u_y(x, y)$ bei der Wechselwirkung mit Biegung vorausgesetzt. Diese Annahme ist möglich, da die Hauptinteraktionswirkung von der ersten Ableitung der Differenzialgleichung abhängig ist und der Einfluss der Komponenten höherer Ordnung sehr schnell mit der Teilung in kleinere Elemente abnimmt. Numerische Untersuchungen belegen die Richtigkeit dieses Verfahrens.

Bei Schalenelementen muss die Voraussetzung eingehalten sein, dass die Dicke der Elemente wesentlich kleiner ist als die Ausdehnung. Ist dies nicht der Fall, ist die Modellierung als Volumenkörper zu empfehlen. Ferner sollte bei Schalenelementen vermieden werden, Torsionsbeanspruchungen punktuell einzuleiten: Der Drehfreiheitsgrad um die Flächennormale reagiert sehr sensibel.

3D-Elemente

In RFEM sind folgende 3D-Elemente implementiert: Tetraeder, Pentaeder (Prisma, Pyramide) und Hexaeder. Auf eine ausführliche Darstellung der verwendeten Elemente und Matrizen wird hier verzichtet. Genaue Informationen sind in [13] zu finden. Diese Dokumentation kann bei Dlubal Software angefordert werden.



Serendipity Volumenelement mit eliminierten Zwischenknoten

Bild 7.9 Volumenelement (Hexaeder)

Generell sind bei Volumen alle Drehfreiheitsgrade kritisch einzustufen. Da die Verformung eines Volumens ausschließlich aus den Verschiebungsvektoren bestimmt wird, wirkt sich die Verdrehung eines Netzknötens z. B. infolge singular eingeleiteter Torsion nicht auf die Verformung im Volumen aus.

7.2.2 FE-Netz

Der Dialog zur Einstellung und Überprüfung des FE-Netzes wird aufgerufen über das Menü

Berechnung → **FE-Netz-Einstellungen**.

Dieser Dialog besteht aus drei Registern.

7.2.2.1 FE-Netz-Einstellungen

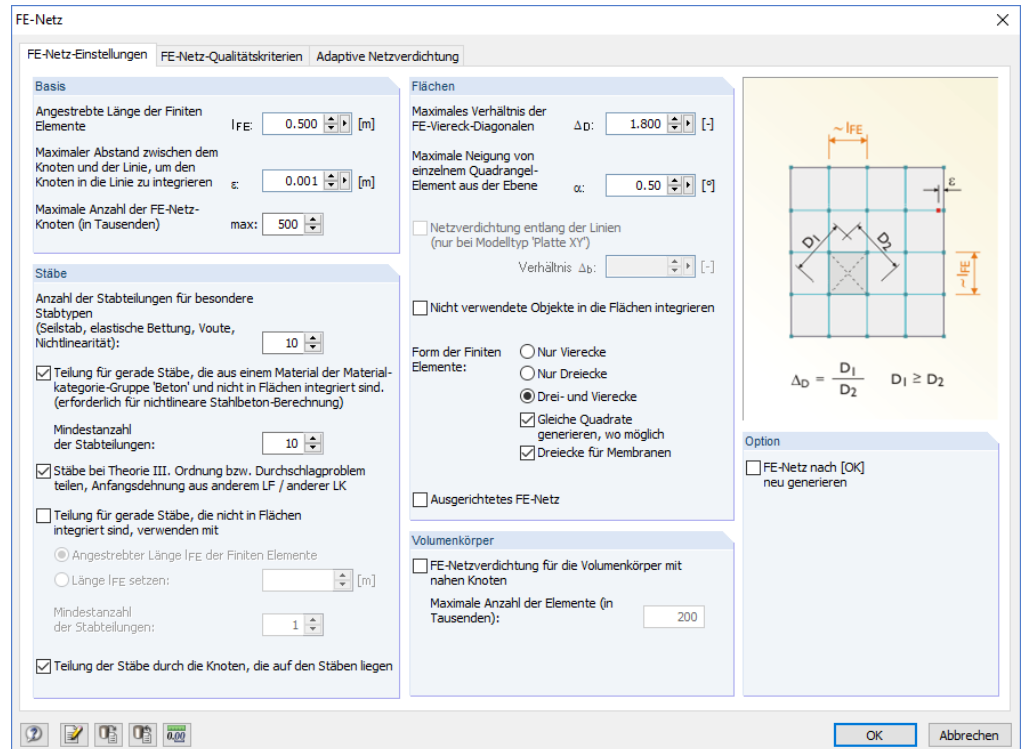


Bild 7.10 Dialog FE-Netz, Register FE-Netz-Einstellungen

Basis

Die *Angestrebte Länge der Finiten Elemente* steuert die globale Maschenweite des Netzes. Je feiner die Maschenweite, desto präziser fallen in der Regel die Ergebnisse aus. Es erhöht sich aber auch die Datenmenge und die Rechenzeit, denn für jeden weiteren FE-Knoten müssen zusätzliche Gleichungen gelöst werden. Zudem sind Singularitätseffekte bei einem feinmaschigen Netz verstärkt zu vermerken.

Die Diskretisierung ist ein entscheidender Punkt für die nachfolgende FE-Analyse: Eine zu feine Maschenweite verzögert die Berechnung, ohne die Qualität der Ergebnisse wesentlich zu erhöhen. Bei zu grober Maschenweite werden die Randbedingungen in ungenügender Weise erfasst. Als Orientierung für die anzustrebende Seitenlänge der finiten Elemente dient folgende Empfehlung: Es sollen etwa acht bis zehn Elemente zwischen den Randlinien einer Fläche generiert werden. Eine Mindestanzahl von vier Elementen sollte nach Möglichkeit nicht unterschritten werden.

Im zweiten Eingabefeld dieses Abschnitts ist die zulässige Entfernung für einen FE-Netz-Knoten von einer Linie festzulegen. Ist der Abstand eines Knotens größer, so wird für diesen ein neuer FE-Knoten erzeugt.

Die *Maximale Anzahl der FE-Netz-Knoten* ist im letzten Eingabefeld des Abschnitts mit einer Obergrenze festzulegen, um die Anzahl der generierten Knoten zu beschränken und damit die Leistungsfähigkeit von Programm und Rechner zu gewährleisten.

Stäbe

Für Seil-, Bettungs-, Voutenstäbe oder Stäbe mit plastischen Eigenschaften kann die Anzahl der internen Teilungen vorgegeben werden. Diese führen zu einer echten Teilung des Stabes durch Zwischenknoten. Diese Vorgabe hat jedoch keine Auswirkung, wenn ein Stab an der Begrenzungslinie einer Fläche angeordnet ist oder eine FE-Netzverdichtung für die Definitionslinie vorliegt.

Mit der Option *Stäbe bei Theorie III. Ordnung bzw. Durchschlagproblem intern teilen* lassen sich auch Balkenstäbe für die Berechnung nach Theorie III. Ordnung durch Zwischenknoten teilen, um diese Stäbe mit einer höheren Genauigkeit zu erfassen. Die Anzahl der Stabteilungen wird vom Eingabefeld oberhalb übernommen.

Erfolgt die *Teilung auch für gerade Stäbe, die nicht in Flächen integriert sind*, werden FE-Knoten an allen freien Stäben erzeugt und bei der Berechnung nach Theorie I. oder II. Ordnung berücksichtigt. Die FE-Länge wird entweder von der globalen Maschenweite l_{FE} des Abschnitts Basis übernommen oder manuell festgelegt.

Mit der Option *Teilung durch die Knoten, die auf den Stäben liegen* werden FE-Knoten an den Stabstellen erzeugt, an denen Endknoten anderer Stäbe liegen, ohne dass eine Verbindung zwischen den Stäben vorliegt.

Flächen

Die genauesten Ergebnisse werden für Elemente ermittelt, die einem Quadrat möglichst nahekommen. Bei einem Quadrat ist das Verhältnis der Diagonalen $D_1/D_2 = 1$. Im Eingabefeld *Maximales Verhältnis der FE-Viereck-Diagonalen* ist der Grenzwert Δ_D dieses Diagonalenverhältnisses anzugeben. Bei einem zu großen Wert besteht die Gefahr, dass Elemente mit sehr spitzen oder überstumpfen Winkeln generiert werden. Dies kann numerische Probleme nach sich ziehen.

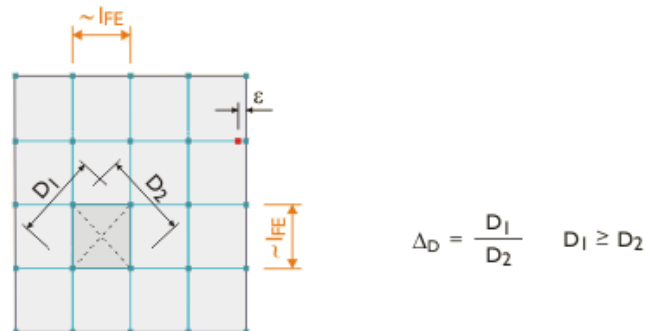


Bild 7.11 Element mit den Diagonalen D_1 und D_2

Eine gekrümmte Fläche wird bei der Bildung des FE-Netzes durch ebene Elemente abgedeckt. Der Neigungswinkel α legt dabei die *Maximale Neigung von einzelem Quadrangel-Element aus der Ebene* fest. Dieser Wert beschreibt den Winkel zwischen den Normalen zweier Elemente (siehe folgendes Bild mit den Normalen zweier Dreieckselemente). Bei einer Überschreitung des zulässigen Neigungswinkels erfolgt eine Unterteilung in weitere Dreieckselemente.

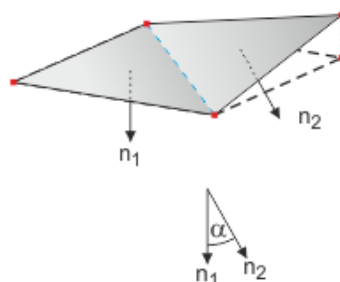


Bild 7.12 Neigungswinkel α

Ist das Modell als Platte 2D - in XY definiert, kann eine *Netzverdichtung entlang der Linien* vorgegeben werden, um an allen Linien kleinere FE-Elemente zu erzeugen und so z. B. die Ergebnisse entlang gelagerter Linien besser anzunähern. Das Verhältnis Δb bezieht sich auf die globale Maschenweite. Es beschreibt den Randabstand der Verdichtung von den Linien.

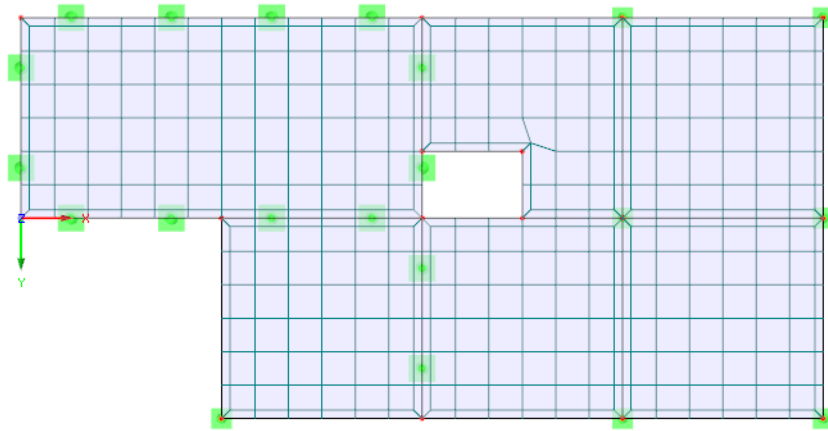


Bild 7.13 FE-Netzverdichtung entlang der Randlinien einer 2D-Platte

Mit der Option *Auch nicht verwendete Objekte in die Flächen integrieren* können FE-Knoten auch an Objekten erzeugt werden, die für eine Fläche keine weitere Funktion haben (z. B. freie Knoten ohne Lager oder Last, konstruktive Linien in Flächen). Standardmäßig ist diese Funktion deaktiviert, damit statisch bedeutungslose Objekte das FE-Netz nicht verzerren.

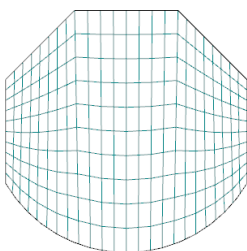
Die *Form der Finiten Elemente* kann über folgende drei Auswahlfelder beeinflusst werden:

- Drei- und Vierecke: Standardeinstellung
- Nur Dreiecke: Variante, falls Vierecke zu einem sehr verzerrten Netz führen
- Nur Vierecke: Option für erhöhte Ergebnisgenauigkeit

Mit den Kontrollfeldern *Gleiche Quadrate generieren, wo möglich* und *Dreiecke für Membranen* lässt sich die Generierung des FE-Netzes zusätzlich steuern.

Mit der Option *Ausgerichtetes FE-Netz* wird versucht, das FE-Netz an die Berandungslinien der Flächen anzupassen. Diese Art der FE-Netzgenerierung kann für jede Fläche einzeln festgelegt werden (Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *FE-Netz*).

Ein ausgerichtetes Netz wird ausschließlich aus Vierecken gebildet. In der Regel liefert ein ausgerichtetes Netz „genauere“ Ergebnisse. Da auch weniger Unbekannte im Gleichungssystem auftreten, ist dieses Verfahren für die Netzgenerierung zu empfehlen.



Ausgerichtetes FE-Netz

Volumenkörper

Liegen Knoten auf einem Volumen sehr nahe beieinander, so kann eine automatische FE-Netzverdichtung vorgegeben werden. Dadurch werden die Knoten vom FE-Netz korrekt erfasst. Die Maschenweite des Volumenkörpers ergibt sich aus dem kleinsten Abstand der Knoten. Über das Eingabefeld kann die Anzahl der erzeugten 3D-Elemente begrenzt werden.

Für jeden Volumenkörper lassen sich spezifische Vorgaben hinsichtlich des FE-Netzes treffen. Diese Möglichkeit ist im [Kapitel 4.5](#) beschrieben.



7.2.2.2 FE-Netz-Qualitätskriterien

Die Parameter dieses Registers ermöglichen es, das Ergebnis der automatischen FE-Netzgenerierung zu beurteilen.

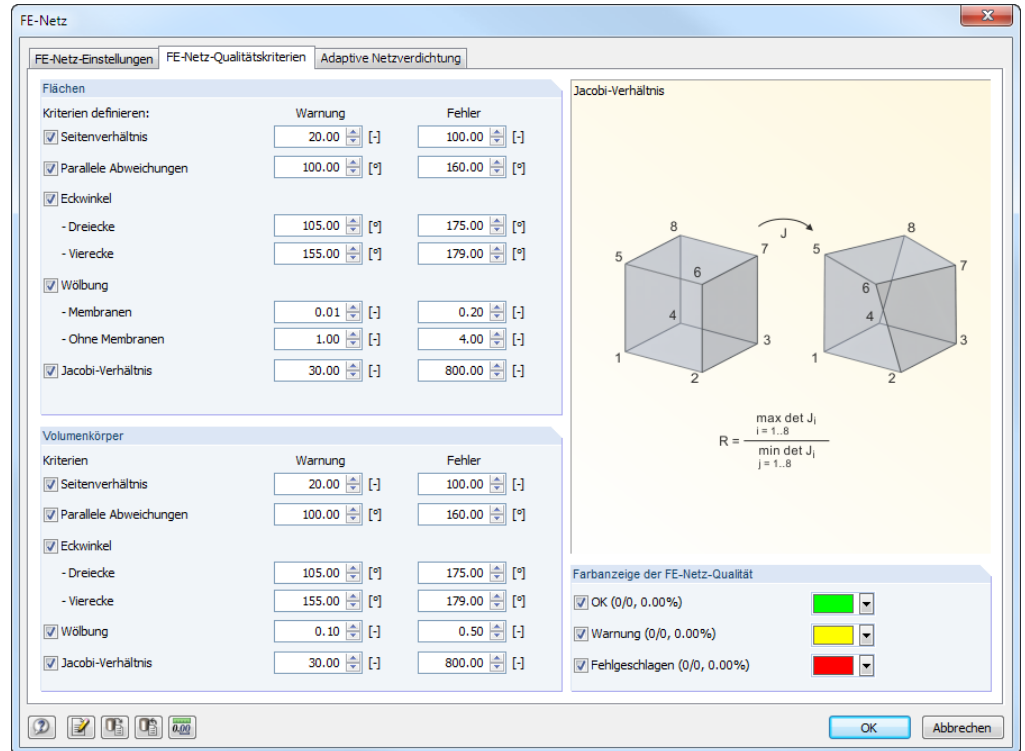


Bild 7.14 Dialog FE-Netz, Register FE-Netz-Qualitätskriterien

Es lassen sich Qualitätsvorgaben sowohl für die 2D-Elemente der *Flächen* als auch für die 3D-Elemente der *Volumenkörper* treffen. Des Weiteren kann festgelegt werden, ab welchem Kriterium eine *Warnung* oder ein *Fehler* erscheinen soll.

Die Qualität des FE-Netzes kann über den Zeigen-Navigator grafisch dargestellt werden.

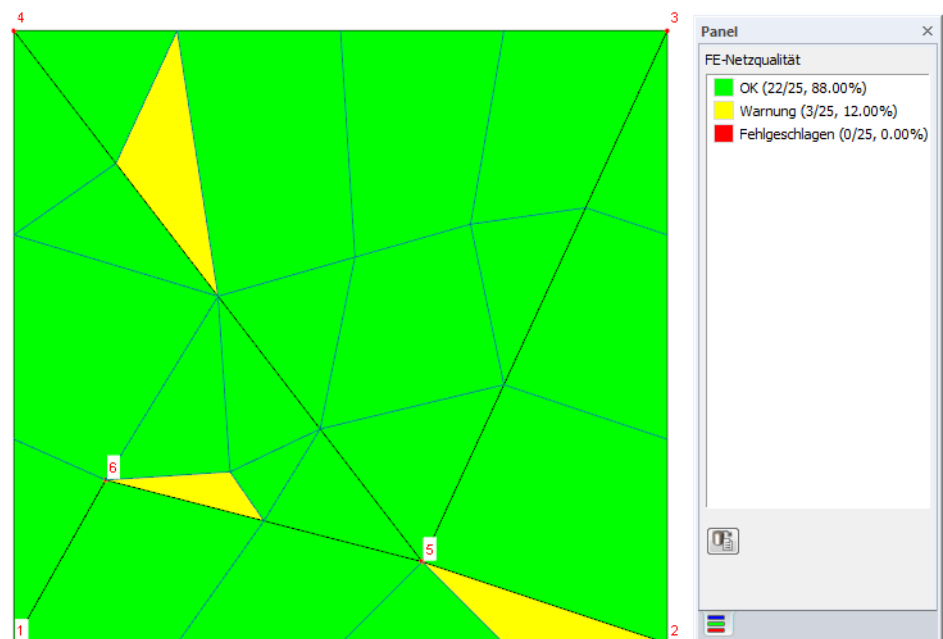
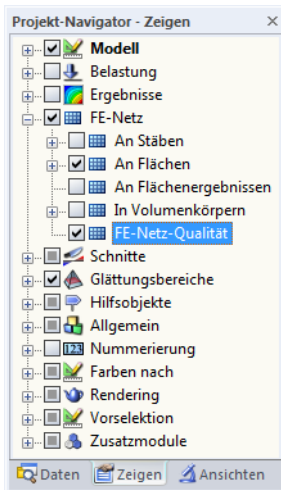


Bild 7.15 Grafische Darstellung der FE-Netzqualität

7.2.2.3 Adaptive Netzverdichtung

Diese Funktion ermöglicht es, das FE-Netz automatisch an die Erfordernisse der Berechnung anzugleichen. Das Programm nimmt hier eine Netzverfeinerung in mehreren Schritten vor. Bei jedem Schritt wird das FE-Netz auf Basis eines Fehlerabgleichs der Ergebnisse im vorherigen Rechenschritt neu erzeugt. Der Fehlerindikator für die Flächenelement-Ergebnisse basiert auf dem Verfahren nach Zienkiewicz-Zhu.



Mit einer adaptiven Netzverdichtung erübrigt es sich, Verdichtungsbereiche manuell zu definieren. Das Programm erledigt dies automatisch, zuverlässig und flexibel.

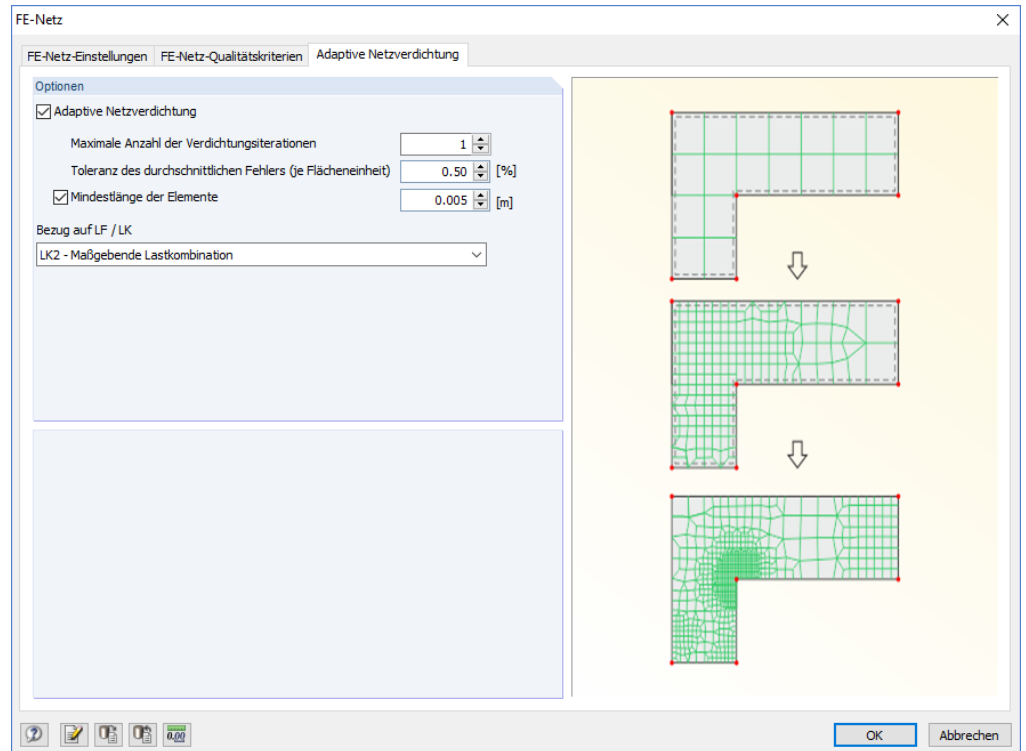


Bild 7.16 Dialog FE-Netz, Register Adaptive Netzverdichtung

Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes sind die Parameterfelder zugänglich. Die *Maximale Anzahl der Verdichtungsiterationen* steuert, wie viele Schritte bei der Netzverfeinerung erfolgen. Je größer die Anzahl, desto feiner wird das FE-Netz in den Bereichen signifikanter Ergebnisänderungen ausgebildet — was sich auch ungünstig auf die Extremwerte von Singularitäten auswirken kann. Die Voreinstellung ist daher nur eine Verdichtungsiteration, die in der Regel ausreicht. Die *Toleranz des durchschnittlichen Fehlers* stellt den oben beschriebenen Fehlerindikator für die Flächenelemente dar.

Um ein zu grobes FE-Netz zu vermeiden, kann eine bestimmte *Mindestlänge der Elemente* vorgegeben werden.

Der Fehlerabgleich erfolgt für eine lineare statische Analyse. Hierzu ist anhand der Liste ein Lastfall oder eine Lastkombination festzulegen, dessen bzw. deren Ergebnisse die Grundlage für die Anpassung des FE-Netzes darstellen. Dieses FE-Netz wird dann für die Berechnung aller anderen Lastfälle und Kombinationen verwendet.

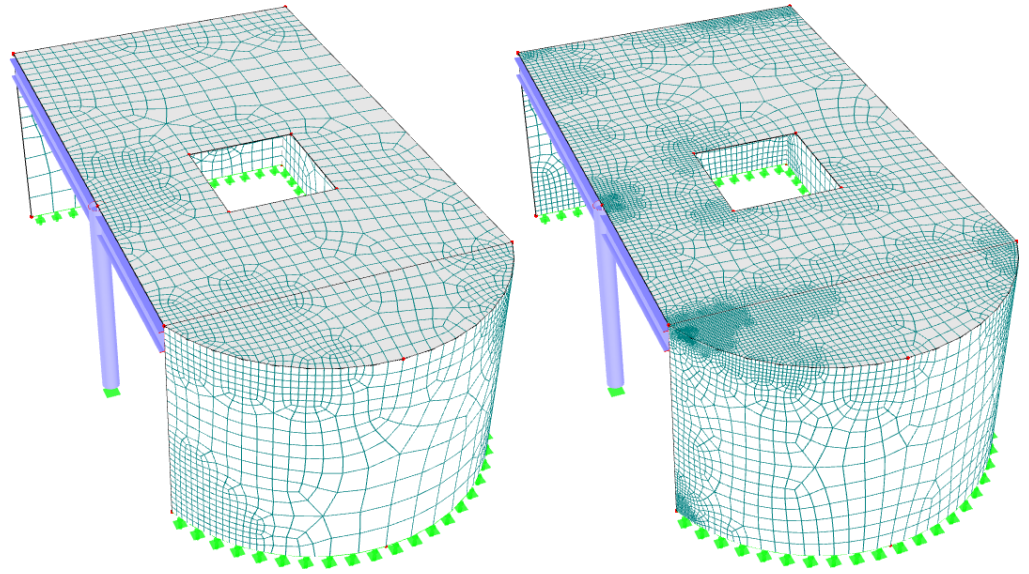


Bild 7.17 Adaptive Netzverdichtung mit einer (links) und zwei (rechts) Verdichtungsiterationen



Folgende FAQs bieten weitere Erläuterungen zur adaptiven Netzverdichtung:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/002794>
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/002922>

7.2.3 FE-Netzverdichtungen

Die Generierung des FE-Netzes kann durch FE-Netzverdichtungen beeinflusst werden, um das Netz an Stellen wie z. B. Anschlussbereichen feinmaschiger zu gestalten. Über FE-Netzverdichtungen lässt sich auch ein guter Kompromiss zwischen Ergebnisgenauigkeit und Rechenzeit erreichen.

Grundsätzlich existieren vier Typen von FE-Netzverdichtungen:

- Verdichtung um einen Knoten
- Verdichtung an einer Linie
- Verdichtung an einer Fläche
- Verdichtung an einem Volumenkörper

Die FE-Netzverdichtungen sind im [Kapitel 4.23](#) beschrieben.

7.2.4 FE-Netzgenerierung



Die FE-Netzgenerierung wird gestartet über das Menü

Berechnung → FE-Netz generieren.

Das FE-Netz wird auch automatisch generiert, sobald die Berechnung eines Lastfalls gestartet wird. Es empfiehlt sich jedoch, das generierte Netz vor der Berechnung dahingehend zu überprüfen, ob eine ausreichende, „harmonische“ Diskretisierung vorliegt oder ob noch Verdichtungsbereiche nötig sind.

Umgekehrt können Bereiche, die für die Ergebnisauswertung wenig relevant sind, mit einem grobmaschigen FE-Netz versehen werden. Dies kann beispielsweise als Flächen-FE-„Netzverdichtung“ mit einer größeren Maschenweite als der angestrebten Länge l_{FE} erfolgen. Dadurch wird die Berechnungsdauer beschleunigt und die Auswertung erleichtert.



Nach der erfolgreichen FE-Netzgenerierung kann mit dem Menübefehl

Berechnung → FE-Netz-Statistik

eine Übersicht mit Informationen zum generierten FE-Netz aufgerufen werden.

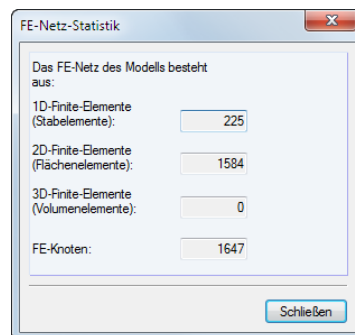


Bild 7.18 Dialog FE-Netz-Statistik

Die Zusammenstellung zeigt Art und Anzahl der generierten finiten Elemente an, die wiederum Rückschlüsse auf die Wahl der Gleichunglösermethode und die zu erwartende Berechnungszeit erlauben (siehe [Kapitel 7.3](#)).



Bei Änderungen der Modelldaten wird das FE-Netz automatisch gelöscht. Es besteht zudem die Möglichkeit, das Netz gezielt zu löschen über das Menü

Berechnung → FE-Netz löschen.

Damit werden auch alle eventuell vorhandenen Ergebnisse gelöscht.

7.3

Berechnungsparameter

Dialog Lastfälle und Kombinationen bearbeiten

Bereits beim Anlegen eines Lastfalls oder einer Lastkombination können die Berechnungsparameter festgelegt werden. Diese Vorgaben sind jeweils im *Berechnungsparameter-Register* des Dialogs *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* zu treffen.

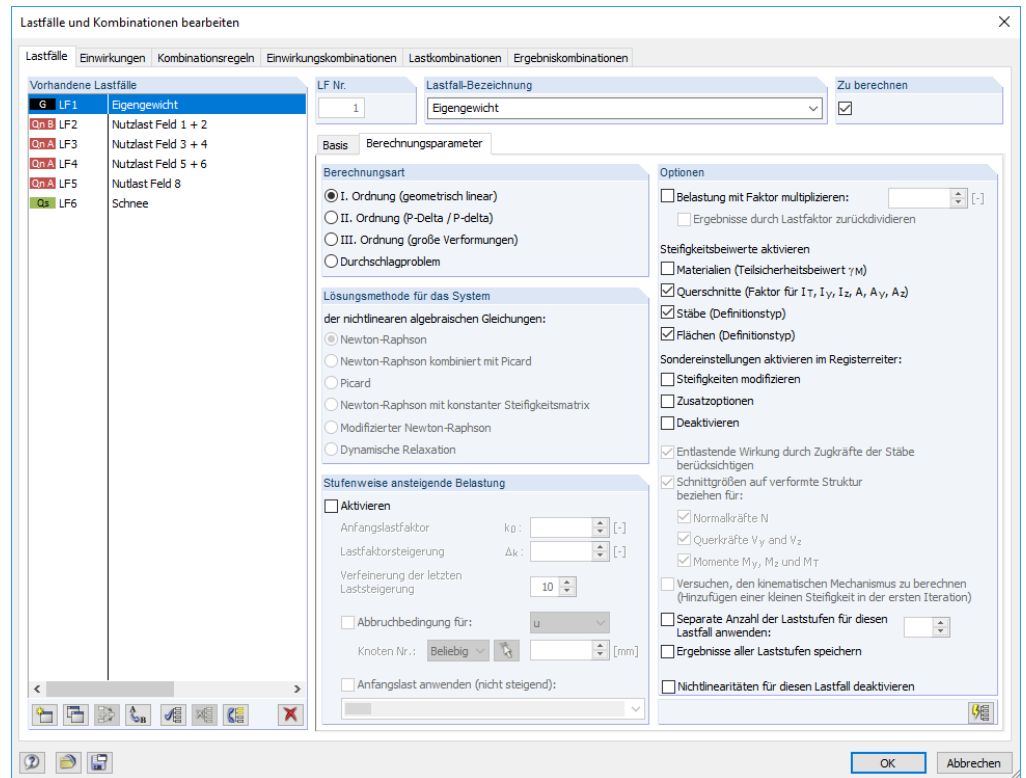


Bild 7.19 Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle* und *Berechnungsparameter*

Der Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* bietet daher nicht nur eine Übersicht über alle Lastfälle und Kombinationen, sondern steuert auch die Berechnungsparameter für jeden Lastfall und jede Last- und Ergebniskombination.

Dialog *Berechnungsparameter*

Die Berechnungsparameter sind zudem in einem separaten Dialog zugänglich.

Der Dialog *Berechnungsparameter* wird aufgerufen über das Menü

Berechnung → **Berechnungsparameter**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 7.20 Schaltfläche [Berechnungsparameter]

Der Dialog *Berechnungsparameter* besteht aus fünf Registern. Die ersten drei Register verwalten die Berechnungsparameter jedes Lastfalls bzw. jeder Last- oder Ergebniskombination. Im vierten Register *Globale Berechnungsparameter* (siehe [Bild 7.27](#)) können die allgemein gültigen Vorgaben überprüft und ggf. angepasst werden. Das letzte Register verwaltet die *Berechnungsdiagramme*.

7.3.1 Lastfälle und Lastkombinationen

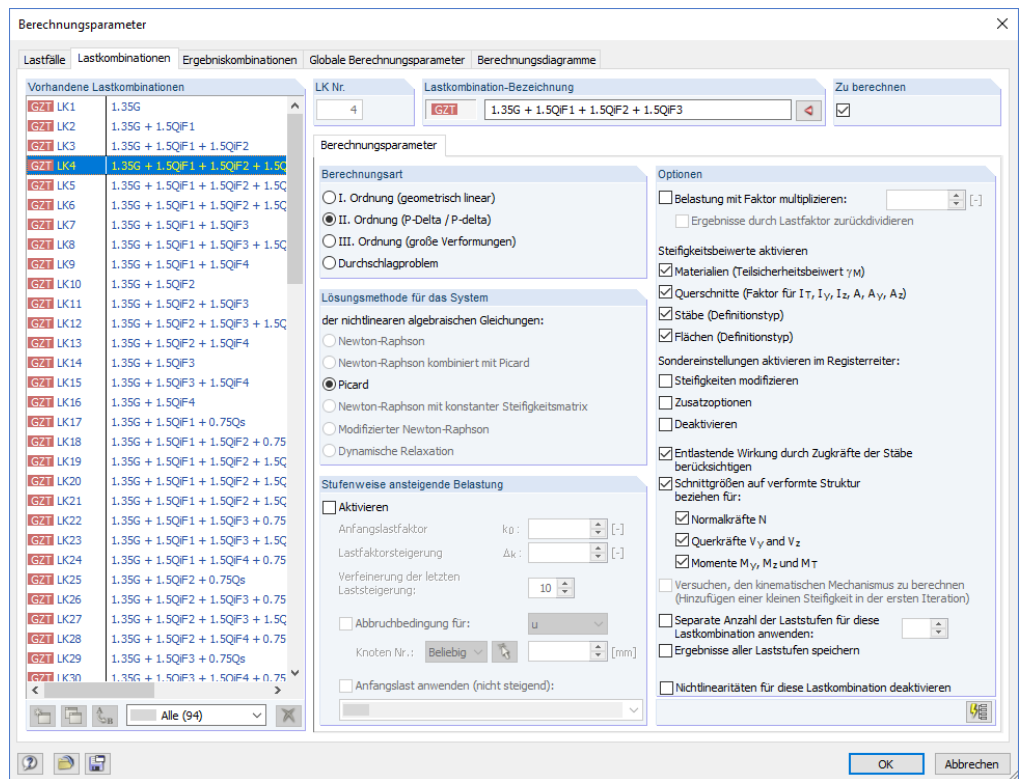


Bild 7.21 Dialog Berechnungsparameter, Register Lastkombinationen

Im Abschnitt *Vorhandene Lastfälle* bzw. *Vorhandene Lastkombinationen* sind die definierten Lastfälle bzw. -kombinationen aufgelistet. Rechts können die *Berechnungsparameter* des selektierten Eintrags angepasst werden.



Die Schallfläche [Parameter für alle setzen] weist die aktuellen Vorgaben sämtlichen Lastfällen bzw. Lastkombinationen zu.

Dieses Dialogregister ist in die Register *Berechnungsparameter* und ggf. *Steifigkeiten modifizieren* (siehe Bild 7.22), *Zusatzoptionen* (siehe Bild 7.23) und *Deaktivieren* (siehe Bild 7.25) untergliedert.

7.3.1.1 Berechnungsparameter

Berechnungsart


Dieser Abschnitt steuert, ob der Lastfall bzw. die Lastkombination nach Theorie *I.*, *II.* oder *III. Ordnung* berechnet wird. Mit der Option *Durchschlagproblem* wird die Stabilitätsanalyse nach Theorie III. Ordnung im Hinblick auf das Durchschlagversagen des Gesamttragwerks geführt.

Für Lastfälle ist die lineare Berechnung nach I. Ordnung, für Lastkombinationen die nichtlineare Berechnung nach Theorie II. Ordnung voreingestellt.

Wenn das Modell Seilstäbe enthält, ist die Berechnung nach III. Ordnung fest voreingestellt.



II. Ordnung

Bei der „baustatischen“ Theorie II. Ordnung wird das Gleichgewicht am verformten System ermittelt. Die Verformungen werden dabei als klein angenommen. Sind Normalkräfte im System vorhanden, wirken sie sich auf einen Zuwachs der Biegemomente aus. Die Berechnung nach Theorie II. Ordnung gemäß Timoshenko [14]  kommt also nur dann zum Tragen, wenn die Normalkräfte wesentlich größer sind als die Querkkräfte. Das zusätzliche Biegemoment ΔM ergibt sich aus der Längskraft N und dem elastischen Hebelarm e_{el} .

$$\Delta M = N \cdot e_{el}$$

Gleichung 7.1

Bei druckbelasteten Systemen kommt es zu einem überlinearen Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Schnittgrößen. In der Regel muss auch mit γ -fachen Einwirkungen gerechnet werden.

Die Normalkraftdifferenz in den Iterationen stellt das Abbruchkriterium dar. Bei Stabelementen wird die für Theorie II. Ordnung maßgebende, steifigkeitsändernde Normalkraft als konstant über den gesamten Stab angenommen. Sobald ein bestimmter Wert der Normalkraftdifferenz unterschritten wird, endet die Berechnung. Diese Abbruchschranke kann im Register *Globale Berechnungsparameter* im Abschnitt *Genauigkeit und Toleranz* beeinflusst werden.

Bei der nichtlinearen Berechnung nach Theorie II. Ordnung werden die Annahmen der Elastizitätstheorie I. Ordnung mit folgenden Ergänzungen beibehalten:

- Es treten keine plastischen Verformungen auf.
- Die äußeren Kräfte bleiben richtungstreu.
- Bei Stäben mit nicht konstanter Längskraft (z. B. Stützen) wird zur Ermittlung der Stabkennzahl ϵ der Mittelwert der Normalkraft N angesetzt.

III. Ordnung

Die Theorie III. Ordnung („Theorie großer Verformungen“) berücksichtigt in der Analyse der Schnittkräfte Longitudinal- und Transversalkräfte. Wird die Berechnung nach Theorie III. Ordnung gewählt, unterliegen **alle** Flächen und Stäbe diesem Berechnungsansatz.



Nach jedem Iterationsschritt wird die Steifigkeitsmatrix für das verformte System gebildet. Dabei bestehen erhebliche Unterschiede zwischen lokal und global definierten Lasten: Wirkt z. B. auf eine Decke eine global in Z definierte Flächenlast, behält sie ihre Richtung bei, wenn sich die finiten Elemente verdrehen. Wenn die Last jedoch in Richtung der lokalen Flächenachse z wirksam ist, verdreht sie sich auf jedem Element entsprechend der Verdrehung des Elements.

Durchschlagproblem

Es wird eine Stabilitätsanalyse im Hinblick auf das Durchschlagversagen durchgeführt. Bei dieser modifizierten Berechnung nach Theorie III. Ordnung gemäß Newton-Raphson wird der Einfluss der Normalkräfte für die Änderungen der Schub- und Biegesteifigkeit berücksichtigt. Dabei wird die tangentielle Steifigkeitsmatrix in jedem Iterationsschritt mit gespeichert. Im Falle von Singularitäten (d. h. einer Instabilität) wird die Steifigkeitsmatrix des vorherigen Iterationsschritts für neue geometrische, inkrementelle Iterationen verwendet, bis die tangentielle Steifigkeitsmatrix der aktuellen Anordnung regulär (stabil) wird.

Lösungsmethode für das System

der nichtlinearen algebraischen Gleichungen:

- Newton-Raphson
- Newton-Raphson kombiniert mit Picard
- Picard
- Newton-Raphson mit konstanter Steifigkeitsmatrix
- Modifizierter Newton-Raphson
- Dynamische Relaxation

Lösungsmethode für System der nichtlinearen Gleichungen

Es stehen sechs Methoden zur Auswahl, das nichtlineare algebraische Gleichungssystem zu lösen:


Newton-Raphson

Bei Theorie III. Ordnung ist das Verfahren nach Newton-Raphson voreingestellt. Dabei wird das nichtlineare Gleichungssystem numerisch über iterative Näherungen mit Tangenten gelöst. Die tangentielle Steifigkeitsmatrix ermittelt sich als Funktion des aktuellen Verformungszustands; sie wird in jedem Iterationszyklus invertiert. Mit dieser Methode wird in den meisten Fällen eine schnelle (quadratische) Konvergenz erreicht.

Das Konvergenzverhalten kann im Register *Globale Berechnungsparameter* über die Anzahl der Laststeigerungen beeinflusst werden.

Newton-Raphson kombiniert mit Picard

Bei dieser Methode wird zunächst das Verfahren nach Picard verwendet (siehe unten). Nach einigen Iterationen wird dann auf die Newton-Raphson-Methode umgestellt. Der Grundgedanke dieses Ansatzes liegt darin, die relativ unempfindliche Picard-Methode für die ersten Iterationsschritte zu nutzen, um Instabilitätsmeldungen zu vermeiden. Mit dieser anfänglichen Näherung wird dann das schnelle Verfahren nach Newton-Raphson genutzt, um den endgültigen Gleichgewichtszustand zu finden.

Im Register *Globale Berechnungsparameter*, Abschnitt *Diverse Einstellungen* kann festgelegt werden, welchen Anteil die Iterationen nach Picard beim kombinierten Verfahren belegen (siehe Bild 7.27 ).

Picard

Die Methode nach Picard — auch Sekantenverfahren genannt — kann als finite Differenzennäherung der Newtonmethode verstanden werden. Es wird die Differenz zwischen dem aktuellen und dem ursprünglichen Iterationslauf im aktuellen Laststeigerungsschritt betrachtet.

Diese Methode konvergiert meist langsamer als das Berechnungsverfahren nach Newton-Raphson. Sie erweist sich jedoch auch unempfindlicher gegenüber nichtlinearen Problemen, wodurch die Berechnung stabiler wird.

Newton-Raphson mit konstanter Steifigkeitsmatrix

Diese Variante des Newton-Raphson-Verfahrens steht für Untersuchungen nach III. Ordnung zur Auswahl. Dabei wird die Steifigkeitsmatrix nur einmal im ersten Iterationsschritt gebildet und dann in allen folgenden Berechnungsschritten benutzt.

Die Berechnung nach dieser Methode verläuft deshalb schneller, jedoch nicht so stabil wie die Berechnung nach dem normalen oder dem modifizierten Newton-Raphson-Verfahren.

Modifizierter Newton-Raphson

Diese Methode wird zur Lösung von Durchschlagproblemen benutzt (siehe Abschnitt *Berechnungstheorie* oben), bei denen ein Bereich mit Instabilität überwunden werden muss. Wenn eine Instabilität vorliegt und die Steifigkeitsmatrix nicht invertiert werden kann, wird die Steifigkeitsmatrix des letzten stabilen Iterationsschritts verwendet. Es wird mit dieser Matrix weitergerechnet, bis wieder der Stabilitätsbereich erreicht ist.

Dynamische Relaxation

Die letzte Methode eignet sich für Berechnungen nach Theorie III. Ordnung und zur Lösung von Durchschlagproblemen. Bei diesem Ansatz wird ein künstlicher Zeitparameter eingeführt. Unter Berücksichtigung von Trägheit und Dämpfung lässt sich die Aufgabe dann als dynamisches Problem behandeln. Dieser Ansatz benutzt die explizite Zeit-Integrationsmethode; die Steifigkeitsmatrix wird dabei nicht invertiert. Für eine Berechnung mit dynamischer Relaxation darf kein Teil des Modells ein spezifisches Gewicht von null aufweisen.

Diese Methode schließt auch die Rayleigh-Dämpfung ein, die über die Konstanten α und β nach folgender Gleichung mit den Ableitungen nach der Zeit definiert werden kann:

$$\mathbf{M} \frac{d^2 \mathbf{u}}{dt^2} + \mathbf{C} \frac{d \mathbf{u}}{dt} + \mathbf{K}(\mathbf{u}) \mathbf{u} = \mathbf{f}$$

Gleichung 7.2

mit

\mathbf{M} : Konzentrierte (diagonale) Massenmatrix

\mathbf{C} : Diagonale Dämpfungsmatrix $\mathbf{C} = \alpha \mathbf{M} + \beta \text{diag}[K_{11}(\mathbf{u}), K_{22}(\mathbf{u}), \dots, K_{nn}(\mathbf{u})]$

\mathbf{K} : Steifigkeitsmatrix

\mathbf{f} : Vektor der äußeren Kräfte

\mathbf{u} : Diskretisierter Verschiebevektor

Optionen

Belastung mit Faktor multiplizieren

Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes kann im Eingabefeld ein Faktor angegeben werden, mit dem alle im Lastfall bzw. in der Lastkombinationen enthaltenen Lasten multipliziert werden sollen (gilt nicht für Imperfektionen). Dieser Faktor spiegelt sich auch in den Lastvektoren und -werten der Grafik wider. Grundsätzlich sind auch negative Faktoren zulässig.

In älteren Normen besteht die Forderung, Belastungen global mit einem Faktor zu multiplizieren, um die Effekte nach Theorie II. Ordnung für Stabilitätsnachweise zu vergrößern. Die Bemessung wiederum hat mit den Gebrauchslasten zu erfolgen. Beide Forderungen können erfüllt werden, indem ein Faktor größer 1 eingegeben und das Kontrollfeld *Ergebnisse durch Lastfaktor zurückdividieren* aktiviert wird.

Für Untersuchungen nach aktuellen Normen sollte die Belastung **nicht** mit Faktoren bearbeitet werden. Stattdessen sind die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte bei der Überlagerung in den Last- oder Ergebniskombinationen anzusetzen.

Steifigkeitsbeiwerte aktivieren

Über die Kontrollfelder ist es möglich, die Steifigkeitsfaktoren der Materialien (siehe Kapitel 4.3 [2]), Querschnitte (siehe Kapitel 4.13 [2]), Stäbe (siehe Kapitel 4.17 [2]) und Flächen (siehe Kapitel 4.4 [2]) jeweils in der Berechnung anzusetzen oder zu deaktivieren.

In folgender FAQ finden Sie weitere Hinweise zu dieser Funktion:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/faq/004212>

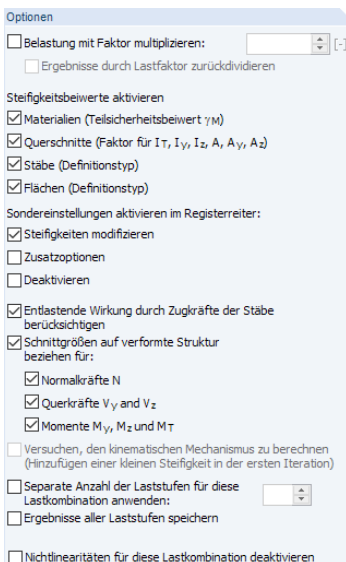
Sondereinstellungen aktivieren

Beim Anhaken der Kontrollfelder *Steifigkeiten modifizieren*, *Zusatzoptionen* und *Deaktivieren* werden weitere Register zugänglich. Dort können spezifische Vorgaben für Steifigkeiten (siehe Kapitel 7.3.1.2 [2]) und Objekte (siehe Kapitel 7.3.1.4 [2]) getroffen bzw. die Anfangsverformungen eines Lastfalls oder die Ergebnisse eines Zusatzmoduls für die Berechnung (siehe Kapitel 7.3.1.3 [2]) aktiviert werden.

Entlastende Wirkung durch Zugkräfte berücksichtigen

Zugkräfte haben auf ein vorverformtes System eine entlastende Wirkung. Dadurch wird die Vorverformung verringert und das System stabilisiert.

Es gibt unterschiedliche Auffassungen, wie entlastend wirkende Zugkräfte zu berücksichtigen sind. Die Normen enthalten Bestimmungen, nach denen entlastende Wirkungen mit einem geringeren Teilsicherheitsfaktor als belastende Wirkungen berücksichtigt werden müssen.



Stabweise variierende Teilsicherheitsfaktoren sind kaum mit vertretbarem Rechenaufwand zu realisieren. RFEM bietet deshalb die Möglichkeit an, Zugkräfte bei der Berechnung nach Theorie II. Ordnung generell zu null zu setzen. Dieser Ansatz liegt auf der sicheren Seite. Um diese Möglichkeit zu nutzen, muss das Häkchen aus dem Kontrollfeld entfernt werden.

Dagegen steht das Argument, dass die Normen Einwirkungen und keine inneren Kräfte behandeln. Deshalb sei für die Einwirkung als Ganzes zu entscheiden, ob sie be- oder entlastend wirkt. Wenn folglich eine belastende Einwirkung in gewissen Bereichen des Modells eine entlastende Wirkung hat, könne sie durchaus berücksichtigt werden. Sollen daher die Normalkräfte nach diesem Ansatz unverändert in die Berechnung eingehen, muss das Kontrollfeld angehakt sein (Voreinstellung).

Die entlastende Wirkung der Zugkräfte sollte in den meisten Fällen wie z. B. bei Hallen mit Verbänden oder biegebeanspruchten Tragwerken berücksichtigt werden. Bei unterspannten Trägern kann die Zugkraftentlastung u. U. jedoch zu einer unerwünschten Reduzierung der Verformungen und Schnittgrößen führen.

Schnittgrößen auf verformte Struktur beziehen

Die Option *Schnittgrößen auf verformte Struktur beziehen* ermöglicht es bei nichtlinearen Berechnungen, die Normalkräfte, Querkräfte sowie Biege- und Torsionsmomente von Stäben auf die gedrehten Koordinatensysteme des verformten Systems bezogen auszugeben. Es stehen drei Kontrollfelder für die Schnittgrößenarten *Normalkräfte*, *Querkräfte* und *Momente* zur Verfügung.

Berechnung des kinematischen Mechanismus

Über dieses Kontrollfeld kann versucht werden, ein instabiles Modell berechenbar zu machen: Es werden intern kleine Federn angesetzt, die das Modell für die erste Iteration stabilisieren. Nach dem Erreichen eines stabilen Anfangszustandes werden diese Federn für die folgenden Iterationen wieder entfernt.

Separate Anzahl der Laststufen

Für jeden Lastfall und jede Lastkombination kann eine individuelle Anzahl an Laststeigerungsschritten festgelegt werden. Damit verliert die im Register *Globale Berechnungsparameter* vorgegebene Anzahl ihre Gültigkeit (siehe Kapitel 7.3.3 [☐](#)).

7.3.1.2 Steifigkeiten modifizieren


Dieses Register wird angezeigt, wenn im vorherigen Register *Berechnungsparameter* das Kontrollfeld *Steifigkeiten modifizieren* angehakt ist.

Bild 7.22 Register *Steifigkeiten modifizieren*

Die Vorgaben dieses Registers wirken sich nur auf den Lastfall bzw. die Lastkombination aus, der bzw. die in der Liste links selektiert ist. Die Schaltfläche [Parameter für alle setzen] überträgt die aktuellen Parameter auf sämtliche Lastfälle bzw. -kombinationen.

Materialien und Querschnitte / Lager / Gelenke

In den drei Abschnitten kann detailliert angegeben werden, wie die Steifigkeiten der unterschiedlichen Modellparameter in die Berechnung einfließen:

- *Alles mit Faktor multiplizieren*: Es ist ein Faktor anzugeben, mit dem die Steifigkeit der Materialien, Querschnitte, Lager und Gelenke jeweils global multipliziert wird.
- *Einzeln*: Die Schaltfläche  öffnet einen neuen Dialog, in dem jedem Objekt ein spezifischer Steifigkeitsfaktor zugewiesen werden kann.

7.3.1.3 Zusatzoptionen


Dieses Register wird nur angezeigt, wenn im Register *Berechnungsparameter* das Kontrollfeld *Zusatzoptionen* angehakt ist (siehe Bild 7.21 [↗](#)).

Bild 7.23 Register Zusatzoptionen

Anfangsdehnung aus anderem LF / anderer LK

In diesem Abschnitt kann ein Lastfall oder eine Lastkombination ausgewählt werden, dessen bzw. deren Verformungen als Anfangsdehnung bei der Berechnung berücksichtigt werden sollen. Die FE-Knoten werden vor der Berechnung entsprechend verschoben. Falls noch keine Ergebnisse dieses Lastfalls oder dieser Lastkombination vorliegen, werden sie automatisch mitberechnet.

Es ist anzugeben, mit welchem Faktor die Verformungen skaliert werden sollen:

- *Alles mit Faktor multiplizieren*: Die Verformungen der Stäbe, Flächen und Volumen werden global mit diesem Faktor multipliziert.
- *Einzel*: Die Schaltfläche  öffnet einen Dialog, in dem jedem Stab, jeder Fläche und jedem Volumen ein spezifischer Skalierungsfaktor der Verformung zugewiesen werden kann.

Anfangskräfte für geometrische Steifigkeit

Es kann ein Lastfall oder eine Lastkombination ausgewählt werden, dessen bzw. deren Normalkräfte für eine Anfangsverformung angesetzt werden sollen. Damit lässt sich z. B. die stabilisierende Wirkung eines anderen Lastfalls (als oben bei *Anfangsverformung* angegeben) berücksichtigen.

Dieser Dialogabschnitt ist nur bei einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung zugänglich.

Steifigkeiten aus Modul RF-BETON

Bei der Berechnung können die Steifigkeiten der Stahlbetonelemente berücksichtigt werden, die sich in den RF-BETON-Modulen aus den Bewehrungen und Rissanalysen bei nichtlinearer Nachweismethode ergeben. Nach dem Aktivieren des Kontrollfeldes ist der Bemessungsfall des Zusatzmoduls **RF-BETON Stäbe** oder **RF-BETON Flächen** anzugeben.



Die Berechnung mit den Steifigkeiten aus RF-BETON gelingt nur, wenn die Bemessungsfälle angelegt wurden und die Nachweise ohne Unbemessbarkeiten möglich sind.

Anfangsverformung aus Modul RF-IMP

Imperfektionen können in Form eines vorverformten Ersatzmodells berücksichtigt werden, das über das Zusatzmodul **RF-IMP** erzeugt wird. Falls dieses Modul nicht lizenziert ist, können manuell Ersatzimperfektionen für Stäbe (siehe [Kapitel 6.14](#)) oder Anfangsverformungen eines Lastfalls (siehe oben) angesetzt werden.

Eine Berechnung am vorverformten Ersatzmodell ist möglich, wenn das Modell zuvor in RF-IMP gebildet wurde: Dieses Modul generiert Imperfektionen auf Basis der Eigenwerte von RF-STABIL, RF-DYNAM oder der Verformungen eines Lastfalls, die auf eine maximale Ordinate skaliert werden.

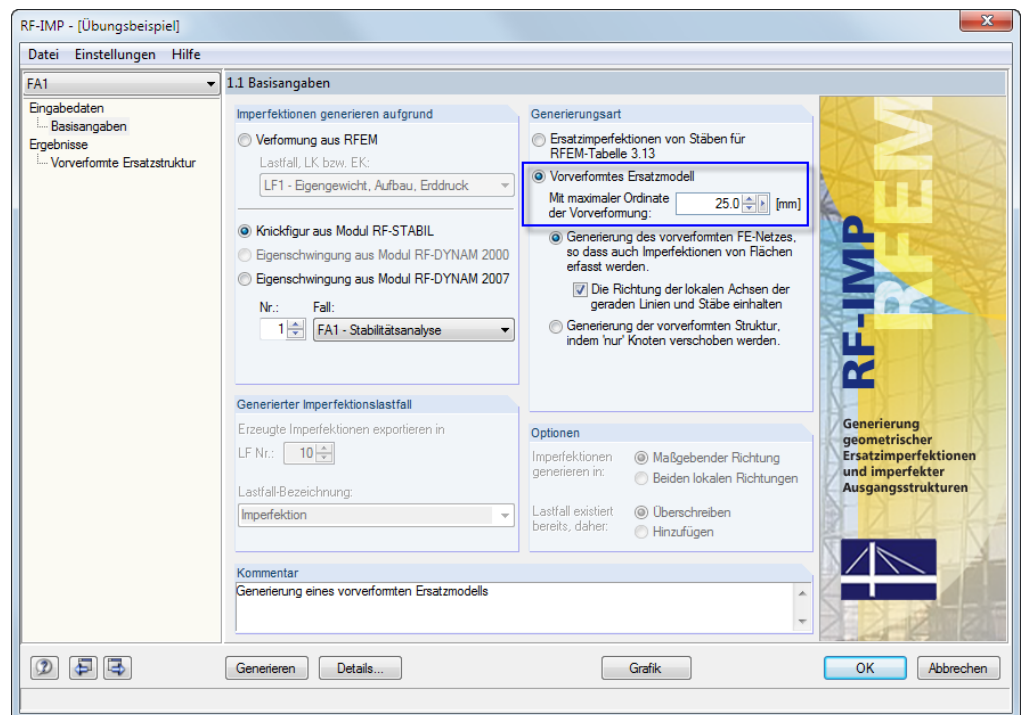


Bild 7.24 Zusatzmodul RF-IMP mit Generierungsart *Vorverformtes Ersatzmodell*

Das Ersatzmodell wird separat abgelegt, ohne die eigentlichen Geometriedaten zu verändern. Erst vor der Berechnung der Lastkombination werden die Koordinaten der FE-Knoten mit dem Ersatzmodell abgeglichen.

Für jede Lastkombination kann ein anderes Ersatzmodell verwendet werden. Die Auswahl ist in der Liste *Fall* des Moduls RF-IMP vorzunehmen.

7.3.1.4 Deaktivieren

Dieses Register wird nur angezeigt, wenn im Register *Berechnungsparameter* das Kontrollfeld *Deaktivieren* angehakt ist (siehe Bild 7.21 [↗](#)).

Berechnungsparameter Deaktivieren

Deaktivieren

Liste (z.B. '3-5,12')

Stäbe: 4,6

Flächen:

Volumenkörper:


Knotenlager: 17

Linienlager:

Flächenlager:

Bild 7.25 Register Deaktivieren

Dieses Register ermöglicht es, bestimmte Objekte des Modells bei der Berechnung zu ignorieren. Damit kann beispielsweise die Wirkung temporärer Stäbe (Montagestützen) oder Lager untersucht werden.

Nach dem Anhaken eines Kontrollfeldes wird das Eingabefeld zugänglich, in dem die Nummern der Objekte angegeben werden können. Die Objekte lassen sich mit  auch grafisch im Modell bestimmen.

7.3.2 Ergebniskombinationen

Grundsätzliche Informationen zur Überlagerung von Lastfällen in Ergebniskombinationen finden Sie im Kapitel 5.6 [\[2\]](#).

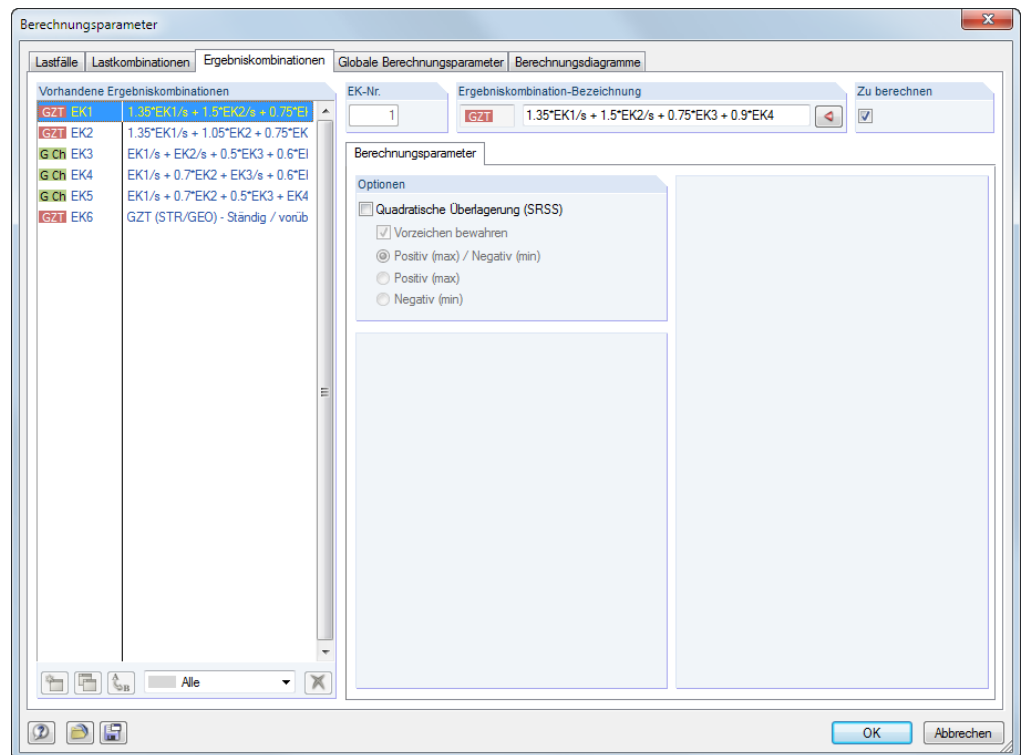


Bild 7.26 Dialog Berechnungsparameter, Register Ergebniskombinationen

Im Dialogabschnitt *Vorhandene Ergebniskombinationen* sind alle angelegten oder generierten Ergebniskombinationen aufgelistet. Rechts können die *Berechnungsparameter* des selektierten Eintrags bearbeitet werden.

Optionen

Die *Quadratische Überlagerung* ist standardmäßig deaktiviert. Somit werden die Schnittgrößen additiv überlagert:

$$B = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Gleichung 7.3

Die Voreinstellung eignet sich für die meisten Anwendungsfälle. Eine quadratische Überlagerung von Schnittgrößen ist jedoch bei dynamischen Untersuchungen relevant, z. B. bei der Kombination von Lastfällen infolge von Zentrifugalkräften. Dabei wird die pythagoreische Summe gebildet:

$$B = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}$$

Gleichung 7.4

Bei der quadratischen Überlagerung kann über die *Positiv/Negativ*-Kontrollfelder gesteuert werden, welche Extremwerte der Lastfälle in die Überlagerung einfließen und ob die *Vorzeichen beibehalten* werden sollen. So lassen sich die Extremwerte der modalen Schnittgrößen und Verformungen und die zur führenden Komponente zugehörigen Ergebnisse vorzeichengerecht ermitteln.

7.3.3 Globale Berechnungsparameter

Das Register *Globale Berechnungsparameter* verwaltet die Einstellungen, die allgemein für sämtliche Lastfälle und Lastkombinationen gelten. Es wird aufgerufen über das Menü

Berechnung → **Berechnungsparameter**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Globale Berechnungsparameter' tab selected. The 'Einstellungen' section includes:

- Maximale Anzahl der Iterationen: 100
- Anzahl der Laststufen für - Lastfälle: 1
- Lastkombinationen: 1
- Maximale Anzahl der steigenden Laststufen: 1000
- Anzahl der Stabstellungen für - Ergebnisverläufe: 10
- Besondere Stabtypen (Selbstab, elastische Bettung, Voute, Nichtlinearität): 10
- Ermittlung der max/min-Werte: 10
- Teilung des FE-Netztes für grafische Ergebnisverläufe: 3
- Prozentualer Anteil der Iterationen der Methode nach Newton-Raphson kombiniert mit Picard: 5 [%]

 The 'Optionen' section includes:

- Schubsteifigkeit der Stäbe aktivieren (Querschnittsflächen A_1, A_2)
- Stäbe bei Theorie III. Ordnung bzw. Durchschlagproblem teilen, Anfangsdehnung aus anderem LF / anderer LK
- Steifigkeitsänderungen berücksichtigen (Materialien, Querschnitte, Stäbe, Lastfälle und Kombinationen)
- Zusatzoptionen berücksichtigen (Lastfälle und Kombinationen)
- Kritische Kräfte der Stäbe kontrollieren
- Unsymmetrischer direkter Gleichungslöser, falls für nichtlineares Modell erforderlich
- Methode für das Gleichungssystem: Direkt, Iterativ
- Platten-Biegetheorie: Mindlin, Kirchhoff
- Gleichungslöserversion: 32-bit, 64-bit

 The 'Genauigkeit und Toleranz' section includes:

- Standardeinstellungen ändern
- Genauigkeit der Konvergenzschranke für nichtlineare Berechnung: 1.00
- Toleranz für Ermittlung der Instabilität: 1.00
- Relative Einstellung des Zeitschritts für dynamische Relaxation: 1.00 (Niedriger -> genauer)
- Robustheit der iterativen Berechnung: 1.00
- Einstellungen für Seile und Membranen...
- Penalty-Stefigkeit in Verbindung mit Null-Energie-Formen für - Schalenelemente: [0.01 ... 100] - Volumenelemente: [] (Niedriger -> kleiner)

 The 'Nichtlinearitäten' section includes:

- Lager und elastische Bettungen
- Stäbe infolge des Stabtyps
- Stabengelenke, Freigaben
- Stabnichtlinearitäten
- Volumenkörper des Typs 'Kontakt'
- Materialien mit nichtlinearem Modell
- Anzahl der Laststeigerungen zur automatischen Ermittlung durch die Newton-Raphson-Methode
- Isotrop thermisch-elastisches Materialmodell

 The 'Reaktivierung der ausfallenden Stäbe' section includes:

- Verformung der ausfallenden Stäbe überprüfen und ggf. diese reaktivieren
- Max. Anzahl der Reaktivierungen: 3
- Besondere Behandlung
 - Ausfallende Stäbe werden einzeln in den jeweiligen Iterationen nacheinander entfernt
 - Ausfallenden Stäben wird sehr kleine Steifigkeit zugewiesen
- Reduktionsfaktor der Steifigkeit: 1000

 The 'Rohrinnendruck' section includes:

- Verschiebungen infolge Stablasten des Typs 'Rohrinnendruck' (Bourdon-Effekt)

 The dialog has 'OK' and 'Abbrechen' buttons at the bottom right.

Bild 7.27 Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter*

Einstellungen

Maximale Anzahl der Iterationen

Bei der Analyse nach Theorie II. oder III. Ordnung sowie bei nichtlinear wirkenden Objekten muss iterativ gerechnet werden. Der Wert des Eingabefeldes legt die höchstmögliche Anzahl an Rechendurchläufen fest. Diese Vorgabe hat nichts mit der im Abschnitt *Optionen* beschriebenen iterativen Methode für das Gleichungssystem zu tun.

Erreicht die Berechnung die maximale Anzahl der Iterationen, ohne dass sich ein Gleichgewicht einstellt, gibt RFEM eine entsprechende Meldung aus. Die Ergebnisse können dann trotzdem angezeigt werden.

The warning dialog box has a yellow background and a warning icon. It contains the following text:

RFEM
Warnung Nr. 10154

Die Berechnung hat im Lastfall LF1 nicht konvergiert, trotzdem könnten die Ergebnisse verwendbar werden. Erhöhen Sie bitte die Zahl der Iterationen oder der Steigerungen, um genauere Ergebnisse zu bekommen.

Möchten Sie trotzdem die Ergebnisse anzeigen lassen?

Buttons:

Bild 7.28 Meldung bei Konvergenzproblem

Anzahl der Laststufen

Die Vorgaben zu den Laststufen von Lastfällen und Lastkombinationen sind für Berechnungen nach Theorie II. oder III. Ordnung relevant: Bei der Berücksichtigung der großen Verformungen ist es oft schwierig, ein Gleichgewicht zu finden. Instabilitäten können umgangen werden, indem die Belastung in mehreren Schritten aufgebracht wird.

Wenn z. B. zwei Laststufen vorgegeben sind, wird im ersten Schritt die Hälfte der Last angesetzt. Es wird so lange iteriert, bis das Gleichgewicht gefunden ist. Dann wird in einem zweiten Schritt die volle Belastung auf das bereits verformte System aufgebracht und wieder bis zum Gleichgewicht iteriert.

Bei Laststufen ist zu bedenken, dass sie sich ungünstig auf die Rechenzeit auswirken. Deshalb ist im Eingabefeld eine 1 (also keine stufenweise Laststeigerung) voreingestellt.

Darüber hinaus kann für jeden Lastfall und jede Lastkombination gesondert festgelegt werden, wie viele Laststufen angesetzt werden sollen (siehe [Kapitel 7.3.1.1](#)). Die globalen Vorgaben sind dann für diese Lastfälle und -kombinationen irrelevant.



Die *Maximale Anzahl der steigenden Laststufen* ist nur für Berechnungen nichtlinearer Materialmodelle von Bedeutung: Ist im Abschnitt *Nichtlinearitäten* (siehe unten) das Kontrollfeld *Anzahl der Laststeigerungen zur automatischen Ermittlung durch die Newton-Raphson-Methode* aktiviert, so bestimmt RFEM die erforderliche Anzahl der Laststufen automatisch nach einem heuristischen Verfahren. Diese Möglichkeit zur effizienten Lösung nichtlinearer Aufgabenstellungen ist wie erwähnt nur für nichtlineare Materialmodelle relevant, die nach Theorie I. oder III. Ordnung mit der Newton-Raphson Lösungsmethode berechnet werden. Um die Unterteilung in Lastschritte in einem verträglichen Maß zu halten, kann ein Höchstwert vorgegeben werden.

Anzahl der Stabteilungen für Ergebnisverläufe

Dieses Eingabefeld wirkt sich auf den grafischen Ergebnisverlauf der Stäbe aus, die keine weitere FE-Netzteilung (z. B. durch eine FE-Netzverdichtung oder angeschlossene Fläche) besitzen. Ist hier eine Teilung von 10 eingestellt, teilt RFEM die Länge des längsten Stabs im System durch 10. Mit dieser systembezogenen Teilungslänge werden dann für jeden Stab die grafischen Ergebnisverläufe an den Zwischenpunkten ermittelt.

Im Dialog *FE-Netz-Einstellungen* besteht eine weitere Teilungsmöglichkeit für gerade Stäbe, die nicht in Flächen integriert sind (siehe [Bild 7.10](#)). Damit lassen sich FE-Knoten an allen freien Stäben erzeugen, deren Ergebnisse für die grafischen Ergebnisverläufe benutzt werden.

Anzahl der Stabteilungen für besondere Stabtypen (Seilstab etc.)

Im Gegensatz zur vorherigen Teilungsoption erfolgt eine echte Teilung des Stabes durch interne Zwischenknoten. Diese Vorgabe wirkt sich auf Seile, Bettungsstäbe (Sohlspannungen), Voutenstäbe (Interpolation der Querschnittswerte) und Stäbe mit plastischen Eigenschaften (Fließbereiche) aus — sofern diese Stäbe nicht schon anderweitig durch FE-Knoten geteilt sind: Diese Teilung ist irrelevant, wenn ein Stab an der Begrenzungslinie einer Fläche angeordnet ist oder eine FE-Netzverdichtung für die Definitionslinie vorliegt.

Anzahl der Stabteilungen für Ermittlung der max/min-Werte

Dieser Wert gibt die interne Teilung vor, mit der die maximalen und minimalen Schnittgrößen von Stäben ermittelt werden. Auf dieser Teilung (Voreinstellung: 10) basieren somit die in den Ergebnistabellen und der Grafik ausgewiesenen Extremwerte. Diese Teilung wird auch für die Berechnung der Stabschnittgrößen von Lastkombinationen benutzt.

Teilung des FE-Netzes für grafische Ergebnisverläufe

Damit wird die Genauigkeit der grafischen Verläufe innerhalb der finiten Elemente gesteuert. Im folgenden Beispiel sind die Ergebnisse mit den Teilungen 0 und 3 gegenübergestellt.

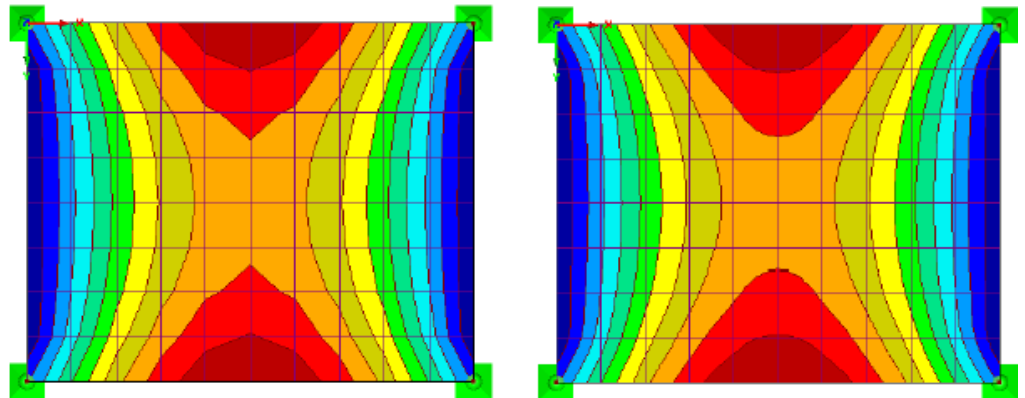


Bild 7.29 Grafischer Ergebnisverlauf m-x mit Teilung 0 (links) und 3 (rechts)

Prozentualer Anteil der Iterationen bei Newton-Raphson kombiniert mit Picard

Die Lösungsmethode nach Picard geht von Sekantensteifigkeiten aus, die Methode nach Newton-Raphson von Tangentensteifigkeiten (siehe Kapitel 7.3.1 [\[2\]](#)). Bei der Berechnungsoption *Newton-Raphson kombiniert mit Picard* werden in den ersten Iterationen Sekantensteifigkeiten benutzt, ehe dann Tangentensteifigkeiten für die restlichen Iterationen angesetzt werden.

Im Eingabefeld kann der Anteil der ersten Iterationen mit Sekantensteifigkeiten festgelegt werden. Der Wert ist prozentual auf die Gesamtanzahl der Iterationen bezogen.

Optionen

Schubsteifigkeit der Stäbe aktivieren (Querschnittsflächen A_y , A_z)

Die Berücksichtigung der Schubsteifigkeiten führt zu einem Verformungszuwachs infolge der Querkräfte. Die Schubverformung spielt bei Walz- und Schweißprofilen kaum eine Rolle. Bei massiven Querschnitten und Holzprofilen empfiehlt es sich aber, die Schubsteifigkeiten für die Verformungsberechnung zu berücksichtigen.

Stäbe bei Theorie III. Ordnung bzw. Durchschlagproblem teilen

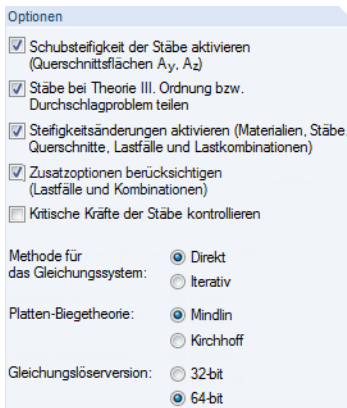
Balkenstäbe können für die Berechnung nach Theorie III. Ordnung durch Zwischenknoten geteilt werden, um diese Stäbe mit einer höheren Genauigkeit zu erfassen. Die Anzahl der Teilungen wird vom Eingabefeld für Seil- und Bettungsstäbe übernommen.

Steifigkeitsänderungen aktivieren (Materialien, Stäbe, Querschnitte, Lastfälle und Lastkombinationen)

Über dieses Kontrollfeld kann global festgelegt werden, ob bei der Berechnung von Lastfällen und Lastkombinationen die Anpassungsfaktoren der Steifigkeiten für Materialien (siehe Kapitel 4.3 [\[2\]](#)), Querschnitte (Kapitel 4.13 [\[2\]](#)) und Stäbe (Kapitel 4.17 [\[2\]](#)) berücksichtigt werden sollen. In den Stab- und Querschnittsdialogen sind jeweils Faktoren von 1.00 voreingestellt. Damit hat das Häkchen im Kontrollfeld in der Regel keine Abminderungen oder Erhöhungen der Steifigkeiten zur Folge.

Zusatzoptionen berücksichtigen

Wurden bei den Berechnungsparametern der Lastfälle und Lastkombinationen *Zusatzoptionen* definiert (siehe Kapitel 7.3.1.3 [\[2\]](#)), so können sie über dieses Kontrollfeld global aktiviert oder deaktiviert werden.



Kritische Kräfte der Stäbe kontrollieren

Ofť führt schon in der ersten Iteration die Überschreitung der kritischen Last zu einer Instabilitätsmeldung. Dieses Kontrollfeld regelt, ob die kritische Last für Fachwerk-, Druck- und Knickstäbe überprüft wird. Dabei werden die definierten Knicklängen der Stäbe berücksichtigt.

Methode für das Gleichungssystem

Die beiden Auswahlfelder steuern, welche Methode zum Lösen des Gleichungssystems benutzt wird – *Direkt* oder *Iterativ*. Um Missverständnissen vorzubeugen: Auch bei der direkten Lösung des Gleichungssystems erfolgt eine iterative Berechnung, falls Nichtlinearitäten vorliegen oder nach Theorie II. und III. Ordnung gerechnet wird. *Direkt* und *Iterativ* beziehen sich auf die Datenverwaltung während der Berechnung.

Welche Gleichungslösermethode schneller zu Ergebnissen führt, hängt von der Komplexität des Modells sowie von der Größe des verfügbaren Hauptspeichers (RAM) ab:

- Bei kleinen und mittelgroßen Systemen ist die *direkte* Methode effektiver.
- Bei sehr großen Systemen führt die *iterative* Methode schneller zu Ergebnissen.

Sobald bei der direkten Methode die Matrizen nicht mehr im Hauptspeicher untergebracht werden können, beginnt Windows, Teile des Hauptspeichers auf die Festplatte auszulagern. Dies ist an starken Festplattenaktivitäten und einer geringen Prozessorauslastung im Windows Task-Manager zu erkennen. Durch eine Umstellung auf die iterative ICG (*Incomplete Conjugate Gradient*) Berechnungsmethode lässt sich dieses Speicherproblem vermeiden.

Es ist darauf zu achten, dass die Auslagerungsdatei ausreichend groß ist bzw. dass die Größe von Windows automatisch zugewiesen wird. Eine zu kleine Auslagerungsdatei kann u. U. zu Programmabstürzen führen.

Über das Menü **Optionen** → **Programmoptionen** oder die links dargestellte Schaltfläche ist der Dialog *Programmoptionen* zugänglich. Dort kann im Register *Hilfe-Assistent* die Anzahl der 2D- und 3D-Elemente festgelegt werden, ab der RFEM eine Warnung vor der Berechnung mit der direkten Methode ausgibt.

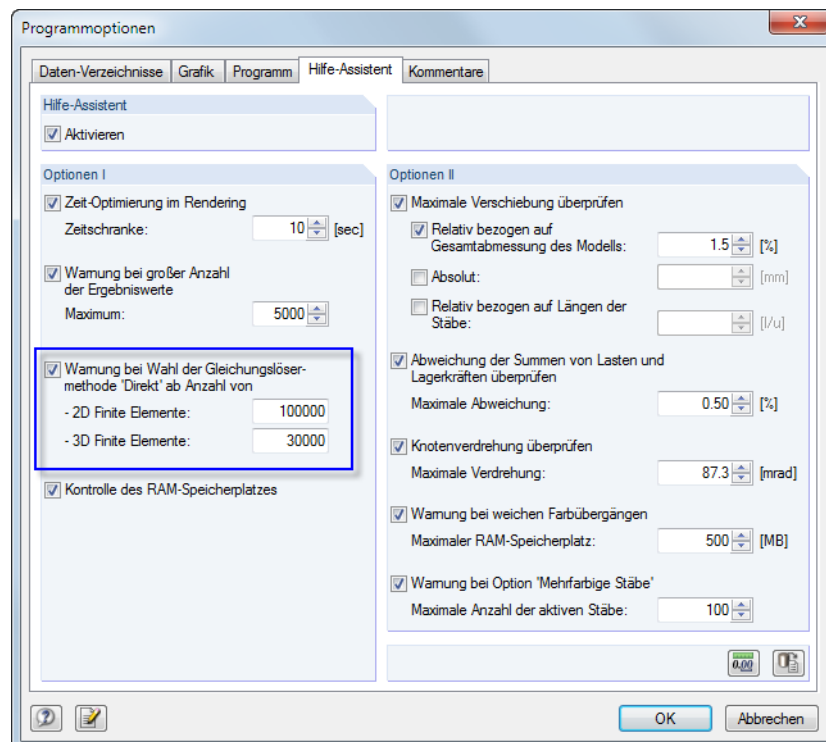


Bild 7.30 Dialog *Programmoptionen*, Register *Hilfe-Assistent*



Platten-Biegetheorie

Flächen können nach den Biegetheorien von Mindlin oder Kirchhoff berechnet werden. Bei der Berechnung nach Mindlin werden Querkraftverformungen eingeschlossen, nach Kirchhoff werden diese nicht berücksichtigt. Die Berechnungsoption *Mindlin* eignet sich deshalb für die relativ dicken Platten und Schalen des Massivbaus; die Option *Kirchhoff* ist für relativ dünne Flächen wie z. B. Stahlbleche zu empfehlen.

Gleichungslöserversion

Die direkte Methode zur Lösung des Gleichungssystems (siehe oben) basiert auf einem Rechenkern, der die erweiterten RAM-Speicherkapazitäten von 64-Bit -Betriebssystemen nutzt. Damit lassen sich auch bei großen Systemen alle Lastfälle und Lastkombinationen zeitsparend auf einmal berechnen, sofern keine Objekt-Nichtlinearitäten wirksam werden. Der RAM-Speicher muss groß genug sein, die Steifigkeitsmatrix und alle Belastungen zu erfassen.

Genauigkeit und Toleranz

Es ist nur selten erforderlich, die voreingestellten Konvergenz- und Toleranzparameter anzupassen. Nach dem Anhaken der Kontrollfelder *Standardeinstellungen ändern* bzw. *Penalty-Steifigkeit in Verbindung mit Null-Energie-Formen* sind die entsprechenden Eingabefelder zugänglich.

Genauigkeit der Konvergenzschranke für nichtlineare Berechnung

Falls nichtlineare Effekte wirken oder die Analyse nach Theorie II. bzw. III. Ordnung erfolgt, kann die Berechnung über die Konvergenzschranke beeinflusst werden.

Die Normalkraftänderung der letzten beiden Iterationen wird stabweise verglichen. Sobald diese Änderung einen bestimmten Bruchteil der maximalen Normalkraft erreicht hat, endet die Berechnung. Während der Iterationen ist es jedoch möglich, dass die Normalkräfte zwischen zwei Werten pendeln anstatt zu konvergieren. Über einen Faktor kann eine Empfindlichkeit definiert werden, um diesen Pendeleffekt zu unterbinden.

Die Genauigkeit beeinflusst auch das Konvergenzkriterium für Verformungsänderungen bei der Berechnung nach Theorie III. Ordnung, bei der geometrische Nichtlinearitäten berücksichtigt werden.

Voreingestellt ist der Faktor 1.00. Der minimale Faktor ist 0.01, der Maximalwert beträgt 100.00. Je größer der Wert, desto unempfindlicher ist die Abbruchschranke.

Toleranz für Ermittlung der Instabilität

Es gibt verschiedene Ansätze, nach denen sich das Stabilitätsverhalten eines Modells untersuchen lassen. Keiner kann jedoch mit absoluter Verlässlichkeit singuläre Steifigkeitsmatrizen aufdecken.

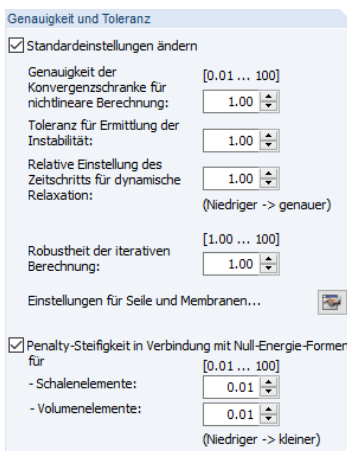
RFEM benutzt zwei Vorgehensweisen zur Ermittlung der Instabilität: Zum einen werden die Elemente auf der Hauptdiagonale der Steifigkeitsmatrix Absolut immer mit der gleichen Nummer in den Iterationen verglichen, zum anderen wird jedes Element der Hauptdiagonale Relativ zur benachbarten Nummer untersucht. Die Toleranz kann im Eingabefeld angepasst werden. Je kleiner der Wert, desto unempfindlicher erfolgt die Analyse.

Relative Einstellung des Zeitschritts für dynamische Relaxation


Der Zeitparameter steuert die Berechnung nach der Methode der dynamischen Relaxation (siehe Kapitel 7.3.1.1 [\[2\]](#)). Je kleiner Wert, desto kleiner ist der Zeitschritt und umso genauer sind die Ergebnisse.

Robustheit der iterativen Berechnung

Bei Konvergenzproblemen mit der Newton-Raphson-Methode kann die Robustheit erhöht werden, um das „Überspringen“ der Lösung zu unterbinden. Dabei kann es erforderlich sein, die Anzahl der maximalen Iterationen zu erhöhen.



Einstellungen für Seile und Membranen

Über die Schaltfläche  ist ein Dialog zugänglich, in dem eine Anfangsvorspannung für Seile und Membranen aktiviert werden kann. Ferner ist es möglich, die Wirkung der Membranen bei Druckkräften zu berücksichtigen. Damit lässt sich oft die Robustheit der Berechnung und das Konvergenzverhalten verbessern.

Penalty-Steifigkeit in Verbindung mit Null-Energie-Formen

Die FEM-Berechnung verwendet eine reduzierte Gauß-Integration, um die Versteifungseffekte von Schub und räumlicher Verzerrung z. B. beim Erstellen der Steifigkeitsmatrix zu unterdrücken. Mit dieser reduzierten Integration sind aber auch sogenannte unechte Null-Energie-Formen („zero-energy spurious modes“) verbunden, da die Verformungen keine Spannungen im System bewirken.

Bei vierseitigen 2D-Elementen sind zwei Arten von Null-Energie-Formen möglich, die die Form einer Sanduhr („hourglass mode“) oder gleichförmigen Verdrehung („equal rotations mode“) beschreiben. Bei Dreieckselementen tritt nur eine gleichförmige Verdrehung auf.

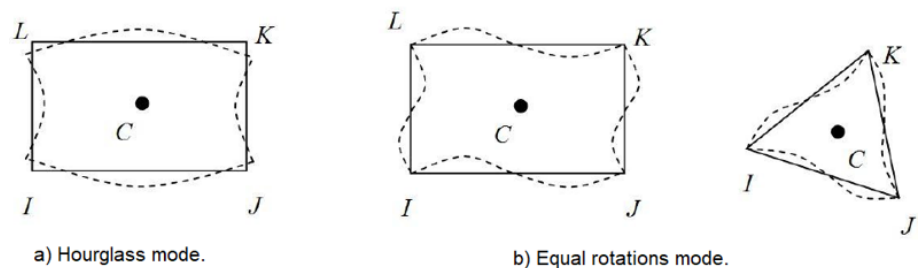


Bild 7.31 Null-Energie-Formen nach [4]

Zur Lösung des Problems wird die potentielle Energie des finiten Elements mit einer kleinen elastischen Zusatzenergie („penalty energy“) versehen, die diesen Verdrehungen entgegenwirkt. Die detaillierte Beschreibung dieses Ansatzes mitsamt Gleichungen ist in [4] zu finden.

Für bestimmte Situationen ist es jedoch möglich, dass der Grundwert der Penalty-Steifigkeit nicht ausreicht und die Verformungen des Modells wegen der oben beschriebenen nichtphysikalischen Energieformen zu groß ausfallen. In diesem Fall kann die Penalty-Steifigkeit separat für Schalenelemente und Volumenelemente angepasst werden. Es sind Skalierungsfaktoren zwischen 0.01 (Grundwert) und 100 (Maximalwert) möglich.

Wenn das Kontrollfeld deaktiviert ist, wird der Grundwert 0.01 verwendet — mit Ausnahme von folgenden zwei Fällen:

- Bei einem nichtlinearen Materialmodell für Volumenkörper wird der Standardfaktor 1.0 für Volumenelemente berücksichtigt.
- Zur Erfassung der Gasvolumen setzt RF-GLAS die Standardwerte 0.1 für lineare bzw. 1.0 für physikalisch nichtlineare 3D-Elemente an.

Nichtlineare Effekte

Werden nichtlinear wirkende Elemente im Modell verwendet, kann die Wirkung folgender Elemente für die Berechnung deaktiviert werden:

- Ausfallende Lager/Bettungen (Kapitel 4.7, Kapitel 4.8, Kapitel 4.9)
- Ausfallende Stäbe (Kapitel 4.17)
- Stabendgelenke (Kapitel 4.14)
- Stabnichtlinearitäten (Kapitel 4.20)
- Kontaktvolumen (Kapitel 4.5)

Nichtlinearitäten

Aktivieren:

Lager und elastische Bettungen

Stäbe infolge des Stabtyps

Stabendgelenke, Freigaben

Stabnichtlinearitäten

Volumenkörper des Typs 'Kontakt'

Materialien mit nichtlinearem Modell

Anzahl der Laststeigerungen zur automatischen Ermittlung durch die Newton-Raphson-Methode

Isotrop thermisch-elastisches Materialmodell

- Material-Nichtlinearitäten (Kapitel 4.3 [↗](#)) — optional mit automatischer Ermittlung der erforderlichen Laststeigerungen
- Thermisch-elastische Eigenschaften (Kapitel 4.3 [↗](#))

Die nichtlinearen Effekte sollten nur zu Testzwecken unterdrückt werden, z. B. um die Ursache einer Instabilität zu finden. Die Optionen dieses Abschnitts helfen bei der Fehlersuche: Manchmal sind fehlerhaft definierte Ausfallkriterien verantwortlich für Berechnungsabbrüche.

Reaktivierung der ausfallenden Stäbe

Die Einstellungen dieses Abschnitts betreffen Stabelemente, die ausfallen können (z. B. Zug-, Druck- oder Bettungsstäbe). Mit diesen Möglichkeiten lassen sich Instabilitätsprobleme lösen, die durch ausfallende Stäbe entstehen: Ein Modell ist beispielsweise durch Zugstäbe ausgesteift. Wegen der Stielverkürzungen infolge der Vertikallasten erhalten die Zugstäbe im ersten Berechnungsdurchgang kleine Druckkräfte. Sie werden aus dem System entfernt. Im zweiten Rechendurchgang ist das Modell ohne diese Zugstäbe dann instabil.

Verformung der ausfallenden Stäbe überprüfen und ggf. diese reaktivieren

Bei angehaktem Kontrollfeld werden in jeder Iteration die Knotenverschiebungen untersucht. Falls sich z. B. die Stabenden eines ausgefallenen Zugstabes voneinander entfernen, wird der Stab wieder eingeführt.

In manchen Fällen kann das Wiedereinführen von Stäben problematisch sein: Ein Stab wird nach der ersten Iteration entfernt, nach der zweiten Iteration wieder eingeführt, nach der dritten wieder entfernt etc. Die Berechnung würde diese Schleife bis zum Erreichen der Maximalzahl der Iterationen durchlaufen, ohne zu konvergieren. Dieser Effekt lässt sich unterbinden, indem im Eingabefeld *Max. Anzahl der Reaktivierungen* festgelegt wird, wie oft ein Stabelement wieder eingeführt werden darf, ehe es endgültig aus der Steifigkeitsmatrix genommen wird.

Besondere Behandlung

Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes stehen zwei Methoden zum Umgang mit ausfallenden Stäben zur Auswahl. Sie können mit der oben beschriebenen Reaktivierungsoption kombiniert werden.

■ Ausfallende Stäbe einzeln in den Iterationen nacheinander entfernen

Nach der ersten Iteration werden z. B. nicht alle Zugstäbe mit einer Druckkraft auf einmal entfernt, sondern nur der Zugstab mit der größten Druckkraft. In der zweiten Iteration fehlt dann nur ein Stab in der Steifigkeitsmatrix. Anschließend wird wieder der Zugstab mit der größten Druckkraft entfernt. Auf diese Weise zeigt das System wegen der Umlagerungseffekte meist ein besseres Konvergenzverhalten.

Diese Berechnungsvariante benötigt mehr Zeit, da eine größere Anzahl an Iterationen durchlaufen werden muss. Zudem ist sicherzustellen, dass im Abschnitt *Diverse Einstellungen* oben eine ausreichende Anzahl möglicher Iterationen vorgesehen ist.

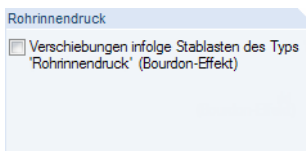
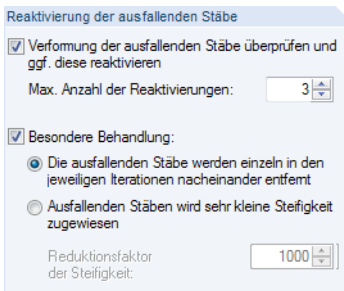
■ Ausfallenden Stäben sehr kleine Steifigkeit zuweisen

Die ausgefallenen Stäbe werden nicht aus der Steifigkeitsmatrix entfernt, sondern es wird ihnen eine sehr kleine Steifigkeit zugewiesen. Diese ist im Eingabefeld *Reduktionsfaktor der Steifigkeit* festzulegen: Der Faktor 1000 bedeutet, dass die Steifigkeit auf 1/1000 reduziert wird.

Bei dieser Berechnungsvariante ist zu bedenken, dass kleine Schnittgrößen an Stäben ausgewiesen werden, die der Stab durch seine Definition eigentlich nicht aufnehmen kann.

Rohrinnendruck

Das Kontrollfeld ist für die Stablast *Rohrinnendruck* bedeutsam. Der so genannte Bourdon-Effekt beschreibt das Bestreben eines gebogenen Rohres, sich unter dem Einfluss von Druck gerade zu biegen. Die Umfangsspannungen und Axialspannungen aus der Innendrucklast führen – unter Berücksichtigung der Materialsteifigkeit und Querdehnung – zu einer axialen Längsdehnung des Rohres.





Ein Beispiel zur Berechnung von Rohrrinnendruck finden Sie in folgendem Fachbeitrag:
<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/0011102>

7.3.4 Berechnungsdiagramme

Das letzte Register des Dialogs ermöglicht benutzerdefinierte Vorgaben für die Diagramme, die während der Berechnung angezeigt werden (siehe Bild 7.38). Diese Grafiken und Werte sind auch nach der Berechnung verfügbar. Damit kann der Konvergenzverlauf oder auch die Verformung eines Knotens (z. B. Lager mit nichtlinearen Eigenschaften) überprüft werden.

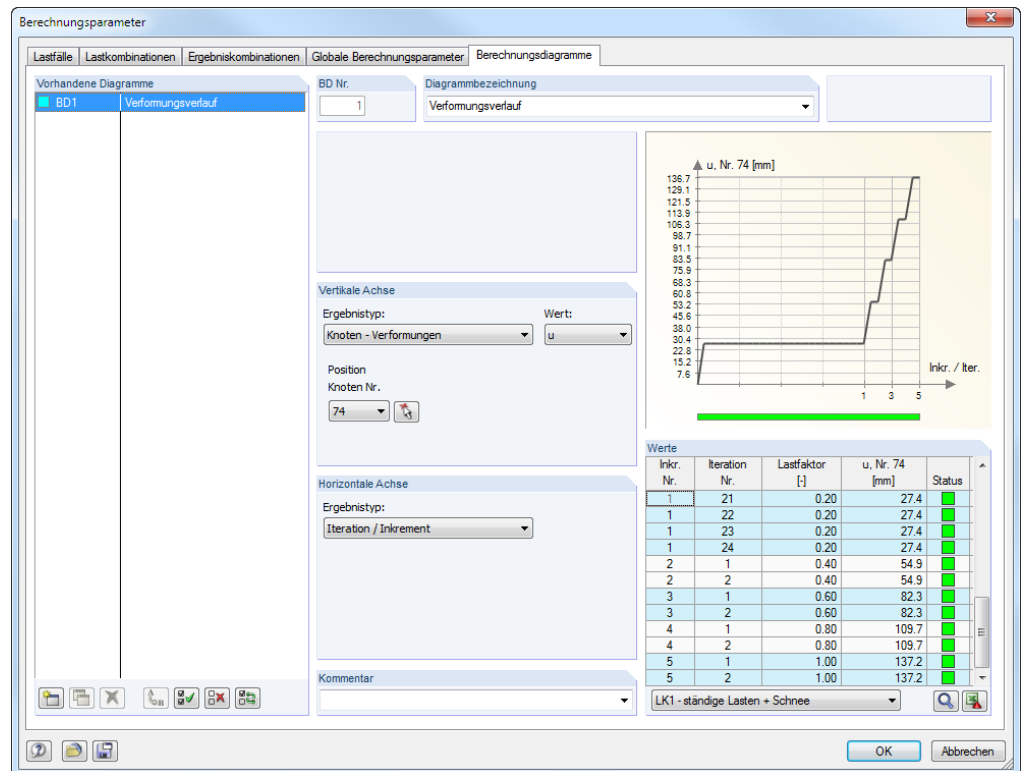


Bild 7.32 Dialog Berechnungsparameter, Register Berechnungsdiagramme

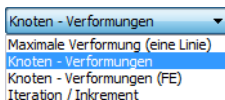
Die Liste *Vorhandene Diagramme* gibt eine Übersicht über die im aktuellen Modell definierten Berechnungsdiagramme *BD*. Über die Schaltfläche kann ein weiteres Berechnungsdiagramm mit seiner Bezeichnung angelegt werden.

Die *Vertikale Achse* stellt die Abszisse, die *Horizontale Achse* die Ordinate des Berechnungsdiagramms dar. In den Listen kann jeweils der *Ergebnistyp* ausgewählt werden. Die Verformungen lassen sich in der *Wert*-Liste auf eine Verschiebung (*u*) oder eine Verdrehung (*Phi*) beziehen.

Für die Verformungen eines Knotens oder FE-Knotens kann die Nummer des relevanten Objekts in der Liste oder mit im Arbeitsfenster ausgewählt werden.

Während der Berechnung wird ein Diagramm mit dem Verlauf der Verformungen angezeigt (siehe Bild 7.38). Diese Grafik und die dort angezeigten Werte stehen nach der Berechnung auch im Register *Berechnungsdiagramme* zur Verfügung (siehe Bild oben).

Über die Schaltfläche ist eine vergrößerte Darstellung des Diagramms in einem neuen Fenster möglich.



7.4

Starten der Berechnung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Berechnung zu starten. Vorher empfiehlt es sich, eine kurze Plausibilitätskontrolle der Eingabedaten durchzuführen (siehe Kapitel 7.1.1 [\[4\]](#)).

Alles berechnen

Die Funktion wird gestartet über das Menü

Berechnung → **Alles berechnen**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 7.33 Schaltfläche [Alles berechnen]

Dieser Befehl startet die Berechnung aller Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen sowie sämtlicher Zusatzmodule, in denen Eingabedaten vorliegen.

Die Funktion [Alles berechnen] sollte mit Vorsicht genutzt werden:

- Einige Lastfälle können nicht isoliert auftreten. Windlasten beispielsweise wirken immer zusammen mit dem Eigengewicht. Bei Systemen, die auf Zug ausfallende Lagerungen haben, sind bei der sukzessiven Berechnung aller Einzellastfälle Instabilitäten möglich.
- Liegen viele Lastkombinationen und Zusatzmodul-Bemessungsfälle vor, so sind lange Rechenzeiten möglich.

Ausgewählte Lastfälle berechnen



Der Dialog zur Auswahl der berechnungsrelevanten Lastfälle wird aufgerufen über das Menü

Berechnung → **Zu berechnen.**

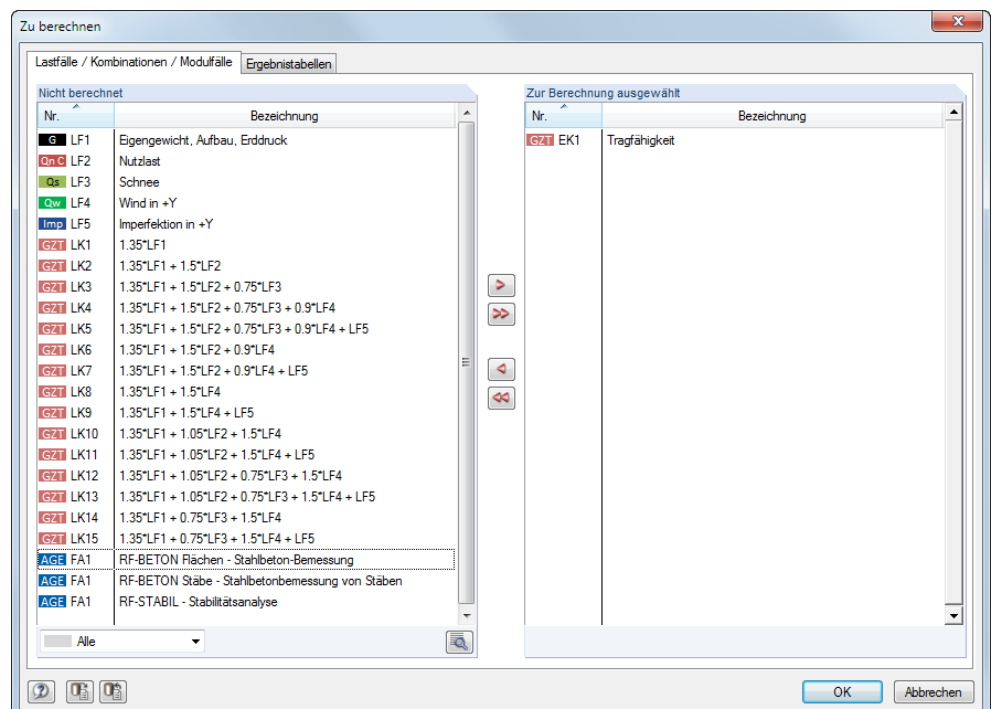
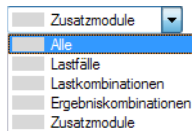


Bild 7.34 Dialog Zu berechnen



Links im Abschnitt *Nicht berechnet* sind alle Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen sowie Berechnungsfälle der Zusatzmodule aufgelistet, für die keine Ergebnisse vorliegen. Mit der Schaltfläche können die selektierten Einträge in die Liste *Zur Berechnung ausgewählt* übertragen werden. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche übergibt die komplette Liste nach rechts.

Werden Ergebniskombinationen oder Zusatzmodul-Fälle zur Berechnung ausgewählt, die Ergebnisse aus Lastfällen erfordern, so werden diese Lastfälle automatisch mit berechnet.

Die Liste lässt sich mit den links dargestellten Filtermöglichkeiten nach bestimmten Kriterien sortieren.

Die Schaltfläche ruft den Dialog *Berechnungsparameter* auf (siehe [Kapitel 7.3](#)). Dort können die Vorgaben für die Berechnung kontrolliert und angepasst werden.

Das Register *Ergebnistabellen* des Dialogs *Zu berechnen* steuert, welche Tabellen nach der Berechnung verfügbar sind.

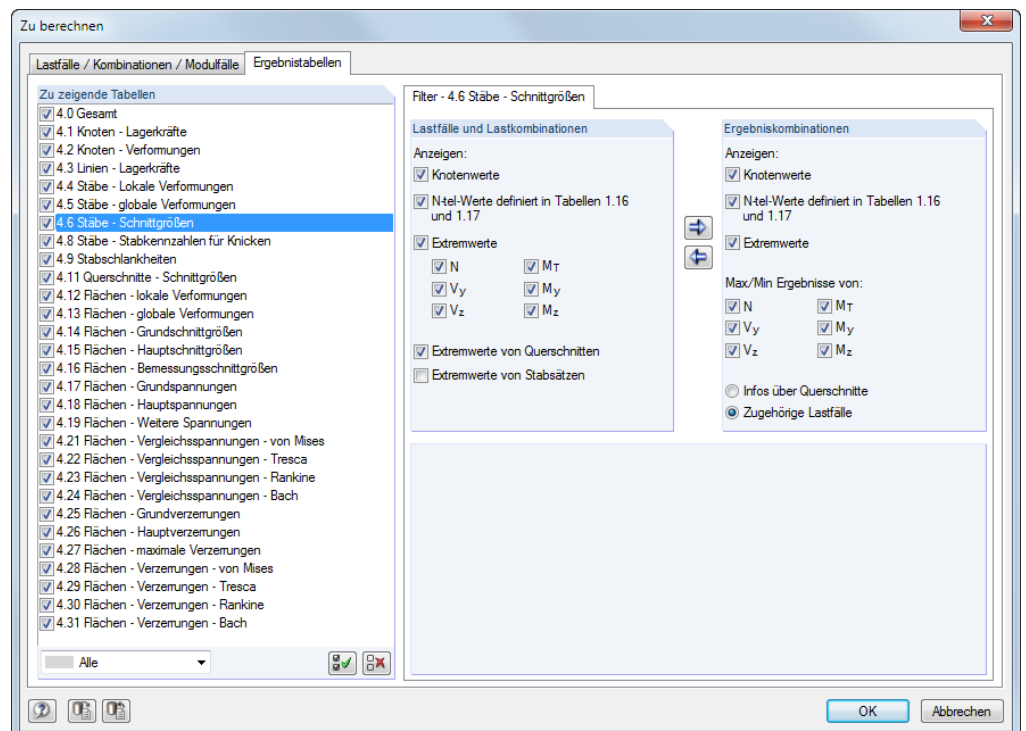


Bild 7.35 Dialog *Zu berechnen*, Register *Ergebnistabellen*

Für einige Ergebnistabellen sind weitere Filtermöglichkeiten verfügbar. Diese sind im [Kapitel 8](#) bei den jeweiligen Ausgabebibliotheken vorgestellt (siehe z. B. [Bild 8.14](#)).

Aktuellen Lastfall berechnen

Die Berechnung eines einzelnen Lastfalls kann auch direkt gestartet werden: Stellen Sie den Lastfall bzw. die Last- oder Ergebniskombination in der Liste der Symbolleiste ein und klicken dann auf die Schaltfläche [Ergebnisse anzeigen].



Bild 7.36 Lastfall direkt berechnen über Schaltfläche [Ergebnisse anzeigen]

Nach der Meldung, dass keine Ergebnisse vorliegen, kann die Berechnung gestartet werden.

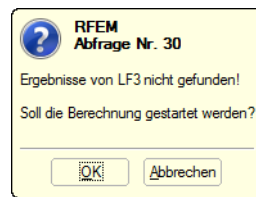


Bild 7.37 Abfrage vor der Berechnung

Ausgewählte Ergebnisse berechnen

Das Menü *Berechnung* bietet zusätzliche Optionen zur Auswahl der zu berechnenden Ergebnisse an:

- Nur RFEM-Ergebnisse
- Nur Modul -Ergebnisse
- Alle Ergebnisse für alle offenen Modelle
- Nur RFEM-Ergebnisse von allen geöffneten Modellen
- Nur Modul -Ergebnisse für alle geöffneten Modelle

Die Berechnung startet unmittelbar nach dem Aufruf der jeweiligen Funktion.

Berechnungsablauf

Der Berechnungsablauf wird im Fenster *FE-Berechnung* angezeigt. Dort können neben den durchlaufenen Phasen auch die Verläufe der maximalen Verschiebungen in einem Diagramm des Konvergenzverlaufs verfolgt werden.

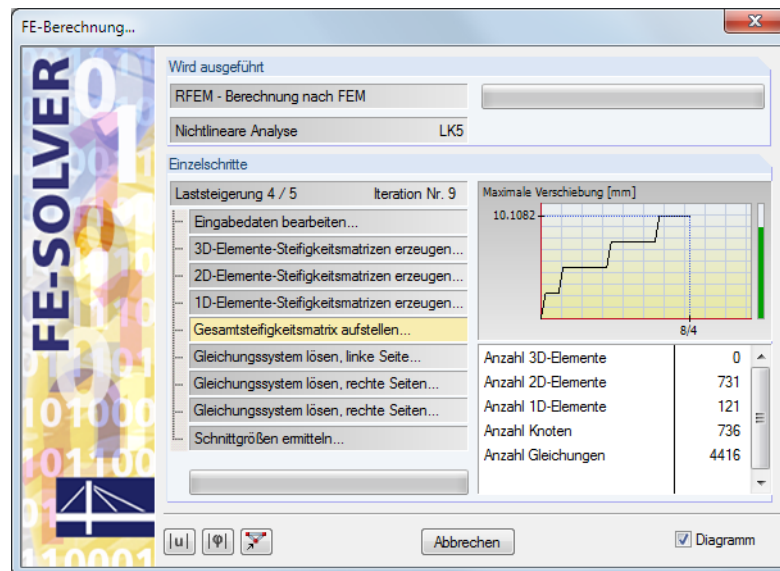


Bild 7.38 Ablauf der Berechnung

Die grünen bzw. roten Vertikalbalken rechts im Fenster visualisieren das Konvergenzverhalten während der Berechnung: Jede Laststeigerung beansprucht einen Anteil der Säule, z. B. 4/5 im obigen Bild für das vierte von fünf Lastinkrementen. Bei einem grünen Balken sind die Verformungen im verträglichen Bereich, ein roter Balken symbolisiert zu große Verschiebungen oder Verdrehungen (≥ 0.1 rad).

8 Ergebnisse



Grundsätzlich ist zu beachten, dass es sich bei der FEM-Analyse um ein Näherungsverfahren handelt. Die Ergebnisse sind mit Ingenieurwissen zu überprüfen und zu interpretieren.



Nach der Berechnung erscheint im Navigator das Zusatzregister *Ergebnisse* (siehe [Kapitel 3.4.3](#)) zur Steuerung der grafischen Ergebnisanzeige. Numerisch werden die Ergebnisse in separaten Tabellen (siehe [Kapitel 3.4.4](#)) ausgegeben.

Tabellen-Relationsbalken

Die Ergebnisspalten der Tabellen sind zum Teil rot oder blau hinterlegt (siehe [Bild 8.3](#)). Diese Balken drücken die Ergebniswerte zusätzlich in grafischer Form aus. Sie sind auf die Extremwerte der Schnittgrößen bzw. Verformungen aller Objekte skaliert. Negative Werte sind durch rote, positive durch blaue Balken symbolisiert. Dadurch ist auch in der Tabelle eine visuelle Bewertung der Ergebnisse möglich.

Die Farbbalken können ein- und ausgeblendet werden über das Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen.



Tabellen-Filter

Die angezeigten Tabellen sind von den Vorgaben abhängig, die im Register *Ergebnistabellen* des Dialogs *Zu berechnen* bestehen (siehe [Kapitel 7.4](#)).



Ergebnisse - Zusammenfassung

Die Tabelle 4.0 *Ergebnisse - Zusammenfassung* bietet eine nach Lastfällen und Lastkombinationen geordnete Bilanz der Ergebnisse.

4.0 Ergebnisse - Zusammenfassung			
A	B	C	D
Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
LF1 - Eigengewicht, Aufbau, Erddruck			
Summe Belastung in Richtung X	-768.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-768.00	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	652.10	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	652.11	kN	Abweichung: 0.00 %
Resultierende der Reaktionen um X	-0.17	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X:6.08, Y:3.04, Z:0.59 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	-1350.13	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	-34.19	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Maximale Verschiebung in Richtung X	-0.7	mm	Stab Nr. 1, x: 2.500 m
Maximale Verschiebung in Richtung Y	1.0	mm	Stab Nr. 5, x: 3.029 m
Maximale Verschiebung in Richtung Z	6.0	mm	FE-Knoten Nr. 56 (X: 3.000, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
Maximale Verschiebung vektoriell	6.0	mm	FE-Knoten Nr. 56 (X: 3.000, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um X-Achse	1.7	mrad	FE-Knoten Nr. 90 (X: 0.500, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um Y-Achse	-2.0	mrad	FE-Knoten Nr. 104 (X: 1.000, Y: 6.000, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um Z-Achse	-0.3	mrad	FE-Knoten Nr. 554 (X: 7.000, Y: 0.000, Z: 2.500 m)
Berechnungsart	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (geometrisch lineare Berechnung)
Steffigkeitsreduzierung	<input type="checkbox"/>		
Anzahl der Laststeigerungen	1		
Anzahl der Iterationen	2		
Maximaler Wert des Gliedes der Steifigkeitsmatrix	3.396E+11		
Minimaler Wert des Gliedes der Steifigkeitsmatrix	2.773E+05		

Bild 8.1 Tabelle 4.0 *Ergebnisse - Zusammenfassung*

Diese Übersicht zeigt die Kontrollsummen von Belastungen und Lagerkräften an. Die Abweichungen in jede Richtung sollten weniger als 1 % betragen. Ist dies nicht der Fall, liegen numerische Probleme wegen großer Steifigkeitsunterschiede vor. Es ist auch möglich, dass das Modell über eine unzureichende Stabilität verfügt oder dass die Berechnung die maximale Anzahl der Iterationen erreicht hat, ohne zu konvergieren. Die Übersicht gibt auch Auskunft über die resultierenden Lagerreaktionen, die im Schwerpunkt des Modells idealisiert wirksam sind.

Weiterhin werden in der Bilanz die maximalen Verschiebungen und Verdrehungen in Bezug auf die globalen Achsen X, Y und Z sowie die größte Gesamtverschiebung ausgewiesen. Durch die Kontrolle der Verformungen lässt sich die Verlässlichkeit der Ergebnisse bewerten.

Die lastfallweise Zusammenfassung wird jeweils durch die verwendeten Berechnungsparameter vervollständigt. Hier ist die *Anzahl der Iterationen* von Interesse, die zur Ermittlung der Ergebnisse benötigt wurde.

Die Tabelle endet mit einer Gesamt-Zusammenfassung ausgewählter Parameter des Rechenkerns sowie global gültiger Berechnungsvorgaben (siehe Bild 7.27 [\[a\]](#)).

8.1

Knoten - Lagerkräfte

Die Einträge unter den *Lagerreaktionen* im *Ergebnisse*-Navigator steuern, welche Komponenten im Arbeitsfenster grafisch angezeigt werden. Sie können auf die lokalen Achsen gedrehter Lager oder auf das globale XYZ-Achsensystem bezogen werden. Die Tabelle 4.1 gibt die Lagerkräfte und -momente in numerischer Form aus.

Bei einem 2D-Modell werden nur die Tabellenspalten der Lagerkräfte und -momente angezeigt, die für ein ebenes System relevant sind.

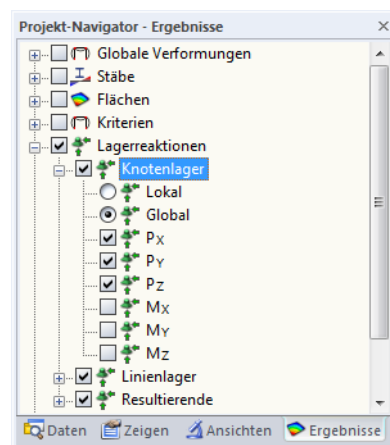


Bild 8.2 Ergebnisse-Navigator: Lagerreaktionen → Knotenlager

Knoten Nr.	Lagerkräfte [kN]			Lagermomente [kNm]			G
	P _X	P _Y	P _Z	M _X	M _Y	M _Z	
13	0.30	0.00	13.03	0.00	0.00	0.00	
14	0.26	0.00	12.86	0.00	0.00	0.00	
15*	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	φ _Y = -45.00 °
16*	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	φ _Y = -45.00 °
Σ Kräfte	-0.85	0.00	27.30				
Σ Lasten	0.00	0.00	71.21				

Bild 8.3 Tabelle 4.1 Knoten - Lagerkräfte

LF2 - Schnee

Der Lastfall, dessen Lagerreaktionen angezeigt werden sollen, kann in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt werden.

Lagerkräfte $P_x / P_y / P_z$

In diesen drei Tabellenspalten werden die Auflagerkräfte nach Knoten geordnet aufgelistet. Die Kräfte sind im Regelfall auf die Achsen X, Y und Z des globalen Koordinatensystems bezogen. Über die Option **Lagerreaktionen** → **Knotenlager** → **Lokal** im *Ergebnisse*-Navigator lassen sich sowohl in der Grafik als auch in der Tabelle die auf die lokalen Lagerachsen X', Y' und Z' bezogenen Kräfte anzeigen (gedrehte Lager).

Bei Lagerdrehungen sind die Knoten wie im [Bild 8.3](#) gezeigt mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet. Die Kräfte werden auf das gewählte Achsensystem bezogen ausgegeben. In der letzten Tabellenspalte wird der Drehwinkel des Lagers ausgewiesen.

In der Tabelle werden die Kräfte ausgegeben, die in das Lager eingeleitet werden. Es handelt sich also vorzeichenmäßig **nicht** um die Reaktionskräfte vonseiten des Auflagers. Die Vorzeichen ergeben sich aus der Richtung der globalen Achsen. Ist die globale Z-Achse nach unten gerichtet, so hat der Lastfall Eigengewicht beispielsweise eine positive Lagerkraft P_z , eine Windlast entgegen der globalen X-Achse eine negative Lagerkraft P_x zur Folge. Die in der Tabelle ausgewiesenen Lagerkräfte stellen damit die Fundamentlasten dar.

Die grünen Vektoren in der Grafik hingegen zeigen die Reaktionskräfte vonseiten der Lager an. Die Komponenten der Lagerreaktionen sind durch die Größe und Richtung der Vektoren visualisiert.

In Arbeitsfenster können die Vorzeichen der eingeleiteten Kräfte mit angezeigt werden. Diese Option ist im Zeigen-Navigator unter dem Eintrag *Ergebnisse* zugänglich.

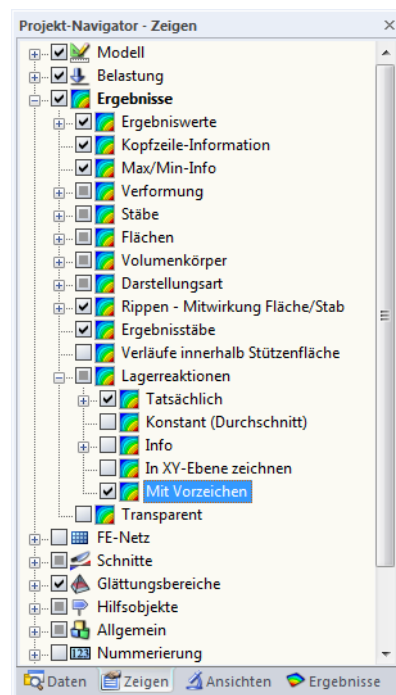


Bild 8.4 Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Lagerreaktionen → Mit Vorzeichen

Die Vorzeichen in der Grafik sind auf das globale XYZ- bzw. gedrehte lokale X'Y'Z'-Achsensystem bezogen. Sie sollten nur zur Visualisierung der eingeleiteten Kräfte aktiviert werden, da sie sonst zu Missverständnissen führen.

Lagermomente M_x / M_y / M_z

In diesen drei Spalten werden die Auflagermomente nach Knoten geordnet aufgelistet. Die Momente sind im Regelfall auf die Achsen X, Y und Z des globalen Koordinatensystems bezogen. Über den *Ergebnisse*-Navigator lassen sich sowohl in der Grafik als auch in der Tabelle die auf die lokalen Lagerachsen X', Y' und Z' bezogenen Momente anzeigen.

In der Tabelle werden die Momente ausgegeben, die in das Lager eingeleitet werden. Es handelt sich wie bei den Lagerkräften vorzeichenmäßig **nicht** um die Reaktionen vonseiten des Lagers. Die Vorzeichen ergeben sich aus der Richtung der globalen Achsen. Die Lagermomente der Tabelle stellen damit die Fundamentlasten dar.

Im Arbeitsfenster hingegen werden Reaktionsmomente vonseiten der Auflager angezeigt.

Für die Auflagermomente können ebenfalls die Vorzeichen in der Grafik mit angezeigt werden (siehe Bild 8.4). Ein positives Lagermoment wirkt rechtsschraubig um die jeweilige positive globale Achse. Hier gilt wie bei den Lagerkräften, dass die Vektoren bereits vorzeichenbehaftet sind und die Werteangaben davon unabhängig zu betrachten sind: Die Vorzeichen geben die Richtungen der Momente in Bezug auf die globalen Achsen an.

Grafisch lassen sich die Lagermomente als Vektor oder Bogen darstellen. Die Anzeigart kann geändert werden über das Menü

Optionen → Anzeigeeigenschaften → Bearbeiten.

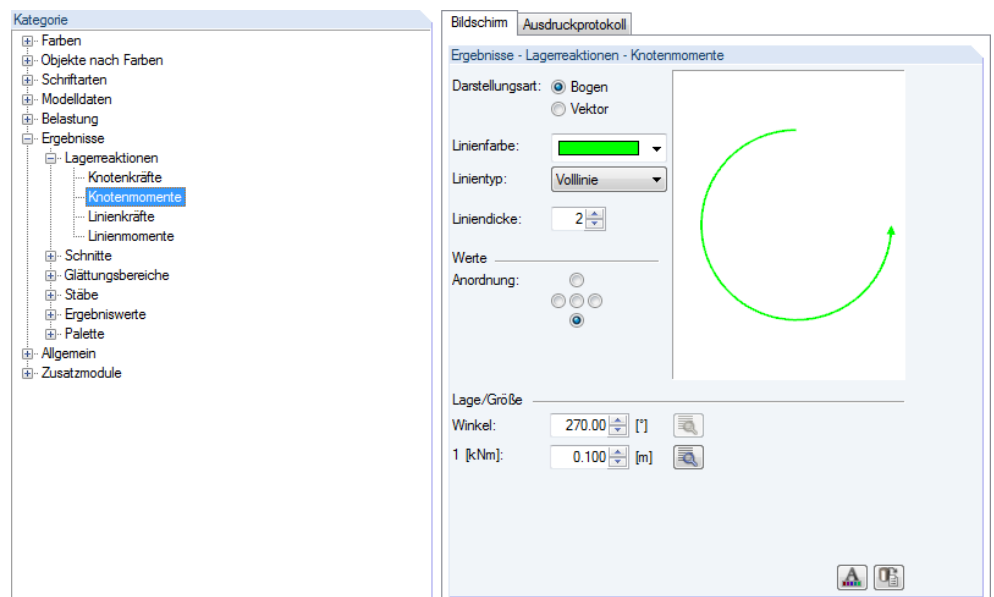


Bild 8.5 Dialog Anzeigeeigenschaften (Ausschnitt): Knotenmomente in Bogendarstellung

Stellen Sie links die *Kategorie* **Ergebnisse** → **Lagerreaktionen** → **Knotenmomente** ein und wählen dann rechts die Darstellungsart **Bogen**.

Gedrehte Knotenlager

In der letzten Tabellenspalte werden die Drehwinkel gedrehter Knotenlager ausgewiesen (siehe Bild 8.3). Diese Knoten sind mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet.

Kontrollsummen

Bei Lastfällen und Lastkombinationen werden ganz am Ende der Tabelle die Kontrollsummen von Lagerreaktionen und Belastung angegeben. Es werden Differenzen zwischen \sum Kräfte und \sum Lasten bestehen, wenn das Modell zusätzlich Linienlager und elastisch gebettete Stäbe oder Flächen besitzt. Für die Gesamtbilanz müssen deshalb auch die \sum Kräfte berücksichtigt werden, die in den Tabellen 4.3, 4.7 und 4.21 vorliegen.



Lagerkräfte als Last übernehmen

Die Knotenlagerkräfte und -momente eines anderen RFEM-Modells können im aktuellen Modell als Lasten angesetzt werden. Damit lassen sich Lasten stockwerkweise übertragen, um 2D-Deckenplatten zu untersuchen. Diese Funktion ist im [Kapitel 8.3](#) beschrieben.

Importierte Knotenlagerkräfte werden als freie Einzellasten angesetzt.

Lagerkräfte von Ergebniskombinationen filtern

Bei Ergebniskombinationen kann die Voreinstellung der ausgewiesenen Extremwerte angepasst werden über das Menü

Tabelle → **Ansicht** → **Ergebnisfilter**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellen-Symbolleiste.



Bild 8.6 Dialog Tabellenfilter (Ausschnitt)

Die Kontrollfelder im Dialog *Tabellenfilter* steuern Art und Umfang der numerischen Ausgabe.

Resultierende der Lagerreaktionen

Bei Lastfällen und Lastkombinationen werden die Resultierenden der Lagerreaktionen in Tabelle 4.0 *Ergebnisse - Zusammenfassung* für jede globale Richtung ausgegeben (siehe [Bild 8.1](#)). Über den *Ergebnisse*-Navigator lassen sich die Resultierenden auch am Modell visualisieren.

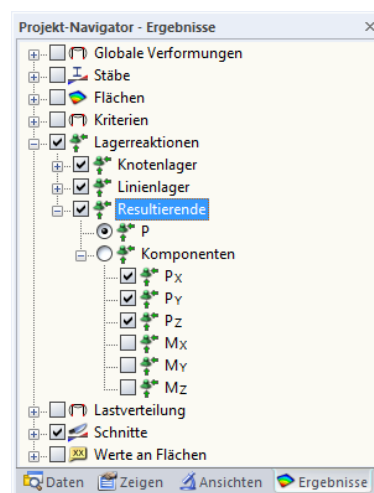


Bild 8.7 Ergebnisse-Navigator: Lagerreaktionen → Resultierende

Neben der Gesamtergebnisierenden *P* lassen sich die einzelnen *Komponenten* einblenden, die im Schwerpunkt des Modells idealisiert wirksam sind. So können auf einen Blick Lage und Größe der resultierenden Lagerkräfte überprüft werden.

8.2

Knoten - Verformungen

Die grafische Anzeige der Knotenverschiebungen und -verdrehungen wird über den Eintrag *Globale Verformungen* im *Ergebnisse-Navigator* gesteuert. Die Tabelle 4.2 gibt die Verformungen der Knoten in numerischer Form aus.

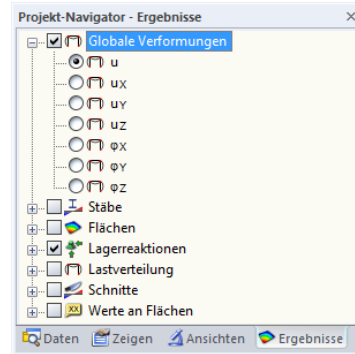


Bild 8.8 Ergebnisse-Navigator: Globale Verformungen

Knoten Nr.	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]			
	u	ux	uy	uz	φ_x	φ_y	φ_z
1	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3
2	1.1	-0.2	1.0	0.3	-1.8	-1.2	0.0
3	0.5	-0.2	0.3	0.4	-1.4	1.0	-0.3
4	1.0	-0.7	0.4	0.5	1.5	0.9	0.0
5	0.4	-0.4	0.1	-0.1	0.0	0.3	-0.1
6	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	-0.1	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	-0.2	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
9	11.1	-0.6	0.7	11.0	2.1	-0.9	-0.1
10	12.5	-0.6	0.7	12.5	0.5	-0.8	-0.1

Bild 8.9 Tabelle 4.2 Knoten - Verformungen

Die Auflistung der Verschiebungen und Verdrehungen erfolgt nach Knoten geordnet.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Verformungen bedeuten im Einzelnen:

u	Gesamtverschiebung
ux	Verschiebung in Richtung der globalen X-Achse
uy	Verschiebung in Richtung der globalen Y-Achse
uz	Verschiebung in Richtung der globalen Z-Achse
φ_x	Verdrehung um die globale X-Achse
φ_y	Verdrehung um die globale Y-Achse
φ_z	Verdrehung um die globale Z-Achse

Tabelle 8.1 Knotenverformungen

8.3

Linien - Lagerkräfte

Die Einträge unter den Lagerreaktionen im Ergebnisse-Navigator steuern, welche Komponenten im Arbeitsfenster grafisch angezeigt werden. Sie können auf die lokalen Achsen gedrehter Lager oder auf das globale XYZ-Achsensystem bezogen werden. Die Tabelle 4.3 gibt die Lagerkräfte und -momente in numerischer Form aus.

Liegt ein 2D-Modell vor, werden nur die Tabellenspalten der Lagerkräfte und -momente angezeigt, die für ein ebenes System relevant sind.

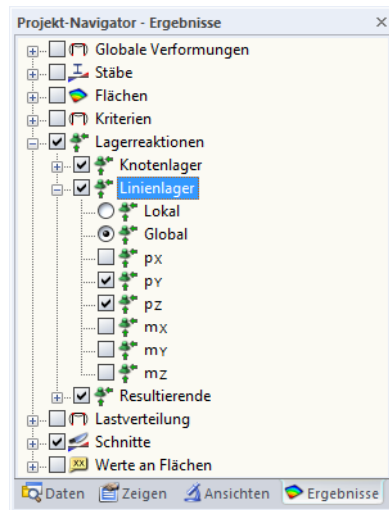


Bild 8.10 Ergebnisse-Navigator: Lagerreaktionen → Linienlager

4.3 Linien - Lagerkräfte

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Linie Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Lagerkräfte [kN/m]			Lagermomente [kNm/m]		
			px	py	pz	mx	my	mz
6		3.299	-17.96	-19.17	-159.45	0.00	0.00	0.00
		3.770	-13.99	-9.56	-179.62	0.00	0.00	0.00
	8	4.241	-11.64	3.29	-182.07	0.00	0.00	0.00
		4.712	-11.98	17.45	-166.26	0.00	0.00	0.00
		5.184	-15.03	29.41	-133.44	0.00	0.00	0.00
		5.655	-19.17	36.12	-86.58	0.00	0.00	0.00
		6.126	-22.21	36.94	-30.47	0.00	0.00	0.00
		6.597	-23.87	34.42	28.12	0.00	0.00	0.00
		7.069	-28.76	33.38	80.86	0.00	0.00	0.00
		7.540	-47.54	37.47	120.45	0.00	0.00	0.00
		8.011	-92.39	44.73	149.86	0.00	0.00	0.00
		8.482	-134.85	41.99	216.05	0.00	0.00	0.00
		8.954	-139.72	27.80	313.38	0.00	0.00	0.00
	6	9.425	-707.47	-19.26	1050.40	0.00	0.00	0.00
Σ Kräfte			-909.59	23.67	842.38			
Σ Lasten			-1036.80	24.77	1183.50			

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Linien - Lagerkräfte | Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - globale Verformungen

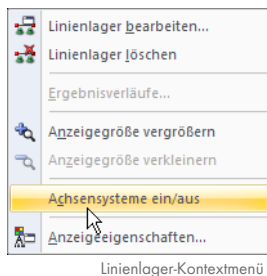
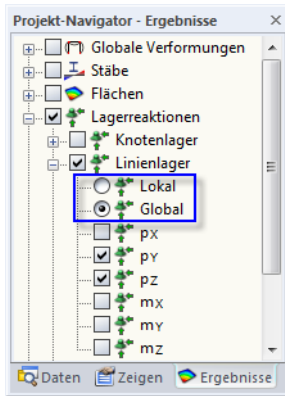
Bild 8.11 Tabelle 4.3 Linien - Lagerkräfte

LF2 - Schnee

Der Lastfall, dessen Lagerreaktionen angezeigt werden sollen, kann in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt werden.

Stelle x

Die Lagerkräfte werden nach Linien geordnet aufgelistet. Die x-Stellen der Tabellenspalte stellen die Abstände der FE-Knoten entlang der Linie dar. Sie sind auf den Anfangsknoten der Linie bezogen. Das Flächenraster ist für Linienlagerkräfte nicht relevant.



Lagerkräfte $p_x / p_y / p_z$

In den drei Tabellenspalten werden die Auflagerkräfte nach Linien geordnet aufgelistet. Die Kräfte können auf die globalen Achsen X, Y und Z oder die lokalen Achsen X', Y' und Z' der Linienlager bezogen werden. Der Achsenbezug in der Tabelle wird über den *Ergebnisse*-Navigator gesteuert (siehe nebenstehendes Bild).

In der Tabelle werden die Kräfte ausgegeben, die in das Lager eingeleitet werden. Es handelt sich also vorzeichenmäßig **nicht** um die Reaktionskräfte vonseiten des Auflagers. Bei globalem Bezug der Lagerkräfte ergeben sich die Vorzeichen aus den Richtungen der globalen Achsen. Ist die globale Z-Achse nach unten gerichtet, so hat z. B. der Lastfall Eigengewicht eine positive Lagerkraft p_z , eine Windlast entgegen der globalen X-Achse eine negative Lagerkraft p_x zur Folge. Die in der Tabelle ausgewiesenen Lagerkräfte stellen damit die Fundamentlasten dar.

Werden die lokalen Lagerkräfte p_x' , p_y' und p_z' angezeigt, so sind die Kräfte auf die Achsen der Linienlager X', Y' und Z' bezogen. Die Vorzeichen in der Tabelle für die eingeleiteten Kräfte ergeben sich damit aus den Richtungen der lokalen Lagerachsen. Diese können über das Linienlager-Kontextmenü oder den Zeigen-Navigator einblendend werden.

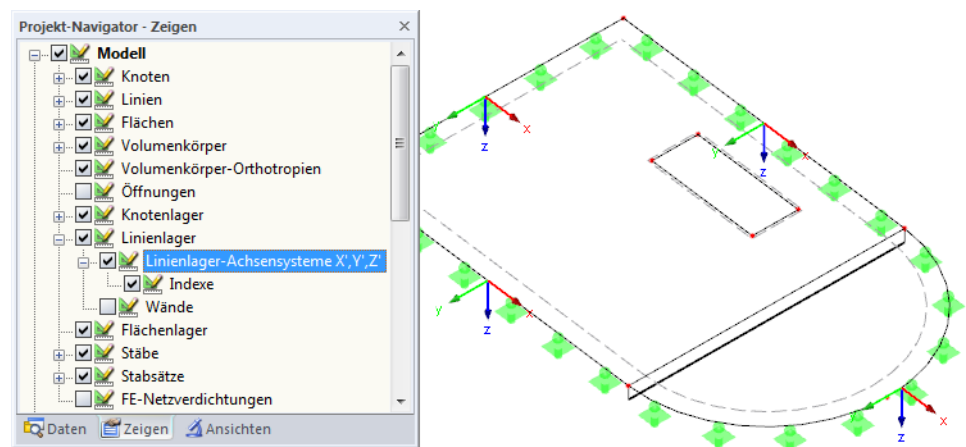



Bild 8.12 Aktivieren der lokalen Linienlager-Achsensysteme im Zeigen-Navigator

Die grünen Vektoren in der Grafik hingegen zeigen die Reaktionskräfte vonseiten der Lager an. Die Komponenten der Lagerreaktionen sind durch die Größe und Richtung der Vektoren visualisiert.

Lagermomente $m_x / m_y / m_z$

In den drei Spalten werden die Auflagermomente nach Linien geordnet aufgelistet. Die Momente sind entweder auf das globale XYZ-Achsensystem oder das lokale X'Y'Z'-Linienlagerachsensystem bezogen. Bei lokalem Bezug werden die Lagermomente als m_x' , m_y' und m_z' bezeichnet.

In der Tabelle werden die Momente ausgegeben, die in das Lager eingeleitet werden. Es handelt sich – wie bei den Lagerkräften – vorzeichenmäßig **nicht** um die Reaktionen vonseiten des Linienlagers.

Im Arbeitsfenster hingegen werden die Reaktionsmomente vonseiten der Lager angezeigt. Neben der vektoriellen Anzeige ist eine Bogendarstellung möglich. Die Steuerung erfolgt über das Menü **Optionen** → **Anzeigeeigenschaften** → **Bearbeiten** (siehe [Bild 8.5](#) )

Kontrollsummen

Bei Lastfällen und Lastkombinationen werden ganz am Ende der Tabelle die Kontrollsummen der Lagerreaktionen und Belastung angegeben. Diese sind stets auf das globale Achsensystem bezogen. Es werden Differenzen zwischen $\sum \text{Kräfte}$ und $\sum \text{Lasten}$ bestehen, wenn das Modell zusätzlich Knotenlager und elastisch gebettete Stäbe oder Flächen besitzt. Für die Gesamtbilanz sind deshalb auch die $\sum \text{Kräfte}$ zu berücksichtigen, die in diesen Tabellen vorliegen.

Ergebnisverläufe

Die Ergebnisverläufe von Linienlagern können gezielt in einem neuen Fenster ausgewertet werden: Klicken Sie das (oder die selektierten) Linienlager mit der rechten Maustaste an und wählen dann im Kontextmenü die Option *Ergebnisverläufe* (siehe links bei Bild 8.12 [☞](#)).

Das Fenster *Ergebnisverläufe* ist im Kapitel 9.5 [☞](#) beschrieben.

Im Arbeitsfenster sind für jedes Linienlager zusätzliche Informationen verfügbar:

p-Z
Σ: 445,08 kN
Φ: 63,58 kN/m
x: 3,500 m
e: 0,284 m
M: 126,350 kNm

Σ : Summe als resultierende Kraft

Φ : Durchschnittswert

x : Abstand des Linienmittelpunkts vom Linienanfang

e : Exzentrizität der Resultierenden bezogen auf den Linienmittelpunkt

M : Moment aus Exzentrizität der Resultierenden

Diese Angaben lassen sich im Zeigen-Navigator über **Ergebnisse** → **Lagerreaktionen** → **Info** einblenden.

Lagerkräfte als Last übernehmen



Die Z-Komponenten der Knoten- und Linienlagerkräfte eines anderen RFEM-Modells können im aktuellen Modell als Lasten angesetzt werden. Damit lassen sich z. B. Lasten stockwerkweise übertragen, um 2D-Deckenplatten zu untersuchen.

Die Lagerkräfte werden in den aktuellen Lastfall importiert. Es kann sich deshalb als günstig erweisen, zunächst einen Lastfall für die neuen Lasten anzulegen.

Der Importdialog wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Lagerkräfte als Last übernehmen**.

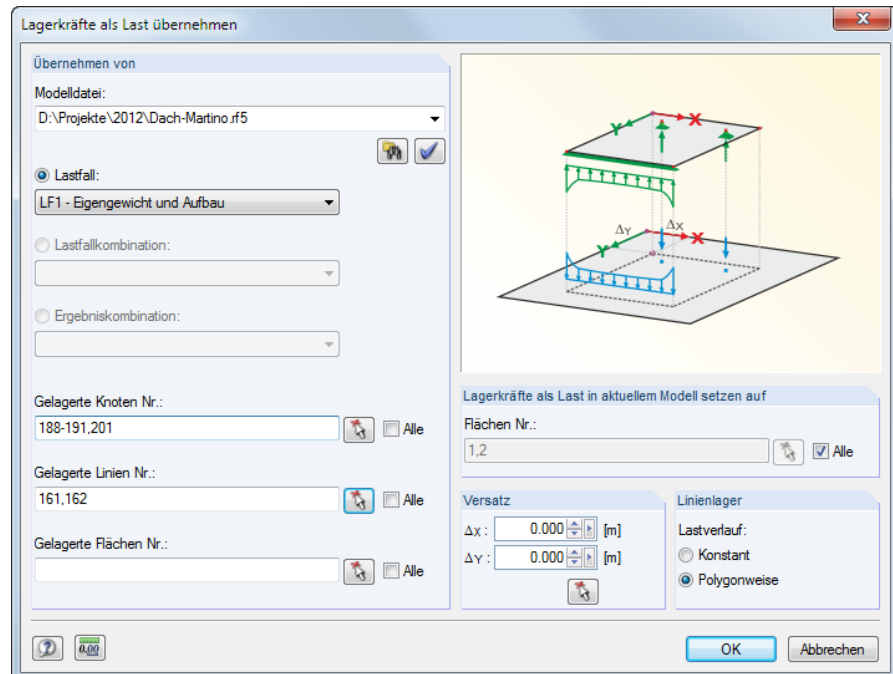




Bild 8.13 Dialog *Lagerkräfte als Last übernehmen*

Im Abschnitt *Übernehmen von* ist zunächst das relevante Modell anzugeben. Die links dargestellte Schalfläche erleichtert die Auswahl. RFEM liest dann die berechneten Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen ein, unter denen die nächste Entscheidung zu treffen ist. Bei einer EK ist festzulegen, ob die maximalen oder die minimalen Lagerkräfte importiert werden sollen.

Sollen nicht *Alle* Lagerkräfte übernommen werden, so können die Nummern der relevanten Knoten, Linien und Flächen angegeben oder mit  grafisch im Ausgangsmodell ausgewählt werden.

Im Abschnitt *Lagerkräfte als Last im aktuellen Modell setzen auf* sind die Nummern der Flächen einzutragen oder mit  grafisch zu bestimmen, für die die Lasten erzeugt werden sollen.

Liegen die Ausgangs- und Zielflächen exakt übereinander, so ist im Abschnitt *Versatz* kein Eintrag erforderlich. Anderenfalls können dort die Versatzmaße Δ_X und Δ_Y für den Import festgelegt werden. Sie sind auf die globalen Achsen bezogen.

Für die Lagerkräfte der *Linienlager* besteht die Auswahlmöglichkeit, diese als freie Linienlasten mit konstantem (gemitteltem) oder polygonalem (tatsächlichem) Verlauf zu importieren.

Lagerkräfte von Ergebniskombinationen filtern

Bei Ergebniskombinationen kann die Voreinstellung der ausgewiesenen Extremwerte angepasst werden über das Menü

Tabelle → **Ansicht** → **Ergebnisfilter**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellen-Symbolleiste.

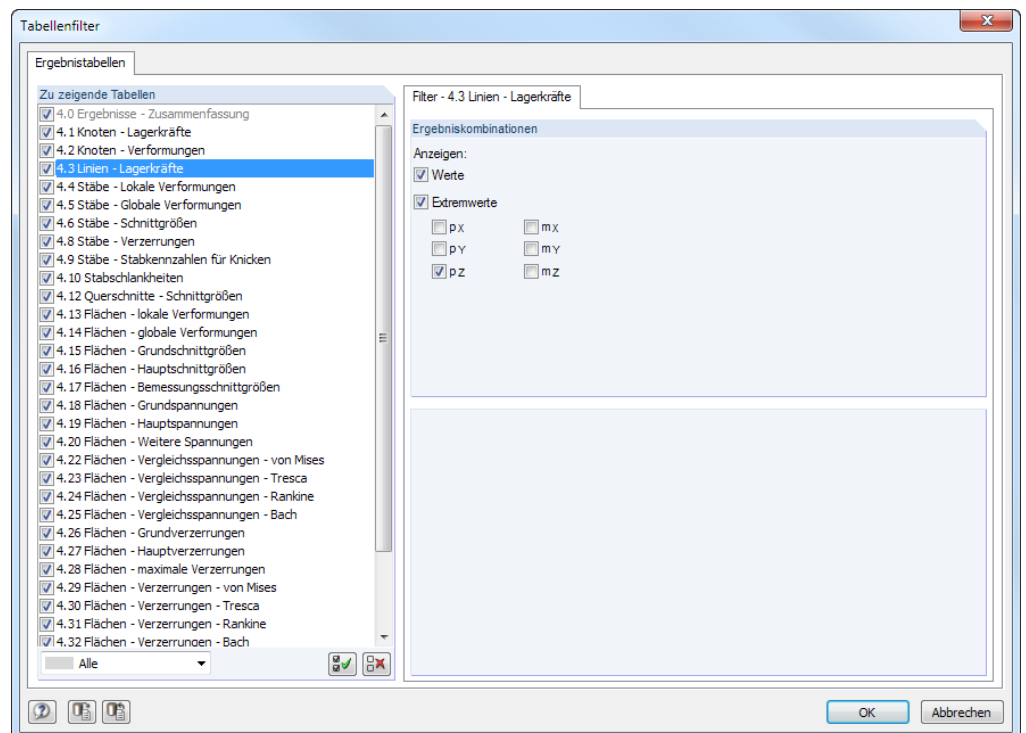


Bild 8.14 Dialog Tabellenfilter

Die Kontrollfelder im Dialog *Tabellenfilter* steuern Art und Umfang der numerischen Ausgabe.

8.4

Stäbe - Lokale Verformungen

Die grafische Anzeige der Stabverschiebungen und Stabverdrehungen wird über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Bei unsymmetrischen Profilen kann gewählt werden, ob die Ergebnisse auf die Hauptachsen u und v (siehe [Grafik oben](#)) oder die Standard-Eingabeachsen y und z bezogen werden. Die Tabelle 4.4 gibt die lokalen Verformungen der Stäbe in numerischer Form aus.

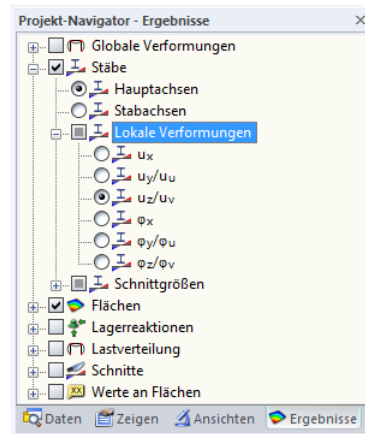


Bild 8.15 Ergebnisse-Navigator: Stäbe → Lokale Verformungen

4.4 Stäbe - Lokale Verformungen																				
Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	C	D Verschiebungen [mm]			E			F			G			H			I	J
				u _x	u _y / u _u	u _z / u _v	φ _x	φ _y / φ _u	φ _z / φ _v	Querschnitt										
2	14	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8	1 - Kreis 300								
	1	4.000	1.3	-0.3	1.0	-0.8	0.3	-0.9	2.6											
	Max u _x	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8											
	Min u _x	4.000	1.3	-0.3	1.0	-0.8	0.3	-0.9	2.6											
	Max u _y	4.000	1.3	-0.3	1.0	-0.8	0.3	-0.9	2.6											
	Min u _y	2.000	1.6	-0.1	-1.1	-1.2	0.3	0.3	-0.1											
	Max u _z	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8											
	Min u _z	2.500	1.7	-0.2	-1.0	-1.3	0.3	0.1	0.4											
	Max φ _x	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8										
	Min φ _x	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8										
	Max φ _y	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8										
	Min φ _y	4.000	1.3	-0.3	1.0	-0.8	0.3	-0.9	2.6											
	Max φ _z	4.000	1.3	-0.3	1.0	-0.8	0.3	-0.9	2.6											
	Min φ _z	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	-0.8											
3	3	0.000	0.8	-0.7	0.1	0.4	-1.0	-1.4	0.3	2 - Rechteck 250										
	4	6.000	0.6	0.0	-0.4	0.5	-0.9	1.5	-0.5											

Bild 8.16 Tabelle 4.4 Stäbe - Lokale Verformungen

LF2 - Schnee

Der Lastfall, dessen Verformungen angezeigt werden sollen, kann in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt werden.

Knoten Nr.

Für jeden Stab werden in den ersten zwei Zeilen die Nummern der Anfangs- und Endknoten angezeigt, um die Knotenwerte ablesen zu können. In den weiteren Zeilen folgen jeweils die Angaben, welches Verformungsmaximum oder -minimum in den Spalten D bis I vorliegt.

Stelle x

Die Tabelle listet die Verformungen eines jeden Stabes an folgenden Stellen auf:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (siehe [Kapitel 4.16](#))
- Extremwerte (Max/Min) der Verschiebungen und Verdrehungen

Die Voreinstellung der ausgewiesenen x-Stellen kann angepasst werden über das Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen.

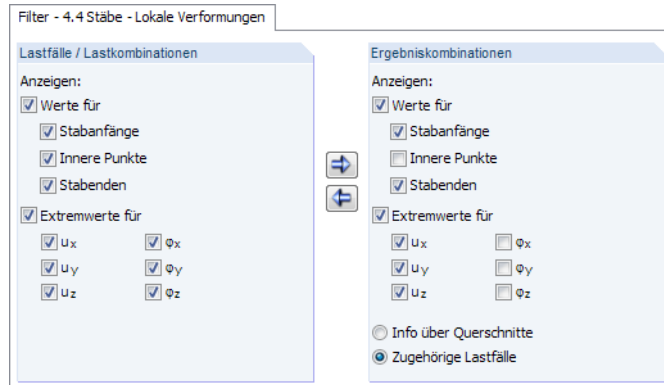


Bild 8.17 Dialog Tabellenfilter (Ausschnitt)

Die Kontrollfelder im Dialog *Tabellenfilter* steuern Art und Umfang der numerischen Ausgabe.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Stabverformungen bedeuten im Einzelnen:

$ u $	Absolute Gesamtverschiebung (nicht für Ergebniskombinationen)
u_x	Verschiebung des Stabes in Richtung seiner Längsachse
u_y/u_u	Verschiebung des Stabes in Richtung der lokalen Achse y bzw. u
u_z/u_v	Verschiebung des Stabes in Richtung der lokalen Achse z bzw. v
ϕ_x	Verdrehung des Stabes um seine Längsachse
ϕ_y/ϕ_u	Verdrehung des Stabes um die lokale Achse y bzw. u
ϕ_z/ϕ_v	Verdrehung des Stabes um die lokale Achse z bzw. v

Tabelle 8.2 Stabverformungen

Die Lage der lokalen Stabachsen lässt sich über den Zeigen-Navigator überprüfen, indem man unter dem Eintrag **Modell → Stäbe** die *Stab-Achsen* x,y,z aktiviert (siehe Bild 8.23). Alternativ wird das links gezeigte Stab-Kontextmenü benutzt.

Das lokale Stabachsensystem beeinflusst auch die Vorzeichen der Verformungen: Eine positive Verschiebung erfolgt in Richtung der positiven lokalen Achse, eine positive Verdrehung rechtsschraubig um die positive Stabachse.



Stab-Kontextmenü

Querschnitt

Die letzte Spalte informiert über die in den Stäben verwendeten Querschnitte oder die zugehörigen Lastfälle (bei Ergebniskombinationen).

Im Arbeitsfenster können die Verformungen von Stäben zwei- oder mehrfarbig sowie im Renderingmodus dargestellt werden (siehe Kapitel 9.3 [↗](#)).



Die Stabverformungen lassen sich auch als Animation des Verformungsablaufs visualisieren (siehe Kapitel 9.10 [↗](#)).

8.5

Stäbe - Globale Verformungen



Die auf die globalen Achsen X, Y und Z bezogenen Stabverschiebungen und -verdrehungen werden über den Eintrag *Globale Verformungen* im *Ergebnisse-Navigator* gesteuert. Die Tabelle 4.5 gibt die globalen Verformungen der Stäbe in numerischer Form aus.

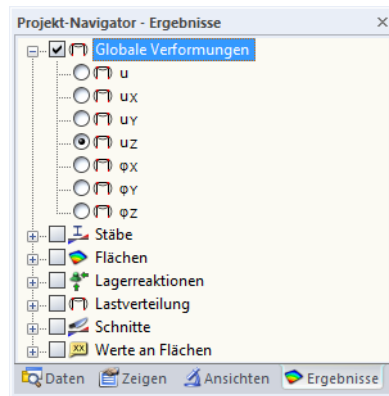


Bild 8.18 Ergebnisse-Navigator: Globale Verformungen

4.5 Stäbe - globale Verformungen

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	u	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]			Querschnitt
				ux	uy	uz	φx	φy	φz	
2	14	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3	1 - Kreis 300
	1	4.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3	
	Max ux	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3	
	Min ux	2.500	1.7	-1.3	-1.0	0.2	0.4	0.1	-0.3	
	Max uy	4.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3	
	Min uy	2.000	1.6	-1.2	-1.1	0.1	-0.1	0.3	-0.3	
	Max uz	4.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3	
	Min uz	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3	
	Max φx	4.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3	
	Min φx	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3	
	Max φy	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3	
	Min φy	4.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3	
	Max φz	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3	
Min φz	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	0.8	-0.3		
3	3	0.000	0.8	0.1	0.7	0.4	-1.4	1.0	0.3	2 - Rechteck 250
	4	6.000	0.6	-0.4	0.0	0.5	1.5	0.9	-0.5	

Bild 8.19 Tabelle 4.5 Stäbe - Globale Verformungen

Die Tabellenspalten *Knoten Nr.* und *Stelle x* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.4 *Stäbe - Lokale Verformungen*.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Stabverformungen bedeuten im Einzelnen:

$ u $	Absolute Gesamtverschiebung (nicht für Ergebniskombinationen)
u_X	Verschiebung des Stabes in Richtung der globalen X-Achse
u_Y	Verschiebung des Stabes in Richtung der globalen Y-Achse
u_Z	Verschiebung des Stabes in Richtung der globalen Z-Achse
φ_X	Verdrehung des Stabes um die globale X-Achse
φ_Y	Verdrehung des Stabes um die globale Y-Achse
φ_Z	Verdrehung des Stabes um die globale Z-Achse

Tabelle 8.3 Globale Stabverformungen

8.6

Stäbe - Schnittgrößen

Die grafische Anzeige der Stabschnittgrößen wird über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Die Tabelle 4.6 gibt die Schnittkräfte und Momente in numerischer Form aus.

Bei einem 2D-Modell werden nur die Tabellenspalten von Schnittgrößen angezeigt, die in einem ebenen System vorliegen.



Bild 8.20 Ergebnisse-Navigator: Stäbe → Schnittgrößen

4.6 Stäbe - Schnittgrößen

EK1 - Tragfähigkeit

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]		Kräfte [kN]			Momente [kNm]			Zugehörige Lastfälle
				N	V _y / V _v	V _z / V _v	M _T	M _y / M _u	M _z / M _v	
1	13	0.000	max N	-121.10	3.26	-2.25	0.00	0.00	0.00	LK1
			min N	-175.04	6.22	-3.15	0.00	0.00	0.00	LK5
			max V _z	-134.39	6.07	-1.55	0.00	0.00	0.00	LK15
			min V _z	-162.81	4.99	-3.69	0.00	0.00	0.00	LK2
			max M _y	-121.10	3.26	-2.25	0.00	0.00	0.00	LK1
			min M _y	-121.10	3.26	-2.25	0.00	0.00	0.00	LK1
2	4.000	4.000	max N	-111.57	3.04	-2.09	0.00	-8.78	-12.73	LK1
			min N	-165.52	0.29	-2.83	0.00	-12.17	-16.69	LK5
			max V _z	-124.86	-3.22	-1.43	0.00	-6.03	-8.38	LK15
			min V _z	-153.29	4.52	-3.34	0.00	-14.28	-19.32	LK2
			max M _y	-124.86	-3.22	-1.43	0.00	-6.03	-8.38	LK15
			min M _y	-153.29	4.52	-3.34	0.00	-14.28	-19.32	LK2
13	0.000	4.000	Min N	-175.04	6.22	-3.15	0.00	0.00	0.00	LK5
			Max V _z	-124.86	-2.60	-1.43	0.00	-6.03	-8.38	LK15
			Min V _z	-162.81	4.99	-3.69	0.00	0.00	0.00	LK2
			Max M _y	-121.10	3.26	-2.25	0.00	0.00	0.00	LK1
			Min M _y	-153.29	4.52	-3.34	0.00	-14.28	-19.32	LK2
			Min M _y	-111.57	3.04	-2.09	0.00	-8.78	-12.73	LK1
2	14	0.000	max N	-115.09	-1.90	-1.86	0.00	0.00	0.00	LK9
			min N	-166.78	-5.52	-2.78	0.00	0.00	0.00	LK3

Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen | Stabschlankheiten | Querschnitte - Schnittgrößen

Bild 8.21 Tabelle 4.6 Stäbe - Schnittgrößen

LF2 - Schnee

Der Lastfall, dessen Schnittgrößen angezeigt werden sollen, kann in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt werden.

Stelle x

Die Tabelle listet die Schnittgrößen eines jeden Stabes an folgenden Stellen auf:

- Anfangs- und Endknoten
- x-Stellen gemäß vorgegebener Stabteilung (siehe Kapitel 4.1.6)
- Extremwerte (Max/Min) der Schnittgrößen

Die Voreinstellung der ausgewiesenen x-Stellen kann angepasst werden über das Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen.



Filter - 4.6 Stäbe - Schnittgrößen

Lastfälle und -kombinationen

Anzeigen:

Werte für

Stabanfänge

Innere Punkte

Stabenden

Extremwerte für

N M_T

V_y M_y

V_z M_z

Ergebniskombinationen

Anzeigen:

Werte für

Stabanfänge

Innere Punkte

Stabenden

Extreme Knotenwerte

Extremwerte für

Max/Min Ergebnisse von:

N M_T

V_y M_y

V_z M_z

Info über Querschnitte

Zugehörige Lastfälle

Bild 8.22 Dialog Tabellenfilter (Ausschnitt)

Die Kontrollfelder im Dialog *Tabellenfilter* steuern Art und Umfang der numerischen Ausgabe (siehe Kapitel 11.5.5).

Der grafische Schnittgrößenverlauf basiert auf den Ergebniswerten in den FE-Netznoten bzw. in den Stabteilungen, die im Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter* festgelegt wurden (siehe Kapitel 7.3.3).

Kräfte / Momente

Die Stabschnittgrößen bedeuten im Einzelnen:

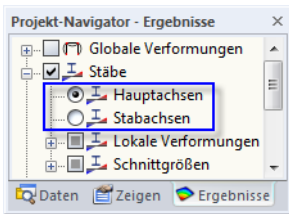
N	Normalkraft im Stab
V_y/V_u	Querkraft in Richtung der lokalen Stabachse y bzw. u
V_z/V_v	Querkraft in Richtung der lokalen Stabachse z bzw. v
M_T	Torsionsmoment
M_y/M_u	Biegemoment um die Achse y bzw. u
M_z/M_v	Biegemoment um die Achse z bzw. v

Tabelle 8.4 Stabschnittgrößen

Die lokalen Stabachsen y und z bzw. u und v sind die Hauptachsen des Querschnitts. Dabei stellt die y- bzw. u-Achse die „starke“ Achse, die z- bzw. v-Achse die „schwache“ Achse dar (siehe Kapitel 4.17). Bei unsymmetrischen Profilen kann gewählt werden, ob die Schnittgrößen auf die Hauptachsen u und v (siehe Grafik oben) oder die Standard-Eingabeachsen y und z bezogen werden. Die Steuerung erfolgt wie links gezeigt im Ergebnisse-Navigator. Diese Vorgabe wirkt sich nicht nur auf die grafische, sondern auch auf die tabellarische Ergebnisausgabe aus.

Bei einer nichtlinearen Analyse können die Schnittgrößen auch auf die verformten Stabachsensysteme bezogen ausgegeben werden. Der Bezug der Schnittgrößen wird im Abschnitt Optionen des Dialogs Berechnungsparameter geregelt (siehe Kapitel 7.3.1).

Die Stablage lässt sich über das 3D-Rendering oder den Zeigen -Navigator überprüfen, indem man unter dem Eintrag **Modell** → **Stäbe** die **Stab-Achsensysteme x, y, z** aktiviert.



Stab-Kontextmenü

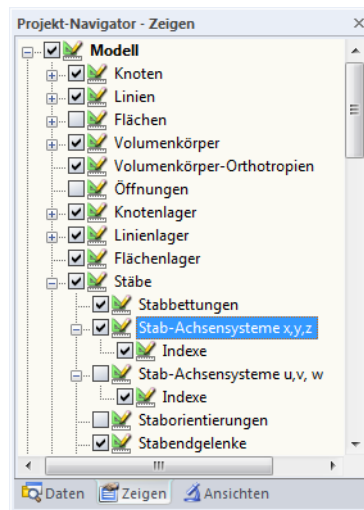
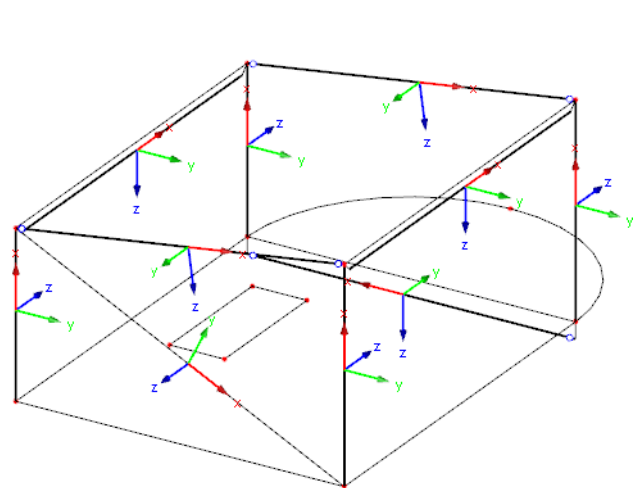


Bild 8.23 Aktivieren der lokalen Stabachsensysteme im Zeigen-Navigator



Über das links gezeigte Stab-Kontextmenü lassen sich die Stabachsen ebenfalls einblenden.

Das lokale Stabachsensystem wirkt sich auf die Vorzeichen der Schnittgrößen aus.

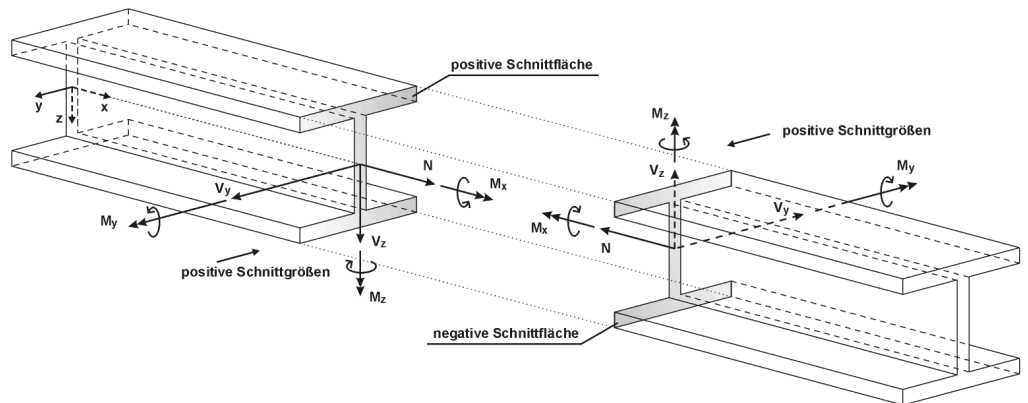


Bild 8.24 Positive Definition der Schnittgrößen



Das Biegemoment M_y ist positiv, wenn an der positiven Stabseite (in Richtung der Achse z) **Zug**spannungen entstehen. M_z ist positiv, wenn an der positiven Stabseite (in Richtung der Achse y) **Druck**spannungen die Folge sind. Die Vorzeichendefinition für Torsionsmomente, Normal- und Querkräfte entspricht den üblichen Konventionen: Diese Schnittgrößen sind positiv, wenn sie am positiven Schnittpunkt in positiver Richtung wirken.

Diese Schnittgrößenregelung gilt nur, wenn die lokale z -Achse der Stäbe *Nach unten* orientiert ist (Einstellmöglichkeit bei den Modell-Basisangaben, siehe Beschreibung bei [Bild 12.28](#)). Ist die lokale z -Achse hingegen *Nach oben* definiert, so bewirkt ein positives Moment M_y an der positiven Stabseite Druckspannungen, ein positives Moment M_z Zugspannungen.

Extremwerte

Ist die Anzeige der tabellarischen Extremwerte aktiv (siehe [Bild 8.22](#)), so werden für jeden Stab die größten positiven (*Max*) und kleinsten negativen (*Min*) Schnittgrößen ausgewiesen. Die Extremwerte sind in Fettschrift hervorgehoben; die Werte in den übrigen Spalten der Zeile stellen die zum Extremwert zugehörigen Schnittgrößen dar (siehe auch [Kapitel 11.5.5](#)).

Querschnitt / Zugehörige Lastfälle

Die letzte Spalte informiert über die in den Stäben verwendeten Querschnitte.

Ergebniskombinationen

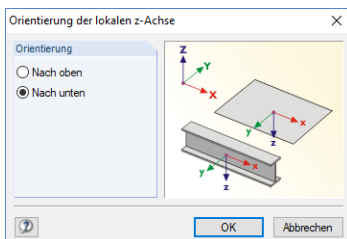
Bei Ergebniskombinationen ist diese Spalte in der Regel mit *Zugehörige Lastfälle* überschrieben (siehe [Bild 8.21](#)). Es werden die Nummern der Lastfälle oder Lastkombinationen angegeben, die zur Ermittlung der maximalen oder minimalen Schnittgrößen der jeweiligen Zeile herangezogen wurden. Als *Ständig* klassifizierte Lastfälle tauchen hier immer auf, *Veränderlich* wirkende Lastfälle nur dann, wenn deren Schnittgrößen einen ungünstigen Beitrag zum Ergebnis liefern (siehe [Kapitel 5.6](#)).

Zugleich wird die Tabelle um eine neue dritte Spalte *C* erweitert. Sie ermöglicht es, am Ende der Schnittgrößenliste eines Stabes die größten positiven (**Max**) und kleinsten negativen (**Min**) Werte abzulesen.

Die Datenmenge in den Ergebniskombination-Tabellen kann über spezifische Filterfunktionen im Dialog *Tabellenfilter* reduziert werden (siehe [Bild 8.22](#)). Der Dialog wird aufgerufen über das Menü

Tabelle → **Ansicht** → **Ergebnisfilter**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.



8.7

Stäbe - Kontaktkräfte

Wenn das Modell elastisch gebettete Stäbe enthält (siehe Kapitel 4.19 [\[2\]](#)), werden die Kontaktkräfte und -momente in der Tabelle 4.7 numerisch ausgegeben. Die grafische Anzeige der Ergebnisse wird über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert.

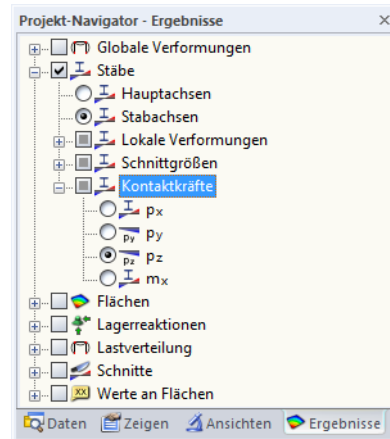


Bild 8.25 Ergebnisse-Navigator: Stäbe → Kontaktkräfte

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Kontaktkräfte [kN/m]			Momente m _x [kNm/m]	Querschnitt
			p _x	p _y	p _z		
13	2	0.000	0.00	1.95	73.57	0.00	2 - Rechteck 250/400
	3	7.000	0.00	0.86	141.21	0.00	
	Max p _y	0.000	0.00	1.95	73.57	0.00	
	Min p _y	7.000	0.00	0.86	141.21	0.00	
	Max p _z	7.000	0.00	0.86	141.21	0.00	
14	1	7.000	0.00	1.64	58.04	0.00	2 - Rechteck 250/400
	4	0.000	0.00	-0.87	138.88	0.00	
	1	7.000	0.00	-1.94	70.39	0.00	
	Max p _y	0.000	0.00	-0.87	138.88	0.00	
	Min p _y	7.000	0.00	-1.94	70.39	0.00	
	Max p _z	0.000	0.00	-0.87	138.88	0.00	
	Min p _z	5.000	0.00	-1.63	54.79	0.00	
Σ Kräfte			0.00	19.59	1159.50		
Σ Lasten			-1036.80	24.77	1230.80		

Bild 8.26 Tabelle 4.7 Stäbe - Kontaktkräfte

Knoten Nr.

Für jeden Bettungsstab werden in den ersten zwei Zeilen die Nummern der Anfangs- und Endknoten angezeigt. Die weiteren Zeilen geben an, welche Arten von Extremwerten für Kontaktkräfte und -momente vorliegen.

Die Voreinstellungen der Extremwertausgabe können angepasst werden über das Menü

Tabelle → **Ansicht** → **Ergebnisfilter**

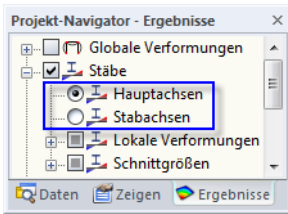


oder die zugeordnete Schalffläche in der Tabellensymbolleiste.

Stelle x

Die Tabelle listet die Kontaktschnittgrößen eines jeden Stabes an folgenden Stellen auf:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (siehe Kapitel 4.16 [\[2\]](#))
- Extremwerte (Max/Min) der Kontaktkräfte und -momente



Kontaktkräfte $p_x / p_y / p_z$

Die Kontaktkräfte, die in Richtung der lokalen Stabachsen x , y und z wirksam sind, werden auf eine Einheitslänge bezogen ausgegeben. Bei unsymmetrischen Profilen kann gewählt werden, ob die Kontaktkräfte auf die Hauptachsen u und v (siehe [Querschnittsgrafik](#)) oder die Standard-Eingabeachsen y und z bezogen werden. Die Steuerung erfolgt im *Ergebnisse*-Navigator.

Die Lage der lokalen Achsen lässt sich über den *Zeigen*-Navigator kontrollieren, indem man unter dem Eintrag **Modell** → **Stäbe** die *Stab-Achsen* x, y, z aktiviert (siehe [Bild 8.23](#)). Die Vorzeichen entsprechen den üblichen Regelungen; sie sind im [Kapitel 8.6](#) bei den Stabschnittgrößen erläutert.

Um aus den Tabellenwerten die Sohlpressungen zu ermitteln, sind die Ergebnisse noch durch die jeweiligen Querschnittsbreiten zu dividieren.

Momente m_x

Die Kontaktmomente um die Stablängsachse x werden ebenfalls auf eine Einheitslänge bezogen ausgegeben. Die Momente m_x werden über die Drehfederkonstante C_φ gesteuert.

Querschnitt / Zugehörige Lastfälle

Die letzte Spalte informiert über die in den Stäben verwendeten Querschnitte bzw. bei Ergebniskombinationen über die Lastfälle und Lastkombinationen, die zur Ermittlung der maximalen oder minimalen Kontaktkräfte in der jeweiligen Zeile herangezogen wurden.

Kontrollsummen

Bei Lastfällen und Lastkombinationen werden ganz am Ende der Tabelle die Kontrollsummen von Lagerreaktionen und Belastung angegeben. Es werden Differenzen zwischen $\sum \text{Kräfte}$ und $\sum \text{Lasten}$ bestehen, wenn das Modell zusätzlich Knoten- und Linienlager sowie elastisch gebettete Flächen besitzt. Für die Gesamtbilanz müssen deshalb auch die $\sum \text{Kräfte}$ berücksichtigt werden, die in den Tabellen 4.1, 4.3 und 4.21 vorliegen.

8.8

Stäbe - Verzerrungen

Die Stabverzerrungen stellen lokale Verformungen in Form von Dehnungen und Scherungen dar. Sie ergeben sich nach dem Hookeschen Gesetz aus den Spannungen in den Stäben.

Die Verzerrungen der Stäbe werden in Tabelle 4.8 numerisch ausgegeben. Die grafische Anzeige wird über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert.

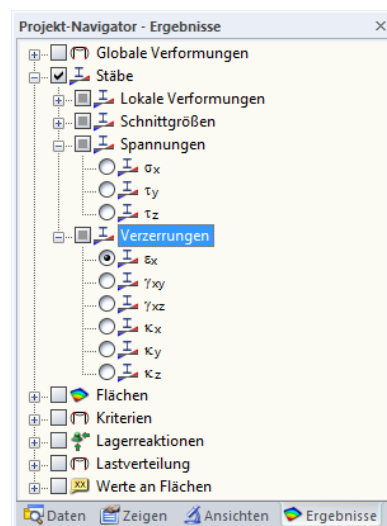


Bild 8.27 Ergebnisse-Navigator: Stäbe → Verzerrungen

4.8 Stäbe - Verzerrungen

LF1 - Eigengewicht

Stab Nr.	Knoten Nr.	Lage x [m]	Verzerrungen						Querschnitt
			ϵ_x [·]	γ_{xy} [·]	γ_{xz} [·]	κ_x [mrad/m]	κ_y [mrad/m]	κ_z [mrad/m]	
1	7	0.000	-0.00001	0.00001	0.00003	-0.391	0.000	0.000	1 - IPE 450
	8	7.700	-0.00001	-0.00001	-0.00004	0.256	0.000	0.000	
2	3	0.000	-0.00002	0.00002	0.00004	-0.468	-0.233	0.037	2 - Rechteck 300/300
	4	5.000	-0.00001	-0.00001	-0.00004	0.186	-0.126	0.025	
3	1	0.000	-0.00001	0.00000	0.00000	0.004	0.658	0.545	2 - Rechteck 300/300
	5	3.000	-0.00002	0.00000	0.00000	0.004	0.000	0.000	
4	2	0.000	-0.00001	0.00000	0.00000	0.003	0.555	-0.562	2 - Rechteck 300/300
		1.000	-0.00002	0.00000	0.00000	0.003	0.416	-0.422	
		2.000	-0.00002	0.00000	0.00000	0.003	0.277	-0.281	
		3.000	-0.00002	0.00000	0.00000	0.003	0.139	-0.141	
5	9	4.000	-0.00002	0.00000	0.00000	0.003	0.000	0.000	
	3	0.000	-0.00005	0.00000	0.00000	-0.012	-0.085	-0.622	2 - Rechteck 300/300
	10	3.000	-0.00005	0.00000	0.00000	-0.012	0.000	0.000	

Stäbe - Lokale Verformungen | Stäbe - Globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen | Stäbe - Verzerrungen

Bild 8.28 Tabelle 4.8 Stäbe - Verzerrungen

Knoten Nr.

Für jeden Stab werden die Nummern der Anfangs- und Endknoten angezeigt.

Stelle x

Die Tabelle listet die Stabverzerrungen auf, die an den Anfangs- und Endknoten und den Teilungspunkten gemäß vorgegebener Stabteilung (siehe Kapitel 4.16) vorliegen.

Verzerrungen

Der Verzerrungstensor für den räumlichen Verzerrungszustand ist im Kapitel 8.35 beschrieben. Für das eindimensionale Stabelement vereinfacht sich die Matrix wie folgt:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & 0 & 0 \\ \varepsilon_{zx} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Gleichung 8.1

Die Scherungen ermitteln sich nach folgenden Gleichungen:

$$\gamma_{xy} = 2 \cdot \varepsilon_{xy}$$

Gleichung 8.2

$$\gamma_{xz} = 2 \cdot \varepsilon_{xz}$$

Gleichung 8.3

ε_x	Dehnung in Richtung der Stabachse x $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$
γ_{xy}	$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$
γ_{xz}	$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}$
κ_x	Krümmung um die lokale Stabachse x
κ_y	Krümmung um die lokale Stabachse y
κ_z	Krümmung um die lokale Stabachse z

Tabelle 8.5 Stabverzerrungen

8.9

Stäbe - Stabkennzahlen für Knicken

Bei der Berechnung druckbelasteter Stabmodelle nach Theorie II. Ordnung spielt die Stabkennzahl ε eine Rolle (siehe Kapitel 7.3.1 [\[4\]](#)). Jeder Stab besitzt eine eigene Stabkennzahl, die sich aus der Druckkraft, der Stablänge und der Stabsteifigkeit ermittelt.

Stäbe mit Stabkennzahlen größer 1 sind ggf. nach Theorie II. Ordnung zu untersuchen. Auch die Normen einiger Staaten wie z. B. der USA schreiben vor, dass die Stabkennzahlen zu begrenzen sind.

In der Tabelle 4.9 werden die für das Knicken maßgebenden Stabkennzahlen angegeben. Es besteht keine grafische Ausgabemöglichkeit.

Stab Nr.	A Stabtyp	B Material	C Querschnitt	D Länge L [m]	E Normalkraft N [kN]	F ε_y	G ε_z	H ε_u	I ε_v
1	Balkenstab	1 - Beton C30/37	1 - Kreis 300	4.000	-134.00	0.404	0.404	-	-
2	Balkenstab	1 - Beton C30/37	1 - Kreis 300	4.000	-129.74	0.398	0.398	-	-
3	Rippe	1 - Beton C30/37	2 - Rechteck 250/400	6.000	278.47	-	-	-	-
4	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	3 - HE A 300	3.000	-38.49	0.100	0.170	-	-
5	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	3 - HE A 300	6.059	-6.07	0.080	0.136	-	-
6	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	3 - HE A 300	3.843	-36.79	0.125	0.212	-	-
7	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	3 - HE A 300	3.000	-37.53	0.098	0.167	-	-
8	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	3 - HE A 300	6.059	-2.82	0.054	0.093	-	-
9	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	3 - HE A 300	3.843	-37.31	0.126	0.214	-	-
10	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	4 - HE B 260	6.700	-23.91	0.194	0.331	-	-
11	Balkenstab	2 - Baustahl S 235	4 - HE B 260	6.700	-17.12	0.164	0.280	-	-
12	Zugstab	Ausfall							

Bild 8.29 Tabelle 4.9 Stäbe - Stabkennzahlen für Knicken

Die Stabkennzahlen sind nach Stabnummern geordnet aufgelistet.

Stabtyp

Zur Information werden die Stabtypen angegeben (siehe [Kapitel 4.17](#)). Stabkennzahlen werden nur für Stäbe ermittelt, die in der Lage sind, Druckkräfte aufzunehmen.

Material

Die Eigenschaft des Materials wirkt sich auf die Stabsteifigkeit aus.

Querschnitt

Zur Ermittlung der Stabsteifigkeiten werden die Trägheitsmomente des Querschnitts benötigt.

Länge L

In der Tabellenspalte D werden die Stablängen angegeben.

Normalkraft N

Diese Spalte listet die Normalkräfte auf, die zur Ermittlung der Stabkennzahl herangezogen werden. Hierbei handelt es sich um die Normalkräfte, die in Stabmitte vorliegen ($x = L/2$).

Stabkennzahlen werden nur für Stäbe ermittelt, die mindestens in einem Teilbereich (Balkenstab) bzw. am gesamten Stab (Druckstab, Knickstab etc.) Druckkräfte aufweisen.

Stabkennzahlen $\varepsilon_y / \varepsilon_z$

Die Stabkennzahl ε ist von der Stablänge L, der Druckkraft N und der Steifigkeit $E \cdot I$ abhängig.

$$\varepsilon = L \cdot \sqrt{\frac{|N|}{E \cdot I}}$$

Gleichung 8.4

In den Tabellenspalten F und G werden die Stabkennzahlen angegeben, die sich auf das lokale Stabachsensystem y bzw. z beziehen. Bei unsymmetrischen Profilen wie Winkeln erscheinen zwei weitere Spalten, in denen die Stabkennzahlen auch auf die Hauptachsen u und v bezogen ausgegeben werden.

8.10

Stabschlankheiten

In der Tabelle 4.10 werden die Schlankheitsgrade der Stäbe angegeben. Sie sind für die Beurteilung des Knickverhaltens druckbelasteter Stäbe bedeutsam. Es besteht keine grafische Ausgabemöglichkeit.

4.10 Stabschlankheiten

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Stab Nr.	A	B	C		D	E	F	G	H
	Querschnitt	Länge L [m]	Knicklängenbeiwerte [-]			λ_y	Schlankheit [-]	λ_u	λ_v
			$k_{cr,y}$	$k_{cr,z}$			λ_z		
1	1 - Kreis 300	4.000	1.000	1.000		53.33	53.33	-	-
2	1 - Kreis 300	4.000	1.000	1.000		53.33	53.33	-	-
3	2 - Rechteck 250/400	6.000	1.000	1.000		51.96	83.14	-	-
4	3 - HE A 300	3.000	1.500	1.500		35.40	60.22	-	-
5	3 - HE A 300	6.059	1.000	1.000		47.66	81.08	-	-
6	3 - HE A 300	3.843	1.500	1.500		45.35	77.15	-	-
7	3 - HE A 300	3.000	1.000	1.000		23.60	40.15	-	-
8	3 - HE A 300	6.059	1.000	1.000		47.66	81.08	-	-
9	3 - HE A 300	3.843	1.000	1.000		30.23	51.43	-	-
10	4 - HE B 260	6.700	1.000	1.000		59.58	101.61	-	-
11	4 - HE B 260	6.700	1.000	1.000		59.58	101.61	-	-
12	5 - L 80x8	6.708	1.000	1.000		219.39	432.43	219.39	432.43

Stäbe - globale Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen | Stäbe - Stabkennzahlen für Knicken | Stabschlankheiten | Querschnitte - Schnittgrößen

Bild 8.30 Tabelle 4.10 Stabschlankheiten

Die Stabschlankheiten sind nach Stabnummern geordnet aufgelistet.

Querschnitt

Zur Ermittlung der Schlankheiten werden die Trägheitsradien des Querschnitts benötigt.

Länge L

In der Tabellenspalte B werden die Stablängen angegeben.

Knicklängenbeiwerte $k_{cr,y}$ / $k_{cr,z}$

Die Knicklängenbeiwerte beschreiben das Verhältnis zwischen Knick- und Stablänge.

Knicklängenbeiwert:

$$k_{cr} = \frac{L_{cr}}{L}$$

Gleichung 8.5

Die Knicklänge s_K bezieht sich auf das Knickverhalten rechtwinklig zur ‚starken‘ Stabachse y bzw. ‚schwachen‘ Stabachse z. Falls keine Knicklängen manuell definiert wurden (siehe Kapitel 4.17 [\[9\]](#)), wird der Euler-Fall 2 angenommen: Die Knicklänge ist damit gleich der Stablänge. Genauere Untersuchungen lassen sich mit dem Zusatzmodul RF-STABIL oder in Bemessungsmodulen wie z. B. RF-STAHLEC3 durchführen.

Schlankheiten λ_y / λ_z

Der Schlankheitsgrad λ stellt eine rein geometrische Größe dar. Er ermittelt sich aus dem Knicklängenbeiwert k_{cr} , der Stablänge L und dem Trägheitsradius i.

$$\lambda = \frac{k_{cr} L}{i}$$

Gleichung 8.6

In den Tabellenspalten E und F werden die Schlankheitsgrade angegeben, die sich auf das lokale Stabachsensystem y bzw. z beziehen. Bei unsymmetrischen Profilen wie Winkeln erscheinen zwei weitere Spalten, in denen die Schlankheitsgrade auch auf die Hauptachsen u und v bezogen ausgegeben werden.

8.11

Stabsätze - Schnittgrößen

Die Tabelle 4.11 gibt die Schnittgrößen nach Stabsätzen (siehe Kapitel 4.21 [☐](#)) geordnet aus.

4.11 Stabsätze - Schnittgrößen										
Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C	E Kräfte [kN]			H Momente [kNm]			J Zugehörige Lastfälle
				D N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	
Stabsatz Nr. 1: Pfette A-A										
11	16	0.000	max N	-12.37	2.34	21.91	-0.03	-20.43	-0.27	LK8
			min N	-22.70	0.06	31.47	-0.01	-29.79	0.05	LK3
			max V _z	-15.74	2.37	32.16	-0.03	-29.01	-0.24	LK14
			min V _z	-19.32	0.04	21.21	-0.01	-21.21	0.03	LK2
			max M _y	-15.08	0.02	21.35	0.00	-20.10	0.02	LK1
			min M _y	-21.07	1.46	31.80	-0.02	-29.99	-0.11	LK4
13	20	4.350	max N	-12.37	-2.28	-21.72	0.02	-20.55	-0.27	LK8
			min N	-22.70	-0.04	-31.51	0.00	-31.12	0.04	LK3
			max V _z	-15.08	-0.02	-21.40	0.00	-21.00	0.02	LK1
			min V _z	-18.71	-2.33	-31.80	0.04	-30.07	-0.24	LK13
			max M _y	-12.37	-2.28	-21.72	0.02	-20.55	-0.27	LK8
			min M _y	-22.70	-0.04	-31.51	0.00	-31.12	0.04	LK3
13		3.383	MAX N	-12.37	-2.08	-15.48	-0.01	-2.56	-2.41	LK8
		0.967	MIN N	-22.72	0.00	0.02	-0.01	22.19	-0.04	LK3
11	16	0.000	MAX V _z	-15.74	2.37	32.16	-0.03	-29.01	-0.24	LK14
13		4.350	MIN V _z	-18.71	-2.33	-31.80	0.04	-30.07	-0.24	LK13
13		0.967	MAX M _y	-15.77	0.02	0.28	-0.02	24.55	-5.38	LK14
13		4.350	MIN M _y	-22.70	-0.04	-31.51	0.00	-31.12	0.04	LK3
Stabsatz Nr. 2: Pfette B-B										
5	15	0.000	max N	-4.02	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	LK15
			min N	-6.71	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	LK3

Bild 8.31 Tabelle 4.11 Stabsätze - Schnittgrößen

Das Konzept entspricht dem der Tabelle 4.6 *Stäbe - Schnittgrößen*, die im Kapitel 8.6 [☐](#) beschrieben ist. Die Ergebnisse sind hier nach Stabszügen oder Stabgruppen geordnet. Die Stabsatz-Bezeichnungen bleiben in der obersten Tabellenzeile fest eingestellt, sodass der Überblick beim Scrollen gewährleistet ist.

Die Tabelle schließt die stabweisen Ergebnisse aller im Stabsatz enthaltenen Stäbe mit ein. Mit den farbig abgesetzten Zeilen endet die Auflistung eines Stabsatzes: Sie geben die Gesamt extrema **MAX** und **MIN** jeder Schnittgrößenart im Stabsatz an. Die Extremwerte sind in Fettschrift hervorgehoben; die Werte in den übrigen Spalten der Zeile repräsentieren die zum Extremwert zugehörigen Schnittgrößen.

Die Datenmenge in der Tabelle kann über spezifische Filterfunktionen im Dialog *Tabellenfilter* reduziert werden (siehe Kapitel 11.5.5 [☐](#)). Der Dialog wird aufgerufen über das Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter



oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

8.12

Querschnitte - Schnittgrößen

Die Tabelle 4.12 gibt die Schnittgrößen nach Querschnitten geordnet aus.

Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	D Kräfte [kN]			G Momente [kNm]			I
			C N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	
Querschnitt Nr. 1: Kreis 300									
1	13	0.000	-175.04	6.22	-3.15	0.00	0.00	0.00	
	2	4.000	-165.52	0.29	-2.83	0.00	-12.17	-16.69	
2	14	0.000	-166.08	-5.00	-2.80	0.00	0.00	0.00	
	1	4.000	-156.57	-10.77	-2.53	0.00	-10.84	25.70	
2	MAX N	4.000	-156.57	-9.98	-2.53	0.00	-10.84	25.70	
1	MIN N	0.000	-175.04	6.22	-3.15	0.00	0.00	0.00	
2	MAX V _z	4.000	-156.57	-9.98	-2.53	0.00	-10.84	25.70	
1	MIN V _z	0.000	-175.04	6.22	-3.15	0.00	0.00	0.00	
1	MAX M _y	0.000	-175.04	6.22	-3.15	0.00	0.00	0.00	
1	MIN M _y	4.000	-165.52	1.12	-2.83	0.00	-12.17	-16.69	
Querschnitt Nr. 2: Rechteck 250/400									
3	3	0.000	-55.44	25.58	174.00	-1.51	-37.43	14.25	
	4	6.000	-18.90	-38.96	-155.44	8.43	-19.73	4.87	
3	MAX N	3.000	234.04	6.33	5.08	-1.51	207.20	2.00	
3	MIN N	0.000	-55.44	25.58	174.00	-1.51	-37.43	14.25	
3	MAX V _z	0.110	18.85	91.23	222.76	-36.82	-39.06	10.22	
3	MIN V _z	5.890	-10.70	-64.22	-208.62	41.77	-15.96	13.29	
3	MAX M _y	3.000	234.04	6.33	5.08	-1.51	207.20	2.00	
3	MIN M _y	0.110	18.85	91.23	222.76	-36.82	-39.06	10.22	
Querschnitt Nr. 3: HE A 300									
4	1	0.000	-40.38	-2.06	-32.83	0.10	52.27	-9.09	
	15	3.000	-36.77	-3.63	-29.12	-0.07	-40.73	-0.34	
5	15	0.000	-6.35	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	16	6.059	-5.34	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
6	2	0.000	-39.07	8.64	-25.11	-0.06	51.07	30.16	
	16	3.843	-34.41	7.25	-21.08	-0.12	-37.81	-0.22	
7	4	0.000	-39.40	-0.10	31.19	-0.04	-51.55	-3.15	
	19	3.000	-35.79	-1.62	29.12	0.07	39.83	-0.35	
8	19	0.000	-4.31	0.00	3.59	0.00	0.00	0.00	
	20	6.059	-3.30	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
9	3	0.000	-39.61	6.63	23.32	0.06	-47.71	22.34	
	20	3.843	-34.98	5.21	21.08	0.09	38.76	-0.22	
8	MAX N	6.059	-3.30	0.00	-3.59	0.00	0.00	0.00	
4	MIN N	0.000	-40.38	-2.06	-32.83	0.10	52.27	-9.09	

Bild 8.32 Tabelle 4.12 Querschnitte - Schnittgrößen

Das Konzept entspricht dem der Tabelle 4.6 *Stäbe - Schnittgrößen*, die im Kapitel 8.6 beschrieben ist. Die Ergebnisse sind hier nach Querschnitten geordnet. Die Querschnittsbezeichnungen bleiben in der obersten Tabellenzeile fest eingestellt, sodass der Überblick beim Scrollen gewährleistet ist.

Die Tabelle schließt die stabweisen Ergebnisse aller Stäbe mit ein, die den jeweiligen Querschnitt verwenden. Mit den farbig abgesetzten Zeilen endet die Auflistung für einen Querschnitt: Sie geben die Gesamttextrema **MAX** und **MIN** jeder Schnittgrößenart im Querschnitt an. Die Extremwerte sind in Fettschrift hervorgehoben; die Werte in den übrigen Spalten der Zeile repräsentieren die zum Extremwert zugehörigen Schnittgrößen.



Die Datenmenge in der Tabelle kann über spezifische Filterfunktionen im Dialog *Tabellenfilter* reduziert werden (siehe Kapitel 11.5.5).

8.13

Flächen - lokale Verformungen



Die grafische Anzeige der lokalen Flächenverformungen lässt sich über den Eintrag *Flächen* im *Ergebnisse*-Navigator steuern. Die Tabelle 4.13 gibt die lokalen Verformungen der Flächen in numerischer Form aus.

Bei 2D-Systemen werden nur die relevanten Spalten der Verformungen angezeigt.

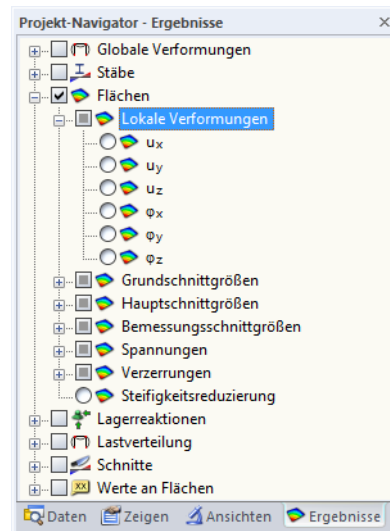


Bild 8.33 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Lokale Verformungen

4.13 Flächen - lokale Verformungen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	A Raster Punkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			E u	F Verschiebungen [mm]			I Verdrehungen [mrad]		
		C X	C Y	D Z		G u _x	G u _y	H u _z	J φ _x	J φ _y	K φ _z
1	1	0.000	0.000	0.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3
2	0.500	0.000	0.000	2.0	-0.8	1.0	1.5	3.7	-3.6	-0.1	
3	1.000	0.000	0.000	3.7	-0.8	0.9	3.5	3.2	-3.9	-0.1	
4	1.500	0.000	0.000	5.5	-0.7	0.9	5.4	2.7	-3.6	-0.1	
5	2.000	0.000	0.000	7.1	-0.7	0.8	7.1	2.3	-2.9	-0.1	
6	2.500	0.000	0.000	8.4	-0.7	0.8	8.3	2.0	-2.0	-0.1	
7	3.000	0.000	0.000	9.1	-0.7	0.7	9.0	1.9	-0.9	-0.1	
8	3.500	0.000	0.000	9.2	-0.7	0.7	9.2	1.8	0.3	-0.1	
9	4.000	0.000	0.000	8.8	-0.7	0.6	8.7	1.7	1.4	-0.1	
10	4.500	0.000	0.000	7.8	-0.7	0.6	7.8	1.7	2.4	-0.1	
11	5.000	0.000	0.000	6.5	-0.7	0.6	6.4	1.7	3.1	-0.1	
12	5.500	0.000	0.000	4.8	-0.7	0.5	4.8	1.7	3.4	-0.1	
13	6.000	0.000	0.000	3.2	-0.7	0.5	3.0	1.7	3.4	-0.1	
14	6.500	0.000	0.000	1.7	-0.7	0.5	1.5	1.8	2.7	-0.1	
15	7.000	0.000	0.000	1.0	-0.7	0.4	0.5	1.5	0.9	0.0	
22	0.000	0.500	0.000	2.1	-0.7	1.0	1.7	3.5	-3.1	-0.1	

Querschnitte - Schnittgrößen | Flächen - lokale Verformungen | Flächen - globale Verformungen | Flächen - Grundschnittgrößen

Bild 8.34 Tabelle 4.13 Flächen - lokale Verformungen

Die Verschiebungen und Verdrehungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte werden flächenweise aufgelistet. Sie stellen die Eigenschaft einer jeden Fläche dar. Im Register *Raster* des Dialogs *Fläche bearbeiten* können Anzahl und Anordnung der Rasterpunkte angepasst werden.

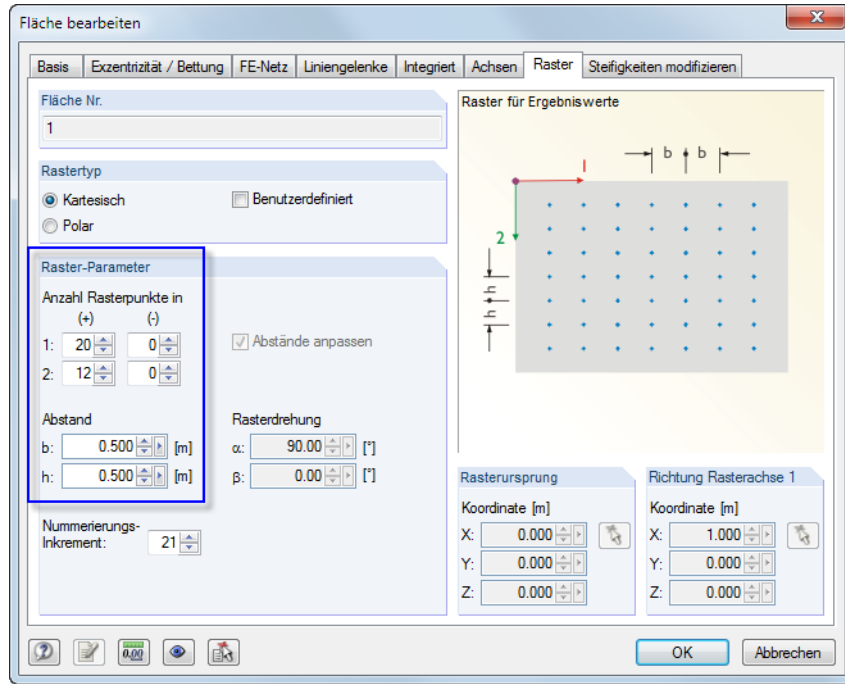


Bild 8.35 Dialog Fläche bearbeiten, Register Raster

In diesem Register können *Rastertyp*, *Rasterparameter* oder ggf. auch *Rasterursprung* und *Richtung der Rasterachse 1* festgelegt werden. Die Standardvorgabe ist ein kartesisches Flächenraster mit einem gleichmäßigen Abstand der Rasterpunkte von je 0,5 m in beide Richtungen.



Das Raster ermöglicht eine vom FE-Netz unabhängige Ausgabe in regelmäßigen, anpassbaren Ergebnispunkten. Bei kleinen Flächen kann die Standardmaschenweite des Rasters von 0,5 m dazu führen, dass nur wenige Rasterpunkte (oder sogar nur ein Ergebnisrasterpunkt im Rasterursprung) existieren. *Anzahl* oder *Abstand* der Rasterpunkte sollten dann an die Flächengröße angepasst werden, um mehr Rasterpunkte zu erzeugen.

Bei Änderungen des Flächenrasters wird keine Neuberechnung der Ergebnisse erforderlich, da die Rasterwerte aus den Ergebniswerten der FE-Knoten interpoliert werden.

Die tabellarische Ausgabe basiert auf dem Flächen-Ergebnisraster. Im Arbeitsfenster lassen sich sowohl die Werte der FE-Knoten als auch die Rasterwerte anzeigen. Die Steuerung erfolgt im *Ergebnisse-Navigator*:

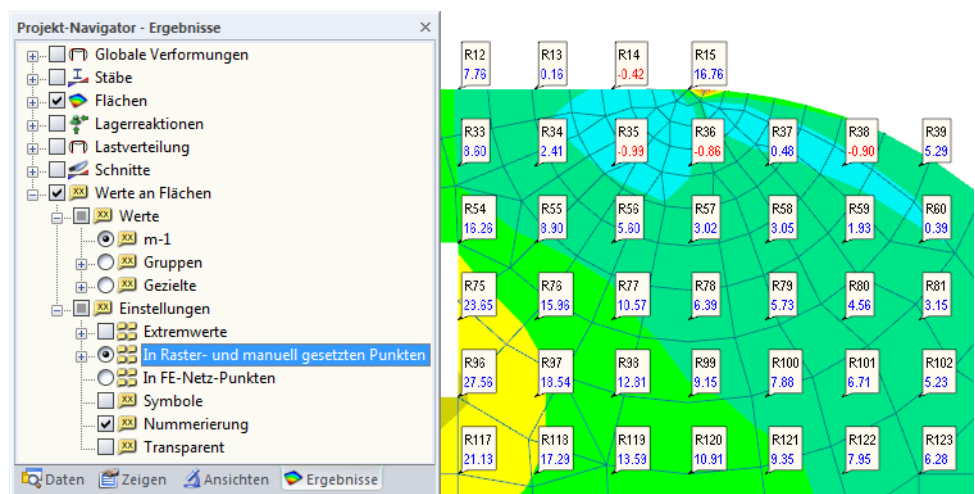


Bild 8.36 Ergebnisse-Navigator: Werte an Flächen → Einstellungen → In Raster- bzw. FE-Netz-Punkten

RFEM nummeriert die Rasterpunkte automatisch. Die Nummern der Rasterpunkte können in der Ergebnisgrafik eingeblendet werden: Aktivieren Sie im *Ergebnisse*-Navigator wie im [Bild 8.36](#) gezeigt die *Nummerierung*.

Rasterpunkt-Koordinaten

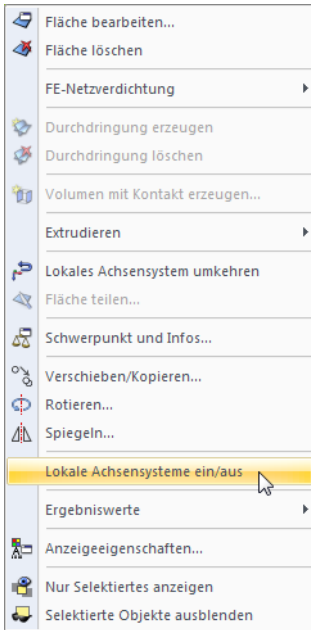
In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben. Bei einem Klick in eine Tabellenzeile wird dieser Rasterpunkt im Arbeitsfenster mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Verformungen bedeuten im Einzelnen:

$ u $	Absolute Gesamtverschiebung (nicht bei Ergebniskombinationen)
u_x	Verschiebung der Fläche in Richtung der lokalen x-Achse
u_y	Verschiebung der Fläche in Richtung der lokalen y-Achse
u_z	Verschiebung der Fläche in Richtung der lokalen z-Achse
φ_x	Verdrehung der Fläche um die lokale x-Achse
φ_y	Verdrehung der Fläche um die lokale y-Achse
φ_z	Verdrehung der Fläche um die lokale z-Achse

Tabelle 8.6 Lokale Flächenverformungen



Flächen-Kontextmenü

Die lokalen Flächenachsen lassen sich im Zeigen-Navigator über das Menü **Modell** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme xyz** oder das links gezeigte Kontextmenü einblenden.

Bei gekrümmten Flächen beziehen sich die Flächenachsen auf die Achsen der finiten Elemente (siehe [Bild 8.41](#)).

8.14



Flächen - globale Verformungen

Die auf die globalen Achsen X, Y und Z bezogenen Flächenverschiebungen und -verdrehungen werden über den Eintrag *Verformungen* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Tabelle 4.14 gibt die globalen Verformungen der Flächen in numerischer Form aus.

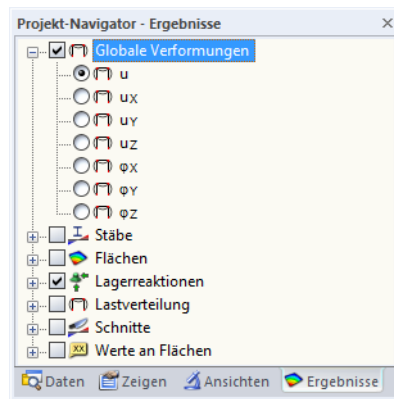


Bild 8.37 Ergebnisse-Navigator: Globale Verformungen

4.14 Flächen - globale Verformungen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Verschiebungen [mm]				Verdrehungen [mrad]		
		X	Y	Z	u	ux	uy	uz	phiX	phiY	phiZ
1	1	0.000	0.000	0.000	1.3	-0.8	1.0	0.3	2.6	-0.9	-0.3
2	2	0.500	0.000	0.000	2.0	-0.8	1.0	1.5	3.7	-3.6	-0.1
3	3	1.000	0.000	0.000	3.7	-0.8	0.9	3.5	3.2	-3.9	-0.1
4	4	1.500	0.000	0.000	5.5	-0.7	0.9	5.4	2.7	-3.6	-0.1
5	5	2.000	0.000	0.000	7.1	-0.7	0.8	7.1	2.3	-2.9	-0.1
6	6	2.500	0.000	0.000	8.4	-0.7	0.8	8.3	2.0	-2.0	-0.1
7	7	3.000	0.000	0.000	9.1	-0.7	0.7	9.0	1.9	-0.9	-0.1
8	8	3.500	0.000	0.000	9.2	-0.7	0.7	9.2	1.8	0.3	-0.1
9	9	4.000	0.000	0.000	8.8	-0.7	0.6	8.7	1.7	1.4	-0.1
10	10	4.500	0.000	0.000	7.8	-0.7	0.6	7.8	1.7	2.4	-0.1
11	11	5.000	0.000	0.000	6.5	-0.7	0.6	6.4	1.7	3.1	-0.1
12	12	5.500	0.000	0.000	4.8	-0.7	0.5	4.8	1.7	3.4	-0.1
13	13	6.000	0.000	0.000	3.2	-0.7	0.5	3.0	1.7	3.4	-0.1
14	14	6.500	0.000	0.000	1.7	-0.7	0.5	1.5	1.8	2.7	-0.1

Flächen - lokale Verformungen | Flächen - globale Verformungen | Flächen - Grundschnittgrößen | Flächen - Hauptschnittgrößen

Bild 8.38 Tabelle 4.14 Flächen - globale Verformungen

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.13 *Flächen - lokale Verformungen*.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Flächenverformungen bedeuten im Einzelnen:

u	Absolute Gesamtverschiebung (nicht für Ergebniskombinationen)
ux	Verschiebung der Fläche in Richtung der globalen X-Achse
uy	Verschiebung der Fläche in Richtung der globalen Y-Achse
uz	Verschiebung der Fläche in Richtung der globalen Z-Achse
phiX	Verdrehung der Fläche um die globale X-Achse
phiY	Verdrehung der Fläche um die globale Y-Achse
phiZ	Verdrehung der Fläche um die globale Z-Achse

Tabelle 8.7 Globale Flächenverformungen

8.15

Flächen - Grundschnittgrößen

Die grafische Anzeige der Grundschnittgrößen wird über den Eintrag **Flächen** → **Grundschnittgrößen** im **Ergebnisse-Navigator** gesteuert. Die Tabelle 4.15 gibt die Grundschnittgrößen der Flächen in numerischer Form aus.

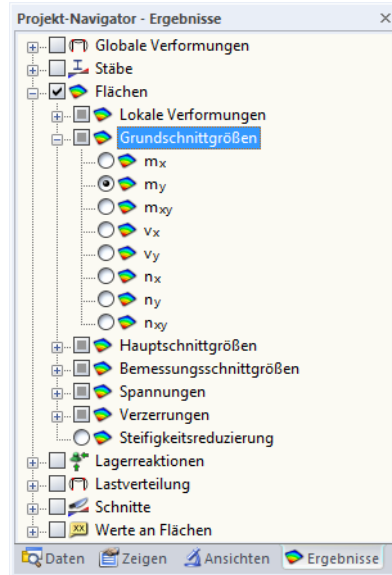


Bild 8.39 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Grundschnittgrößen

4.15 Flächen - Grundschnittgrößen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Momente [kNm/m]			Querkräfte [kN/m]		Normalkräfte [kN/m]		
		X	Y	Z	m _x	m _y	m _{xy}	v _x	v _y	n _x	n _y	n _{xy}
1	1	0.000	0.000	0.000	-180.65	-98.56	-108.87	713.38	272.97	189.78	-78.01	38.39
2	2	0.500	0.000	0.000	-76.26	-9.17	-15.12	354.31	134.57	159.46	91.89	63.43
3	3	1.000	0.000	0.000	0.13	-1.53	13.70	157.73	24.53	90.74	0.91	-1.72
4	4	1.500	0.000	0.000	22.99	1.88	11.24	123.02	8.43	66.98	-1.35	0.62
5	5	2.000	0.000	0.000	35.57	1.78	9.47	87.44	8.77	62.36	-0.39	-0.79
6	6	2.500	0.000	0.000	44.12	1.22	5.94	53.75	6.00	62.15	-0.86	-0.70
7	7	3.000	0.000	0.000	50.75	1.04	4.72	23.75	0.65	62.60	0.81	-0.71
8	8	3.500	0.000	0.000	52.26	0.16	1.56	5.81	2.52	61.29	0.38	0.73
9	9	4.000	0.000	0.000	46.40	0.53	1.51	-7.23	0.65	59.99	-0.48	-0.35
10	10	4.500	0.000	0.000	36.70	-0.09	0.98	-18.16	1.90	62.22	1.30	1.33
11	11	5.000	0.000	0.000	23.84	-0.14	0.00	-21.47	1.39	66.80	-1.25	0.58
12	12	5.500	0.000	0.000	7.31	0.21	-0.74	-43.21	0.52	76.92	1.58	0.35
13	13	6.000	0.000	0.000	-13.86	0.11	-0.83	-64.61	0.18	72.31	2.55	3.11
14	14	6.500	0.000	0.000	-46.36	-0.44	1.00	-65.75	-3.93	-27.58	-2.63	6.87

Bild 8.40 Tabelle 4.15 Flächen - Grundschnittgrößen

Die Grundschnittgrößen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im [Kapitel 8.13](#).

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben. Bei einem Klick in eine Tabellenzeile wird dieser Rasterpunkt im Arbeitsfenster mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Momente / Querkräfte / Normalkräfte

Flächenschnittgrößen werden — im Unterschied zu Stabschnittgrößen — mit kleinen Buchstaben symbolisiert. Aus der Integraldefinition der Biegemomente m_x und m_y geht hervor, dass die Momente auf die Richtungen der Flächenachsen bezogen sind, in die die entsprechenden Normalspannungen erzeugt werden. Die Flächenachsen lassen sich über das Flächen-Kontextmenü anzeigen (siehe Bild 4.122 [2]).

Bei gekrümmten Flächen sind die Schnittgrößen auf die lokalen Achsen der einzelnen finiten Elemente bezogen. Sie können über den Zeigen-Navigator eingblendet werden:

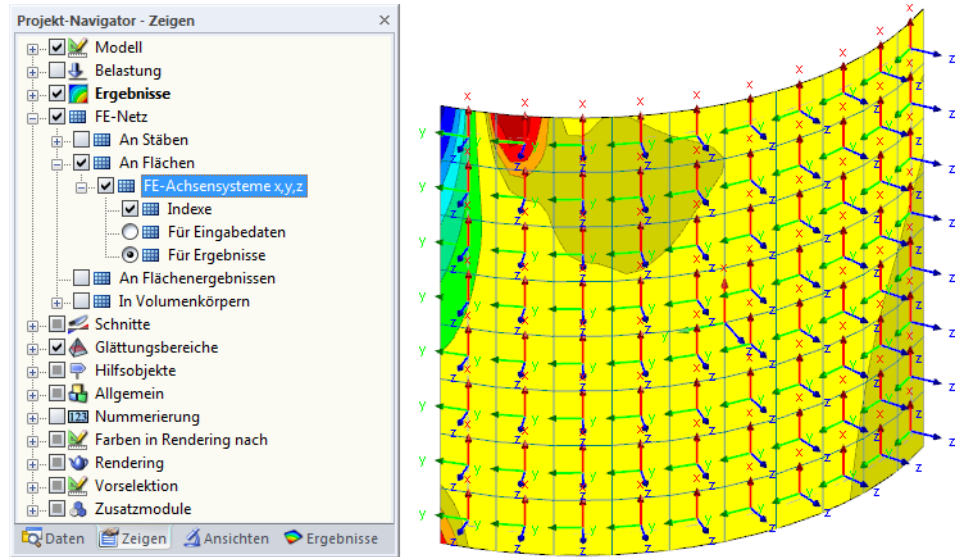


Bild 8.41 Zeigen-Navigator: FE-Achsensysteme x,y,z



Es besteht ein grundsätzlicher Unterschied beim Verständnis von Flächen- und Stabschnittgrößen: Während ein Stabmoment M_y um die lokale Stabachse y „dreht“, wirkt ein Flächenmoment m_y in Richtung der lokalen Flächenachse y , d. h. um die Achse x dieser Fläche.

Das folgende Bild veranschaulicht die Definition der Flächen-Grundschnittgrößen.

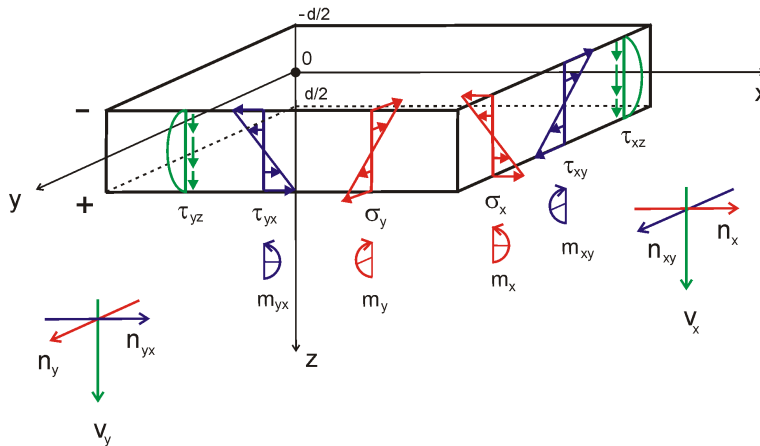


Bild 8.42 Flächenschnittgrößen und Flächenspannungen

Die Momente sowie die Schubspannungen rechtwinklig zur Fläche weisen einen parabolischen Verlauf über die Flächendicke auf.



Anhand der Vorzeichen ist erkennbar, auf welcher Flächenseite die Schnittgröße vorliegt. Die Vorzeichen sind jedoch auch von der Orientierung der globalen Z-Achse abhängig: Zeigt die globale Z-Achse nach unten (Standard), so erzeugen positive Schnittgrößen Zugspannungen auf der positiven

Flächenseite (d. h. in Richtung der positiven Flächenachse z). Sie werden in der Tabelle durch blaue Balken visualisiert. Negative Schnittgrößen führen zu Druckspannungen auf der positiven Flächenseite. Sie sind in der Tabelle durch rote Balken gekennzeichnet.

Ist die globale Z-Achse nach **oben** ausgerichtet, kehren sich die Vorzeichen der Biegemomente und Querkräfte um.

Die Grundschnittgrößen werden bei **nach unten zeigender Z-Achse** wie folgt ermittelt:

m_x	Biegemoment, das Spannungen in Richtung der lokalen x-Achse erzeugt $m_x = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_x z \, dz$
m_y	Biegemoment, das Spannungen in Richtung der lokalen y-Achse erzeugt $m_y = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_y z \, dz$
m_{xy}	Drillmoment $m_{xy} = m_{yx} = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xy} z \, dz$
v_x	Querkraft v_x $v_x = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xz} \, dz$
v_y	Querkraft v_y $v_y = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{yz} \, dz$
n_x	Normalkraft in Richtung der lokalen x-Achse $n_x = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_x \, dz$
n_y	Normalkraft in Richtung der lokalen y-Achse $n_y = \int_{-d/2}^{d/2} \sigma_y \, dz$

n_{xy}	Schubfluss $n_{xy} = \int_{-d/2}^{d/2} \tau_{xy} dz$
----------	---

Tabelle 8.8 Grundschnittgrößen

8.16

Flächen - Hauptschnittgrößen

Die grafische Anzeige der Hauptschnittgrößen wird über den Eintrag **Flächen** → **Hauptschnittgrößen** im *Ergebnisse-Navigator* gesteuert. Die Tabelle 4.16 gibt die Hauptschnittgrößen der Flächen in numerischer Form aus.

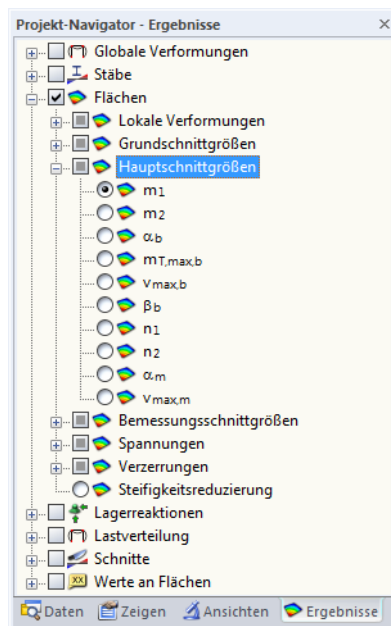


Bild 8.43 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Hauptschnittgrößen

4.16 Flächen - Hauptschnittgrößen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	Flasterpunkt	Flasterpunkt-Koordinaten [m]			Momente [kNm/m]				Querkräfte [kN/m]				Normalkräfte [kN/m]			
		A X	B Y	C Z	m1	m2	α _b [°]	m _{T,max,b}	V _{max,b}	β _b [°]	n1	n2	α _m [°]	V _{max,m}		
1	1	0.000	0.000	0.000	-23.26	-255.96	-55.33	116.35	763.82	20.94	195.18	-83.41	8.00	139.29		
2	0.500	0.000	0.000	-5.92	-79.51	-77.87	36.80	379.00	20.80	197.54	53.81	30.98	71.86			
3	1.000	0.000	0.000	13.03	-14.42	43.27	13.73	159.63	8.84	90.77	0.88	-1.09	44.95			
4	1.500	0.000	0.000	27.85	-2.98	23.40	15.42	123.31	3.92	66.98	-1.35	0.52	34.17			
5	2.000	0.000	0.000	38.04	-0.69	14.63	19.37	87.88	5.73	62.37	-0.40	-0.73	31.38			
6	2.500	0.000	0.000	44.93	0.41	7.73	22.26	54.09	6.37	62.16	-0.87	-0.64	31.51			
7	3.000	0.000	0.000	51.20	0.59	5.38	25.30	23.76	1.56	62.61	0.80	-0.66	30.91			
8	3.500	0.000	0.000	52.31	0.11	1.72	26.10	6.33	23.45	61.30	0.37	0.69	30.47			
9	4.000	0.000	0.000	46.45	0.48	1.88	22.98	7.26	174.83	60.00	-0.48	-0.33	30.24			
10	4.500	0.000	0.000	36.72	-0.12	1.52	18.42	18.26	174.03	62.25	1.27	1.25	30.49			
11	5.000	0.000	0.000	23.84	-0.15	-0.14	11.99	21.52	176.13	66.81	-1.25	0.50	34.03			
12	5.500	0.000	0.000	7.76	-0.24	-22.15	4.00	43.22	179.16	76.92	1.57	0.24	37.68			
13	6.000	0.000	0.000	0.16	-13.91	-86.42	7.04	64.61	179.83	72.45	2.41	2.56	35.02			
14	6.500	0.000	0.000	-0.42	-46.38	88.77	22.98	66.07	-175.60	14.96	-45.16	40.64	30.06			

Bild 8.44 Tabelle 4.16 Flächen - Hauptschnittgrößen

Die Hauptschnittgrößen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.15 *Flächen - Grundschnittgrößen*.

Momente / Querkräfte / Normalkräfte

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen *Grundschnittgrößen* beziehen sich auf das mehr oder weniger frei angelegte xyz-Koordinatensystem einer Fläche. Die *Hauptschnittgrößen* hingegen stellen die Extremwerte der Schnittgrößen in einem Flächenelement dar. Hierfür werden die Grundschnittgrößen in die Richtungen der beiden Hauptachsen transformiert. Die Hauptachsen 1 (Maximalwert) und 2 (Minimalwert) sind orthogonal angeordnet.

Die Hauptschnittgrößen werden aus den Grundschnittgrößen ermittelt:

m_1	Biegemoment in Richtung der Hauptachse 1 $\frac{1}{2}(m_x + m_y + \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2})$
m_2	Biegemoment in Richtung der Hauptachse 2 $\frac{1}{2}(m_x + m_y - \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2})$
α_b	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) $\frac{1}{2} \left[\arctan \left(\frac{2m_{xy}}{m_x - m_y} \right) \right]$
$m_{\tau, \max, b}$	Maximales Torsionsmoment $\frac{\sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4m_{xy}^2}}{2}$
$v_{\max, b}$	Maximale resultierende Querkraft aus Biegeanteilen $v_{\max, b} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$
β_b	Winkel zwischen Hauptquerkraft $v_{\max, b}$ und der lokalen Achse x $\beta = \arctan \frac{v_y}{v_x}$

n_1	<p>Normalkraft in Richtung der Hauptachse 1</p> $\frac{1}{2}(n_x + n_y + \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4n_{xy}^2})$
n_2	<p>Normalkraft in Richtung der Hauptachse 2</p> $\frac{1}{2}(n_x + n_y - \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4n_{xy}^2})$
α_m	<p>Winkel zwischen der Achse x und der Hauptachse 1 (für Normalkraft n_1)</p> $\frac{1}{2} \left[\arctan \left(\frac{2n_{xy}}{n_x - n_y} \right) \right]$
$v_{max,m}$	<p>Maximale Querkraft aus Membrananteilen</p> $\frac{\sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4n_{xy}^2}}{2}$

Tabelle 8.9 Hauptschnittgrößen

Die Hauptachsenrichtungen α_b (für Biegemomente), β_b (für Querkräfte) und α_m (für Normalkräfte) können im Arbeitsfenster als Trajektorien angezeigt werden.

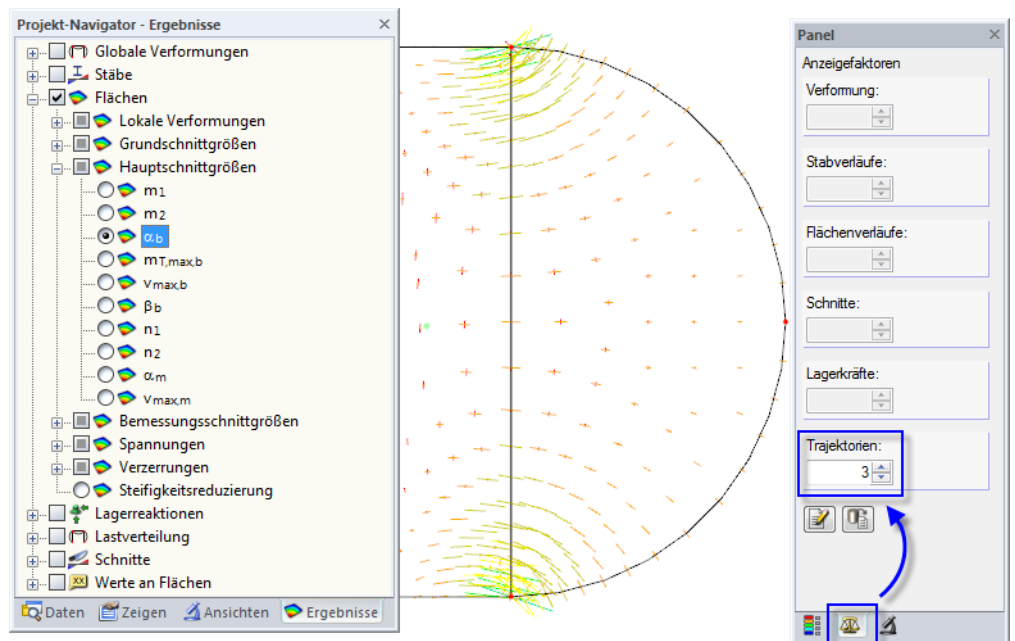


Bild 8.45 Trajektorien der Hauptachsen

In der Darstellung z. B. des Winkels α_b wird auch die Größe der jeweiligen Hauptmomente ersichtlich, da die Trajektorien auf die Werte der Momente m_1 und m_2 skaliert sind.

8.17

Flächen - Bemessungsschnittgrößen

Die grafische Anzeige der Bemessungsschnittgrößen wird über den Eintrag **Flächen** → **Bemessungsschnittgrößen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Die Tabelle 4.17 gibt die Bemessungsschnittgrößen der Flächen in numerischer Form aus.

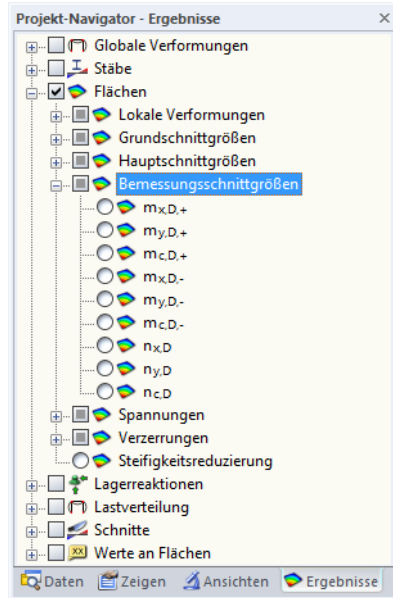


Bild 8.46 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Bemessungsschnittgrößen

4.17 Flächen - Bemessungsschnittgrößen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	A Rasterpunkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			G Momente [kNm/m]						K Normalkräfte [kN/m]		
		X	Y	Z	m _{x,D+}	m _{y,D+}	m _{o,D+}	m _{x,D-}	m _{y,D-}	m _{o,D-}	n _{x,D}	n _{y,D}	n _{o,D}
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00	-32.95	-246.26	289.52	207.43	-217.74	208.67	0.00	-96.91
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00	-6.17	-79.26	91.38	24.29	-30.24	222.89	155.32	-126.85
3	3	1.000	0.000	0.000	13.84	12.18	-27.41	13.57	15.23	-27.41	92.45	2.63	-3.43
4	4	1.500	0.000	0.000	34.22	13.11	-22.47	0.00	3.61	-28.48	67.26	0.00	-1.63
5	5	2.000	0.000	0.000	45.04	11.24	-18.93	0.00	0.74	-38.09	63.15	0.40	-1.59
6	6	2.500	0.000	0.000	50.06	7.16	-11.87	0.00	-0.42	-44.92	62.73	0.00	-1.44
7	7	3.000	0.000	0.000	55.47	5.76	-9.44	0.00	-0.60	-51.19	63.31	1.52	-1.42
8	8	3.500	0.000	0.000	53.83	1.72	-3.13	0.00	-0.11	-52.31	62.02	1.11	-1.46
9	9	4.000	0.000	0.000	47.90	2.04	-3.01	0.00	-0.49	-46.45	60.25	0.00	-0.73
10	10	4.500	0.000	0.000	37.68	0.89	-1.95	0.00	0.12	-36.73	63.55	2.63	-2.66
11	11	5.000	0.000	0.000	23.93	0.08	-0.31	0.00	0.15	-23.84	67.08	0.21	-1.73
12	12	5.500	0.000	0.000	8.05	0.95	-1.48	0.38	0.15	-8.05	77.53	2.18	-1.22
13	13	6.000	0.000	0.000	0.00	0.16	-13.91	14.69	0.72	-1.66	75.43	5.67	-6.23
14	14	6.500	0.000	0.000	0.00	-0.42	-46.38	47.36	1.44	-2.00	15.19	4.72	-50.11
15	15	7.000	0.000	0.000	13.56	6.87	-119.82	119.48	66.96	-87.06	215.82	723.61	-701.72

Bild 8.47 Tabelle 4.17 Flächen - Bemessungsschnittgrößen

Die Bemessungsschnittgrößen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 8.13.

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Momente / Normalkräfte

Die in der Tabelle ausgewiesenen Bemessungsmomente und -normalkräfte basieren auf den in DIN V ENV 1992-1-1, Anhang 2, A 2.8 und A 2.9 vorgestellten Verfahren. Damit steht Anwendern ohne Zugriff auf das Bemessungsmodul RF-BETON Flächen ein Hilfsmittel für die manuelle Stahlbetonbemessung zur Verfügung. Da RF-BETON Flächen das Verfahren nach Baumann nutzt, finden die RFEM-Bemessungsschnittgrößen in diesem Zusatzmodul keine Anwendung.



Die Bemessungsmomente und -normalkräfte der Tabelle 4.17 dürfen **nicht** kombiniert werden! Wie in DIN V ENV 1992-1-1, Anhang 2.8 dargelegt, sind die Momente ausschließlich auf Plattenbewehrungen bezogen; den Normalkräften liegt die Bemessung von Scheibenelementen des Anhangs 2.9 zugrunde.

Die Bemessungsschnittgrößen bedeuten im Einzelnen:

$m_{x,D+}$	<p>Bemessungsmoment in Richtung der lokalen x-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)</p> $m_x + m_{xy} $ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_x \geq - m_{xy}$ für $m_x > m_y$ und $m_y \geq - m_{xy}$ 0 für $m_x \leq m_y$ und $m_x < - m_{xy}$</p> $m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>für $m_x > m_y$ und $m_y < - m_{xy}$</p>
$m_{y,D+}$	<p>Bemessungsmoment in Richtung der lokalen y-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)</p> $m_y + m_{xy} $ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_x \geq - m_{xy}$ für $m_x > m_y$ und $m_y \geq - m_{xy}$</p> $m_y + \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_x < - m_{xy}$ 0 für $m_x > m_y$ und $m_x < - m_{xy}$</p>

$m_{c,D+}$	<p>Bemessungsmoment zum Nachweis der Betonspannung auf der positiven Flächenseite</p> $-2 m_{xy} $ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_x \geq - m_{xy}$ für $m_x > m_y$ und $m_y \geq - m_{xy}$</p> $m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_x < - m_{xy}$</p> $m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>für $m_x > m_y$ und $m_x < - m_{xy}$</p>
$m_{x,D-}$	<p>Bemessungsmoment in Richtung der x-Achse auf der negativen Flächenseite</p> $-m_x + m_{xy} $ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_y \leq m_{xy}$ für $m_x > m_y$ und $m_x \leq m_{xy}$</p> $-m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_y > m_{xy}$ 0 für $m_x > m_y$ und $m_x > m_{xy}$</p>
$m_{y,D-}$	<p>Bemessungsmoment in Richtung der y-Achse auf der negativen Flächenseite</p> $-m_y + m_{xy} $ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_y \leq m_{xy}$ für $m_x > m_y$ und $m_x \leq m_{xy}$ 0 für $m_x \leq m_y$ und $m_y > m_{xy}$</p> $-m_y + \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>für $m_x > m_y$ und $m_x > m_{xy}$</p>

m _{c,D-}	<p>Bemessungsmoment zum Nachweis der Betonspannung auf der negativen Flächenseite</p> $-2 m_{xy} $ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_y \leq m_{xy}$ für $m_x > m_y$ und $m_x \leq m_{xy}$</p> $-m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y }$ <p>für $m_x \leq m_y$ und $m_y > m_{xy}$</p> $-m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x }$ <p>für $m_x > m_y$ und $m_x > m_{xy}$</p>
n _{x,D}	<p>Bemessungskraft in Richtung der lokalen x-Achse</p> $n_x + n_{xy} $ <p>für $n_x \leq n_y$ und $n_x \geq - n_{xy}$ für $n_x > n_y$ und $n_y \geq - n_{xy}$ 0 für $n_x \leq n_y$ und $n_x < - n_{xy}$</p> $n_x + \frac{n_{xy}^2}{ n_y }$ <p>für $n_x > n_y$ und $n_y < - n_{xy}$</p>
n _{y,D}	<p>Bemessungskraft in Richtung der lokalen y-Achse</p> $n_y + n_{xy} $ <p>für $n_x \leq n_y$ und $n_x \geq - n_{xy}$ für $n_x > n_y$ und $n_y \geq - n_{xy}$</p> $n_y + \frac{n_{xy}^2}{ n_x }$ <p>für $n_x \leq n_y$ und $n_x < - n_{xy}$ 0 für $n_x > n_y$ und $n_y < - n_{xy}$</p>

$n_{c,D}$	Bemessungskraft zum Nachweis der Betonspannung $-2 n_{xy} $ für $n_x \leq n_y$ und $n_x \geq - n_{xy} $ für $n_x > n_y$ und $n_y \geq - n_{xy} $ $- n_x - \frac{n_{xy}^2}{ n_x }$ für $n_x \leq n_y$ und $n_x < - n_{xy} $ $- n_y - \frac{n_{xy}^2}{ n_y }$ für $n_x > n_y$ und $n_y < - n_{xy} $
-----------	---

Tabelle 8.10 Bemessungsschnittgrößen

8.18

Flächen - Grundspannungen

Die grafische Anzeige der Grundspannungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im **Ergebnisse-Navigator** gesteuert. Die Tabelle 4.18 gibt die Grundspannungen der Flächen in numerischer Form aus.

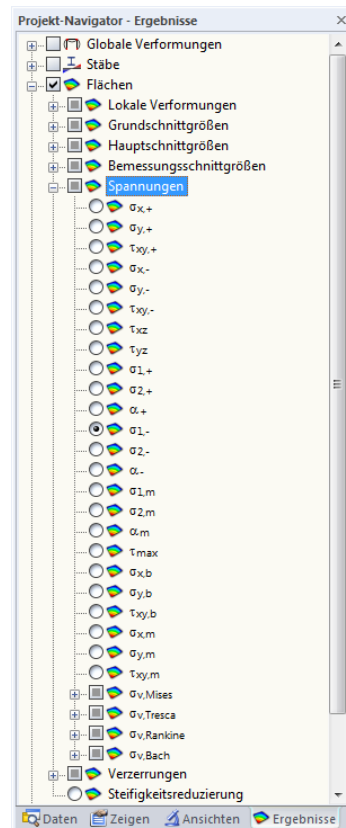


Bild 8.48 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Spannungen

4.18 Flächen - Grundspannungen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	A Rasterpunkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			F Normalspannungen [N/mm ²]				J Schubspannungen [N/mm ²]			
		X	Y	Z	$\sigma_{x,+}$	$\sigma_{y,+}$	$\sigma_{x,-}$	$\sigma_{y,-}$	$\tau_{xy,+}$	$\tau_{xy,-}$	τ_{xz}	τ_{yz}
1	1	0.000	0.000	0.000	-26.15	-15.17	28.05	14.39	-16.14	16.52	5.35	2.05
2	2	0.500	0.000	0.000	-10.64	-0.92	12.24	1.84	-1.95	2.59	2.66	1.01
3	3	1.000	0.000	0.000	0.47	-0.22	0.43	0.23	2.05	-2.06	1.18	0.18
4	4	1.500	0.000	0.000	3.78	0.27	-3.11	-0.29	1.69	-1.68	0.92	0.06
5	5	2.000	0.000	0.000	5.65	0.26	-5.02	-0.27	1.42	-1.42	0.66	0.07
6	6	2.500	0.000	0.000	6.93	0.18	-6.31	-0.19	0.89	-0.89	0.40	0.04
7	7	3.000	0.000	0.000	7.93	0.16	-7.30	-0.15	0.70	-0.71	0.18	0.00
8	8	3.500	0.000	0.000	8.15	0.03	-7.53	-0.02	0.24	-0.23	0.04	0.02
9	9	4.000	0.000	0.000	7.26	0.08	-6.66	-0.08	0.22	-0.23	-0.05	0.00
10	10	4.500	0.000	0.000	5.82	-0.01	-5.19	0.02	0.15	-0.14	-0.14	0.01
11	11	5.000	0.000	0.000	3.91	-0.03	-3.24	0.02	0.00	0.00	-0.16	0.01
12	12	5.500	0.000	0.000	1.48	0.04	-0.71	-0.02	-0.11	0.11	-0.32	0.00
13	13	6.000	0.000	0.000	-1.72	0.03	2.44	-0.00	-0.11	0.14	-0.48	0.00

Bild 8.49 Tabelle 4.18 Flächen - Grundspannungen

Die Grundspannungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 8.13.

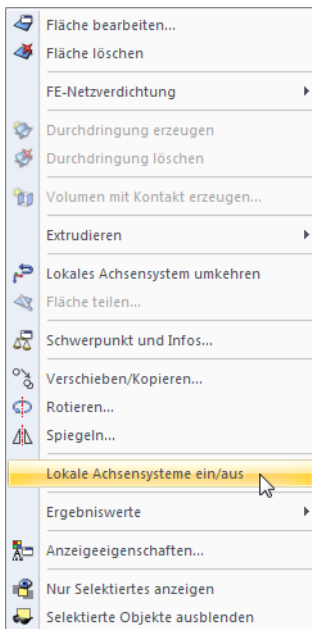
Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Grundspannungen

Die Spannungen sind auf die Richtungen der lokalen Flächenachsen bezogen. Bei gekrümmten Flächen beziehen sie sich auf die lokalen Achsen der einzelnen finiten Elemente (siehe Bild 8.41).

Die Grundspannungen sind im Bild 8.42 dargestellt. Sie bedeuten im Einzelnen:



Flächen-Kontextmenü

$\sigma_{x,+}$	Spannung in Richtung der lokalen x-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{d} + \frac{6 m_x}{d^2}$ mit d: Dicke der Fläche
$\sigma_{y,+}$	Spannung in Richtung der lokalen y-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{d} + \frac{6 m_y}{d^2}$

$\sigma_{x,-}$	Spannung in Richtung der x-Achse auf der negativen Flächenseite $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{d} - \frac{6 m_x}{d^2}$
$\sigma_{y,-}$	Spannung in Richtung der y-Achse auf der negativen Flächenseite $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{d} - \frac{6 m_y}{d^2}$
$\tau_{xy,+}$	Drillspannung an der positiven Flächenseite $\tau_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{d} + \frac{6 m_{xy}}{d^2}$
$\tau_{xy,-}$	Drillspannung an der negativen Flächenseite $\tau_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{d} - \frac{6 m_{xy}}{d^2}$
τ_{xz}	Schubspannung rechtwinklig zur Fläche in Richtung der x-Achse $\frac{3 v_x}{2 d}$ mit d : Dicke der Fläche
τ_{yz}	Schubspannung rechtwinklig zur Fläche in Richtung der y-Achse $\frac{3 v_y}{2 d}$

Tabelle 8.11 Grundspannungen

8.19

Flächen - Hauptspannungen

Die grafische Anzeige der Hauptspannungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im **Ergebnisse-Navigator** gesteuert (siehe Bild 8.48). Die Tabelle 4.19 gibt die Hauptspannungen der Flächen in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Hauptspannungen [N/mm ²]									
		X	Y	Z	$\sigma_{1,+}$	$\sigma_{2,+}$	α [°]	$\sigma_{1,-}$	$\sigma_{2,-}$	α [°]	$\sigma_{1,m}$	$\sigma_{2,m}$	α_m	τ_{max}
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-3.8	-37.5	-53.95	38.8	3.5	34.24	1.0	-0.4	8.16	5.7
2	0.500	0.000	0.000	0.000	-0.5	-10.9	-78.64	12.7	1.2	13.55	1.0	0.3	30.89	2.8
3	1.000	0.000	0.000	0.000	2.2	-1.9	39.83	2.3	-1.8	-44.08	0.4	0.0	-1.10	1.2
4	1.500	0.000	0.000	0.000	4.5	-0.4	21.76	0.5	-3.9	-65.33	0.3	-0.0	0.49	0.9
5	2.000	0.000	0.000	0.000	6.0	-0.1	13.70	0.1	-5.5	-74.79	0.3	-0.0	-0.72	0.7
6	2.500	0.000	0.000	0.000	7.1	0.1	7.20	-0.1	-6.5	-82.07	0.3	-0.0	-0.59	0.4
7	3.000	0.000	0.000	0.000	8.0	0.1	4.99	-0.1	-7.4	-84.55	0.3	0.0	-0.66	0.2
8	3.500	0.000	0.000	0.000	8.2	0.0	1.53	-0.0	-7.6	-88.40	0.3	0.0	0.58	0.0
9	4.000	0.000	0.000	0.000	7.3	0.1	1.62	-0.1	-6.7	-88.19	0.3	-0.0	-0.42	0.1
10	4.500	0.000	0.000	0.000	5.9	-0.0	1.30	0.0	-5.2	-88.68	0.3	0.0	1.19	0.1
11	5.000	0.000	0.000	0.000	3.9	-0.0	-0.31	0.0	-3.3	89.44	0.3	-0.0	0.60	0.2
12	5.500	0.000	0.000	0.000	1.5	0.0	-9.22	0.2	-0.9	62.35	0.4	0.0	0.39	0.3
13	6.000	0.000	0.000	0.000	0.0	-1.7	-85.58	2.4	-0.0	3.87	0.4	0.0	2.96	0.5
14	6.500	0.000	0.000	0.000	-0.1	-6.9	88.35	6.8	0.0	-0.63	0.1	-0.2	34.20	0.5
15	7.000	0.000	0.000	0.000	-1.2	-18.1	66.72	15.3	-0.5	-33.31	0.6	-2.9	-89.80	2.0

Bild 8.50 Tabelle 4.19 Flächen - Hauptspannungen

Die Hauptspannungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.18 *Flächen - Grundspannungen*.

Hauptspannungen

Die im Kapitel 8.18 beschriebenen Grundspannungen beziehen sich auf das xyz-Koordinatensystem der Flächen. Die Hauptspannungen hingegen stellen die Extremwerte der Spannungen in einem Flächenelement dar. Die Hauptachsen 1 (Maximalwert) und 2 (Minimalwert) sind orthogonal angeordnet.

Die Hauptachsenrichtungen α können im Arbeitsfenster als Trajektorien angezeigt werden (siehe Bild 8.45).

Die Hauptspannungen werden aus den Grundspannungen ermittelt:

$\sigma_{1,+}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 an der positiven Flächenseite (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{1,+} = \frac{1}{2}(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2})$
$\sigma_{2,+}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 an der positiven Flächenseite (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{2,+} = \frac{1}{2}(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} - \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2})$

α_+	<p>Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der positiven Flächenseite</p> $\alpha_+ = \frac{1}{2} \operatorname{atan2} \left(\frac{2 \tau_{xy,+}}{\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+}} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$
$\sigma_{1,-}$	<p>Spannung in Richtung der Hauptachse 1 an der negativen Flächenseite</p> $\sigma_{1,-} = \frac{1}{2} (\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \tau_{xy,-}^2})$
$\sigma_{2,-}$	<p>Spannung in Richtung der Hauptachse 2 an der negativen Flächenseite</p> $\sigma_{2,-} = \frac{1}{2} (\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} - \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \tau_{xy,-}^2})$
α_-	<p>Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der negativen Flächenseite</p> $\alpha_- = \frac{1}{2} \operatorname{atan2} \left(\frac{2 \tau_{xy,-}}{\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-}} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$
$\sigma_{1,m}$	<p>Membranspannung in Richtung der Hauptachse 1</p> $\sigma_{1,m} = \frac{1}{2} (\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \tau_{xy,m}^2})$
$\sigma_{2,m}$	<p>Membranspannung in Richtung der Hauptachse 2</p> $\sigma_{2,m} = \frac{1}{2} (\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} - \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \tau_{xy,m}^2})$
α_m	<p>Winkel zwischen der lokalen Achse x und der Hauptachse 1 für die Membranspannungen</p> $\alpha_m = \frac{1}{2} \operatorname{atan2} \left(\frac{2 \cdot \tau_{xy,m}}{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}} \right) \in (-90^\circ, 90^\circ]$
τ_{\max}	<p>Maximale Schubspannung senkrecht zur Fläche</p> $\tau_{\max} = \sqrt{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2}$

Tabelle 8.12 Hauptspannungen

8.20

Flächen - Weitere Spannungen

Die grafische Anzeige der Spannungsanteile infolge der Biegemomente und Membrankräfte wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert (siehe [Bild 8.48](#)). Die Tabelle 4.20 gibt diese Spannungen in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Spannungen inf. Biegemomente [N/mm ²]			Spannungen inf. Normalkräfte [N/mm ²]		
		X	Y	Z	$\sigma_{x,b}$	$\sigma_{y,b}$	$\tau_{xy,b}$	$\sigma_{x,m}$	$\sigma_{y,m}$	$\tau_{xy,m}$
1		0.000	0.000	0.000	-27.10	-14.78	-16.33	0.95	-0.39	0.19
2		0.500	0.000	0.000	-11.44	-1.38	-2.27	0.80	0.46	0.32
3		1.000	0.000	0.000	0.02	-0.23	2.06	0.45	0.00	-0.01
4		1.500	0.000	0.000	3.45	0.28	1.69	0.33	-0.01	0.00
5		2.000	0.000	0.000	5.34	0.27	1.42	0.31	0.00	0.00
6		2.500	0.000	0.000	6.62	0.18	0.89	0.31	0.00	0.00
7		3.000	0.000	0.000	7.61	0.16	0.71	0.31	0.00	0.00
8		3.500	0.000	0.000	7.84	0.02	0.23	0.31	0.00	0.00
9		4.000	0.000	0.000	6.96	0.08	0.23	0.30	0.00	0.00
10		4.500	0.000	0.000	5.50	-0.01	0.15	0.31	0.01	0.01
11		5.000	0.000	0.000	3.58	-0.02	0.00	0.33	-0.01	0.00
12		5.500	0.000	0.000	1.10	0.03	-0.11	0.38	0.01	0.00

Bild 8.51 Tabelle 4.20 Flächen - Weitere Spannungen

Die weiteren Spannungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im [Kapitel 8.13](#).

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Spannungen infolge Biegemomente / Normalkräfte

Die Spannungen sind auf die Richtungen der lokalen Flächenachsen bezogen. Bei gekrümmten Flächen beziehen sie sich auf die Achsen der finiten Elemente (siehe [Bild 8.41](#)).

Die Spannungen bedeuten im Einzelnen:

$\sigma_{x,b}$	Spannung infolge Biegemoment m_x $\sigma_{x,b} = \frac{6 m_x}{d^2}$ mit d : Dicke der Fläche
$\sigma_{y,b}$	Spannung infolge Biegemoment m_y $\sigma_{y,b} = \frac{6 m_y}{d^2}$

$\tau_{xy,b}$	Spannung infolge Drillmoment m_{xy} $\tau_{xy,b} = \frac{6 m_{xy}}{d^2}$
$\sigma_{x,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_x $\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{d}$
$\sigma_{y,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_y $\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{d}$
$\tau_{xy,m}$	Membranspannung infolge Schubfluss n_{xy} $\tau_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{d}$

Tabelle 8.13 Weitere Spannungen

8.21

Flächen - Kontaktspannungen

Wenn das Modell Flächenlager enthält (siehe [Kapitel 4.9](#)), werden die Kontaktspannungen („Sohlpressungen“) der Flächen in Tabelle 4.21 numerisch ausgegeben. Die grafische Anzeige der Ergebnisse wird über den Eintrag **Flächen** → **Kontaktspannungen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert.

Liegt eine 2D-Platte vor, so wird nur die Ergebnisspalte σ_z angezeigt.

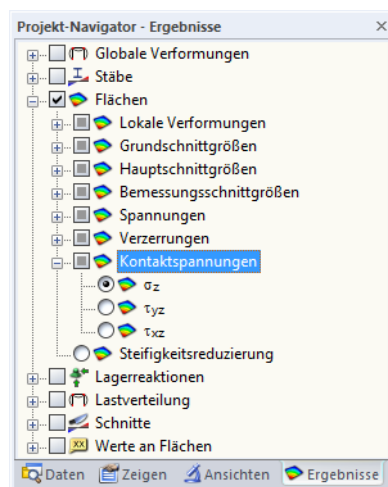


Bild 8.52 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Kontaktspannungen

4.21 Flächen - Kontaktspannungen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	A Rasterpunkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			G Kontaktspannungen [kN/m ²]		
		X	Y	Z	σ_z	τ_{yz}	τ_{xz}
1	1	0.000	0.000	0.000	4.23	0.80	-1.41
2	2	0.500	0.000	0.000	3.80	0.71	-1.38
3	3	1.000	0.000	0.000	5.47	0.66	-1.36
4	4	1.500	0.000	0.000	7.76	0.61	-1.34
5	5	2.000	0.000	0.000	9.67	0.57	-1.33
6	6	2.500	0.000	0.000	11.05	0.54	-1.32
7	7	3.000	0.000	0.000	11.93	0.50	-1.31
8	8	3.500	0.000	0.000	12.40	0.47	-1.31
9	9	4.000	0.000	0.000	12.52	0.44	-1.30
10	10	4.500	0.000	0.000	12.28	0.42	-1.29
11	11	5.000	0.000	0.000	11.52	0.39	-1.29
12	12	5.500	0.000	0.000	9.99	0.37	-1.29
13	13	6.000	0.000	0.000	7.69	0.35	-1.28
14	14	6.500	0.000	0.000	4.74	0.33	-1.28

Flächen - Hauptspannungen | Flächen - Weitere Spannungen | Flächen - Kontaktspannungen | Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises

Bild 8.53 Tabelle 4.21 Flächen - Kontaktspannungen

Die Kontaktspannungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 8.13.

Rasterpunkt-Koordinaten

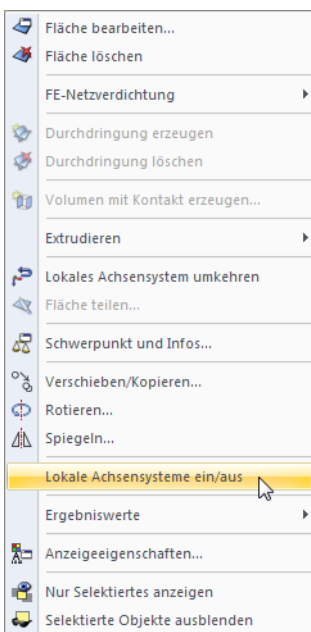
In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben. Bei einem Klick in eine Tabellenzeile wird dieser Rasterpunkt im Arbeitsfenster mit einem Pfeil gekennzeichnet — sofern die Synchronisation der Selektion aktiv ist (siehe Kapitel 11.5.4).

Kontaktspannungen

Die Spannungen in der Fundamentfläche sind auf die Richtungen der lokalen Flächenachsen bezogen. Bei gekrümmten Flächen beziehen sie sich auf die Achsen der finiten Elemente (siehe Bild 8.41).

Die Kontaktspannungen bedeuten im Einzelnen:

σ_z	<p>Kontaktspannung („Sohlpressung“) in Richtung der Flächenachse z</p> $\sigma_z = \frac{F_z}{A}$ <p>mit</p> <p>F_z: Kontaktkraft im FE-Netzpunkt in Richtung z</p> <p>A: Einzugsfläche für FE-Netzpunkt</p>
------------	---



Flächen-Kontextmenü

τ_{yz}	<p>Schubspannung aus der Flächenbettung</p> $\tau_{yz} = \frac{F_y}{A}$ <p>mit F_y: Kontaktkraft im FE-Netzpunkt in Richtung y A: Einzugsfläche für FE-Netzpunkt</p>
τ_{xz}	<p>Schubspannung aus der Flächenbettung</p> $\tau_{xz} = \frac{F_x}{A}$ <p>mit F_x: Kontaktkraft im FE-Netzpunkt in Richtung x A: Einzugsfläche für FE-Netzpunkt</p>

Tabelle 8.14 Kontaktspannungen

Positive Kontaktspannungen werden in der Tabelle durch blaue Balken visualisiert. Negative Spannungen sind entsprechend durch rote Balken gekennzeichnet.



In der Tabelle werden die Spannungen als Kräfte pro Fläche ausgegeben, die in die Bettung eingeleitet werden. Es handelt sich also vorzeichenmäßig **nicht** um die Reaktionen vonseiten der Bettung. Ist die lokale Flächenachse z nach unten gerichtet, dann hat z. B. eine Last in Richtung der Achse z eine positive Spannung σ_z zur Folge. Die Vorzeichen ergeben sich damit aus der Richtung der Flächenachse z (siehe [Bild 4.76](#)).

Die Orientierung der lokalen Flächenachse z lässt sich bei 3D-Modellen schnell umstellen:

Klicken Sie die Fläche mit der rechten Maustaste an und wählen im Flächen-Kontextmenü (siehe Randbild oben) die Option *Lokales Achsensystem umkehren*. Beachten Sie dabei aber, dass ein eventuelles Ausfallkriterium die Wirkrichtung wechselt.

8.22

Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises

Die grafische Anzeige der Flächen-Vergleichsspannungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Die Tabelle 4.22 gibt die Vergleichsspannungen nach von Mises in numerischer Form aus.

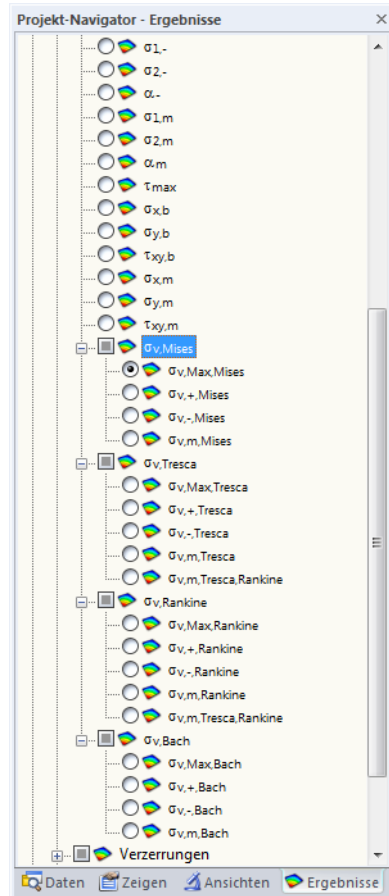


Bild 8.54 Vergleichsspannungen im *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Spannungen → $\sigma_{v,Mises}$

4.22 Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Vergleichsspannungen von Mises [N/mm ²]			
		X	Y	Z	$\sigma_{v,max}$	$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	37.54	36.04	37.54	1.24
2	2	0.500	0.000	0.000	12.28	10.76	12.28	0.88
3	3	1.000	0.000	0.000	3.60	3.60	3.59	0.45
4	4	1.500	0.000	0.000	4.68	4.68	4.17	0.34
5	5	2.000	0.000	0.000	6.04	6.04	5.48	0.31
6	6	2.500	0.000	0.000	7.01	7.01	6.41	0.31
7	7	3.000	0.000	0.000	7.94	7.94	7.33	0.31
8	8	3.500	0.000	0.000	8.14	8.14	7.53	0.31
9	9	4.000	0.000	0.000	7.23	7.23	6.63	0.30
10	10	4.500	0.000	0.000	5.83	5.83	5.21	0.31
11	11	5.000	0.000	0.000	3.92	3.92	3.25	0.34
12	12	5.500	0.000	0.000	1.52	1.49	1.09	0.38
13	13	6.000	0.000	0.000	2.46	1.74	2.46	0.36
14	14	6.500	0.000	0.000	7.17	7.06	6.79	0.28
15	15	7.000	0.000	0.000	20.94	18.83	15.96	5.20

Flächen - Weitere Spannungen | Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises | Flächen - Vergleichsspannungen - Tresca

Bild 8.55 Tabelle 4.22 Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises

Die Vergleichsspannungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im [Kapitel 8.13](#).

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Vergleichsspannungen

Im *Ergebnisse*-Navigator stehen vier Vergleichsspannungshypothesen für den ebenen Spannungszustand zur Auswahl. Die Hypothese nach von Mises wird auch als „Gestaltänderungsenergiehypothese“ bezeichnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Werkstoff versagt, wenn die Gestaltänderungsenergie eine bestimmte Grenze überschreitet. Die Gestaltänderungsenergie stellt diejenige Energie dar, die eine Verzerrung oder Deformation des Körpers hervorruft.

Dieser Ansatz stellt die bekannteste und am häufigsten angewandte Vergleichsspannungshypothese dar. Sie eignet sich für alle Materialien, die nicht spröde sind. Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist somit der Stahlhochbau. Die Hypothese ist für hydrostatische Spannungszustände mit gleichen Hauptspannungen in alle Richtungen ungeeignet, da hier die Vergleichsspannung null ist.

Die Vergleichsspannungen nach von Mises für den ebenen Spannungszustand bedeuten:

$\sigma_{v,max}$	Größte Vergleichsspannung an positiver oder negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{v,+} = \sqrt{\sigma_{x,+}^2 + \sigma_{y,+}^2 - \sigma_{x,+}\sigma_{y,+} + 3\tau_{xy,+}^2}$
$\sigma_{v,-}$	Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \sqrt{\sigma_{x,-}^2 + \sigma_{y,-}^2 - \sigma_{x,-}\sigma_{y,-} + 3\tau_{xy,-}^2}$
$\sigma_{v,m}$	Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \sqrt{\sigma_{x,m}^2 + \sigma_{y,m}^2 - \sigma_{x,m}\sigma_{y,m} + 3\tau_{xy,m}^2}$

Tabelle 8.15 Vergleichsspannungen nach von Mises

8.23

Flächen - Vergleichsspannungen - Tresca

Die grafische Anzeige der Flächen-Vergleichsspannungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert (siehe Bild 8.54). Die Tabelle 4.23 gibt die Vergleichsspannungen der Flächen nach Tresca in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Vergleichsspannungen Tresca [N/mm ²]			
		X	Y	Z	$\sigma_{v,max}$	$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,m}$
1		0.000	0.000	0.000	39.10	37.71	39.10	1.39
2		0.500	0.000	0.000	12.84	11.02	12.84	0.99
3		1.000	0.000	0.000	4.15	4.15	4.13	0.45
4		1.500	0.000	0.000	4.87	4.87	4.39	0.34
5		2.000	0.000	0.000	6.08	6.08	5.54	0.31
6		2.500	0.000	0.000	7.04	7.04	6.44	0.32
7		3.000	0.000	0.000	7.99	7.99	7.37	0.31
8		3.500	0.000	0.000	8.15	8.15	7.54	0.31
9		4.000	0.000	0.000	7.27	7.27	6.67	0.30
10		4.500	0.000	0.000	5.83	5.83	5.22	0.31
11		5.000	0.000	0.000	3.94	3.94	3.26	0.34
12		5.500	0.000	0.000	1.54	1.50	1.11	0.38
13		6.000	0.000	0.000	2.46	1.76	2.46	0.36
14		6.500	0.000	0.000	7.17	7.10	6.82	0.30
15		7.000	0.000	0.000	22.04	20.03	17.44	5.92

Bild 8.56 Tabelle 4.23 Flächen - Vergleichsspannungen - Tresca

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.22 *Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises*.

Die Hypothese nach Tresca ist auch als „Schubspannungshypothese“ bekannt. Es wird davon ausgegangen, dass das Versagen durch die maximale Schubspannung hervorgerufen wird. Da sich diese Hypothese für spröde Werkstoffe eignet, wird sie oft im Maschinenbau angewandt.

Die Vergleichsspannungen nach Tresca werden wie folgt ermittelt:

$\sigma_{v,max}$	Größte Vergleichsspannung an positiver oder negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \max(\sigma_{1,+} - \sigma_{2,+} ; \sigma_{2,+} ; \sigma_{1,+}) \text{ bzw.}$ $\sigma_{v,+} = \max(\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2}; \sigma_{2,+} ; \sigma_{1,+})$
$\sigma_{v,-}$	Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \max(\sigma_{1,-} - \sigma_{2,-} ; \sigma_{2,-} ; \sigma_{1,-}) \text{ bzw.}$ $\sigma_{v,-} = \max(\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4\tau_{xy,-}^2}; \sigma_{2,-} ; \sigma_{1,-})$

$\sigma_{v,m}$	Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \max(\sigma_{1,m} - \sigma_{2,m} ; \sigma_{2,m} ; \sigma_{1,m}) \text{ bzw.}$ $\sigma_{v,m} = \max(\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4\tau_{xy,m}^2}; \sigma_{2,m} ; \sigma_{1,m})$
----------------	--

Tabelle 8.16 Vergleichsspannungen nach Tresca

8.24

Flächen - Vergleichsspannungen - Rankine

Die grafische Anzeige der Flächen-Vergleichsspannungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im **Ergebnisse**-Navigator gesteuert (siehe Bild 8.54). Die Tabelle 4.24 gibt die Vergleichsspannungen der Flächen nach Rankine in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	A Rasterpunkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			E Vergleichsspannungen Rankine [N/mm ²]			
		X	Y	Z	$\sigma_{v,max}$	$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	39.10	37.71	39.10	0.98
2	2	0.500	0.000	0.000	12.84	11.02	12.84	0.99
3	3	1.000	0.000	0.000	2.40	2.20	2.40	0.45
4	4	1.500	0.000	0.000	4.46	4.46	3.90	0.33
5	5	2.000	0.000	0.000	6.00	6.00	5.42	0.31
6	6	2.500	0.000	0.000	7.04	7.04	6.44	0.31
7	7	3.000	0.000	0.000	7.99	7.99	7.37	0.31
8	8	3.500	0.000	0.000	8.15	8.15	7.54	0.31
9	9	4.000	0.000	0.000	7.27	7.27	6.67	0.30
10	10	4.500	0.000	0.000	5.82	5.82	5.20	0.31
11	11	5.000	0.000	0.000	3.91	3.91	3.24	0.33
12	12	5.500	0.000	0.000	1.51	1.50	1.08	0.38
13	13	6.000	0.000	0.000	2.45	1.72	2.45	0.36
14	14	6.500	0.000	0.000	7.17	7.10	6.82	0.23
15	15	7.000	0.000	0.000	19.55	16.88	15.81	3.89

Bild 8.57 Tabelle 4.24 Flächen - Vergleichsspannungen - Rankine

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der Ergebnistabelle 4.22 *Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises*.

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

Die Vergleichsspannungen nach Rankine werden wie folgt ermittelt:

$\sigma_{v,max}$	Größte Vergleichsspannung an positiver oder negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \frac{1}{2} \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2}$

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

Tabelle 8.17 Vergleichsspannungen nach Rankine

8.25

Flächen - Vergleichsspannungen - Bach

Die grafische Anzeige der Flächen-Vergleichsspannungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Spannungen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert (siehe Bild 8.54). Die Tabelle 4.25 gibt die Vergleichsspannungen der Flächen nach Bach in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Vergleichsspannungen Bach [N/mm ²]			
		X	Y	Z	$\sigma_{v,max}$	$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	38.43	36.98	38.43	1.06
2	2	0.500	0.000	0.000	12.60	10.91	12.60	0.93
3	3	1.000	0.000	0.000	2.75	2.59	2.75	0.45
4	4	1.500	0.000	0.000	4.54	4.54	4.00	0.34
5	5	2.000	0.000	0.000	6.01	6.01	5.44	0.31
6	6	2.500	0.000	0.000	7.03	7.03	6.42	0.31
7	7	3.000	0.000	0.000	7.97	7.97	7.35	0.31
8	8	3.500	0.000	0.000	8.15	8.15	7.54	0.31
9	9	4.000	0.000	0.000	7.25	7.25	6.65	0.30
10	10	7.000	0.000	0.000	20.05	17.51	15.75	4.24

Bild 8.58 Tabelle 4.24 Flächen - Vergleichsspannungen - Bach

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der Ergebnistabelle 4.22 *Flächen - Vergleichsspannungen - von Mises*.

Die Vergleichsspannungshypothese nach Bach wird auch als „Hauptdehnungshypothese“ bezeichnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Versagen in Richtung der größten Dehnung auftritt. Dieser Ansatz ähnelt der im Kapitel 8.24 beschriebenen Spannungsermittlung nach Rankine. Anstelle der Hauptspannung wird hier die Hauptdehnung verwendet.

Die Vergleichsspannungen nach Bach werden wie folgt ermittelt:

$\sigma_{v,max}$	Größte Vergleichsspannung an positiver oder negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \max \left[\frac{1-\nu}{2} \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4\tau_{xy,+}^2} \right]; \nu \sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} $ mit ν : Querdehnzahl (siehe Kapitel 4.3)

$\sigma_{v,-}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \max \left[\frac{1-\nu}{2} \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4\tau_{xy,-}^2} \right]; \nu \sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} $
$\sigma_{v,m}$	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \max \left[\frac{1-\nu}{2} \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} + \frac{1+\nu}{2} \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4\tau_{xy,m}^2} \right]; \nu \sigma_{x,m} + \sigma_{y,m} $

Tabelle 8.18 Vergleichsspannungen nach Bach

8.26

Flächen - Grundverzerrungen

Der Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator steuert die grafische Anzeige der Flächendehnungen. Die Tabelle 4.26 gibt die Grundverzerrungen der Flächen in numerischer Form aus.



Bild 8.59 Ergebnisse-Navigator: Flächen → Verzerrungen

4.26 Flächen - Grundverzerrungen

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Grunddehnungen [-]					
		X	Y	Z	$\epsilon_{x,+}$	$\epsilon_{y,+}$	$\gamma_{xy,+}$	$\epsilon_{x,-}$	$\epsilon_{y,-}$	$\gamma_{xy,-}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-0.00070	-0.00030	-0.00117	0.00076	0.00027	0.00120
2	2	0.500	0.000	0.000	-0.00032	0.00004	-0.00014	0.00036	-0.00002	0.00019
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00002	-0.00001	0.00015	0.00001	0.00000	-0.00015
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00011	-0.00001	0.00012	-0.00009	0.00001	-0.00012
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00017	-0.00003	0.00010	-0.00015	0.00002	-0.00010
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00002	-0.00004	0.00006	-0.00019	0.00003	-0.00007
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	-0.00004	0.00005	-0.00022	0.00004	-0.00005
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	-0.00005	0.00002	-0.00023	0.00005	-0.00002
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	-0.00004	0.00002	-0.00020	0.00004	-0.00002
10	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00001	-0.00016	0.00003	-0.00001
11	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00002	0.00000	-0.00010	0.00002	0.00000
12	12	5.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00001	-0.00001	-0.00002	0.00000	0.00001
13	13	6.000	0.000	0.000	-0.00005	0.00001	-0.00001	0.00007	-0.00001	0.00001
14	14	6.500	0.000	0.000	-0.00021	0.00004	0.00001	0.00021	-0.00004	-0.00001
15	15	7.000	0.000	0.000	-0.00040	0.00007	0.00042	0.00025	0.00014	-0.00053

Flächen - Grundverzerrungen | Flächen - Hauptverzerrungen | Flächen - maximale Verzerrungen | Flächen - Verzerrungen - von Mises

Bild 8.60 Tabelle 4.26 Flächen - Grundverzerrungen

Die Verzerrungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 8.13.

Rasterpunkt-Koordinaten

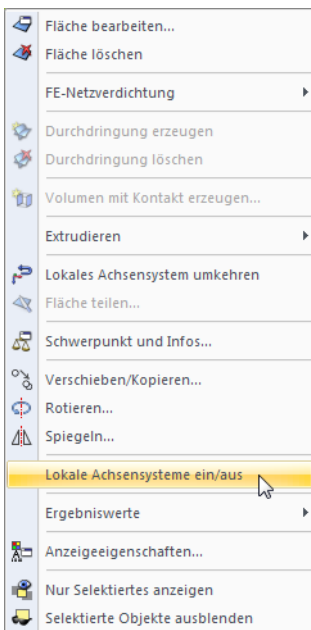
In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Grundverzerrungen

Die Dehnungen sind auf die Richtungen der lokalen Flächenachsen bezogen. Bei gekrümmten Flächen beziehen sie sich auf die Achsen der finiten Elemente (siehe Bild 8.41).

Die Grundverzerrungen bedeuten im Einzelnen:

$\epsilon_{x,+}$	<p>Dehnung in Richtung der lokalen x-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)</p> $\epsilon_{x,+} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{d}{2} \frac{\partial \varphi_y}{\partial x}$ <p>mit d: Dicke der Fläche</p>
$\epsilon_{y,+}$	<p>Dehnung in Richtung der lokalen y-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)</p> $\epsilon_{y,+} = \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{d}{2} \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \right)$



Flächen-Kontextmenü

$\gamma_{xy,+}$	Bezogene Verdrehung an der positiven Flächenseite $\gamma_{xy,+} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{d}{2} \left(\frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \right)$
$\varepsilon_{x,-}$	Dehnung in Richtung der x-Achse auf der negativen Flächenseite $\varepsilon_{x,-} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{d}{2} \frac{\partial \varphi_y}{\partial x}$
$\varepsilon_{y,-}$	Dehnung in Richtung der y-Achse auf der negativen Flächenseite $\varepsilon_{y,-} = \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{d}{2} \left(-\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \right)$
$\gamma_{xy,-}$	Bezogene Verdrehung an der negativen Flächenseite $\gamma_{xy,-} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{d}{2} \left(\frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \right)$

Tabelle 8.19 Grundverzerrungen

8.27

Flächen - Hauptverzerrungen

Die grafische Anzeige der Dehnungen wird über den Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert (siehe Bild 8.59). Die Tabelle 4.27 gibt die Hauptverzerrungen der Flächen in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Hauptdehnungen []					
		X	Y	Z	$\varepsilon_{1,+}$	$\varepsilon_{2,+}$	α [°]	$\varepsilon_{1,-}$	$\varepsilon_{2,-}$	α [°]
1		0.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00112	-54.39	0.00116	-0.00014	33.78
2		0.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00033	-79.07	0.00038	-0.00004	13.22
3		1.000	0.000	0.000	0.00008	-0.00007	40.16	0.00008	-0.00007	-43.61
4		1.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00004	21.95	0.00004	-0.00012	-65.01
5		2.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	13.87	0.00004	-0.00016	-74.54
6		2.500	0.000	0.000	0.00021	-0.00004	7.36	0.00004	-0.00019	-81.86
7		3.000	0.000	0.000	0.00024	-0.00005	5.14	0.00004	-0.00022	-84.37
8		3.500	0.000	0.000	0.00025	-0.00005	1.68	0.00005	-0.00023	-88.24
9		4.000	0.000	0.000	0.00022	-0.00004	1.79	0.00004	-0.00020	-88.02
10		4.500	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	1.51	0.00003	-0.00016	-88.46
11		5.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00002	-0.07	0.00002	-0.00010	89.76
12		5.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00001	-8.80	0.00001	-0.00003	63.16
13		6.000	0.000	0.000	0.00001	-0.00005	-96.16	0.00007	-0.00002	3.41
14		6.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00021	88.44	0.00021	-0.00004	-0.92
15		7.000	0.000	0.000	0.00020	-0.00053	62.75	0.00048	-0.00009	-38.54

Bild 8.61 Tabelle 4.27 Flächen - Hauptverzerrungen

Die Hauptverzerrungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.26 *Flächen - Grundverzerrungen*.

Hauptverzerrungen

Die im Kapitel 8.26 beschriebenen Grunddehnungen beziehen sich auf das xyz-Koordinatensystem der Flächen. Die Hauptdehnungen hingegen stellen die Extremwerte der Dehnungen in einem Flächenelement dar. Die Hauptachsen 1 (Maximalwert) und 2 (Minimalwert) sind orthogonal angeordnet.

Die Hauptachsenrichtungen können im Arbeitsfenster als Trajektorien angezeigt werden (siehe Bild 8.45 für Hauptschnittgrößen).

Die Hauptverzerrungen bedeuten im Einzelnen:

$\varepsilon_{1,+}$	Dehnung in Richtung der Hauptachse 1 an der positiven Flächenseite (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\varepsilon_{1,+} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} + \sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2})$
$\varepsilon_{2,+}$	Dehnung in Richtung der Hauptachse 2 an der positiven Flächenseite (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\varepsilon_{2,+} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} - \sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2})$
α_+	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Dehnungen an der positiven Flächenseite $\alpha_+ = \frac{1}{2} \left(\arctan\left(\frac{\gamma_{xy,+}}{\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+}}\right) \right)$
$\varepsilon_{1,-}$	Dehnung in Richtung der Hauptachse 1 an der negativen Flächenseite $\varepsilon_{1,-} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} + \sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2})$
$\varepsilon_{2,-}$	Dehnung in Richtung der Hauptachse 2 an der negativen Flächenseite $\varepsilon_{2,-} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} - \sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2})$
α_-	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der negativen Flächenseite $\alpha_- = \frac{1}{2} \left(\arctan\left(\frac{\gamma_{xy,-}}{\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-}}\right) \right)$

Tabelle 8.20 Hauptverzerrungen

8.28

Flächen - maximale Verzerrungen

Die Extremwerte der Dehnungen sind über den Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im **Ergebnisse**-Navigator zugänglich (siehe Bild 8.59). Die Tabelle 4.28 gibt diese Verzerrungen in numerischer Form aus.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Maximale Verzerrungen [-]								
		X	Y	Z	$\epsilon_{\max,+}$	$\epsilon_{\min,+}$	$ \epsilon_{\max} +$	$\epsilon_{\max,-}$	$\epsilon_{\min,-}$	$ \epsilon_{\max} -$	ϵ_{\max}	ϵ_{\min}	$ \epsilon_{\max} $
1	0.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00112	0.00112	0.00116	-0.00116	0.00116	0.00116	-0.00112	0.00116	
2	0.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00033	0.00033	0.00038	-0.00004	0.00038	0.00038	-0.00033	0.00038	
3	1.000	0.000	0.000	0.00008	-0.00007	0.00008	0.00008	-0.00007	0.00008	0.00008	-0.00007	0.00008	
4	1.500	0.000	0.000	0.00014	-0.00004	0.00014	0.00004	-0.00012	0.00012	0.00014	-0.00012	0.00014	
5	2.000	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00018	0.00004	-0.00016	0.00016	0.00018	-0.00016	0.00018	
6	2.500	0.000	0.000	0.00021	-0.00004	0.00021	0.00004	-0.00019	0.00019	0.00021	-0.00019	0.00021	
7	3.000	0.000	0.000	0.00024	-0.00005	0.00024	0.00004	-0.00022	0.00022	0.00024	-0.00022	0.00024	
8	3.500	0.000	0.000	0.00025	-0.00005	0.00025	0.00005	-0.00023	0.00023	0.00025	-0.00023	0.00025	
9	4.000	0.000	0.000	0.00022	-0.00004	0.00022	0.00004	-0.00020	0.00020	0.00022	-0.00020	0.00022	
10	4.500	0.000	0.000	0.00018	-0.00004	0.00018	0.00003	-0.00016	0.00016	0.00018	-0.00016	0.00018	
11	5.000	0.000	0.000	0.00012	-0.00002	0.00012	0.00002	-0.00010	0.00010	0.00012	-0.00010	0.00012	
12	5.500	0.000	0.000	0.00005	-0.00001	0.00005	0.00001	-0.00003	0.00003	0.00005	-0.00003	0.00005	
13	6.000	0.000	0.000	0.00001	-0.00005	0.00005	0.00007	-0.00002	0.00007	0.00007	-0.00005	0.00007	
14	6.500	0.000	0.000	0.00004	-0.00021	0.00021	0.00021	-0.00004	0.00021	0.00021	-0.00021	0.00022	
15	7.000	0.000	0.000	0.00020	-0.00053	0.00053	0.00048	-0.00009	0.00048	0.00048	-0.00053	0.00061	

Bild 8.62 Tabelle 4.28 Flächen - maximale Verzerrungen

Die Extremwerte der Verzerrungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der Ergebnistabelle 4.26 *Flächen - Grundverzerrungen*.

Maximale Verzerrungen

Diese Werte stellen die Extremwerte der Verzerrungen dar, die sich mit den Gleichungen der Tabelle 8.20 ergeben.

$\epsilon_{\max,+}$	Maximalwert der Dehnung an der positiven Flächenseite (d. h. auf der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)
$\epsilon_{\min,+}$	Minimalwert der Dehnung an der positiven Flächenseite
$ \epsilon_{\max} +$	Größter Absolutwert der beiden Extremwerte an der positiven Flächenseite
$\epsilon_{\max,-}$	Maximalwert der Dehnung an der negativen Flächenseite
$\epsilon_{\min,-}$	Minimalwert der Dehnung an der negativen Flächenseite
$ \epsilon_{\max} -$	Größter Absolutwert der beiden Extremwerte an der negativen Flächenseite
ϵ_{\max}	Maximalwert der Dehnung an der positiven oder negativen Flächenseite (Spalten E und H)
ϵ_{\min}	Minimalwert der Dehnung an der positiven oder negativen Flächenseite (Spalten F und I)

$ \epsilon_{\max} $	Größter Absolutwert der Dehnung an der positiven oder negativen Flächenseite (Spalten K und L)
---------------------	--

Tabelle 8.21 Maximale Verzerrungen

8.29

Flächen - Verzerrungen - von Mises

Der Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator steuert die grafische Anzeige der Flächen-Verzerrungen, die mit der Vergleichsspannungshypothese nach von Mises vorliegen. Die Tabelle 4.29 stellt diese Verzerrungen in numerischer Form dar.

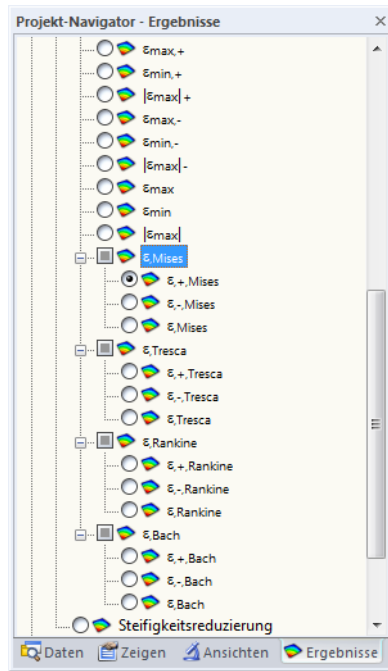


Bild 8.63 Vergleichsverzerrungen im *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Verzerrungen

4.29 Flächen - Verzerrungen - von Mises

LK5 - 1.35*LF1 + 1.5*LF

Fläche Nr.	A Rasterpunkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			F von Mises [-]		
		C X	C Y	D Z	E ε+, Mises	F ε-, Mises	G εMises
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00109	0.00114	0.00114
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00037	0.00037
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00011	0.00011	0.00011
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	0.00013	0.00014
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00019	0.00021
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
10	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
11	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	0.00010	0.00012
12	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	0.00003	0.00005

Flächen - Hauptverzerrungen | Flächen - maximale Verzerrungen | Flächen - Verzerrungen - von Mises | Flächen - Verzerrungen - Tresca

Bild 8.64 Tabelle 4.29 Flächen - Verzerrungen - von Mises

Die Vergleichsverzerrungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im [Kapitel 8.13](#).

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten B bis D werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Verzerrungen nach von Mises

Im *Ergebnisse*-Navigator stehen die in den [Kapiteln 8.22](#) bis [8.25](#) beschriebenen Hypothesen für den ebenen Dehnungszustand zur Auswahl. Die Hypothese nach von Mises wird auch „Gestaltänderungsenergiehypothese“ genannt. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Werkstoff versagt, wenn die Gestaltänderungsenergie eine bestimmte Grenze überschreitet. Die Gestaltänderungsenergie stellt diejenige Energie dar, die eine Verzerrung oder Deformation des Körpers hervorruft (siehe [Kapitel 8.22](#)).

Die Verzerrungen nach von Mises für den ebenen Dehnungszustand bedeuten:

$\varepsilon_{+,Mises}$	Vergleichsdehnung an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\varepsilon_+ = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \left(\frac{\varepsilon_{x,+} + \nu\varepsilon_{y,+}}{1-\nu}\right)^2 + \left(\frac{\nu\varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+}}{1-\nu}\right)^2 + \frac{3}{2}\gamma_{xy,+}^2}}{\sqrt{2}(1+\nu)}$
$\varepsilon_{-,Mises}$	Vergleichsdehnung an der negativen Flächenseite $\varepsilon_- = \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \left(\frac{\varepsilon_{x,-} + \nu\varepsilon_{y,-}}{1-\nu}\right)^2 + \left(\frac{\nu\varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-}}{1-\nu}\right)^2 + \frac{3}{2}\gamma_{xy,-}^2}}{\sqrt{2}(1+\nu)}$
ε_{Mises}	Größte Vergleichsdehnung an positiver oder negativer Flächenseite (Spalten E und F)

Tabelle 8.22 Verzerrungen nach von Mises

8.30

Flächen - Verzerrungen - Tresca

Der Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator (siehe Bild 8.63) steuert die grafische Anzeige der Flächen-Verzerrungen, die mit der Vergleichsspannungshypothese nach Tresca vorliegen. Die Tabelle 4.30 stellt diese Verzerrungen in numerischer Form dar.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Tresca [-]		
		X	Y	Z	ε _{+,Tresca}	ε _{-,Tresca}	ε _{Tresca}
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00114	0.00118	0.00118
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00039	0.00039
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00013	0.00013	0.00013
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00015	0.00013	0.00015
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00017	0.00018
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00020	0.00021
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
10	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
11	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	0.00010	0.00012
12	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	0.00003	0.00005

Bild 8.65 Tabelle 4.30 Flächen - Verzerrungen - Tresca

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.29 *Flächen - Verzerrungen - von Mises*.

Bei der Hypothese nach Tresca wird davon ausgegangen, dass das Versagen durch die maximale Schubspannung hervorgerufen wird (siehe Kapitel 8.23).

Die Verzerrungen nach Tresca werden wie folgt ermittelt:

ε _{+,Tresca}	<p>Vergleichsdehnung an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z)</p> $\epsilon_+ = \frac{\sqrt{(\epsilon_{x,+} - \epsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}}{1 + \nu}$ <p>Gleichzeitig wird die Vergleichsdehnung nach Rankine untersucht (siehe folgendes Kapitel 8.31). Sollte sich mit dieser Hypothese eine größere Dehnung ergeben, so wird dieser Wert in Spalte E ausgegeben.</p>
ε _{-,Tresca}	<p>Vergleichsdehnung an der negativen Flächenseite</p> $\epsilon_- = \frac{\sqrt{(\epsilon_{x,-} - \epsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}}{1 + \nu}$ <p>Falls die Hypothese nach Rankine zu einer größeren Vergleichsdehnung führt, wird dieser Wert in Spalte F ausgegeben.</p>
ε _{Tresca}	<p>Größte Vergleichsdehnung an positiver oder negativer Flächenseite (Spalten E und F)</p>

Tabelle 8.23 Verzerrungen nach Tresca

8.31

Flächen - Verzerrungen - Rankine

Der Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator (siehe Bild 8.63) steuert die grafische Anzeige der Flächen-Verzerrungen, die mit der Vergleichsspannungshypothese nach Rankine vorliegen. Die Tabelle 4.31 stellt diese Verzerrungen in numerischer Form dar.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Rankine [-]		
		X	Y	Z	ε+,Rankine	ε-,Rankine	εRankine
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00114	0.00118	0.00118
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00039	0.00039
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00007	0.00007	0.00007
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	0.00012	0.00014
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00020	0.00021
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
10	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
11	11	5.000	0.000	0.000	0.00012	0.00010	0.00012
12	12	5.500	0.000	0.000	0.00005	0.00003	0.00005

Bild 8.66 Tabelle 4.31 Flächen - Verzerrungen - Rankine

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der Ergebnistabelle 4.29 *Flächen - Verzerrungen - von Mises*.

Bei der Hypothese nach Rankine wird davon ausgegangen, dass die größte Hauptspannung zum Versagen führt (siehe Kapitel 8.24).

Die Verzerrungen nach Rankine werden wie folgt ermittelt:

ε _{+,Rankine}	Vergleichsdehnung an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\varepsilon_+ = \frac{1}{2} \left(\frac{ \varepsilon_{x,+} + \varepsilon_{y,+} }{1 - \nu} + \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,+} - \varepsilon_{y,+})^2 + \gamma_{xy,+}^2}}{1 + \nu} \right)$
ε _{-,Rankine}	Vergleichsdehnung an der negativen Flächenseite $\varepsilon_- = \frac{1}{2} \left(\frac{ \varepsilon_{x,-} + \varepsilon_{y,-} }{1 - \nu} + \frac{\sqrt{(\varepsilon_{x,-} - \varepsilon_{y,-})^2 + \gamma_{xy,-}^2}}{1 + \nu} \right)$
ε _{Rankine}	Größte Vergleichsdehnung an positiver oder negativer Flächenseite (Spalten E und F)

Tabelle 8.24 Verzerrungen nach Rankine

8.32

Flächen - Verzerrungen - Bach

Der Eintrag **Flächen** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator (siehe Bild 8.63) steuert die grafische Anzeige der Flächen-Verzerrungen, die mit der Vergleichsspannungshypothese nach Bach vorliegen. Die Tabelle 4.32 stellt diese Verzerrungen in numerischer Form dar.

Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Bach [-]		
		X	Y	Z	$\epsilon_{+,Bach}$	$\epsilon_{-,Bach}$	ϵ_{Bach}
1	1	0.000	0.000	0.000	0.00112	0.00116	0.00116
2	2	0.500	0.000	0.000	0.00033	0.00038	0.00038
3	3	1.000	0.000	0.000	0.00008	0.00008	0.00008
4	4	1.500	0.000	0.000	0.00014	0.00012	0.00014
5	5	2.000	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018
6	6	2.500	0.000	0.000	0.00021	0.00019	0.00021
7	7	3.000	0.000	0.000	0.00024	0.00022	0.00024
8	8	3.500	0.000	0.000	0.00025	0.00023	0.00025
9	9	4.000	0.000	0.000	0.00022	0.00020	0.00022
10	10	4.500	0.000	0.000	0.00018	0.00016	0.00018

Bild 8.67 Tabelle 4.32 Flächen - Verzerrungen - Bach

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der Ergebnistabelle 4.29 *Flächen - Verzerrungen - von Mises*.

Bei der Hypothese nach Bach wird davon ausgegangen, dass das Versagen in Richtung der größten Dehnung auftritt (siehe Kapitel 8.25).

Die Verzerrungen nach Bach werden wie folgt ermittelt:

$\epsilon_{+,Bach}$	Größter Absolutwert der Hauptdehnung ϵ_{1+} oder ϵ_{2+} an der positiven Flächenseite (siehe Kapitel 8.27)
$\epsilon_{-,Bach}$	Größter Absolutwert der Hauptdehnung ϵ_{1-} oder ϵ_{2-} an der negativen Flächenseite (d. h. der Seite entgegen der positiven Flächenachse z)
ϵ_{Bach}	Größte Vergleichsdehnung an positiver oder negativer Flächenseite (Spalten E und F)

Tabelle 8.25 Verzerrungen nach Bach

8.33

Volumenkörper - Verformungen

Die grafische Anzeige der Volumenverformungen wird über den Eintrag *Verformungen* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert (siehe Bild 8.37). Die Tabelle 4.33 stellt die Verformungen der Volumen-Begrenzungsflächen in numerischer Form dar.

Volumen Nr.	Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Verschiebungen [mm]				Verdrehungen [mrad]			
			X	Y	Z	u	u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z	
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	21.4	0.0	0.0	21.4	-46.1	-46.1	0.0	
		4	0.000	-0.500	0.000	19.5	-0.0	0.0	19.5	39.1	-10.9	-0.0	
		5	0.500	-0.500	0.000	20.2	0.0	-0.0	20.2	6.1	6.1	0.0	
		7	0.000	0.000	0.000	18.8	0.0	0.0	18.8	39.0	39.0	0.0	
		8	0.500	0.000	0.000	19.5	-0.0	0.0	19.5	-10.9	39.1	0.0	
		2	3	1.000	-1.000	-0.300	21.5	0.4	-0.4	21.4	-46.2	-46.2	0.0
		4	0.000	-0.500	-0.300	19.5	0.4	-0.4	19.5	39.1	-10.9	0.0	
		5	0.500	-0.500	-0.300	20.2	0.4	-0.4	20.1	6.1	6.1	0.0	
2	2	7	0.000	0.000	-0.300	18.8	0.4	-0.4	18.8	39.1	39.1	0.0	
		8	0.500	0.000	-0.300	19.5	0.4	-0.4	19.5	-10.9	39.1	-0.0	
		3	1.000	0.000	0.000	18.8	0.0	0.0	18.8	39.0	39.0	0.0	
		2	0.500	0.000	0.000	19.5	-0.0	0.0	19.5	-10.9	39.1	0.0	

Bild 8.68 Tabelle 4.33 Volumenkörper - Verformungen

Die Verschiebungen und Verdrehungen werden für die Rasterpunkte der einzelnen Begrenzungsflächen ausgegeben. Die Verformungen im Inneren des Volumenkörpers werden nicht ausgewiesen.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte (siehe Kapitel 8.13) sind flächenweise aufgelistet.

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten C bis E werden die globalen XYZ-Koordinaten der Rasterpunkte angegeben.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Verformungen bedeuten im Einzelnen:

u	Absolute Gesamtverschiebung (nicht bei Ergebniskombinationen)
u _x	Verschiebung des Volumenkörpers in Richtung der globalen X-Achse
u _y	Verschiebung des Volumenkörpers in Richtung der globalen Y-Achse
u _z	Verschiebung des Volumenkörpers in Richtung der globalen Z-Achse
φ _x	Verdrehung des Volumenkörpers um die globale X-Achse
φ _y	Verdrehung des Volumenkörpers um die globale Y-Achse
φ _z	Verdrehung des Volumenkörpers um die globale Z-Achse

Tabelle 8.26 Volumenverformungen

8.34

Volumenkörper - Spannungen

Die grafische Anzeige der Volumenspannungen wird über den Eintrag *Volumenkörper* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Die Tabelle 4.34 stellt die Spannungen der Volumenkörper in numerischer Form dar.



Die tabellarischen Ergebnisse sind auf die Rasterpunkte der Begrenzungsflächen bezogen; es werden somit keine Spannungen im Inneren des Volumenkörpers ausgegeben. Die Spannungen im Volumen können aber grafisch an den inneren FE-Netzpunkten abgelesen werden: Aktivieren Sie im *Ergebnisse*-Navigator die Option **Werte an Flächen** → **Einstellungen** → **In FE-Netz-Punkten**. Über eine Clipping-Ebene (siehe [Kapitel 9.9.2](#)) lassen sich die Werte dann gezielt ablesen.

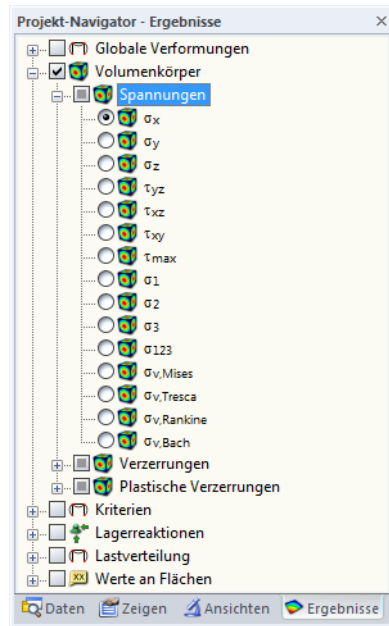


Bild 8.69 Ergebnisse-Navigator: Volumenkörper → Spannungen

4.34 Volumenkörper - Spannungen

LFS - Betrieb

Volumen Nr.	Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Grundspannungen [N/mm ²]			Schubspannungen [N/mm ²]				Hauptspannungen [N/mm ²]		
			X	Y	Z	σ_x	σ_y	σ_z	τ_{yz}	τ_{xz}	τ_{xy}	τ_{max}	σ_1	σ_2	σ_3
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	-28.63	-28.63	-76.40	39.18	-39.18	35.34	66.32	6.72	-14.44	-125.93
		4	0.000	-0.500	0.000	9.70	-3.39	9.14	11.76	-0.01	-8.56	32.60	36.62	7.42	-28.59
		5	0.500	-0.500	0.000	10.62	10.62	-10.54	-2.13	2.13	-5.58	18.28	20.48	6.32	-16.09
		7	0.000	0.000	0.000	-38.62	-38.62	-88.14	-47.47	47.47	42.66	77.98	4.04	-17.48	-151.93
2	2	3	1.000	-1.000	-0.300	-58.00	-58.00	-88.41	54.50	-54.50	31.76	77.07	-12.01	-26.24	-166.16
		4	0.000	-0.500	-0.300	-20.44	-15.34	0.53	7.94	3.81	-0.76	31.82	21.93	-15.45	-41.72
		5	0.500	-0.500	-0.300	-23.28	-23.28	-24.40	-1.67	1.67	5.25	10.17	-13.19	-24.24	-33.53
		7	0.000	0.000	-0.300	-43.33	-43.33	-90.06	-41.77	41.77	11.45	61.66	-10.76	-31.88	-134.08
		8	0.500	0.000	-0.300	-15.34	-20.44	0.53	-3.81	-7.94	-0.76	31.82	21.93	-15.45	-41.72

Flächen - globale Verformungen | Volumenkörper - Verformungen | **Volumenkörper - Spannungen** | Volumenkörper - Verzerrungen

Bild 8.70 Tabelle 4.34 Volumenkörper - Spannungen

Die Volumenspannungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche.

Rasterpunkt

Die Nummern der Rasterpunkte sind flächenweise aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im [Kapitel 8.13](#).

Rasterpunkt-Koordinaten

In den Tabellenspalten C bis E werden die Koordinaten der Rasterpunkte im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Grundspannungen / Schubspannungen / Hauptspannungen

Volumenspannungen lassen sich nicht wie Flächenspannungen mit einfachen Gleichungen beschreiben. Die *Grundspannungen* σ_x , σ_y und σ_z sowie die *Schubspannungen* τ_{xy} , τ_{yz} und τ_{xz} werden vom Rechenkern direkt ermittelt.

Wird ein Würfel mit den Kantenlängen d_x , d_y und d_z aus einem mehrachsigen beanspruchten Körper herausgeschnitten, so können die Spannungen in jeder Würfel­fläche in Normal- und Schubspannungen zerlegt werden. Unter Vernachlässigung der Raumkraft und auch der Spannungsunterschiede an parallelen Flächen lässt sich im lokalen Koordinatensystem des Würfels der Spannungszustand durch neun Spannungskomponenten beschreiben.

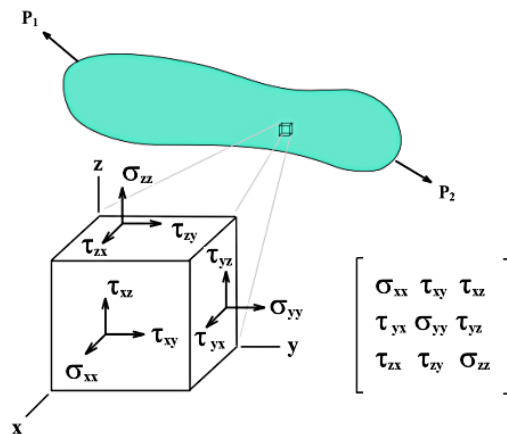


Bild 8.71 Volumenelement mit Spannungskomponenten

Die Matrix des Spannungstensors lautet:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Gleichung 8.7

Aus den Eigenwerten des Tensors ergeben sich die *Hauptspannungen* σ_1 , σ_2 und σ_3 gemäß folgender Formel:

Hauptspannungen:

$$\det(S - \sigma E) = 0$$

Gleichung 8.8

mit

E : 3x3-Einheitsmatrix

Die maximale Schubspannung τ_{max} wird nach dem Mohrschen Spannungskreis bestimmt:

Maximale Schubspannung:

$$\tau_{max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$$

Gleichung 8.9

Über den Navigatoreintrag σ_{123} lassen sich die Trajektorien der Hauptspannungen grafisch darstellen.

Vergleichsspannungen

Die Vergleichsspannung σ_v nach von Mises lässt sich durch zwei gleichwertige Formeln ausdrücken:

Vergleichsspannung aus Hauptspannungen nach von Mises :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$$

Gleichung 8.10

Vergleichsspannung aus Grundspannungen nach von Mises:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_y - \sigma_x\sigma_z - \sigma_y\sigma_z + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Gleichung 8.11

Für die Ermittlung der Vergleichsspannung σ_v nach Tresca werden die Differenzen aus den Hauptspannungen untersucht, um daraus den Maximalwert zu bestimmen.

Ermittlung der Vergleichsspannung nach Tresca:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_3 - \sigma_1|)$$

Gleichung 8.12

Die Vergleichsspannung σ_v nach Rankine ermittelt sich aus den größten Absolutwerten der Hauptspannungen.

Ermittlung der Vergleichsspannung nach Rankine:

$$\sigma_v = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$

Gleichung 8.13

Zur Ermittlung der Vergleichsspannung σ_v nach Bach werden die Hauptspannungsdifferenzen unter Berücksichtigung der Querdehnzahl ν untersucht, um daraus den Maximalwert zu bestimmen.

Ermittlung der Vergleichsspannung nach Bach:

$$\sigma_v = \max[|\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)|, |\sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1)|, |\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)|]$$

Gleichung 8.14

8.35

Volumenkörper - Verzerrungen

Die allgemeine Definition des Tensors für den räumlichen Verzerrungszustand lautet:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$

Gleichung 8.15

Die einzelnen Elemente des Tensors sind wie folgt definiert:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

Gleichung 8.16

Der Eintrag **Volumenkörper** → **Verzerrungen** im *Ergebnisse*-Navigator steuert die grafische Anzeige der Volumen-Verzerrungen. Tabelle 4.35 stellt diese Verzerrungen in numerischer Form dar.

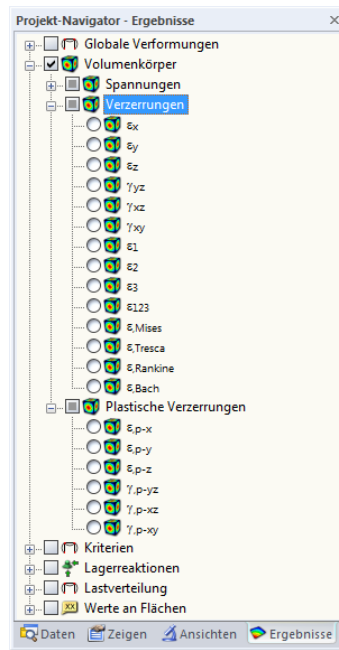


Bild 8.72 Ergebnisse-Navigator: Volumenkörper → Verzerrungen

4.35 Volumenkörper - Verzerrungen

LFS - Betrieb

Volumen Nr.	Fläche Nr.	Rasterpunkt	Rasterpunkt-Koordinaten			Volumenkörper - Verzerrungen []								
			X	Y	Z	ε _x	ε _y	ε _z	γ _{yz}	γ _{xz}	γ _{xy}	ε ₁	ε ₂	ε ₃
1	1	3	1.000	-1.000	0.000	-0.00022	-0.00022	-0.00196	0.00286	-0.00286	0.00258	0.00107	0.00030	-0.00377
		4	0.000	-0.500	0.000	0.00026	-0.00022	0.00024	0.00086	-0.00000	-0.00062	0.00124	0.00018	-0.00114
		5	0.500	-0.500	0.000	0.00032	0.00032	-0.00045	-0.00016	0.00016	-0.00041	0.00068	0.00016	-0.00065
		7	0.000	0.000	0.000	-0.00039	-0.00039	-0.00219	-0.00347	0.00347	0.00311	0.00117	0.00039	-0.00452
2	3	8	0.500	0.000	0.000	-0.00022	0.00026	0.00024	0.00000	-0.00086	-0.00062	0.00124	0.00018	-0.00114
		3	1.000	-1.000	-0.300	-0.00085	-0.00085	-0.00196	0.00398	-0.00398	0.00232	0.00083	0.00031	-0.00480
		4	0.000	-0.500	-0.300	-0.00053	-0.00034	0.00024	0.00058	0.00028	-0.00006	0.00102	-0.00035	-0.00130
		5	0.500	-0.500	-0.300	-0.00041	-0.00041	-0.00045	-0.00012	0.00012	0.00038	-0.00004	-0.00045	-0.00078
3	1	7	0.000	0.000	-0.300	-0.00049	-0.00049	-0.00219	-0.00305	0.00305	0.00084	0.00070	-0.00007	-0.00380
		8	0.500	0.000	-0.300	-0.00034	-0.00053	0.00024	-0.00028	-0.00058	-0.00006	0.00102	-0.00035	-0.00130
		1	0.000	0.000	0.000	-0.00039	-0.00039	-0.00219	-0.00347	0.00347	0.00311	0.00117	0.00039	-0.00452
		2	0.500	0.000	0.000	-0.00022	0.00026	0.00024	0.00000	-0.00086	-0.00062	0.00124	0.00018	-0.00114

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Flächen - lokale Verformungen | Flächen - globale Verformungen

Bild 8.73 Tabelle 4.35 Volumenkörper - Verzerrungen



Die Verzerrungen werden nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche, die den Volumenkörper umschließt.

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der vorherigen Ergebnistabelle 4.34 *Volumenkörper - Spannungen*.

Volumenkörper - Verzerrungen

Die Verzerrungen werden direkt vom Rechenkern aus den Eigenwerten der Dehnungsmatrix ermittelt. Bei einer Untersuchung nach Theorie I. oder II. Ordnung erfolgt eine lineare Berechnung, bei Theorie III. Ordnung werden sie nach logarithmischem Ansatz bestimmt.

Die Vergleichsverzerrungen werden wie folgt nach den vier Spannungshypothesen bestimmt:

$\varepsilon_{\text{Mises}}$	$\varepsilon = \frac{1}{1 + \nu} \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_z^2 - \varepsilon_x \varepsilon_y - \varepsilon_y \varepsilon_z - \varepsilon_z \varepsilon_x + \frac{3}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{xz}^2)}$
$\varepsilon_{\text{Tresca}}$	Maximum der Eigenwert-Differenzen gemäß Matrix R (siehe Gleichung 8.17) $\varepsilon = \max(R_1 - R_2 , R_2 - R_3 , R_3 - R_1)$
$\varepsilon_{\text{Rankine}}$	Maximum der Eigenwerte gemäß Matrix R $\varepsilon = \max(R_1 , R_2 , R_3)$
$\varepsilon_{\text{Bach}}$	Maximum der Eigenwert-Differenzen unter Berücksichtigung der Querdehnzahl ν gemäß Matrix R $\varepsilon = \max[R_1 - \nu(R_2 + R_3) , R_2 - \nu(R_3 + R_1) , R_3 - \nu(R_1 + R_2)]$

Tabelle 8.27 Vergleichsverzerrungen

$$R = \frac{1}{1 + \nu} \begin{bmatrix} \frac{(1 - \nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)}{1 - 2\nu} & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{(1 - \nu)\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_z)}{1 - 2\nu} & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{xz}}{2} & \frac{\gamma_{yz}}{2} & \frac{(1 - \nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)}{1 - 2\nu} \end{bmatrix}$$

Gleichung 8.17

8.36

Volumenkörper - Gasdruck

Die grafische Anzeige des Gasdrucks wird über den Eintrag **Volumenkörper** → **Spannungen** → **Druck P** im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Die Tabelle 4.36 gibt den Gasdruck von Volumenkörpern in numerischer Form aus.

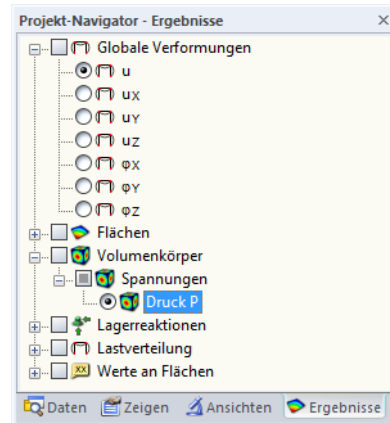


Bild 8.74 Ergebnisse-Navigator: Volumenkörper → Spannungen → Druck P

Volumen Nr.	A Fläche Nr.	B Rasterpunkt	C Rasterpunkt-Koordinaten [m] X	D Y	E Z	F Druck P p [MPa]
1	1	1	0.000	-1.500	0.000	0.43
		2	0.500	-1.500	0.000	0.43
		3	1.000	-1.500	0.000	0.43
		4	1.500	-1.500	0.000	0.43
		5	2.000	-1.500	0.000	0.43
		6	0.000	-1.000	0.000	0.43
		7	0.500	-1.000	0.000	0.43
		8	1.000	-1.000	0.000	0.43

Bild 8.75 Tabelle 4.36 Volumenkörper - Gasdruck

Die Druckverteilung wird nach Flächen geordnet ausgegeben. Die Auflistung erfolgt für die Rasterpunkte einer jeden Fläche, die den Volumenkörper umschließt.

Die Tabellenspalten *Rasterpunkt* und *Rasterpunkt-Koordinaten* entsprechen denen der Ergebnistabelle 4.34 *Volumenkörper - Spannungen*.

Gasdruck p

Der Gasdruck ist eine spezifische Spannungsart für Volumenkörper des Typs „Gas“ (siehe [Kapitel 4.5](#)). Er ermittelt sich mit den Zustandsgrößen Volumen V und Temperatur T nach folgender Bedingung.

Zustandsgleichung für Gase:

$$p \cdot \frac{V}{T} = \text{const}$$

Gleichung 8.18

mit T in [K] bezogen auf absoluten Nullpunkt

9 Ergebnisauswertung



9.1

Vorhandene Ergebnisse

Die Menüfunktion

Ergebnisse → **Vorhandene Ergebnisse**

öffnet einen Dialog mit einer Übersicht aller berechneten Lastfälle und Kombinationen.

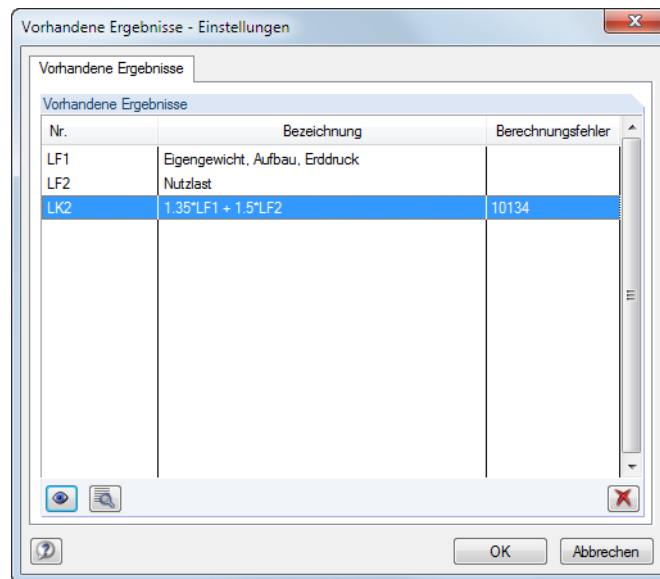


Bild 9.1 Dialog Vorhandene Ergebnisse

In der Liste kann überprüft werden, welche Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen berechnet wurden. Die Spalte *Berechnungsfehler* weist Ursachen für Berechnungsabbrüche aus, die über die Schaltfläche des selektierten Lastfalls näher erläutert werden.

Nach dem Selektieren eines Eintrags können die Ergebnisse über die Schaltfläche oder einen Doppelklick grafisch angezeigt werden. Nicht benötigte Ergebnisse lassen sich mit der Schaltfläche löschen.

LF2 - Schnee

Der Lastfall oder die Last- bzw. Ergebniskombination kann auch in der Lastfallliste der Symbolleiste oder Ergebnistabellen-Symbolleiste ausgewählt werden. Ergebnisgrafik und Tabellenanzeige aktualisieren sich automatisch, wenn die sogenannte Synchronisation der Selektion aktiv ist (siehe Kapitel 11.5.4 [☞](#)).

9.2

Ergebnisauswahl



Der *Ergebnisse*-Navigator steuert, ob Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen, Verzerrungen oder/und Lagerreaktionen sowie Schnitte und ggf. Glättungsbereiche angezeigt werden.

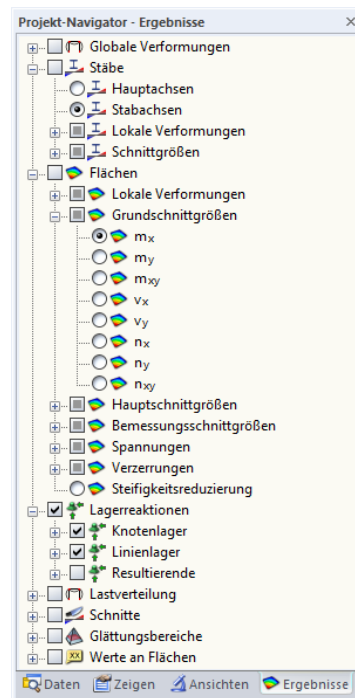


Bild 9.2 Ergebnisse-Navigator

Alternativ erfolgt die Auswahl über die *Ergebnisse*-Symbolleiste.



Bild 9.3 Ergebnisse-Schaltflächen in der Symbolleiste



Die Schaltfläche [Ergebnisse anzeigen] schaltet die Darstellung der Ergebnisgrafik an oder ab; die Schaltfläche [Ergebniswerte anzeigen] rechts davon steuert die Anzeige der Ergebniswerte.

Bei den Ergebnissen einer Ergebniskombination (EK) enthält der Navigator den zusätzlichen Eintrag *Ergebniskombinationen*.

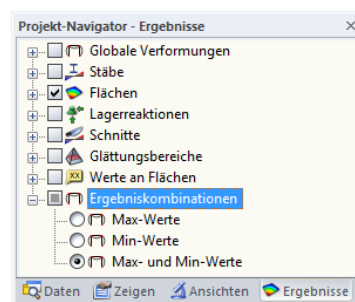


Bild 9.4 Ergebnisse-Navigator bei einer Ergebniskombination

Es bestehen drei Möglichkeiten, die Ergebnisse der Verformungen, Schnittgrößen und Lagerkräfte von Ergebniskombinationen grafisch anzuzeigen: Die *Max-* und *Min-Werte* können separat dargestellt werden. Die Option *Max- und Min-Werte* zeigt beide Einhüllenden aus den Extremwerten am Modell.

9.3

Ergebnisdarstellung

Die Art der Präsentation der Ergebnisse wird über den Zeigen-Navigator gesteuert.

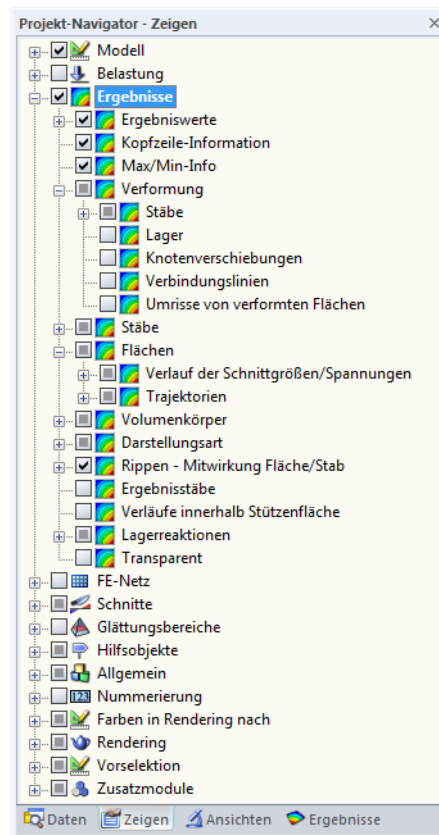


Bild 9.5 Zeigen-Navigator: Ergebnisse



Im Ergebnisse-Navigator wird festgelegt, **welche** Ergebnisse angezeigt werden. Der Zeigen-Navigator steuert, **wie** sie dargestellt werden.

9.3.1 Stabergebnisse

Als Standard werden die Stabschnittgrößen *Zweifarbig* dargestellt. Damit werden positive Schnittgrößen in cyan oder blau, negative Schnittgrößen in rot angetragen. Die Stabverformungen werden standardmäßig als einfarbige *Linien* dargestellt.



Der grafische Ergebnisverlauf wird über das Eingabefeld *Anzahl der Stabteilungen für Ergebnisverläufe* im Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter* gesteuert (siehe [Bild 7.27](#)). Ist dort eine Teilung von 10 eingestellt, teilt RFEM die Länge des längsten Stabes im System durch 10. Mit dieser systembezogenen Teilungslänge werden dann für jeden Stab die grafischen Ergebnisverläufe an den Zwischenpunkten ermittelt.



Werden die Stabschnittgrößen *Farbig mit/ohne Verlauf* dargestellt, erfolgt die Farbzweisung der grafischen Ergebnisse gemäß der Skala im Steuerpanel. Das [Kapitel 3.4.6](#) enthält Hinweise zur Anpassung der Werte- und Farbskalen.

Die Schnittgrößen können auch als *Querschnitte* gezeigt werden: Es erscheint eine fotorealistische Darstellung der Stäbe mit farbig abgestimmten Schnittgrößenverläufen an den gerenderten Stäben.

Analog lässt sich die Verformung der *Querschnitte* (3D-Rendering der Verformungsfigur) oder der *Querschnitte farbig* (farbig abgestuftes Rendering der Verformungsfigur) anzeigen.

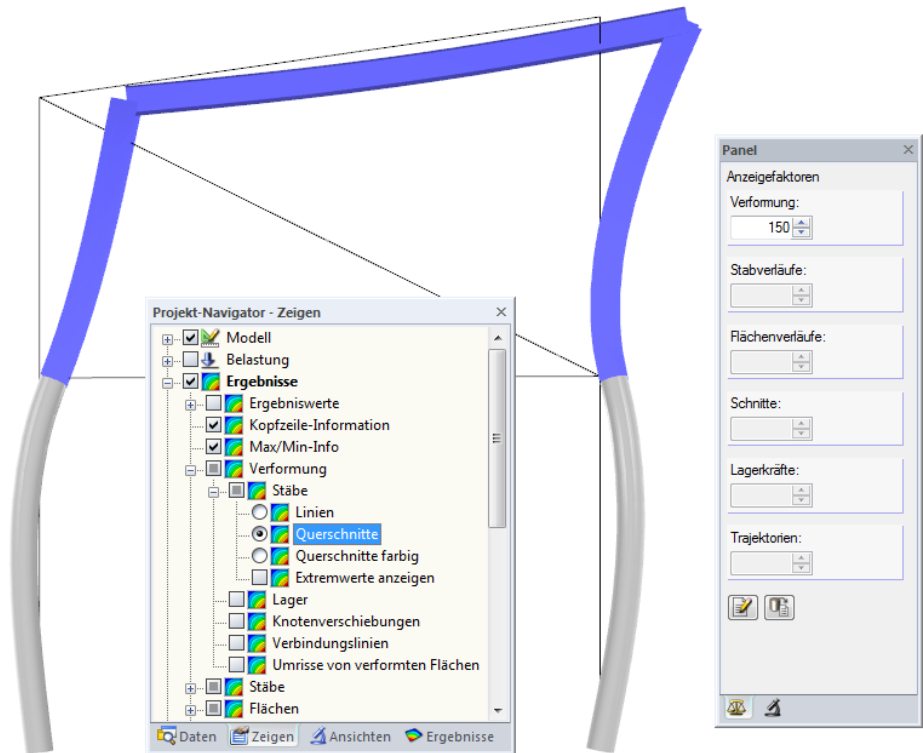


Bild 9.6 Überhöhte Darstellung der Stabverformungen im 3D-Rending

9.3.2 Flächen- und Volumenergebnisse

Die Ergebnisse der Flächen und Volumenkörper werden standardmäßig als *Isoflächen* angezeigt. Die Farbzweisung wird im Steuerpanel verwaltet (siehe [Kapitel 3.4.6](#)).

Der Eintrag **Ergebnisse** → **Darstellungsart** des Zeigen-Navigators bietet diverse Anzeigemöglichkeiten für die Flächen- und Volumenergebnisse an.

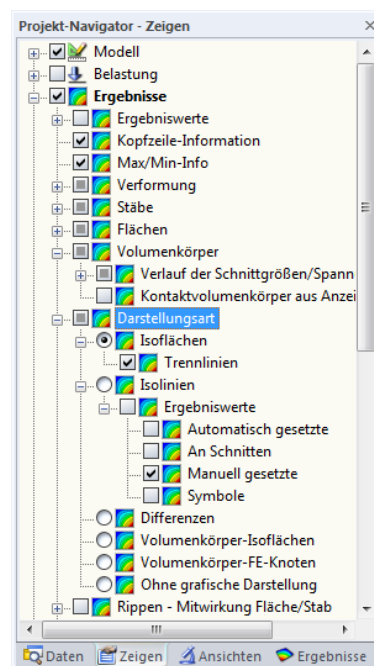


Bild 9.7 Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Darstellungsart

Die Ergebnisse von Flächen und Volumen lassen sich als *Isoflächen* oder *Isolinien* darstellen. Letztere erweisen sich oft vorteilhaft für die Ausgabe auf einen Schwarz-Weiß-Drucker.

Die Option *Ohne grafische Darstellung* ermöglicht eine Ausgabe der reinen Ergebniswerte: Die Isoflächen oder Isolinien werden ausgeblendet, sodass nur die Ergebniswerte in den Raster- oder FE-Netzpunkten angezeigt werden. Diese Einstellung eignet sich ebenfalls zum Drucken.

Die Anzeigeeoption *Differenzen* steht nur für Spannungen zur Verfügung. Dadurch werden die Spannungsänderungen in den finiten Elementen ersichtlich, die wiederum Rückschlüsse auf die Qualität des FE-Netzes erlauben: Falls große Unterschiede in benachbarten Elementen bestehen, sollte an diesen Stellen eine FE-Netzverdichtung erwogen werden.

Die Darstellung der Ergebnisse in den *Volumenkörper-FE-Knoten* ermöglicht eine Auswertung der Spannungen im Inneren eines Volumenkörpers – vorausgesetzt, das FE-Netz ist fein genug. Die Farbzusweisung der FE-Knoten erfolgt gemäß der im Steuerpanel gezeigten Skala. Werden zusätzlich im *Ergebnisse-Navigator* die Werte in den FE-Netzpunkten aktiviert, können die Volumenspannungen direkt abgelesen werden.

Über das Steuerpanel-Register *Faktoren* (mittig) kann die Skalierung von Verformungen und Schnittgrößen beeinflusst werden. Das Register *Filter* (rechts) ermöglicht die gezielte Auswahl der Stäbe, Flächen oder Volumen, deren Ergebnisse dargestellt werden sollen (siehe Bild 9.51). Die beiden Panel-Register sind im Kapitel 3.4.6 beschrieben.

Kriterien bei nichtlinearen Materialeigenschaften

Wurde ein Materialmodell mit nichtlinearen Effekten gewählt (siehe Kapitel 4.3), kann nach der Berechnung grafisch überprüft werden, welche Bereiche z. B. mit dem Erreichen der Fließgrenze durch reduzierte Steifigkeiten berücksichtigt sind. Diese Möglichkeit besteht nur, wenn das Zusatzmodul **RF-MAT NL** lizenziert ist.

Der *Nichtlinearitätsgrad* beschreibt den Anteil der Gaußpunkte, die bei der Analyse mindestens einmal nichtlinear untersucht wurden. Anhand der plastischen *Ausnutzung* lässt sich beispielsweise überprüfen, welche Fließgelenke sich bei einem Träger ausbilden.

Spannungen in Volumen

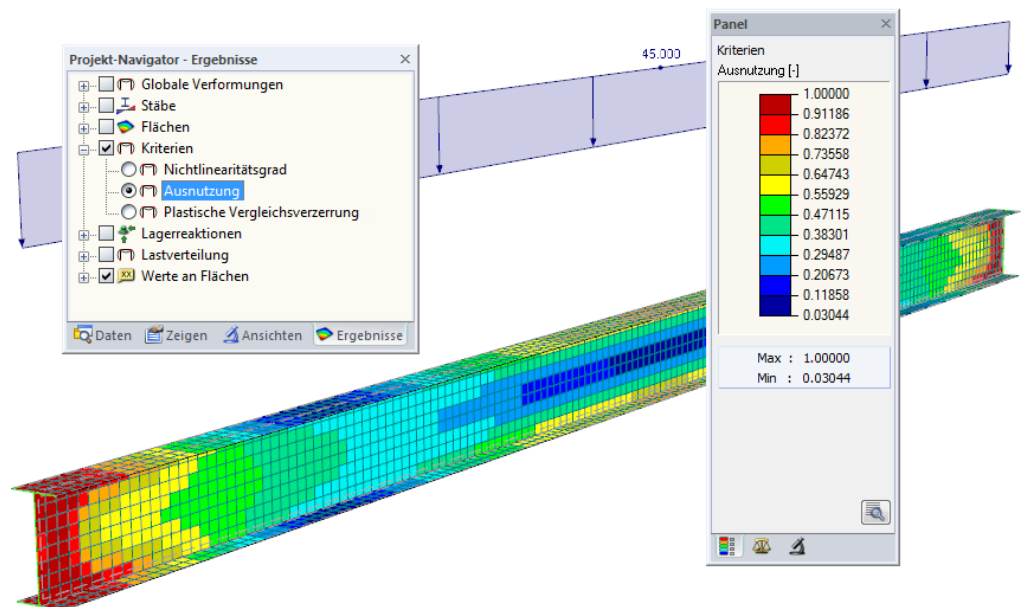


Bild 9.8 Plastische Ausnutzung eines beidseitig eingespannten Trägers mit Fließgelenken

Lastverteilung

Über die Kontrollfelder im Navigatoreintrag *Lastverteilung* können die Kräfte und Momente angezeigt werden, die die *FE-Knoten* oder *FE-Elemente* aus den eingegebenen Lasten erhalten. Die Kräfte der *FE-Elemente* lassen sich auf das globale XYZ-Achsensystem oder auf die lokalen xyz-Flächenachsen bezogen darstellen.

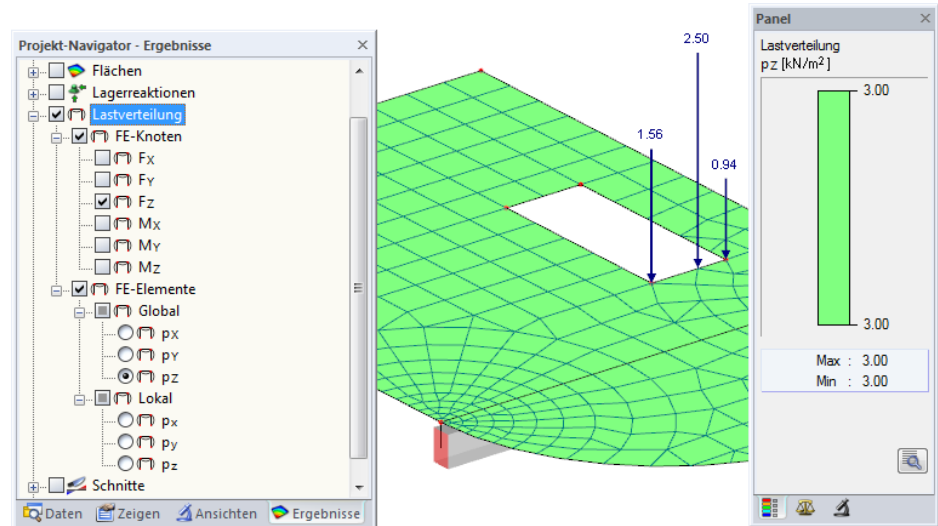


Bild 9.9 Lastverteilung mit Netzlasten für Linienlast (F_z) und Flächenlast (p_z)

Anhand der Netzlasten ist eine Kontrolle der eingegebenen Lasten möglich. Damit kann beispielsweise bei freien Einzellasten überprüft werden, ob die Last auf alle Flächen wirkt, die in der Liste *An Flächen* vorgegeben sind (siehe Bild 6.33 [↗](#)).

9.4

Werteanzeige

Die Anzeige der Werte wird im *Ergebnisse-Navigator* verwaltet (siehe Kapitel 3.4.3 [↗](#)).

9.4.1 Ergebniswerte

Die Kategorie *Werte* steuert die Ergebniswerte, die im Arbeitsfenster angezeigt werden.

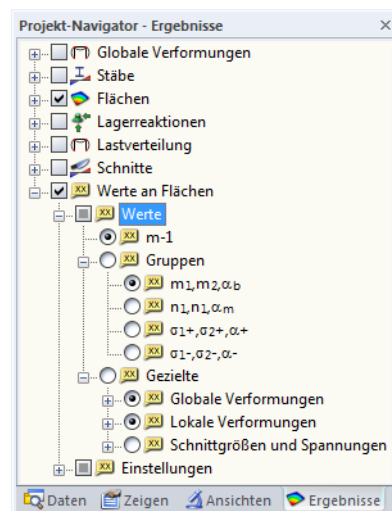


Bild 9.10 Ergebnisse-Navigator: Werte an Flächen → Werte

Werte der Ergebnisgrafik

Das erste Auswahlfeld (im Bild oben: $m-1$) ist auf die Ergebnisart abgestimmt, die im Arbeitsfenster angezeigt wird. Ist dieses Feld aktiv, werden die Ergebniswerte der aktuellen Verformungs-, Schnittgrößen- oder Spannungsgrafik angezeigt.

Werte-Gruppen

Das Auswahlfeld *Gruppen* ermöglicht es, für Flächenergebnisse zwei Ergebniswerte je Stelle anzuzeigen. Es sind vier Gruppen voreingestellt. Folgendes Bild zeigt die erste Gruppe mit den Hauptmomenten m_1 und m_2 . Die Rasterwerte sind um den Winkel α_b gedreht angeordnet.

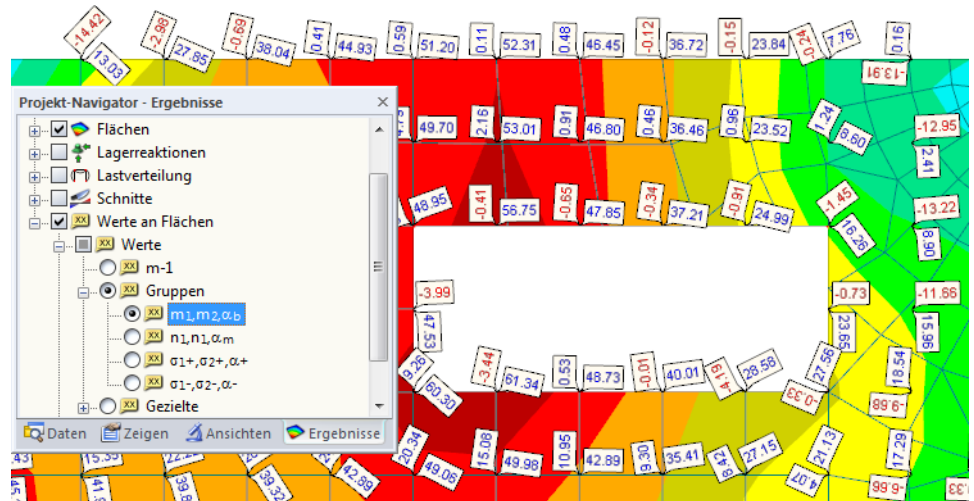
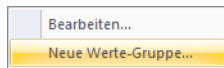


Bild 9.11 Gruppe Hauptmomente in der Grafik



Es lassen sich auch benutzerdefinierte Werte-Gruppen erstellen: Klicken Sie mit der rechten Maustaste den Navigatoreintrag *Gruppen* an, um das links dargestellte Kontextmenü zu öffnen. Die Option *Neue Werte-Gruppe* ruft folgenden Dialog auf.

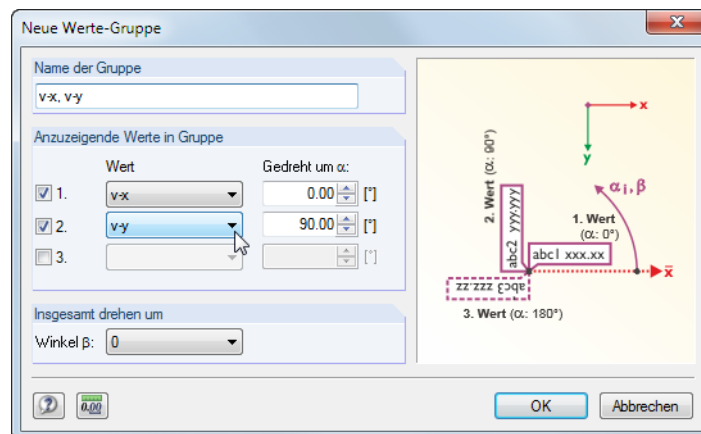
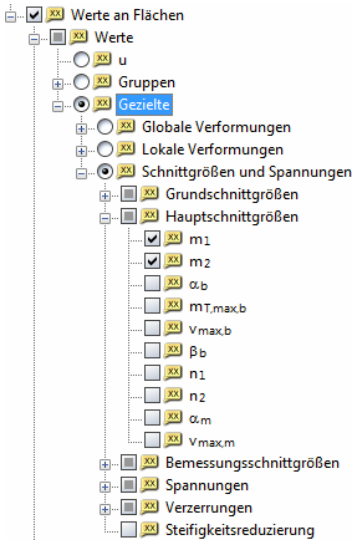


Bild 9.12 Dialog Neue Werte-Gruppe

Zunächst ist der *Name der Gruppe* festzulegen, der später als Navigatoreintrag erscheint. Im Abschnitt *Anzuzeigende Werte in Gruppe* können die Ergebnisarten in den Listen *1. Wert*, *2. Wert* und *3. Wert* ausgewählt werden. Die Drehung der Werte ist in den Feldern *Gedreht um α* festzulegen.



Gezielte Ergebniswerte

Das Auswahlfeld *Gezielte* steuert, welche Ergebniswerte (Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen, Verzerrungen) dargestellt werden — unabhängig von der im Arbeitsfenster aktiven Ergebnisart. Es können so z. B. die Verformungen der Fläche grafisch hinterlegt und gleichzeitig wie links eingestellt die Werte der Hauptschnittgrößen m_1 und m_2 eingeblendet werden.

9.4.2 Einstellungen

Die unter den *Einstellungen* verfügbaren Anzeigemöglichkeiten beeinflussen die Ausgabestellen der Ergebniswerte sowie deren Darstellung.

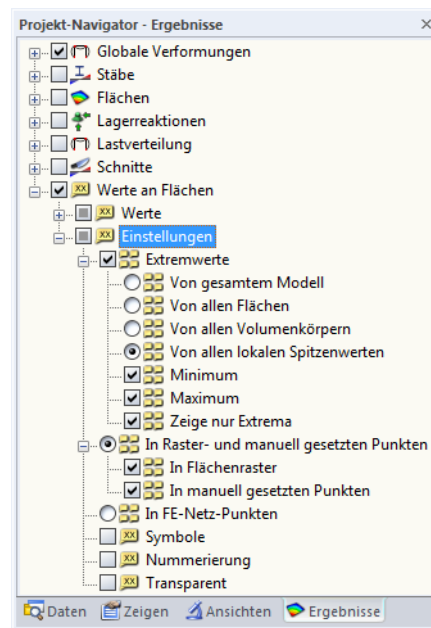


Bild 9.13 Ergebnisse-Navigator: Werte an Flächen → Einstellungen

Extremwerte

Ist die Option *Extremwerte* aktiv, so werden je nach Einstellung nur die jeweiligen Minima bzw. Maxima angezeigt.

Raster- / FE-Netzpunkte

Die Ergebniswerte können zudem entweder in den *Raster- und manuell gesetzten Punkten* oder in den *FE-Netzpunkten* angezeigt werden. Setzen Sie die letztgenannte Option mit Bedacht ein, denn das Einlesen aller FE-Ergebniswerte benötigt bei größeren Modellen Zeit.

Symbole / Nummerierung / Transparent

Die letzten drei Kontrollfelder der Kategorie *Einstellungen* steuern Art und Umfang der Beschriftung:

- Die *Symbole* der eingestellten Ergebnisart (u , m_x , σ_z etc.) werden mit ausgegeben.
- Die *Nummerierung* der **R**aster- bzw. **FE-Netz**punkte ($R1$, $N1$ etc.) wird mit ausgegeben.
- Die Werte werden *Transparent* — ohne Rahmen und ohne Hintergrund — dargestellt.

m-x	77.3
N1	R1
-23.7	32.4
N617	
m-1	31.2
m-2	12.9

Die Farben und Fonts der Ergebnswerte können angepasst werden über das Menü

Optionen → Anzeigeeigenschaften → Bearbeiten.

Im allgemeinen Anzeigeeigenschaften-Dialog erfolgen die Einstellungen in der Kategorie

Ergebnisse → Ergebnswerte → Ergebnswerte auf Flächen.

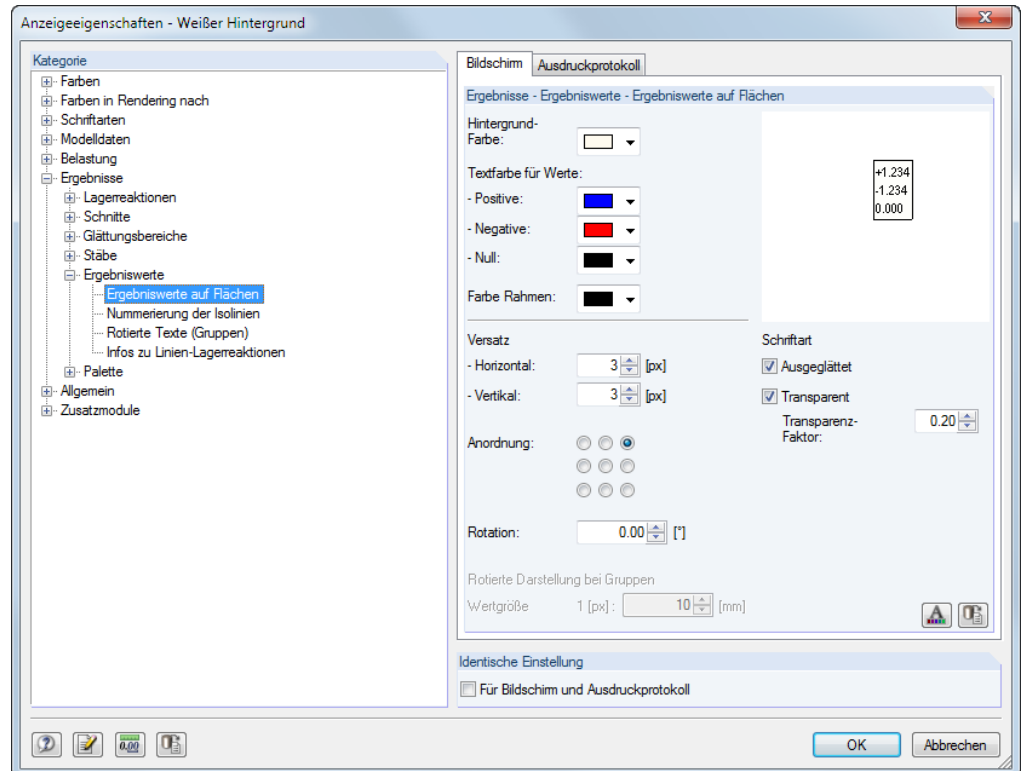


Bild 9.14 Dialog Anzeigeeigenschaften: Ergebnisse → Ergebnswerte → Ergebnswerte auf Flächen

9.4.3 Benutzerdefinierte Ergebnswerte

Rasterwerte

Die Rasterpunkte stellen eine Eigenschaft der jeweiligen Fläche dar. Deshalb können Anzahl und Anordnung der Rasterpunkte im Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Raster* angepasst werden. Das Flächen-Ergebnisraster liegt der tabellarischen Ausgabe zugrunde. Grafisch können nicht nur die Rasterwerte, sondern auch die Werte an den FE-Knoten angezeigt werden.

Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im [Kapitel 8.13](#).

Grafikwerte

Im Arbeitsfenster können Ergebniswerte an beliebigen Stellen des Modells gesetzt werden. Werden Ergebnisse angezeigt, so ist diese Funktion zugänglich über das Menü

Ergebnisse → Ergebniswerte manuell setzen

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

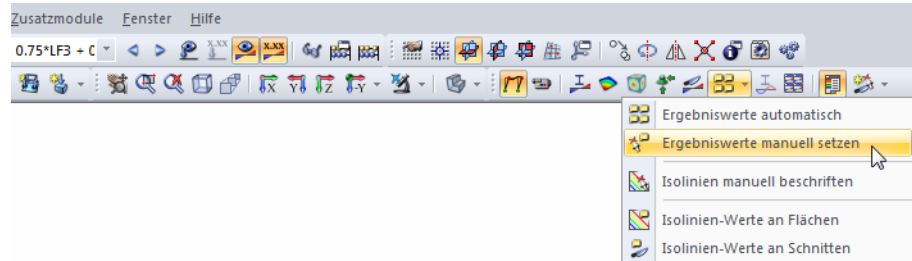


Bild 9.15 Funktion *Ergebniswerte manuell setzen* in der Symbolleiste *Ergebnisse*

Wird die Maus über eine Fläche bewegt, erscheinen die Ergebniswerte für die aktuelle Position des Mauszeigers. Die Ergebniswerte können dann per Mausklick an den relevanten Stellen platziert werden.

Ein manuell gesetzter Wert lässt sich auf einfache Weise löschen: Selektieren Sie den Wert mit einem Mausklick und drücken dann die [Entf]-Taste. Eine Mehrfachselektion ist wie üblich mit der gedrückten [Strg]-Taste oder grafisch durch Aufziehen eines Fensters möglich.

Das Ergebniswerte-Kontextmenü ist über einen Rechtsklick auf einen der Werte zugänglich. Es enthält spezifische Anzeige- und Filterfunktionen für die grafische Auswertung.

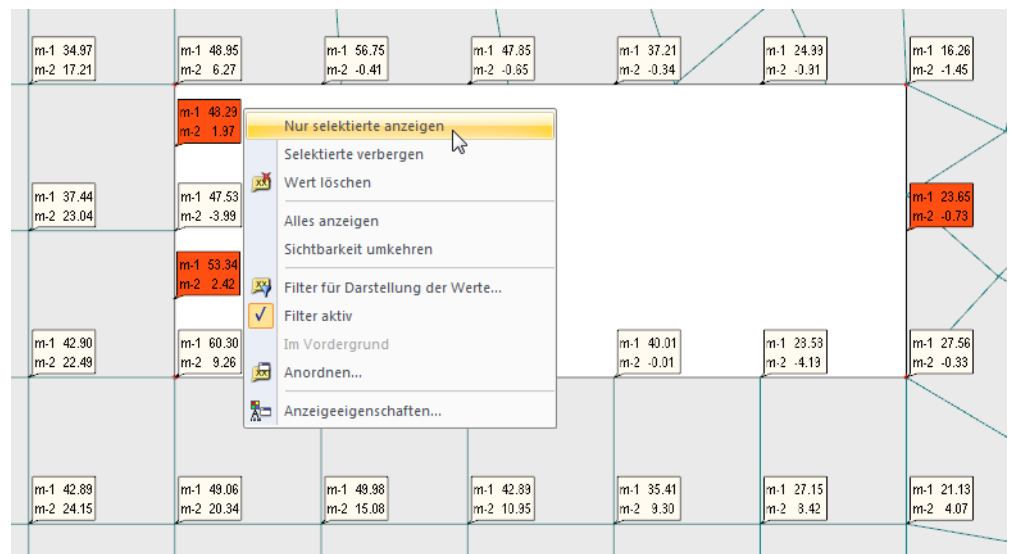


Bild 9.16 Kontextmenü *Ergebniswerte*



Die Kontextmenü-Funktion *Filter für Darstellung der Werte* (siehe Bild oben) ermöglicht genaue Vorgaben für die anzuzeigenden Ergebniswerte. Diese Funktion ist auch über im Menü

Ergebnisse → Anzeigoptionen

enthalten. Es erscheint folgender Dialog zur Eingabe der Filterkriterien.

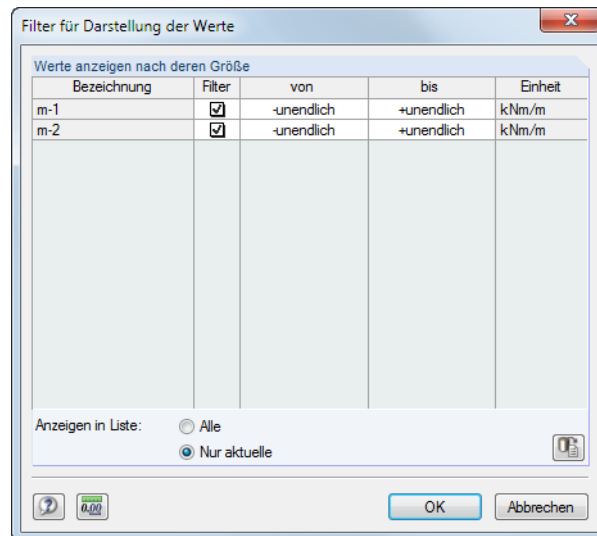


Bild 9.17 Dialog Filter für Darstellung der Werte

In der Liste *Werte anzeigen nach deren Größe* können in den Spalten *von* und *bis* Grenzwerte für die Ergebniswerte festgelegt werden. Außerhalb dieses Bereichs liegende Werte werden dann in der Grafik ausgeblendet.

Suchkriterien für lokale Extremwerte

Die Ausgabe der grafischen Flächen-Extremwerte kann gesteuert werden über das Menü

Ergebnisse → **Anzeigeoptionen** → **Suchkriterien für lokale Extremwerte**

oder das Kontextmenü des Eintrags *Von allen lokalen Spitzenwerten* im *Ergebnisse*-Navigator.

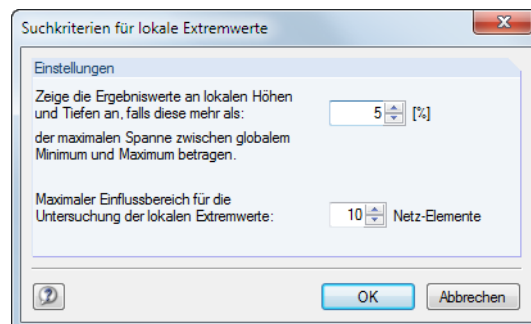


Bild 9.18 Dialog Suchkriterien für lokale Extremwerte

Das erste Eingabefeld steuert, ab welcher Größe ein Ergebniswert als lokales Extremum gilt. Mit diesem Prozentwert wird die Differenz aus globalem Maximum und globalem Minimum aller aktiven Flächen multipliziert. Je niedriger diese Schranke, desto mehr lokale Extremwerte werden angezeigt.

Im zweiten Eingabefeld kann festgelegt werden, wie viele finite Elemente um einen Punkt für die Extremwertuntersuchung herangezogen werden sollen. Je größer diese Anzahl, desto mehr lokale Extremwerte werden ausgegeben.

9.4.4 Objektinfo

Für Stab- und Flächenergebnisse steht eine spezielle Ablesefunktion zur Verfügung. Sie wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Info über Objekt**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

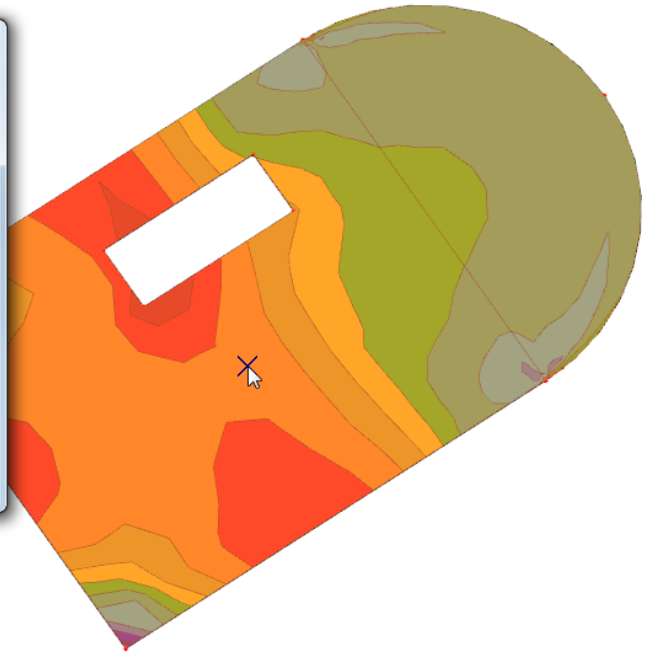


Bild 9.19 Dialog Info über Fläche

Es erscheint ein *Info*-Fenster. Wird der Mauszeiger über eine Fläche, einen Stab oder Volumenkörper bewegt, so informiert dieses Fenster sowohl über die Objektdaten (Material, Dicke, Querschnitt etc.) als auch die Verformungswerte, Schnittgrößen oder Spannungen an der aktuellen Mauszeigerposition.

Für die Auswertung von Flächenergebnissen sollte die *Darstellungsart gefüllt transparent* aktiviert werden.



9.5

Ergebnisverläufe

Das Ergebnisdiagramm ermöglicht es, die Ergebnisverläufe von Objekten im Detail abzulesen:

- Schnitt
- Stab
- Stabsatz
- Linie
- Linienlager

Das oder die Objekte (Mehrfachauswahl mit gedrückter [Strg]-Taste) sind im Arbeitsfenster zu selektieren. Die Funktion wird dann aufgerufen über das Menü

Ergebnisse → **Ergebnisverläufe für selektierte Schnitte/Stäbe/Stabsätze/Linien/Lager**



oder das Kontextmenü des Objekts. Bei Stäben und Stabsätzen steht auch die links dargestellte Schaltfläche in der Symbolleiste zur Verfügung.

Es öffnet sich ein neues Fenster mit den Ergebnisverläufen des selektierten Objekts.

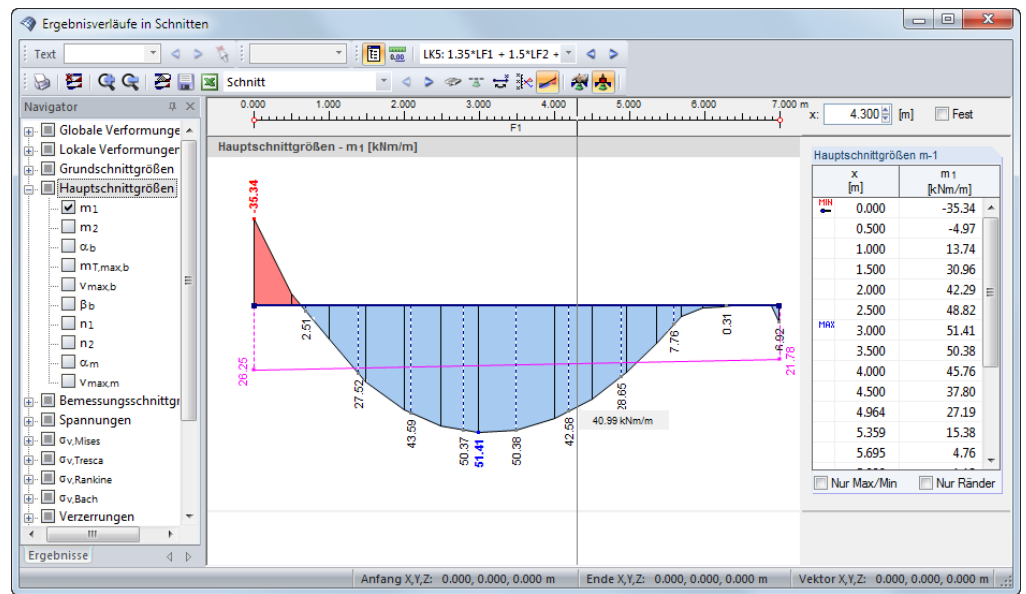


Bild 9.20 Dialog Ergebnisverläufe in Schnitten

LF2 - Schnee

Stäbe Nr.: 2

Der *Ergebnisse*-Navigator links verwaltet die Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen, Verzerrungen oder Lagerkräfte, die im Ergebnisdiagramm erscheinen. Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen gewechselt werden.

Bei Stäben werden links oben in einer Liste die Nummern der selektierten Stäbe angezeigt. Im Eingabefeld *Stäbe Nr.* sind auch manuelle Einträge möglich. Damit kann die Auswahl erweitert, reduziert oder völlig neu gestaltet werden.

Wird die Maus im Ergebnisdiagramm entlang der Linie bzw. des Stabes bewegt, können die „wandernden“ Ergebniswerte der aktuellen x-Stelle abgelesen werden. Die Stelle x ist auf den Linien- bzw. Stabanfang bezogen und wird rechts oben angezeigt. In das Eingabefeld kann auch eine bestimmte x-Stelle manuell eingetragen werden. Das Kontrollfeld *Fest* arretiert den Mauszeiger an der hier definierten Stelle.

Im rechten Abschnitt sind die Ergebniswerte in numerischer Form aufgelistet. Es handelt sich dabei um die Ergebnisse an den Randknoten sowie an den Stellen der Extremwerte und der Teilungspunkte. Letztere entsprechen den FE-Netzknotten oder Stabteilungen gemäß der Vorgabe im Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Globale Berechnungsparameter* (siehe Bild 7.27). Bei Linien, die zwei Flächen voneinander abgrenzen, werden die Flächenergebnisse beider Seiten angegeben.



Die benutzerdefinierten Einstellungen im Navigator für Verformungen oder Schnittgrößen können als Standard gespeichert werden. Im Navigator-Kontextmenü besteht eine entsprechende Möglichkeit. Sie ist in folgendem Beitrag beschrieben:

<https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001140>

Die *Aktionen* -Schaltflächen in der Symbolleiste sind hilfreich zur ingenieurmäßigen Ergebnisauswertung — insbesondere die Glättungsmöglichkeiten für Lagerkräfte, Linien oder Schnitte.



Bild 9.21 Schwebende Symbolleiste Aktionen

Die Schaltflächen bedeuten im Einzelnen:















Schaltfläche	Funktion
	Die Ergebnisverläufe werden gedruckt.
	Alle angezeigten Ergebnisverläufe werden entfernt.
	Die Ergebnisverläufe werden vergrößert.
	Die Ergebnisverläufe werden verkleinert.
	Die im Bild 9.22 gezeigten Steuerungsparameter werden aufgerufen.
	Die geglätteten Ergebnisverläufe werden gespeichert.
	Der Dialog <i>Tabelle exportieren</i> wird aufgerufen (Bild 11.126).
	Die Stabergebnisse werden mit oder ohne Rippenanteile dargestellt.
	Der Ergebnisverlauf über dem Stützenbereich wird ein- und ausgeblendet.
	Die Stabrichtung x wird umgekehrt.
	Die Ordinaten mit den Maximalwerten werden ein- und ausgeblendet.
	Die Anzeige der Durchschnittswerte wird an- und ausgeschaltet.
	Der Dialog zur Definition der Glättungsbereiche öffnet sich (Bild 9.36).
	Die Darstellung der Glättungsbereiche wird ein- und ausgeschaltet.

Tabelle 9.1 Schaltflächen der Symbolleiste Aktionen



Die Schaltfläche [Einstellungen Ergebnisverläufe] ruft einen Dialog auf, der verschiedene Möglichkeiten zur Anpassung des *Ergebnisverläufe*-Dialogs bietet.

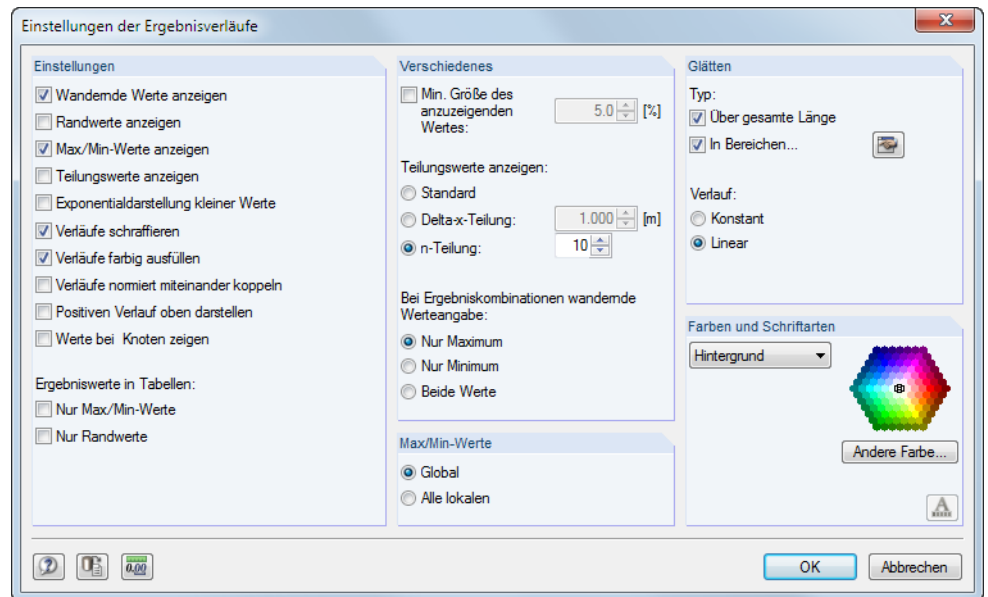


Bild 9.22 Dialog Einstellungen der Ergebnisverläufe

9.6

Schnitte

In RFEM können benutzerdefinierte Schnitte erzeugt werden, indem eine Ebene durch das Modell gelegt wird. Sie ermöglichen eine detaillierte Auswertung der Ergebnisse an den Schnittlinien mit Flächen und Volumen. Die Schnitte werden in den Registern des Projekt-Navigators als eigenständige Objekte verwaltet.



Ein neuer Schnitt wird erstellt über das Menü

Einfügen → Schnitte

oder das entsprechende Kontextmenü im Daten-Navigator.

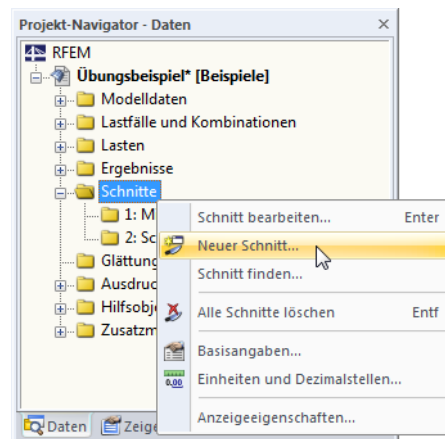


Bild 9.23 Daten-Navigator: Kontextmenü Schnitte

Es öffnet sich ein Dialog zur Definition der Schnitt-Parameter.

9.6.1 Schnitt durch Fläche

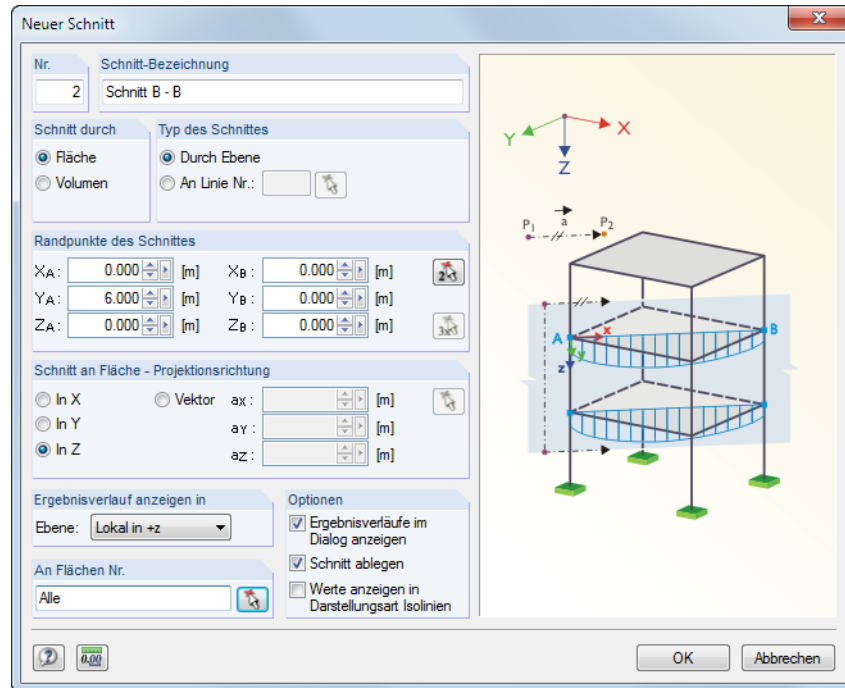




Bild 9.24 Dialog Neuer Schnitt für Fläche


Neben der *Nummer* ist die *Bezeichnung* des Schnitts anzugeben, die die sichere Zuordnung bei der Auswertung gewährleistet. Alle Schnitte werden im *Daten-Navigator* unter dem Eintrag *Schnitte* abgelegt und können dort nachträglich angepasst werden. Die Eingabe von Nummer und Bezeichnung erübrigt sich, wenn das Kontrollfeld *Schnitt ablegen* unten im Abschnitt *Optionen* deaktiviert wird.



Erfolgt der *Schnitt durch eine Fläche*, werden in den Abschnitten *Typ des Schnittes* und *Projektionsrichtung* die flächenspezifischen Parameter und die zugehörigen Grafiken angezeigt.


Der *Typ des Schnittes* kann als *Ebene* angelegt werden, die durch das Modell gelegt wird. Alternativ wird der Schnitt an einer beliebigen *Linie* im Modell geführt. Die Liniennummer ist einzutragen oder mit  im Arbeitsfenster zu bestimmen.

Die *Randpunkte des Schnittes* sind durch die globalen XYZ-Koordinaten der beiden Punkte A und B festzulegen. Alternativ werden sie mit  grafisch bestimmt. Um beliebige Punkte (d. h. keine Knoten) im Arbeitsfenster auswählen zu können, muss ggf. die aktuelle Arbeitsebene angepasst werden.

Von den Punkten A und B aus werden zwei Geraden in Projektionsrichtung „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche, die in der Liste *An Flächen Nr.* enthalten ist, wird der Ergebnisverlauf entlang der Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte dargestellt. Falls mehrere Flächen von der Projektionsebene geschnitten werden, so werden die Ergebnisverläufe für jede dieser Flächen angezeigt.

Neben den globalen *Projektionsrichtungen* in X, Y und Z ist die Angabe eines Vektors möglich. Mit  können zwei Punkte im Arbeitsfenster ausgewählt werden, um den Vektor festzulegen.

Der Abschnitt *Ergebnisverlauf anzeigen in Ebene* steuert, in welcher Flächenebene der Schnittverlauf dargestellt wird. Die Vorgabe wirkt sich nur auf das Arbeitsfenster aus (siehe [Bild 9.27](#) ), nicht jedoch auf den Dialog *Ergebnisverläufe* ([Bild 9.25](#) ).

Der Abschnitt *An Flächen* verwaltet die Nummern der Flächen, an denen die Schnittverläufe angezeigt werden. Diese Option ist hilfreich, falls die Schnittebene mehrere Flächen erfasst. Die Auswahl der relevanten Flächen kann mit  auch grafisch erfolgen.

Die drei Kontrollfelder im Abschnitt *Optionen* steuern, ob die Ergebnisverläufe nach [OK] als *Dialog* angezeigt werden (Bild 9.25) und ob man den *Schnitt ablegen* und somit speichern möchte. Die Option *Werte anzeigen in Darstellungsart Isolinien* bewirkt, dass die Isolinien im Arbeitsfenster automatisch beschriftet werden.

Sind die Angaben vollständig, erscheint mit [OK] in der Regel der *Ergebnisverläufe*-Dialog.

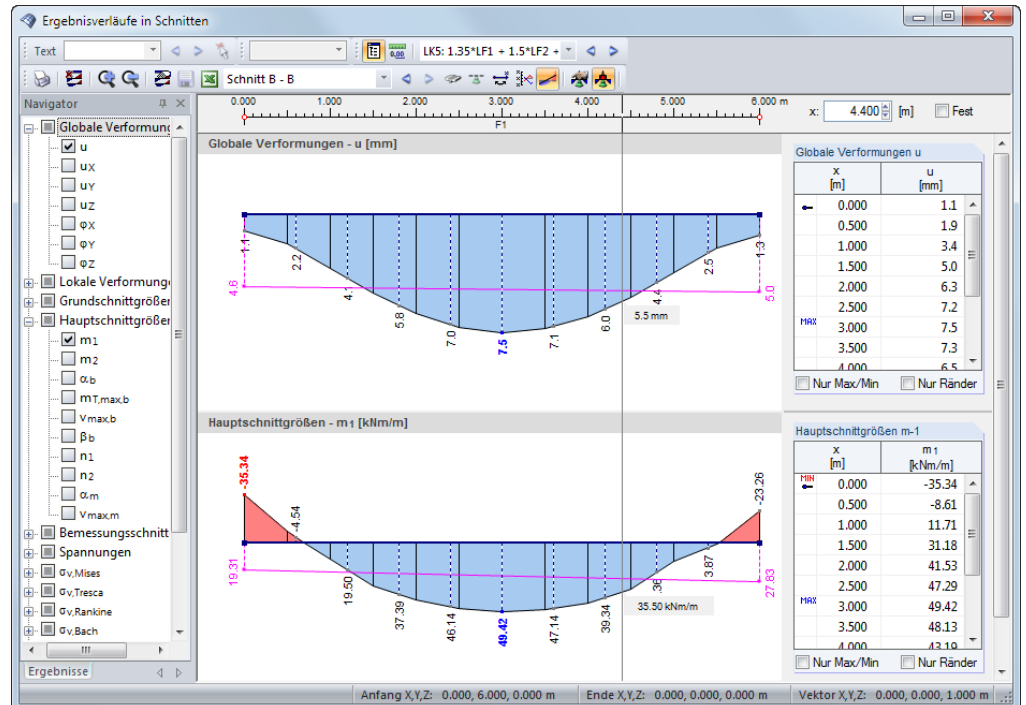


Bild 9.25 Dialog Ergebnisverläufe in Schnitten

Wird die Maus im Diagramm entlang des Schnitts bewegt, können die „wandernden“ Ergebniswerte der aktuellen x-Stelle abgelesen werden. Die Stelle x ist auf den Schnittanfang A bezogen und wird rechts oben angezeigt. In das Eingabefeld kann auch eine bestimmte x-Stelle manuell eingetragen werden. Das Kontrollfeld *Fest* arretiert den Mauszeiger an der hier definierten Stelle.

Die Liste in der Symbolleiste ermöglicht es, zwischen den einzelnen Schnitten zu wechseln.

Die Schaltflächen des Dialogs *Ergebnisverläufe* sind in der [Tabelle 9.1](#) erläutert.



Die Schnitte lassen sich über die links dargestellte Schaltfläche im Arbeitsfenster ein- und ausblenden. Alternativ wird der *Ergebnisse*-Navigator benutzt, der zudem eine gezielte Auswahl unter den abgelegten Schnitten ermöglicht.

Der Zeigen-Navigator bietet globale Einstellmöglichkeiten zur Darstellung der Schnitte.

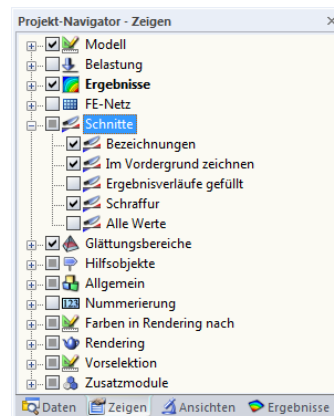


Bild 9.26 Zeigen-Navigator zur Darstellung der Schnitte

Das folgende Bild zeigt einen Schnitt durch eine ebene und eine gekrümmte Fläche, die beide von der Schnittebene erfasst sind. Für diese Darstellung wurde im Zeigen-Navigator die Option *Ergebnisverläufe gefüllt* angehakt.

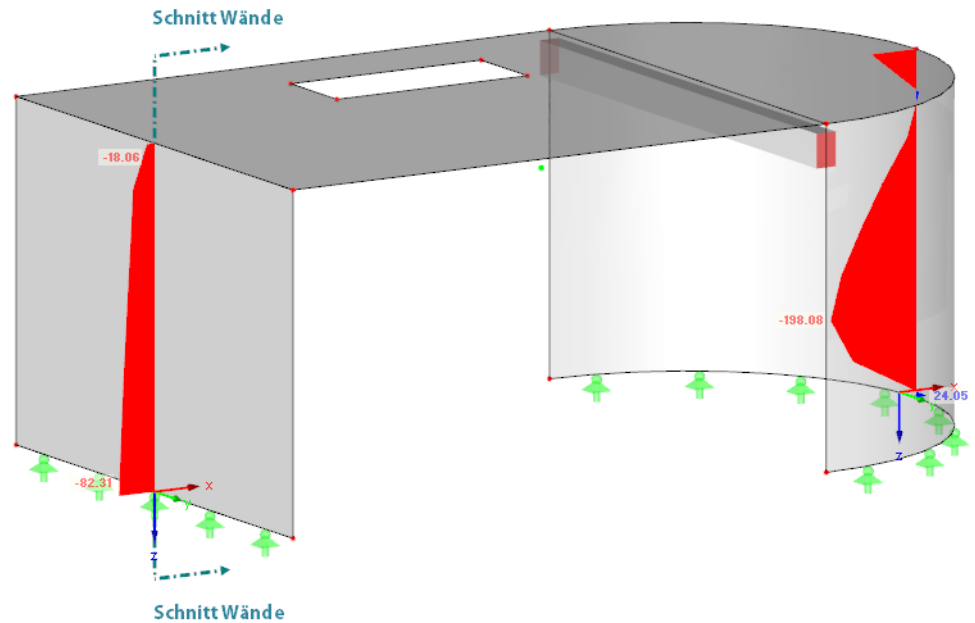


Bild 9.27 Schnittdarstellung der Normalkräfte n-2 am RFEM-Modell

9.6.2 Schnitt durch Volumenkörper

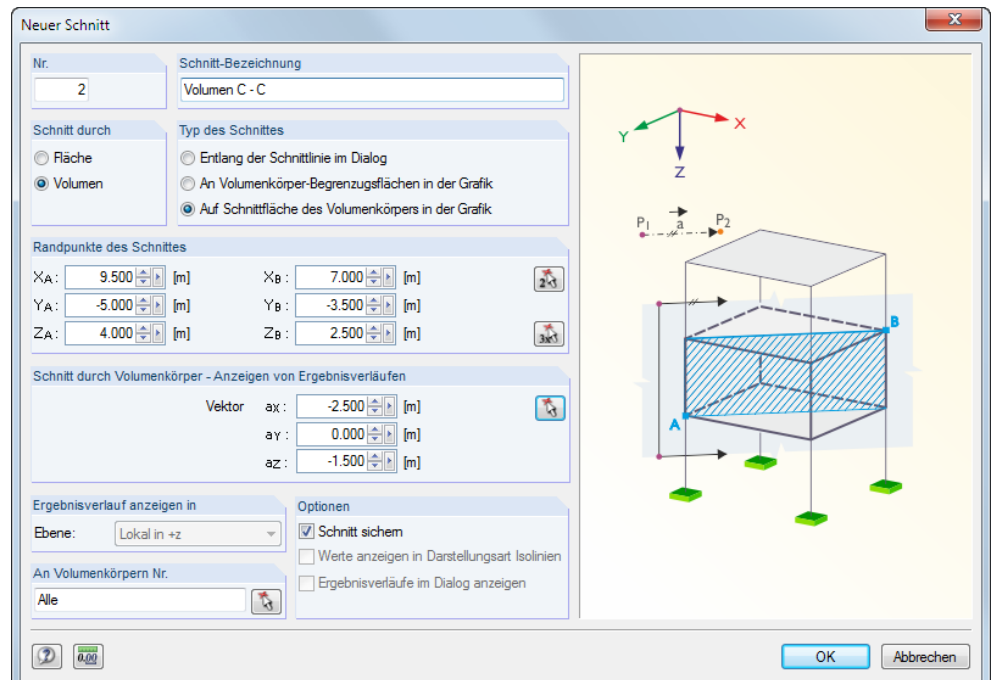


Bild 9.28 Dialog Neuer Schnitt für Volumen

Wie für einen Schnitt durch Flächen sind *Nummer* und *Bezeichnung* anzugeben, wenn man den *Schnitt ablegen* möchte (siehe Abschnitt *Optionen*).


Bei einem *Schnitt durch* ein *Volumen* werden in den Abschnitten *Typ des Schnittes* und *Anzeigen von Ergebnisverläufen* die volumenspezifischen Parameter mit den zugehörigen Grafiken angezeigt.

Erfolgt der Schnitt durch ein Volumen, kann eine *Schnittlinie* durch das Volumen gelegt werden. Die Ergebnisse werden dann wie für Flächen im Dialog *Ergebnisverläufe* angezeigt (siehe [Bild 9.25](#)). Alternativ lassen sich die Ergebnisse an den von der Ebene geschnittenen *Volumen-Begrenzungsflächen* im Arbeitsfenster darstellen. Die Option *Auf der Schnittfläche des Volumens* zeigt die Ergebnisse direkt in der Schnittebene an.



Die *Randpunkte des Schnittes* sind wie für Flächen einzutragen oder grafisch festzulegen.

Von den Punkten A und B aus werden zwei Geraden in Richtung des Vektors „konstruiert“. Schneiden diese Geraden einen Volumenkörper, der in der Liste *An Volumina Nr.* enthalten ist, werden die Ergebnisse entlang der Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte bzw. als Schnittebene zwischen den Geraden dargestellt. Falls mehrere Volumen von der Projektionsebene geschnitten werden, werden die Ergebnisverläufe für jedes dieser Volumen angezeigt.

Der Vektor legt die Projektionsrichtung des Schnittes fest. Mit  können zwei Punkte im Arbeitsfenster ausgewählt werden, um diesen Vektor festzulegen.

9.7

Glätten der Ergebnisse

Die FE-Analyse ermittelt die Ergebnisse für jeden FE-Netzknoden. Meist soll jedoch in der Grafik ein stetiger Verlauf der Schnittgröße oder Verformung angezeigt werden. Dazu ist es notwendig, die Ergebnisse zu glätten, z. B. durch Interpolation.

Für Flächen und Volumen stehen folgende Glättungsmöglichkeiten zur Auswahl:

- Konstant in Elementen
- Nicht durchlaufend
- Durchlaufend innerhalb Flächen bzw. Volumenkörpern
- Durchlaufend gesamt
- Kontinuierlich gruppenweise

Zudem besteht die Möglichkeit, Glättungsbereiche für Ergebnisverläufe festzulegen (siehe [Bild 9.36](#)).

9.7.1 Arbeitsfenster

Der Zeigen-Navigator steuert die Ergebnisglättung, die sich auf das Arbeitsfenster auswirkt.

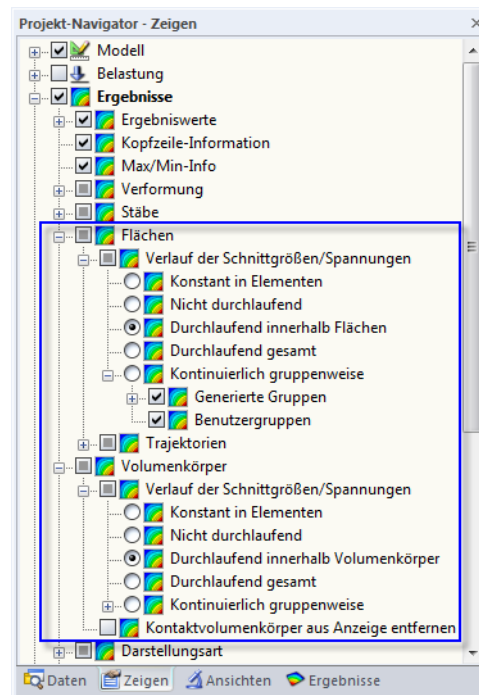


Bild 9.29 Zeigen-Navigator: Ergebnisse → Flächen bzw. Volumen → Verlauf der Schnittgrößen/Spannungen

Beispiel

Ein Beispiel soll die Auswirkung der einzelnen Glättungsarten veranschaulichen.

Eine Stahlplatte mit den Abmessungen $3\text{ m} \cdot 3\text{ m}$ und der Dicke 3 cm ist an zwei gegenüberliegenden Linien gelenkig gelagert. Die Platte wird nicht durch eine ganze, sondern durch zwei nebeneinanderliegende Flächen mit gleichen Eigenschaften modelliert. Die lokalen z-Achsen der beiden Flächen sind jedoch entgegengesetzt gerichtet.

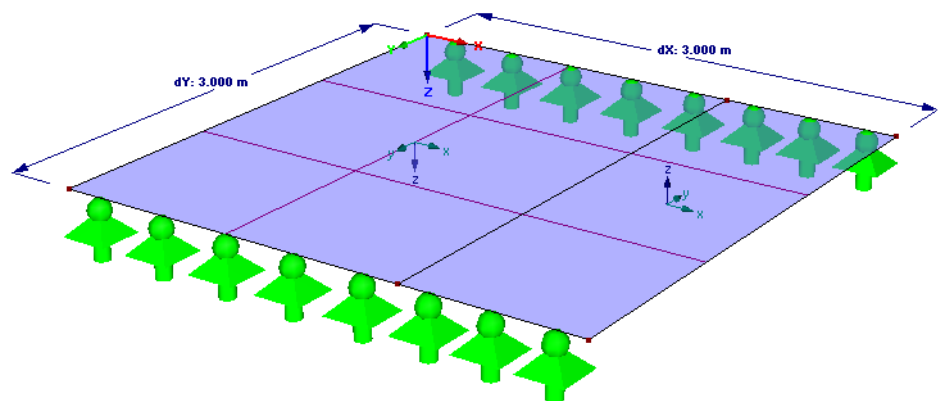


Bild 9.30 Stahlplatte — modelliert durch zwei Flächen

Die FE-Länge beträgt 1 m . Diese Elementgröße liefert sicher keine präzisen Ergebnisse; sie soll lediglich die Ergebnisdarstellungen der verschiedenen Glättungen veranschaulichen.

Die Stahlfläche ist nur durch das Eigengewicht belastet.

Schnittgrößenverlauf Konstant in Elementen

Grundschnittgrößen m-y
LF1

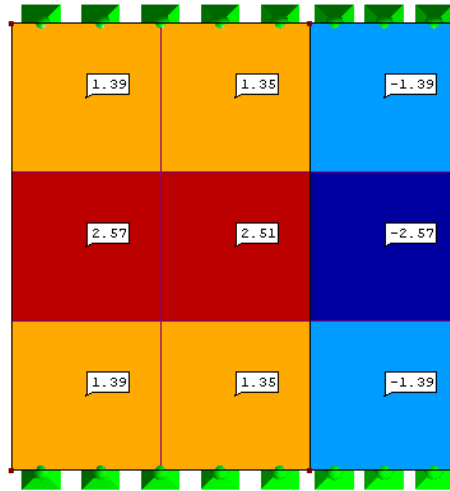


Bild 9.31 Schnittgrößenverlauf Konstant in Elementen, Werte In FE-Netzpunkten

Die Werte der FE-Knoten werden gemittelt und das Ergebnis wird in den Elementmitten angezeigt. Der Verlauf in jedem Element ist konstant. Diese Art der Ergebnisdarstellung ist für plastische Materialmodelle zu empfehlen (siehe Kapitel 4.3 [☐](#)).

Schnittgrößenverlauf Nicht durchlaufend

Grundschnittgrößen m-y
LF1

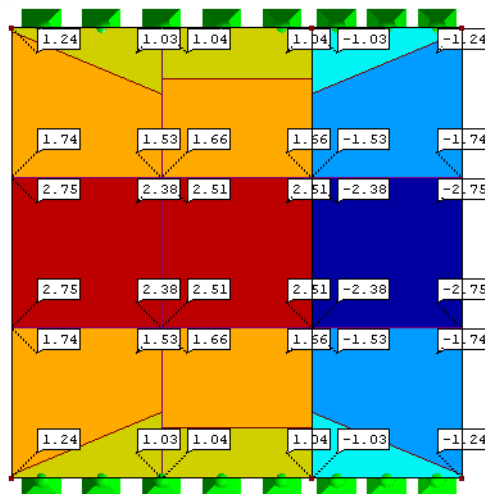


Bild 9.32 Schnittgrößenverlauf Nicht durchlaufend, Werte In FE-Netzpunkten

Es werden die Werte der FE-Knoten angezeigt, die sich aus den Verschiebungen und Verdrehungen jedes einzelnen Elements ermitteln. Deshalb werden für jeden FE-Knoten mehrere Werte angegeben. Die Elementzugehörigkeit wird durch eine punktierte Linie am Knotenwert angedeutet.

Für die Grafik wird eine Fläche durch die Eckwerte eines jeden Elements gelegt. Da die Ergebnisse der Nachbarelemente nicht berücksichtigt werden, liegt ein unstetiger Verlauf vor.

Schnittgrößenverlauf Durchlaufend innerhalb Flächen

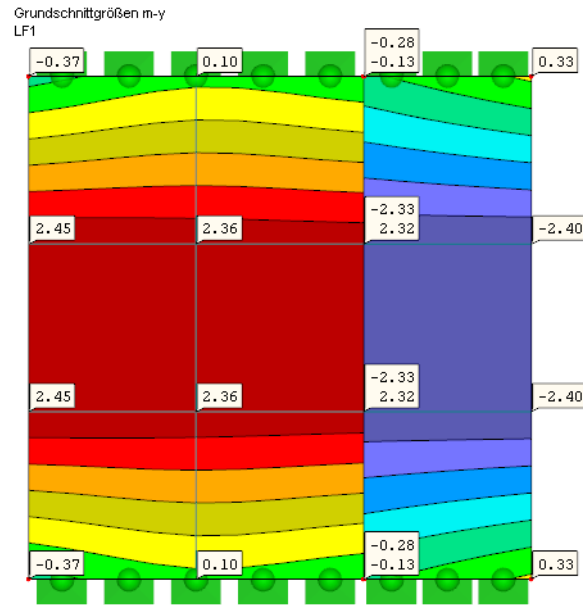


Bild 9.33 Schnittgrößenverlauf Durchlaufend innerhalb Flächen, Werte In FE-Netzpunkten

Die Werte werden an den FE-Knoten gemittelt. Die Mittelung endet an der Flächengrenze, was zu Unstetigkeiten zwischen angrenzenden Flächen führen kann. Für dieses Beispiel ist das durchaus korrekt. An der Grenzlinie werden zwei FE-Knotenwerte ausgewiesen.

Diese Glättung ist voreingestellt, da sie in den meisten Fällen die besten Ergebnisse liefert.

Schnittgrößenverlauf Durchlaufend gesamt

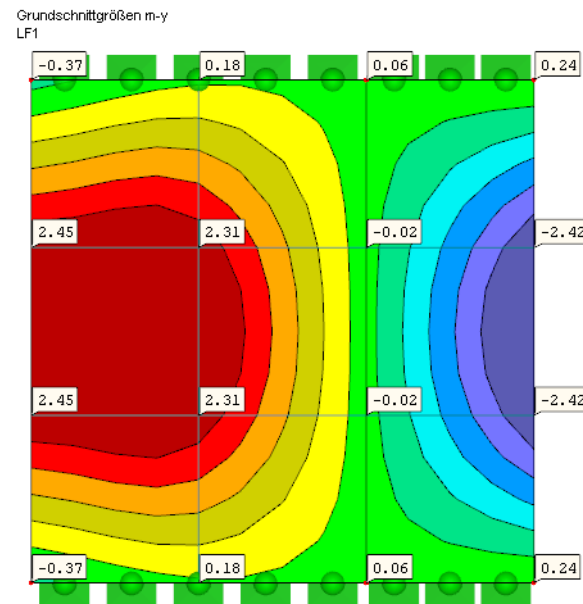


Bild 9.34 Schnittgrößenverlauf Durchlaufend gesamt, Werte In FE-Netzpunkten

Diese Darstellungsart mittelt die Werte über die Flächengrenzen hinaus. Für dieses Beispiel ergibt sich ein falscher, stetiger Verlauf.



Folgende Voraussetzungen müssen für die Darstellungsart *Durchlaufend* *gesamt* erfüllt sein:

- Die Flächen-Achsensysteme müssen gleichgerichtet sein.
- Es dürfen nicht mehr als zwei Flächen zusammentreffen.
- Die Flächen müssen in einer Ebene liegen.
- An der Grenzlinie darf kein Liniengelenk vorhanden sein.

Ist eine dieser Voraussetzungen nicht gegeben, werden falsche Ergebnisverläufe angezeigt.

Schnittgrößenverlauf *Kontinuierlich gruppenweise*

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Ergebnisse gruppenweise zu glätten. RFEM stellt *Generierte Gruppen* mit gleichen Materialeigenschaften bereit.

Über das Navigator-Kontextmenü (Rechtsklick auf *Benutzergruppen*) lassen sich benutzerdefinierte Gruppen von Flächen oder Volumenkörpern erzeugen.

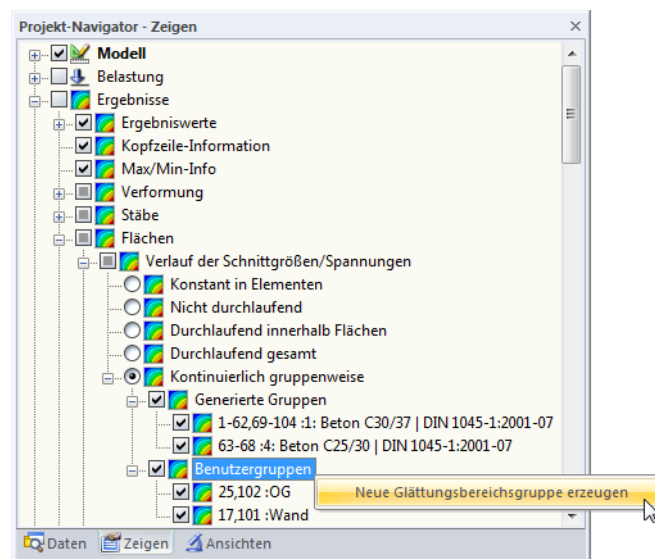


Bild 9.35 Neue Glättungsbereichsgruppe erzeugen über das Navigator-Kontextmenü

In einem Dialog können dann die Objekte festgelegt werden, die als Gruppe zu betrachten sind.

9.7.2 Ergebnisverläufe



Im Dialog *Ergebnisverläufe* (siehe [Kapitel 9.5](#)) können Glättungsbereiche angelegt werden, um die Ergebnisse ingenieurmäßig aufzubereiten. Diese Funktion ist über die links dargestellte Schaltfläche zugänglich. Es wird folgender Dialog aufgerufen.

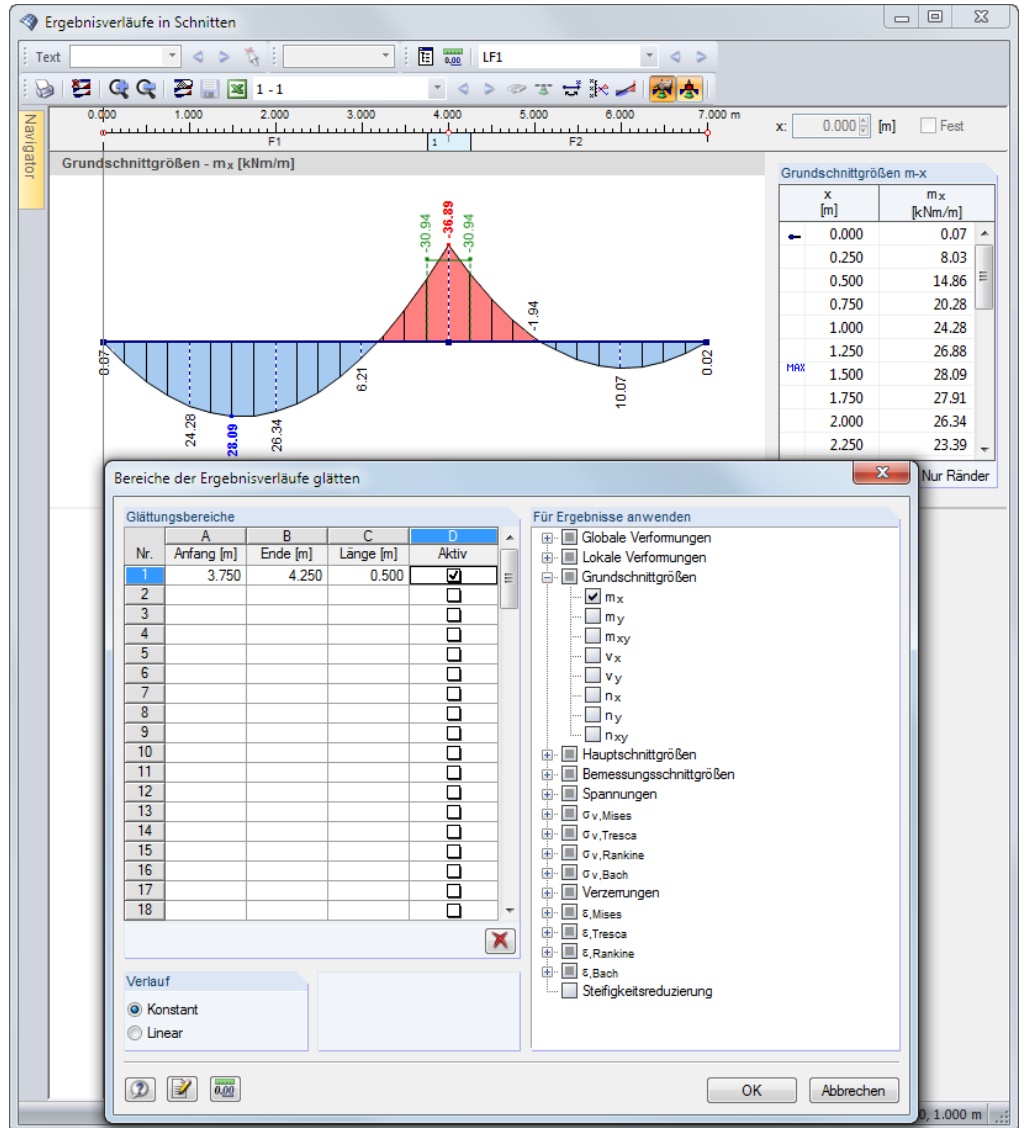


Bild 9.36 Dialog Bereiche der Ergebnisverläufe glätten

In den linken Spalten sind die *Glättungsbereiche* festzulegen, wobei die Eingaben für *Anfang*, *Ende* und *Länge* voneinander abhängig sind. Jeder Bereich kann separat *Aktiv* gesetzt werden. Der Abschnitt *Für Ergebnisse anwenden* steuert, für welche Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen oder Verzerrungen eine Glättung vorzunehmen ist.

Die Glättung kann *Konstant* (wie im Bild oben) oder *Linear* für alle Glättungsbereiche verlaufen.

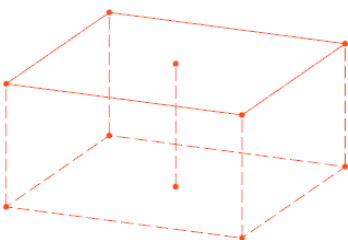
9.7.3 Glättungsbereich

Im Modell kann ein Bereich definiert werden, in dem die grafischen Ergebnisse nicht mit den tatsächlichen Verläufen, sondern als Mittelwert angezeigt werden. Dieser Glättungsbereich ermöglicht eine Auswertung der gemittelten Flächenschnittgrößen und -spannungen. Die Bereiche werden in den Registern des Projekt-Navigators als eigenständige Objekte verwaltet.

Ein Glättungsbereich wird erzeugt über das Menü

Ergebnisse → Neuer Glättungsbereich

oder das entsprechende Kontextmenü im *Daten-Navigator*.



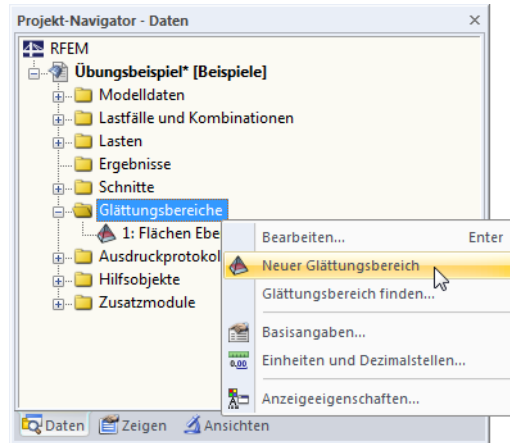


Bild 9.37 Daten-Navigator: Kontextmenü Glättungsbereiche

Es öffnet sich ein Dialog, in dem die Parameter des Bereichs angegeben werden können.

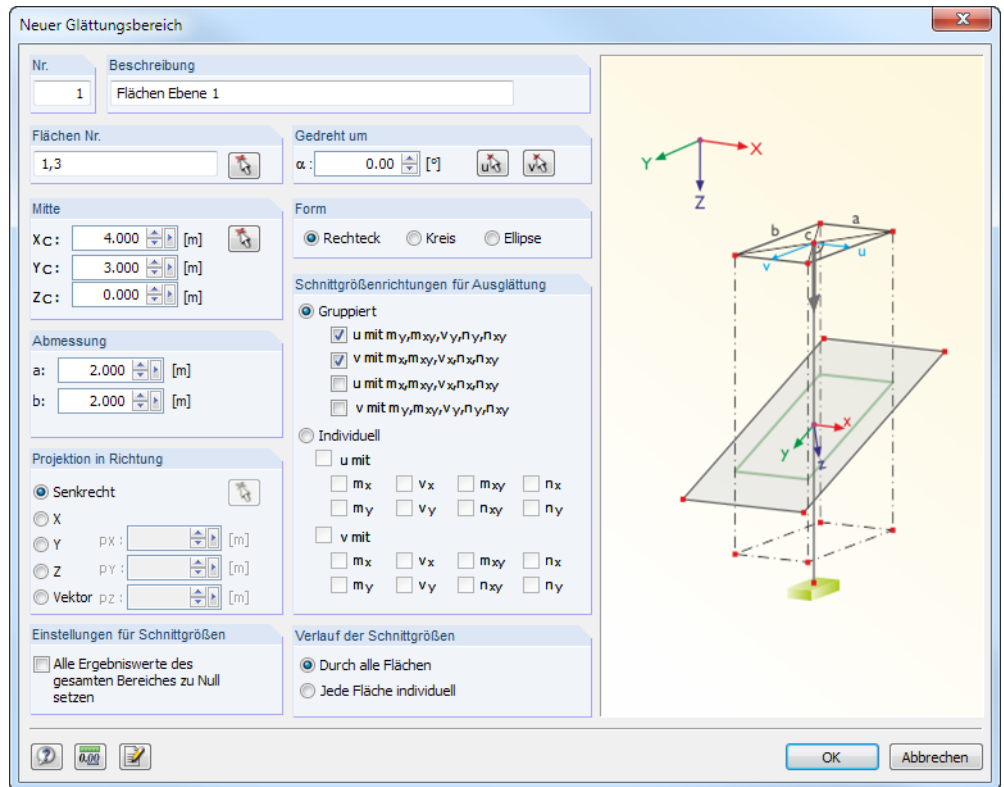




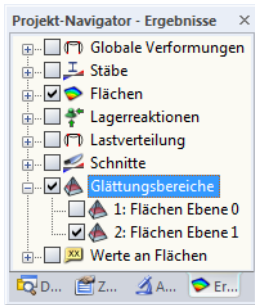
Bild 9.38 Dialog Neuer Glättungsbereich

Neben der *Nummer* ist der *Name* des Bereichs anzugeben, der die Auswahl bei der Auswertung erleichtert. Die Bereiche werden im *Daten-Navigator* unter dem Eintrag *Glättungsbereiche* abgelegt und können dort nachträglich angepasst werden.


Der Abschnitt *Flächen Nr.* verwaltet die Nummern der Flächen, deren Ergebnisse gemittelt werden sollen. Diese Option ist hilfreich, falls die Projektion des Bereichs mehrere Flächen erfasst. Die Auswahl der Flächen kann mit  auch grafisch erfolgen.

Im Abschnitt *Mitte* ist der *Mittelpunkt C* des Bereichs anzugeben. Die Koordinaten können manuell eingetragen oder mit  im Arbeitsfenster bestimmt werden. Die *Abmessung* beschreibt die Form des Bereichs über die jeweils relevanten Parameter.

Der Abschnitt *Projektion in Richtung* beschreibt den Bezug des definierten Bereichs zu den Flächen. In



Steuerung der Bereiche im Ergebnisse-Navigator

der Regel erfolgt die Projektion senkrecht zu den gewählten Flächen. Es sind jedoch auch globale Projektionsrichtungen in X, Y und Z sowie beliebige Projektionsvektoren möglich. Mit  können zwei Punkte im Arbeitsfenster ausgewählt werden, die den Vektor beschreiben.

Der Abschnitt *Gedreht um* bietet die Möglichkeit, den Glättungsbereich zu drehen. Die *Form* des Bereichs kann als Rechteck, Kreis oder eine Ellipse definiert werden. Rechts in der Dialoggrafik werden die jeweiligen Parameter veranschaulicht.

Im Abschnitt *Schnittgrößenrichtungen für Ausglättung* kann festgelegt werden, auf welche lokalen Achsen bezogen die Mittelung *Gruppirt* für die Schnittgrößen erfolgen soll. Alternativ kann die Glättung *Individuell* nur ausgewählte Flächenachsen und Schnittgrößen berücksichtigen.

Optional lassen sich *Alle Ergebniswerte des gesamten Bereichs zu null setzen*. Auf diese Weise ist es möglich, in einem ausgewählten Bereich des Modells die Ergebniswerte zu unterdrücken.

Im *Ergebnisse*-Navigator können die Glättungsbereiche individuell ein- und ausgeblendet werden.

9.8

Mehrfensterdarstellung

Auf dem Bildschirm können gleichzeitig mehrere Fenster mit verschiedenen Verformungen oder Schnittgrößen angezeigt werden. Diese Funktion wird aufgerufen über das Menü

Ergebnisse → Ergebnisfenster anordnen

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



Ein Dialog mit einem Navigatorbaum öffnet sich. Hier können die Ergebnisarten angehakt werden, die in den einzelnen Fenstern angezeigt werden sollen.

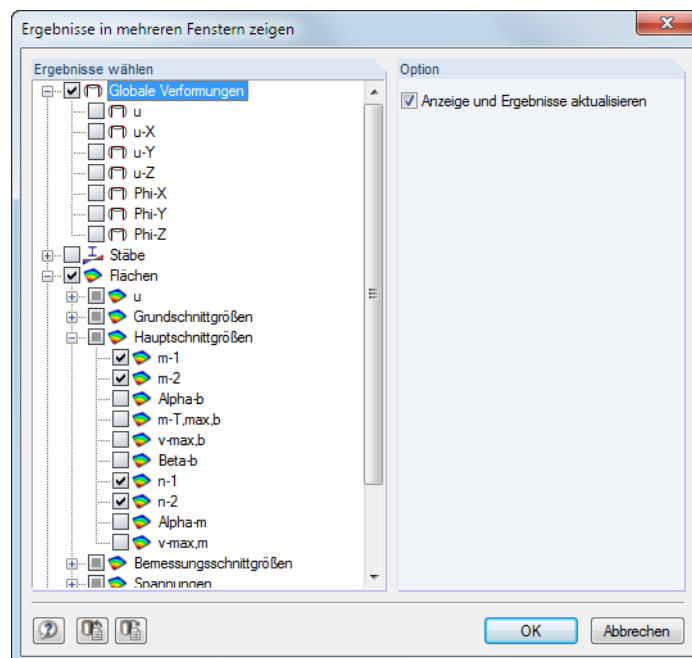



Bild 9.39 Dialog Ergebnisse in mehreren Fenstern zeigen

Die Mehrfensteranzeige lässt sich auch für den Ausdruck nutzen (siehe [Kapitel 10.2.1](#) ).

9.9

Filtern der Ergebnisse

Es stehen verschiedene Filterfunktionen zur Verfügung. Sie erleichtern die Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse bei komplexen Systemen.

9.9.1 Ansichten

Benutzerdefinierte Ansichten (Blickwinkel, Zoomeinstellungen etc.) erleichtern die Ergebnisauswertung. Zudem kann das Modell über „Sichtbarkeiten“ in benutzerdefinierte und generierte Ausschnitte gegliedert werden, die gewisse Kriterien erfüllen. So lassen sich z. B. nur die Flächen einer Ebene oder die Stäbe mit einem bestimmten Querschnitt für die Anzeige aktivieren. Diese Möglichkeiten können natürlich nicht nur für die Auswertung, sondern auch für die Eingabe des Modells oder der Belastung genutzt werden.

Die diversen Funktionen sind in einem eigenständigen **Navigator** (Kapitel 9.9.1.1 [↗](#)) sowie über **Listenschaltflächen** bzw. Menüfunktionen (Kapitel 9.9.1.2 [↗](#)) zugänglich.

9.9.1.1 Ansichten-Navigator

Das Register *Ansichten* des Projekt-Navigators ermöglicht es, benutzerdefinierte Ansichten des Modells zu erzeugen und für die Eingabe und die Auswertung zu nutzen. In diesem Register werden auch die benutzerdefinierten und die automatisch erzeugten Sichtbarkeiten verwaltet.

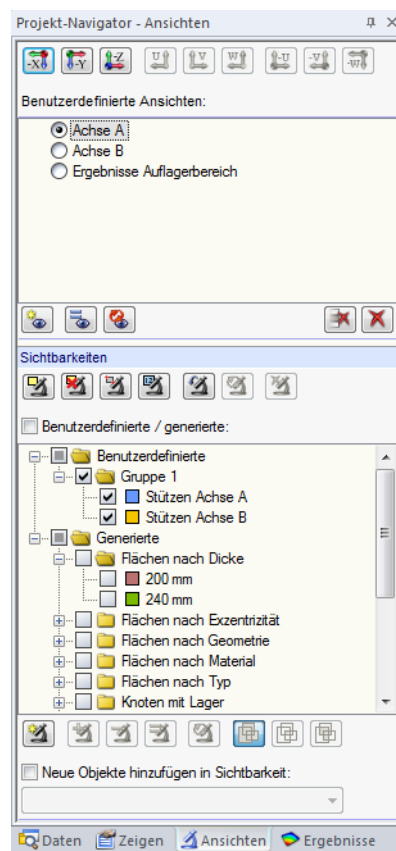


Bild 9.40 Register Ansichten des Navigators

Benutzerdefinierte Ansichten

Im Unterschied zu den objektorientierten *Sichtbarkeiten* (siehe unten) ermöglichen *Benutzerdefinierte Ansichten* das Speichern und Einlesen bestimmter Betrachtungswinkel, gezoomter Ansichten sowie Einstellungen im *Zeigen-Navigator*.

Die aktuelle Ansicht wird als Anzeigeeinstellung abgelegt – unabhängig von den Filtervorgaben, die in der *Sichtbarkeiten*-Liste wirksam sind: Für die Objektdarstellung einer *Benutzerdefinierten Ansicht* werden stets die aktuellen *Sichtbarkeiten*-Einstellungen benutzt. Eine *Benutzerdefinierte Ansicht* speichert den Betrachtungswinkel, den Zoomfaktor und die Vorgaben im *Zeigen-Navigator*.

Mit den *Ansicht*-Schaltflächen lassen sich schnell folgende Standard-Blickwinkel einstellen:










	Ansicht entgegen der X-Achse
	Ansicht entgegen der Y-Achse
	Ansicht entgegen der Z-Achse
 	Ansicht in Richtung bzw. entgegen der U-Achse der Arbeitsebene (siehe Kapitel 11.3.1)
 	Ansicht in Richtung bzw. entgegen der V-Achse der Arbeitsebene
 	Ansicht in Richtung bzw. entgegen der W-Achse der Arbeitsebene

Tabelle 9.2 Ansichten-Schaltflächen

Die Schaltflächen unterhalb der Ansichten-Liste sind mit folgenden Funktionen belegt:






	Aus der aktuellen Ansicht wird eine neue <i>Benutzerdefinierte Ansicht</i> erzeugt (siehe Bild 9.41).
	Die aktive <i>Benutzerdefinierte Ansicht</i> wird durch die aktuelle Anzeige neu definiert.
	Nach Änderungen wird die aktive <i>Benutzerdefinierte Ansicht</i> wiederhergestellt.
	Der in der Liste <i>Benutzerdefinierte Ansichten</i> selektierte Eintrag wird gelöscht.
	Alle <i>Benutzerdefinierte Ansichten</i> werden gelöscht.

Tabelle 9.3 Schaltflächen im Abschnitt *Benutzerdefinierte Ansichten*



Benutzerdefinierte Ansicht erzeugen

Die aktuelle Ansicht kann über die Schaltfläche [Neue benutzerdefinierte Ansicht] gespeichert werden. Es erscheint ein Dialog, in dem der Name der neuen Anzeigeeinstellung anzugeben ist.

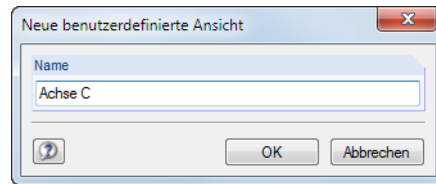


Bild 9.41 Dialog Neue benutzerdefinierte Ansicht

Sichtbarkeiten

Mit den sogenannten „Sichtbarkeiten“ können Modellausschnitte oder Gruppierungen von Objekten angezeigt werden (z. B. Flächen einer Ebene, Stützen eines Stockwerks).

Sichtbarkeit-Schaltflächen

Die Schaltflächen oberhalb der *Sichtbarkeiten*-Liste (siehe [Bild 9.40](#)) ermöglichen es, die darzustellenden Objekte nach bestimmten Kriterien auszuwählen. Sie sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Die im Arbeitsfenster selektierten Objekte werden als Ausschnitt angezeigt.
	Die im Arbeitsfenster selektierten Objekte werden ausgeblendet.
	Durch Aufziehen eines Fensters wird eine Sichtbarkeit erzeugt (siehe Kapitel 9.9.1.2).
	Eine neue Sichtbarkeit wird anhand von Objektnummern definiert (siehe Kapitel 9.9.1.2).
	Die vorherige Sichtbarkeit wird wiederhergestellt.
	Die aktuelle Anzeige wird umgekehrt (neue Sichtbarkeit: ausgeblendete Objekte).
	Der Sichtbarkeitsmodus wird beendet; es werden wieder alle Objekte angezeigt.

Tabelle 9.4 Schaltflächen oberhalb der *Sichtbarkeiten*-Liste

Die *Sichtbarkeiten*-Liste enthält benutzerdefinierte und generierte Sichtbarkeiten.

Benutzerdefinierte Sichtbarkeiten

Über die grafische oder numerische Selektion von Objekten (siehe [Kapitel 11.2](#)) kann eine Sichtbarkeit erzeugt werden.

Die Schaltfläche [Benutzerdefinierte Sichtbarkeit erzeugen] (unterhalb der *Sichtbarkeiten*-Liste) speichert den aktuellen Ausschnitt ab. Es öffnet sich der Dialog *Neue benutzerdefinierte Sichtbarkeit*, in dem ein Name und die *Gruppe* festzulegen sind (siehe [Bild 9.45](#)).

Die Schaltflächen unterhalb der *Sichtbarkeiten*-Liste sind in der [Tabelle 9.5](#) erklärt.



	Der Dialog <i>Neuer benutzerdefinierte Sichtbarkeit</i> erscheint (siehe Bild 9.45).
	Die im Arbeitsfenster selektierten Objekte werden zu der Gruppe hinzugefügt, die in der Liste oben markiert ist.
	Die im Arbeitsfenster selektierten Objekte werden aus der Gruppe entfernt, die in der Liste oben markiert ist.
	Die selektierten Objekte werden der Gruppe neu zugewiesen, die oben markiert ist.
	Die aktuelle Anzeige wird umgekehrt (neue Sichtbarkeit: ausgeblendete Objekte).
	Es werden alle Objekte angezeigt, die in der <i>Sichtbarkeiten</i> -Liste aktiviert sind.
	Nur Objekte werden angezeigt, die in jedem aktiven <i>Sichtbarkeiten</i> -Eintrag vorliegen.
	Es werden die Objekte angezeigt, die in jeder aktiven <i>Gruppe</i> vorliegen.

Tabelle 9.5 Schaltflächen unterhalb der *Sichtbarkeiten*-Liste

Das Kontrollfeld *Neue Objekte hinzufügen in Sichtbarkeit* steuert, wie neue Knoten, Linien, Stäbe etc. behandelt werden sollen, wenn in einer benutzerdefinierten Sichtbarkeit gearbeitet wird. Ist diese Option aktiviert, kann in der Liste unterhalb die relevante Gruppe festgelegt werden.



Jeder benutzerdefinierten Sichtbarkeit wird automatisch ein Farbsymbol zugewiesen. Diese Farben können im *Zeigen-Navigator* auch für die Darstellung der Objekte angewandt werden (siehe [Kapitel 11.1.9](#)). Damit lassen sich die eigendefinierten Sichtbarkeiten schnell im Modell lokalisieren. Die Steuerung der Gruppen erfolgt im *Ansichten-Navigator*.

Generierte Sichtbarkeiten

RFEM legt automatisch Sichtbarkeiten für Flächen, Linien, Stäbe etc. nach bestimmten Kriterien an.

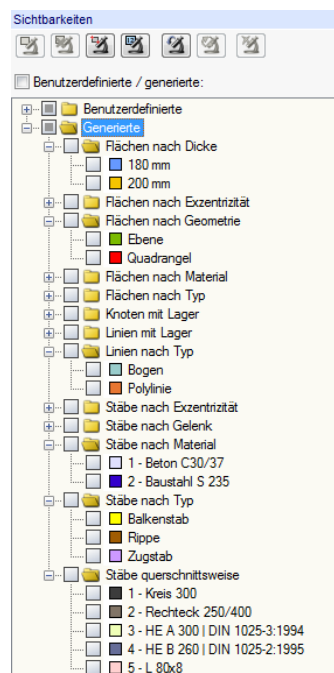
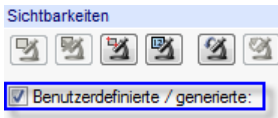


Bild 9.42 Generierte Sichtbarkeiten im *Ansichten-Navigator*



Diese generierten Sichtbarkeitstypen verhelfen zu einem schnellen Überblick über das Modell, da sich die Objekte über die Liste gezielt filtern lassen. Dies erleichtert nicht nur die Kontrolle der Eingabe, sondern auch der Ergebnisse.

Die Liste erlaubt neben der Mehrfachselektion generierter Ausschnitte (Standard) auch eine Schnittmengenbildung. Die Steuerung erfolgt über die links dargestellten Schaltflächen; sie befinden sich am unteren Ende der Liste. Die Funktionen sind in der [Tabelle 9.5](#) beschrieben.

Das Kontrollfeld *Benutzerdefinierte / generierte* oberhalb der Liste steuert, ob die Filterfunktion für das Arbeitsfenster wirksam ist: Nach dem Entfernen des Häkchens werden wieder alle Objekte angezeigt.

9.9.1.2 Sichtbarkeiten-Schaltflächen und Menü

Die verschiedenen Ausschnittfunktionen werden aufgerufen über das Menü

Ansicht → Sichtbarkeit

oder die Listenschaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 9.43 Listenschaltfläche *Sichtbarkeit*

Sichtbarkeit mittels Fenster



Ausschnitte können grafisch durch Aufziehen eines Fensters mit der Maus erzeugt werden.

Wird das Fenster von links nach rechts aufgezogen, enthält der Ausschnitt nur die Objekte, die sich vollständig im Fenster befinden. Beim Aufziehen von rechts nach links werden auch die Objekte in die Sichtbarkeit aufgenommen, die vom Fenster geschnitten werden.

Sichtbarkeit mittels Nummerierung



In einem Dialog sind die Nummern der für den Ausschnitt relevanten *Knoten*, *Linien*, *Flächen*, *Volumenkörper* oder *Stäbe* anzugeben.

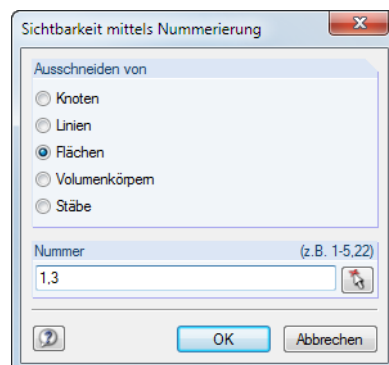


Bild 9.44 Dialog *Sichtbarkeit mittels Nummerierung*

Sichtbarkeitsmodus aufheben



Diese Funktion stellt die Ansicht aller Objekte wieder her.

Benutzerdefinierte Sichtbarkeit erzeugen

Die Objekte, die als *Sichtbarkeit* abgelegt werden sollen, sind vor dem Aufruf der Funktion im Arbeitsfenster zu selektieren (siehe [Kapitel 11.2.1](#) und [Kapitel 11.2.2](#)). Hierzu erweist sich z. B. die Menüfunktion **Bearbeiten** → **Selektieren** → **Speziell** als hilfreich.



Es werden nur die Objekte, die im Arbeitsfenster selektiert sind, in eine *Sichtbarkeit* integriert. Wird die Funktion [Sichtbarkeit mittels Ausblenden von selektierten Objekten] genutzt, sind daher die angezeigten Objekte durch Aufziehen eines Fensters noch einmal zu selektieren.



Nach einem Klick auf die Schaltfläche [Neue Sichtbarkeit] erscheint folgender Dialog.

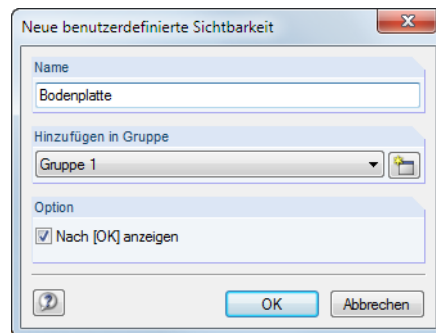


Bild 9.45 Dialog Neue benutzerdefinierte Sichtbarkeit



Es sind der *Name* und die *Gruppe* festzulegen. Falls mehrere Sichtbarkeitsgruppen verwendet werden sollen, kann mit der Schaltfläche [Neu] eine weitere Gruppe angelegt werden.

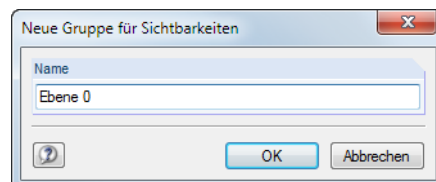


Bild 9.46 Dialog Neue Gruppe für Sichtbarkeiten

[OK] speichert die Gruppierung von Objekten als neue Sichtbarkeit ab.

Die benutzerdefinierten Sichtbarkeiten werden im *Ansichten-Navigator* verwaltet. Sie können dort individuell ein- und ausgeblendet werden (siehe [Bild 9.40](#)).

Objekte in Sichtbarkeiten ändern



Objekte können nachträglich in bestehende Sichtbarkeiten integriert werden: Beenden Sie den Sichtbarkeitsmodus über die links dargestellte Schaltfläche oder Menü **Ansicht** → **Sichtbarkeit** → **Sichtbarkeitsmodus aufheben**. Selektieren Sie nun die Objekte, die Sie hinzufügen möchten.

Klicken Sie im *Ansichten-Navigator* in der Liste *Benutzerdefinierte* den relevanten Eintrag an. Es wird die Schaltfläche zugänglich, mit der die selektierten Objekte in die benutzerdefinierte Sichtbarkeit integriert werden können.

Analog lassen sich mit der Schaltfläche selektierte Objekte wieder aus einer benutzerdefinierten Sichtbarkeit entfernen.

Mit der Schaltfläche werden die Objekte, die in der markierten Sichtbarkeit des *Ansichten-Navigators* vorliegen, durch die Selektion im Arbeitsfenster überschrieben. Damit lassen sich bestehende Sichtbarkeiten neu definieren; der Name bleibt erhalten.

Transparenz für verborgene Objekte

Bei Sichtbarkeiten können die ausgeblendeten Objekte im Hintergrund mit einer reduzierten Intensität dargestellt werden. Der Sichtbarkeitsgrad wird im Dialog *Programmooptionen*, Register *Grafik* individuell geregelt (siehe Bild 9.52 [↗](#)).

Die Anzeige der Hintergrundobjekte kann im *Zeigen-Navigator* ein- und ausgeschaltet werden.

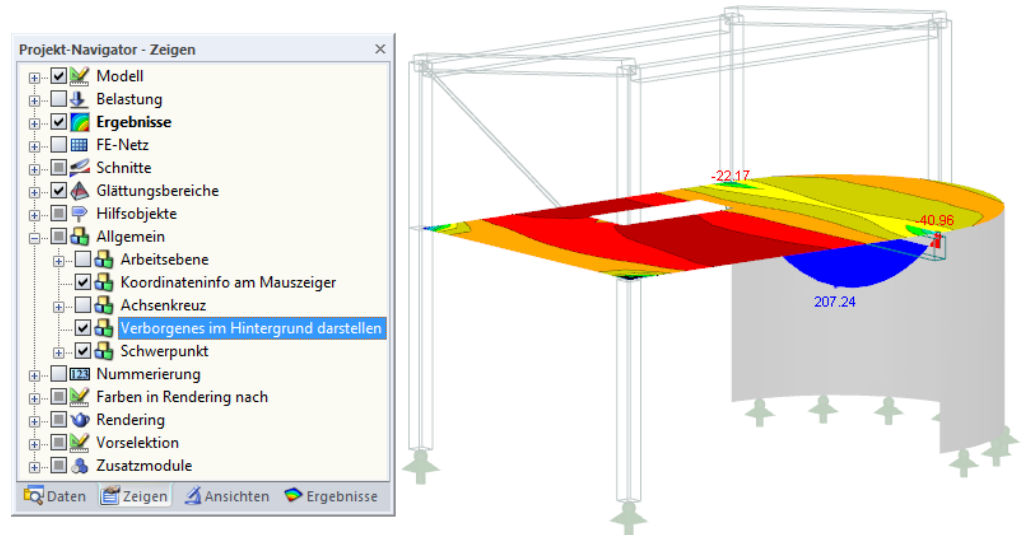


Bild 9.47 Zeigen-Navigator: Option *Allgemein* → *Verborgenes im Hintergrund darstellen*

9.9.2 Clippingebene

Diese Funktion ermöglicht es, eine beliebige Schnittebene durch das Modell zu legen. Der Bereich vor (bzw. hinter) der Ebene wird dann in der Ansicht ausgeblendet. Damit können z. B. die Ergebnisse in einer Durchdringung oder in einem Volumenkörper eingesehen werden.

RFEM legt die Clippingebene durch das Zentrum der geometrischen Gesamtabmessungen. Diese Ebene ist damit auf die Modellgeometrie bezogen. Die Clippingebene wird im Arbeitsfenster durch einen Rahmen eingefasst.

Es ist nicht möglich, eine Clippingebene zu speichern.

Die Funktion wird aufgerufen auf über das Menü

Einfügen → Clippingebene.

Es erscheint folgender Dialog.

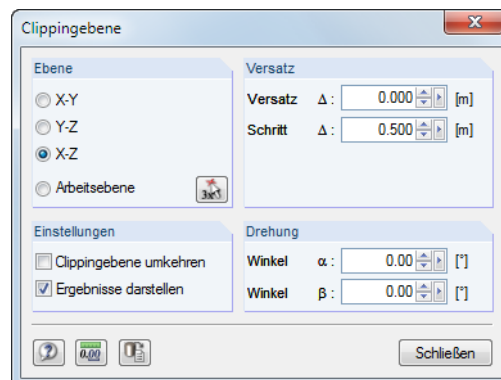




Bild 9.48 Dialog *Clippingebene*

Die Ebene kann parallel zu einer der Ebenen angeordnet werden, die von den Achsen des globalen XYZ-Koordinatensystems aufgespannt werden. Zudem lässt sich die Ebene in die aktuelle Arbeitsebene legen. Mit  können auch drei Punkte im Arbeitsfenster gewählt werden, um die Ebene zu definieren.

Der Wert im Eingabefeld *Versatz* bewirkt eine Parallelverschiebung der Ebene in Richtung der positiven bzw. negativen Achse, die rechtwinklig zur Ebene zeigt. Diese beiden Richtungen sind im Arbeitsfenster mit grauen Pfeilen gekennzeichnet. Der *Versatz* kann direkt eingetragen oder mit den beiden Drehfeldern  eingestellt werden. Das Eingabefeld *Schritt* steuert das Intervall der Abstände, mit dem die Ebene bei jedem Klick auf ein Drehfeld verschoben wird.

Im Abschnitt *Einstellungen* besteht die Möglichkeit, die aktive Seite der Clippingebene zu wechseln. Ferner lassen sich die Ergebnisverläufe an den Schnittträgern ein- und ausblenden.

Die Clippingebene kann mit einer *Drehung* um die Winkel α (um die letztbezeichnete Achse der Ebene) und β (um die erstbezeichnete Achse) rotiert werden. Die Grafik wirkt interaktiv zur Eingabe.

Wenn der Dialog *Clippingebene* aktiv ist, können im Arbeitsfenster alle Funktionen zum Ändern der Ansicht genutzt werden. Es besteht jedoch keine Druckmöglichkeit. Die Schaltfläche [Schließen] beendet die Funktion.

Folgendes Beispiel stellt eine Clippingebene durch einen Rohranschlussknoten dar.

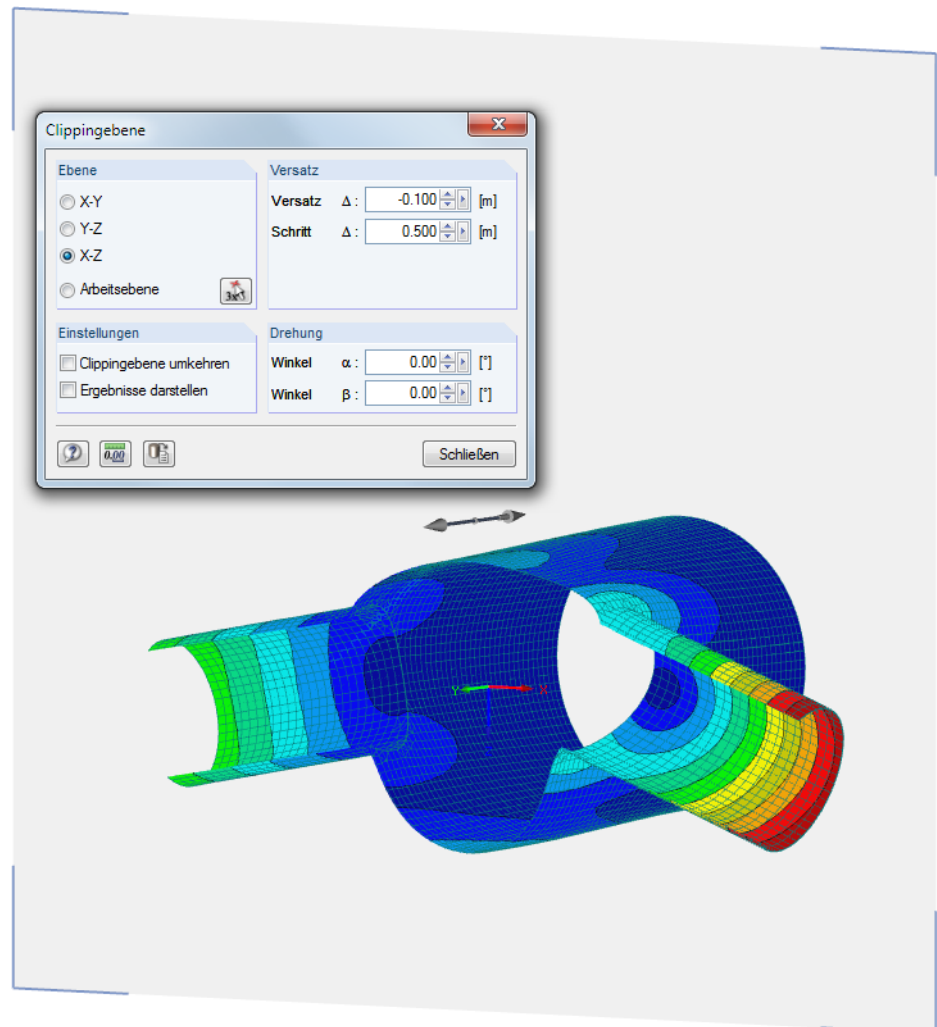


Bild 9.49 Clippingebene durch einen Rohranschluss

9.9.3 Filterfunktionen

Die im Kapitel 9.9.1 vorgestellten Gruppierungsmöglichkeiten beziehen sich auf die Objekte des Modells. Zusätzlich können Schnittgrößen, Verformungen und Spannungen als Filterkriterien benutzt werden.

Filtern von Ergebnissen

Das Filtern der Ergebnisse erfolgt über das Steuerpanel. Sollte es nicht angezeigt werden, kann es einblendet werden über das Menü

Ansicht → Steuerpanel

oder die entsprechende Schaltfläche in der *Ergebnisse*-Symbolleiste.

Das Steuerpanel ist im Kapitel 3.4.6 beschrieben.

Die Filtereinstellungen für die Ergebnisse sind im Register *Farbskala* vorzunehmen, das bei den Isoflächen- und Isolinen-Ergebnissen der Flächen und Volumen angezeigt wird (siehe Bild 3.16). Da dieses Register bei der zweifarbigen Schnittgrößenanzeige von Stäben fehlt, muss im Zeigen-Navigator auf die Darstellungsarten *Farbig* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden (siehe Bild links).

Im Panel kann eingestellt werden, dass z. B. Stabmomente nur ab einem bestimmten Wert oder Grundschnittgrößen von Flächen im Bereich von ± 30 kNm fein abgestuft angezeigt werden (siehe Bild 3.18).

Das folgende Beispiel stellt eine Bodenplatte dar. Es werden nur Kontaktspannungen zwischen -120 kN/m² und -260 kN/m² am Modell angezeigt.

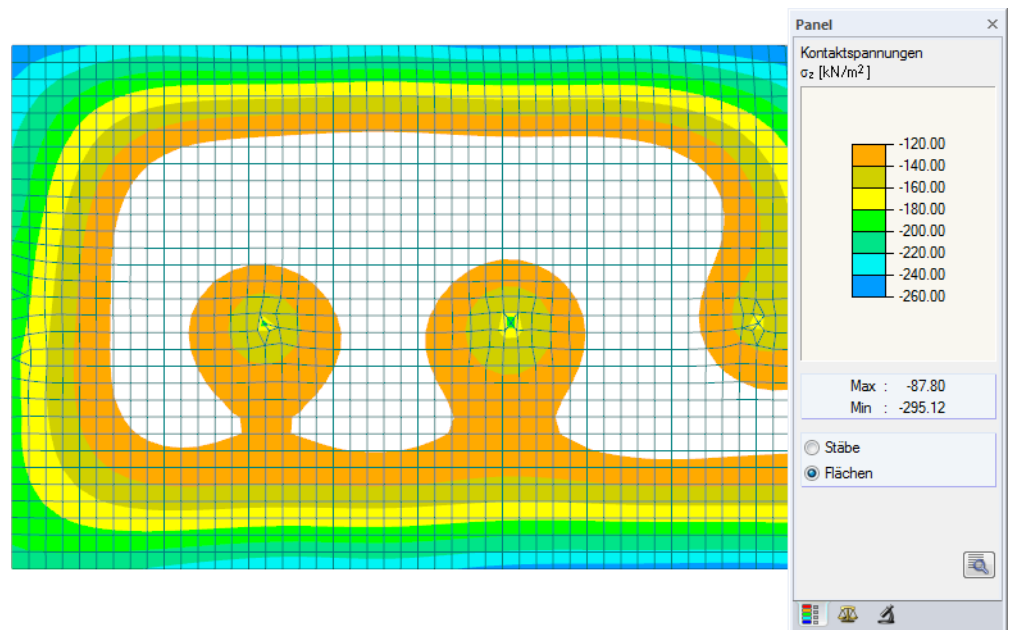
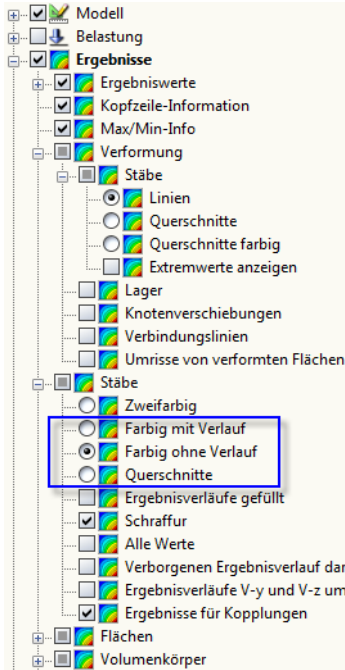


Bild 9.50 Filtern der Kontaktspannungen mit angepasster Farbskala

Da im Modell auch mehrfarbige Stabergebnisse vorliegen, ist im Steuerpanel das Auswahlfeld *Flächen* aktiv gesetzt. Die Farbskala ist so bearbeitet, dass ein Farbbereich genau -20 kN/m² abdeckt. Es werden keine Ergebnisse für elastisch gebettete Flächenelemente ausgewiesen, deren Kontaktspannungen außerhalb des definierten Wertebereichs liegen.



Filtern von Objekten

4

Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern ausgewählter Stäbe, Flächen oder Volumen angegeben werden, um deren Ergebnisverläufe gefiltert anzuzeigen. Diese Funktion ist im [Kapitel 3.4.6](#) beschrieben.

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird das Modell vollständig mit angezeigt.

Das folgende Bild zeigt die Biegemomente in den Deckenflächen eines Gebäudes. Die Wände werden im Modell dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne Schnittgrößen.

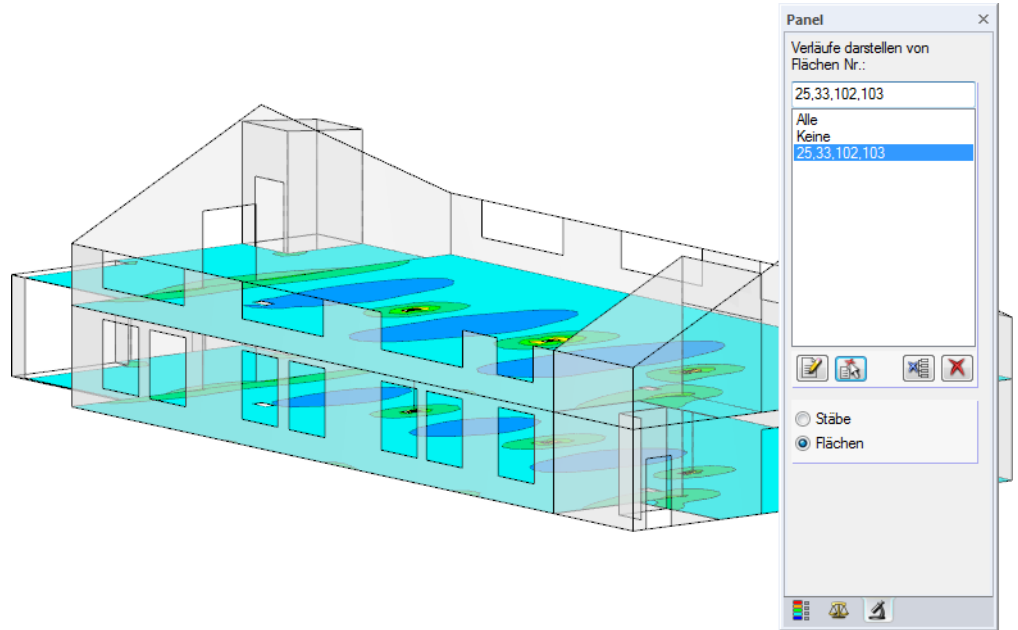


Bild 9.51 Filtern von Flächen: Biegemomente der Decken



Die Filtereinstellungen des Panels wirken sich auch auf die Objekte in den Ergebnistabellen aus: Wenn Sie im Panel z. B. die Ergebnisanzeige auf zwei Stäbe beschränken, so werden in der Tabelle *4.6 Stäbe - Schnittgrößen* auch nur die Ergebnisse dieser beiden Stäbe aufgelistet.

9.10

Animation der Verformungen



Die Verformungen der Objekte werden normalerweise im endgültigen Zustand angezeigt.

Es ist aber auch möglich, den Verformungsvorgang als Bewegungsablauf darzustellen. Diese Funktion wird aufgerufen über das Menü

Ergebnisse → **Animation**



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste. Mit dieser Schaltfläche lässt sich die animierte Darstellung auch wieder beenden. Die [Esc]-Taste erfüllt den gleichen Zweck.

Detaillierte Einstellungen zum Ablauf der Animation können über das Menü



Optionen → **Programmoptionen**

im Dialogregister *Grafik* vorgenommen werden.

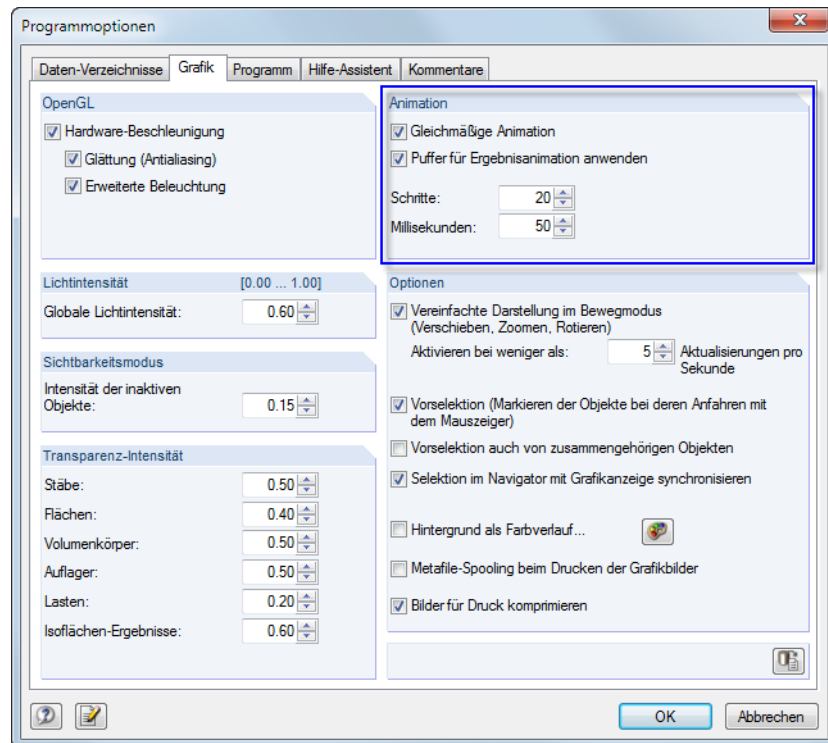


Bild 9.52 Dialog Programmoptionen, Register Grafik

Die Animation der Verformungsfigur kann als Videodatei abgelegt werden. Arrangieren Sie die animierte Grafik passend auf dem Bildschirm und wählen dann Menü



Extras → Videodatei erzeugen.

Nach einem Hinweis zu den OpenGL-Einstellungen erscheint ein Dialog, in dem verschiedene Einstellungen zum Erstellen der Videodatei vorgenommen werden können.

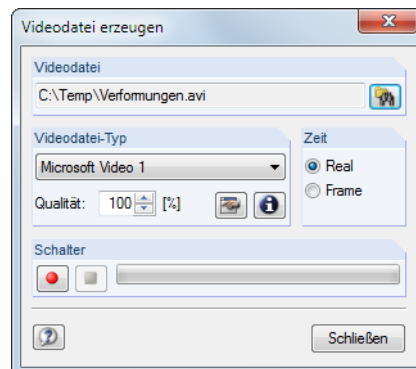


Bild 9.53 Dialog Videodatei erzeugen

Der Name der Videodatei kann über die [Suchen]-Schaltfläche in einem separaten Dialog festgelegt werden.

Mit der roten Schaltfläche [Start] wird die Aufnahme begonnen, die blaue Schaltfläche [Stopp] beendet die Aufzeichnung.



10 Ausdruck



10.1

Ausdruckprotokoll

Die Eingabedaten und Ergebnisse von RFEM werden nicht direkt zum Drucker geschickt. Vielmehr wird ein so genanntes Ausdruckprotokoll - eine Druckvorschau - erzeugt, das mit Grafiken, Erläuterungen, Scans etc. ergänzt werden kann. In diesem Ausdruckprotokoll ist festzulegen, welche Daten für den Ausdruck relevant sind.

Es können mehrere Ausdruckprotokolle im Modell angelegt werden. Bei komplexen Systemen ist es ratsam, anstelle eines einzigen, umfangreichen Protokolls die Daten auf mehrere kleine Protokolle aufzuteilen. Es kann z. B. ein Protokoll für die Eingabedaten, eines für die Lagerkräfte und ein weiteres mit den Flächenergebnissen erzeugt werden. Dadurch lassen sich Wartezeiten verkürzen.

Es ist auch möglich, in einem Modell unterschiedliche Ausdruckprotokolle anzulegen. Je nachdem, welche Daten benötigt werden, könnte für den Prüfenieur ein anderes Protokoll zusammengestellt werden als für den Konstrukteur.

Das Ausdruckprotokoll kann nur geöffnet werden, wenn ein Standarddrucker installiert ist. Die Vorschau im Ausdruckprotokoll verwendet diesen Druckertreiber.



10.1.1 Ausdruckprotokoll anlegen oder öffnen

Ein neues Ausdruckprotokoll kann angelegt werden über das Menü

Datei → **Ausdruckprotokoll öffnen**,



die Schaltfläche in der Symbolleiste oder das Kontextmenü im *Daten*-Navigator.

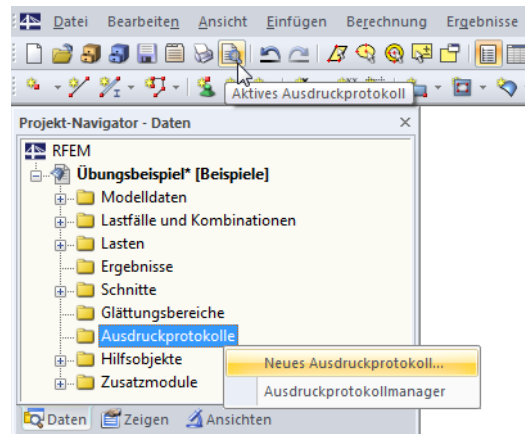


Bild 10.1 Schaltfläche und Kontextmenü *Ausdruckprotokoll*

Es erscheint der im [Bild 10.2](#) dargestellte Dialog.

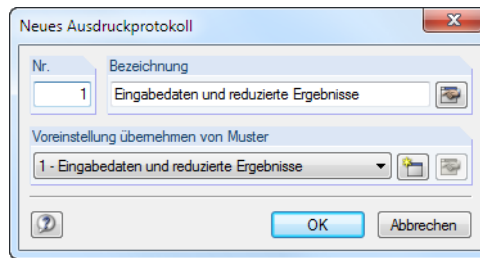


Bild 10.2 Dialog Neues Ausdruckprotokoll

Die *Nummer* des Protokolls ist voreingestellt, kann aber geändert werden. Für das Protokoll kann eine *Bezeichnung* angegeben werden, die später die Auswahl in den Listen erleichtert. Diese Bezeichnung erscheint nicht im Ausdruck.

In der Liste *Voreinstellung übernehmen von Muster* kann ein bestimmtes Musterprotokoll als Vorlage gewählt werden (siehe Kapitel 10.1.7 [\[4\]](#)).

Die Schaltflächen im Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:



	Ein neues Musterprotokoll wird angelegt.
	Die Selektion des Protokolls kann geändert werden (siehe Kapitel 10.1.3 [4]).

Tabelle 10.1 Schaltflächen im Dialog Neues Ausdruckprotokoll

Ist bereits ein Ausdruckprotokoll vorhanden, erscheint nach dem Aktivieren des Menüs **Datei** → **Ausdruckprotokoll öffnen** der *Ausdruckprotokoll-Manager*.

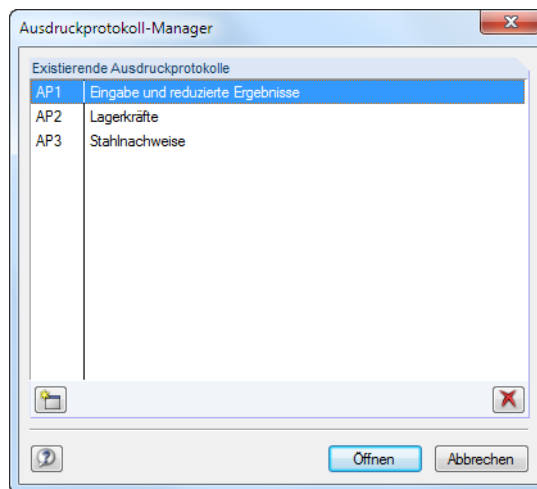


Bild 10.3 Dialog Ausdruckprotokoll-Manager

Das gewünschte Protokoll kann in der Liste ausgewählt werden.

Die Schaltflächen im Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:



	Ein neues Ausdruckprotokoll wird angelegt.
	Das selektierte Ausdruckprotokoll wird gelöscht.

Tabelle 10.2 Schaltflächen im Dialog Ausdruckprotokoll-Manager

10.1.2 Im Ausdruckprotokoll arbeiten

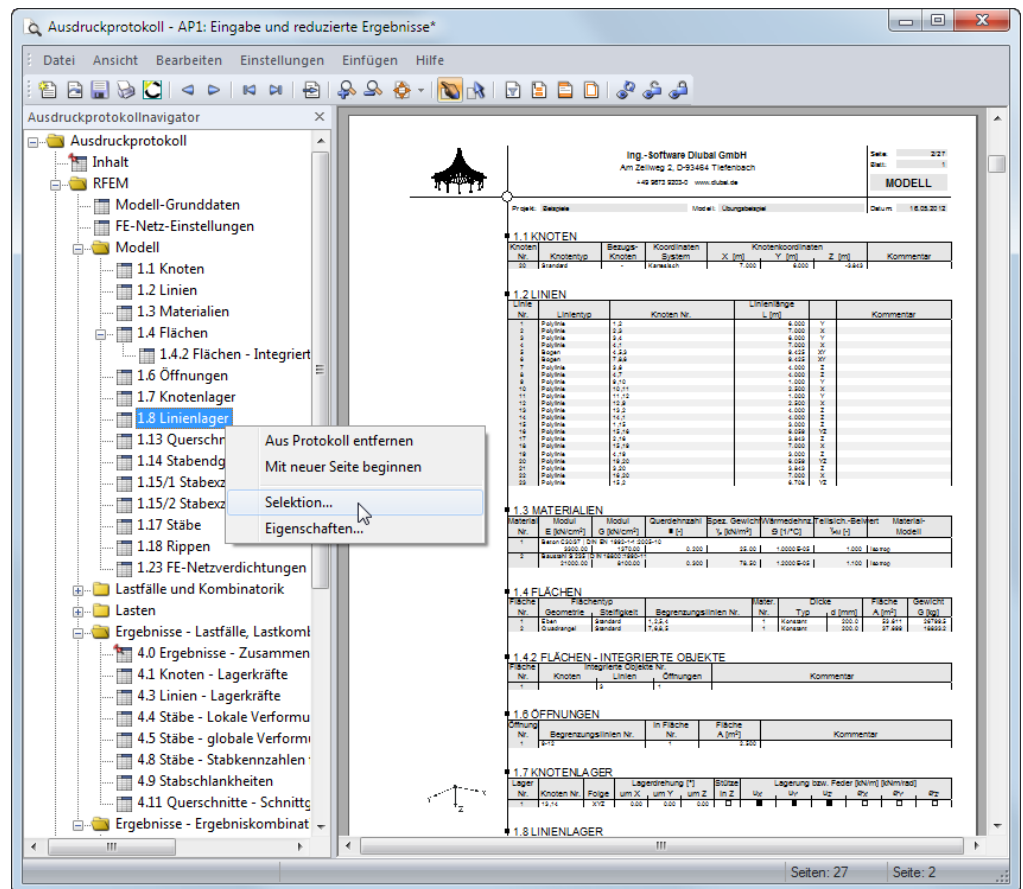


Bild 10.4 Ausdruckprotokoll mit Kontextmenü

Ist das Ausdruckprotokoll aufgebaut, wird links der Protokoll-Navigator, rechts die Seitenansicht mit der Vorschau des Ausdrucks angezeigt.

Im Navigator können die Kapitel des Protokolls per Drag-and-drop beliebig arrangiert werden. Dabei ist Folgendes zu beachten: Wird ein Kapitel auf ein **Symbol** geschoben (im Bild links der Ordner), so wird es nach diesem Kapitel eingefügt. Wird es hingegen auf einen **Titel** (Text) geschoben, wird es als Unterkapitel eingefügt.

Beim Verschieben mehrerer Kapitel empfiehlt es sich, die [Sofortaktualisierung] auszuschalten.

Kontextmenü

Das Kontextmenü (siehe Bild 10.4) bietet Funktionen zur Anpassung des Ausdrucks an. Wie in Windows üblich, ist eine Mehrfachselektion mit den Tasten [Strg] und [⇧] möglich.

Aus Protokoll entfernen

Das markierte Kapitel wird gelöscht. Soll es wieder in das Protokoll eingefügt werden, ist dies über die Selektion möglich (Menü **Bearbeiten** → **Auswahl**).

Mit neuer Seite beginnen

Mit diesem Kapitel wird eine neue Seite begonnen. Im Navigator ist das Kapitel mit einem roten Pin gekennzeichnet (wie z. B. Kapitel *Ergebnisse - Zusammenfassung* im Bild 10.4).

📁 Lastfälle und Kombinationen
Symbol und Titel



Selektion

Es wird die globale Selektion aufgerufen, die auf den folgenden Seiten beschrieben ist. Das markierte Kapitel ist voreingestellt.

Eigenschaften

Einige allgemeine Eigenschaften eines Kapitels können beeinflusst werden.

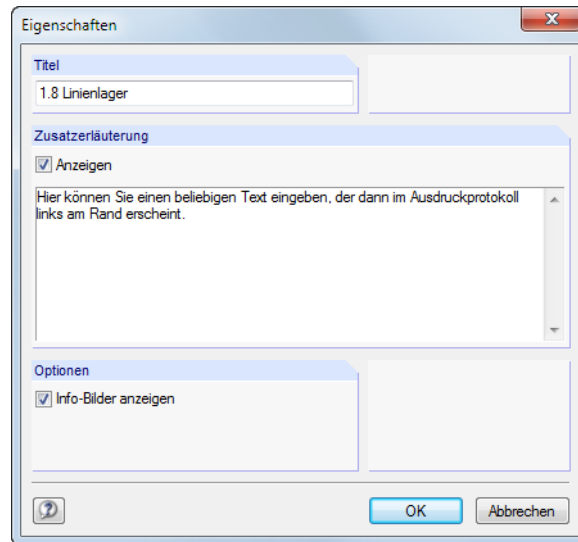









Bild 10.5 Dialog Eigenschaften

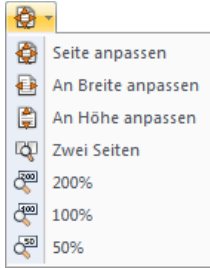
Im Dialog kann der *Titel* des Kapitels geändert und eine *Zusatzerläuterung* eingegeben werden, die im Protokoll am linken Seitenrand erscheint. Dieser Zusatztext kann wie die *Info-Bilder* des Kapitels (z. B. Querschnitts- oder Lastskizzen) ein- und ausgeblendet werden.

Navigation im Ausdruckprotokoll

Am einfachsten lässt sich ein Eintrag durch Anklicken des Kapitels im Navigator ansteuern.

Das Menü **Bearbeiten** bietet weitere Funktionen zur Navigation. Diese sind auch über die entsprechenden Schaltflächen in der Ausdruckprotokoll-Symbolleiste zugänglich.

	In der Seitenvorschau wird eine Seite zurückgeblättert.
	Es wird eine Seite weitergeblättert.
	In der Seitenvorschau wird die erste Seite angezeigt.
	Es wird die letzte Seite angezeigt.
	In einem Dialog kann die Nummer einer bestimmten Seite angegeben werden.
	Die Darstellung in der Vorschau wird vergrößert.
	Die Darstellung in der Vorschau wird verkleinert.



	Listenschaltfläche Zoomen zur Anpassung der Darstellungsgröße
	Bewegmodus: Die Maus kann zur Navigation im Ausdruckprotokoll benutzt werden.
	Auswahlmodus: Per Mausklick können Kapitel selektiert und bearbeitet werden.
	Sofortaktualisierung: Änderungen im Navigator werden in der Vorschau dargestellt (siehe Erläuterung in Knowledge Base).

Tabelle 10.3 Navigations-Schaltflächen in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls

10.1.3 Inhalt des Ausdruckprotokolls festlegen

In der globalen Selektion können die Kapitel ausgewählt werden, die im Ausdruckprotokoll erscheinen sollen. Diese Funktion wird aufgerufen über das Menü **Bearbeiten** → **Auswahl**,

die links gezeigte Schaltfläche in der Symbolleiste oder das *Ausdruckprotokoll*-Kontextmenü.

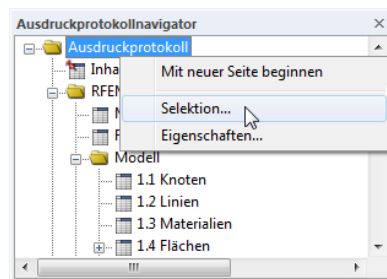


Bild 10.6 Aufruf der globalen Selektion über das *Ausdruckprotokoll*-Kontextmenü

Es erscheint folgender Dialog.

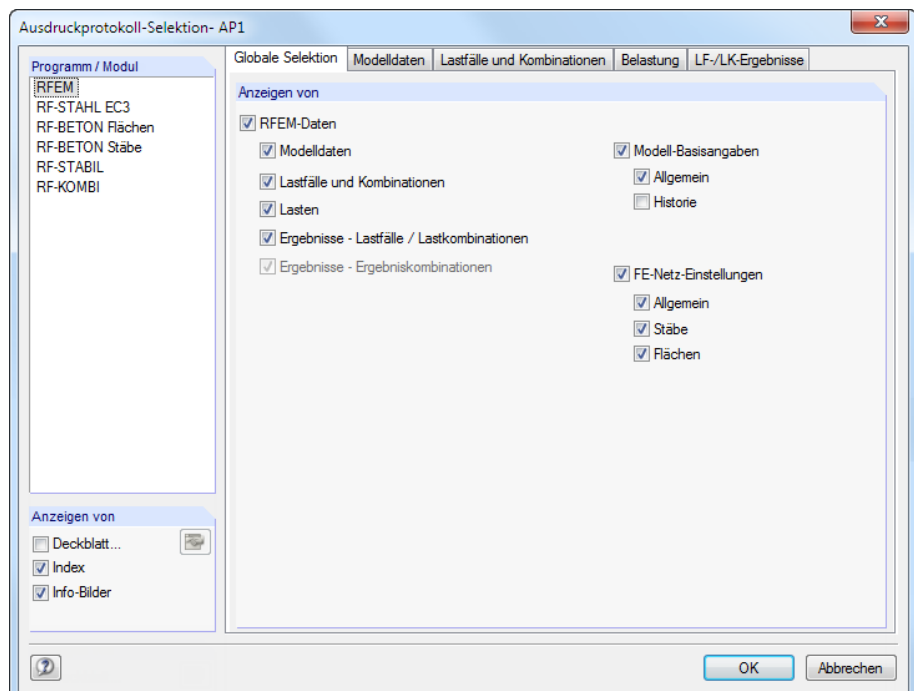


Bild 10.7 Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Globale Selektion*

Die Liste im Abschnitt *Programm / Modul* enthält alle Module, in denen Eingabedaten vorliegen. Wird ein Programm in dieser Liste markiert, können die zu druckenden Kapitel in den Registern rechts ausgewählt werden.

Das Register *Globale Selektion* verwaltet die Oberkapitel des Protokolls. Wenn hier ein Eintrag deaktiviert wird, verschwindet auch das zugehörige Detailregister.

Die drei Kontrollfelder im Abschnitt *Anzeigen* von links unten steuern, ob ein *Deckblatt*, ein *Index* (Inhaltsverzeichnis) und kleine *Info-Bilder* in der Randspalte des Protokolls angezeigt werden.

10.1.3.1 Selektion der Modelldaten

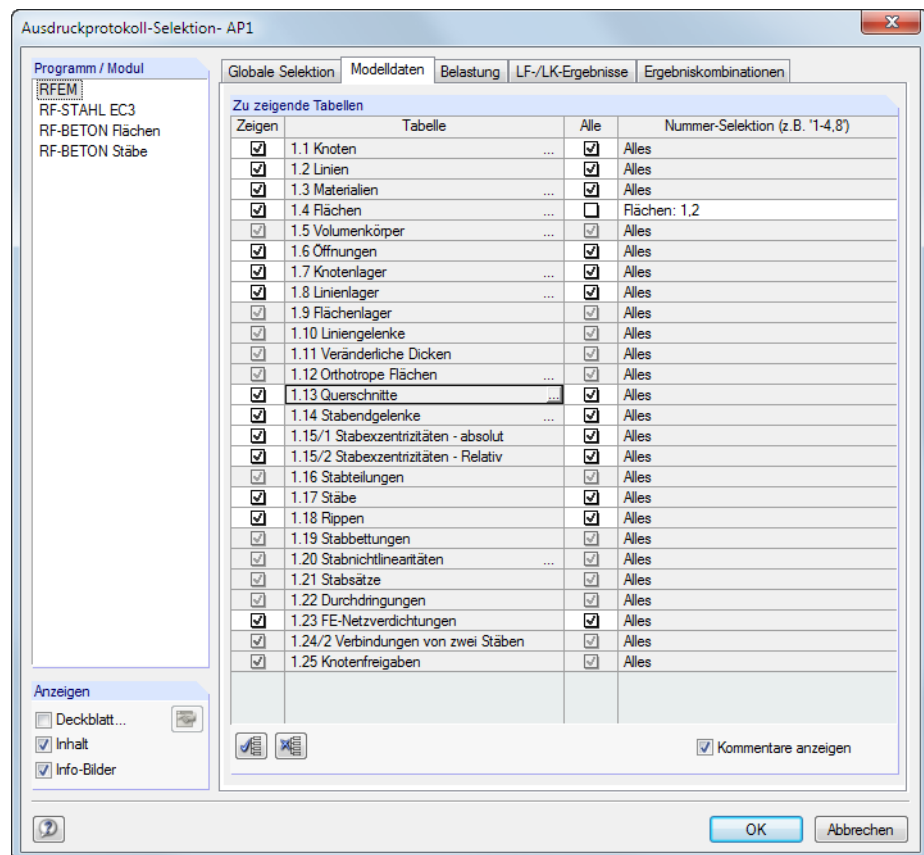


Bild 10.8 Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Modelldaten*

Die Spalte *Zeigen* steuert, welche Kapitel im Ausdruckprotokoll erscheinen.

Für einige Tabellen existieren Unterkapitel. Wird der Cursor z. B. in das Tabellenfeld *1.13 Querschnitte* gesetzt, kann mit der Schaltfläche ein weiterer Dialog geöffnet werden. Dort wird geregelt, von welchen Profilen auch die Querschnittsdetails erscheinen. Art und Umfang der Details lassen sich über die Schaltfläche festlegen.

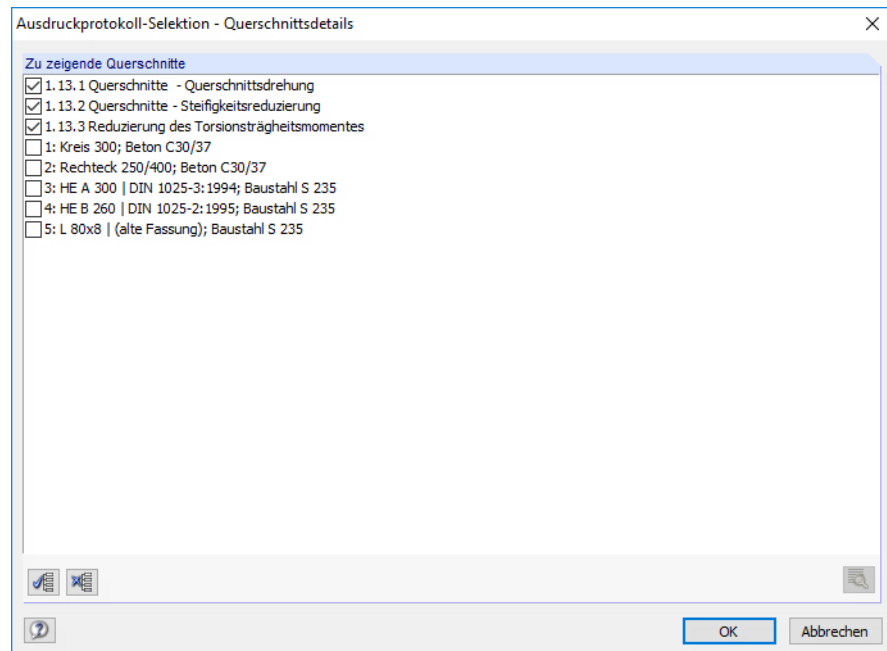


Bild 10.9 Dialog Ausdruckprotokoll Selektion - Querschnittsdetails

Das Ausdruckprotokoll basiert auf den im [Kapitel 4](#) vorgestellten Eingabetabellen. Die dritte Spalte *Alle* im Selektion-Dialog steuert, ob alle Zeilen dieser Tabellen in den Ausdruck übernommen werden. Wird das Häkchen von einem Kontrollfeld entfernt, können in der Spalte *Nummer-Selektion* die Nummern ausgewählter Objekte (Tabellenzeilen) angegeben werden.

Für die Auswahl ist ebenfalls die Schaltfläche am Ende des Eingabefeldes zu empfehlen: Knoten, Linien, Flächen, Stäbe, Stabsätze, Öffnungen und Volumen können im Arbeitsfenster grafisch ausgewählt werden. Bei den übrigen Objekten erscheint eine Liste der Tabellenzeilen.

10.1.3.2 Selektion der Lastfälle und Kombinationen

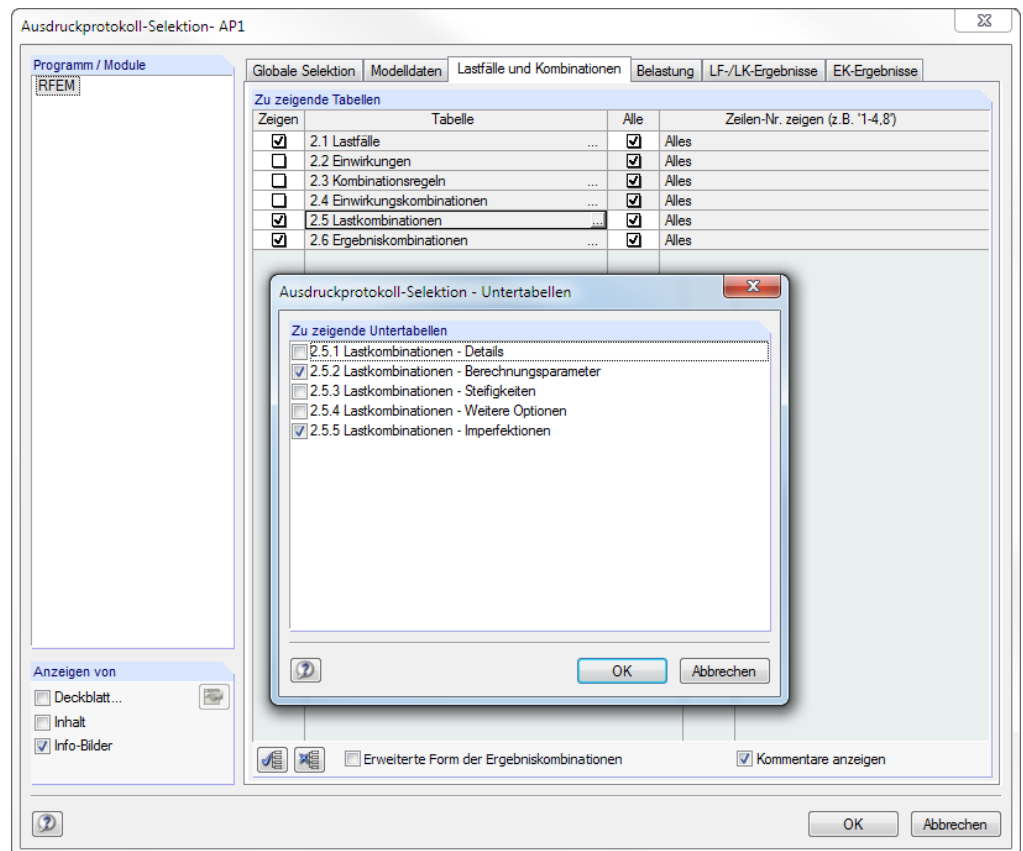




Bild 10.10 Dialog Ausdruckprotokoll-Selektion, Register Lastfälle und Kombinationen mit Untertabellen

Dieses Register steuert, welche Basisdaten der Lastfälle und Kombinationsvorgaben im Ausdruckprotokoll erscheinen. Über die Schaltfläche  am Ende eines Eingabefeldes ist ein Dialog zugänglich, der eine gezielte Auswahl der *Untertabellen* ermöglicht.

In der Spalte *Alle* können mit der Schaltfläche  bestimmte Tabelleneinträge (Lastfälle, Einwirkungen, Kombinationsregeln etc.) für die Dokumentation selektiert werden (siehe vorheriges Kapitel 10.1.3.1 ).

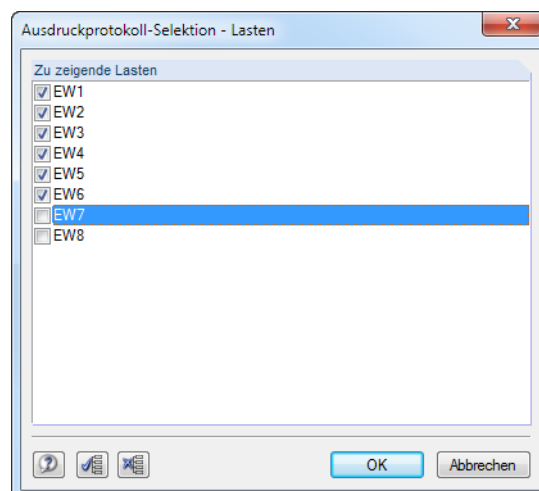


Bild 10.11 Auswahl von Einwirkungskombinationen

10.1.3.3 Selektion der Belastungsdaten

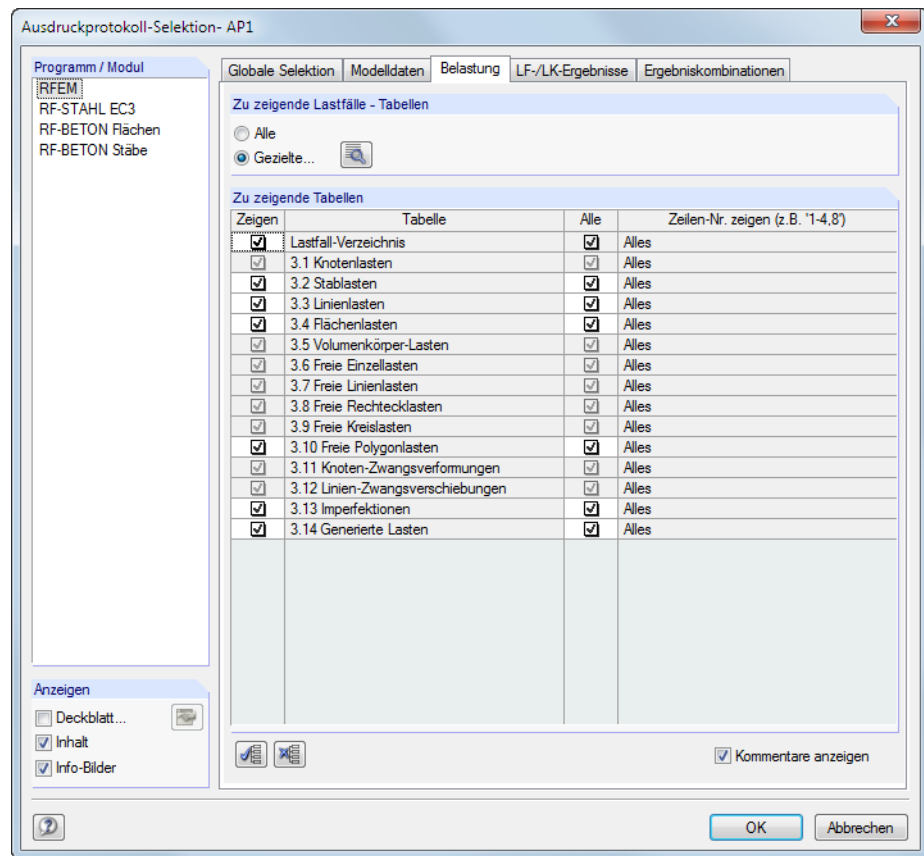


Bild 10.12 Dialog Ausdruckprotokoll-Selektion, Register Belastung

Die Auswahl der Tabellen ist wie im Kapitel 10.1.3.1 beschrieben vorzunehmen.

In diesem Register sind spezifische Auswahlmöglichkeiten verfügbar: Im Abschnitt *Zu zeigende Lastfälle - Tabellen* kann festgelegt werden, ob die Eingabedaten aller oder nur bestimmter Lastfälle im Ausdruck erscheinen. Wird das Auswahlfeld *Gezielte* aktiviert, können über die Schaltfläche die Lastfälle in einem Dialog festgelegt werden.

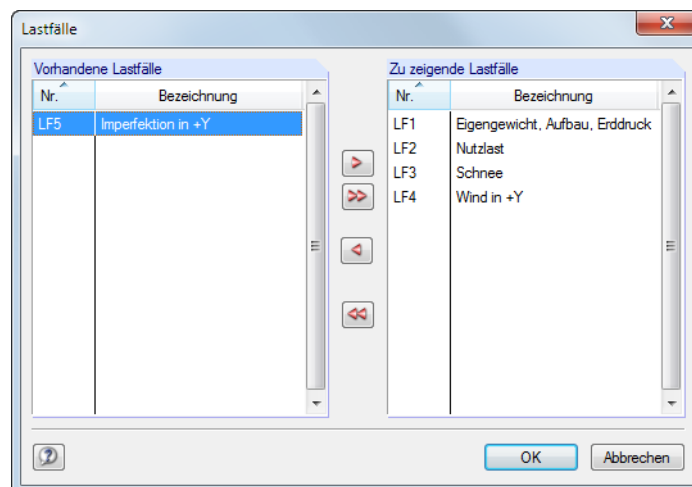


Bild 10.13 Auswahl von Lastfällen

10.1.3.4 Selektion der Ergebnisse

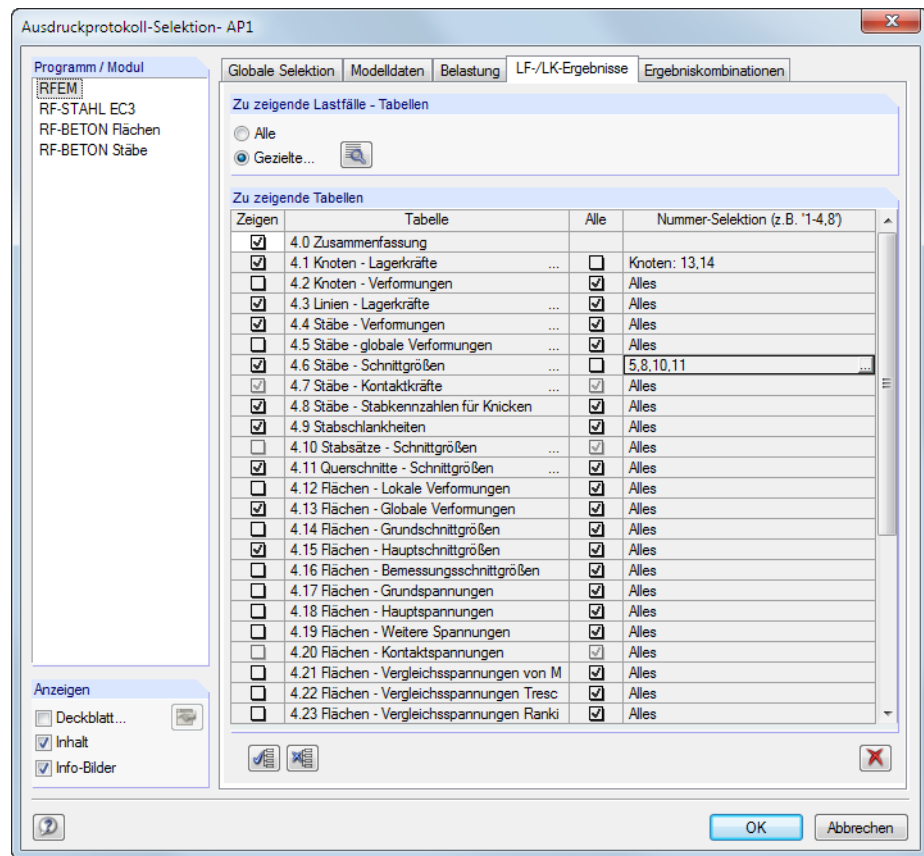




Bild 10.14 Dialog Ausdruckprotokoll-Selektion, Register LF-/LK-Ergebnisse

Die Selektion der meist umfangreichen Ergebnisdaten erfolgt in zwei Registern: Das Register *LF-/LK-Ergebnisse* verwaltet die Auswahl für die Lastfälle und Lastkombinationen, das Register *EK-Ergebnisse* für die Ergebniskombinationen.



Die Ergebnisdaten können wie die Belastungsdaten aufbereitet werden (siehe [Kapitel 10.1.3.3](#)): Über das Auswahlfeld *Gezielte* ist es möglich, den Ausdruck auf die Ergebnisse bestimmter Lastfälle oder Lastkombinationen zu beschränken.

Im Abschnitt *Zu zeigende Tabellen* können die Tabellen und Tabellenzeilen wie in [Kapitel 10.1.3.1](#) beschrieben ausgewählt werden. Die Spalte *Nummer-Selektion* ermöglicht es, bestimmte Objekte anzugeben oder über die Schaltfläche  am Ende der Tabellenzeile grafisch auszuwählen.

In der Spalte *Tabelle* sind einige Zeilen mit drei Pünktchen versehen. Damit wird die Schaltfläche  angedeutet, die mit einem Klick in diese Zeile zugänglich wird. Sie eröffnet den Zugang zu weiteren Auswahlkriterien wie z. B. für Stabschnittgrößen.

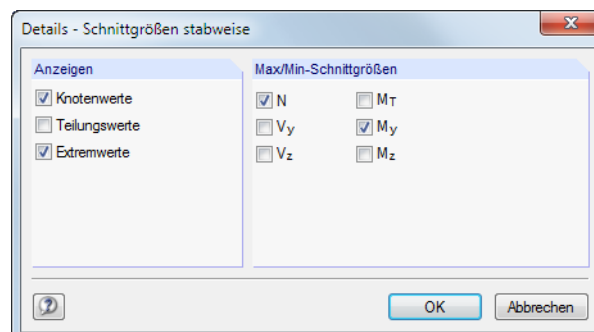


Bild 10.15 Dialog Details - Schnittgrößen stabweise

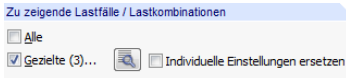
Das Ausdruckprotokoll gibt die Ergebnisse eines jeden Stabes an folgenden Stellen aus:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (siehe [Kapitel 4.1.6](#))
- Extremwerte (Max/Min) der Ergebnisse (siehe [Kapitel 8.6](#))

Die Auswahl ist mit den Tabellenfilter-Einstellungen gekoppelt (siehe [Bild 11.1.22](#)).

Der Umfang der Druckausgabe lässt sich deutlich reduzieren, wenn eine Beschränkung auf die Ergebnisse vorgenommen wird, die für die Dokumentation unverzichtbar sind.

Liegen mehrere Lastfälle oder LKs vor, für die unterschiedliche Ergebnisdaten dokumentiert werden sollen (z. B. Schnittgrößen der LK1, Lagerkräfte der LK2), so ist zunächst die globale Selektion vorzunehmen. Nach dem Aufbau des Protokolls können die unwichtigen Ergebnisse durch Löschen der Navigatoreinträge entfernt werden. Damit die Auswahl nicht wieder durch die globale Vorgaben überschrieben wird, erscheint beim erneuten Öffnen der *Ausdruckprotokoll-Selektion* das Zusatz-Kontrollfeld *Individuelle Einstellungen ersetzen* (siehe Beispiel in [Knowledge Base](#)).



10.1.3.5 Selektion der Zusatzmodul-Daten

Die Daten aller Zusatzmodule werden ebenfalls im RFEM-Ausdruckprotokoll für den Druck verwaltet. Sie können mit den RFEM-Daten in einem einzigen Protokoll zusammengefasst oder in separaten Ausdruckprotokollen organisiert werden. Bei großen Systemen mit vielen Bemessungsfällen ist die Aufteilung in mehrere Ausdruckprotokolle zu empfehlen.

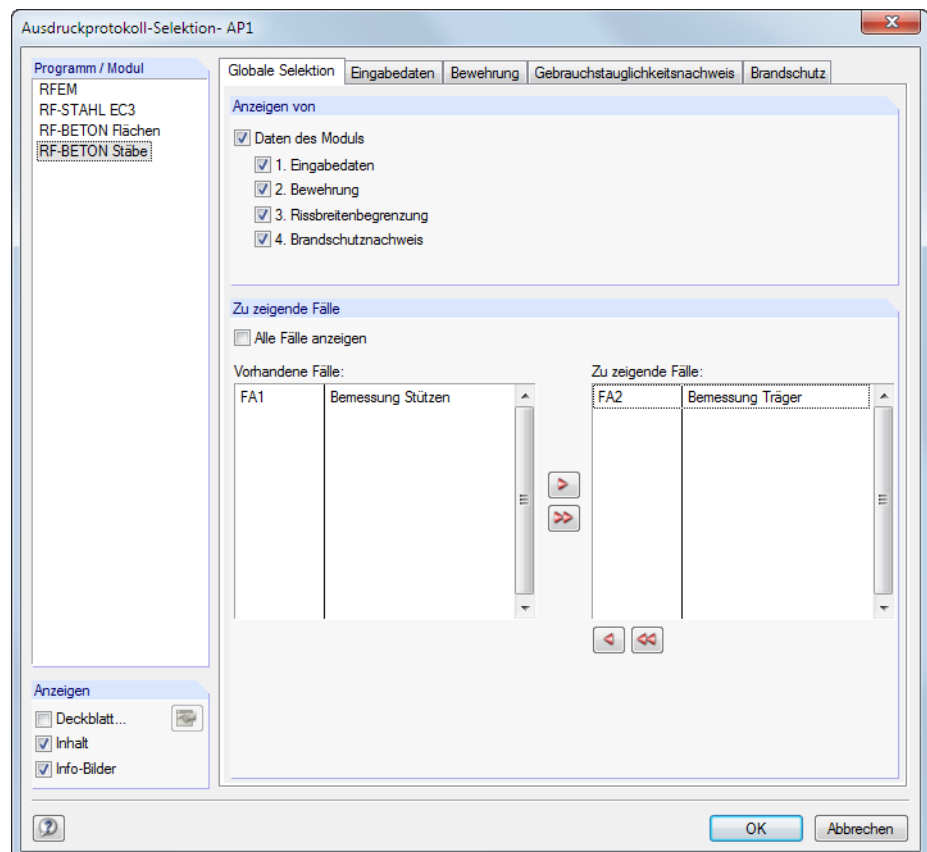


Bild 10.16 Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Globale Selektion* des Moduls **RF-BETON Stäbe**

Neben RFEM enthält die Liste im Abschnitt *Programm / Modul* alle Zusatzmodule, in denen Eingaben vorgenommen wurden. Nach dem Markieren eines Moduls können die Kapitel für den Ausdruck in den Registern rechts festgelegt werden.

Das Register *Globale Selektion* verwaltet die Oberkapitel der Zusatzmodul-Daten. Wenn hier ein Eintrag deaktiviert, verschwindet auch das zugehörige Detailregister.

Im Abschnitt *Zu zeigende Fälle* ist die Option *Alle Fälle anzeigen* voreingestellt. Sollen nur bestimmte Bemessungsfälle im Ausdruckprotokoll erscheinen, so muss das Häkchen aus dem Kontrollfeld entfernt werden. Die nicht benötigten Fälle können nun von der Liste *Zu zeigende Fälle* in die Liste *Vorhandene Fälle* verschoben werden.

Die Auswahl in den Detailregistern der Eingabe- und Ergebnisdaten lässt sich wie in den Kapiteln 10.1.3.1 und 10.1.3.4 beschrieben vornehmen.

10.1.4 Protokollkopf anpassen

Bei der Installation wird ein Druckkopf aus den Kundendaten angelegt. Diese Angaben können im Ausdruckprotokoll geändert werden über das Menü

Einstellungen → Protokollkopf

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

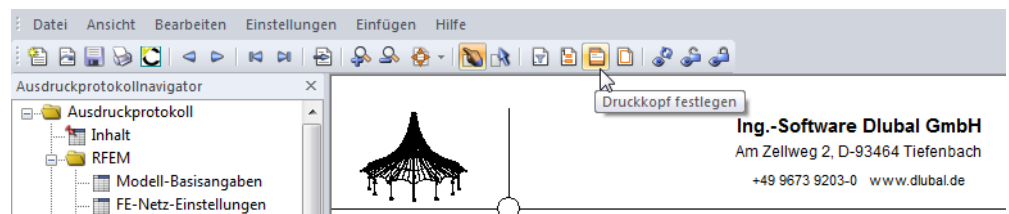


Bild 10.17 Schaltfläche *Druckkopf festlegen*

Es erscheint folgender Dialog.

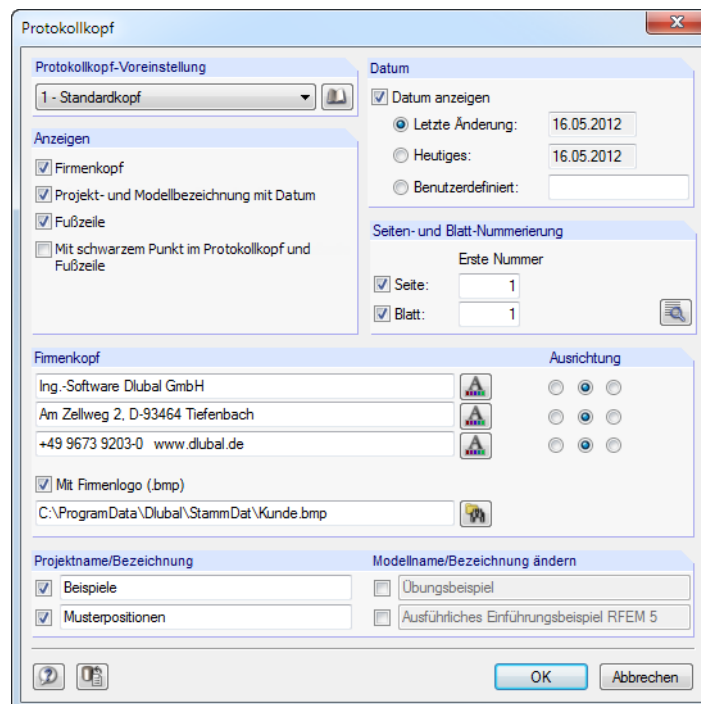



Bild 10.18 Dialog *Protokollkopf*

Protokollkopf-Voreinstellung

Sind mehrere Druckköpfe vorhanden, kann in der Liste der passende Kopf ausgewählt werden.

Die Schaltfläche  ermöglicht ebenfalls den Zugriff auf verschiedene Protokollköpfe. Zusätzlich können dort Protokollköpfe erzeugt, geändert oder gelöscht werden.

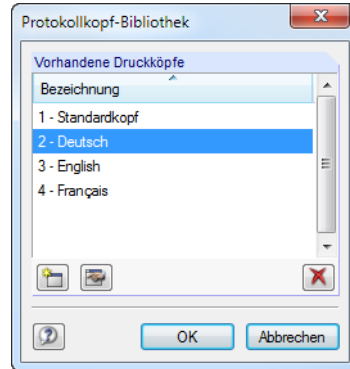


Bild 10.19 Dialog *Protokollkopf-Bibliothek*

Die Schaltflächen in der *Protokollkopf-Bibliothek* bedeuten im Einzelnen:





	Es wird ein neuer Protokollkopf erzeugt. Die Angaben sind in einem weiteren Dialog vorzunehmen, der wie der Dialog <i>Protokollkopf</i> konzipiert ist (siehe Bild 10.18 ).
	Die Eigenschaften des selektierten Protokollkopfs können bearbeitet werden.
	Der in der Liste selektierte Protokollkopf wird gelöscht.



Tabelle 10.4 Schaltflächen im Dialog *Protokollkopf-Bibliothek*



Die Protokollköpfe werden in der Datei **DlupalProtocolConfigNew.cfg** im allgemeinen Stammdatenordner `C:\ProgramData\Dlupal\Global\General Data` abgelegt. Diese Datei wird bei einem Update nicht überschrieben; eine Sicherungsdatei kann trotzdem von Vorteil sein.

Anzeigen

Dieser Abschnitt steuert, welche Elemente des Protokollkopfs oder des Seitenlayouts dargestellt werden.

Die Option *Projekt- und Modellbezeichnung mit Datum* blendet die Projekt- und Modellangaben — mit oder ohne Datum (siehe unten) — ein oder aus. Die Projektbezeichnung wird von den Basisangaben des Projekts im Projektmanager (siehe [Kapitel 12.1.1](#) ), die Modellbezeichnung von den Basisangaben des Modells übernommen (siehe [Kapitel 12.2](#) ). Die Vorgaben können in den Abschnitten *Projektname* und *Modellname* für den Ausdruck angepasst werden (siehe unten).

Die *Fußzeile* lässt sich ebenso ein- und ausblenden wie der *schwarze Punkt* in den Schnittpunkten von Randlinie mit Kopf- und Fußzeilenlinie.

Datum

Für die Anzeige des Datums im Protokollkopf stehen automatische Vorgaben sowie eine *Benutzerdefinierte* Angabe zur Auswahl.

Seite: 11/15
Blatt: 1

ERGEBNISSE

Seiten- und Blattnummerierung

Wenn für *Seite* und *Blatt* die Standardnummern gesetzt und die beiden Kontrollfelder angehakt sind, werden die einzelnen Seiten fortlaufend unter einem Blatt verwaltet (siehe Bild links).

Über die Schaltfläche  sind detaillierte Vorgaben für die Nummerierung möglich.

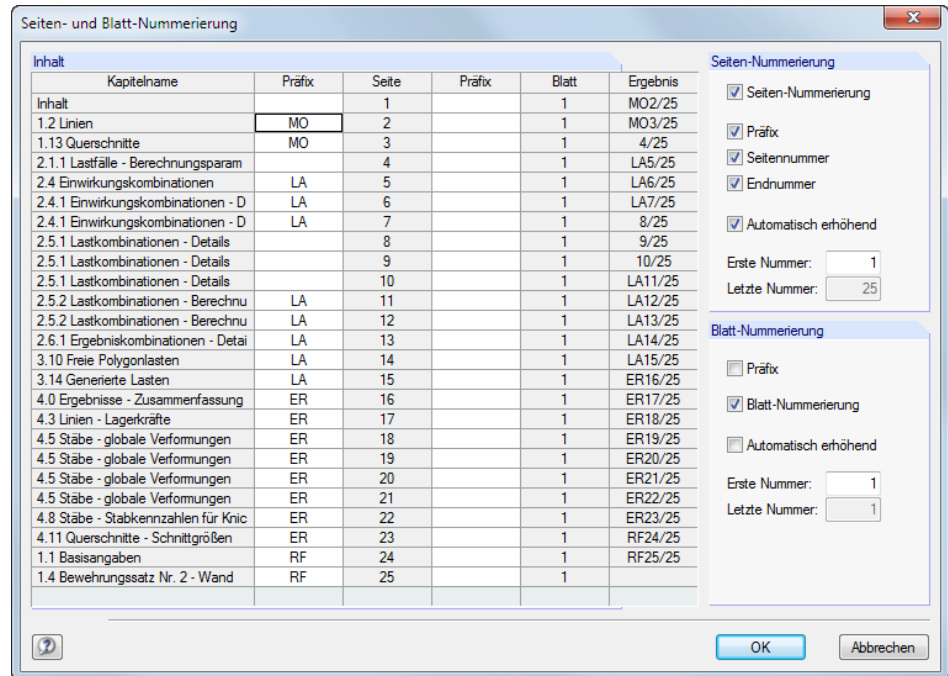




Bild 10.20 Dialog Seiten- und Blattnummerierung


Der Dialog ermöglicht es, die Nummerierung der Seiten bzw. Blätter mit einem *Präfix* zu versehen. Dies kann ein Kürzel sein, das kapitelweise festgelegt wird und z. B. alle Modelldaten in der Nummerierung mit einem vorangestellten „MO“ kennzeichnet. In diesem Dialog wird zudem geregelt, ob die *Endnummer* mit angezeigt wird, z. B. „Seite: MO3/25“.

Die Kontrollfelder *Automatisch erhöhend* legen fest, ob die Nummerierung fortlaufend erfolgt. Zudem kann die *Erste Nummer* für die Seiten- und Blattnummerierung angegeben werden. Die Spalte *Ergebnis* zeigt das Resultat aller Vorgaben dynamisch an.

Firmenkopf

Dieser Abschnitt des *Protokollkopf*-Dialogs enthält die Angaben aus den Kundendaten, die hier angepasst werden können. Für jede der drei Druckkopfzeilen steht ein Eingabefeld zur Verfügung. Über die Schaltfläche  können jeweils Schriftart und Schriftgrad geändert werden. Die *Ausrichtung* der Zeilen lässt sich ebenfalls separat festlegen.

Der linke Bereich der Kopfzeile ist für das Firmenlogo reserviert. Die Grafik kann im *.jpg, *.png, *.gif oder *.bmp-Format vorliegen; sie kann mit der Schaltfläche  eingelesen werden.

Mit der Schaltfläche  unten im Dialog können die geänderten Angaben gespeichert und als Standard gesetzt werden. Es erscheint der Dialog *Name des Protokollkopfes*, in dem eine Bezeichnung anzugeben ist. Der neue Druckkopf erscheint dann als *Protokollkopf-Voreinstellung*.

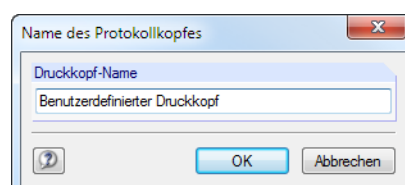



Bild 10.21 Dialog Name des Protokollkopfes

Projektname/Modellname/Bezeichnung

In den beiden Abschnitten sind der Projekt- und Modellname mit den benutzerdefinierten Bezeichnungen voreingestellt. Um die Vorgaben zu ändern, sind die entsprechenden Kontrollfelder anzuhaken. In den Eingabefeldern können dann die geeigneten Einträge vorgenommen werden.

10.1.5 RFEM-Grafiken einfügen

Jedes Bild, das im Arbeitsfenster angezeigt wird, kann in das Ausdruckprotokoll integriert werden. Die Ergebnisverläufe der Schnitte, Stäbe und Linienlager sowie die Querschnittsdetails lassen sich mit den Schaltflächen  der jeweiligen Dialoge ebenfalls in das Protokoll übergeben.

Die aktuelle Grafik wird gedruckt über das Menü

Datei → Drucken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.

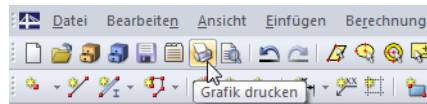


Bild 10.22 Schaltfläche *Grafik drucken* in der Symbolleiste des Arbeitsfensters

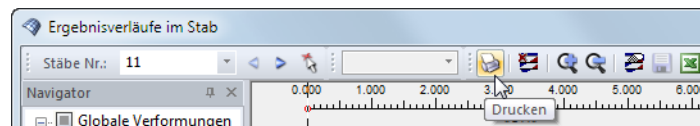


Bild 10.23 Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des *Ergebnisverläufe*-Fensters

Es erscheint folgender Dialog.

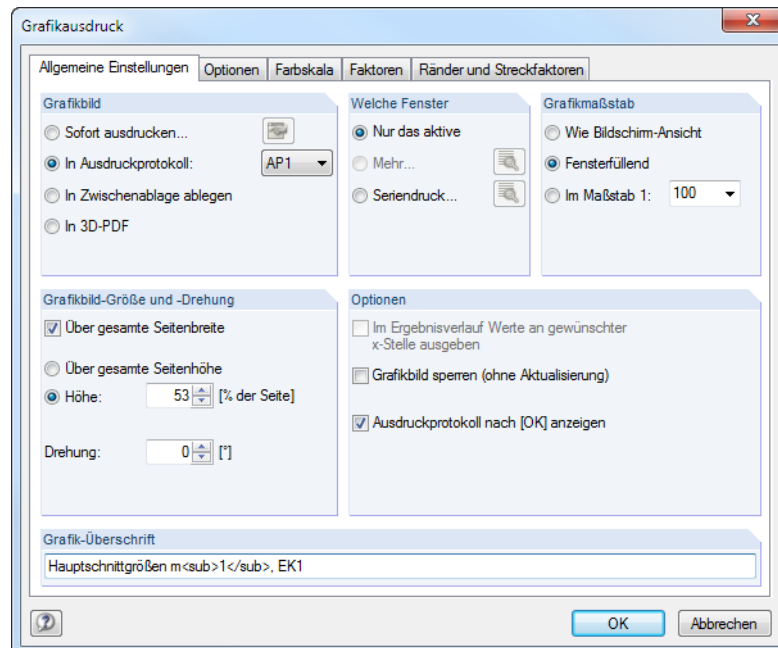


Bild 10.24 Dialog *Grafikausdruck*, Register *Allgemeine Einstellungen*

Grafikbild

Im Abschnitt ist die Option *In Ausdruckprotokoll* anzugeben. Falls mehrere Ausdruckprotokolle existieren, kann in der Liste daneben die Nummer des relevanten Protokolls ausgewählt werden.

Optionen

Grafikbild sperren

Standardmäßig werden dynamische Grafiken erzeugt: Bei einer Änderung des Modells oder der Ergebnisse werden die Grafiken im Ausdruckprotokoll automatisch aktualisiert. Treten Performanceprobleme im Protokoll wegen der Grafiken auf, so kann die dynamische Anpassung über das Kontrollfeld *Grafikbild sperren (ohne Aktualisierung)* unterbunden werden.

Im Ausdruckprotokoll kann die Sperrung einer Grafik wieder aufgehoben werden: Klicken Sie im Protokoll-Navigator den Grafikeintrag mit der rechten Maustaste an, um das Kontextmenü zu aktivieren (siehe Bild 10.4 [↗](#)). Über die *Eigenschaften* ist der Dialog *Grafikausdruck* dieses Bildes wieder zugänglich. Alternativ selektieren Sie die Grafik im Protokoll-Navigator und wählen Menü **Bearbeiten** → **Eigenschaften**.

Die Schloss-Schaltflächen in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls bieten eine weitere Möglichkeit, Grafiken als statisch oder dynamisch zu klassifizieren (siehe Bild 10.4 [↗](#)). Sie sind mit folgenden Funktionen belegt.




	Alle Grafiken werden aktualisiert.
	Alle Grafiken werden entsperrt und können somit dynamisch aktualisiert werden.
	Alle Grafiken werden gesperrt und sind somit statisch im Protokoll verankert.

Tabelle 10.5 Grafik-Schaltflächen im Ausdruckprotokoll

Ausdruckprotokoll nach [OK] anzeigen

Wird der Dialog mit [OK] geschlossen, so öffnet sich normalerweise das Ausdruckprotokoll zur Überprüfung des Druckergebnisses. Dies kann hinderlich sein, um z. B. mehrere Grafiken nacheinander in das Protokoll zu übergeben. Nach dem Entfernen des Häkchens ist es möglich, Bilder ohne Wartezeiten beim Aufbau des Ausdruckprotokolls zu drucken.

Die übrigen Funktionen und Register des Dialogs sind im Kapitel 10.2 [↗](#) erläutert.



Grafik im Ausdruckprotokoll ändern

■ VERFORMUNGEN u, LF1, ISOMETRIE

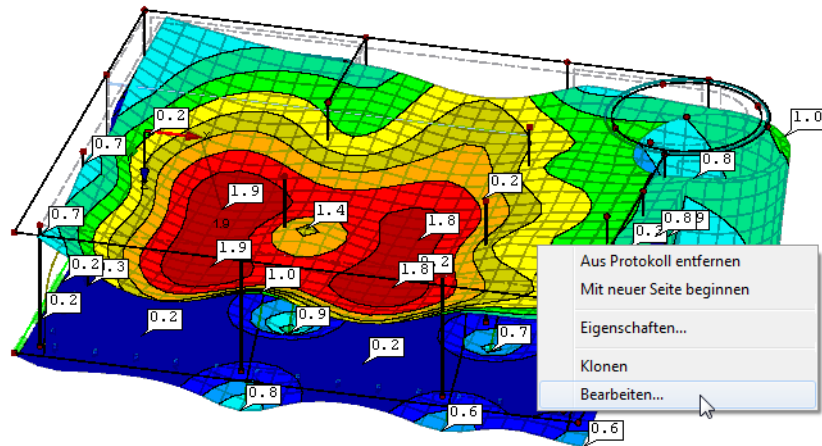
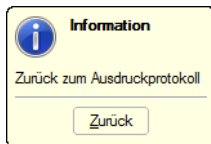


Bild 10.25 Grafik-Kontextmenü im Ausdruckprotokoll



Über das Ausdruckprotokoll-Kontextmenü kann eine Grafik nachträglich angepasst werden.

Die *Eigenschaften* steuern u. a. Größe, Rahmen und Farbe des Bildes. Über *Bearbeiten* kann die Ansicht (Blickwinkel, Objekt- und Werteanzeige etc.) im RFEM-Arbeitsfenster geändert werden.

10.1.6 Grafiken und Texte einfügen

Externe Grafiken und Texte lassen sich ebenfalls in das RFEM-Ausdruckprotokoll integrieren.

Grafiken

Um ein Bild einzufügen, das keine RFEM-Grafik ist, muss die Grafikdatei zunächst mit einem Bildbearbeitungsprogramm (z. B. MS Paint) geöffnet und mit [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopiert werden.

Die Grafik in der Zwischenablage wird in das Ausdruckprotokoll eingefügt über das Menü

Einfügen → Grafik aus Zwischenablage.

Vorher ist noch der Kapitelname für die neue Grafik anzugeben.

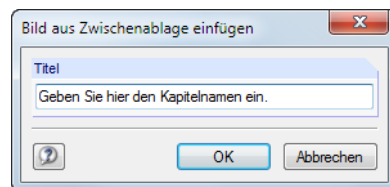


Bild 10.26 Dialog Bild aus Zwischenablage einfügen

Die Grafik erscheint als eigenständiges Kapitel im Ausdruckprotokoll.

Texte

Das Ausdruckprotokoll kann mit eigenen, kurzen Anmerkungen ergänzt werden. Diese Funktion wird aufgerufen über das Ausdruckprotokoll-Menü

Einfügen → Textblock.

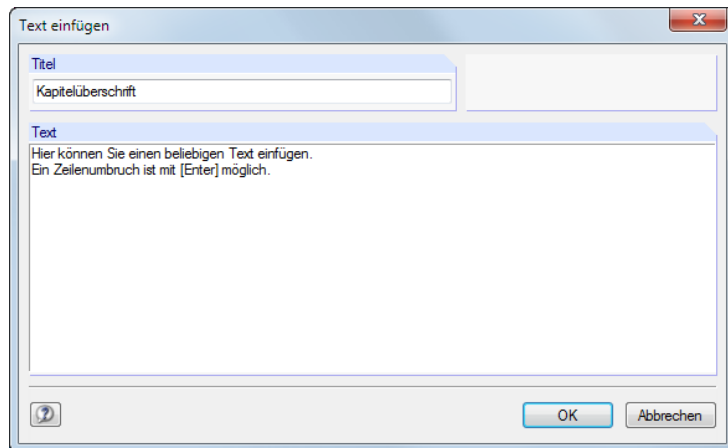


Bild 10.27 Dialog Text einfügen

Geben Sie den *Titel* und den *Text* ein. Nach [OK] wird das Kapitel am Ende des Ausdruckprotokolls eingefügt. Mit Drag-and-drop lässt es sich dann an die gewünschte Stelle verschieben.



Im Selektionsmodus (siehe [Tabelle 10.3](#)) kann der Text über einen Doppelklick nachträglich geändert werden. Alternativ wird die Überschrift im Navigator mit der rechten Maustaste angeklickt, um den Kontextmenü-Eintrag *Eigenschaften* zu benutzen.

Text- und RTF-Dateien

Es lassen sich Textdateien im ASCII-Format sowie formatierte RTF-Dateien einschließlich eingebetteter Grafiken in das Ausdruckprotokoll integrieren. Dadurch können wiederkehrende Texte in Dateien abgelegt und im Protokoll genutzt werden.

Diese Funktion ermöglicht es auch, die Nachweise anderer Bemessungsprogramme in das Ausdruckprotokoll integrieren. Die Ergebnisse müssen im ASCII- oder RTF-Format vorliegen.

Text- und RTF-Dateien werden eingefügt über das Ausdruckprotokoll-Menü

Einfügen → Textdatei.

Im Windows-Dialog *Öffnen* ist zunächst die Datei auszuwählen. Nach dem [Öffnen] wird das Kapitel am Ende des Ausdruckprotokolls angefügt. Mit Drag-and-drop lässt es sich dann an die gewünschte Stelle verschieben.



Im Auswahlmodus (siehe [Tabelle 10.3](#)) kann der Text per Doppelklick nachträglich geändert werden. Es erscheint der Dialog *Text einfügen* für benutzerdefinierte Anpassungen.

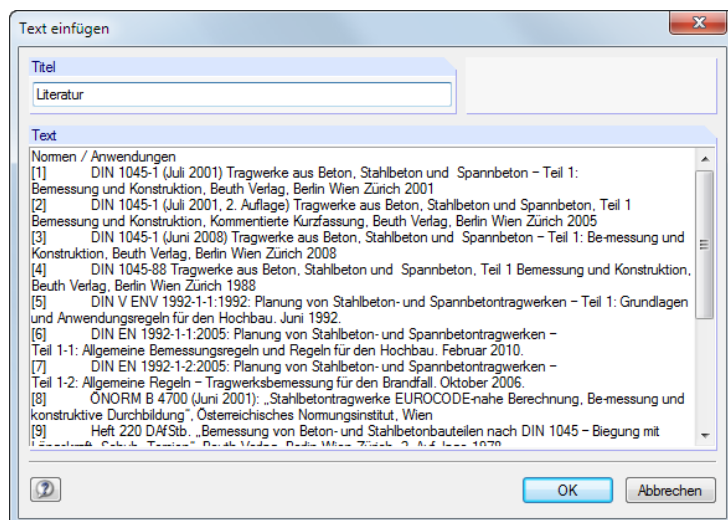


Bild 10.28 Dialog Text einfügen

10.1.7 Ausdruckprotokoll-Muster

Die im Kapitel 10.1.3 beschriebene Selektion ist relativ zeitaufwendig. Eine solche Auswahl einschließlich Grafiken kann als Muster abgelegt und für weitere Modelle genutzt werden. Ausdruckprotokolle lassen sich auf Basis dieser Vorlagen rationell erstellen.

Ein bestehendes Ausdruckprotokoll kann auch als Muster gespeichert werden.

Muster neu anlegen

Neue Vorlagen werden über die beiden Ausdruckprotokoll-Menüs definiert:

Einstellungen → **Ausdruckprotokoll-Muster** → **Neu**

Einstellungen → **Ausdruckprotokoll-Muster** → **Neu aus aktuellem Protokoll.**

Neu

Zunächst erscheint der im Kapitel 10.1.3 beschriebene Selektionsdialog.

In den Registern sind die zu druckenden Kapitel auszuwählen. Wenn die Selektion mit [OK] abgeschlossen wird, ist die *Bezeichnung* des neuen Musterprotokolls anzugeben.

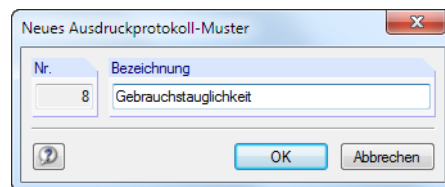


Bild 10.29 Dialog Neues Ausdruckprotokoll-Muster

Neu aus aktuellem Protokoll

Die Selektion des aktuellen Ausdruckprotokolls wird für die neue Vorlage verwendet. Es ist im Dialog (siehe Bild 10.29) die *Bezeichnung* des neuen Musterprotokolls anzugeben.

Muster anwenden

Bei einem geöffneten Ausdruckprotokoll können die ausgewählten Inhalte eines Musters auf das aktuelle Protokoll übertragen werden. Dies erfolgt über das Menü

Einstellungen → **Ausdruckprotokoll-Muster** → **Auswählen.**

In einem Dialog kann dann die Vorlage in der Liste *Vorhandene Ausdruckprotokoll-Muster* ausgewählt werden.

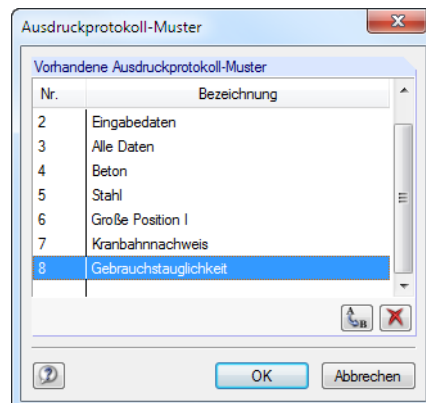


Bild 10.30 Dialog Ausdruckprotokoll-Muster

Die Schaltflächen dieses Dialogs sind in [Tabelle 10.6](#) erläutert.

Die aktuelle Selektion wird nach einer Sicherheitsabfrage durch das Muster überschrieben.

Beim Anlegen eines neuen Ausdruckprotokolls kann in der Liste *Voreinstellung übernehmen von Muster* eine Vorlage ausgewählt werden, nach der der Inhalt zusammengestellt wird.

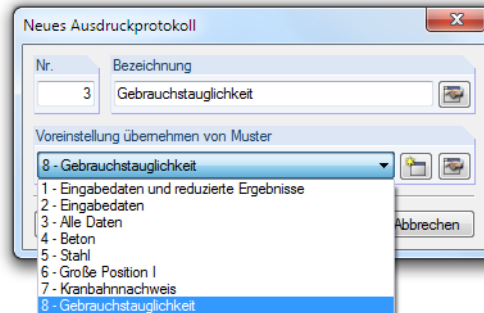


Bild 10.31 Dialog Neues Ausdruckprotokoll mit Liste der Muster

Muster verwalten

Die Verwaltung aller Vorlagen erfolgt im Dialog *Ausdruckprotokoll-Muster*. Dieser Dialog wird aufgerufen über das Menü

Einstellungen → **Ausdruckprotokoll-Muster** → **Auswählen**.

Es erscheint der im [Bild 10.30](#) gezeigte Dialog. Die Funktionen der Schaltflächen können nur auf benutzerdefinierte Muster angewandt werden.



	Das ausgewählte Muster kann umbenannt werden.
	Das selektierte Muster wird gelöscht.

Tabelle 10.6 Schaltflächen im Dialog *Ausdruckprotokoll-Muster*



Die Ausdruckprotokoll-Muster werden in der Datei **RfemProtocolConfig.cfg** gespeichert, die sich im Stammdatenordner für RFEM 5 `C:\ProgramData\Dlubal\RFEM 5.xx\General Data` befindet. Diese Datei wird bei einem Update nicht überschrieben. Durch Kopieren der Datei können die Musterprotokolle auf einen anderen Rechner übertragen werden.

10.1.8 Layout anpassen

Das Layout eines Ausdruckprotokolls kann hinsichtlich der Schriftarten und -farben, der Randeinstellungen und des Tabellendesigns angepasst werden.

Der Dialog zum Bearbeiten des Seitenlayouts wird aufgerufen über das Menü

Einstellungen → **Seite**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.



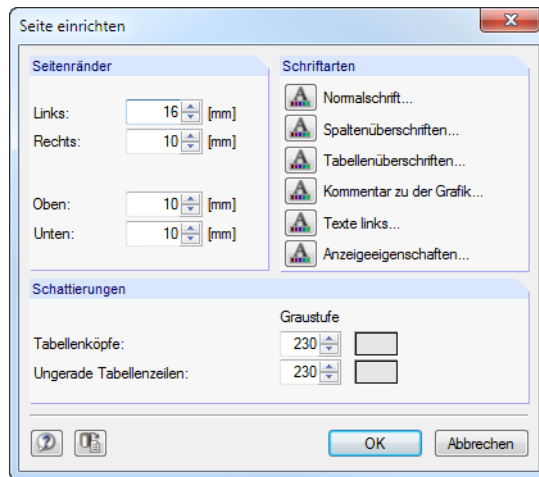


Bild 10.32 Dialog Seite einrichten



Es sind relativ kleine Standardfonts für Normal- und Spaltenüberschriften vorgesehen. Dennoch sollte man vorsichtig sein, die voreingestellten **Arial**-Schriftgrößen zu verändern: Mit größeren Fonts passen die Einträge nicht immer in die vorgesehenen Spalten und werden abgeschnitten.



Die Layout-Einstellungen gelten auch für die Ausdruckprotokolle der RFEM-Zusatzmodule.

10.1.9 Deckblatt erzeugen

Das Ausdruckprotokoll kann mit einem Deckblatt versehen werden. Zur Eingabe der Deckblattdaten ist ein Dialog aufzurufen über das Menü

Einstellungen → Deckblatt



oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

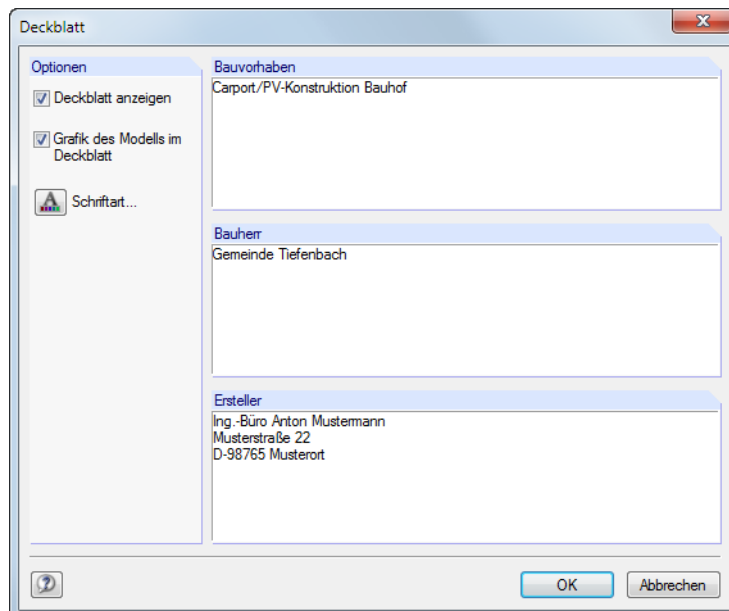


Bild 10.33 Dialog Deckblatt

Wenn alle Einträge vorliegen, kann das Deckblatt mit [OK] im Protokoll erstellt werden.

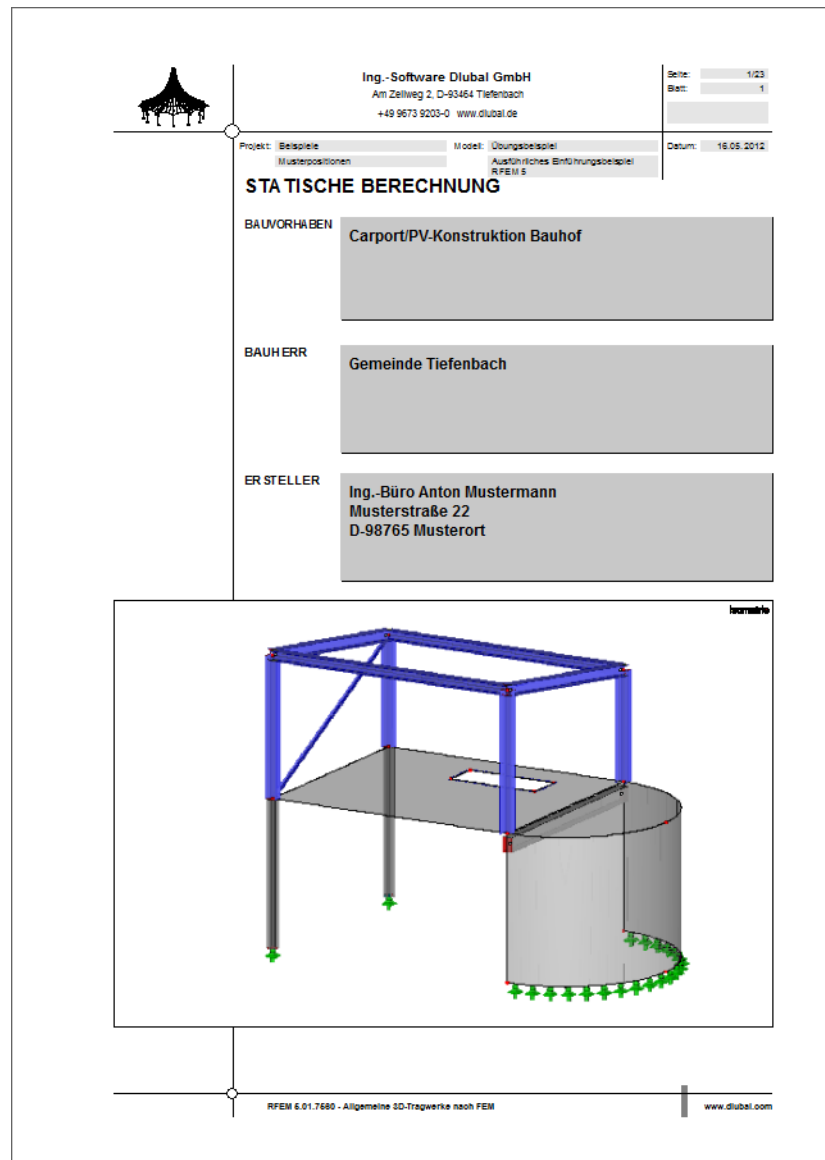


Bild 10.34 Deckblatt im Ausdruckprotokoll



Der Inhalt des Deckblatts kann im Auswahlmodus (siehe [Tabelle 10.3](#)) über einen Doppelklick nochmals geändert werden. Alternativ klicken Sie das Deckblatt im Navigator mit der rechten Maustaste an und benutzen den Kontextmenü-Eintrag *Eigenschaften*.

10.1.10 Ausdruckprotokoll drucken

Der eigentliche Druckvorgang wird gestartet mit dem Ausdruckprotokoll-Menü

Datei → Drucken

oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

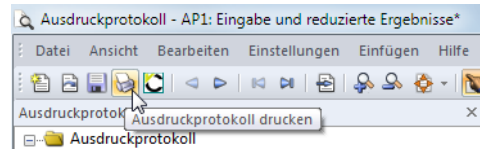


Bild 10.35 Schaltfläche *Ausdruckprotokoll drucken*

Es wird der Standard-Druckerdialog von Windows aufgerufen, in dem der Drucker und die zu druckenden Seiten festzulegen sind.

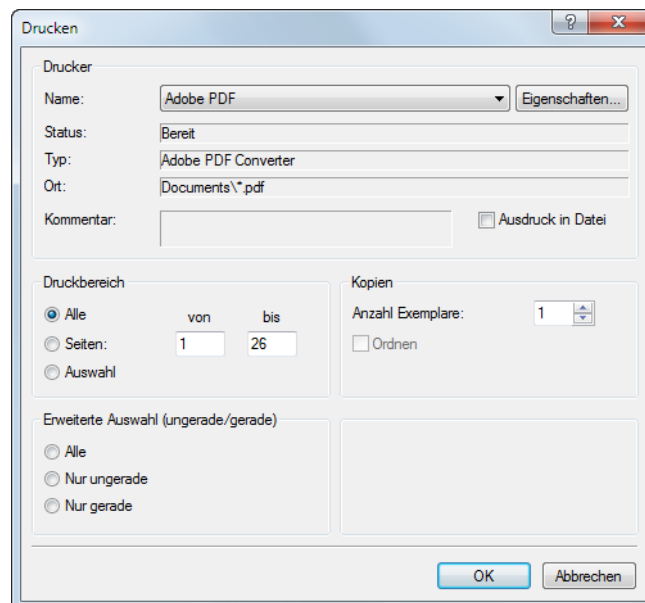


Bild 10.36 Dialog *Drucken*

Falls nicht der Standarddrucker verwendet wird, kann der Seitenumbruch und damit auch die Seitenzahl auf dem Papier von der Vorschau in RFEM abweichen.

Bei der Option *Ausdruck in Datei* wird eine Druckdatei im PRN-Format erzeugt. Diese kann mit dem **copy**-Befehl auf einen Drucker geleitet werden.

10.1.11 Ausdruckprotokoll exportieren

Das Ausdruckprotokoll kann in verschiedene Dateiformate und direkt nach VCmaster exportiert werden.

RTF-Export

Alle gängigen Textverarbeitungsprogramme unterstützen das RTF-Format. Das Ausdruckprotokoll einschließlich Grafiken wird als RTF-Dokument exportiert über das Menü

Datei → Export in RTF.

Es öffnet sich der Windows-Dialog *Speichern unter*.

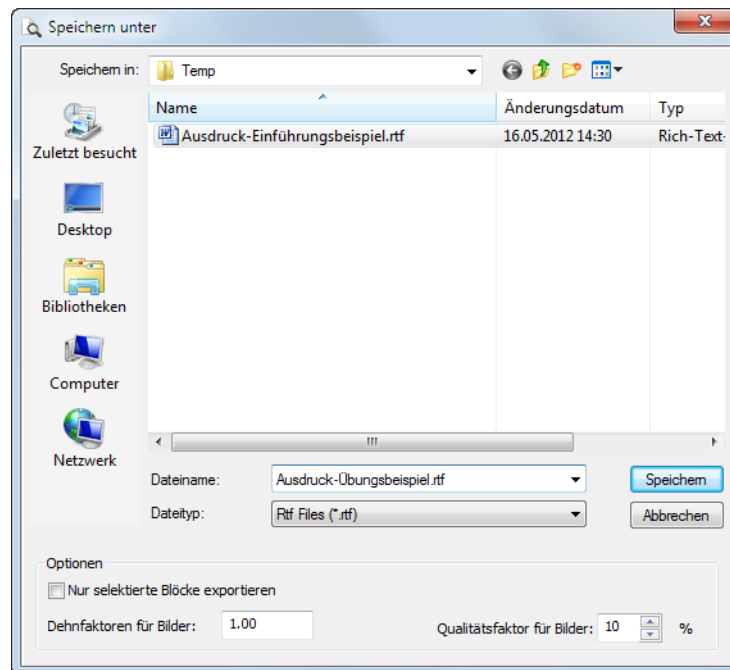


Bild 10.37 Dialog *Speichern unter*

Es sind der Speicherort und der Dateiname anzugeben. Wird das Kontrollfeld *Nur selektierte Blöcke exportieren* angehakt, so wird nicht das ganze Protokoll exportiert, sondern nur das bzw. die Kapitel, die zuvor im Navigator selektiert wurden.

PDF-Export

Der integrierte PDF-Drucker ermöglicht es, die Daten des Ausdrucksprotokolls als PDF-Datei auszugeben. Dies erfolgt über das Menü

Datei → **Export in PDF-Datei**.

Im Windows-Dialog *Speichern unter* (siehe [Bild 10.37](#)) sind der Speicherort und der Dateiname anzugeben. Der zusätzliche Abschnitt *Bezeichnung* ermöglicht es, Anmerkungen für die PDF-Datei vorzunehmen.



In der PDF-Datei werden auch Lesezeichen erzeugt, die das Navigieren im digitalen Dokument erleichtern.

VCmaster-Export

VCmaster aus dem Hause Veit Christoph (früher *BauText*) ist ein Textverarbeitungsprogramm mit speziellen Erweiterungen für statische Berechnungen.



Der direkte Export nach VCmaster wird gestartet über die Schaltfläche [VCmaster] in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

Für den erfolgreichen Export sollte VCmaster bereits im Hintergrund laufen.

10.1.12 Sprache einstellen

Die Spracheinstellung im Ausdruckprotokoll ist unabhängig von der Sprache der RFEM-Benutzeroberfläche. Mit der deutschen Version kann so ein englisches oder italienisches Ausdruckprotokoll erzeugt werden.

Ändern der Sprache für den Ausdruck

Die im Ausdruckprotokoll benutzte Sprache wird geändert über das Menü

Einstellungen → **Sprache**.

Im folgenden Dialog kann die gewünschte Sprache in der Liste ausgewählt werden.

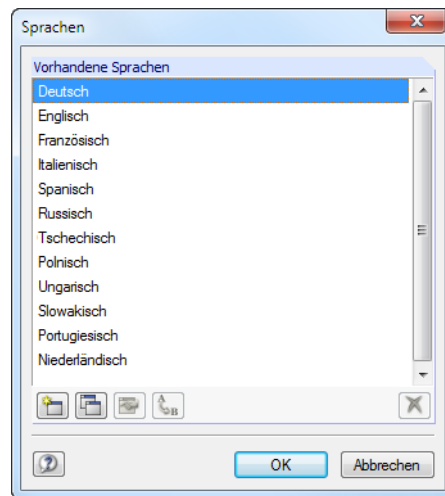


Bild 10.38 Dialog Sprachen

Erweitern der vorhandenen Sprachen

Die im Ausdruckprotokoll verwendeten Begriffe sind als Strings (Zeichenketten) abgelegt. Dadurch ist es relativ einfach möglich, weitere Sprachen einzubinden.

Rufen Sie zunächst den Dialog *Sprachen* auf über das Menü

Einstellungen → **Sprache**.

Über die Schaltflächen im unteren Dialogabschnitt lassen sich die Sprachen verwalten.



Neue Sprache erzeugen

In einem Dialog ist der *Name* der neuen Sprache anzugeben und eine *Sprachgruppe* in der Liste auszuwählen, damit der Zeichensatz korrekt für die Darstellung interpretiert wird.

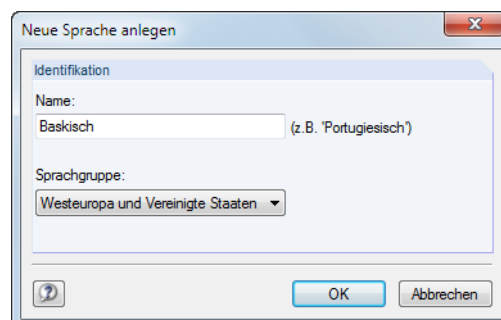


Bild 10.39 Dialog Neue Sprache anlegen

Nach [OK] steht die neue Sprache in der Liste *Vorhandene Sprachen* zur Verfügung.

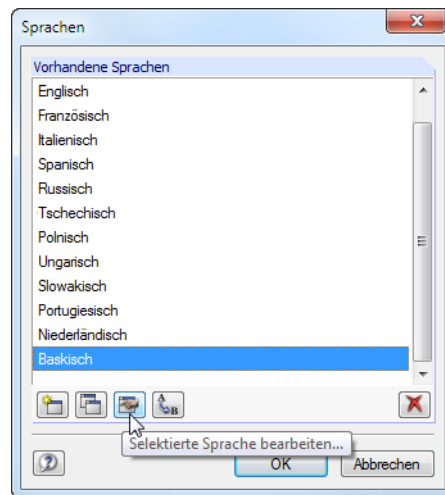



Bild 10.40 Dialog Sprachen, Schaltfläche *Selektierte Sprache bearbeiten*

Über die Schaltfläche  können die Strings der neuen Sprache eingegeben werden.

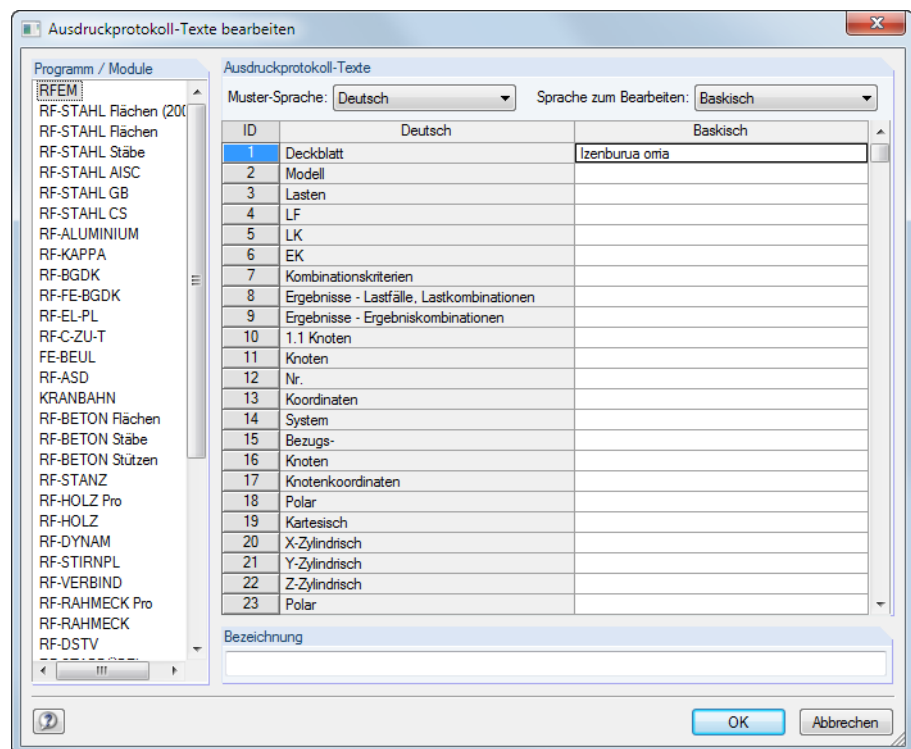


Bild 10.41 Dialog *Ausdruckprotokoll-Texte bearbeiten*



Es können nur benutzerdefinierte Sprachen bearbeitet werden.



Sprache kopieren

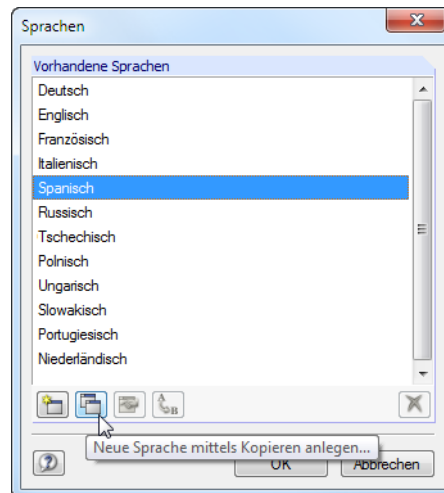


Bild 10.42 Dialog Sprachen, Schaltfläche Neue Sprache mittels Kopieren anlegen

Diese Funktion ähnelt dem Anlegen einer neuen Sprache. Der Unterschied besteht darin, dass keine „leere“ Sprache angelegt wird (siehe Bild 10.41 [□](#), Spalte Baskisch), sondern die Begriffe der markierten Sprache voreingestellt sind.

Sprache umbenennen oder löschen



Mit den verbleibenden Schaltflächen des Dialogs Sprachen können Sprachen umbenannt oder gelöscht werden. Diese beiden Funktionen sind nur für benutzerdefinierte Sprachen zugänglich, nicht für die vorgegebenen Standardsprachen.

10.2

Direkter Grafikausdruck

Jede Grafik des Arbeitsfensters kann sofort ausgedruckt werden, ohne sie vorher in das Ausdruckprotokoll einzubinden (siehe Kapitel 10.1.5 [□](#)). Auch die Ergebnisverläufe von Schnitten, Stäben, Stabsätzen, Linien und Linienlagern sowie die Querschnittsdetails lassen sich mit den [Drucken]-Schaltflächen in diesen Fenstern direkt zum Drucker leiten.

Die aktuelle Grafik wird direkt gedruckt über das Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

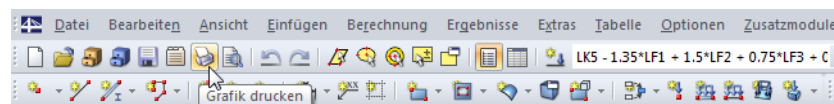


Bild 10.43 Schaltfläche Drucken in der Symbolleiste des Hauptfensters

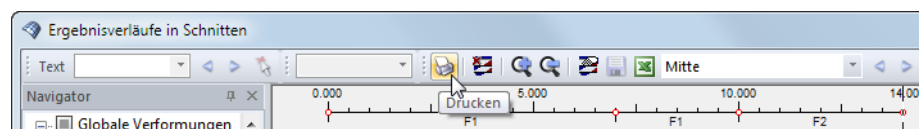


Bild 10.44 Schaltfläche Drucken in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

Es erscheint ein Dialog mit mehreren Registern, die in den folgenden Kapiteln beschrieben sind.

10.2.1 Allgemeine Einstellungen

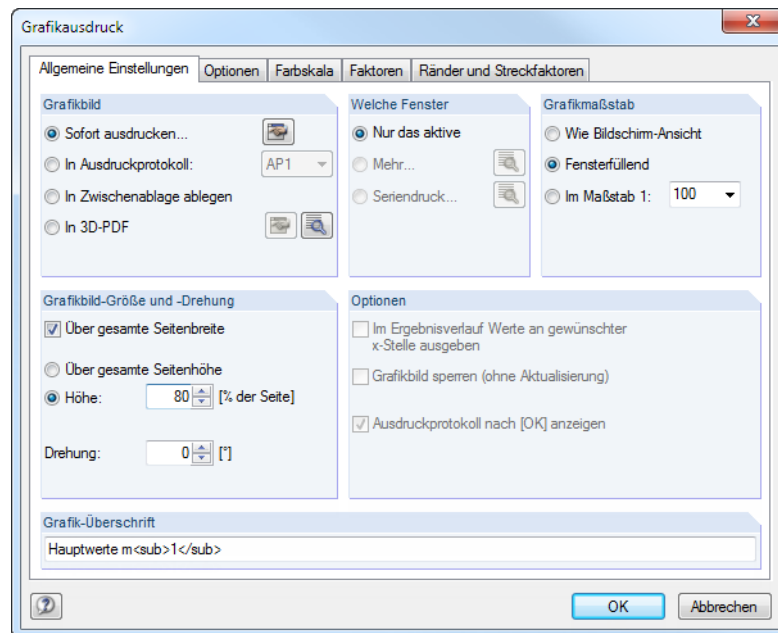



Bild 10.45 Dialog Grafikausdruck, Register Allgemeine Einstellungen

Grafikbild



Es bestehen vier Möglichkeiten der Grafikausgabe:

- Sofort ausdrucken
- In Ausdruckprotokoll (siehe [Kapitel 10.1.5](#))
- In Zwischenablage ablegen
- In 3D-PDF

Sofort ausdrucken ermöglicht eine direkte Druckausgabe. Der Protokollkopf kann über die Schaltfläche  angepasst werden, die den *Protokollkopf*-Dialog aufruft (siehe [Kapitel 10.1.4](#)).

Beim Drucken in das *Ausdruckprotokoll* wird die Grafik in das Ausdruckprotokoll AP eingefügt, das in der Liste ausgewählt werden kann. Falls noch kein Ausdruckprotokoll existiert, erscheint nach dem Bestätigen des Dialogs der Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*, in dem die Bezeichnung und der Inhalt des Ausdruckprotokolls festgelegt werden kann (siehe [Bild 10.2](#)).

Die *Zwischenablage* stellt die Grafik anderen Programmen zur Verfügung. Dort kann die Grafik in der Regel über das Menü **Bearbeiten** → **Einfügen** übernommen werden.

Soll die Grafik als *3D-PDF* abgelegt werden, so kann über die Schaltfläche  ebenfalls der Protokollkopf angepasst werden. Die Schaltfläche  ruft den Dialog *3D PDF-Druckseite einrichten* auf, in dem die Vorgaben für das Druckformat getroffen werden können. Nähere Informationen zum Thema 3D-PDF finden Sie auf der [Support-Seite](#) von Adobe (englisch).

Welche Fenster

Dieser Abschnitt steuert, wie eine Mehrfensterdarstellung im Ausdruck zu behandeln ist. Mit der Option *Nur das aktive Fenster* wird die Grafik des Fensters gedruckt, das gerade fokussiert ist (z. B. im [Bild 10.46](#) das rechte Fenster).

Für den Ausdruck mehrerer Grafiken (siehe [Kapitel 9.8](#)) ist zu beachten, dass nur die Grafiken eines einzigen Modells gemeinsam ausgedruckt werden können. Ein modellübergreifender Ausdruck ist nicht möglich.

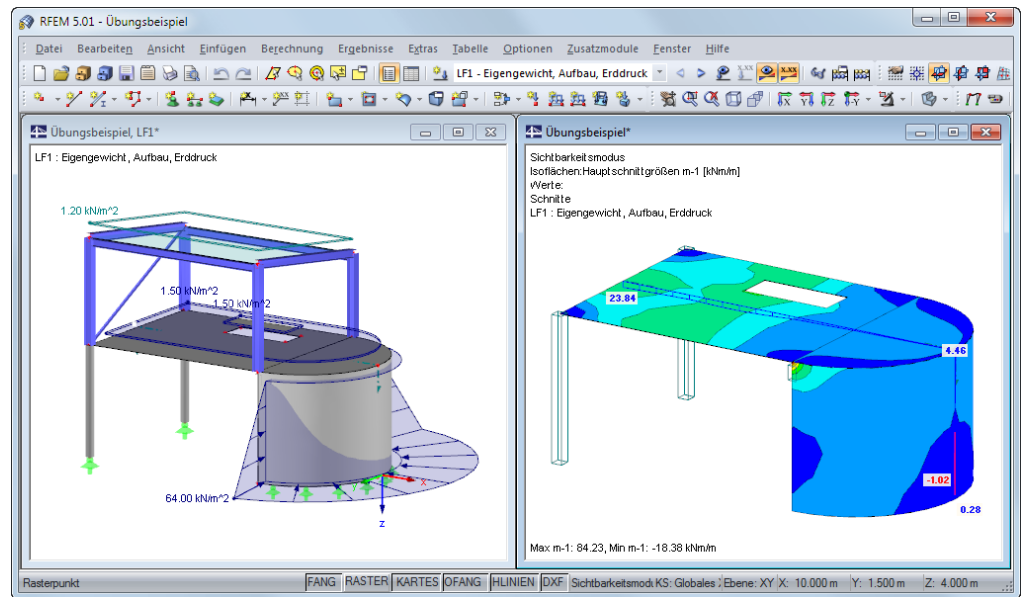


Bild 10.46 Darstellung von zwei Fenstern eines Modells

Mit dem Aktivieren der Druckoption *Mehr Fenster* wird die -Schaltfläche zugänglich. Sie ruft einen Dialog mit Steuerungsmöglichkeiten zur Druckanordnung der Grafiken auf.

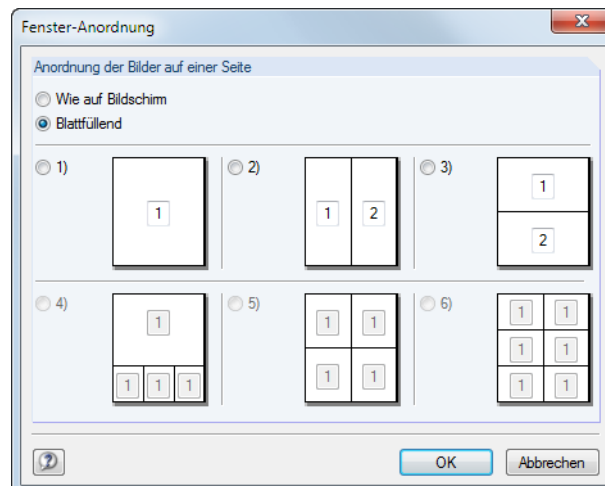


Bild 10.47 Dialog Fensteranordnung

Wie auf Bildschirm arrangiert die Fenster so auf dem Blatt, wie sie den Größenverhältnissen auf dem Monitor entsprechen. In der Regel wird damit das Gesamtbild auf der Seite – wie auf dem Bildschirm – breiter als hoch. Bei der Option *Blattfüllend* wird die gesamte Seitengröße für die Darstellung der Fenster ausgenutzt.

Mit der Option *Seriendruck* lassen sich voreingestellte Standardgrafiken in das Ausdruckprotokoll integrieren. Nach dem Aktivieren des Auswahlfeldes und einem Klick auf erscheint ein neuer Dialog, in dem die Parameter festgelegt werden können (siehe [Kapitel 10.2.6](#)).

Grafikgröße

Der Abschnitt rechts oben im Dialog *Grafikausdruck* ([Bild 10.45](#)) verwaltet den Abbildungsmaßstab der Grafik auf dem Papier.

Wie Bildschirmansicht verwendet den gleichen Darstellungsmaßstab wie auf dem Monitor. Damit lassen sich gezoomte Bereiche oder spezielle Ansichten drucken.

Die Option *Fensterfüllend* stellt die Gesamtgrafik auf dem Papier dar. Es wird der aktuelle Blickwinkel verwendet, um das ganze Modell in der vorgegebenen Grafikbild-Größe (siehe nächster Abschnitt) abzubilden.

Im Maßstab druckt die Grafik in dem Maßstab, der in der Liste gewählt oder manuell eingegeben wird. Auch hier wird der aktuelle Blickwinkel verwendet. Eine perspektivische Ansicht eignet sich nicht für den maßstäblichen Ausdruck.

Grafikbild-Größe

Dieser Abschnitt regelt die Größe der Grafik auf dem Papier.

Ist das Kontrollfeld *Über gesamte Seitenbreite* angehakt, wird wie im folgenden Bild gezeigt auch der linke Rand neben der vertikalen Trennlinie für die Grafik genutzt.

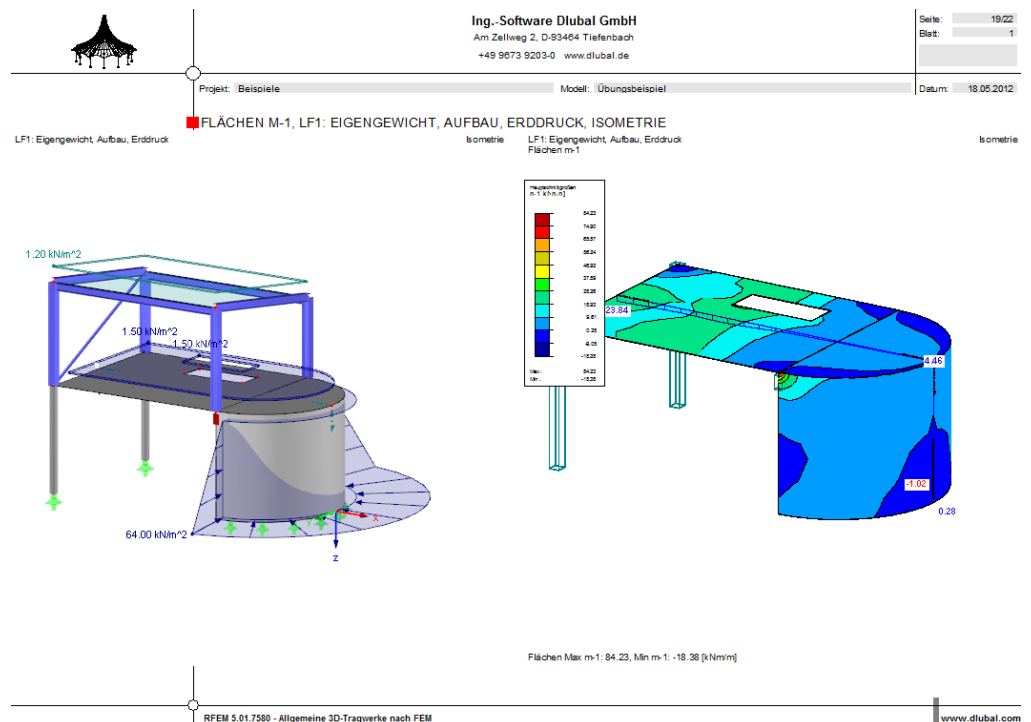


Bild 10.48 Grafikausdruck im Querformat: Ergebnis der Optionen *Mehr Fenster* und *Über gesamte Seitenbreite*

Soll nicht die ganze Seite für die Grafik genutzt werden, kann die *Höhe* des Grafikbereichs als Prozentwert der Seitenhöhe vorgegeben werden.

Der Drehwinkel im Eingabefeld *Drehung* rotiert die Grafik für den Ausdruck.

Optionen

Dieser Abschnitt ist im [Kapitel 10.1.5](#) beschrieben. Für den Ausdruck von Ergebnisverläufen steuert das Kontrollfeld *Im Ergebnisverlauf Werte an gewünschter x-Stelle ausgeben*, ob die Werte gedruckt werden, die an der Position der vertikalen Linie erscheinen (siehe [Bild 9.20](#)).

Grafik-Überschrift

Beim Aufruf des Dialogs *Grafikausdruck* ist ein Titel für die Grafik voreingestellt, der in diesem Eingabefeld geändert werden kann.

10.2.2 Optionen

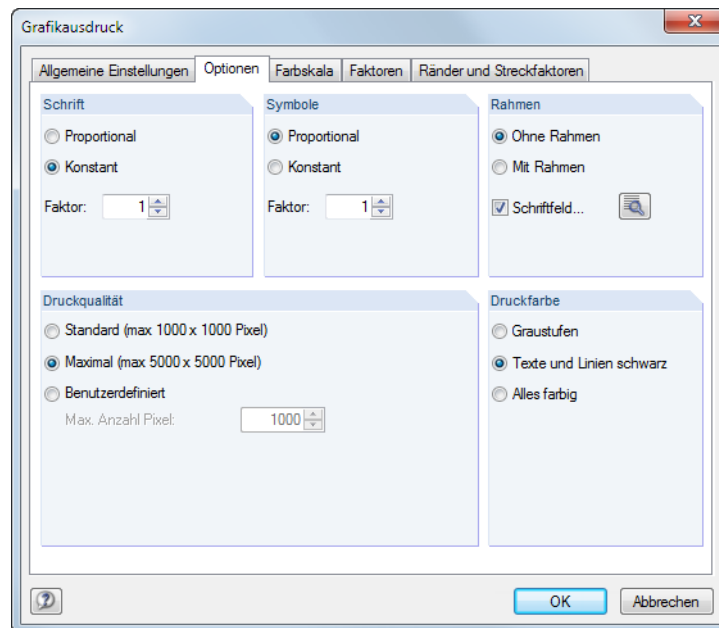


Bild 10.49 Dialog Grafikausdruck, Register Optionen


Schrift / Symbole

In diesen beiden Abschnitten brauchen die Voreinstellungen nur selten verändert werden. Für das großformatige Plotten sind die Faktoren jedoch anzupassen (siehe [Kapitel 10.2.7](#)).

Die Größe der Schrift und der Grafiksymbole (Knoten, Lager, Linien etc.) ist abhängig vom Druckertreiber. Wenn die Druckresultate nicht zufriedenstellend sind, können hier separate Skalierungsfaktoren für *Schrift* und *Symbole* definiert werden.

Rahmen

Die Grafik kann im Ausdruck mit oder ohne Rahmen dargestellt werden.

Für den Ausdruck besteht zusätzlich die Möglichkeit, ein Schriftfeld zu ergänzen. Die Schaltfläche  öffnet folgenden Dialog, in dem das Aussehen und der Inhalt des Schriftfeldes festgelegt werden können. Der untere Bereich des Dialogs zeigt die Vorschau an.

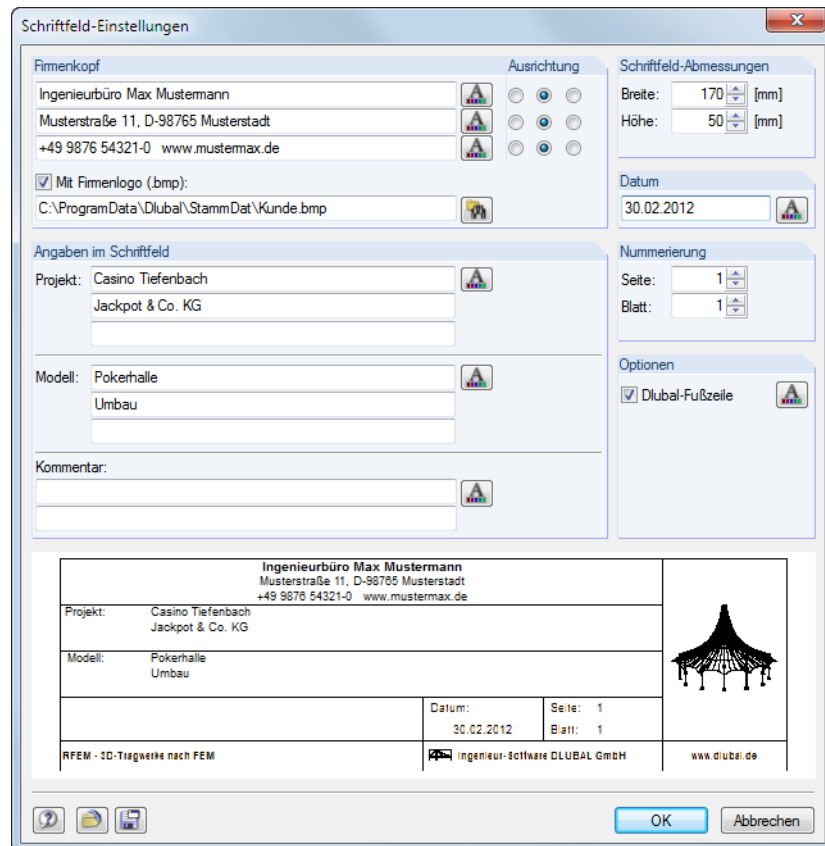


Bild 10.50 Dialog Schriftfeld-Einstellungen

Druckqualität

In diesem Dialogabschnitt (Bild 10.49) brauchen die Voreinstellungen nur selten verändert werden. Als *Standard* wird die Grafik als Bitmap in einer Größe von maximal 1000 x 1000 Pixel ausgegeben. Die *Maximal-Größe* von maximal 5000 x 5000 Pixel führt bei einer 32 Bit-Farbtiefe zu einer Datenmenge von etwa 100 MB. Dies kann bei einigen Druckertreibern Probleme bereiten. Die hohe Auflösung sollte daher mit Vorsicht benutzt werden.

Druckfarbe

Erfolgt die Druckausgabe auf einen Schwarz-Weiß-Drucker, können zur besseren Lesbarkeit *Texte und Linien schwarz* anstatt in Graustufen gedruckt werden. Dabei ist zu beachten, dass z. B. Isoflächen und Lagersymbole von dieser Einstellung nicht beeinflusst werden und somit farbig im Ausdruck erscheinen.



Die Umsetzung farbiger Ergebnisverläufe in Graustufen wird vom Druckertreiber vorgenommen. In RFEM besteht keine Einstellmöglichkeit.

10.2.3 Farbskala

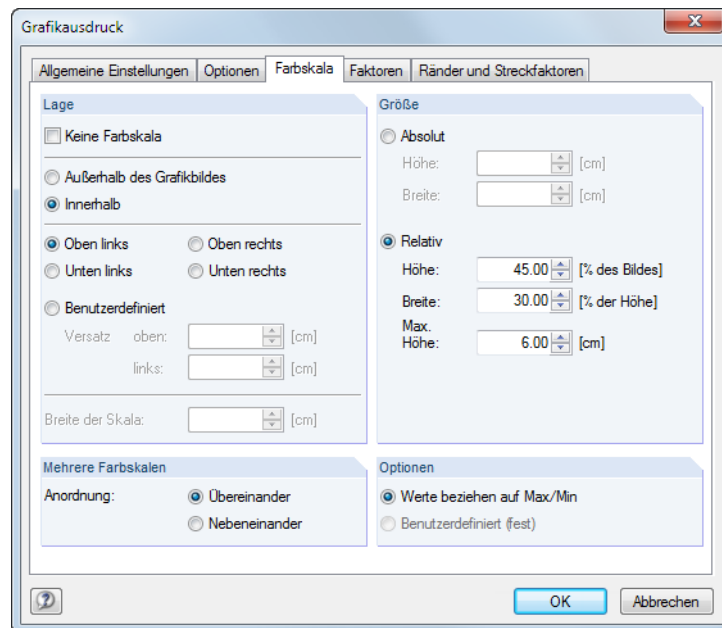



Bild 10.51 Dialog Grafikausdruck, Register Farbskala

Dieses Register wird angezeigt, wenn die Ergebnisse mehrfarbig dargestellt werden (siehe [Kapitel 9.3](#) ).

Lage

Die Farbskala des Steuerpanels wird üblicherweise mit gedruckt. Falls dies nicht gewünscht ist, ist das Kontrollfeld *Keine Farbskala* anzuhaken.


Liegt das Panel *Innerhalb* des Grafikbildes, so überlappt die Farbskala einen Teil des Bildes. Die Position des Panels kann genau festgelegt werden - entweder in einer der vier Ecken oder *Benutzerdefiniert* arrangiert.

Die Option *Außerhalb des Grafikbildes* trennt einen Streifen des Grafikfensters ab und verwendet diesen nur für die Farbskala. Ganz unten im Abschnitt kann die *Breite der Skala* angegeben werden.


Größe

Die Größe der Farbskala kann in absoluten Maßen oder relativ zur Bildgröße festgelegt werden.

Mehrere Farbskalen

Wenn im Arbeitsfenster gleichzeitig Stab- und Flächenergebnisse angezeigt werden, kann die für den Bildschirm relevante Farbskala im Steuerpanel festgelegt werden (siehe [Bild 9.50](#) ). Auf dem Papier werden in diesem Fall jedoch zwei Farbskalen dargestellt, deren Anordnung in diesem Abschnitt geregelt wird.

Optionen

Die Farben-Werte-Zuweisung im Arbeitsfenster kann benutzerdefiniert festgelegt werden (siehe [Kapitel 3.4.6](#) ).

Der Abschnitt steuert, ob die auf die Extremwerte (*Max/Min*) bezogene Standard-Farbskala oder die benutzerdefinierte Farbskala für den Ausdruck benutzt werden soll. Für Letztere ist keine dynamische Aktualisierung möglich.

10.2.4 Faktoren

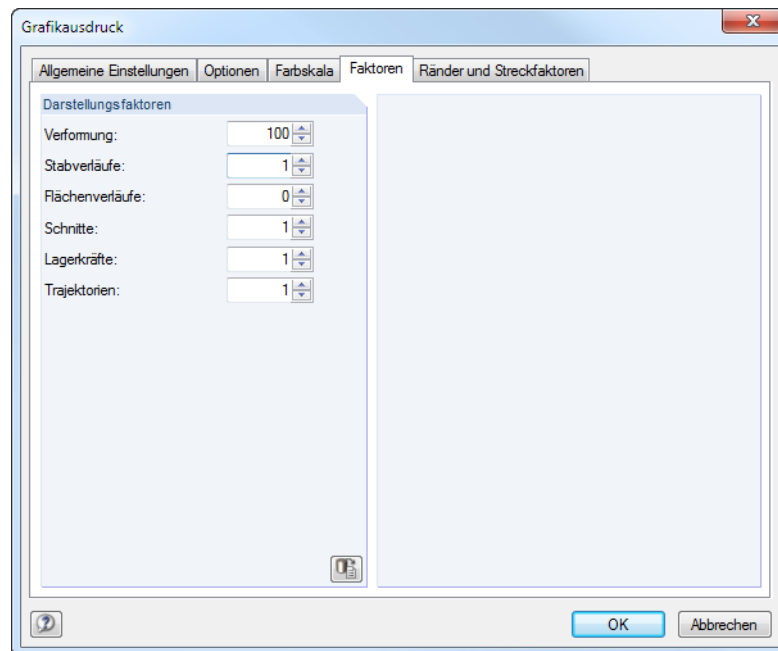


Bild 10.52 Dialog Grafikausdruck, Register Faktoren

In diesem Register können die *Darstellungsfaktoren* für die verschiedenen Ergebnisarten angepasst werden. So lassen sich die Ergebnisse im Ausdruck unabhängig vom aktuellen Arbeitsfenster skalieren. Dies ist in erster Linie bei der abschließenden Aufbereitung der Dokumentation hilfreich.

10.2.5 Ränder und Streckfaktoren

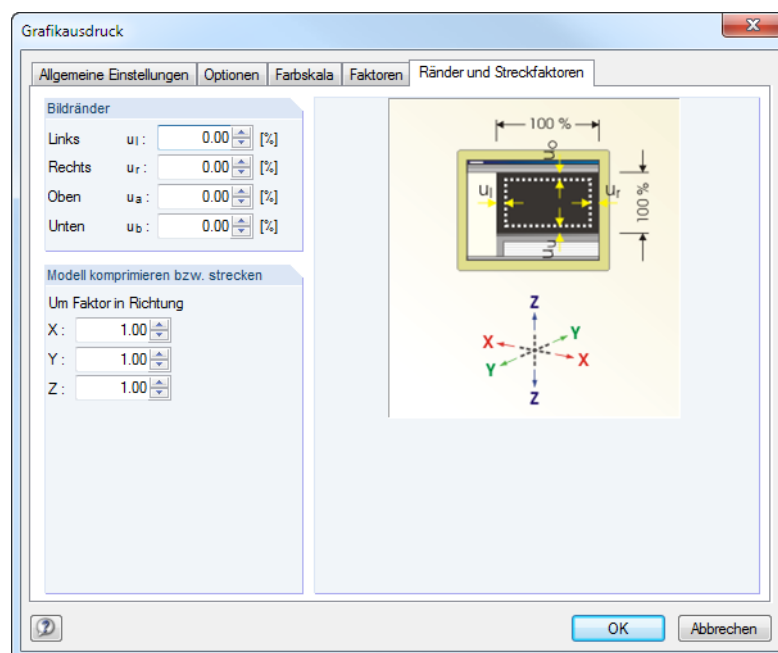


Bild 10.53 Dialog Grafikausdruck, Register Ränder und Streckfaktoren


Mit den Vorgaben dieses Registers können die *Bildränder* der gedruckten Grafik angepasst werden.



Optional lässt sich das *Modell komprimieren bzw. strecken*.

Die Funktionen sind im [Kapitel 11.3.11](#) beschrieben.

10.2.6 Seriendruck

Der *Seriendruck*-Dialog erscheint, wenn im Register *Allgemeine Einstellungen* die Schaltfläche  neben der Option **Seriendruck** angeklickt wird (siehe [Bild 10.45](#)). In den drei Registern dieses Dialogs kann festgelegt werden, welche Standardgrafiken des Modells, der Belastungen und der Ergebnisse automatisch im Ausdruckprotokoll erscheinen sollen.

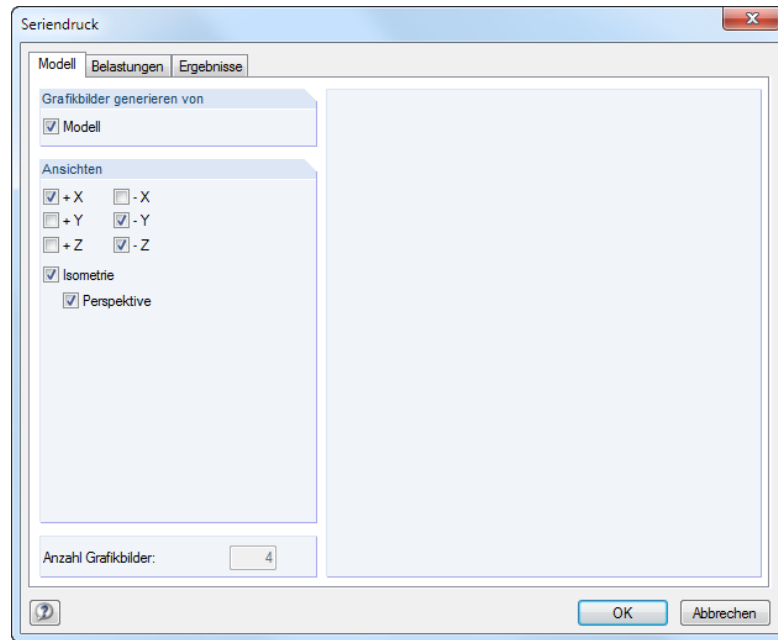


Bild 10.54 Dialog *Seriendruck*, Register *Modell*

Es stehen sieben Standardansichten zur Auswahl. Zusätzlich kann die räumliche *Perspektive* für die Modelldarstellung aktiviert werden.

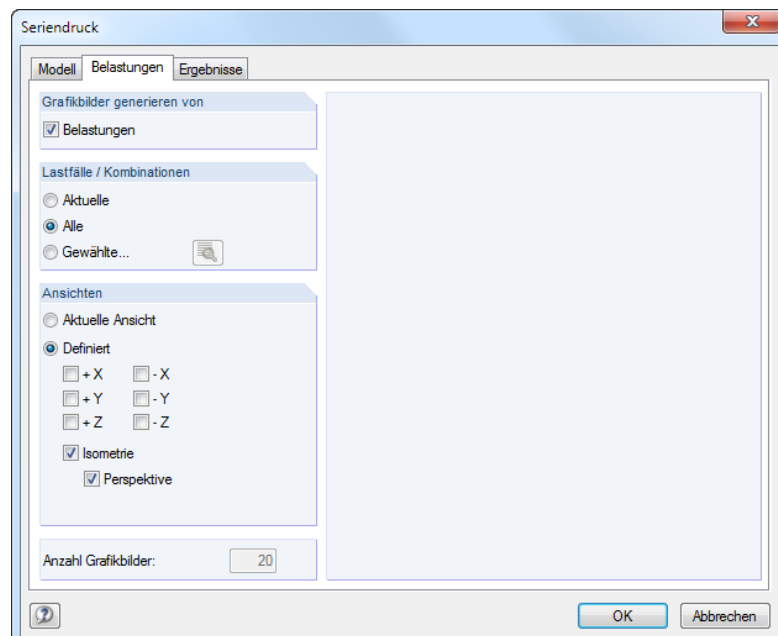



Bild 10.55 Dialog *Seriendruck*, Register *Belastungen*

In den Abschnitten *Grafikbilder generieren von* und *Lastfälle / Kombinationen* ist anzugeben, ob automatische Belastungsgrafiken erstellt werden sollen und welche Lastfälle relevant sind. Über die Schaltfläche  können *Gewählte* Lastfälle im Dialog *Lastfälle* festgelegt werden (siehe Bild 10.57 [↗](#)).

Der Abschnitt *Ansichten* regelt, welcher bzw. welche Blickwinkel für die Standardgrafiken verwendet werden sollen.

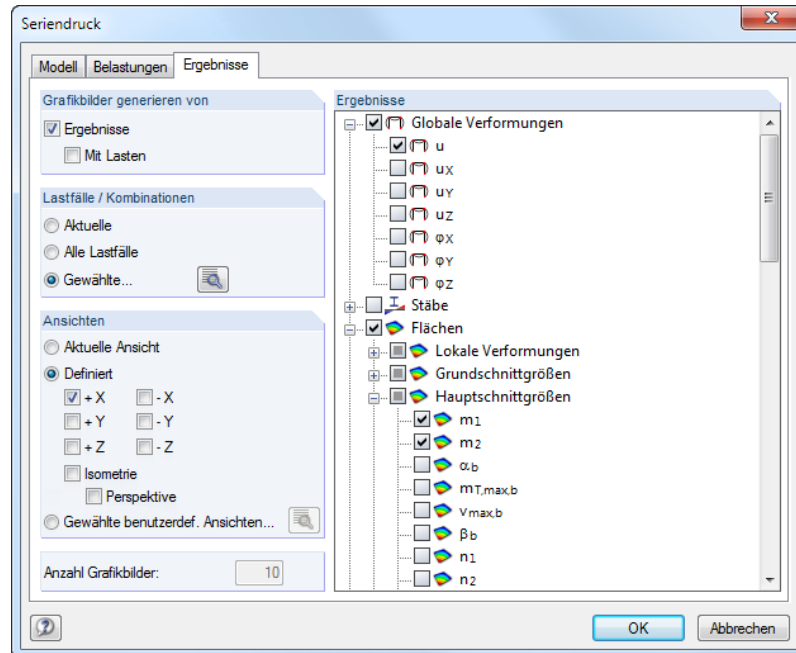



Bild 10.56 Dialog *Seriendruck*, Register *Ergebnisse*

In der Liste der *Ergebnisse* können die relevanten Verformungen und Schnittgrößen in der Baumstruktur durch Anhaken ausgewählt werden.

Die Abschnitte *Grafikbilder generieren von* und *Lastfälle / Kombinationen* steuern, ob die Grafiken mit oder ohne Lastdarstellungen erzeugt werden und welche Lastfälle für den Druck infrage kommen. Über die Schaltfläche  können *Gewählte* Lastfälle in einem separaten Dialog festgelegt werden.

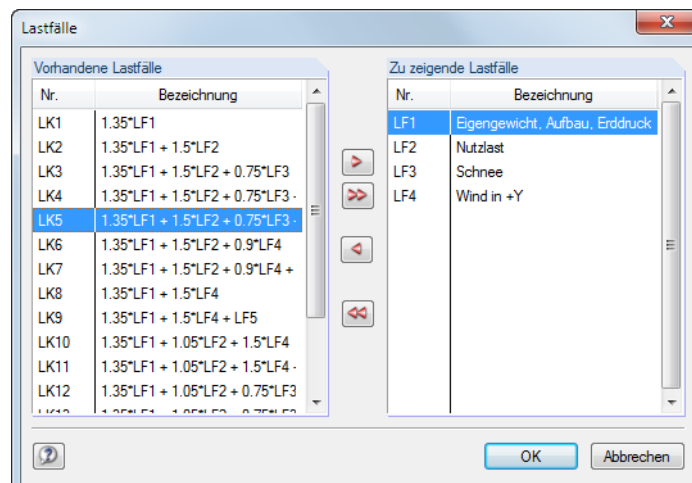


Bild 10.57 Dialog *Lastfälle*

Im Abschnitt *Ansichten* ist der Blickwinkel der Grafiken festzulegen.



Insbesondere für die *Ergebnisse* sollte die angegebene *Anzahl Grafikbilder* überprüft werden: Ein kleiner Fehler bei der Auswahl kann zu einer Vielzahl von automatischen Grafiken führen, die den Aufbau des Protokolls deutlich verzögern.

10.2.7 Hinweise zum Plotten

Es sind einige Punkte zu beachten, um auf dem Plotter optimale Ergebnisse zu erzielen.

Einstellungen im Betriebssystem

Grundsätzlich benutzt RFEM das Drucksystem von Windows. Im Gegensatz zu einigen CAD-Programmen werden keine speziellen Treiber verwendet, um den Plotter anzusteuern. Deshalb muss der Plotter zunächst als normaler Drucker unter Windows installiert werden.

Interne Tests haben gezeigt, dass die Treiber, die von Windows mitgeliefert werden, instabil und fehlerhaft sind. Daher sollten unbedingt die Originaltreiber oder die aktuellen Treiber von der Website des Plotterherstellers verwendet werden.

Beim Plotten werden sehr große Datenmengen verarbeitet. Es muss sichergestellt sein, dass auf der Systempartition des Computers genügend Platz für diese Daten ist.



Der Plotter sollte **nicht** als Standarddrucker im System eingestellt sein. Vielmehr sollte der Plotter erst direkt beim Drucken ausgewählt werden. Hintergrund: Das Ausdruckprotokoll nutzt den Standarddruckertreiber für die Druckvorschau. Mit den getesteten Plottertreibern traten Abstürze im Ausdruckprotokoll auf.

Viele Plottertreiber bieten an, die Grafik entweder im Plotter oder im Computer aufzubereiten. Die Aufbereitung im Plotter ist im Allgemeinen schneller, weil dieser über einen spezialisierten Prozessor verfügt. Zudem wird dann die Arbeit am Computer nicht beeinträchtigt. Das Problem dabei ist jedoch, dass der Plotter meist nur über einen kleinen Arbeitsspeicher verfügt. Reicht der Speicher nicht mehr aus, das Bild aufzunehmen, so gehen Teile verloren. Beim Plotten von RFEM-Grafiken äußert sich das oft in fehlender Beschriftung oder Füllung, fehlenden Linien etc. Normalerweise gibt dann der Plotter eine entsprechende Meldung aus.

Im Zweifelsfall sollten die Daten im Computer aufbereitet werden. Die Voreinstellung jedoch ist meist die Aufbereitung im Plotter. Die Druckereigenschaften sind in diesem Fall entsprechend anzupassen.

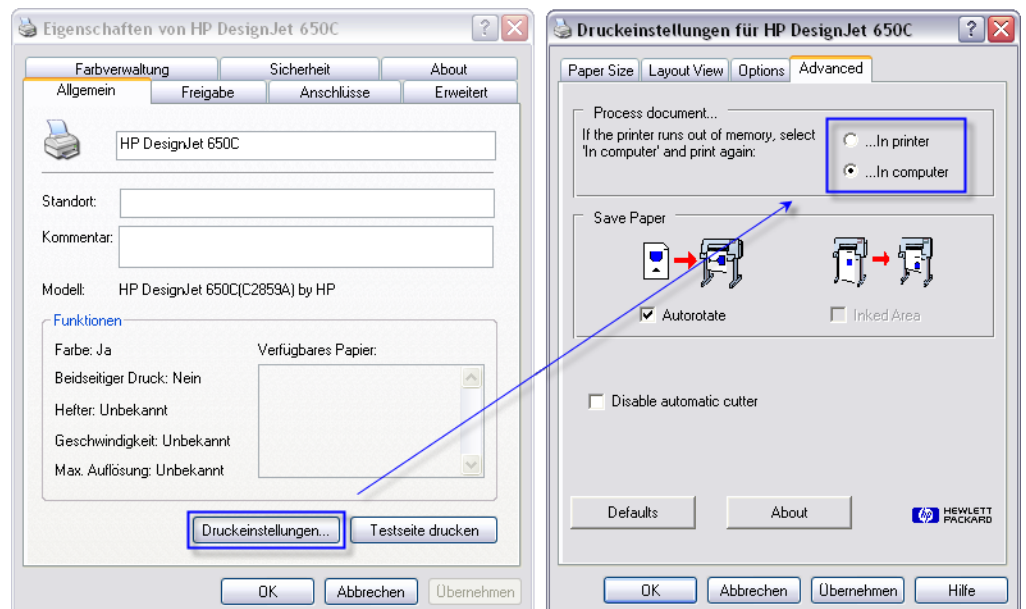


Bild 10.58 Dialog Druckeinstellungen für HP DesignJet unter Windows XP

Einstellungen in RFEM

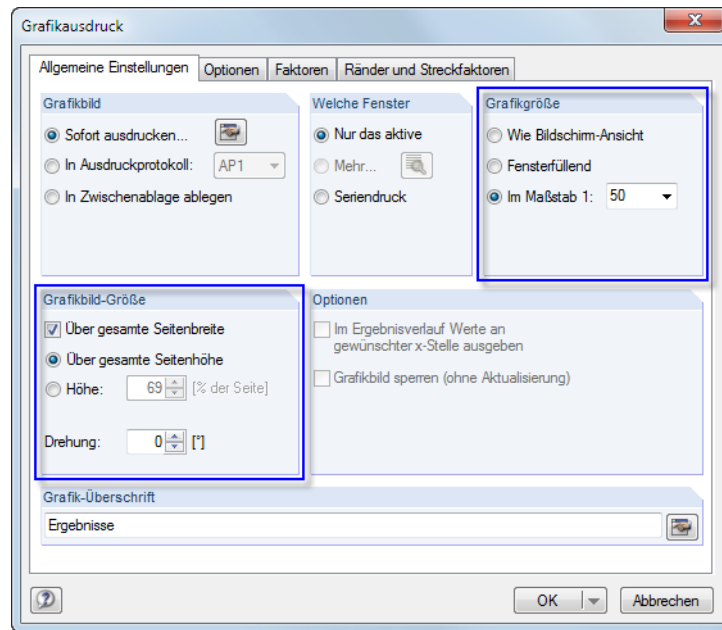


Bild 10.59 Dialog Grafikausdruck, Register Allgemeine Einstellungen

Im Dialog *Grafikausdruck*, Register *Allgemeine Einstellungen* sollte die Grafikgröße **Im Maßstab** gewählt werden, da die Ausgabe auf einem A0-Plan fast immer maßstäblich erfolgt. Der Maßstab ist dann aus der Liste zu wählen oder direkt in das Eingabefeld einzutragen.

Für die Plotausgabe soll in der Regel die gesamte Blattfläche genutzt werden. Hierzu ist im Abschnitt *Grafikbild-Größe* das Kontrollfeld **Über gesamte Seitenhöhe** zu aktivieren.

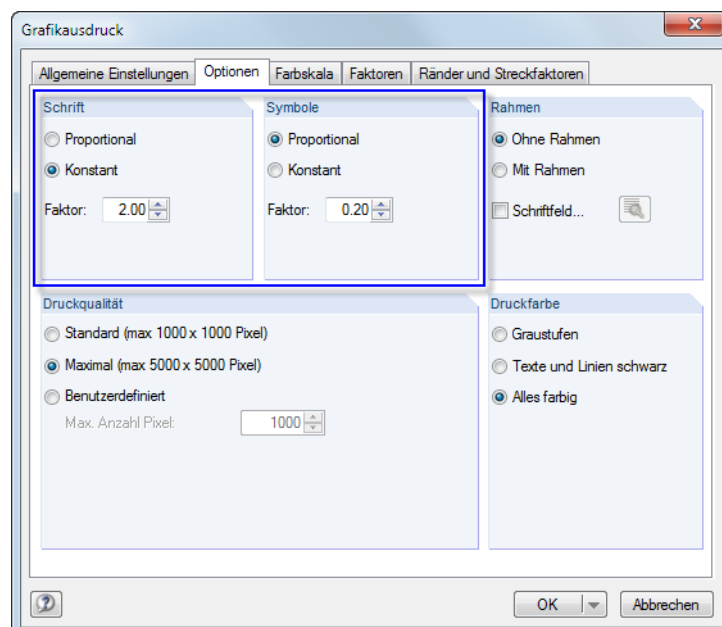


Bild 10.60 Dialog Grafikausdruck, Register Optionen

Im Register *Optionen* kann die Ausgabequalität beeinflusst werden. Es sind sicherlich einige Testplots zur Optimierung der Einstellungen nötig. Pauschale Empfehlungen können leider nicht gegeben werden, da die Wirkung der Einstellungen vom Drucktreiber abhängig ist. Die Richtwerte des obigen Bildes beziehen sich auf einen Plotter HP DesignJet 650C mit der Treiberversion 4.62 unter Windows XP.

Führt das Plotten zu einem Absturz, sollte zunächst wie oben beschrieben der aktuelle Druckertreiber installiert werden und für die Aufbereitung der Grafik *Im Computer* gewählt werden. Falls danach immer noch Abstürze beim Plotten auftreten, sollte im Abschnitt *Druckqualität* die Auflösung schrittweise reduziert werden.

Der Abschnitt *Schrift* steuert die Skalierung der Schriftgröße für Nummerierungen, Bemaßungen und Ergebniswerte. Für den A0-Plot auf einem HP DesignJet 650C wurden mit dem Faktor 2 und der Einstellung *Konstant* gute Ergebnisse erzielt.

Der Abschnitt *Symbole* wirkt sich nicht nur auf die Größe von Lagersymbolen, Knoten etc. aus, sondern auch auf die Liniestärken. Werden die Linien zu grob dargestellt, sollte der Faktor reduziert werden. Für den A0-Plot auf einem HP DesignJet 650C wurden mit dem Faktor 0,2 und der Einstellung *Proportional* gute Ergebnisse erzielt.



Die Faktoren für Symbole und Schrift beeinflussen global **alle** Schriften und Symbole. Um gezielt das Aussehen bestimmter Objekte zu beeinflussen, sind die Einstellungen im Dialog *Anzeigeeigenschaften* vorzunehmen (siehe Bild 11.3). Es empfiehlt sich, die Anpassungen für den Plotter als neue Anzeigekonfiguration für das Ausdruckprotokoll zu speichern. Nähere Informationen hierzu finden Sie im Kapitel 11.1.2.

Eigenschaften

Nach [OK] erscheint der *Drucken*-Dialog des Betriebssystems. In der Liste der Drucker ist der Plotter auszuwählen. Über [Eigenschaften] können in einem weiteren Dialog die Seitengröße und die Ausrichtung eingestellt werden.

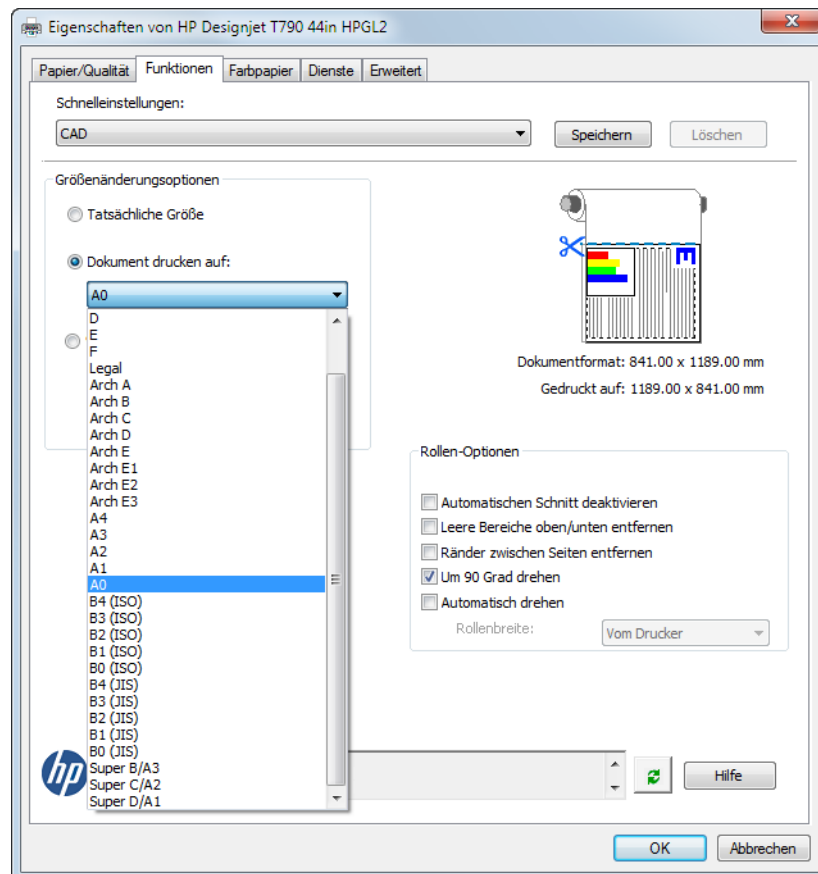


Bild 10.61 Plotter-Dialog *Eigenschaften* zur Einstellung des Seitenformats

11 Programmfunktionen



Es werden Funktionen der grafischen und tabellarischen Eingabe vorgestellt wie z. B. CAD-Tools zum Konstruieren oder Generieren von Modell- und Lastobjekten, Editiermöglichkeiten, Tabellenoperationen oder parametrisierte Eingaben.

11.1

Allgemeine Funktionen

Dieses Kapitel beschreibt Programmfunktionen, die die allgemeine Nutzung von RFEM betreffen oder die in vielen Dialogen verfügbar sind.

11.1.1 Spracheinstellungen

Es ist die Sprache voreingestellt, die bereits für die Installation gewählt wurde. Dabei wurden auch die Materialien und Querschnittsreihen in den Bibliotheken länderspezifisch arrangiert.

Die Benutzeroberfläche von RFEM wird geändert über das Menü

Optionen → Programmooptionen

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Im Register *Programm* kann eine andere *Programmsprache* in der Liste ausgewählt werden.

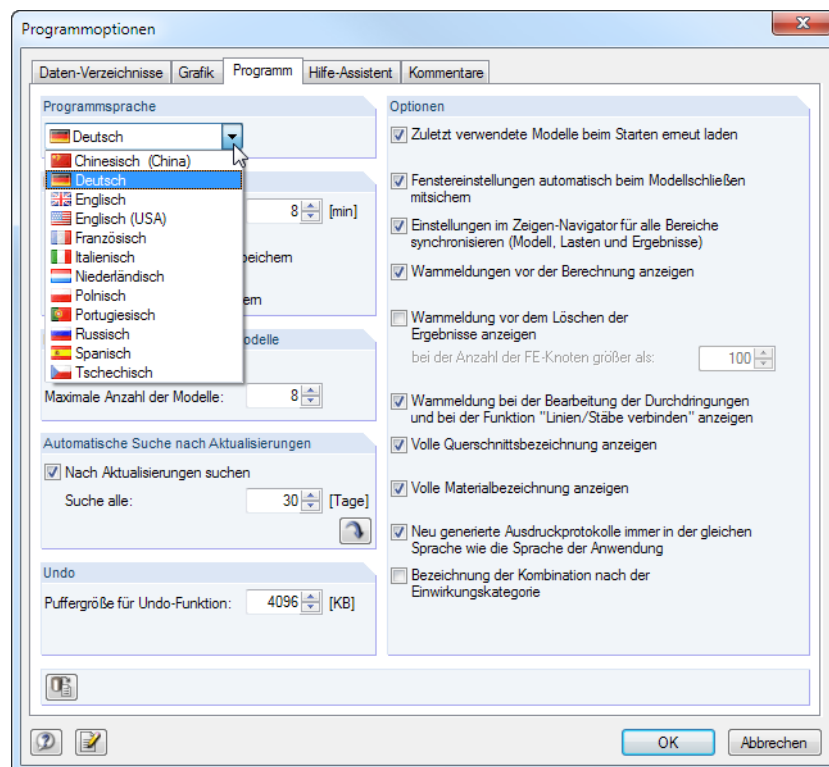


Bild 11.1 Ändern der Programmsprache im Dialog Programmooptionen

Die geänderten Spracheinstellungen werden nach einem Neustart des Programms wirksam.



Beim Ändern der Sprache sind folgende Punkte zu beachten:

- Manche Schriftzeichen werden nur dann korrekt dargestellt, wenn die Fonts im Betriebssystem vorliegen.
- Die neue Sprache wirkt sich auch auf die Anordnung der Materialien und Querschnittsreihen in den Bibliotheken aus.

11.1.2 Anzeigeeigenschaften

Die Anzeigeeigenschaften steuern, **wie** ein grafisches Objekt auf dem Bildschirm und im Ausdruck dargestellt wird. **Ob** ein Objekt dargestellt wird, kann im Zeigen-Navigator festgelegt werden (siehe Kapitel 3.4.3 [↗](#)).

Anzeige anpassen

Der Dialog zur Anpassung der grafischen Anzeige wird aufgerufen über das Menü

Optionen → Anzeigeeigenschaften → Bearbeiten

oder den Konfigurationsmanager (siehe Kapitel 3.4.10 [↗](#)).

Die Anzeigeeigenschaften eines jeden grafischen Objekts (Modell-, Last- oder Ergebnissymbol) sind auch direkt zugänglich: Klicken Sie das Objekt mit der rechten Maustaste an, um das Kontextmenü aufzurufen. Über den Eintrag *Anzeigeeigenschaften* können die Anzeigeparameter des Objekts sofort im Dialog *Anzeigeeigenschaften* (siehe Bild 11.3 [↗](#)) angepasst werden.

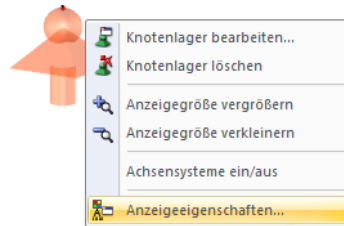


Bild 11.2 Kontextmenü eines Knotenlagers

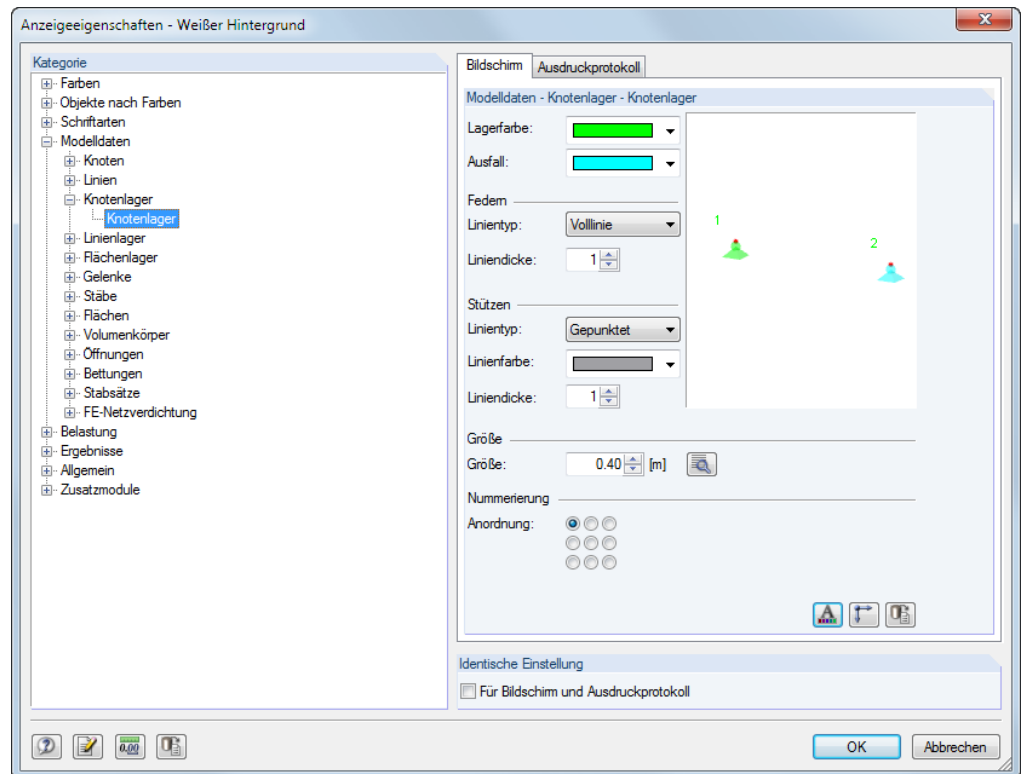


Bild 11.3 Dialog Anzeigeeigenschaften für Kategorie Knotenlager



Die Einstellungen für die Anzeige auf dem *Bildschirm* und für das *Ausdruckprotokoll* werden in zwei Registern verwaltet. Damit sind separate Anpassungen für die Monitorgrafik (z. B. Größe der Lagersymbole mit schwarzem Hintergrund) und für die Druckausgabe möglich.

Über das Kontrollfeld *Identische Einstellungen für Bildschirm und Ausdruckprotokoll* lassen sich die Anzeigeeigenschaften für Bildschirm und Ausdruckprotokoll synchronisieren: Wird hier ein Häkchen gesetzt, so werden die **anschließend** getroffenen Einstellungen auch im anderen Register (*Bildschirm* bzw. *Ausdruckprotokoll*) der aktuellen Kategorie ausgeführt. Bereits getroffene Einstellungen lassen sich mit dieser Funktion nicht nachträglich übertragen.

Der *Kategorie-Navigator* zeigt die grafischen Objekte in einem Verzeichnisbaum an. Um die Anzeigeeigenschaften eines Objekts zu ändern, ist der entsprechende Eintrag zu selektieren. Im Abschnitt rechts können dann die objektspezifischen Anzeigeparameter angepasst werden: Farbe, Linienart, Größe im Arbeitsfenster, Art und Anordnung der Nummerierung, Schriftart, Größe des Lastvektors etc.



Für einige Parameter werden zusätzlich [Details]-Schaltflächen angeboten (siehe [Bild 11.4](#)).

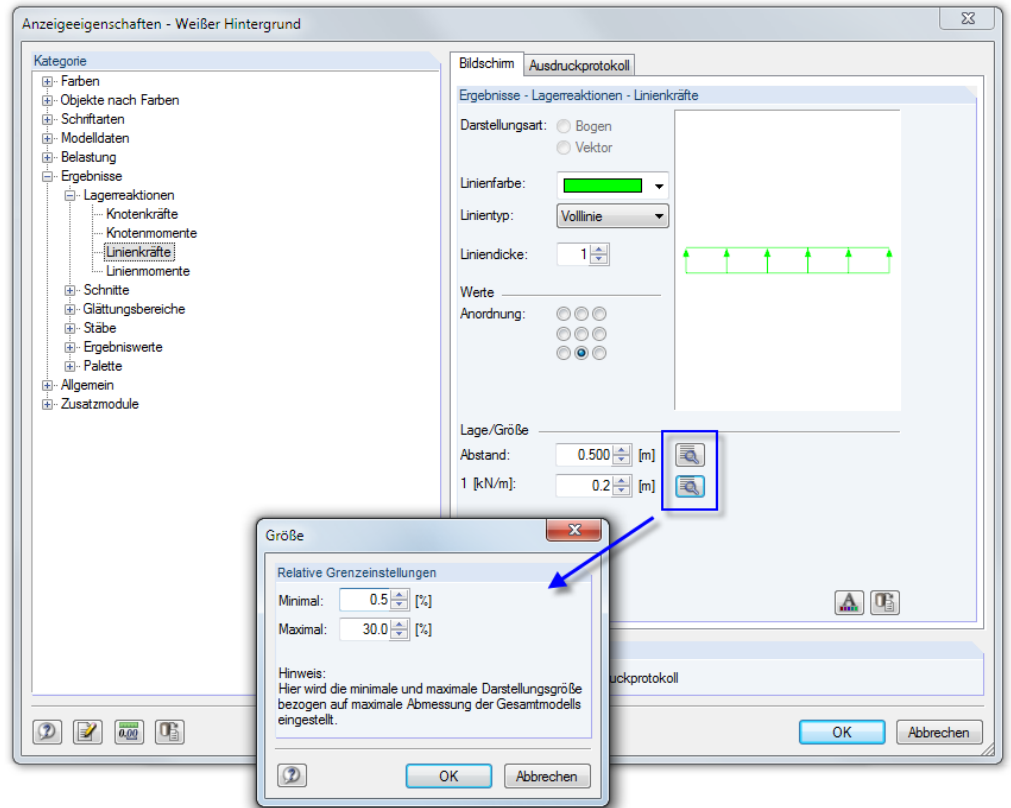


Bild 11.4 Dialog Größe für Linienkräfte

Sie öffnen einen neuen Dialog, in dem z. B. der Abstand oder die Größe des Objekts auf die Abmessungen des Gesamtmodells skaliert werden können.

Die Schaltflächen unterhalb der Parameter sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Öffnet den Dialog <i>Schriftart</i> zum Ändern der Schriftart, -größe und -farbe
	Ruft die Achsen-Anzeigeparameter des aktuellen Objekts auf
	Bewirkt die Rückkehr zu den Basisangaben des Objekts
	Öffnet den Dialog <i>Relative Positionen</i> (Bild 11.5) zur Anordnung der Beschriftung
	Stellt die Standardeinstellungen wieder her

Tabelle 11.1 Schaltflächen im Dialog *Anzeigeeigenschaften*



Bei Objekten, die für Linien und Stäbe relevant sind, lässt sich die Beschriftung oder das Symbol benutzerdefiniert anordnen. Es öffnet sich ein Dialog, in dem die Position der Information über den relativen Abstand vom Linien- bzw. Stabanfang festgelegt werden kann (siehe [Bild 11.5](#)).

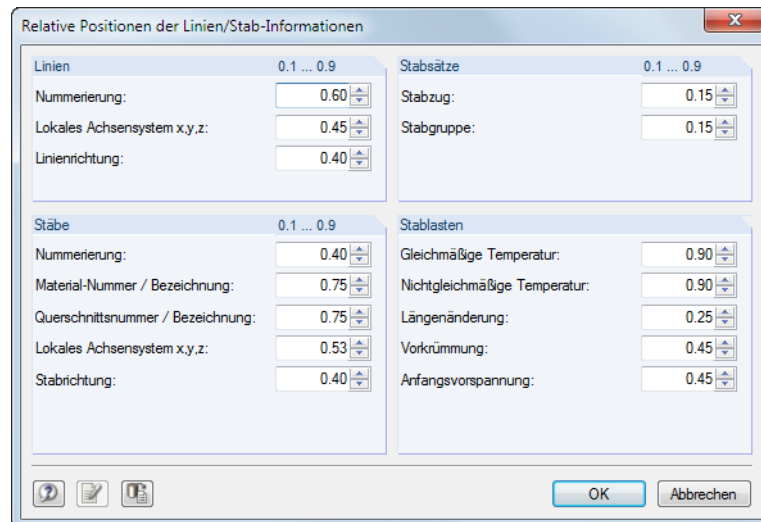


Bild 11.5 Dialog Relative Positionen der Linien-/Stabinformationen

Anzeigekonfiguration speichern

Der Dialog *Anzeigeeigenschaften* ermöglicht es, die Anzeigekonfiguration den Erfordernissen anzupassen. Damit lassen sich z. B. unterschiedliche Einstellungen für den Bildschirm mit farbigem Hintergrundverlauf und für den Plotter mit spezifischen Einstellungen erzeugen.

Im Dialog *Anzeigeeigenschaften* können die Änderungen jedoch nicht gespeichert werden: Für die Verwaltung der Anzeigekonfigurationen ist der *Konfigurationsmanager* zuständig, der im [Kapitel 3.4.10](#) beschrieben ist.

Gehen Sie daher wie folgt vor, um aus den Änderungen ein neues Anzeigeprofil zu erzeugen:

- Bestätigen Sie die Änderungen im Dialog *Anzeigeeigenschaften* mit [OK].
- Rufen Sie den *Konfigurationsmanager* auf (siehe [Kapitel 3.4.10](#)).
- Legen Sie eine Konfiguration [Neu] an.
- Tragen Sie im Dialog *Neue Konfiguration* eine Bezeichnung ein und bestätigen mit [OK].

11.1.3 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Dezimalstellen werden für RFEM und für sämtliche Zusatzmodule zentral in einem Dialog verwaltet. Die Einstellungen können beim Modellieren oder Auswerten beliebig geändert werden: Alle Zahlenwerte werden umgerechnet oder angepasst.

Einheiten und Dezimalstellen ändern

In vielen Dialogen ist der Dialog zum Ändern der Einheiten und Nachkommastellen über die links gezeigte Schaltfläche zugänglich (siehe [Bild 11.4](#) für Dialog *Anzeigeeigenschaften*).

Alternativ wird der Dialog *Einheiten und Dezimalstellen* aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → Einheiten und Dezimalstellen.

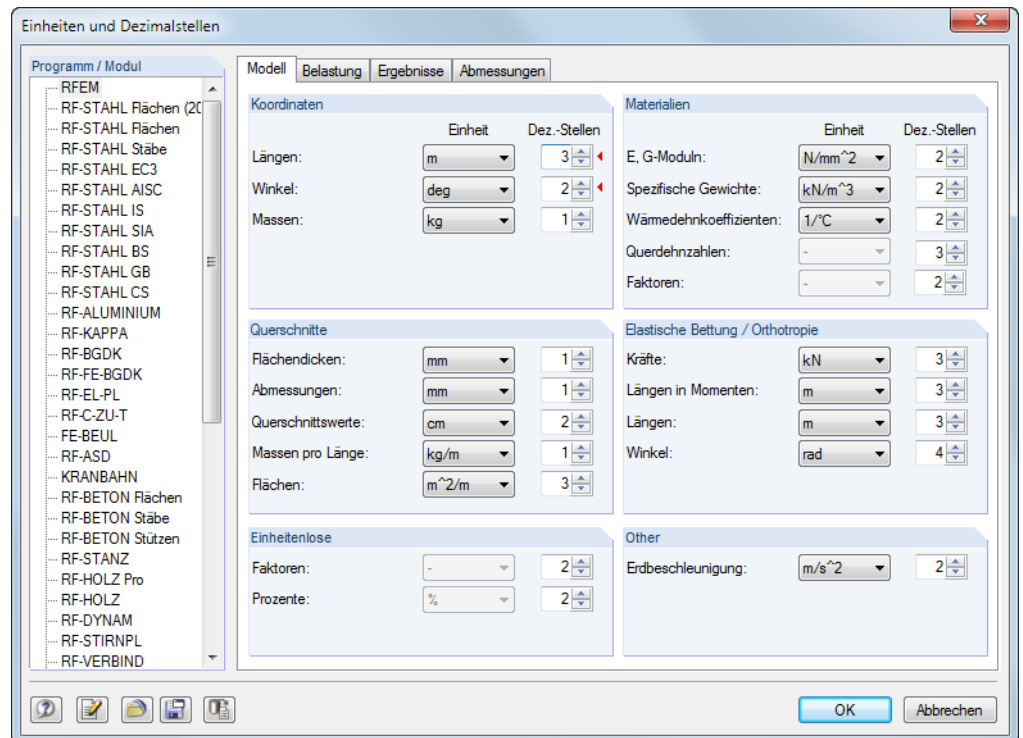


Bild 11.6 Dialog Einheiten und Dezimalstellen

Im Abschnitt *Programm / Modul* ist zunächst in der Liste das Modul zu wählen, dessen Einheiten oder Dezimalstellen angepasst werden sollen. Die rechte Seite des Dialogs verändert sich je nach Auswahl.

Für RFEM werden vier Register angeboten, sodass die Vorgaben separat für die Daten des *Modells*, der *Belastung* und *Ergebnisse* sowie der *Abmessungen* erfolgen können. Auch bei einigen Zusatzmodulen ist die rechte Seite in mehrere Register unterteilt. Die Einheiten und Nachkommastellen sind in Abschnitten gruppiert.

Wurde der Dialog aus einem anderen Dialog aufgerufen (z. B. *Neuer Stab*), so sind die relevanten Einheiten und Dezimalstellen wie im Bild oben dargestellt rechts mit einem roten Dreieck gekennzeichnet.

Einheiten als Benutzerprofil speichern und einlesen

Die Einstellungen des Dialogs *Einheiten und Dezimalstellen* können gespeichert und in anderen Modellen wieder verwendet werden. Dadurch sind z. B. spezifische Einheitenprofile für Stahl- und Stahlbetonmodelle möglich.



Die links dargestellte Schaltfläche ruft einen Dialog auf, in dem der Name des neuen Einheiten-Benutzerprofils anzugeben ist.

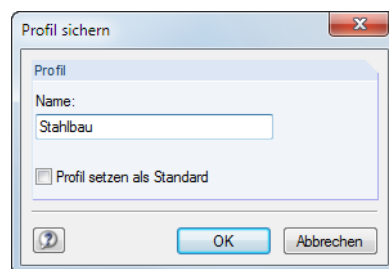


Bild 11.7 Dialog Profil sichern

Um dieses Profil als Voreinstellung für neue Modelle zu verwenden, ist das Kontrollfeld *Profil setzen als Standard* zu aktivieren.



Über die links dargestellte Schaltfläche kann ein Benutzerprofil eingelesen werden. Es öffnet sich ein Dialog, in dem verschiedene Profile zur Auswahl stehen. Als Voreinstellungen sind ein metrisches und ein imperiales (angloamerikanisches) Einheitenprofil enthalten.

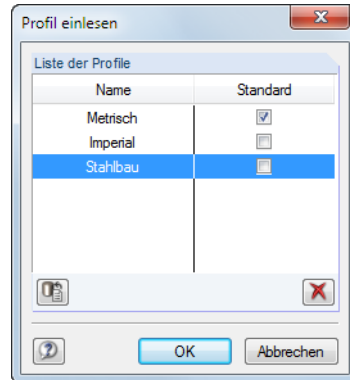


Bild 11.8 Dialog Profil einlesen

11.1.4 Kommentare

Dieses Kapitel beschreibt die Kommentarfelder in den Dialogen und Tabellen (siehe z. B. [Bild 4.12](#)). Die Kommentare, die grafisch eingefügt werden können, sind im [Kapitel 11.3.6](#) erläutert.

Kommentare verwenden



Es können beliebige Texte in die Kommentarfelder eingetragen werden. Mit der Schaltfläche [Kommentar übernehmen] lassen sich auch vorgefertigte Textbausteine nutzen. Diese werden modellübergreifend verwaltet.

Es erscheint ein Dialog mit einer Liste der gespeicherten Textbausteine.

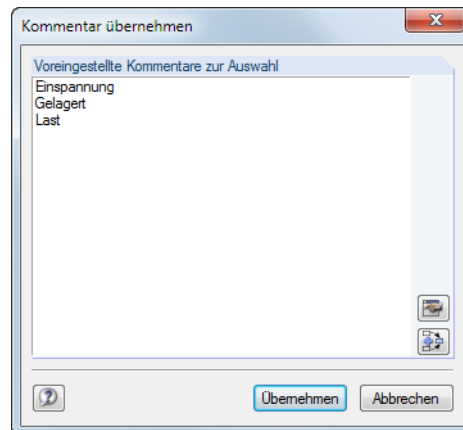


Bild 11.9 Dialog Kommentar übernehmen

Übernehmen

Die Liste *Voreingestellte Kommentare zur Auswahl* enthält alle Kommentare, die zur Kategorie passen. Die Schaltfläche [Übernehmen] fügt den markierten Kommentar in das Kommentarfeld des Dialogs ein. Ist dort bereits ein Text im Kommentarfeld vorhanden, wird er überschrieben. Der Kommentar kann dann im Kommentarfeld weiter bearbeitet werden.



Mit der links dargestellten Schaltfläche wird der markierte Kommentar zu einem bereits vorhandenen Kommentarfeld-Text hinzugefügt.

Kommentare erstellen und verwalten

Im Dialog *Kommentar übernehmen* (Bild 11.9) können über die links gezeigte Schaltfläche neue Textbausteine angelegt werden. Alternativ wird im Dialog *Programmoptionen* das Register *Kommentare* benutzt, das alle Kommentare verwaltet. Dieser Dialog ist zugänglich über das Menü

Optionen → Programmoptionen

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

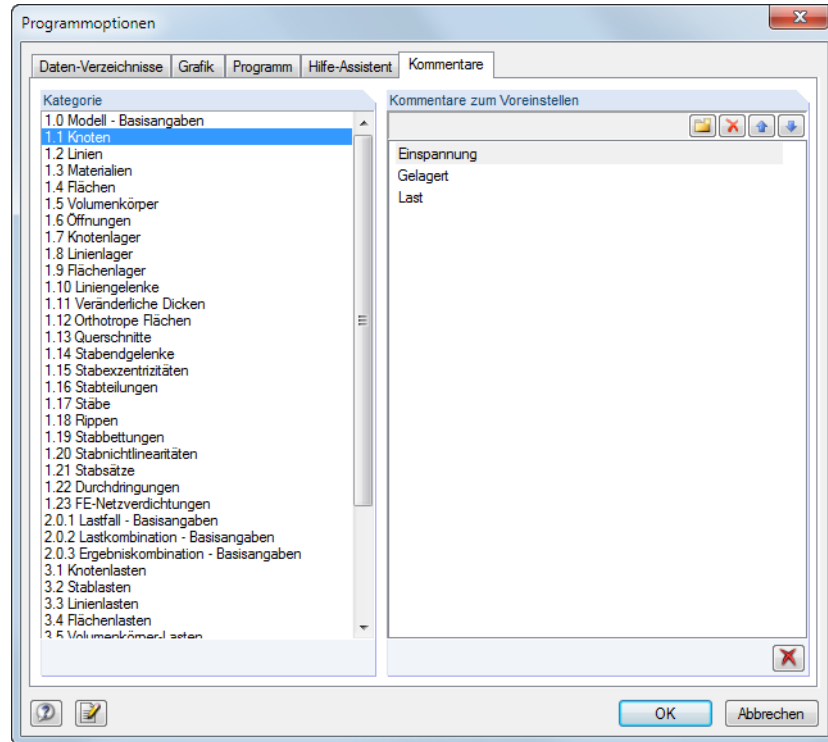


Bild 11.10 Dialog *Programmoptionen*, Register *Kommentare*

Der Abschnitt *Kategorie* steuert, welcher Gruppe (d. h. Eingabetabelle oder Eingabedialog) der Kommentartext zugeordnet werden soll.

Der Abschnitt *Kommentare zum Voreinstellen* bietet vier Schaltflächen an, die mit folgenden Funktionen belegt sind.





Schaltfläche	Beschreibung
	Innerhalb der markierten <i>Kategorie</i> wird ein neuer Kommentar erstellt. Der Text ist in der Liste einzugeben.
	Der in der Liste selektierte Kommentar wird gelöscht.
	Der selektierte Kommentar wird in der Reihenfolge nach oben verschoben.
	Der selektierte Kommentar wird nach unten verschoben.

Tabelle 11.2 Schaltflächen im Dialog *Programmoptionen*, Register *Kommentare*



Bei der speziellen Selektion (siehe Kapitel 11.2.2 [🔗](#)) kann nach benutzerdefinierten Kommentaren gefiltert werden.

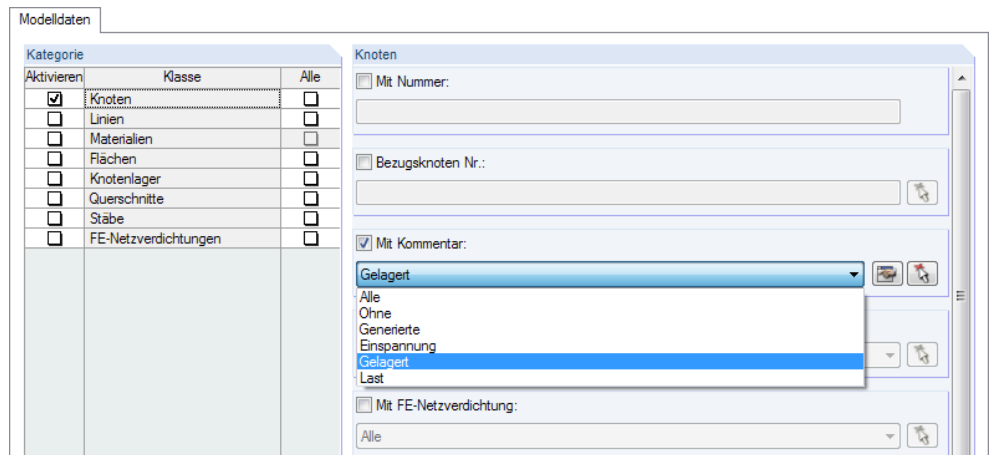


Bild 11.11 Dialog Selektieren speziell für Knoten nach Kommentar (Ausschnitt)

11.1.5 Messfunktion

Zur Überprüfung der Eingabe können Abstände und Winkel gemessen werden. Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Extras → Messen.

Folgende Messfunktionen stehen zur Auswahl:

- Abstand zwischen zwei Knoten
- Winkel zwischen drei Knoten
- Winkel zwischen zwei Stäben
- Winkel zwischen zwei Flächen
- Winkel zwischen Stab und Fläche
- Winkel zwischen zwei Linien
- Winkel zwischen Stab und Linie
- Winkel zwischen Fläche und Linie

Die maßbestimmenden Objekte sind nacheinander im Arbeitsfenster anzuklicken. Anschließend werden *Abstand* und ggf. *Verformung* der Knoten in einem Dialog angezeigt.

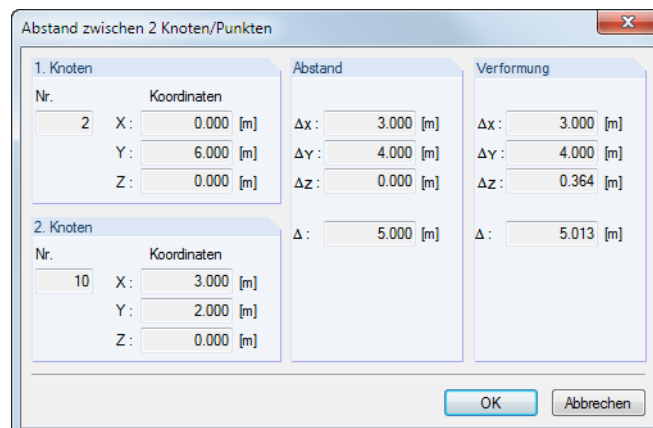


Bild 11.12 Dialog Abstand zwischen 2 Knoten/Punkten

11.1.6 Suchfunktion

Selektion über Tabelle

Um ein Objekt in der Grafik zu finden, können auch die Tabellen genutzt werden: Ein Mausklick in die gewünschte Tabellenzeile hebt das betreffende Objekt im Arbeitsfenster farbig hervor. Mit dieser Methode lassen sich bei kleineren Modellen schnell und einfach Objekte in der Grafik lokalisieren.



Die grafische Selektion über die Tabelle gelingt nur, wenn die Synchronisation der Selektion aktiv ist (siehe Kapitel 11.5.4 [☞](#)).

Suche nach Objektnummer

RFEM ermöglicht eine gezielte Suche, die vor allem bei größeren Modellen zu empfehlen ist. Die Suchfunktion wird aufgerufen über das Menü



Bearbeiten → Finden mittels Nummer.

Es erscheint folgender Dialog.

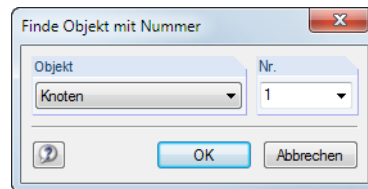
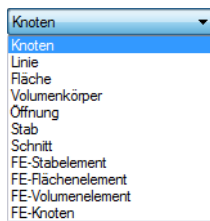


Bild 11.13 Dialog *Finde Objekt mit Nummer*

Im Dialogabschnitt *Objekt* ist in der Liste festzulegen, wonach gesucht werden soll: Knoten, Linie, Fläche, Volumenkörper, Stab oder auch FE-Element. Die *Nr.* des Objekts kann dann entweder direkt in das Eingabefeld eingetragen oder ebenfalls der Liste entnommen werden.




Nach [OK] wird das gesuchte Objekt mit einem dicken Pfeil im Arbeitsfenster gekennzeichnet. Der Pfeil bleibt auch angezeigt, wenn der Bereich um das Objekt durch Zoomen oder Drehen passend eingestellt wird. Erst ein Klick in die Arbeitsfläche blendet ihn wieder aus.

11.1.7 Standpunkt und Sichtwinkel



RFEM bietet die Standardansichten [in X], [entgegen Y], [in Z] sowie [Isometrische Ansicht] an, die über die links gezeigten Schaltflächen gewählt werden können. In der Listenschaltfläche der Symbolleiste und im *Ansichten-Navigator* stehen zusätzliche Schaltflächen für benutzerdefinierte Koordinatensysteme und Blickwinkel zur Verfügung (siehe Kapitel 9.9.1.1 [☞](#)).

Falls diese Ansichten einschließlich der Rotieroption (Schaltfläche  mit gedrückter [Strg]-Taste) nicht zu der gewünschten Darstellung führen, können die erweiterten Möglichkeiten des Dialogs *Standpunkt bearbeiten* genutzt werden.

Der Dialog wird aufgerufen über das Menü

Ansicht → Standpunkt.

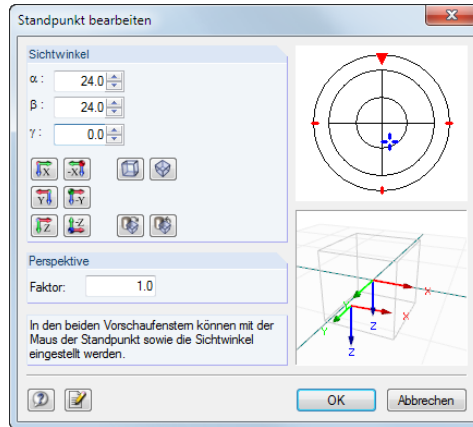


Bild 11.14 Dialog Standpunkt bearbeiten

Durch Klicken und Ziehen mit der Maus in den beiden Vorschau Fenstern lassen sich Standpunkt und Sichtwinkel einstellen. Zudem kann der Faktor der Perspektive angepasst werden.

11.1.8 Schwerpunktermittlung

Der Gesamtschwerpunkt des Modells wird nach der Generierung des FE-Netzes angezeigt, wenn die entsprechende Option im Zeigen-Navigator unter dem Eintrag Allgemein angehakt ist. Farbe und Größe lassen sich im Dialog Anzeigeeigenschaften, Kategorie **Farben** → **Sonstiges** → **Schwerpunkt** anpassen (siehe Kapitel 11.1.2).

Es ist auch möglich, den Schwerpunkt von bestimmten Objekten zu ermitteln: Wählen Sie die relevanten Stäbe, Flächen und Volumenkörper z. B. über eine Mehrfachselektion oder durch Aufziehen eines Selektionsfensters aus (siehe Kapitel 11.2). Mit einem Klick der rechten Maustaste auf eines dieser Objekte aktivieren Sie das links dargestellte Kontextmenü. Der Eintrag **Schwerpunkt und Infos** ruft einen Dialog mit Informationen zu den selektierten Objekten auf.

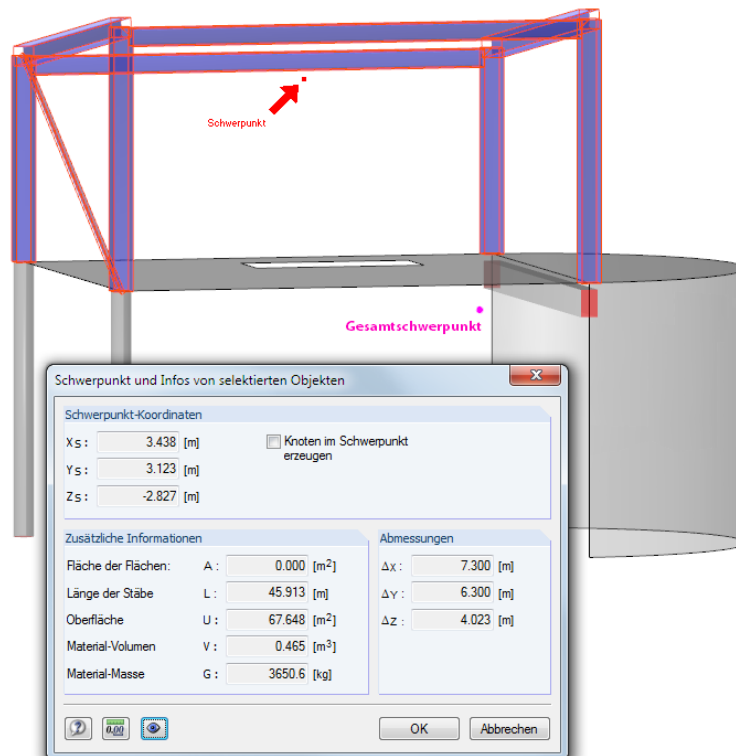
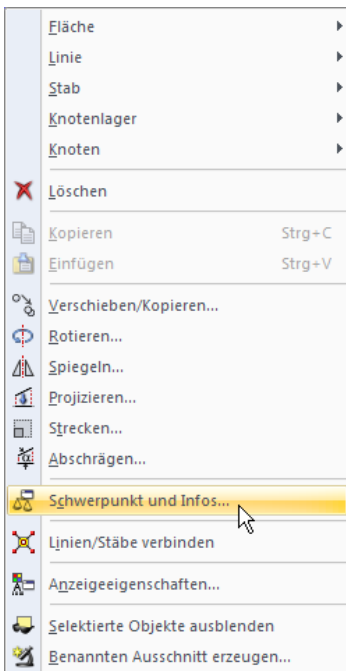


Bild 11.15 Dialog Schwerpunkt und Infos von selektierten Objekten

Der Dialog gibt die *Schwerpunkt-Koordinaten* an, die sich auf den Ursprung des globalen XYZ-Achsenystems beziehen. Im Arbeitsfenster wird der Schwerpunkt mit einem Pfeil gekennzeichnet. Optional lässt sich an dieser Stelle ein *Knoten im Schwerpunkt* erzeugen.

Neben den globalen *Abmessungen* der selektierten Objekte werden folgende *Zusätzliche Informationen* angezeigt:

- Flächeninhalt aller Flächen
- Länge aller Stäbe
- Oberfläche der sichtbaren Flächen aller Objekte
- Nettovolumen
- Gesamtmasse

11.1.9 Rendering

Die Darstellung des Modells im Arbeitsfenster kann benutzerdefiniert gesteuert werden. Über die links dargestellte Listenschaltfläche ist ein schneller Wechsel zwischen den Anzeigarten *Drahtmodell*, *Vollmodell* und *Transparentes Modell* möglich.

Die Detailsinstellungen für die einzelnen Objekte können im Zeigen-Navigator unter dem Eintrag **Rendering** vorgenommen werden.

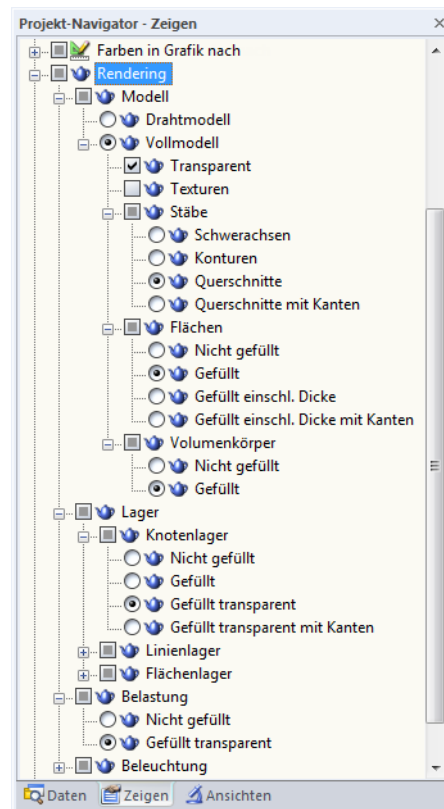


Bild 11.16 Zeigen-Navigator mit Optionen für *Rendering* von Modell- und Belastungsobjekten

Die *Vollmodell*-Darstellung lässt sich individuell für Stäbe, Flächen und Volumenkörper anpassen. Ebenso bestehen Steuerungsmöglichkeiten für die Anzeige der Lager und der Belastung.

Texturen

Sind die *Texturen* aktiviert, so werden die Oberflächenbeschaffenheiten im gerenderten Modell angezeigt. Die Detailvorgaben für die Texturen sind zugänglich über das Menü

Optionen → **Anzeigeeigenschaften** → **Bearbeiten**.

Stellen Sie im Dialog *Anzeigeeigenschaften* die Kategorie **Objekte nach Farben** → **Materialien** ein. Rechts sind dann die Materialien mit den zugeordneten Farben und Texturen aufgelistet. Ein Doppelklick in das Feld einer Zeile öffnet den Dialog *Materialfarbe und Textur bearbeiten*.

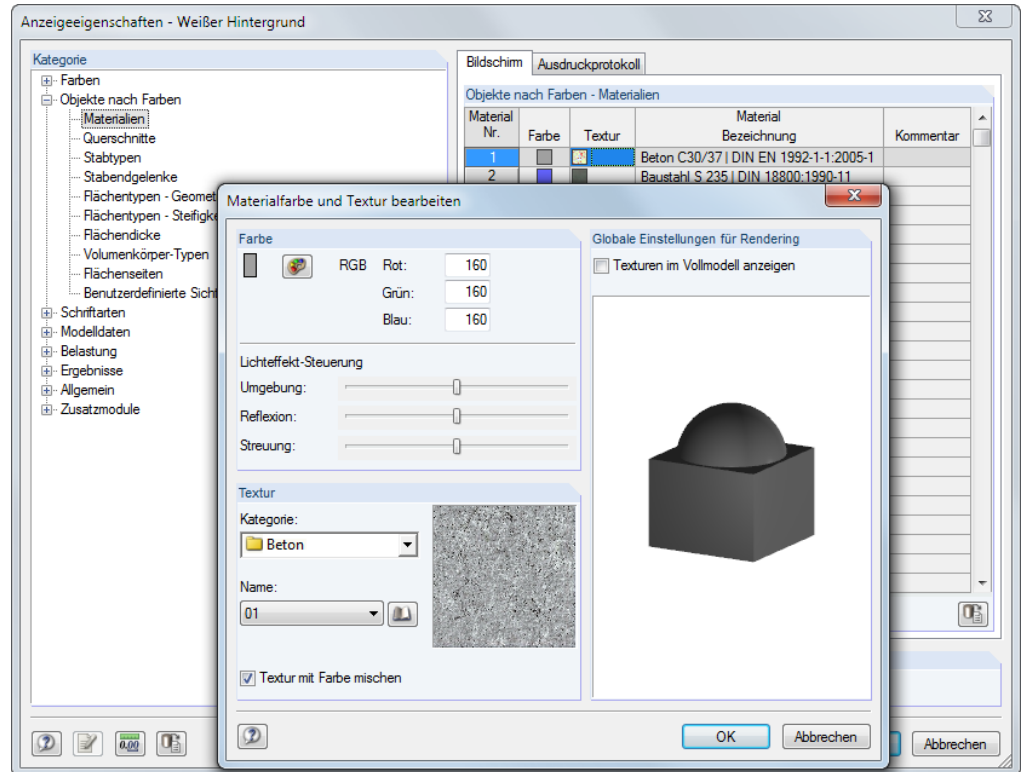


Bild 11.17 Dialog *Materialfarbe und Textur bearbeiten*



In diesem Dialog können *Farbe* und *Textur* des gewählten Materials angepasst werden. Hierfür stehen eine [Farbpalette] sowie eine umfangreiche [Bibliothek] an Texturen zur Verfügung.

Farbsteuerung

Der Eintrag **Farben in Grafik nach** im *Zeigen-Navigator* enthält mehrere Auswahlfelder. Das aktive Feld steuert die Farbzumordnung für die Objekte im Rendering. Standardmäßig werden die Materialfarben verwendet, die für die einzelnen Werkstoffe definiert wurden (siehe [Kapitel 4.3](#)). Mit den übrigen Möglichkeiten lassen sich auch Profile, Stab-, Flächen- und Volumentypen etc. anhand der zugewiesenen Farben grafisch überprüfen.

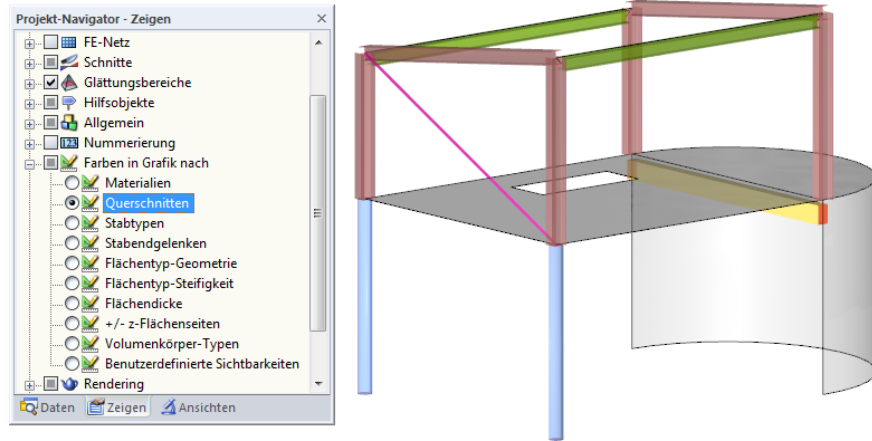


Bild 11.18 Option Farben in Grafik nach Querschnitten zur Kontrolle der Profiltypen

Mit der Option *+/- z-Flächenseiten* kann die Lage der Flächenseiten kontrolliert werden. Sie ist für die Definition von Bettungen mit Ausfall oder auch für die Bewehrungsanordnung wichtig. Die Oberseite einer Fläche wird in roter, die Unterseite in blauer Farbe dargestellt (Standard).

11.1.10 Beleuchtung

Die Helligkeit und die Lichteffekte des gerenderten Modells lassen sich individuell anpassen. Die Ausleuchtung wird im Zeigen-Navigator verwaltet unter dem Eintrag

Rendering → Beleuchtung.

Für die Beleuchtung stehen sechs Lichtquellen zur Auswahl: Leuchte 1 bis Leuchte 4 beleuchten das Modell von der Seite, Leuchte 5 und Leuchte 6 von unten oder oben. Jede *Leuchte* kann einzeln an- oder abgeschaltet werden.

Über den Eintrag *Leuchtenpositionen anzeigen* können die Lichtquellen eingeblendet werden. Aktive Leuchten werden dabei golden, inaktive Leuchten grau dargestellt.

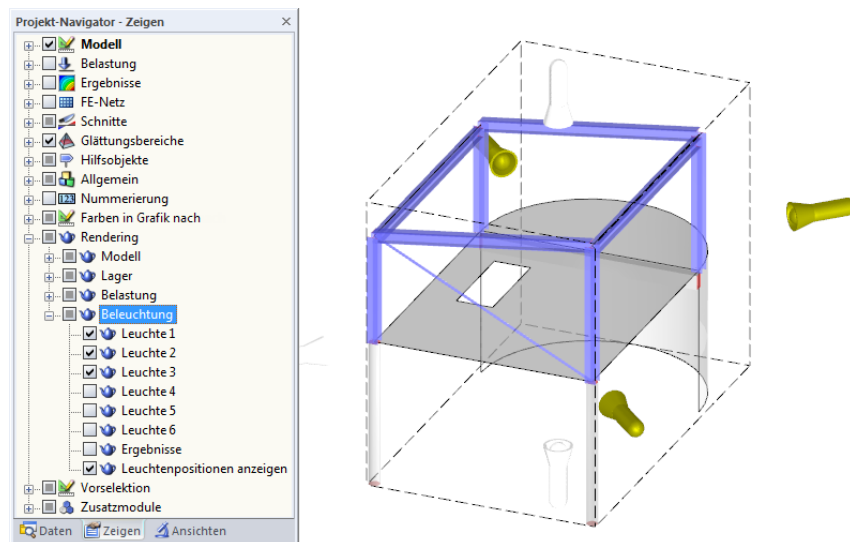


Bild 11.19 Anzeige der Leuchtenpositionen über den Zeigen-Navigator

Optional können die Lichteffekte auch für die *Ergebnisse* angewandt werden. Das Kontrollfeld ist inaktiv voreingestellt, da sich die Beleuchtung oft ungünstig auf die Sichtbarkeit von Flächen- und Volumenergebnissen auswirkt.

11.2

Selektion

Mit den Selektionsfunktionen können Objekte festgelegt werden, um sie nachfolgend zu bearbeiten. Als Objekte dienen Knoten, Linien, Flächen, Volumenkörper, Stäbe, Lager, FE-Netzverdichtungen etc. Es lassen sich aber auch Lasten und Hilfsobjekte (Maßlinien, Kommentare) grafisch selektieren.



Um ein Objekt im Arbeitsfenster zu selektieren (oder zu suchen), können auch die Tabellen genutzt werden: Ein Mausklick in die entsprechende Tabellenzeile hebt das betreffende Objekt in der Grafik farbig hervor. Diese Art der Selektion gelingt jedoch nur, wenn die Synchronisation der Selektion aktiv ist (siehe [Kapitel 11.5.4](#)).

Auch über den *Daten-Navigator* lassen sich Objekte selektieren: Klicken Sie den Eintrag mit der rechten Maustaste an und wählen dann im Kontextmenü die Option *Selektieren*.

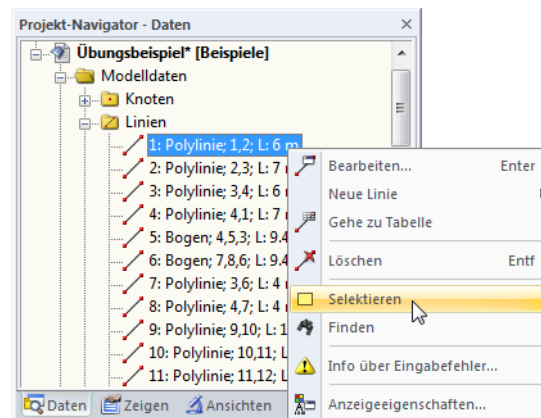


Bild 11.20 Kontextmenü im Daten-Navigator

11.2.1 Objekte grafisch selektieren

Selektieren mit Maus

Jedes Objekt kann im Arbeitsfenster durch ein einfaches Anklicken mit der Maus selektiert werden. Grafisch wird es dann in einer anderen Farbe hervorgehoben. Es bleibt immer nur das zuletzt angeklickte Objekt markiert, falls die Standardeinstellung *Neue Selektion* nicht verändert wird.

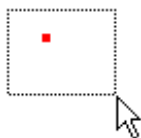


Um mehrere Objekte durch Anklicken zu selektieren, muss die [Strg]-Taste beim Klicken gedrückt werden. Durch das Umschalten auf *Hinzufügen zu Selektion* in der Symbolleiste oder im Menü **Bearbeiten** → **Selektieren** können Objekte auch einzeln angeklickt werden, um sie nacheinander zu selektieren.

Die so genannte **Vorselektion** ermöglicht es, die gewünschten Objekte vor dem Anklicken zu lokalisieren. Falls sich bei komplexen Systemen die Auswahl als schwierig erweist, können im *Zeigen-Navigator* in der Kategorie *Vorselektion* nicht benötigte Modellobjekte von der grafischen Vorauswahl ausgeschlossen werden.

Selektieren mit Fenster

Mit der Fenster-Selektion lassen sich viele Objekte in einem einzigen Schritt markieren: Ziehen Sie einfach mit der gedrückten linken Maustaste ein Fenster über den relevanten Objekten auf. Wird das Fenster von links nach rechts aufgezogen, werden alle Objekte selektiert, die vollständig in diesem Bereich liegen. Beim Aufziehen des Fensters von rechts nach links werden auch alle Objekte selektiert, die sich nur teilweise in diesem Bereich befinden.



Linien oder Knoten, die in Flächen liegen, lassen sich selektieren, ohne die Flächen ungewollt zu verschieben: Halten Sie die [Alt]-Taste gedrückt, während Sie das Fenster innerhalb der Fläche über den Objekten aufziehen.

Selektieren mit Rhomboid

In der isometrischen Ansicht ist das Selektieren mit einem rechteckigen Fenster manchmal schwierig. Hier bietet sich die Funktion *Selektion mittels Rhomboid* an, die mit dem Menü

Bearbeiten → Selektieren → Rhomboid

oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste aufgerufen wird.

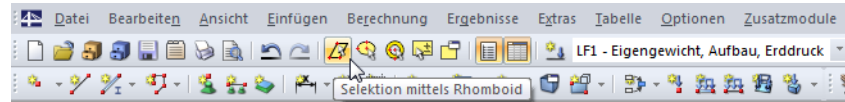


Bild 11.21 Schaltfläche *Selektion mittels Rhomboid*

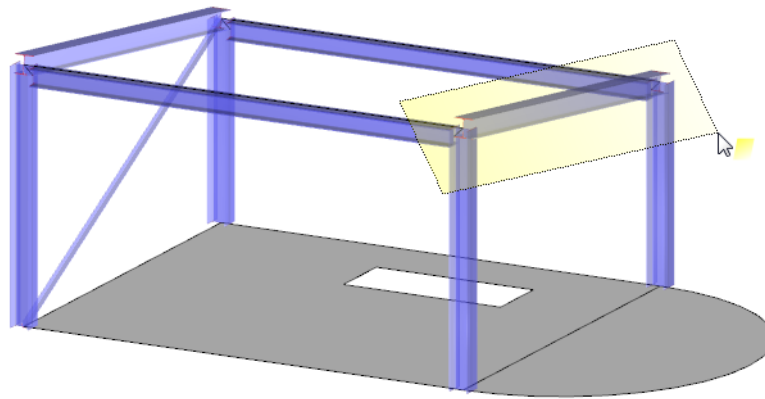


Bild 11.22 Selektieren mit Rhomboid

Selektieren mit Ellipse /Kreisring

Die Selektionsmöglichkeit über eine Ellipse bzw. einen Kreisring stellen Alternativen zur Rhomboid-Selektion dar, die z. B. bei kreisförmigen Flächen genutzt werden kann. Diese Funktionen werden aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → Selektieren → Ellipse bzw. Kreisring

oder die entsprechenden Schaltflächen in der Symbolleiste.

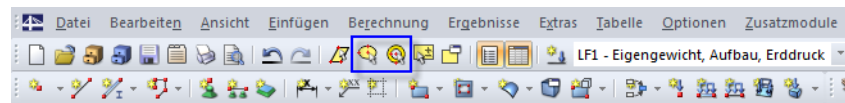


Bild 11.23 Schaltflächen *Selektion mittels Ellipse bzw. Kreisring*

Der ellipsen- bzw. ringförmige Selektionsbereich kann durch Anklicken des Mittelpunkts und der beiden Radien festgelegt werden.

Selektieren mit Schnittlinie



Objekte lassen sich anhand einer Linie selektieren, die als beliebiger Schnitt durch das Modell gelegt werden kann. Diese Funktion wird aufgerufen mit dem Menü

Bearbeiten → Selektieren → Schnittlinie.

Die Schnittlinie kann nicht nur als einfache Linie, sondern auch als Polygonzug im Arbeitsfenster definiert werden. Hierzu sind die relevanten Punkte nacheinander per Mausklick festzulegen. Diese Punkte sind unabhängig von der Arbeitsebene: Es werden alle Objekte in die Selektion aufgenommen, die in der aktuellen Ansicht von der Schnittlinie erfasst werden.

Nach dem Setzen des Schnittlinien-Endpunkts ist dieser Punkt nochmals anzuklicken (Alternative: letzten Punkt doppelklicken). Achten Sie darauf, diesen Punkt in einem leeren Bereich des Arbeitsfensters zu platzieren.

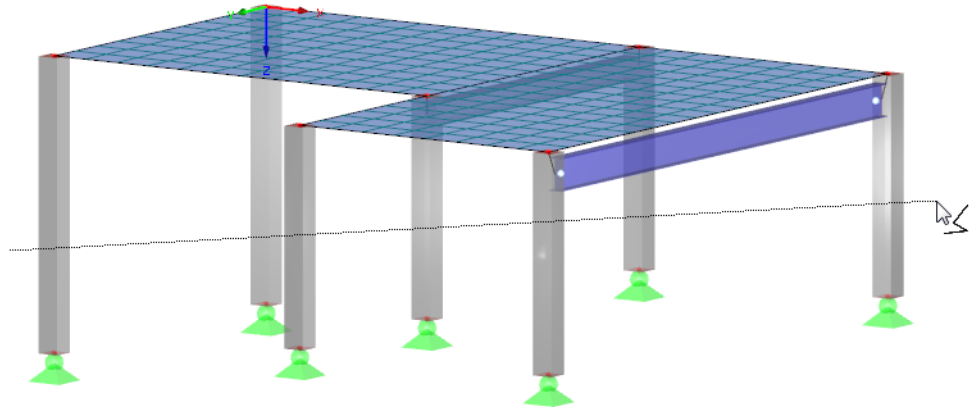


Bild 11.24 Selektieren aller Stützen mit einer Schnittlinie

Selektieren in Ebene



Objekte, die in einer Ebene liegen (z. B. Dachflächen), können auf einfache Weise über die Funktion *Selektion in Ebene* markiert werden. Sie wird aufgerufen mit dem Menü

Bearbeiten → **Selektieren** → **In Ebene**.

Es erscheint ein Dialog mit detaillierten Vorgaben zur Selektion der Objekte und der Ebene.

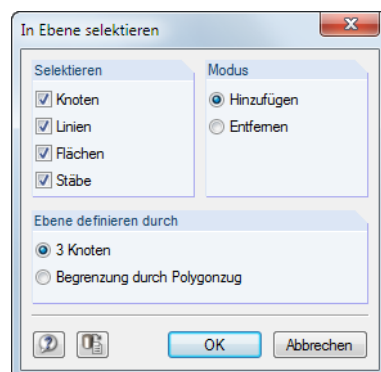


Bild 11.25 Dialog *In Ebene selektieren*

Nach [OK] kann die Selektionsebene grafisch festgelegt werden: Klicken Sie 3 Knoten an oder setzen Sie einen *Polygonzug* frei bzw. über Knoten in der Arbeitsebene.

Selektieren freier Knoten



Knoten, die nicht zur Definition von Linien oder Flächen verwendet werden, können selektiert werden über das Menü

Bearbeiten → **Selektieren** → **Freie Knoten**.

Die selektierten freien Knoten lassen sich am einfachsten mit der [Entf]-Taste löschen.



Selektieren zusammengehöriger Objekte

Wird z. B. eine Fläche durch Anklicken selektiert, sind die zugehörigen Knoten und Linien nicht in der Selektion enthalten. Die Komponenten von Objekten können selektiert werden über das Menü

Bearbeiten → **Selektieren** → **Zusammengehörige Objekte**.

Damit lassen sich schnell z. B. die Lager von Stäben oder Flächen in die Selektion integrieren und als zusammengehörige Objekte in einer *Sichtbarkeit* ablegen (siehe [Kapitel 9.9.1.2](#)).

11.2.2 Objekte nach Kriterien selektieren

Diese Funktion gestattet es, Objekte mit bestimmten Eigenschaften zu selektieren. Ferner können Objekte zu einer vorhandenen Selektion hinzugefügt oder aus einer Selektion entfernt werden.

Der Dialog zur speziellen Selektion wird aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → **Selektieren** → **Speziell**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

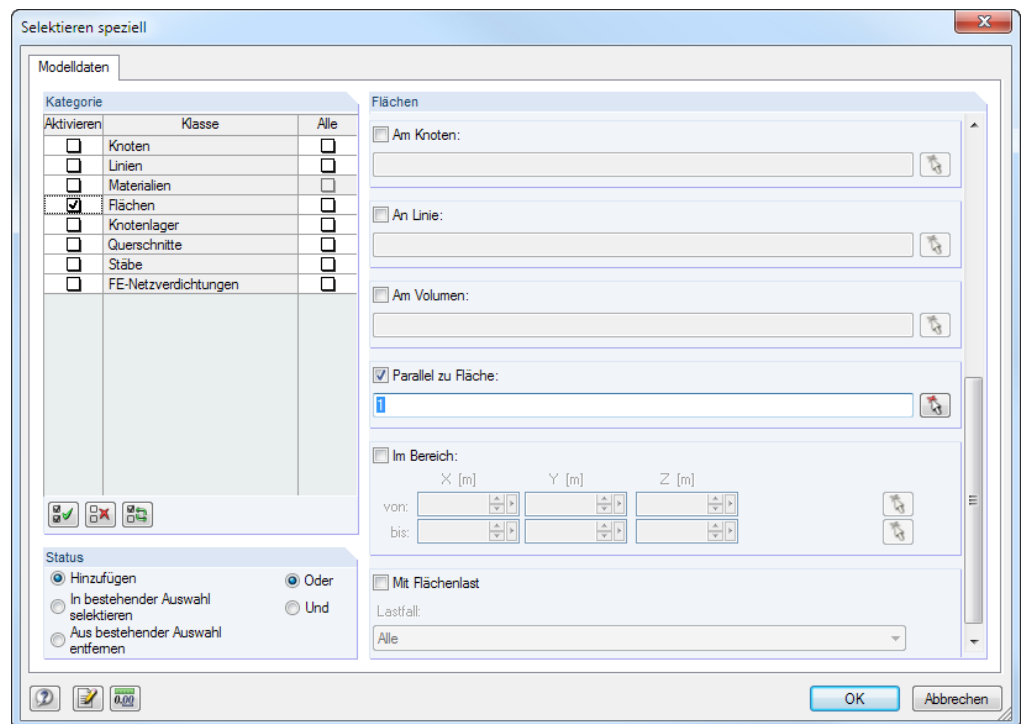


Bild 11.26 Dialog Selektieren speziell

Die linke Spalte *Kategorie* listet die im Modell definierten Objekte auf. Der rechte Teil des Dialogs ist abhängig vom gewählten Objekt. In diesem scrollbaren Abschnitt kann ein Selektionskriterium festgelegt und mit Detailangaben ergänzt werden.

Beispiel

Mit der im Bild 11.26 gezeigten Vorgabe werden alle Flächen selektiert, die Parallel zu Fläche 1 (Bodenplatte) sind. Die Musterfläche kann mit  auch grafisch bestimmt werden.

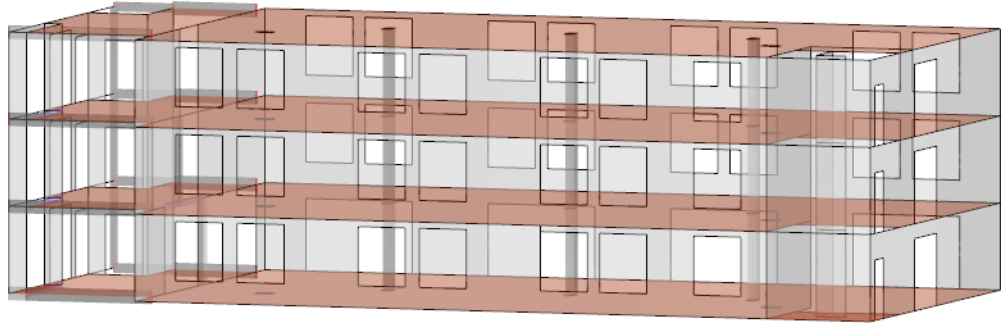


Bild 11.27 Selektion paralleler Flächen

11.3

Arbeitsfenster

Spezielle CAD-Funktionen erleichtern das Konstruieren grafischer Objekte im Arbeitsfenster, z. B. Arbeitsebenen, Fangoptionen, Hilfslinien und eigendefinierten Koordinatensysteme.

11.3.1 Arbeitsebenen

Ein räumlich angelegtes Modell kann auf dem Bildschirm nur in zwei Dimensionen dargestellt werden. Es gibt daher ein Problem beim grafischen Setzen von Objekten, da geregelt werden muss, in welcher Ebene diese beim Klicken in das Grafikfenster erzeugt werden. Die Arbeitsebene bestimmt, welche Koordinate immer „festgehalten“ wird.

Das Achsenkreuz der aktuellen Arbeitsebene wird durch zwei orthogonale, grüne Linien abgebildet. Der Schnittpunkt dieser Linien wird als „Ursprung der Arbeitsebene“ bezeichnet.

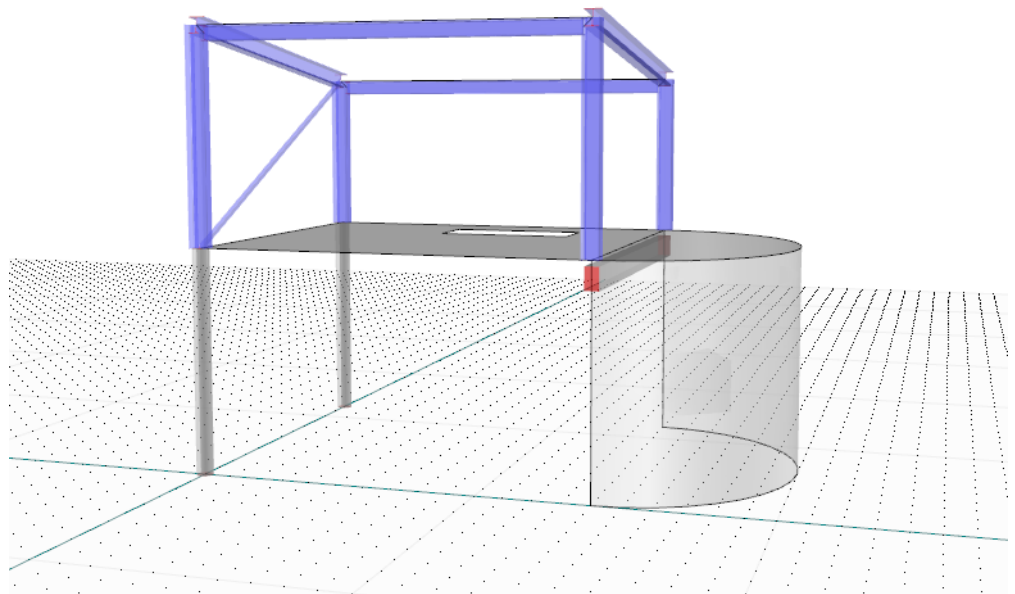


Bild 11.28 Darstellung der Arbeitsebene in der Grafik

Eine Arbeitsebene ist in der Regel parallel zu einer der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ, die durch zwei Achsen des globalen Koordinatensystems aufgespannt werden. Die Arbeitsebene kann auch als beliebig geneigte Ebene direkt angegeben oder über Linien-, Stab- und Flächenachsen definiert werden.

Der Dialog *Arbeitsebene* mit den Parametern der Arbeitsebene wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.

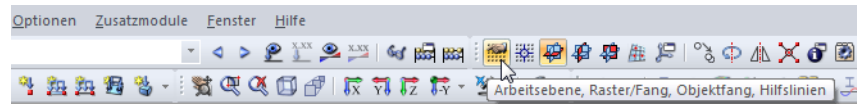


Bild 11.29 Schaltfläche *Arbeitsebene*

Es erscheint der im Bild 11.34 gezeigte Dialog.

Parallel zu globaler Ebene XY / YZ / XZ

Die Arbeitsebene kann zu einer der folgenden globalen Ebenen parallel ausgerichtet sein:

	Ursprung setzen
	Ebene XY
	Ebene YZ
	Ebene XZ
	3-Punkt-Ebene
	mit Linie in X
	mit Linie in Y
	mit Linie in Z
	xy-Achsen der Stäbe
	xz-Achsen der Stäbe
	xy-Achsen der Flächen
	Versatz

Ebene	Dialog Arbeitsebene	Symbolleiste
XY		
YZ		
XZ		

Tabelle 11.3 Auswahl der Arbeitsebene

Weitere Möglichkeiten zur Definition von Arbeitsebenen sind verfügbar im Menü

Extras → **Arbeitsebene wählen**

oder über die zugeordneten Schaltflächen in der Symbolleiste.

3-Punkt-Ebene



Im Arbeitsfenster können drei Punkte gewählt werden, die eine neue Arbeitsebene mit dem Achsensystem UVW festlegen. Die drei Punkte dürfen nicht auf einer Geraden liegen.

Ebene mit Linie in X / Y / Z

Die Arbeitsebene wird definiert durch eine Linie, die im Arbeitsfenster grafisch zu bestimmen ist, und einer der globalen Achsen. Der Nullpunkt der neuen Arbeitsebene wird in den Linienanfängsknoten gelegt und die Achse U parallel zur gewählten globalen Achse ausgerichtet. Damit lässt sich z. B. schnell die Arbeitsebene in eine Dachfläche verlegen.

Ebene mit Stabachse xy / xz

Zur Definition der Arbeitsebene werden die Ebenen der Stabachsen xy („schwache“ Achse) oder xz („starke“ Achse) verwendet (siehe Kapitel 4.17 [\[2\]](#)). Der relevante Stab ist grafisch im Arbeitsfenster zu bestimmen. Der Nullpunkt der neuen Arbeitsebene wird in den Stabanfangsknoten gelegt.

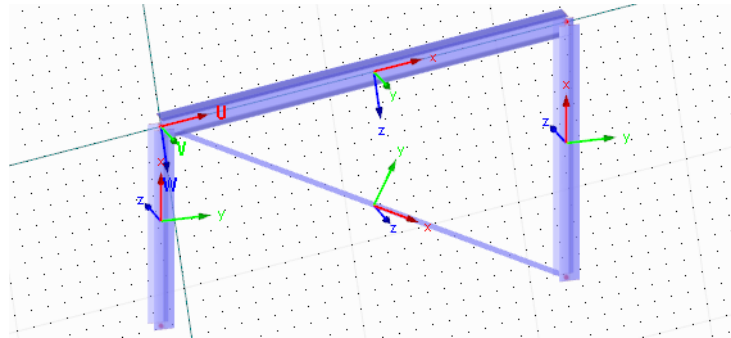


Bild 11.30 Arbeitsebene in Dachneigung aus xz-Stabachse

Ebene mit Flächenachse xy

Die Arbeitsebene wird durch die xy-Achsen einer Fläche definiert, die im Arbeitsfenster grafisch zu bestimmen ist (siehe Kapitel 4.4 [\[2\]](#)). Die Achsen der neuen Arbeitsebene werden als UVW bezeichnet (siehe Bild 11.30 [\[2\]](#)).

Versatz der Arbeitsebene

Mit dieser Funktion lässt sich die Arbeitsebene senkrecht zur aktuellen Ebene verschieben. Der Abstand ist im Dialog *Versatz der Arbeitsebene* anzugeben.

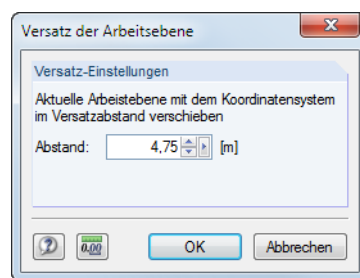




Bild 11.31 Dialog Versatz der Arbeitsebene



Der Versatz ist so lange aktiv, bis die Funktion im Menü wieder aufgehoben wird.

Nullpunkt der Arbeitsebene

Der Dialog *Arbeitsebene* (Bild 11.34 [\[2\]](#)) verwaltet den Nullpunkt (Ursprung) der Arbeitsebene. Mit  kann ein Knoten im Arbeitsfenster ausgewählt, mit  ein neuer Knoten definiert werden. Es ist auch möglich, die Koordinaten eines beliebigen Punkts direkt einzutragen.

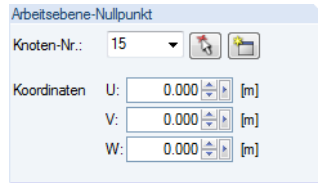


Bild 11.32 Dialog Arbeitsebene, Abschnitt Arbeitsebene-Nullpunkt

Der Nullpunkt der Arbeitsebene kann über das Menü

Extras → **Arbeitsebene wählen** → **Ursprung setzen**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste auch grafisch festgelegt werden.

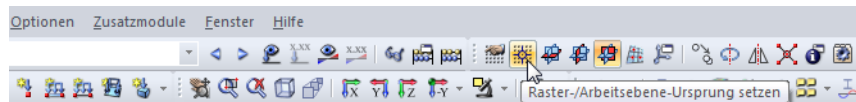


Bild 11.33 Schaltfläche Raster-/Arbeitsebene-Ursprung setzen

11.3.2 Raster

Rasterpunkte dienen als Eingabehilfe in der Arbeitsebene. Werden Knoten grafisch gesetzt, so werden sie an diesen Rasterpunkten gefangen.

Der Dialog *Arbeitsebene* verwaltet auch die Eigenschaften der Rasterpunkte. Dieser Dialog wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste (siehe Bild 11.29).

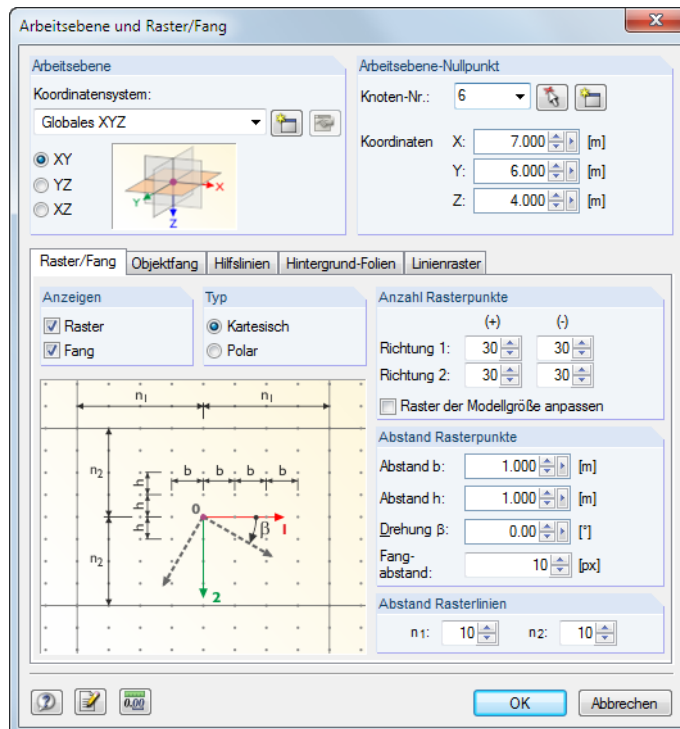


Bild 11.34 Dialog Arbeitsebene und Raster/Fang

Die für das Raster relevanten Einstellmöglichkeiten befinden sich im Register *Raster/Fang*.

Anzeigen

Das Kontrollfeld *Raster* steuert die Anzeige des Rasters im Arbeitsfenster. Die Fangfunktion kann unabhängig vom Raster über das Kontrollfeld *Fang* ein- und ausgeschaltet werden. Bei einem ausgeblendeten Raster kann also dennoch die Fangfunktion an den Rasterpunkten wirken.

FANG RASTER

Die Raster- und Fangfunktionen lassen sich schnell mit den Schaltflächen [RASTER] und [FANG] in der Statusleiste ein- oder ausschalten.

Typ

Die Rasterpunkte können im kartesischen oder polaren Koordinatensystem angeordnet werden. Je nach Auswahl ändert sich der Inhalt der folgenden Abschnitte.

KARTES

Alternativ erfolgt die Auswahl über [KARTES], [POLAR] oder [ORTHO] in der Statusleiste.

Anzahl Rasterpunkte

Bei einem kartesischen Raster kann die Anzahl der Rasterpunkte getrennt für die beiden Achsenrichtungen festgelegt werden.

Bei einem polaren Raster ist die Anzahl der konzentrischen Rasterkreise anzugeben.

Ist die Option *Raster der Modellgröße anpassen* aktiv, wird das Raster automatisch an die Abmessungen des Modells angeglichen. Damit sind um das Modell herum immer ausreichend Rasterpunkte vorhanden. Allerdings werden nach jeder Eingabe die erforderlichen Rasterpunkte neu berechnet, was bei größeren Modellen zu einem verzögerten Aufbau der Grafik führen kann.

Abstand Rasterpunkte

Bei einem kartesischen Raster kann der Abstand der Rasterpunkte für die Richtungen 1 und 2 getrennt festgelegt werden.

Bei einem polar angeordneten Raster ist der radiale Abstand R der Rasterkreise anzugeben. Der Winkel α steuert den Abstand der Rasterpunkte auf den Kreisen.

Optional können kartesische und auch polare Raster um den Drehwinkel β rotiert werden.

Bei Bedarf kann die Pixelanzahl angepasst werden, die den *Fangabstand* regeln.

11.3.3 Objektfang

Der Objektfang erleichtert das CAD-mäßige Konstruieren beim Setzen von Linien. Neben den Knoten können eine Reihe von Fangpunkten auf Linien aktiviert werden.

Die Einstellungen erfolgen im Dialog *Arbeitsebene*. Dieser wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste (siehe Bild 11.29 [☐](#)).

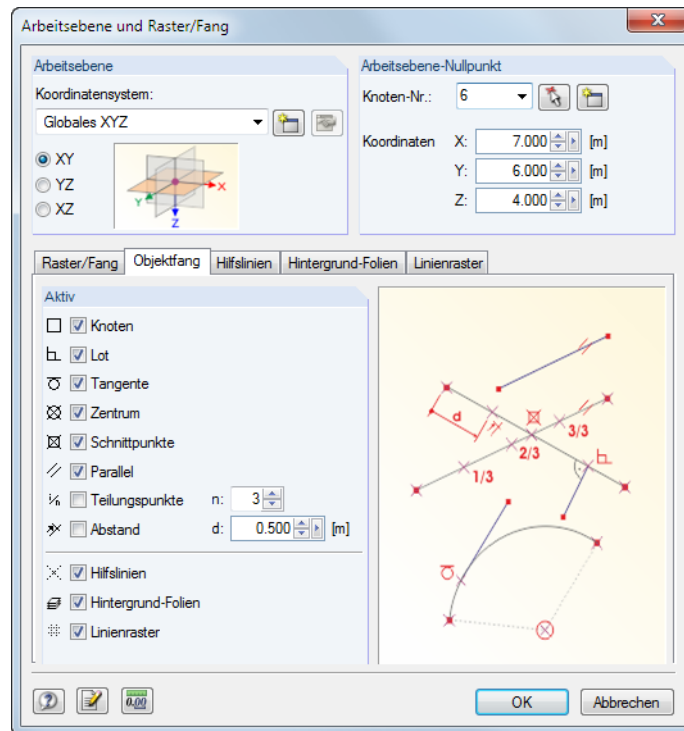


Bild 11.35 Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang*

Das Register *Objektfang* verwaltet die verschiedenen Fangfunktionen.

OFANG

In der Statusleiste muss die Schaltfläche [OFANG] aktiviert sein, damit die Funktionen des Objektfangs wirksam sind.

Knoten

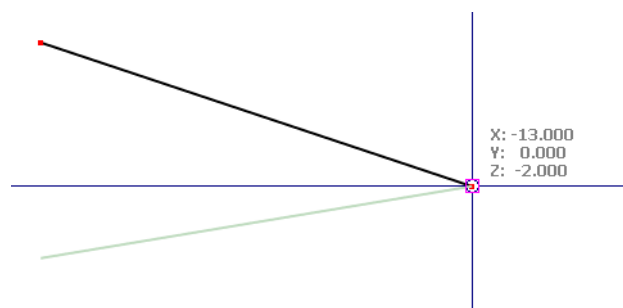


Bild 11.36 Knoten fangen



Beim Setzen einer neuen Linie werden die vorhandenen Knoten gefangen. Die Fangpunkte sind durch Quadrate symbolisiert.

Lot

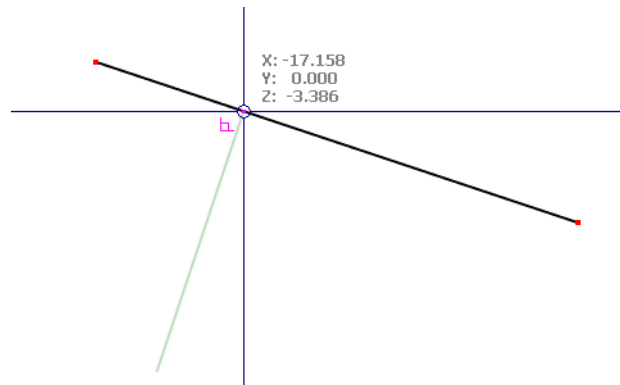


Bild 11.37 Linie lotrecht anschließen



Wird der Mauszeiger beim Zeichnen einer Linie in die Nähe des Lotpunkts geführt, so rastet er ein. Der Fangpunkt ist mit einem Lotsymbol gekennzeichnet.

Tangente

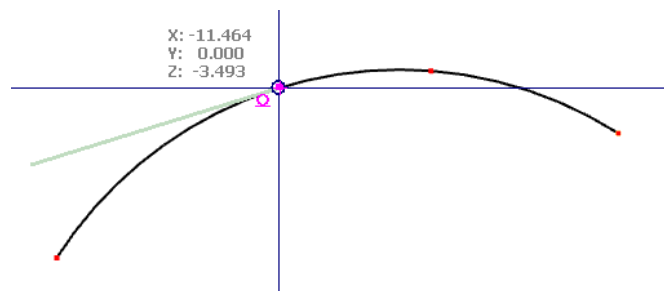


Bild 11.38 Tangente an Kreisbogen anschließen



Diese Funktion erzeugt die Tangente an einen Kreisbogen. Wird der Mauszeiger beim Zeichnen einer Linie in die Nähe des Tangentialpunkts geführt, rastet er dort ein. Der Fangpunkt ist mit einem Tangentensymbol gekennzeichnet.

Zentrum

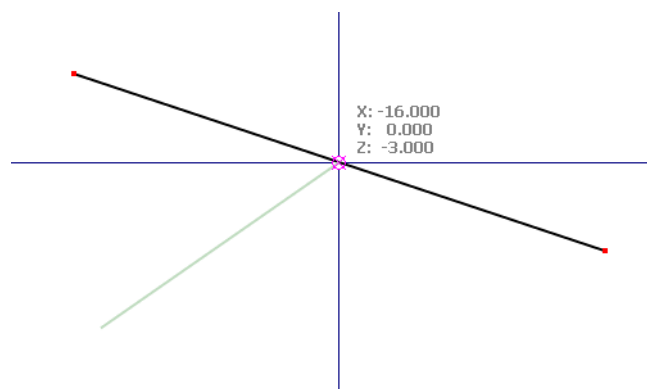


Bild 11.39 Linie mittig anschließen



Wird der Mauszeiger in die Nähe des Zentrums (Mitte) einer Linie geführt, rastet er dort ein. Am Fangpunkt erscheint das Symbol für das Zentrum.

Schnittpunkte

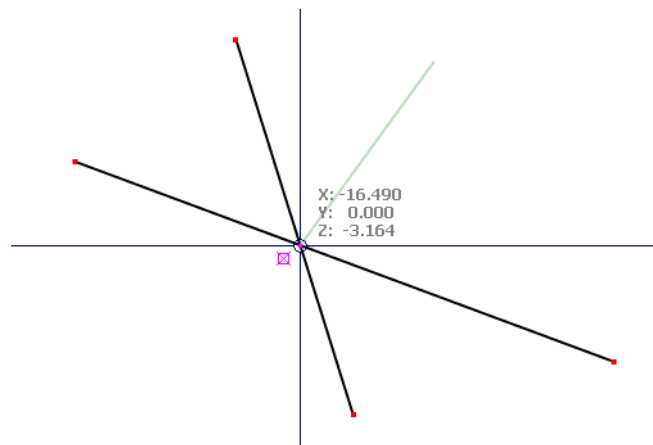


Bild 11.40 Linien am Schnittpunkt fangen



Der Mauszeiger rastet am Schnittpunkt von zwei sich kreuzenden Linien ein, die keinen gemeinsamen Knoten haben. Am Fangpunkt erscheint das Symbol für den Schnittpunkt.

Parallel

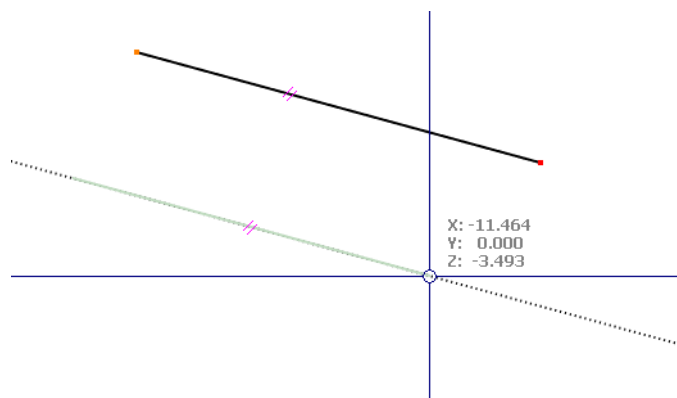


Bild 11.41 Parallele Linie fangen



Diese Funktion ermöglicht das Setzen paralleler Linien: Setzen Sie den Anfangsknoten der neuen Linie und bewegen dann den Mauszeiger über eine Musterlinie. Wenn Sie sich nun mit dem Mauszeiger einem möglichen Endknoten der neuen Linie nähern, sodass diese zum Muster parallel liegt, erscheint an beiden Linien das Parallelsymbol.

Teilungspunkte

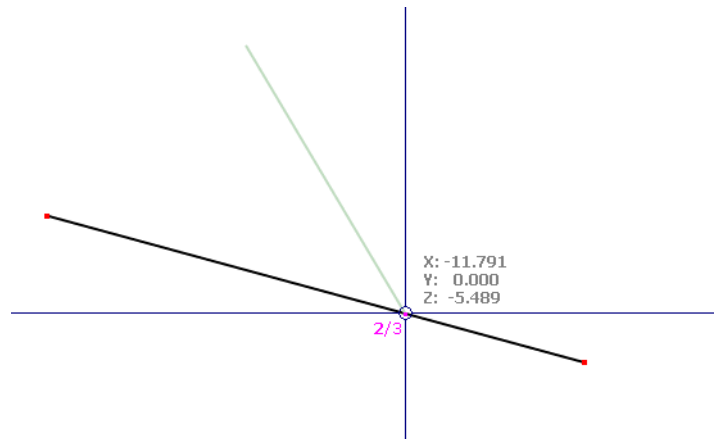


Bild 11.42 Linie am Teilungspunkt fangen (hier: 2/3-Punkt)



Im Register *Objektfang* des Dialogs *Arbeitsebene* kann eine Anzahl von n Linienteilungen angegeben werden. Wird der Mauszeiger über eine Linie bewegt, dann rastet er an den Teilungspunkten ein. Am Mauszeiger erscheint die Teilungsangabe als Bruch.

Abstand

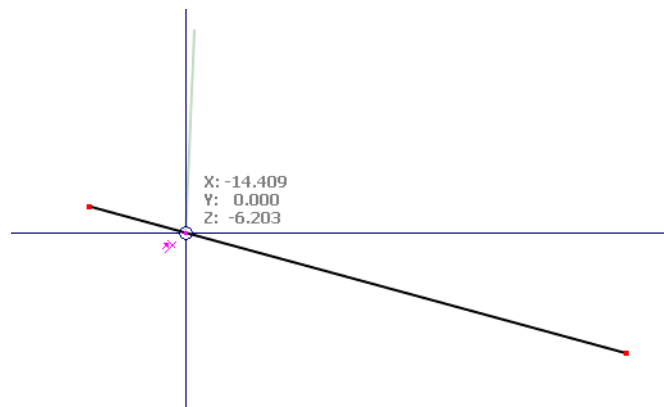


Bild 11.43 Linie in einem definierten Abstand anschließen



Im Register *Objektfang* des Dialogs *Arbeitsebene* kann ein Abstand d für die Linienteilung angegeben werden. Wird der Mauszeiger über eine Linie bewegt, so rastet er in diesem Abstand vom Linienanfang und -ende ein. Am Mauszeiger erscheint das Abstandssymbol.

Hilfslinien

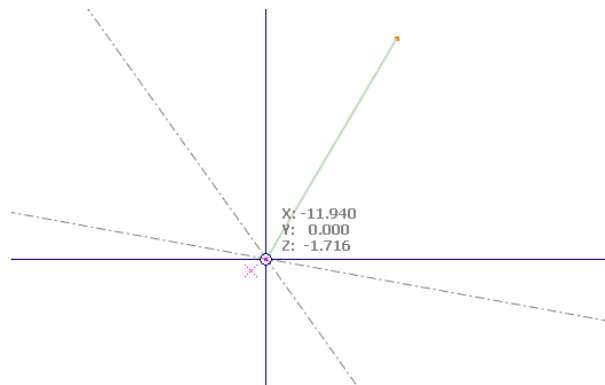


Bild 11.44 Hilfslinien am Schnittpunkt fangen



Wird der Mauszeiger in die Nähe des Schnittpunkts zweier Hilfslinien (siehe [Kapitel 11.3.7](#)) geführt, so rastet er dort ein. Am Fangpunkt erscheint das Schnittpunktsymbol.

Hintergrund-Folien

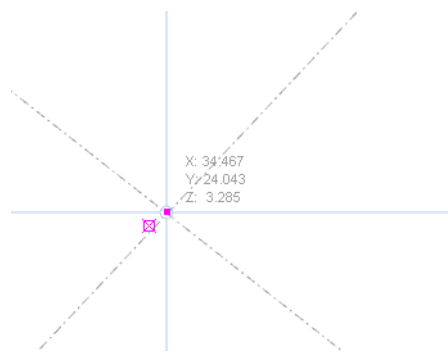


Bild 11.45 Hintergrundfolien am Schnittpunkt fangen

Mit dieser Fangfunktion können Knoten an den Schnittpunkten von Hintergrundfolien (siehe [Kapitel 11.3.7](#)) gesetzt werden. Am Fangpunkt erscheint das Schnittpunktsymbol.

Linienraster

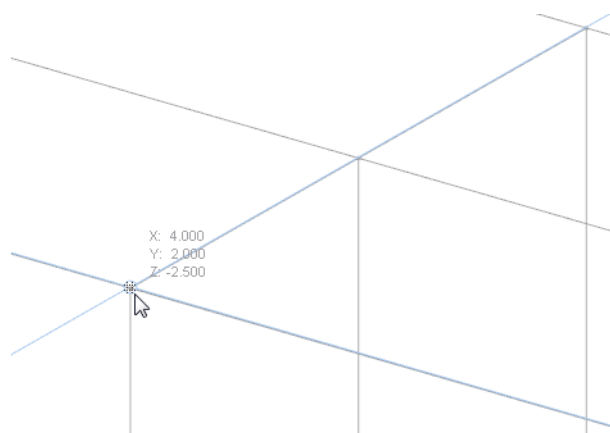


Bild 11.46 Punkte des Linienrasters fangen

Diese Fangfunktion ermöglicht es, Objekte in den Schnittpunkten eines Linienrasters (siehe [Kapitel 11.3.8](#)) zu setzen.

11.3.4 Koordinatensysteme

Benutzerdefinierte Koordinatensysteme erleichtern die Eingabe von geeigneten Teilen des Modells. Sie haben nichts mit den Achsensystemen der Linien, Flächen oder Stäbe zu tun. Alternativ lassen sich Arbeitsebenen grafisch über Punkte, Linien-, Stab- oder Flächenachsen festlegen (siehe [Kapitel 11.3.1](#) [\[2\]](#)).

Der Dialog *Koordinatensystem* ist zugänglich über das Menü

Extras → Koordinatensystem

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

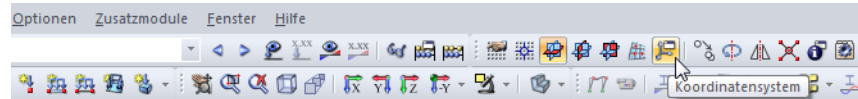



Bild 11.47 Schaltfläche *Koordinatensystem*

Im Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang* (siehe [Bild 11.34](#) [\[2\]](#)) kann über die Schaltfläche  ebenfalls ein benutzerdefiniertes Koordinatensystem angelegt werden.

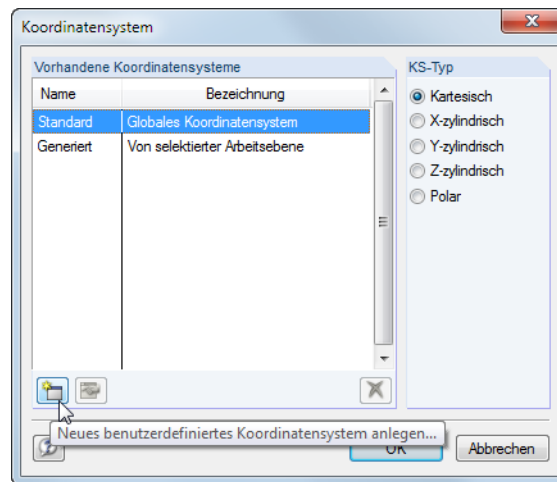



Bild 11.48 Dialog *Koordinatensystem*

Das auf die globalen XYZ-Achsen und den Ursprung bezogene *Standard*-Koordinatensystem ist vordefiniert.

Neues Koordinatensystem anlegen

Klicken Sie die im [Bild 11.48](#) [\[2\]](#) markierte Schaltfläche  an, um folgenden Dialog aufzurufen. Im Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang* steht diese Schaltfläche ebenfalls zur Verfügung (siehe [Bild 11.34](#) [\[2\]](#)).

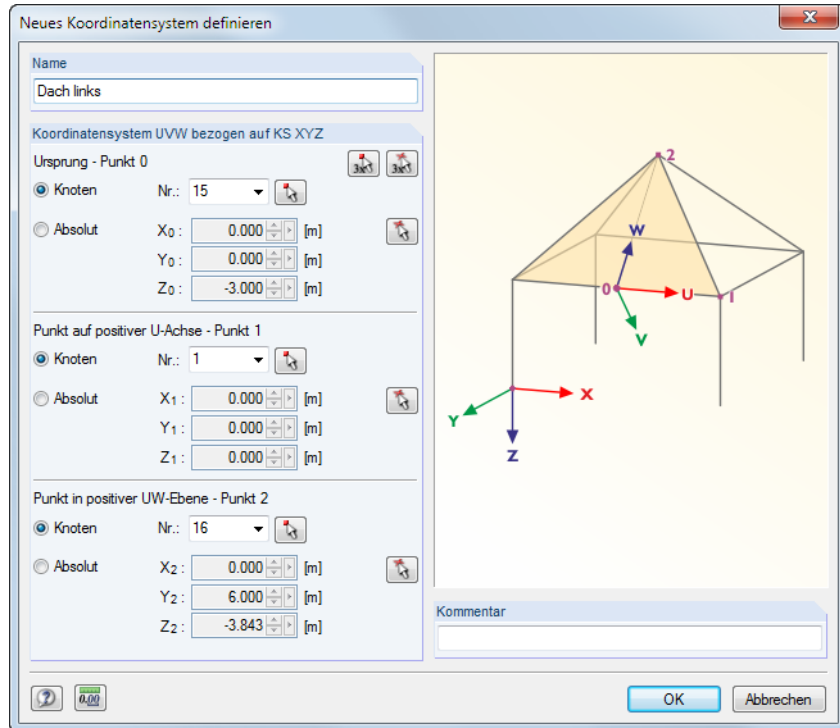


Bild 11.49 Dialog Neues Koordinatensystem definieren

Es ist ein Name für das neue Koordinatensystem anzugeben. Im Abschnitt *Koordinatensystem UVW bezogen auf KS XYZ* kann dann das Achsensystem über drei Parameter definiert werden:

- Ursprung (Nullpunkt des neuen Koordinatensystems)
- Punkt auf positiver U-Achse (erste Achse)
- Punkt in positiver UW-Ebene (Drehung der Ebene um U-Achse)

Hierzu sind drei Punkte anzugeben, die direkt eingetragen oder grafisch ausgewählt werden können. Die Punkte dürfen nicht auf einer Geraden liegen.

Die drei [Knoten] oder [Punkte] lassen sich mit den beiden links dargestellten Schaltflächen auch nacheinander im Arbeitsfenster auswählen (Reihenfolge beim Festlegen von Punkt 0 bis Punkt 2 beachten). Mit der linken Schaltfläche können nur *Knoten* ausgewählt werden, mit der rechten Schaltfläche beliebige *Punkte*. Der Unterschied wird vor allem dann bedeutsam, wenn ein Knoten geändert wird, der einen Definitionspunkt des Koordinatensystems darstellt. Das Koordinatensystem passt sich dann automatisch an. Bei beliebigen Punkten ist das Koordinatensystem fest.

Wird eine benutzerdefinierte Arbeitsebene über drei Punkte definiert (siehe [Kapitel 11.3.1](#)), erzeugt RFEM automatisch ein neues Koordinatensystem mit dem Namen *Generiert*.

Koordinatensystem bearbeiten oder löschen

Nur benutzerdefinierte Koordinatensysteme können bearbeitet oder gelöscht werden. Hierzu stehen zwei Schaltflächen im Dialog *Koordinatensystem* zur Verfügung.

	Das ausgewählte Koordinatensystem kann geändert werden.
	Das selektierte Koordinatensystem wird gelöscht.

Tabelle 11.4 Schaltflächen im Dialog Koordinatensystem

Beispiel

In einer Rahmenecke wird ein Koordinatensystem für die Diagonale in Dachebene definiert. Der Ursprung wird in den Eckknoten **6** gelegt. Als Punkt auf positiver U-Achse wird der Endknoten **4** des Diagonalstabs, als Punkt in positiver UW-Ebene der Stützenfußknoten **5** gewählt.

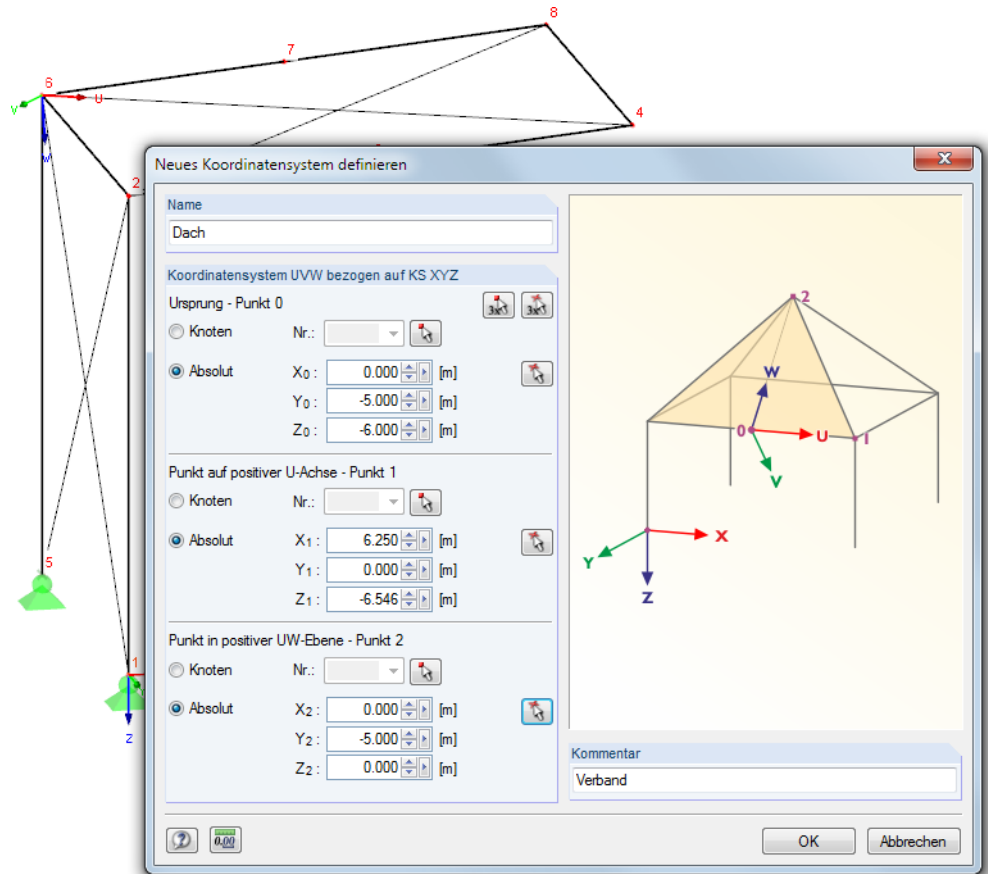


Bild 11.50 Benutzerdefiniertes Koordinatensystem UVW in einer Rahmenecke

Das Raster bezieht sich dann auf die Arbeitsebenen UV, VW und UW, in denen neue Objekte definiert werden können (siehe Kapitel 11.3.1 [☞](#)).

11.3.5 Bemaßungen

Das Modell kann durch benutzerdefinierte Maßlinien ergänzt werden.

Die Bemaßungsfunktionen werden aufgerufen über das Menü

Einfügen → Bemaßungen

oder die zugeordneten Schaltflächen in der Symbolleiste.



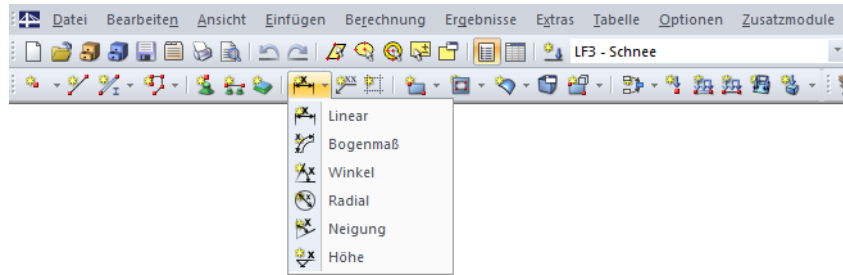


Bild 11.51 Schallflächen Neue Bemaßung

Folgende Bemaßungsmöglichkeiten stehen zur Auswahl:

Bemaßung	Bemaßte Objekte
Linear	Längen zwischen zwei oder mehreren Knoten
Bogenmaß	Länge zwischen den Knoten eines Bogens
Winkel	Winkel zwischen drei Knoten oder zwischen zwei Linien
Radial	Kreis- und Bogendurchmesser oder -radien
Neigung	Neigungswinkel zwischen einer Linie und einer Ebene
Höhe	Kote eines Knotens

Tabelle 11.5 Bemaßungsfunktionen

Der Dialog *Neue Bemaßung* erscheint. Dieser ist abhängig von der getroffenen Auswahl.

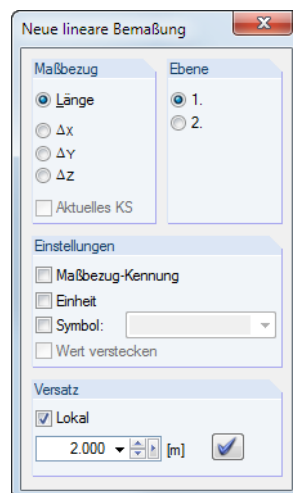


Bild 11.52 Dialog *Neue lineare Bemaßung*

Mit dem Auswahl-Mauszeiger sind nacheinander die Objekte anzuklicken, die die Referenzpunkte der Bemaßung darstellen. Als *Maßbezug* kann im Dialog die wahre Länge oder die Projektion in eine der globalen Achsenrichtungen gewählt werden.

Der Abschnitt *Ebene* steuert, wo die Maßlinie angetragen wird. Diese Einstellung bezieht sich auf die Achsen des globalen Koordinatensystems XYZ bzw. die Linienachsen. Wird der Mauszeiger in der Grafik bewegt und die Ebene umgestellt, so ist die Wirkung dieser Auswahlfelder erkennbar.

Die vier Kontrollfelder im Abschnitt *Einstellungen* regeln, welche Angaben bei den Werten erscheinen. Wird die Option *Symbol* aktiviert, kann ein Bemaßungssymbol eingetragen oder in der Liste ausgewählt werden. Mit *Wert verstecken* lässt sich die Maßzahl ausblenden, sodass nur das Symbol erscheint.



Der *Versatz* bestimmt den Abstand der Maßlinie vom ersten gewählten Knoten. Dieser Abstand kann auch grafisch mit dem Mauszeiger festgelegt werden. Die Maßlinie wird endgültig mit der Schaltfläche [Bemaßung setzen] oder einem Mausklick im Arbeitsfenster gesetzt.



Um eine Maßkette mit gleichmäßigem Abstand zu setzen, klicken Sie die einzelnen Knoten nacheinander an und legen dann den *Versatz* fest.

Die Anzeige der Maßlinien wird über den *Zeigen-Navigator* oder das allgemeine Kontextmenü (Rechtsklick in objektfreien Arbeitsfensterbereich) gesteuert.

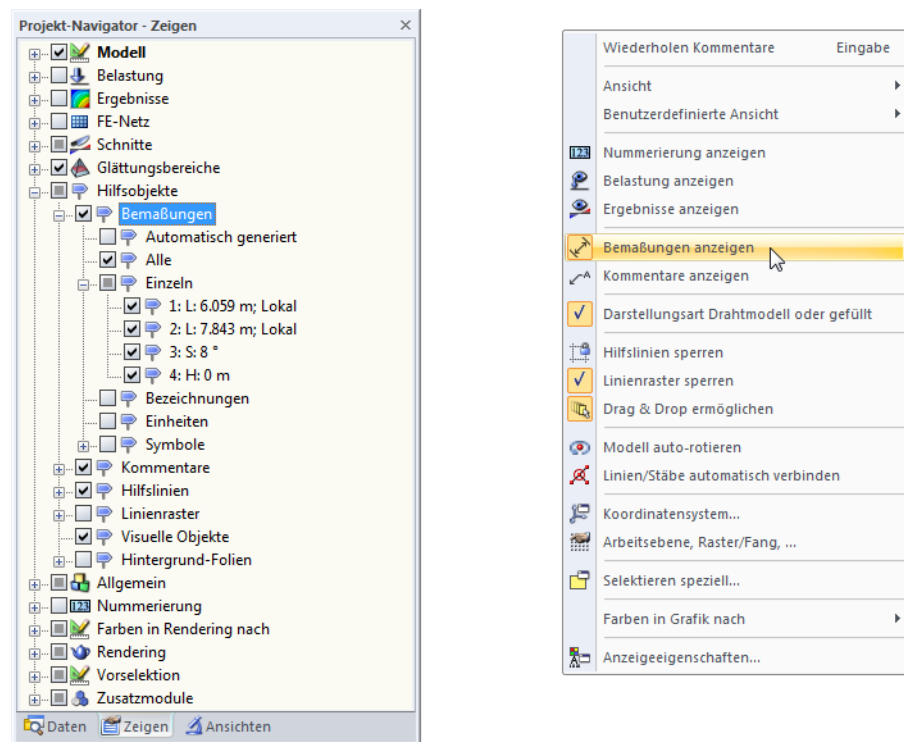


Bild 11.53 Zeigen-Navigator (Hilfsobjekte → Bemaßungen) und allgemeines Kontextmenü



Bei Änderungen der Modellgeometrie werden die Bemaßungen automatisch angepasst.

Der Doppelklick auf eine Bemaßung ruft den Dialog *Bemaßung bearbeiten* auf, in dem der *Versatz* nachträglich angepasst werden kann. Falls die Maßlinie jedoch auf andere Knoten oder Linien bezogen werden soll, muss die Bemaßung gelöscht und neu definiert werden.

11.3.6 Kommentare

Es gibt zwei Arten von Kommentaren:

- Kommentare in Dialogen und Tabellen (siehe [Kapitel 11.1.4](#))
- Kommentare im Arbeitsfenster

Dieses Kapitel behandelt das grafische Setzen von Kommentaren.

Kommentare können auf Knoten, Linien- und Stabmitten bezogen angeordnet oder beliebig in der aktuellen Arbeitsebene oder einer globalen Ebene platziert werden.

Die Funktion zum Setzen von Kommentaren wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → Kommentare

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

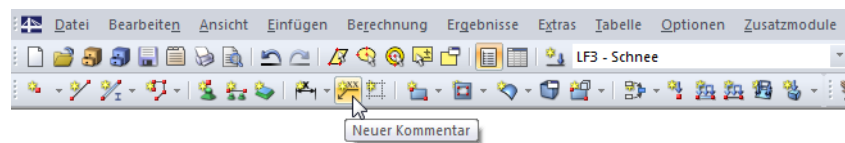


Bild 11.54 Schaltfläche *Neuer Kommentar*

Es erscheint der Dialog *Neuer Kommentar*.

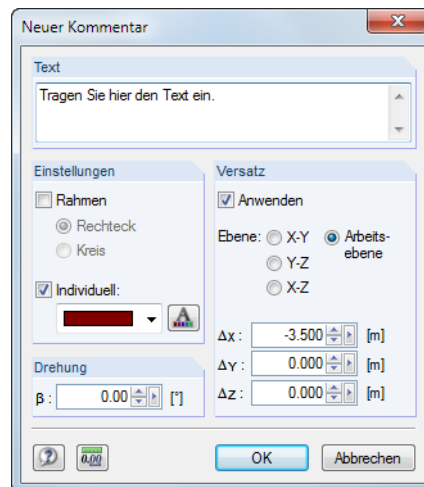


Bild 11.55 Dialog *Neuer Kommentar*



Im Abschnitt *Text* ist der Kommentartext einzutragen. Das Erscheinungsbild des Kommentars kann im Abschnitt *Einstellungen* hinsichtlich der Farbe sowie der [Schriftart] und -größe beeinflusst werden. Optional wird der Kommentar mit einem rechteckigen oder runden *Rahmen* versehen.

Die *Drehung* des Kommentars gestattet es, den Kommentartext benutzerdefiniert anzuordnen.

Ist das Kontrollfeld im Abschnitt *Versatz* aktiviert, wird der Kommentar in einem bestimmten Abstand vom Objekt angeordnet. Der Abstand kann auch grafisch festgelegt werden: Klicken Sie nach der Eingabe des Kommentartexts zunächst das Objekt an. Mit dem Mauszeiger können Sie nun die geeignete Stelle ansteuern und den Kommentartext dort mit einem weiteren Mausklick setzen. Die aktuelle Arbeitsebene wird automatisch eingeblendet, damit der Kommentar korrekt platziert wird. Falls erforderlich, kann die Arbeitsebene vor dem Setzen des Kommentars geändert werden.

Die Anzeige der Kommentare wird über den *Zeigen-Navigator* oder das allgemeine Kontextmenü (Rechtsklick in objektfreien Arbeitsfensterbereich) gesteuert (siehe [Bild 11.56](#)).

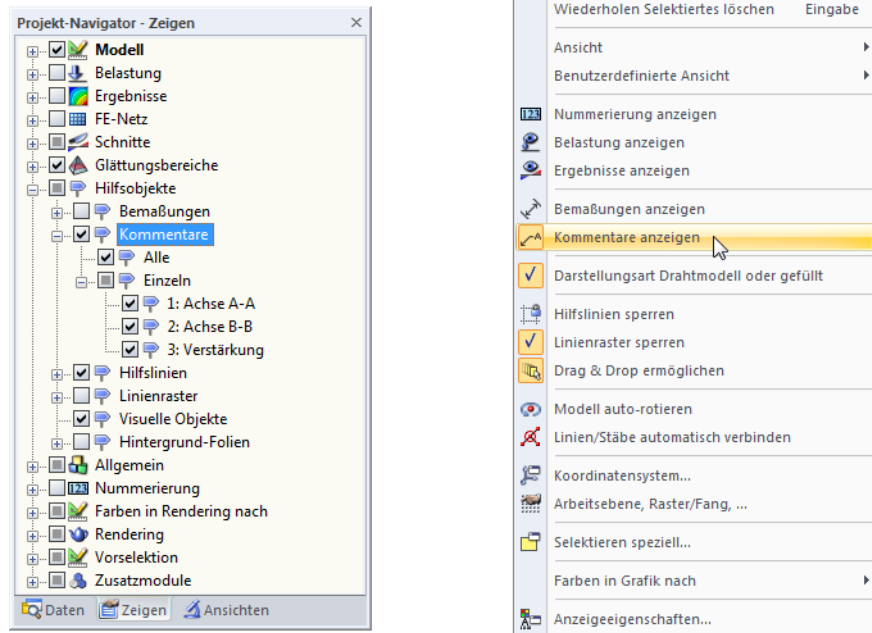


Bild 11.56 Zeigen-Navigator (Hilfsobjekte → Kommentare) und allgemeines Kontextmenü



Bei Änderungen in der Modellgeometrie werden die Kommentare automatisch angepasst.

Kommentartexte einschließlich Versatz lassen sich nachträglich bearbeiten: Doppelklicken Sie den Kommentar im Arbeitsfenster oder dessen Eintrag im *Daten-Navigator*.



Ein Kommentar kann per Drag-and-drop verschoben (oder mit gedrückter [Strg]-Taste kopiert) werden. Dabei gilt folgende Besonderheit: Wird der Kommentarpfeil an der Spitze „angefasst“, so ist ein Verschieben des ganzen Kommentars möglich. Beim „Anfassen“ am Text zeigt die Pfeilspitze weiterhin auf das Objekt; die Position des Kommentartexts in der Arbeitsebene kann nun angepasst werden.

11.3.7 Hilfslinien

Hilfslinien stellen ein Raster aus Achsen und Reihen dar, das der grafischen Arbeitsfläche hinterlegt wird. Die Kreuzungspunkte von Hilfslinien sind auch Fangpunkte für die grafische Eingabe — sofern im Objektfang die Fangfunktion für *Hilfslinien-Schnittpunkte* aktiv ist (siehe Kapitel 11.3.3 [a](#)).

Hilfslinien brauchen nicht parallel zu den Achsen des globalen XYZ-Koordinatensystems ausgerichtet sein. Es sind freie Winkel und auch eine polare Anordnungen möglich. Auch die Abstände der Hilfslinien untereinander können beliebig sein.

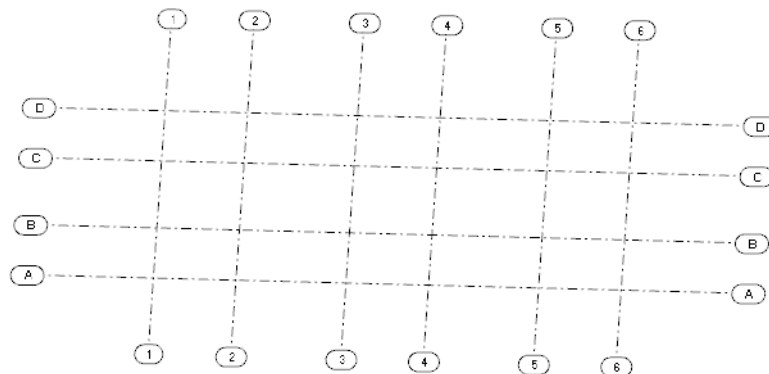


Bild 11.57 Raster aus Hilfslinien

Hilfslinien erzeugen

Dialogeingabe

Der Dialog zum Erzeugen einer neuen Hilfslinie wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Hilfslinien** → **Dialog**

oder das Kontextmenü im *Daten-Navigator*.

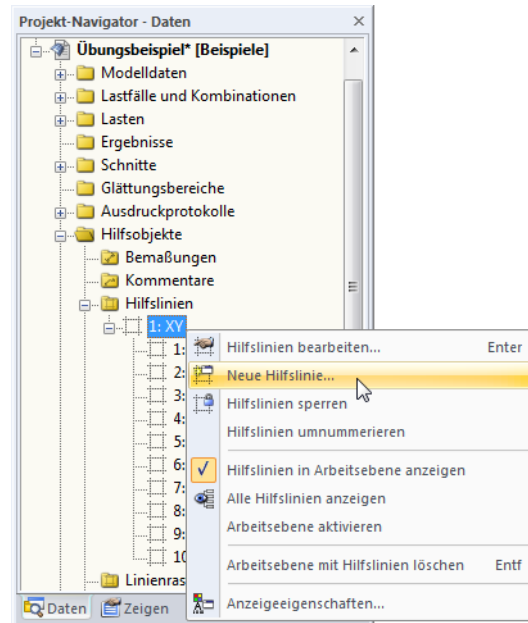


Bild 11.58 Kontextmenü *Hilfslinien* im *Daten-Navigator*

Es erscheint folgender Dialog.

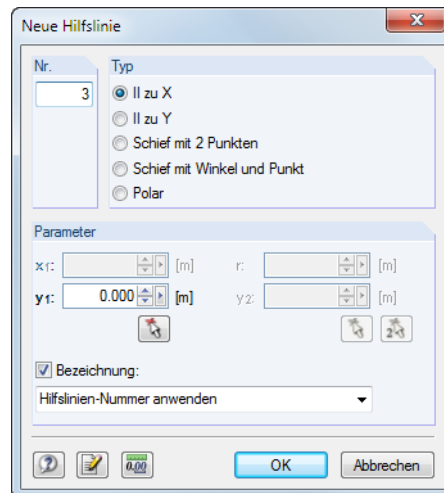




Bild 11.59 Dialog *Neue Hilfslinie*

Die *Nr.* der Hilfslinie wird automatisch vergeben, kann jedoch angepasst werden.

Der Abschnitt *Typ* steuert, wie die Hilfslinie erstellt wird (siehe [Tabelle 11.6](#)).

Typ	Erläuterung
II zu X / Y / Z (Parallel zu Achse X, Y bzw. Z)	Die Hilfslinie wird parallel zu einer der globalen Achsen erzeugt. Im Abschnitt <i>Parameter</i> sind die Abstände x_1 / y_1 / z_1 von den jeweiligen globalen Achsen anzugeben.
Schief mit 2 Punkten	Im Abschnitt <i>Parameter</i> müssen die Koordinaten von zwei Punkten in der aktuellen Arbeitsebene angegeben werden, die die Hilfslinie definieren.
Schief mit Winkel und Punkt	Im Abschnitt <i>Parameter</i> sind zur Definition der Hilfslinie die Koordinaten eines Punktes und ein Drehwinkel anzugeben. Die Hilfslinie wird in der aktuellen Arbeitsebene erzeugt.
Polar	Im Abschnitt <i>Parameter</i> müssen der Mittelpunkt und der Radius für die kreisförmige Hilfslinie festgelegt werden.

Tabelle 11.6 Hilfsliniertypen

Die Parameter sind in die Eingabefelder einzutragen oder mit  bzw.  grafisch im Arbeitsfenster festzulegen.

Wenn das Kontrollfeld *Mit Bezeichnung* aktiv ist, kann die Beschreibung der Hilfslinie im Eingabefeld angegeben oder in der Liste ausgewählt werden.

Grafische Eingabe

Eine Hilfslinie kann grafisch festgelegt werden

- über das Menü **Einfügen** → **Hilfslinien** → **Grafisch**,
- mit der links dargestellten Schaltfläche [Neue Hilfslinie] oder
- durch Parallelverschieben einer Achse der Arbeitsebene mit der Maus (nur möglich, wenn die Hilfslinien nicht gesperrt sind — siehe unten).

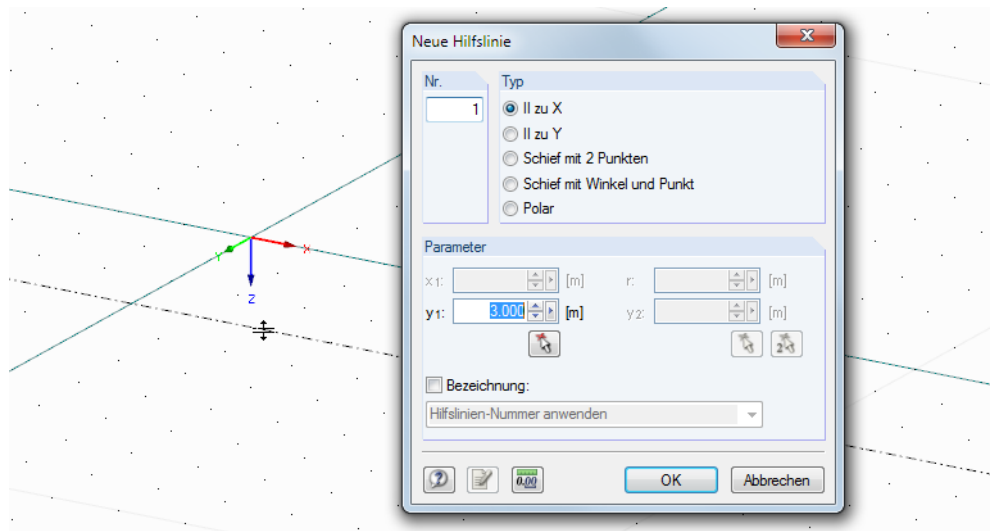


Bild 11.60 Hilfslinie grafisch erzeugen

Der Dialog *Neue Hilfslinie* ist oben beschrieben.

Hilfslinien bearbeiten und löschen

Der Bearbeitungsdialog wird über einen Doppelklick auf die Hilfslinie oder auf den Eintrag im Daten-Navigator aufgerufen.

Wenn eine Hilfslinie in der Grafik nicht selektiert werden kann, ist sie gesperrt (siehe unten). Die Sperrung lässt sich schnell aufheben: Klicken Sie mit der rechten Maustaste in einen leeren Bereich des Arbeitsfensters und deaktivieren dann im Kontextmenü die Option *Hilfslinien sperren*.

Hilfslinien können auch über das Menü **Extras** → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste bearbeitet werden. Im Register *Hilfslinien* des aufgerufenen Dialogs kann nicht nur der Fang aktiviert werden, sondern es lassen sich auch Hilfslinien neu erstellen, bearbeiten, löschen oder ein- und ausblenden.

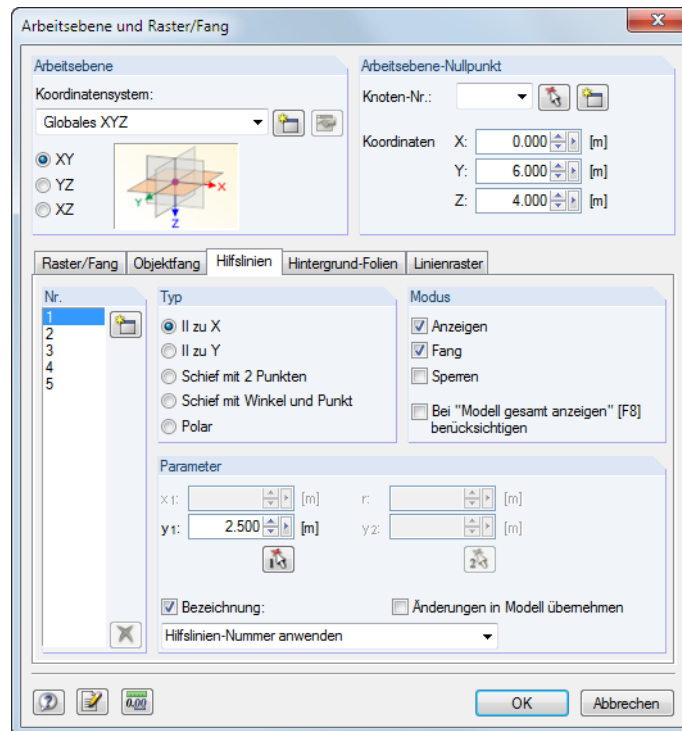
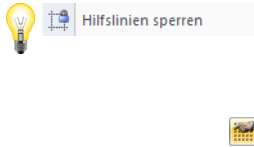
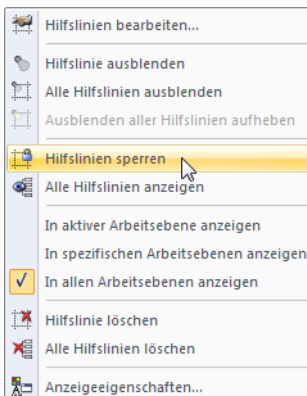


Bild 11.61 Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang*, Register *Hilfslinien*

Hilfslinien können im Arbeitsfenster und im Daten-Navigator wieder gelöscht werden: Klicken Sie die Hilfslinie mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü dann die Funktion *Hilfslinie löschen*.

Hilfslinien sperren

Wenn Hilfslinien gesperrt sind, können sie nicht selektiert, bearbeitet oder verschoben werden. Auf diese Weise stellen die Hilfslinien keine Beeinträchtigung dar bei der grafischen Eingabe von Objekten. Die Fangfunktion an den Schnittpunkten ist trotzdem aktiv.



Hilfslinien-Kontextmenü

Die Hilfslinien können global gesperrt oder freigegeben werden über

- einen Rechtsklick auf eine Hilfslinie und *Hilfslinien sperren* im Kontextmenü,
- Menü **Bearbeiten** → **Hilfslinien** → **Sperren** oder
- einen Rechtsklick auf *Hilfslinien* im Navigator und *Hilfslinien sperren* im Kontextmenü.

Hilfslinien kopieren und verschieben

Hilfslinien sind grafische Objekte, für die viele der Bearbeitungsfunktionen genutzt werden können.

Um eine Hilfslinie zu verschieben oder zu kopieren, ist sie zunächst zu selektieren. Dann kann die im [Kapitel 11.4.1](#) beschriebene Funktion angewandt werden. Bitte beachten Sie dabei, dass Hilfslinien nur in der Ebene der Original-Hilfslinie kopiert werden können.

Anzeige der Hilfslinien

Der Zeigen-Navigator steuert die Darstellung der Hilfslinien im Detail.

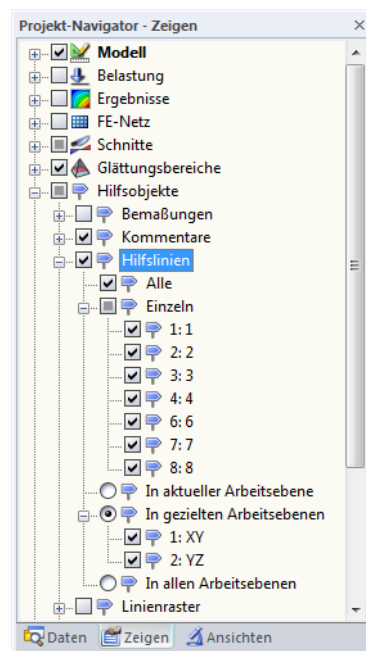


Bild 11.62 Steuerung der Hilfslinien im Zeigen-Navigator

11.3.8 Linienraster

Benutzerdefinierte Linienraster erleichtern die Modellierung von Flächen-, Trägerrost- oder Gittermodellen. Die Raster-Schnittpunkte bieten Definitionspunkte für Flächen, Linien und Stäbe.

In einem Modell können mehrere Linienraster verwendet werden.

Linienraster erzeugen

Der Dialog zum Erzeugen eines neuen Linienrasters wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Linienraster**

oder das Kontextmenü im *Daten*-Navigator.



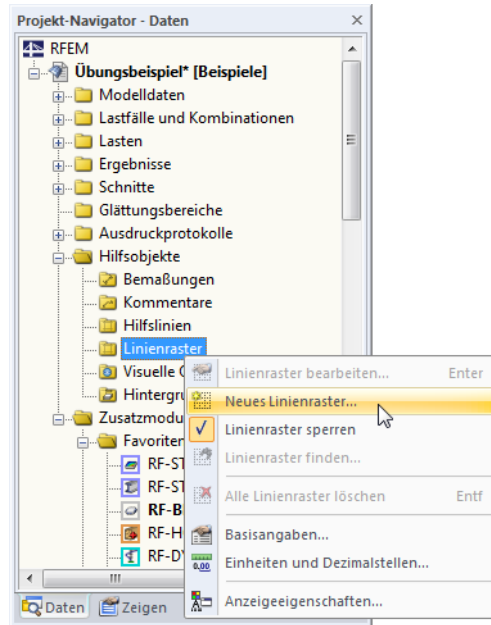


Bild 11.63 Kontextmenü *Linienraster* im *Daten-Navigator*

Es erscheint der Dialog *Linienraster* zur Definition des neuen Rasters.

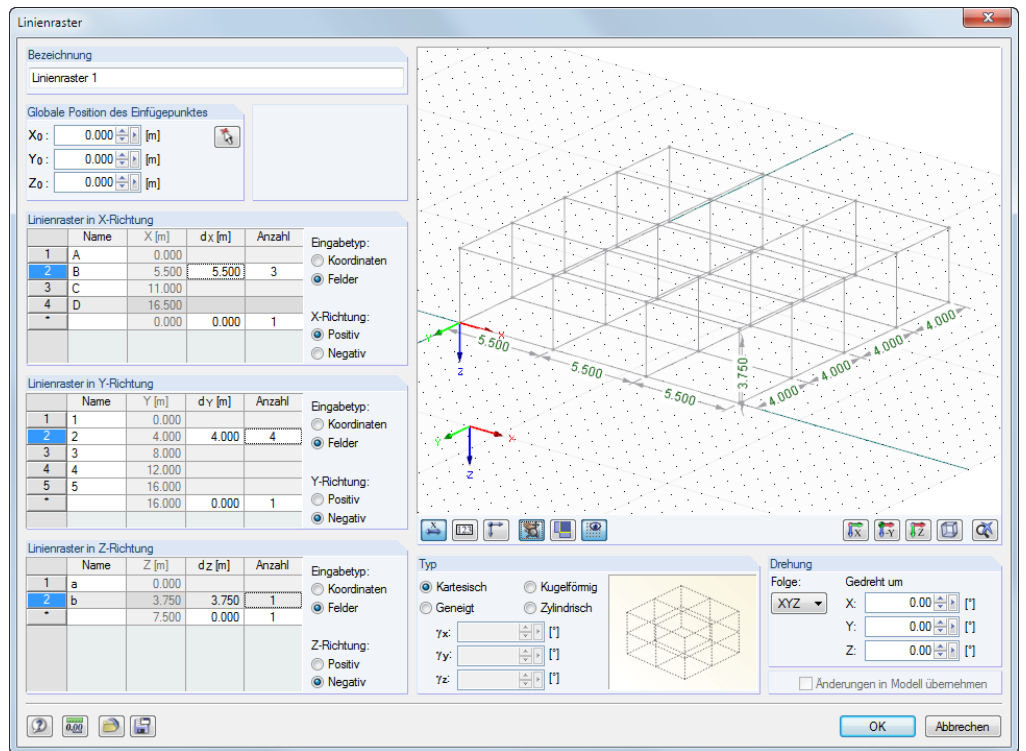



Bild 11.64 Dialog *Linienraster*

Die *Globale Position des Einfügepunkts* legt den Ursprung des Linienrasters fest. Die Koordinaten können eingetragen oder mit  im Arbeitsfenster bestimmt werden.


Im Abschnitt *Typ* bestehen folgende Auswahlmöglichkeiten, um das Rastersystem vor Eingabe der weiteren Daten festzulegen:


- Kartesisch
- Kugelförmig
- Geneigt (Raster kann für jede Achse um beliebige Drehwinkel γ gedreht werden)
- Zylindrisch

Die kleine Grafik rechts davon ist interaktiv mit der *Typ*-Vorgabe.


In den Abschnitten *Linienraster in X-/Y-/Z-Richtung* sind die Abstände d und die *Anzahl* der Felder für jede Richtung anzugeben. Der *Name* ist jeweils voreingestellt, kann jedoch angepasst werden. Es können auch die *Koordinaten* der Abstände eingetragen oder nachträglich angepasst werden.

Die Auswahlfelder *Positiv* und *Negativ* steuern jeweils, in welche Richtung der globalen Achse der Linienraster erzeugt wird.

Im Abschnitt *Drehung* besteht die Möglichkeit, den Linienraster um eine Achse zu rotieren: Wählen Sie zunächst die *Folge*, die die Reihenfolge der lokalen Rasterachsen X' , Y' und Z' regelt, und geben dann in den Eingabefeldern unter *Gedreht um* den Drehwinkel um die globalen Achsen X , Y und Z an. Über die Schaltflächen  lässt sich die Lagerdrehung auch grafisch bestimmen.

Den größten Bereich des Dialogs nimmt ein Grafikfenster ein, in dem die Eingaben sofort grafisch umgesetzt werden. Die Schaltflächen unterhalb sind aus RFEM vertraut; sie steuern die Anzeige der Bemaßung, Nummerierung, Achsen sowie der Ansicht. In diesem Fenster können auch die Steuerungsmöglichkeiten mit der Maus genutzt werden (siehe [Kapitel 3.4.9](#) ).

Jeder Linienraster kann als Muster abgespeichert und wieder verwendet werden. Die beiden links dargestellten Schaltflächen steuern das [Speichern] und [Einlesen] der Rasterdaten.

Nach dem Schließen des Dialogs können Objekte an den Rasterknoten gesetzt werden. Bitte beachten Sie, dass hierfür der Objektfang aktiv sein muss (siehe [Kapitel 11.3.3](#) ).



11.3.9 Visuelle Objekte

Visuelle Objekte stellen 3D-Objekte dar, die z. B. in Architekturprogrammen für eine realitätsnahe Darstellung verwendet werden (z. B. Personen, Fahrzeuge, Bäume, Texturen etc.). Auch in RFEM können 3D-Objekte in das Modell eingebunden werden, um die Größenverhältnisse des Modells zu veranschaulichen.

Visuelles Objekt einlesen

Der Dialog zum Importieren eines visuellen Objekts wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → Visuelle Objekte

oder das Kontextmenü im *Daten-Navigator*.

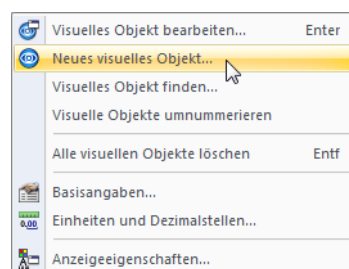


Bild 11.65 Kontextmenü im *Daten-Navigator*: *Hilfsobjekte* → *Visuelle Objekte*



Es erscheint der Dialog *Neues visuelles Objekt*, in dem die *Bezeichnung* und der *Dateiname* der Datei anzugeben sind.

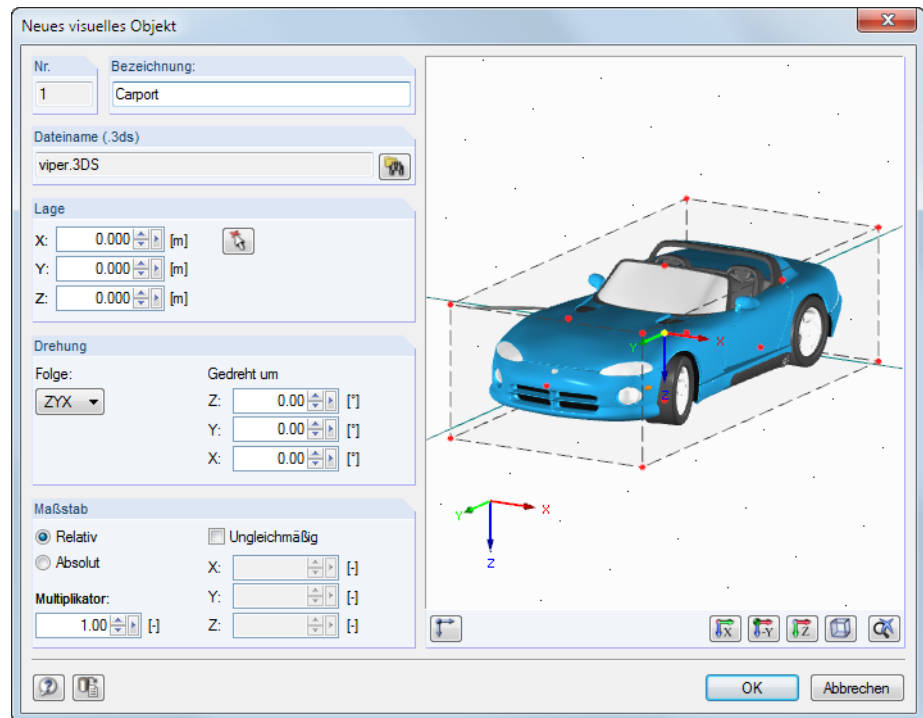



Bild 11.66 Dialog *Neues visuelles Objekt*



Das visuelle Objekt muss im Format *.3ds* vorliegen. Über die [Durchsuchen]-Schaltfläche kann die Datei im *Öffnen*-Dialog von Windows ausgewählt werden.

Die *Lage* des Objekts im Modell ist durch Eingabe der Koordinaten oder mit  im Arbeitsfenster festzulegen. Der Referenzpunkt des 3D-Objekts ist in der Grafik rechts in der Selektionsfarbe gekennzeichnet.

Zusätzlich ist eine *Drehung* oder auch eine Skalierung des Objekts in einem *Maßstab* möglich.

Nach [OK] wird das Objekt im Modell eingefügt.

Der Bearbeitungsdialog eines visuellen Objekts lässt sich mit einem Doppelklick auf das Objekt in der Grafik oder im *Daten-Navigator* aufrufen.

11.3.10 Hintergrundfolien

Eine DXF-Datei kann als Hintergrundfolie eingelesen und für die grafische Eingabe von Objekten genutzt werden. Im Unterschied zum DXF-Import (siehe [Kapitel 12.5.2](#)), bei dem das komplette Modell in Knoten und Linien umgewandelt eingelesen wird, stellen die Hintergrundfolien eine Art Layer für die Modellierung dar.

In einem Modell können mehrere Hintergrundfolien verwendet werden.

Hintergrundfolie erzeugen



Der Dialog zum Erzeugen einer neuen Hintergrundfolie wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → Hintergrund-Folie

oder das Kontextmenü im *Daten-Navigator*.

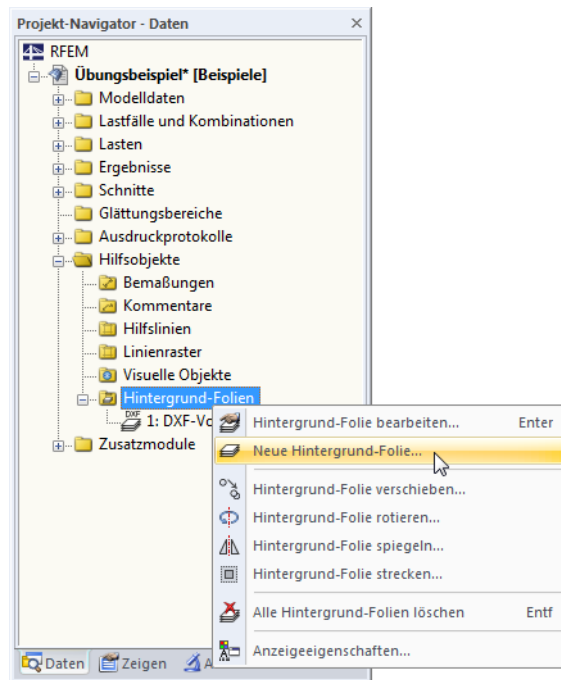


Bild 11.67 Kontextmenü *Hintergrund-Folien* im *Daten-Navigator*

Es erscheint der *Öffnen*-Dialog von Windows. Geben Sie dort das Verzeichnis und den Namen der DXF-Datei an.

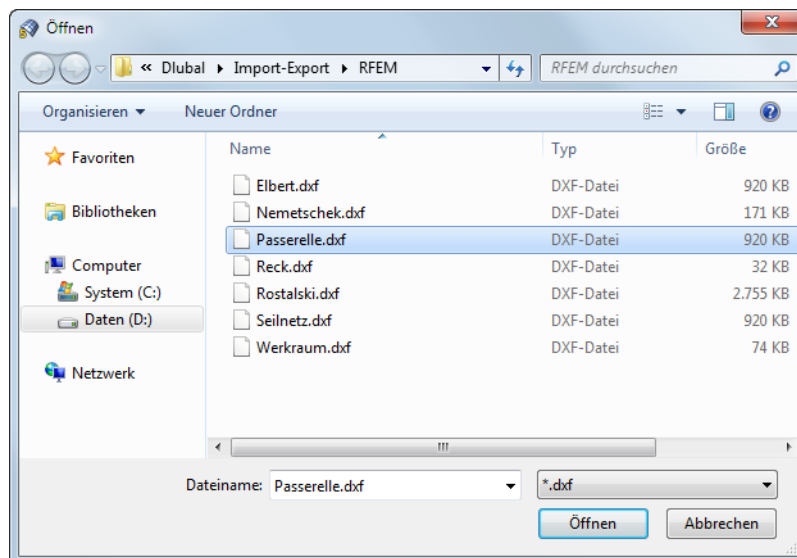


Bild 11.68 Dialog *Öffnen*

Öffnen

[*Öffnen*] ruft den Dialog *Hintergrund-Folie* auf.

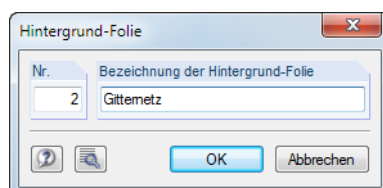



Bild 11.69 Dialog *Hintergrund-Folie*

Die Nr. der Folie wird automatisch vergeben. Im Abschnitt *Bezeichnung der Hintergrund-Folie* kann ein beliebiger Name eingetragen werden, der später die Zuordnung erleichtert.

Über die Schaltfläche  sind weitere Einstellungen zum DXF-Import zugänglich. Dieser Dialog ist im [Bild 12.50](#) dargestellt und erläutert.

Nach [OK] wird die Folie importiert und erscheint im Arbeitsfenster grau hinterlegt. In diesem Drahtmodell können nun Knoten und Linien bzw. Stäbe gesetzt werden.

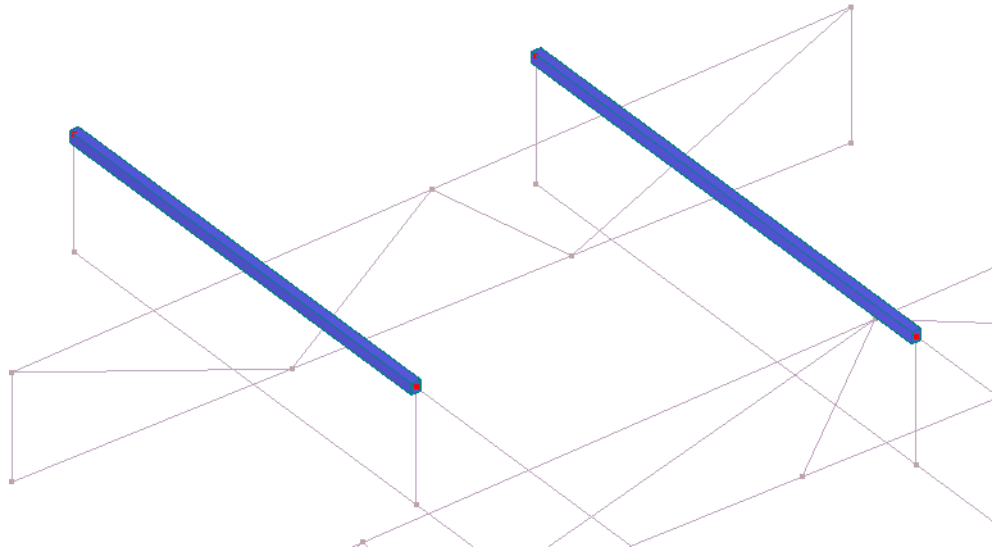


Bild 11.70 Setzen von Stäben mit Hintergrundfolie



Der Objektfang muss für Hintergrundfolien aktiviert sein, damit Objekte an den Punkten der Folie angeordnet werden können. Der Objektfang für die DXF-Punkte lässt sich über die Schaltfläche [DXF] im mittleren Bereich der Statusleiste einschalten. Alternativ wird das Menü **Extras** → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste benutzt.

Im Register *Hintergrund-Folien* des Dialogs *Arbeitsebene und Raster/Fang* kann nicht nur der Fang aktiviert werden, sondern es lassen sich auch Folien neu erstellen, bearbeiten oder ein- und ausblenden.

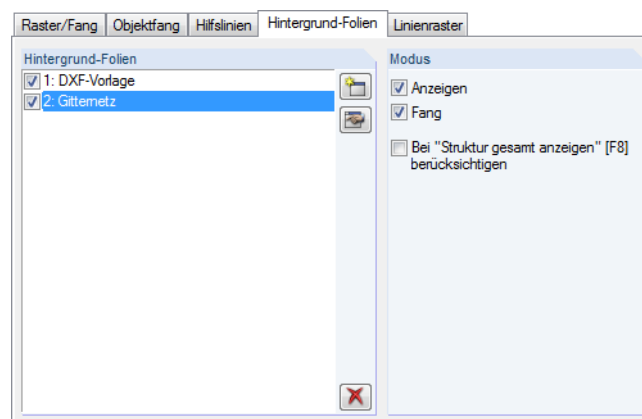


Bild 11.71 Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang*, Register *Hintergrund-Folien* (Ausschnitt)



Hintergrundfolie bearbeiten oder löschen

Der Bearbeitungsdialog wird durch Doppelklicken der Hintergrundfolie oder des Eintrags im *Daten-Navigator* (siehe Bild 11.67) aufgerufen. Alternativ wird das Register *Hintergrund-Folien* im Arbeitsebene-Dialog benutzt (siehe Bild 11.71): Nach dem Markieren der Folie in der Liste lässt sie sich [Bearbeiten].

Das Löschen einer Hintergrundfolie ist ebenfalls über den *Daten-Navigator* möglich.

Um eine Hintergrundfolie zu verschieben, rotieren oder spiegeln, ist sie zunächst zu selektieren. Dann kann die im Kapitel 11.4.1 beschriebene Funktion angewandt werden.

Anzeige der Hintergrundfolien

Der Zeigen-Navigator steuert die Darstellung der Hintergrundfolien im Detail.

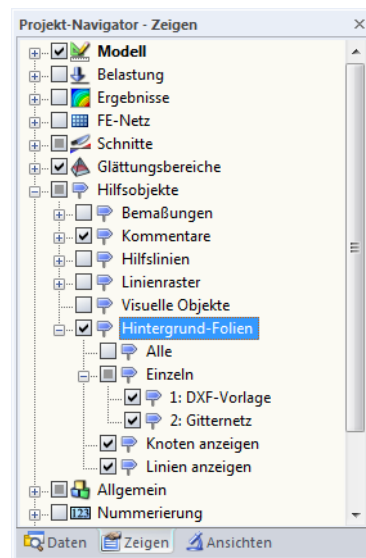


Bild 11.72 Steuerung der Hintergrundfolien im Zeigen-Navigator

11.3.11 Ränder und Streckfaktoren



In den meisten Fällen ist es nicht erforderlich, die Vollbild-Anordnung oder die Skalierung des Modells im Arbeitsfenster zu ändern. Müssen die globalen Anzeigeparameter dennoch angepasst werden, kann über das Menü

Optionen → **Ränder und Streckfaktoren**

ein Dialog aufgerufen werden, der die Vorgaben verwaltet.



Schaltflächen im Menü Ansicht

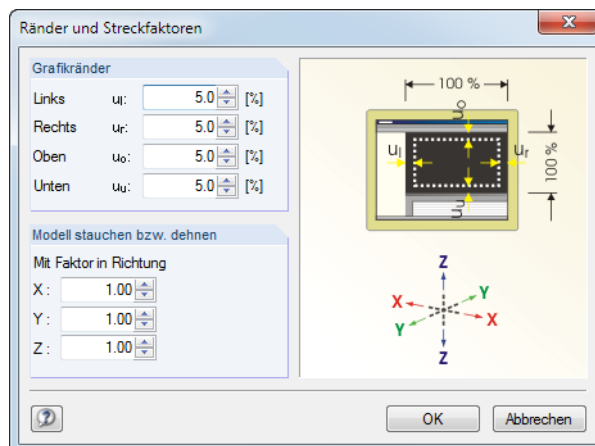


Bild 11.73 Dialog Ränder und Streckfaktoren

Der Abschnitt *Grafikränder* steuert die Mindestabstände, die bei der Darstellung des Modells auf den vier Seiten von den Rändern des Arbeitsfensters einzuhalten sind. Die Werte beziehen sich als prozentuale Anteile auf die Gesamthöhe bzw. -breite des Arbeitsfensters. Sie wirken sich aus, wenn die Schaltflächen des Menüs *Ansicht wählen* (siehe Bild links) oder die Funktion *Alles anzeigen* [F8] zur fensterfüllenden Darstellung benutzt werden.

Um das Modell verzerrt darzustellen, können im Abschnitt *Modell stauchen bzw. dehnen* Faktoren ungleich 1 für die globalen Richtungen festgelegt werden. Anpassungen dieser Art sind wohl nur in Ausnahmefällen erforderlich. Sie wirken sich auch nur auf die Anzeige des Modells aus, nicht auf die tatsächliche Geometrie: Die Skalierung des Modells ist über die Funktion **Bearbeiten** → **Skalieren** vorzunehmen (siehe Kapitel 11.4.5).

11.4

Objekte bearbeiten

Mit den grafischen Bearbeitungsfunktionen können Objekte verändert werden, die zuvor in der Grafik selektiert wurden. Die selektierten Objekte lassen sich

- verschieben,
- kopieren,
- rotieren,
- spiegeln,
- projizieren,
- skalieren,
- extrudieren,
- abschrägen.

Bei den im Kapitel 11.3 vorgestellten CAD-Funktionen ist keine Selektion erforderlich. Diese Funktionen erleichtern das Konstruieren neuer Objekte.

Das Kapitel beschreibt auch, wie Linien geteilt, Kommentare gesetzt oder die Nummerierung geändert werden.

11.4.1 Verschieben und Kopieren

Selektierte Objekte können verschoben und kopiert werden über den Menübefehl

Bearbeiten → **Verschieben/Kopieren**,

das Objekt-Kontextmenü oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

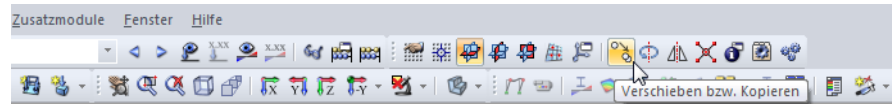
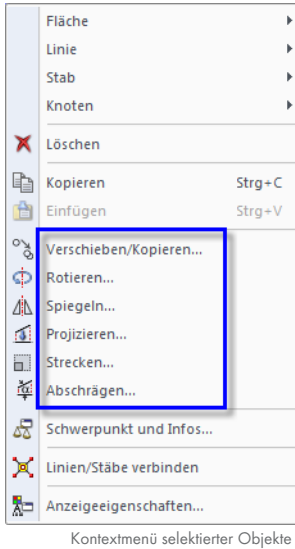


Bild 11.74 Schaltfläche Verschieben bzw. Kopieren

Es erscheint folgender Dialog.

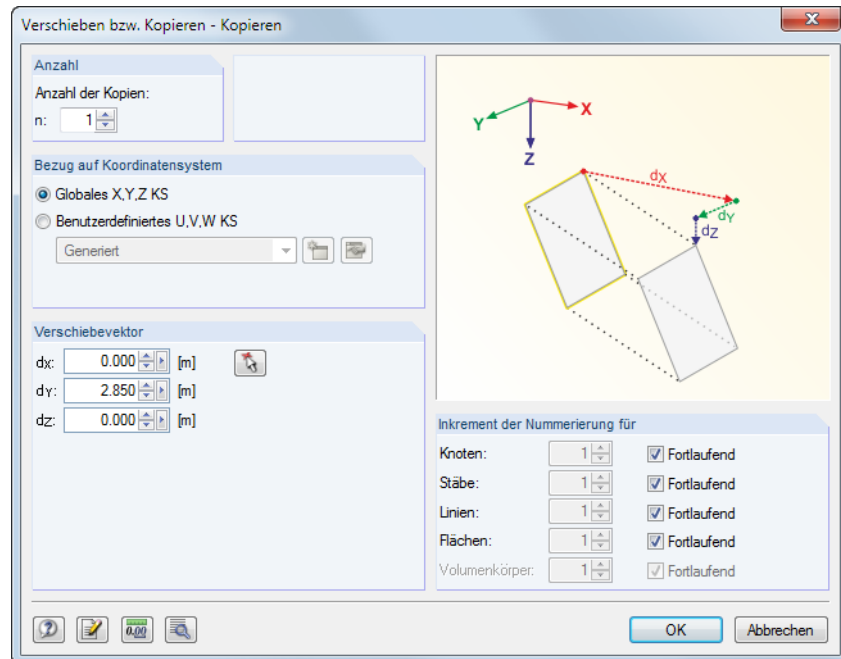





Bild 11.75 Dialog Verschieben bzw. Kopieren - Kopieren

Wird als *Anzahl* der Kopien **0** eingestellt, dann werden die selektierten Objekte verschoben. Ansonsten wird die angegebene Anzahl an Kopien erzeugt.

Der Abschnitt *Bezug auf Koordinatensystem* steuert, ob die Objekte im globalen XYZ- oder in einem benutzerdefinierten UVW-Koordinatensystem (siehe [Kapitel 11.3.4](#)) verschoben bzw. kopiert werden. Das benutzerdefinierte Koordinatensystem kann in der Liste gewählt oder über die Schaltfläche  angelegt werden.

Der *Verschiebevektor* ist über die Abstände d_x , d_y und d_z bzw. d_u , d_v und d_w bei einem benutzerdefinierten Koordinatensystem anzugeben. Alternativ lässt sich der Vektor mit  im Arbeitsfenster durch Anklicken von zwei Rasterpunkten oder Knoten bestimmen.

Falls Kopien erzeugt werden, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Knoten, Stäbe, Linien, Flächen und Volumenkörper genommen werden.

Die Schaltfläche  öffnet einen weiteren Dialog mit nützlichen Optionen zum Kopieren. Dieser Dialog wird auch bei weiteren Funktionen wie Spiegeln, Rotieren etc. verwendet.

Detaileinstellungen

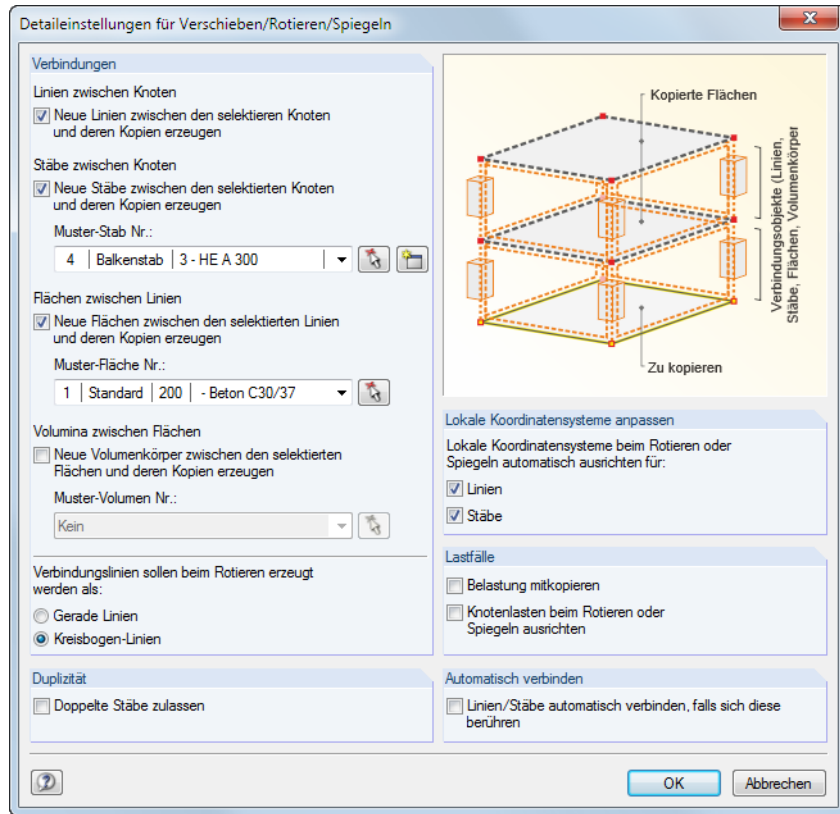



Bild 11.76 Dialog *Detaileinstellungen für Verschieben/Rotieren/Spiegeln*

Verbindungen

Es können neue *Linien* und *Stäbe* zwischen den selektierten Knoten und deren Kopien erzeugt werden. Zudem besteht die Möglichkeit, *Flächen* und *Volumina* zwischen den selektierten Linien bzw. Flächen und deren Kopien zu generieren (siehe Bild 11.77 [↗](#)).

Wenn ein *Musterstab*, eine *Musterfläche* oder *Mustervolumen* in der Liste oder grafisch mit  gewählt wird, so werden dessen Eigenschaften für die Verbindungsobjekte benutzt.

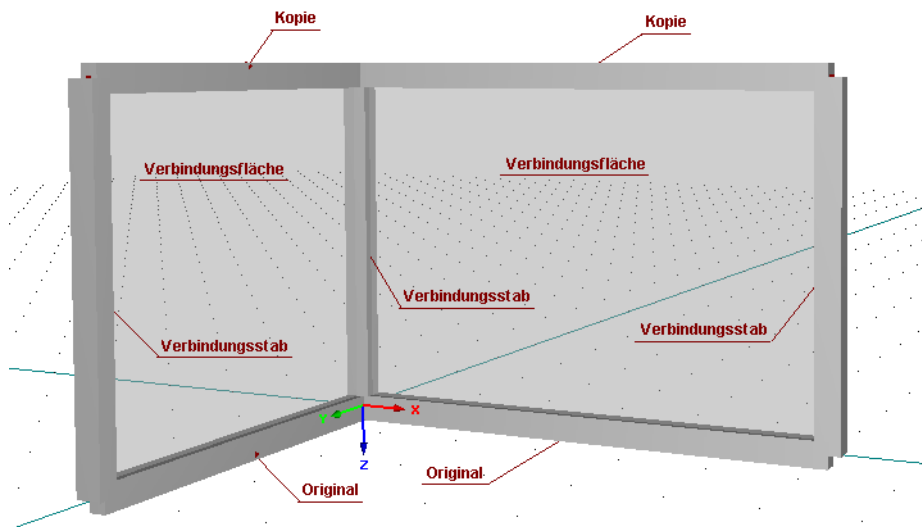


Bild 11.77 Kopie mit Verbindungsstäben und Verbindungsflächen


Duplizität

Beim Kopieren können doppelte Stäbe entstehen. Das Kontrollfeld steuert, ob die übereinanderliegenden Stäbe belassen oder zu einem Stab verschmolzen werden.

Lokale Koordinatensysteme anpassen

Dieser Abschnitt ermöglicht es, die lokalen Linien- und Stabkoordinatensysteme beim Rotieren und Spiegeln auf die neue Lage auszurichten. Diese Funktion passt auch exzentrische Anschlüsse an, die in Richtung der globalen Achsen X, Y und Z definiert sind.



Die automatische Anpassung der lokalen Achsen ist meist beim Spiegeln von Bedeutung. Auch beim Rotieren eines vertikalen Stabes erweist sich diese Funktion als nützlich, da seine Achse y parallel zur globalen Y-Achse ausgerichtet ist (siehe [Kapitel 4.17](#) ).

Lastfälle

Ist das Kontrollfeld *Belastung mitkopieren* aktiv, werden die an den selektierten Objekten wirkenden Lasten auf die Kopien übertragen. Es werden die Belastungen aller Lastfälle kopiert, nicht nur die des aktuellen Lastfalls.

Das Kontrollfeld *Knotenlasten beim Rotieren oder Spiegeln ausrichten* steuert, welche Richtung die Kopien global definierter Knotenlasten erhalten. Ist das Häkchen gesetzt, rechnet RFEM die Lasten wie lokale Einzellasten auf die neue Lage um (die Lasten müssen zuvor mitselektiert werden). Anderenfalls wird die globale Lastrichtung beibehalten.

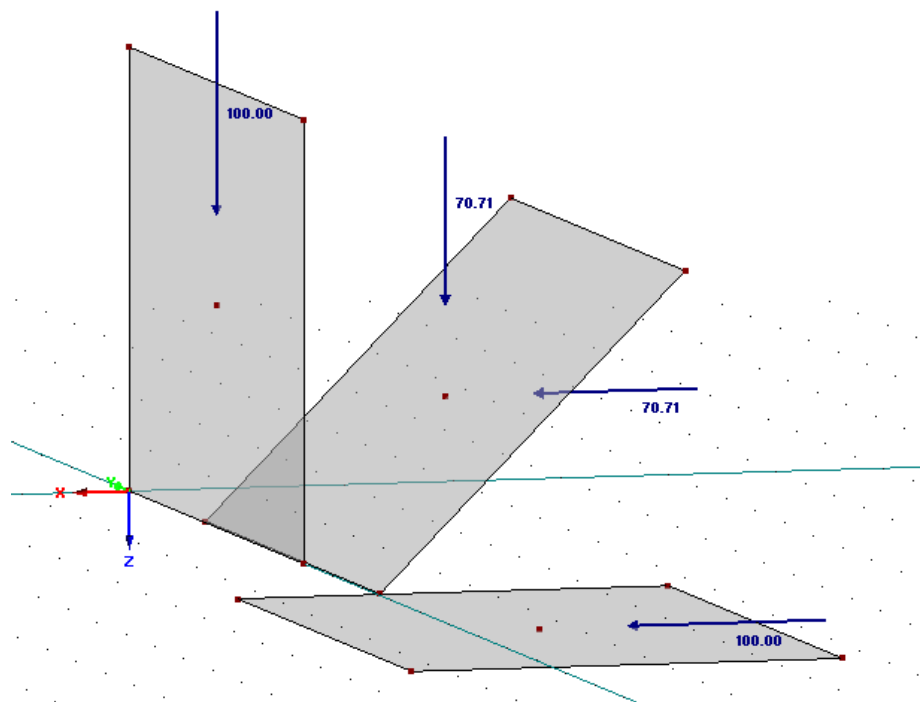


Bild 11.78 Ausgerichtete Knotenlasten beim zweifachen Rotieren um 45°

Automatisch verbinden

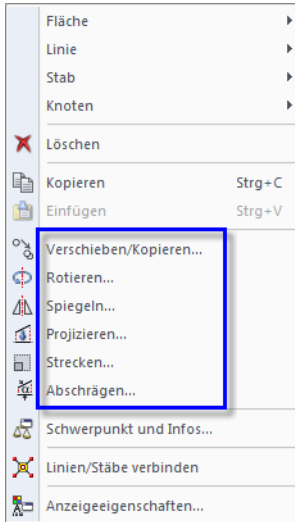
Das Kontrollfeld steuert, ob die Kopien der Linien und Stäbe automatisch mit den bereits vorhandenen Linien und Stäben verbunden werden. Ist diese Funktion aktiv, wird im Kreuzungspunkt ein Knoten erzeugt.

11.4.2 Rotieren

Selektierte Objekte können um eine Achse gedreht werden mit dem Menübefehl

Bearbeiten → **Rotieren**,

dem Objekt-Kontextmenü oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste.



Kontextmenü selektierter Objekte



Bild 11.79 Schaltfläche Rotieren

Es erscheint folgender Dialog.

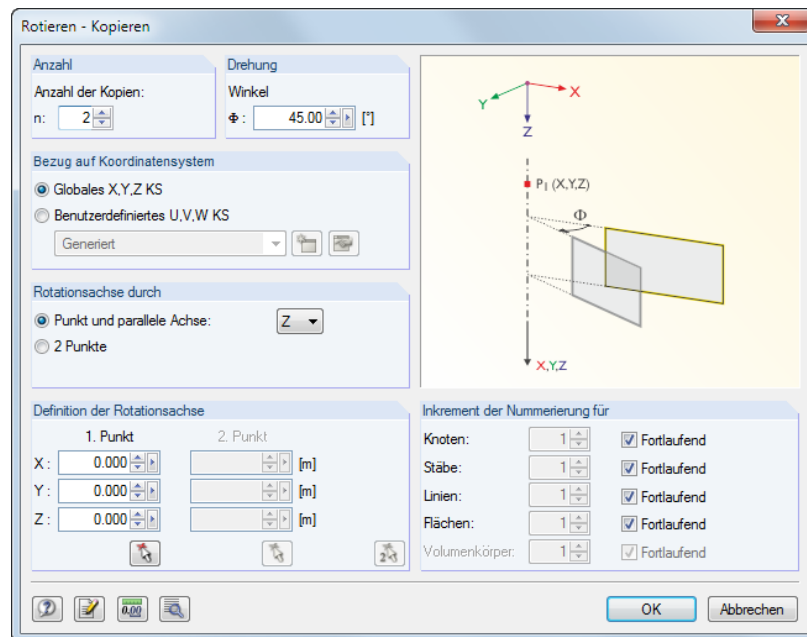


Bild 11.80 Dialog Rotieren


Wenn die *Anzahl* von 0 Kopien eingestellt ist, so werden die selektierten Objekte gedreht. Ansonsten wird die angegebene Anzahl an Kopien erzeugt.

Im Abschnitt *Drehung* ist der Drehwinkel anzugeben. Er ist auf ein rechtsdrehendes Koordinatensystem bezogen.

Die *Rotationsachse* kann über zwei Auswahlfelder festgelegt werden:

- Die Rotationsachse verläuft parallel zu einer Achse des globalen XYZ-Achsensystems.
In diesem Fall ist das erste Auswahlfeld zu aktivieren und in der Liste die relevante Achse auszuwählen. Im Abschnitt *Definition der Rotationsachse* ist ein Punkt anzugeben, durch den die Drehachse verläuft.
- Die Rotationsachse liegt beliebig im Raum.
In diesem Fall ist die zweite Option zu aktivieren. Im Abschnitt *Definition der Rotationsachse* sind dann zwei Punkte anzugeben, die die Drehachse festlegen.

Falls Kopien erzeugt werden, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung für* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.

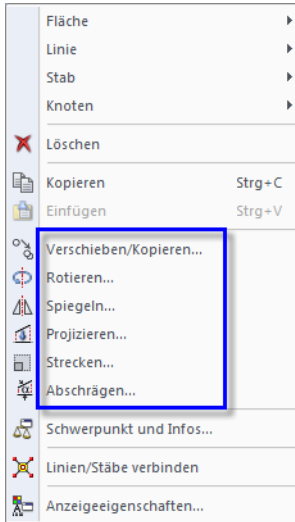
Die Schaltfläche  öffnet einen weiteren Dialog mit nützlichen Optionen, die im Kapitel 11.4.1 beschrieben sind. Die Vorgaben dieses Dialogs steuern auch, ob die Verbindungslinien, die beim Kopieren erzeugt werden, als gerade Linien oder als Kreisbögen angelegt werden.

11.4.3 Spiegeln

Selektierte Objekte können an einer Ebene gespiegelt werden über das Menü

Bearbeiten → **Spiegeln**,

das Objekt-Kontextmenü oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.



Kontextmenü selektierter Objekte



Bild 11.81 Schaltfläche Spiegeln

Es erscheint folgender Dialog.

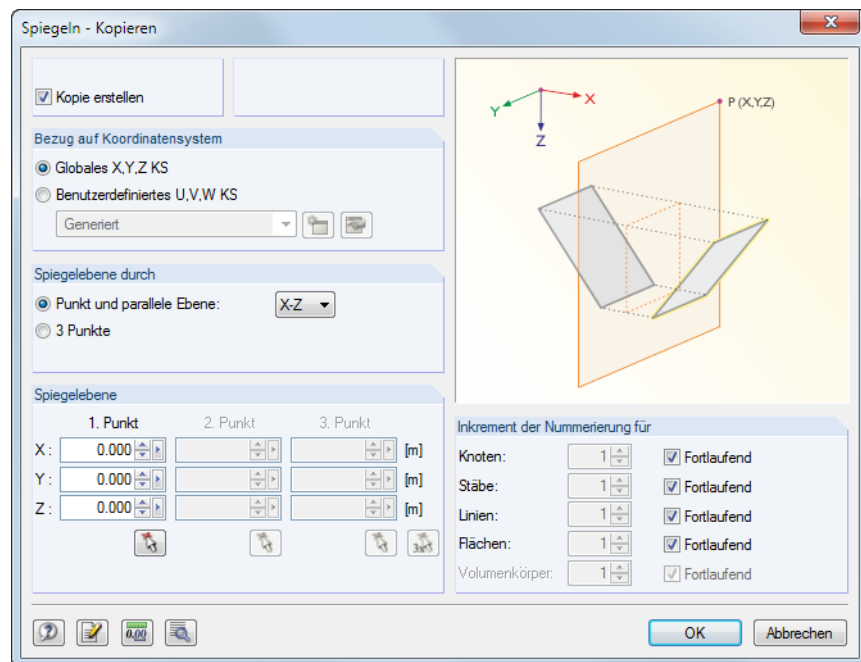


Bild 11.82 Dialog Spiegeln - Kopieren

Soll das Original erhalten bleiben, so ist das Kontrollfeld *Kopie erstellen* anzuhaken.

Die *Spiegelebene* kann über zwei Auswahlfelder festgelegt werden:

- Die Spiegelebene verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsensystems aufgespannt wird. In diesem Fall ist das erste Auswahlfeld zu aktivieren und in der Liste die relevante Ebene auszuwählen. Im Abschnitt *Spiegelebene* ist ein Punkt anzugeben, der in dieser Ebene liegt.
- Die Spiegelebene liegt beliebig im Raum. In diesem Fall ist das zweite Auswahlfeld zu aktivieren. Im Abschnitt *Spiegelebene* sind dann drei Punkte anzugeben, die die Ebene festlegen.

Falls eine Kopie erzeugt wird, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.

Die Schaltfläche  öffnet einen weiteren Dialog mit nützlichen Optionen, die im [Kapitel 11.4.1](#) beschrieben sind.



11.4.4 Projizieren

Diese Funktion ermöglicht es, selektierte Objekte auf eine Ebene zu projizieren. Damit lässt sich beispielsweise der Neigungswinkel von Riegel- oder Sparrenstäben anpassen.

Beispiel

Ein Stab wird in X-Richtung auf die YZ-Ebene projiziert.

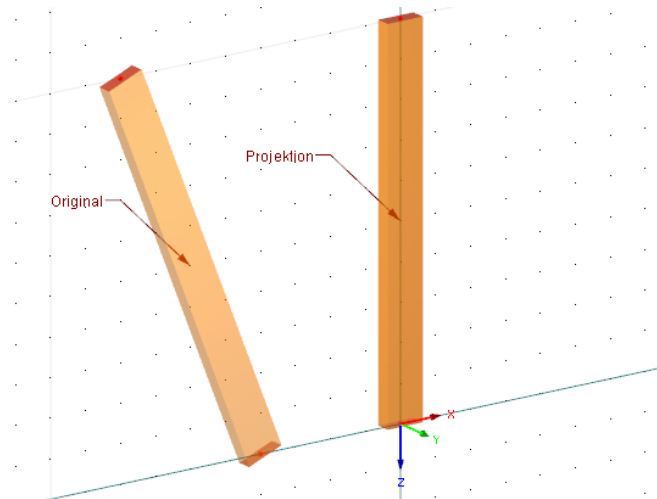
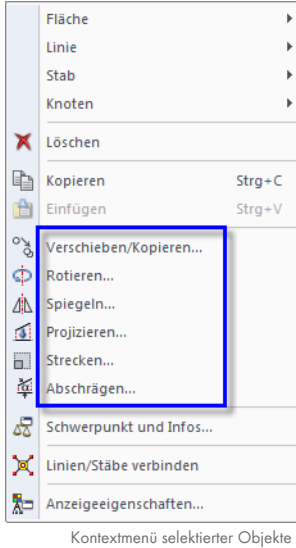


Bild 11.83 Originalstab und projizierte Kopie auf die YZ-Ebene



Der Dialog zur Eingabe der Projektionsparameter wird aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → Projizieren

oder das Kontextmenü der selektierten Objekte.

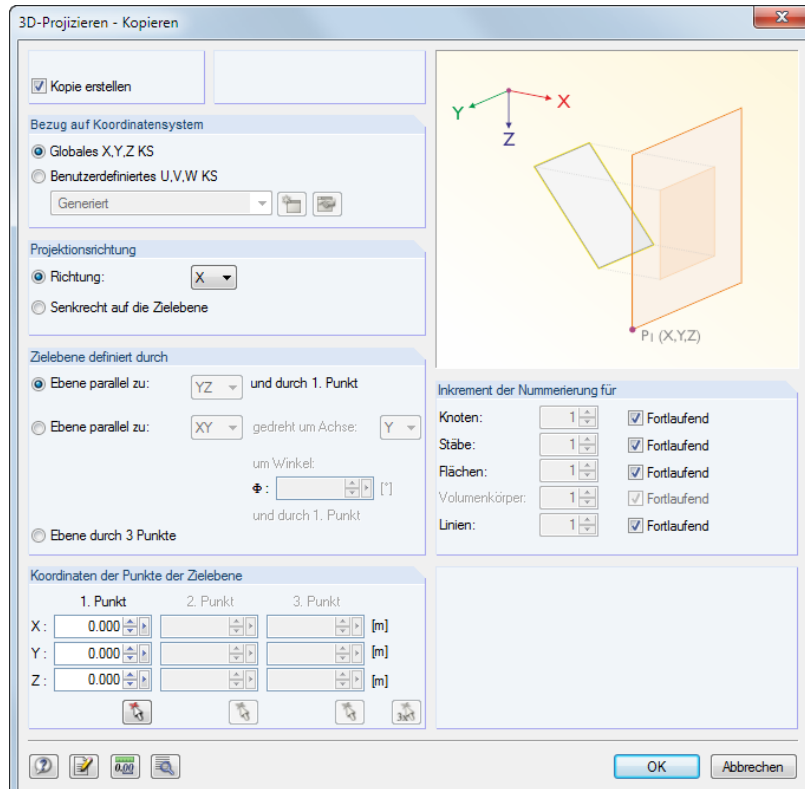


Bild 11.84 Dialog 3D-Projizieren - Kopieren

Soll das Original erhalten bleiben, so ist das Kontrollfeld *Kopie erstellen* anzuhaken.

Im Abschnitt *Projektionsrichtung* wird festgelegt, ob die Objekte in Richtung einer globalen Achse (X, Y bzw. Z) oder senkrecht auf eine beliebige Zielebene projiziert werden.

Die Zielebene kann über drei Auswahlfelder festgelegt werden:

- Die Zielebene verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsensystems aufgespannt wird. In diesem Fall ist das erste Auswahlfeld zu aktivieren und in der Liste die relevante Ebene zu wählen. Im Abschnitt *Koordinaten der Punkte in Zielebene* ist noch ein Punkt anzugeben, der in dieser Ebene liegt.
- Die Zielebene verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsensystems aufgespannt wird, jedoch um eine der Achsen gedreht ist. In diesem Fall ist das zweite Auswahlfeld zu aktivieren. In der Liste sind die relevante Ebene auszuwählen und die Drehachse und der Drehwinkel festzulegen. Im Abschnitt *Koordinaten der Punkte in Zielebene* ist noch ein Punkt anzugeben, der in dieser Ebene liegt.
- Die Zielebene liegt frei im Raum. In diesem Fall ist das dritte Auswahlfeld zu aktivieren. Im Abschnitt *Koordinaten der Punkte in Zielebene* ist die Ebene dann über drei Punkte festzulegen.

Falls eine Kopie erzeugt wird, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.

Die Schaltfläche  öffnet einen weiteren Dialog mit nützlichen Optionen, die im [Kapitel 11.4.1](#) beschrieben sind.

11.4.5 Skalieren

Diese Funktion ermöglicht es, selektierte Objekte mit Bezug auf einen Punkt zu skalieren.

Beispiel

Eine Quadrangelfläche wird vom Ursprung ausgehend gleichmäßig in alle drei Richtungen um den Faktor 2 gestreckt.

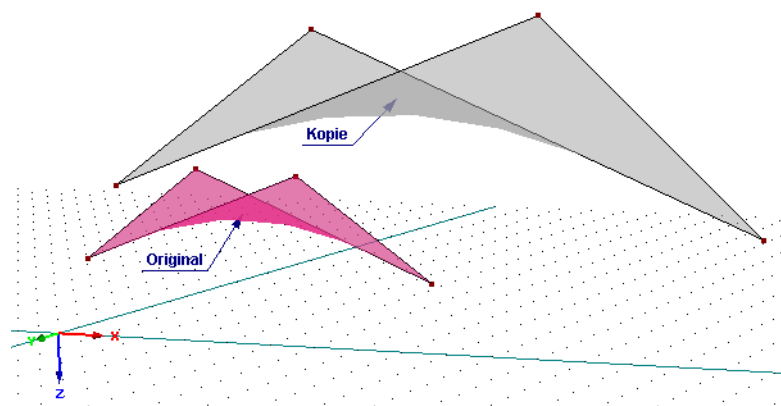


Bild 11.85 Originalfläche und skalierte Kopie



Der Dialog zur Eingabe der Skalierungsparameter wird aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → Skalieren

oder das Kontextmenü der selektierten Objekte (siehe links neben [Bild 11.83](#)).

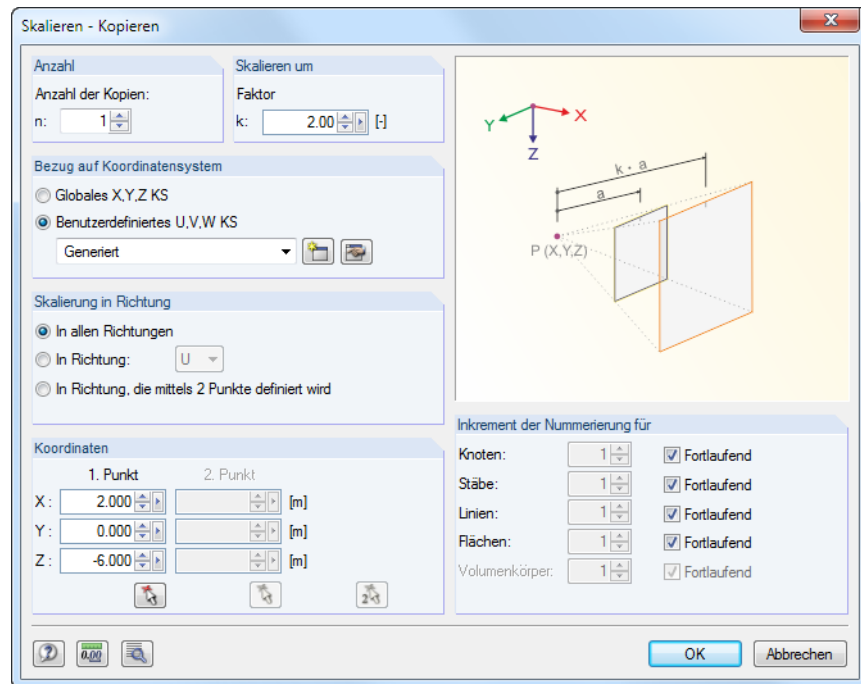


Bild 11.86 Dialog Skalieren - Kopieren

Wenn als *Anzahl* der Kopien **0** eingestellt ist, so werden die selektierten Objekte gestreckt. Ansonsten wird die angegebene Anzahl an Kopien erzeugt.

Der Abschnitt *Skalieren um* verwaltet den Maßstabsfaktor k (siehe Grafik rechts im Dialog).

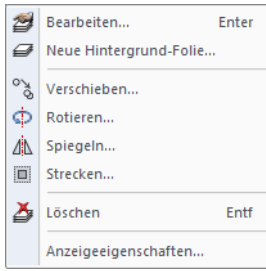
Es stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl, die *Skalierung in Richtung* zu definieren:

Gleichmäßig in X,Y,Z	Es werden alle Objektkoordinaten (X, Y und Z) auf den im Abschnitt <i>Koordinaten</i> definierten Ausgangspunkt bezogen skaliert.
In Richtung: X / Y / Z	Eine der globalen Achsen muss festgelegt werden. Es werden nur diese Koordinaten der Objekte auf den Ausgangspunkt bezogen skaliert, der im Abschnitt <i>Koordinaten</i> definiert ist.
In Richtung, die mittels zwei Punkte definiert wird	Im Abschnitt <i>Koordinaten</i> ist ein Vektor anhand von zwei Punkten anzugeben, in dessen Richtung skaliert wird.

Tabelle 11.7 Abschnitt Skalierung in Richtung

Falls eine Kopie erzeugt wird, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.

Die Schaltfläche  öffnet einen weiteren Dialog mit nützlichen Optionen, die im Kapitel 11.4.1  beschrieben sind.



Hintergrundfolie-Kontextmenü

Es ist auch möglich, Hintergrundfolien zu skalieren. Diese Funktion wird aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → Hintergrund-Folien → Strecken

oder das Hintergrundfolien-Kontextmenü im Daten-Navigator.

Im Dialog *Hintergrund-Folie auswählen* ist zunächst die relevante Folie anzugeben. Der Streckfaktor kann dann im Dialog *Hintergrund-Folie strecken* festgelegt werden (siehe Bild 11.87).

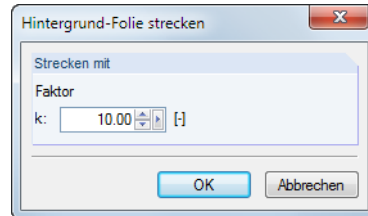


Bild 11.87 Dialog Hintergrundfolie strecken

11.4.6 Abschrägen

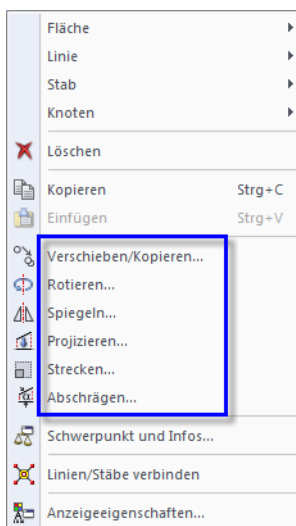
Die Funktion rotiert Objekte um eine Achse und passt dabei nur die Koordinaten einer einzigen Richtung an. Das Abschrägen kann beispielsweise benutzt werden, um horizontale Stäbe in die Neigungsebene eines Daches zu versetzen. Die Stablängen werden angepasst, die horizontalen Komponenten der Koordinaten bleiben unverändert.

Vor dem Aufruf der Funktion sind sowohl die Stäbe als auch die zugehörigen Knoten zu selektieren.

Der Dialog zur Parametereingabe für das Abschrägen wird aufgerufen über das Menü

Bearbeiten → Abschrägen

oder das Kontextmenü der selektierten Objekte.



Kontextmenü selektierter Objekte

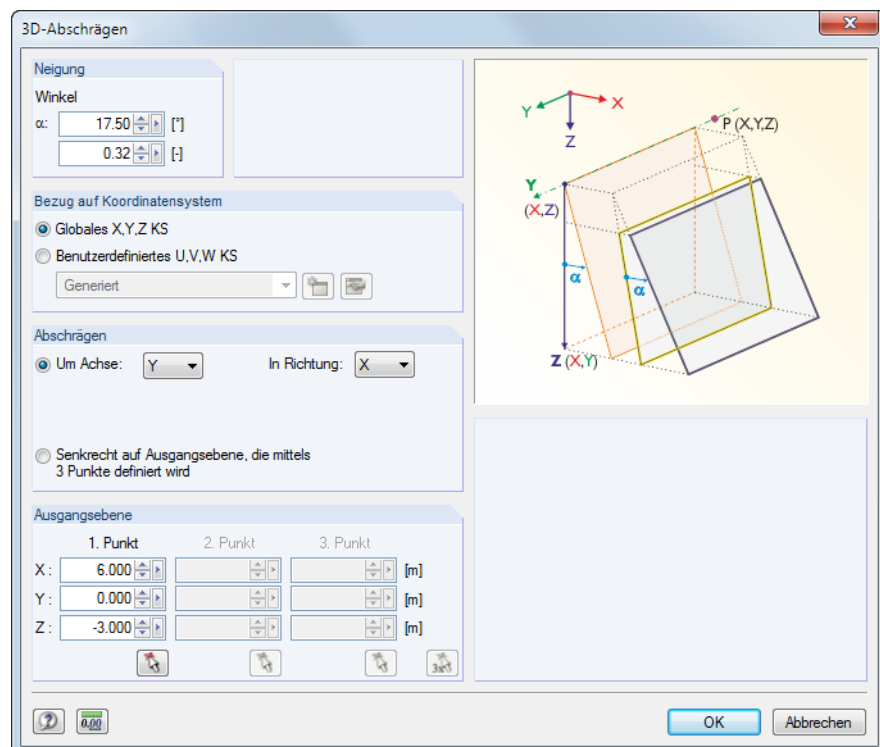


Bild 11.88 Dialog 3D-Abschrägen

Im Abschnitt *Neigung* ist der Drehwinkel in [°] oder [%] anzugeben.

Die Parameter für das *Abschrägen* können über zwei Auswahlfelder festgelegt werden:



- Die Drehachse verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsenystems aufgespannt wird. In diesem Fall ist das Auswahlfeld *Um Achse* zu aktivieren und in der Liste die relevante Drehachse zu wählen. In der Liste *In Richtung* ist anschließend die globale Achse festzulegen, die für die Anpassung der Knotenkoordinaten maßgebend ist. Der Drehpunkt muss dann im Abschnitt *Ausgangsebene* angegeben werden.



- Die Drehachse liegt beliebig im Raum. In diesem Fall ist die zweite Option zu aktivieren. Im Abschnitt *Ausgangsebene* sind die beiden Punkte der Drehachse sowie ein weiterer Punkt zur Bestimmung der Ebene anzugeben. Die Auswahl der Punkte kann auch grafisch erfolgen.

11.4.7 Linien und Stäbe teilen

Linien und Stäbe lassen sich schnell teilen: Klicken Sie das Objekt mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü die Funktion *Linie teilen* bzw. *Stab teilen*.

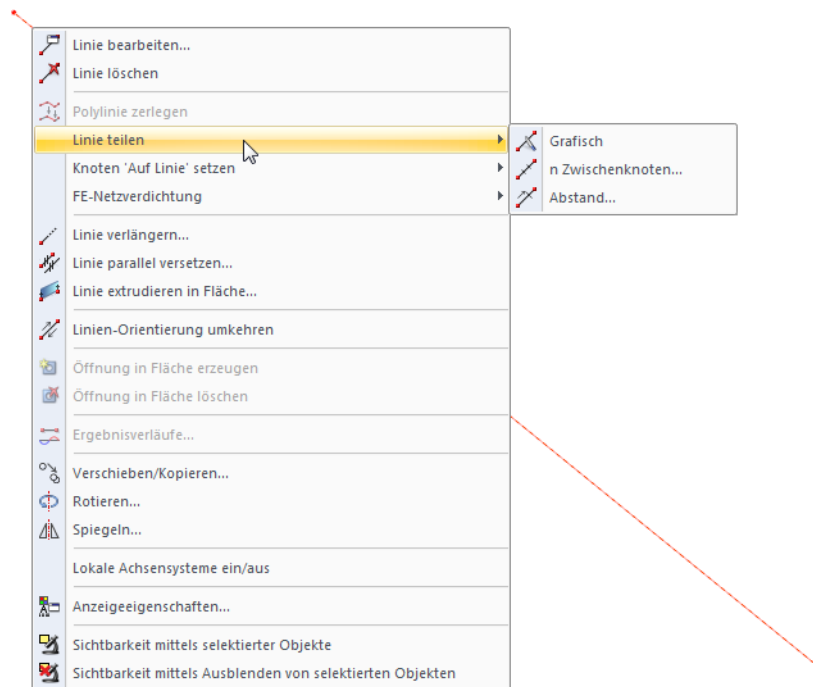


Bild 11.89 Kontextmenü *Linie teilen*

Das Kontextmenü bietet drei Teilungsmöglichkeiten an.

Grafisch

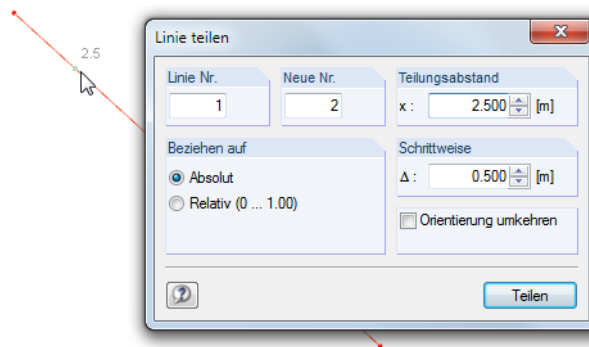


Bild 11.90 Dialog *Linie teilen*

Es erscheint der Dialog *Linie teilen*. Wird der Mauszeiger entlang der Linie bewegt, so wird er in den Abständen der eingestellten Schrittweite gefangen. Ein Mausklick legt den Teilungspunkt dann fest. Der Bezug der Teilungsabstände kann in absoluten Strecken oder relativ zur Gesamtlänge vorgegeben werden.

Im Dialog kann der *Teilungsabstand* auch direkt eingetragen werden. Zuvor sind die zu teilende Linie im Feld *Linie-Nr.* und die Nummer der neuen Linie im Feld *Neue Nr.* anzugeben. Soll der Teilungsabstand auf das Liniende bezogen werden, kann die Linienrichtung mit dem Kontrollfeld *Orientierung umkehren* geändert werden.

n Zwischenknoten

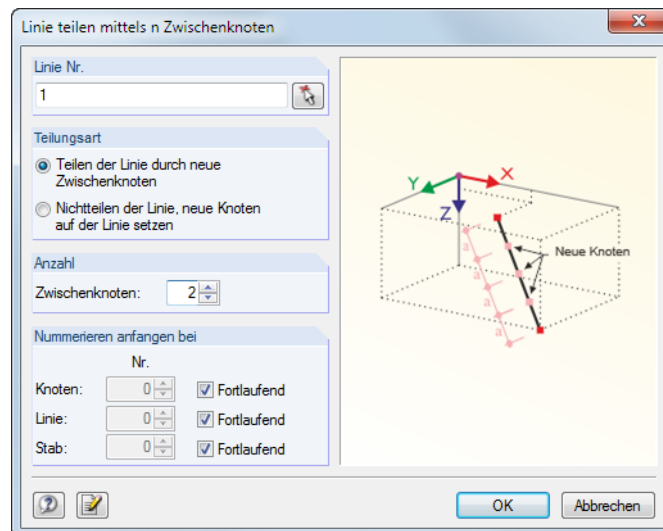


Bild 11.91 Dialog *Linie teilen mittels n Zwischenknoten*

Mit dieser Funktion wird die Linie gleichmäßig in mehrere Teilstücke aufgeteilt. Im Abschnitt *Anzahl* kann die Anzahl der *Zwischenknoten* für die Teilung festgelegt werden.

Entweder wird die Linie durch *neue Zwischenknoten* in „echte“ Linien geteilt, oder die Linie bleibt erhalten, wobei in gleichmäßigen Abständen *Knoten auf der Linie* erzeugt werden. In der Regel ist die echte Teilung zu bevorzugen. Falls jedoch der Verlauf einer B-Spline-Linie beim Teilen verändert werden sollte, ist die zweite Option die bessere Wahl.

Im Abschnitt *Nummerieren anfangen bei* kann die Nummerierung der neuen Knoten, Linien und Stäbe beeinflusst werden.

Abstand

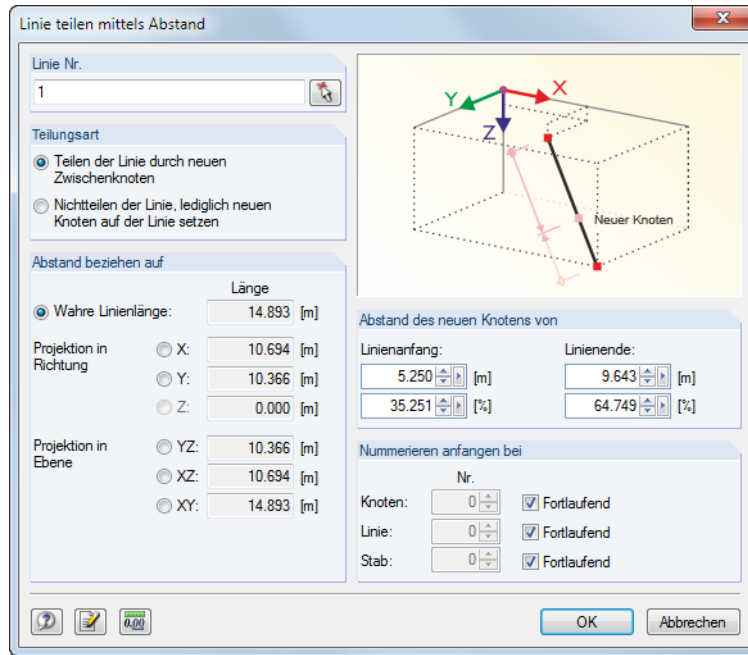


Bild 11.92 Dialog *Linie teilen mittels Abstand*

Diese Funktion erzeugt einen Teilungsknoten an einer bestimmten Stelle der Linie.

Entweder wird die Linie durch einen *neuen Zwischenknoten* in „echte“ Linien geteilt, oder die Linie bleibt erhalten, wobei ein *Knoten auf der Linie* erzeugt wird.

Der Abschnitt *Abstand beziehen auf* steuert den Bezug des Teilungsabstandes: Der Abstand kann auf die wahre Linienlänge (Regelfall) oder auf eine Projektion bezogen werden.

Der *Abstand des neuen Knotens* vom Anfangs- oder Endknoten der Linie ist als Absolutwert oder relativ zur Gesamtlänge anzugeben. Die vier Eingabefelder wirken interaktiv.



Zur Eingabe des Abstandes ist es wichtig, die Linien- bzw. Stabrichtung zu kennen. Die Orientierungen und Achsensysteme von Linien und Stäben lassen sich über das Kontextmenü oder im Zeigen-Navigator einblenden (siehe [Bild 4.26](#) und [Bild 4.169](#)).

Der Abschnitt *Nummerieren anfangen bei* steuert die Nummerierung der neuen Objekte.

11.4.8 Linien und Stäbe verbinden

Diese Funktion verbindet Linien und Stäbe, die sich kreuzen, jedoch keinen gemeinsamen Knoten besitzen.

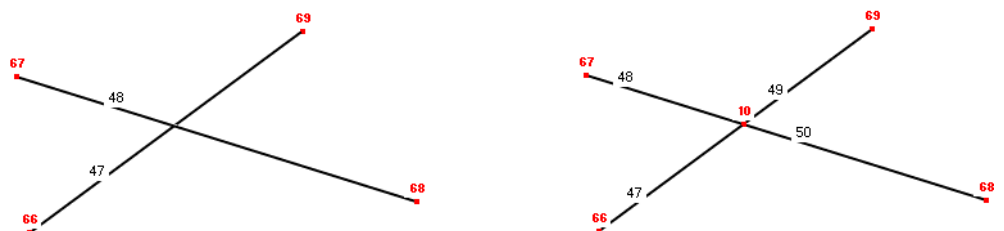


Bild 11.93 Links Original (kreuzende, unverbundene Linien) und rechts Ergebnis (verbundene Linien)



Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Extras → Linien/Stäbe verbinden

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

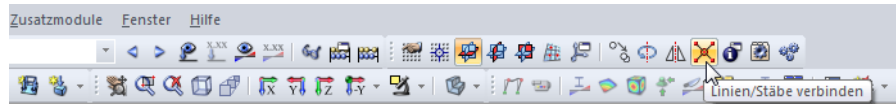


Bild 11.94 Schaltfläche *Linien/Stäbe verbinden*

Ziehen Sie im Arbeitsfenster einfach ein Fenster über dem Bereich auf, in dem Sie die Linien oder Stäbe verbinden wollen. Die Objekte brauchen nicht vollständig erfasst werden.

Mit der Funktion kann beispielsweise der Durchdringungspunkt einer Linie mit einer Fläche ermittelt werden.

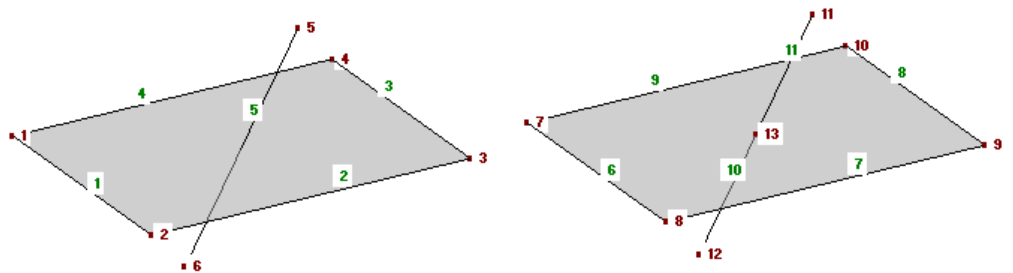



Bild 11.95 Schnittpunkt zwischen Linie und Fläche erzeugen: Original (links) und Kopie mit Ergebnis (rechts)

Diese Funktion lässt sich auch zum grafischen Setzen neuer Linien oder Stäbe nutzen (siehe Bild 11.96). Verbindungsknoten werden jedoch nur dann erzeugt, wenn Linien/Stäbe an andere Linien/Stäbe angeschlossen werden, d. h. dort enden. Beim Setzen eines Diagonalverbandes wird kein Kreuzungsknoten generiert.

Im Dialog *Neue Linie* bzw. *Neuer Stab* kann über die Schaltfläche  festgelegt werden, ob die Linien bzw. Stäbe beim Setzen automatisch verbunden werden.

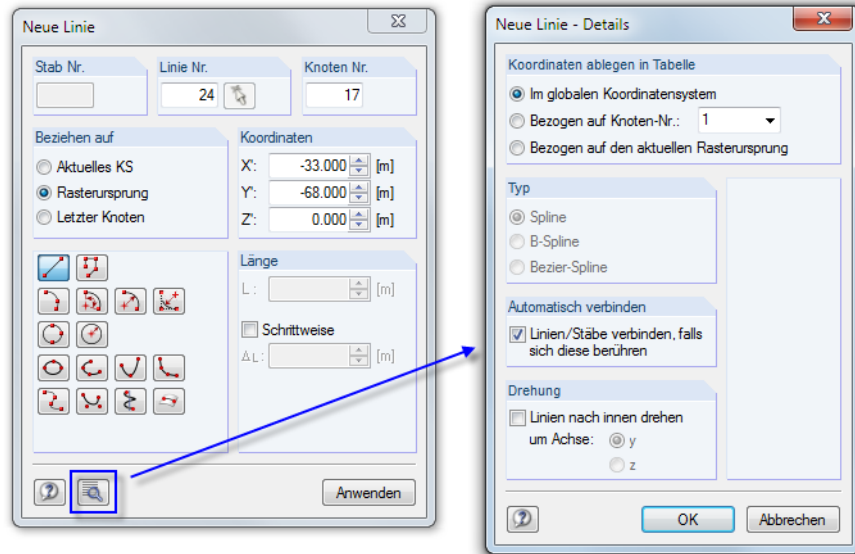


Bild 11.96 Dialog *Neue Linie - Details*

11.4.9 Linien und Stäbe verschmelzen

Aneinander anschließende Linien oder Stäbe lassen sich zu einer einzigen Linie bzw. einem einzigen Stab vereinen. Diese Funktion steht nur im Knoten-Kontextmenü zur Verfügung, das mit einem Klick mit der rechten Maustaste auf den Teilungsknoten aufgerufen wird.

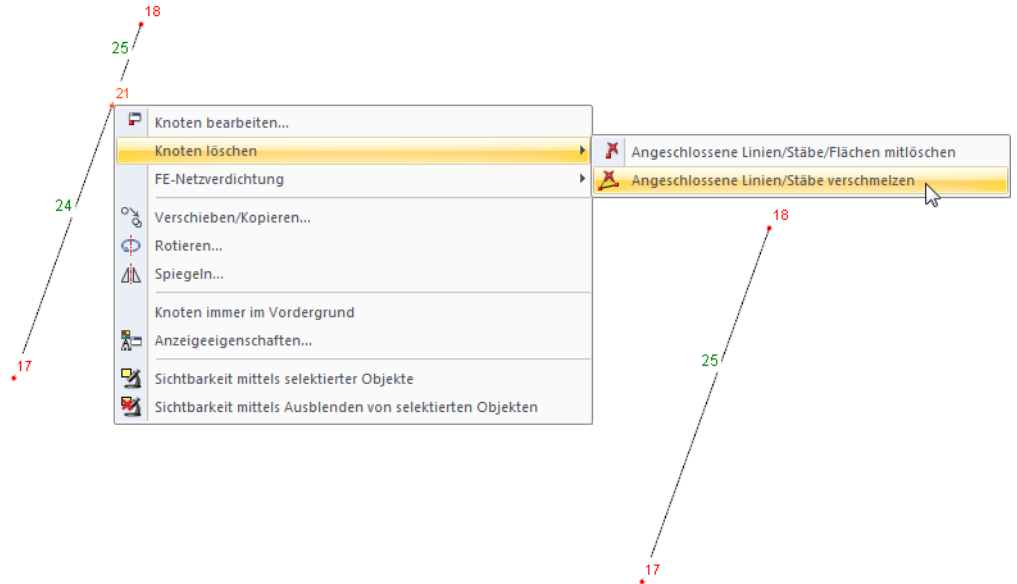


Bild 11.97 Kontextmenü *Knoten löschen* → *Angeschlossene Linien/Stäbe verschmelzen* mit Ergebnis

Während die [Entf]-Taste den selektierten Knoten und damit die angeschlossenen Linien, Stäbe und Flächen löscht, bestehen im Kontextmenü erweiterte Möglichkeiten zum *Knoten löschen* — jedoch nur für Knoten, an die genau zwei Linien oder Stäbe anschließen.

Falls die Linien oder Stäbe nicht auf einer Geraden liegen, erzeugt RFEM beim Verschmelzen eine neue Linie bzw. einen neuen Stab zwischen den Randknoten.

11.4.10 Linien und Stäbe verlängern

Mit dieser Funktion kann die Länge einer Linie bzw. eines Stabes allgemein angepasst oder die Linie bis zu einer anderen Linie verlängert werden.

Diese Bearbeitungsfunktion wird über das Linien-Kontextmenü (siehe Bild 11.89) bzw. das links dargestellte Stab-Kontextmenü aufgerufen.

Es erscheint der Dialog *Linie verlängern* bzw. *Stab verlängern*.

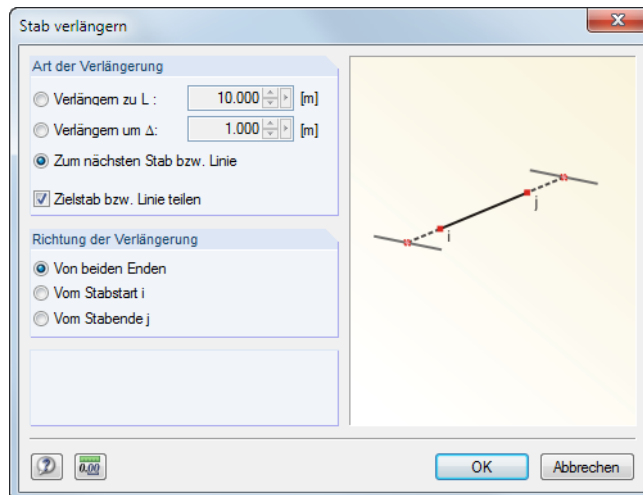


Bild 11.98 Dialog *Stab verlängern*

Der Abschnitt *Art der Verlängerung* bietet drei Auswahlfelder an:

- *Verlängern zu L* ändert die Gesamtlänge der Linie bzw. des Stabes auf das benutzerdefinierte Maß.
- *Verlängern um Δ* verlängert eine oder beide Stabseiten um einen bestimmten Betrag oder verkürzt diese Seite(n), falls der Wert im Eingabefeld negativ ist.
- *Zum nächsten Stab bzw. Linie* bewirkt eine Verlängerung zur nächstliegenden Linie, die einen Schnittpunkt mit der Geraden der Linie bzw. des Stabes bildet. Wenn das Kontrollfeld *Zielstab bzw. Linie teilen* angehakt ist, so werden die Objekte automatisch verbunden.

Die *Richtung der Verlängerung* ist im Abschnitt unterhalb anzugeben: *Von beiden Enden* bewirkt eine beidseitige Anpassung. Dabei wird entweder die Gesamtlänge L auf die Linien- bzw. Stabmitte bezogen, oder es wird die Linie beidseits um den Wert Δ bzw. bis zu den beiden nächsten Linien verlängert. Alternativ werden die Auswahlfelder *Vom Stabanfang i* oder *Vom Stabende j* benutzt, um die Länge der Linie bzw. des Stabes nur auf einer Seite anzupassen.

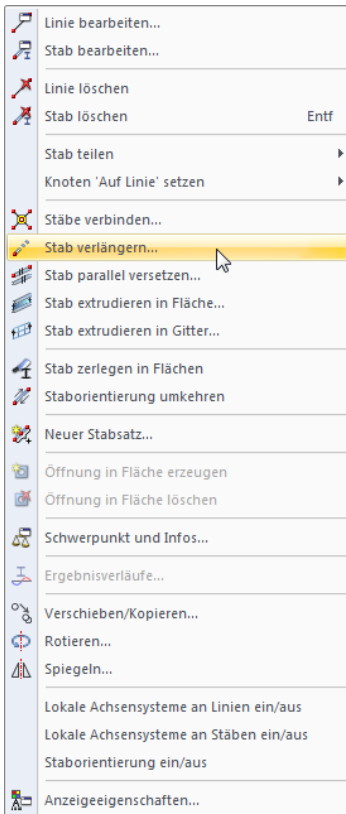
Die Linien- bzw. Staborientierungen können über den Zeigen-Navigator angezeigt werden (siehe Bild 4.26).

11.4.11 Stäbe anschließen

Bei dieser Funktion ist es — anders als beim Verbinden von Stäben (siehe Kapitel 11.4.8) — nicht erforderlich, dass ein gemeinsamer Schnittpunkt vorliegt. Damit können freie Stäbe, die sich in einem gewissen Abstand von einem Stab befinden, an die Knoten dieses Stabes angeschlossen werden. Falls jedoch der Anschluss in Verlängerung eines Stabes erfolgen soll, so ist die Funktion *Stab verlängern* zu verwenden (siehe Kapitel 11.4.10).

Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Stäbe anschließen**.



Stab-Kontextmenü



Es erscheint folgender Dialog.

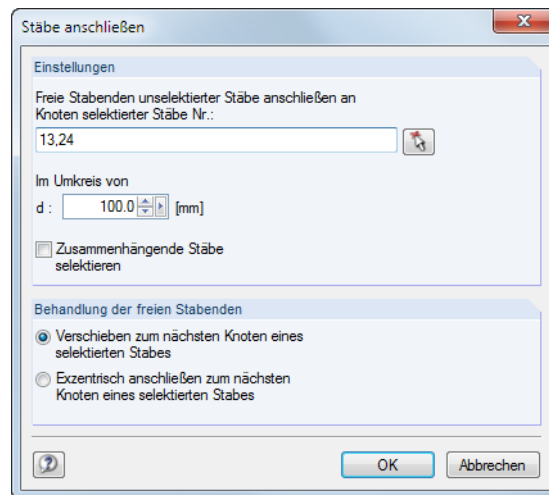



Bild 11.99 Dialog Stäbe anschließen

Im Abschnitt *Einstellungen* ist die Nummer des Stabes anzugeben oder mit  grafisch auszuwählen, an dessen Knoten die freien Stäbe angeschlossen werden sollen. Das Eingabefeld unterhalb gibt den *Umkreis* vor, in dem freie Stabenden gesucht werden. Falls das Kontrollfeld *Zusammenhängende Stäbe selektieren* angehakt ist, werden auch Stäbe, die mit einem bereits selektierten Stab verbunden sind, in die Stabliste des oberen Eingabefeldes aufgenommen.

Der Abschnitt *Behandlung der freien Stabenden* steuert, wie die freien Stabenden mit den selektierten Stäben verbunden werden: Sie werden entweder an die Knoten der selektierten Stäbe verschoben oder durch exzentrische Anschlüsse mit ihnen verbunden.

11.4.12 Knoten einfügen

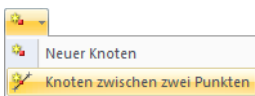
Mit dieser Funktion kann ein neuer Knoten zwischen zwei beliebigen Knoten erzeugt werden. Damit ist es nicht erforderlich, eine Linie zu definieren und dann durch einen Zwischenknoten zu teilen (siehe Kapitel 11.4.7 [☞](#)).

Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Knoten** → **Knoten zwischen zwei Punkten**

oder die [Knoten]-Listenschaltfläche.

Die beiden Punkte (Knoten, Rasterpunkte, beliebige Punkte) sind nacheinander im Arbeitsfenster anzuklicken. Danach erscheint folgender Dialog.



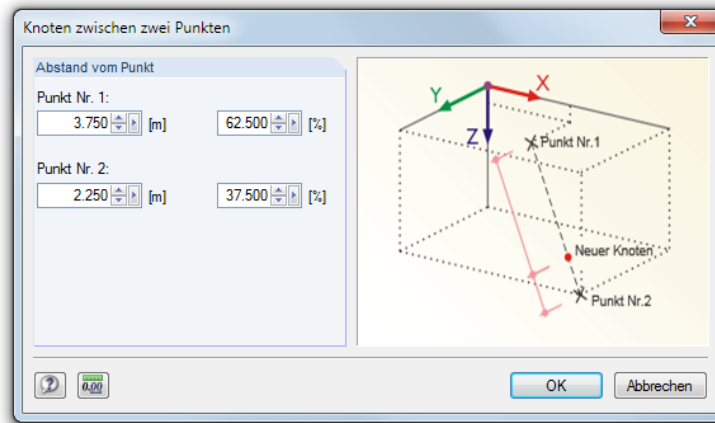


Bild 11.100 Dialog Knoten zwischen zwei Punkten

Der *Abstand vom Punkt* kann in Absolut- oder Relativwerten festgelegt werden. Das Arbeitsfenster zeigt Änderungen sofort an. Mit [OK] wird dann der neue Knoten erzeugt.

11.4.13 Stab einfügen

Diese Funktion ermöglicht es, an einem bestehenden Stab einen Abschnitt zu definieren, der andere Querschnitteigenschaften besitzt. Der ursprüngliche Stab wird dabei durch zwei Zwischenknoten geteilt.

Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Stäbe** → **Grafisch** → **Eingefügter Stab.**

Nach der Auswahl des Stabes erscheint folgender Dialog.

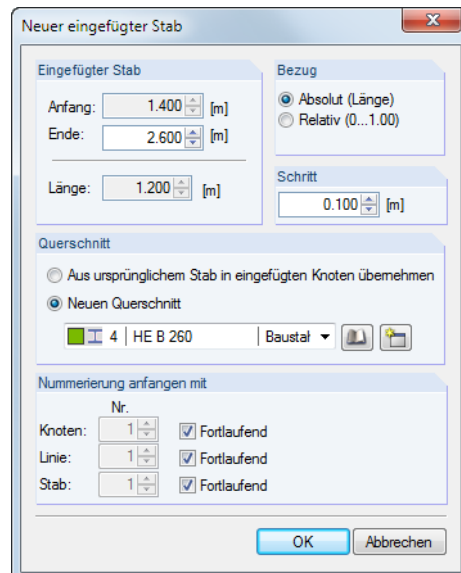
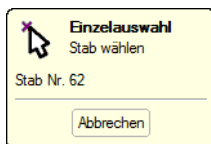


Bild 11.101 Dialog Neuer eingefügter Stab

Die beiden Teilungspunkte sind im Arbeitsfenster mit Mausklicks festzulegen. Ein Kreuz an der Mauszeigerposition kennzeichnet den aktuellen Teilungspunkt am Stab. Die Abstände, in denen der Mauszeiger entlang des Stabes wandert, werden über das Eingabefeld *Schritt* gesteuert.

In den beiden Eingabefeldern des Abschnitts *Eingefügter Stab* werden die x-Stellen der Anfangs- und

Endknoten angezeigt und können dort ggf. manuell geändert werden. Unterhalb erscheint die *Länge* des Zwischenstabes.

Der Abschnitt *Bezug* steuert, ob sich die Teilungsabstände auf die absoluten Längen oder die relativen Abstände vom Stabanfang beziehen.



Der *Querschnitt* kann entweder belassen oder aus bereits definierten Profilen der Liste neu zugewiesen werden. Die links dargestellten Schaltflächen ermöglichen es, einen Querschnitt aus der [Bibliothek] zu wählen oder [Neu] anzulegen.

Der Abschnitt *Nummerieren anfangen mit* steuert die Nummerierung der neuen Objekte.

11.4.14 Stabeigenschaften grafisch zuordnen

Mit dieser Funktion können die Stab-Definitionskriterien Querschnitt, Gelenk und Exzentrizität grafisch auf bereits angelegte Stäbe übertragen werden.



Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Stäbe** → **Stabeigenschaften grafisch zuordnen**

bzw.

Bearbeiten → **Modelldaten** → **Stäbe** → **Stabeigenschaften grafisch zuordnen**.

Es erscheint folgender Dialog.

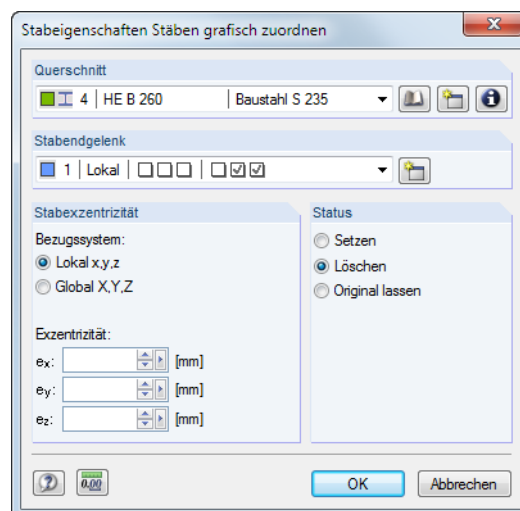


Bild 11.102 Dialog Stabeigenschaften Stäben grafisch zuordnen



Der *Querschnitt* kann in der Liste gewählt oder über die links dargestellten Schaltflächen aus der [Bibliothek] gewählt bzw. [Neu] angelegt werden. Falls erforderlich, wird das *Stabengelenk* ebenfalls in der Liste festlegt oder als Gelenktyp [Neu] erstellt (siehe [Kapitel 4.14](#)).

Die *Stabexzentrizität* kann auf das lokale Stabachsensystem x,y,z oder das globale Koordinatensystem X,Y,Z bezogen werden und ist — sofern relevant — in den entsprechenden Eingabefeldern zu definieren (siehe [Kapitel 4.15](#)).

Der Abschnitt *Status* steuert, ob eine Stabexzentrizität neu zugewiesen (*Setzen*) oder entfernt (*Löschen*) wird. *Original lassen* ändert nur den Querschnitt und das Stabengelenk, nicht aber eine vorhandene Exzentrizität.

Nach [OK] sind die Stäbe grafisch in den Drittelpunkten geteilt (siehe [Bild 4.143](#)). Nun können die Stabseiten angeklickt werden, die die gewählten Eigenschaften (z. B. ein Gelenk) erhalten sollen. Wird ein Stab im Mittelbereich angeklickt, so wird das Gelenk oder die Exzentrizität beiden Stabenden zugeordnet.

11.4.15 Ecke abrunden



Ecken und Kanten im Modell können zu Singularitätseffekten führen. Die Funktion, Ecken realitätsnah mit Ausrundungsradien zu modellieren, wird aufgerufen über das Menü

Extras → Ecke abrunden oder abwinkeln.

Die beiden Linien brauchen vorher nicht selektiert werden. Es erscheint folgender Dialog.

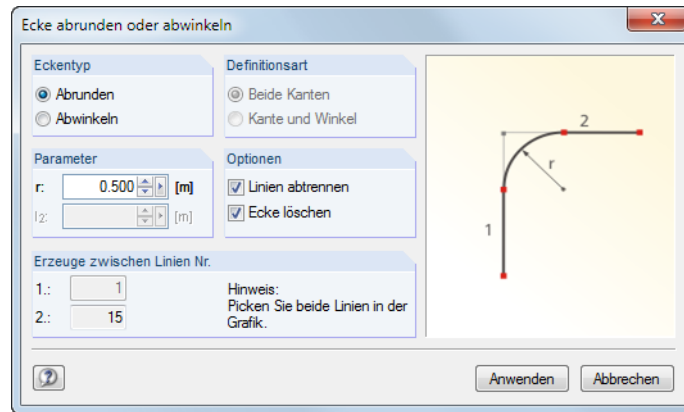


Bild 11.103 Dialog Ecke abrunden oder abwinkeln

Im Abschnitt *Eckentyp* ist anzugeben, ob der Eckbereich abgerundet oder abgewinkelt werden soll. Je nach Vorgabe ist im Abschnitt *Parameter* der Ausrundungsradius r oder die Verkürzung um die Längen l_1 und l_2 anzugeben.

Die beiden Linien sind dann — ohne Schließen des Dialogs — im Arbeitsfenster per Mausclick auszuwählen. Im Abschnitt *Erzeuge zwischen Linien Nr.* werden die Nummern der Linien angezeigt.

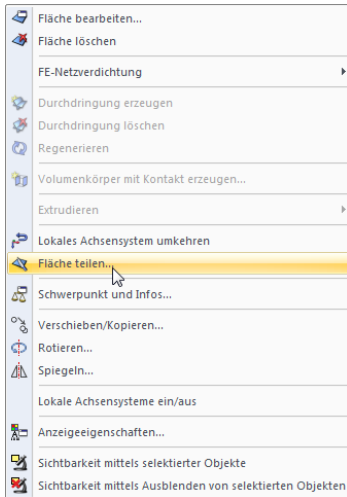
Ist das Kontrollfeld *Linien abtrennen* aktiv, werden nach dem Erzeugen des Bogens bzw. der neuen Linie die Überstände der ursprünglichen Linien im Eckbereich gelöscht. Die Option *Ecke löschen* entfernt auch den Knoten in der Ecke.

11.4.16 Fläche teilen

Im Zuge der Modellierung kann es erforderlich sein, eine Fläche in kleinere Flächen zu unterteilen.

Eine ebene Fläche muss durch vier Linien definiert sein. Sie darf keine einspringende Ecke aufweisen. Bei den Linien darf es sich nicht um Durchdringungen, Trajektorienkurven o. ä. handeln.

Um eine Fläche zu teilen, klicken Sie diese mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü die Funktion *Fläche teilen*. Diese Funktion steht nicht nur bei ebenen Flächen, sondern auch bei Quadrangel- und Rotationsflächen, Rohren etc. zur Verfügung.



Fläche-Kontextmenü

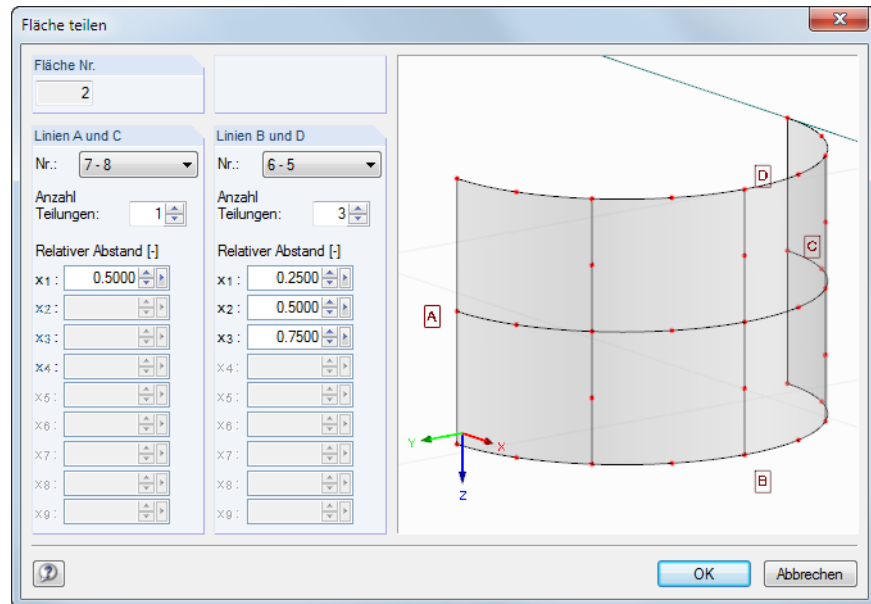


Bild 11.104 Dialog Fläche teilen

Im Dialog *Fläche teilen* erscheint eine Vorschau mit einer vorgeschlagenen Teilung, die die Parameter verdeutlicht. Wird die *Anzahl der Teilungen* für die beiden Randlinienpaare A und C sowie B und D geändert, zeigt die Grafik sofort die neuen Teilflächen an.

Für jede der Teilungslinien kann ein *Relativer Abstand* festgelegt werden, der auch unregelmäßige Teilungsmuster ermöglicht.

Im Grafikenster lassen sich die üblichen Mausfunktionen wie z. B. Zoomen oder Drehen nutzen, um die Ansicht zu ändern (siehe [Kapitel 3.4.9](#)).

11.4.17 Tangente zu Kreisen konstruieren



Die Tangente zu einem Bogen oder Kreis lässt sich auf einfache Weise über den Objektfang erzeugen (siehe Kapitel 11.3.3 [☐](#)). Eine spezielle Funktion ermöglicht es, auch die Tangente(n) zu zwei Kreisen oder Kreisbögen zu finden. Sie wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Tangente zu zwei Kreisen/Bögen.**

Es erscheint folgender Dialog.

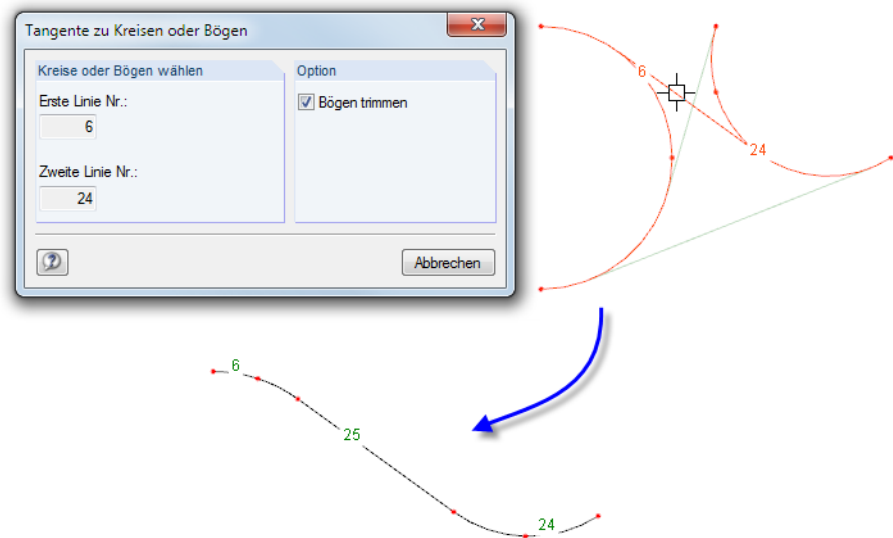


Bild 11.105 Dialog Tangente zu Kreisen oder Bögen (oben) mit Ergebnis (unten)

Zunächst sind die beiden Kreis- oder Bogenlinien nacheinander im Arbeitsfenster anzuklicken. Die möglichen Tangenten werden als graue Linien skizziert. Klicken Sie nun die relevante Linie an. RFEM teilt die Kreis- oder Bogenlinien durch Knoten und erzeugt die Tangente als neue Linie.

Mit der Option *Bögen trimmen* lassen sich überstehende Linienabschnitte, die nach der Teilung entstehen, automatisch entfernen (siehe Bild oben).

11.4.18 Nummerierung ändern

Eine regelmäßige, strukturierte Nummerierung erweist sich sowohl für die Modellierung als auch für die Auswertung als vorteilhaft. Grafische Eingaben und nachträgliche Änderungen können jedoch Unordnung in die Nummerierung bringen.

Es bestehen drei Möglichkeiten, die Reihenfolge der Nummerierung nachträglich anzupassen. Diese Funktionen sind enthalten im Menü

Extras → **Umnummerieren.**

Die Belastungen stellen kein Problem beim Ändern der Nummerierung dar, denn die zugewiesenen Lasten werden automatisch auf die neuen Nummern der Objekte übertragen.

Einzeln

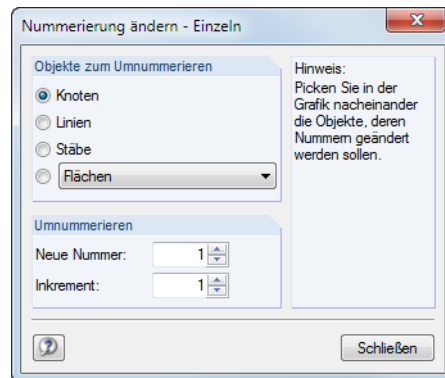


Bild 11.106 Dialog Nummerierung ändern - Einzeln

Im Abschnitt *Objekt zum Umnummerieren* wird festgelegt, ob Knoten, Linien, Stäbe oder andere Modellobjekte der Liste umnummeriert werden sollen. Die Startnummer der neuen Nummerierung sowie das Inkrement sind im Abschnitt *Umnummerierung* anzugeben.

Nach dem [Schließen] des Dialogs können die relevanten Objekte nacheinander im Arbeitsfenster angeklickt werden. Dabei ist zu beachten, dass RFEM nur freie, noch nicht belegte Nummern vergeben kann.

Schließen

Automatisch

Zunächst sind die Knoten, Linien, Stäbe, Flächen oder Volumen zu selektieren (siehe [Kapitel 11.2.1](#)), deren Nummerierung angepasst werden soll. Anschließend ist folgender Dialog aufzurufen.

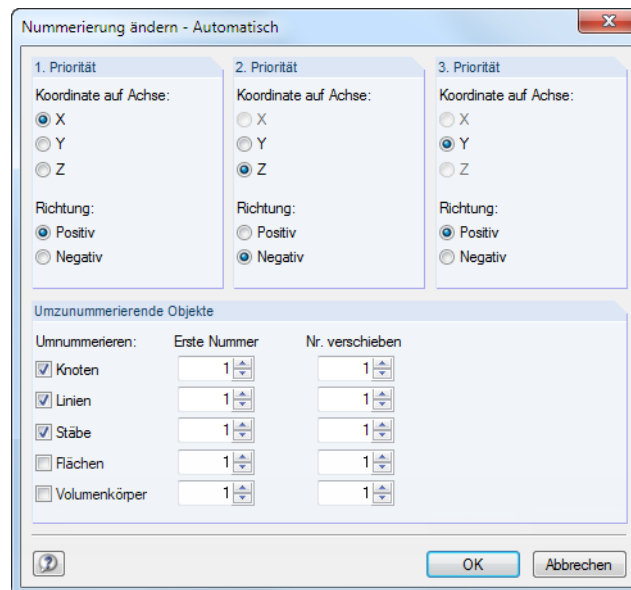


Bild 11.107 Dialog Nummerierung ändern - Automatisch

Im Dialog ist anzugeben, welche *Priorität* die globalen Richtungen X, Y oder Z für die neue Nummerierung haben. Zudem muss festgelegt werden, ob die aufsteigende Nummerierung in *Richtung* der jeweiligen positiven oder negativen Achse erfolgen soll.

Im Beispiel oben erhalten zunächst die Knoten (sowie Linien und Stäbe) mit den kleinsten X-Koordinaten neue Nummern. Die Knoten werden in positiver X-Richtung abgearbeitet. Wenn zwei Knoten identische X-Koordinaten haben, entscheidet die 2. Priorität, welcher Knoten die niedrigere Nummer erhält: Dies ist der Knoten mit der kleineren Y-Koordinate. Sollten auch die Y-Koordinaten identisch sein, gibt die 3. Priorität den Ausschlag.

Der Abschnitt *Umzunummerierende Objekte* regelt, welche Knoten, Linien, Stäbe, Flächen oder Volumen neu nummeriert und welche Startnummern und Inkremente beim Umnummerieren verwendet werden sollen. Bereits besetzte Nummern dürfen nicht vergeben werden. RFEM erlaubt aber die Vorgabe belegter Nummern, wenn sie durch das Umnummerieren frei werden.

Verschieben

Zunächst sind die Objekte zu selektieren, deren Nummerierung angepasst werden soll. Anschließend ist über das Menü **Extras** → **Umnummerieren** folgender Dialog aufzurufen.

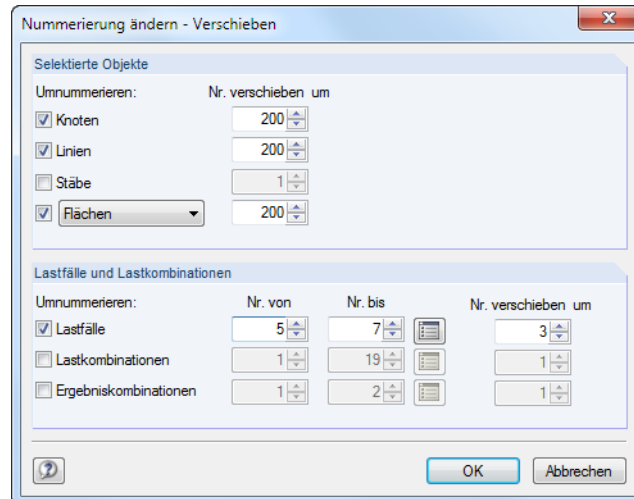
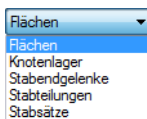


Bild 11.108 Dialog Nummerierung ändern - Verschieben



Im Abschnitt *Selektierte Objekte* ist festzulegen, welche Objekte umnummeriert werden sollen: Neben Knoten, Linien und Stäben stehen in der Liste weitere Objekte des Modells zur Auswahl (siehe Bild links). In Spalte *Nr. verschieben um* kann dann angegeben werden, um welchen Wert die Nummern der gewählten Objekte höher gesetzt werden sollen. Mit negativen Inkrementen kann die Nummerierung auch herabgesetzt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Nummern kleiner als 1 entstehen.

Im Abschnitt *Lastfälle und Lastkombinationen* kann die Nummerierung von Lastfällen, Last- und Ergebniskombinationen angepasst werden. Die Nummern der Lastfälle und Kombinationen sind als Liste in den Spalten *Nr. von* und *Nr. bis* anzugeben. Die Spalte *Nr. verschieben um* steuert, um welchen Wert die Nummern der Lastobjekte jeweils höher gesetzt werden.

Nach [OK] werden die Nummern verschoben. Dabei ist zu beachten, dass für die diversen Modell- und Lastobjekte nur freie, noch nicht belegte Nummern neu vergeben werden können.

11.5

Tabellenfunktionen

11.5.1 Bearbeitungsfunktionen

Die Bearbeitungsfunktionen sind Werkzeuge, die die Eingabe in den Tabellen erleichtern (siehe Kapitel 3.4.4). Im Gegensatz zu den im folgenden Kapitel 11.5.2 beschriebenen Selektionsfunktionen ist es nicht erforderlich, vorher Zellen zu selektieren. Die Bearbeitungsfunktionen wirken sich nur auf die Zelle aus, in der sich der Cursor befindet.

Die Tabellen können über das Menü

Tabelle → Anzeigen

oder die links dargestellte Schaltfläche ein- und ausgeblendet werden.

**Bearbeitungsfunktionen aufrufen**

Damit die Bearbeitungsfunktionen für die Tabelle wirksam werden, muss der Cursor in einer Zelle der Tabelle platziert sein. Die Funktionen sind zugänglich im Menü

Tabelle → Bearbeiten.

Einige Bearbeitungsfunktionen sind in der Symbolleiste der Tabelle zu finden.

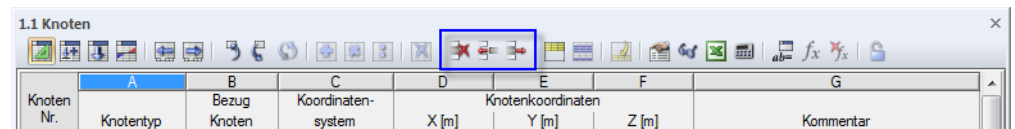


Bild 11.109 Schaltflächen für einige Bearbeitungsfunktionen in der Tabellen-Symbolleiste

Alternativ werden die Funktionen über das Kontextmenü in der Tabelle aufgerufen.

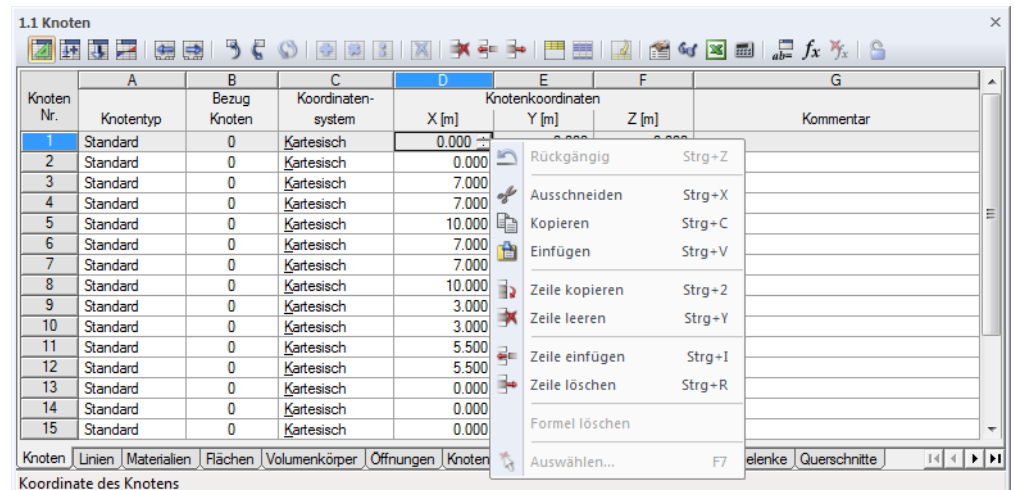


Bild 11.110 Bearbeitungsfunktionen im Tabellen-Kontextmenü

Funktionen und Steuerbefehle

Funktion	Wirkung
Ausschneiden [Strg+X]	Der Inhalt der Zelle wird entfernt und in der Zwischenablage gesichert.
Kopieren [Strg+C]	Der Inhalt der Zelle wird in die Zwischenablage kopiert.
Einfügen [Strg+V]	Der Inhalt der Zwischenablage wird in die Zelle eingefügt. Wenn der Inhalt der Zwischenablage größer ist als eine Zelle, werden die Zellen nachfolgender Spalten und Zeilen überschrieben. Vorher erscheint eine Warnung.
Zeile kopieren [Strg+2]	Die nächste Zeile wird mit dem Inhalt der aktuellen Zeile überschrieben.
Zeile leeren [Strg+Y]	Der Inhalt der Zeile wird gelöscht, die Zeile selbst bleibt erhalten.
Zeile einfügen [Strg+I]	Eine neue, leere Zeile wird eingeschoben. Die nachfolgenden Zeilen verschieben sich nach unten.
Zeile löschen [Strg+R]	Die aktuelle Zeile wird gelöscht. Die nachfolgenden Zeilen verschieben sich nach oben.
Finden [Strg+F]	Es wird innerhalb der Tabelle nach einer bestimmten Zahl oder Zeichenkette gesucht.
Ersetzen [Strg+H]	In der Tabelle wird nach einer Zahl oder Zeichenkette gesucht, die dann durch einen anderen Eintrag ersetzt wird.
Tabelle leeren	Der Inhalt der aktuellen Tabelle wird vollständig gelöscht. Es wird keine Warnung ausgegeben.
Alle Tabellen leeren	Die Inhalte aller Tabellen werden gelöscht.
Auswählen [F7]	In einer Zelle wird eine Liste zur Auswahl aufgeklappt.
Grafik aktualisieren	Die in der Tabelle vorgenommenen Änderungen werden in die Grafik übernommen.
Im Dialog bearbeiten	Es wird ein Dialog geöffnet, in dem die Daten der aktuellen Zeile eingegeben werden können.

Tabelle 11.8 Bearbeitungsfunktionen



11.5.2 Selektionsfunktionen

Die Selektionsfunktionen sind Werkzeuge, die die Eingabe in den Tabellen erleichtern. Im Gegensatz zu den im Kapitel 11.5.1 beschriebenen Bearbeitungsfunktionen sind zunächst mehrere zusammenhängende Zellen als so genannte *Selektion* zu markieren.

Koordinatensystem	Knotenkoordinaten		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Kartesisch	0.000	0.000	0.000
Kartesisch	0.000	6.000	0.000
Kartesisch	7.000	6.000	0.000
Kartesisch	7.000	0.000	0.000
Kartesisch	7.000	6.000	4.000
Kartesisch	7.000	0.000	4.000
Kartesisch	10.000	3.000	4.000

Bild 11.111 Markieren einer Selektion

Es spielt keine Rolle, ob die Zellen leer oder mit Inhalt sind. Mit einer Selektionsfunktion werden die Inhalte dieser Zellen gemeinsam geändert.

Selektionsfunktionen aufrufen

In der Tabelle ist zunächst eine Selektion als zusammenhängender Block zu markieren. Dies erfolgt durch Ziehen der Maus mit gedrückter Taste über mehrere Zeilen. Ein Klick auf einen Tabellenkopf (A, B, C ...) markiert die ganze Spalte, ein Klick auf eine Zeilennummer der Tabelle die ganze Zeile.

Die Selektionsfunktionen sind zugänglich im Menü

Tabelle → Selektion.

Eine Selektionsfunktion ist in der Symbolleiste der Tabelle zu finden.

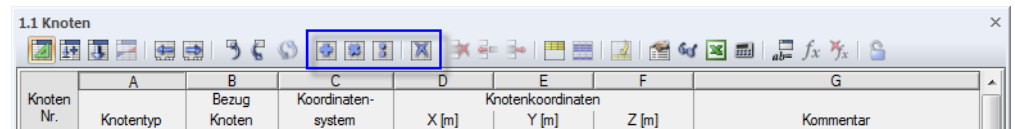


Bild 11.112 Schaltflächen für einige Selektionsfunktionen in der Tabellen-Symbolleiste

Alternativ können die Funktionen über das Kontextmenü in der Tabelle aufgerufen werden.

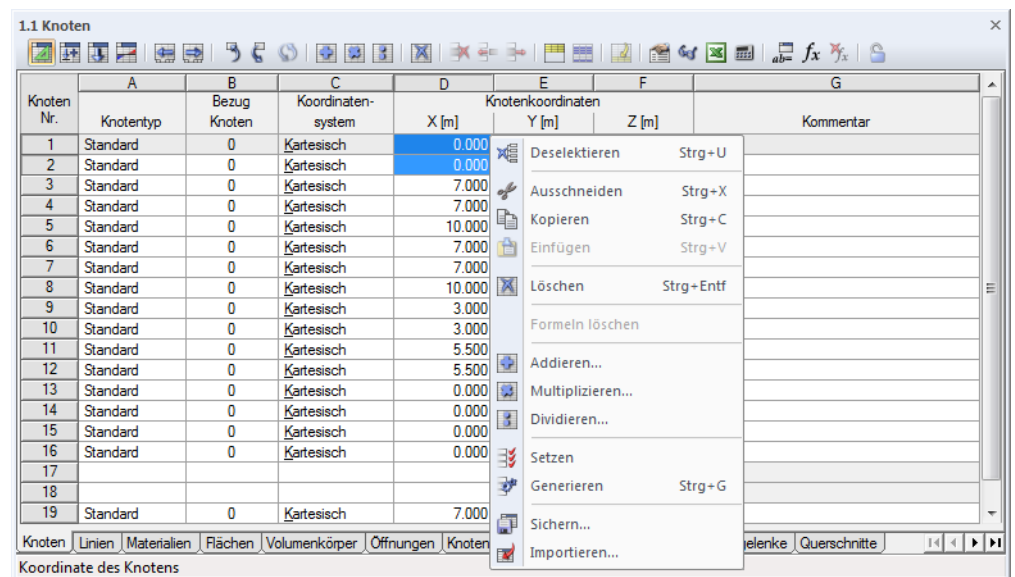


Bild 11.113 Selektionsfunktionen im Tabellen-Kontextmenü

Funktionen und Steuerbefehle

Funktion	Wirkung
Deselektieren [Strg+D]	Die Markierung der Zeile oder Spalte wird aufgehoben.
Ausschneiden [Strg+X]	Der Inhalt der selektierten Zellen wird entfernt und in der Zwischenablage gespeichert.
Kopieren [Strg+C]	Der Inhalt der Selektion wird in die Zwischenablage kopiert.
Einfügen [Strg+V]	Der Inhalt der Zwischenablage wird in die Tabelle eingefügt. Dieser Befehl steht nur zur Verfügung, wenn die Zwischenablage passende Daten (z. B. aus Excel) enthält.
Löschen [Strg+Entf]	Alle Inhalte der markierten Zellen werden gelöscht.
Addieren	Zellen mit einem Zahlenwert wird ein Wert hinzugefügt oder abgezogen.
Multiplizieren	Zellen, die Zahlenwerte aufweisen, werden mit einem Faktor multipliziert.
Dividieren	Zellen, die Zahlenwerte aufweisen, werden durch einen Divisor geteilt.
Setzen	Alle Zellen der Selektion erhalten den Wert der jeweils zuoberst selektierten Zelle.
Generieren [Strg+G]	Bei Zellen mit Zahlenwerten werden die Zellen zwischen der ersten und der letzten selektierten Zeile durch Interpolation der beiden Eckwerte generiert (siehe folgendes Beispiel).
Sichern	Die Selektion wird als Datei abgespeichert.
Einlesen	Eine Selektion, die als Datei abgespeichert wurde, wird geladen.

Tabelle 11.9 Selektionsfunktionen



Beispiel: Generieren von Zellenwerten

Mit dieser Funktion können schnell leere Zellen ausgefüllt werden. Die Zwischenwerte werden durch eine lineare Interpolation aus dem Anfangswert der obersten Zelle (z. B. 6.000) und dem Endwert der letzten Zelle (z. B. 30.000) ermittelt.

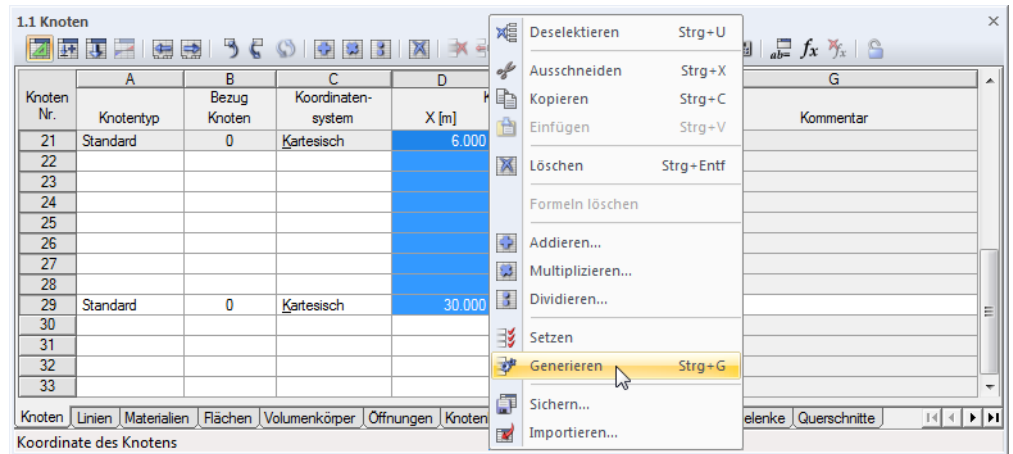


Bild 11.114 Kontextmenü der Selektion

Nach dem Generieren sind die Zellen dazwischen mit den interpolierten Werten ausgefüllt.

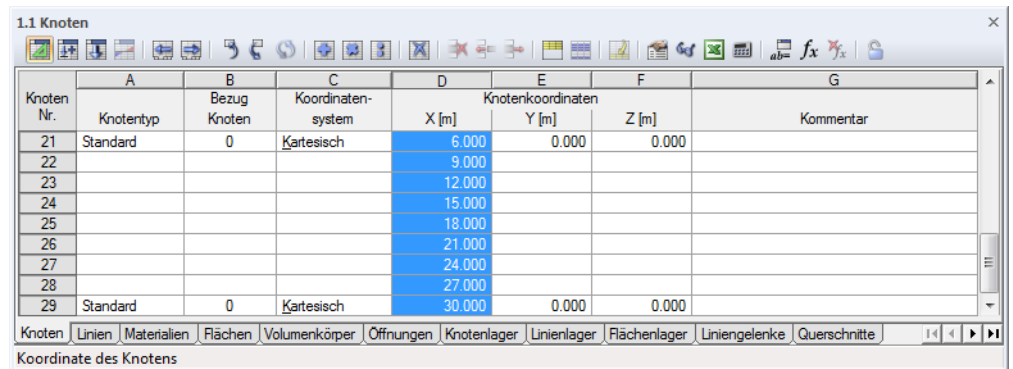


Bild 11.115 Ergebnis

11.5.3 Ansichtsfunktionen

Die Darstellung in der Tabelle kann über die verschiedenen Ansichtsfunktionen beeinflusst werden.

Ansichtsfunktionen aufrufen

Die Ansichtsfunktionen sind zugänglich über das Menü

- Tabelle** → **Ansicht** und
- Tabelle** → **Organisation Lastfalldaten**.

Einige Ansichtsfunktionen sind auch in der Symbolleiste der Tabelle zugänglich.

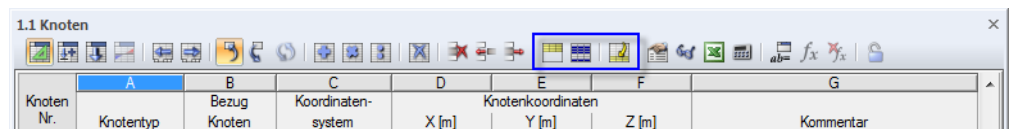


Bild 11.116 Schaltflächen für einige Ansichtsfunktionen in der Tabellen-Symbolleiste

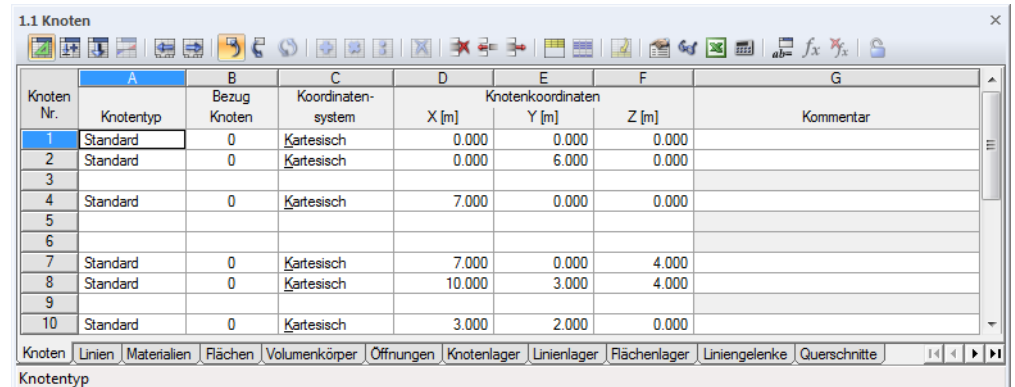
Funktionen

Funktion	Wirkung
Nur ausgefüllte Zeilen	Alle leeren Tabellenzeilen werden ausgeblendet.
Nur markierte Zeilen	Nur die markierten Zeilen werden angezeigt.
Nur selektierte Objekte	Nur die in der Grafik selektierten Objekte werden angezeigt.
Objekte mit selektieren	In der Grafik werden neben den Lasten auch die zugehörigen Modellobjekte (Knoten, Stäbe, Stabsätze) selektiert. Die Funktion ist nur in den Lasten-Tabellen 3 verfügbar.
Lasten komprimieren	In den Belastungstabellen werden Objekte mit gleichen Lasten in einer einzigen Zeile zusammengefasst.
Lasten zeilenweise	Die Lasten werden für jedes Objekt einzeln aufgelistet.
Ergebnisfilter	Die Tabellenausgabe kann auf bestimmte Ergebnisarten beschränkt werden (siehe Kapitel 11.5.5).
Info über Querschnitt	Die Kennwerte des aktuellen Profils werden angezeigt.
Ergebnisverläufe	Die Ergebnisse des selektierten Stabes werden in einem neuen Fenster grafisch angezeigt (siehe Kapitel 9.5).
Farb-Relationsbalken	Die Anzeige der roten und blauen Balken in der Tabelle wird ein- und ausgeblendet.
Tittleiste	Die Tabellenüberschrift wird ein- und ausgeblendet.
Symbolleiste	Die Werkzeugleiste wird ein- und ausgeblendet.
Spaltenleiste	Die Spaltenköpfe (A, B, C ...) werden ein- und ausgeschaltet.
Statusleiste	Die Statuszeile der Tabelle wird ein- und ausgeblendet.
Tabellenzeile hervorheben	Die Tabellenzeile, in der sich Mauszeiger befindet, wird farbig hinterlegt oder nicht markiert.

Tabelle 11.10 Ansichtsfunktionen

Beispiel: Nur ausgefüllte Zeilen

Eine Tabelle enthält Leerzeilen, die die Übersichtlichkeit beeinträchtigen.

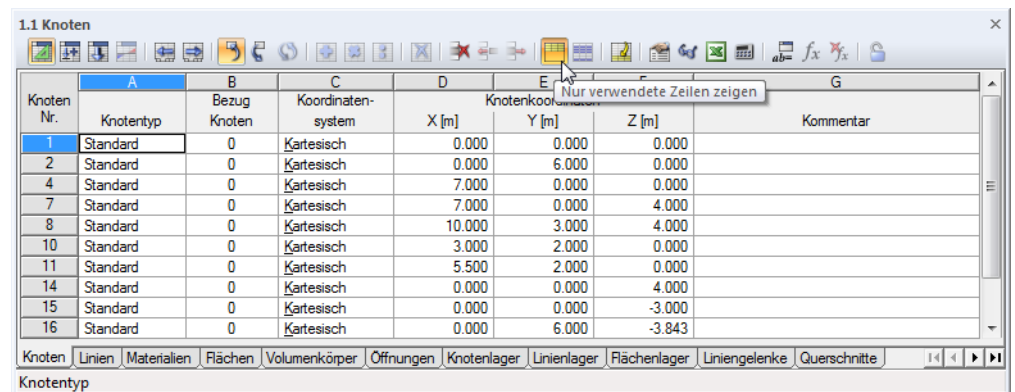


Knoten Nr.	A	B	C	D	E		G
	Knotentyp	Bezug Knoten	Koordinatensystem	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	0.000	
3							
4	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	0.000	
5							
6							
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	4.000	
9							
10	Standard	0	Kartesisch	3.000	2.000	0.000	

Bild 11.117 Tabelle mit Leerzeilen



Mit der Funktion *Nur verwendete Zeilen* werden alle Leerzeilen ausgeblendet.



Knoten Nr.	A	B	C	D	E		G
	Knotentyp	Bezug Knoten	Koordinatensystem	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	0.000	
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	4.000	
10	Standard	0	Kartesisch	3.000	2.000	0.000	
11	Standard	0	Kartesisch	5.500	2.000	0.000	
14	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	4.000	
15	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	-3.000	
16	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	-3.843	

Bild 11.118 Tabelle ohne Leerzeilen

11.5.4 Tabelleneinstellungen

Die in den Tabellen verwendeten Schrift- und Farbeinstellungen können individuell angepasst werden. Zudem ist es möglich, die Selektion in der Grafik mit der in der Tabelle zu synchronisieren.

Tabelleneinstellungen aufrufen

Alle Einstellmöglichkeiten sind zugänglich im Menü

Tabelle → Einstellungen.



Die Synchronisation der Selektion kann auch über Schaltflächen in der Tabellen-Symbolleiste ein- und ausgeschaltet werden.



Knoten Nr.	A	B	C	D	E		G
	Knotentyp	Bezug Knoten	Koordinatensystem	X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	0.000	
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	0	Kartesisch	10.000	3.000	4.000	
10	Standard	0	Kartesisch	3.000	2.000	0.000	
11	Standard	0	Kartesisch	5.500	2.000	0.000	
14	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	4.000	
15	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	-3.000	
16	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	-3.843	

Bild 11.119 Schaltflächen Synchronisation der Selektion

Funktionen

Funktion	Wirkung
Farben	Der Dialog <i>Farben</i> wird aufgerufen (siehe Bild 11.120 ↗). Die Farben der einzelnen Tabellenobjekte können separat angepasst werden.
Schriftarten	Der Dialog <i>Schriftart</i> wird aufgerufen (siehe Bild 11.120 ↗). Schriftart, Stil und Schriftgröße können global für alle Tabellenobjekte geändert werden.
Aktuelles Objekt in Grafik selektieren	Das Objekt, in dessen Tabellenzeile sich der Cursor befindet, wird auch im Arbeitsfenster selektiert (Voreinstellung).
Selektiertes Objekt in Tabellen zeigen	Die im Arbeitsfenster selektierten Objekte werden auch in der Tabelle farblich hervorgehoben (Voreinstellung).

Tabelle 11.11 Tabelleneinstellungen

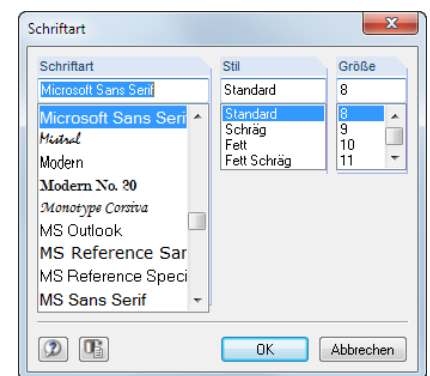
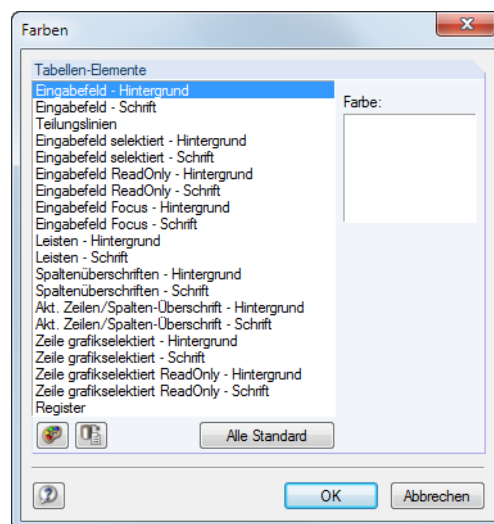


Bild 11.120 Dialoge Farben und Schriftart

11.5.5 Filterfunktionen

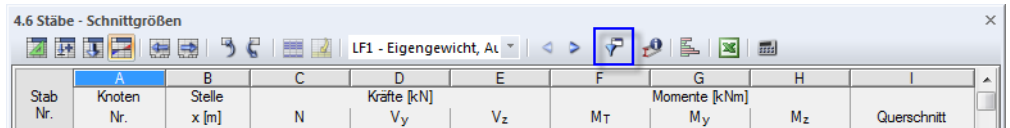
Verschiedene Filterfunktionen ermöglichen eine gezielte Auswertung in den Stab-Ergebnistabellen der Schnittgrößen, Kontaktkräfte und Verformungen. Zusätzlich bestehen Filtermöglichkeiten für die Knoten- und Linienlagerkräfte von Ergebniskombinationen (siehe Kapitel 8.1 [↗](#) und Kapitel 8.3 [↗](#)).

Filterfunktionen aufrufen

Die Ergebnisfilter sind zugänglich über das Menü

Tabelle → **Ansicht** → **Ergebnisfilter**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellen-Symbolleiste.



Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C N	D Kräfte [kN] V _y	E V _z	F M _T	G Momente [kNm] M _y	H M _z	I Querschnitt
----------	-----------------	-------------------	--------	------------------------------------	---------------------	---------------------	--------------------------------------	---------------------	------------------

Bild 11.121 Schaltfläche Ergebnisfilter

Es erscheint folgender Dialog.

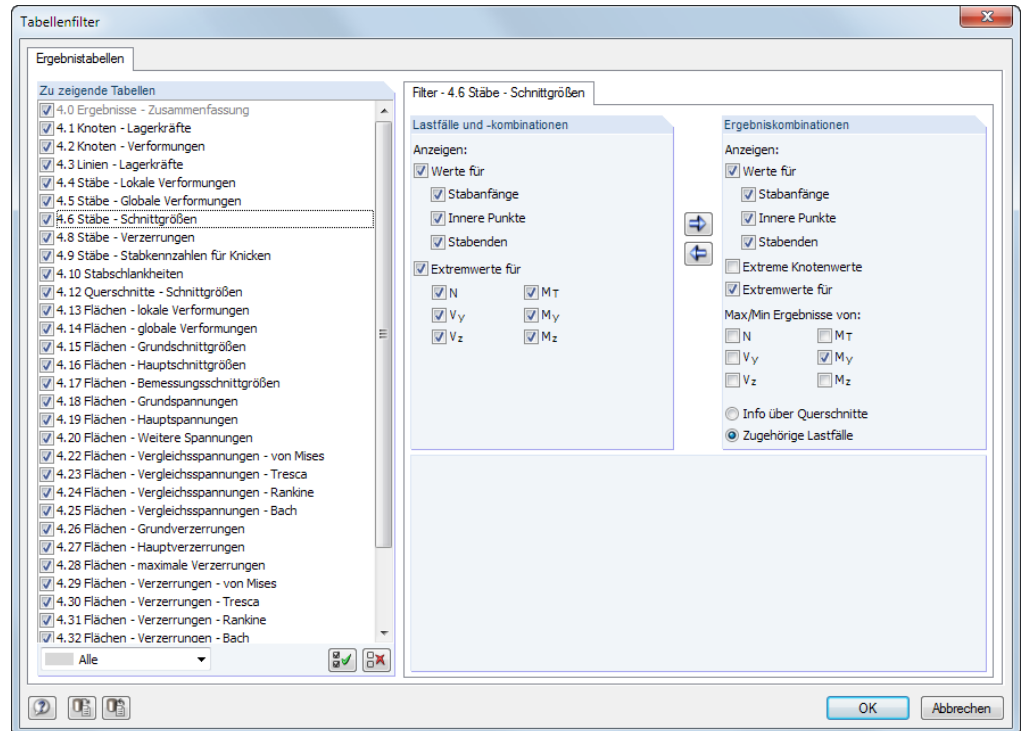


Bild 11.122 Dialog Tabellenfilter

Im Abschnitt *Zu zeigende Tabellen* ist die Ergebnistabelle zu selektieren. Das rechte Register steuert jeweils, welche Werte numerisch ausgewiesen werden.

Bei den Schnittgrößen von Stäben kann getrennt für *Lastfälle und -kombinationen* und *Ergebniskombinationen* festgelegt werden, ob die Werte der *Stabanfänge* und *Stabenden* (Knotenwerte), der *Innere Punkte* (x-Stellen der benutzerdefinierten Stabteilung, siehe Kapitel 4.16) sowie die *Extremwerte* der Stäbe tabellarisch ausgewiesen werden. Die Schnittgrößenart für Extremwerte lässt sich anhand der sechs Kontrollfelder festlegen.

Bei Ergebniskombinationen erscheinen an jeder Stelle zwei Ergebniswerte — die minimalen und die maximalen Schnittgrößen mit den zugehörigen Schnittgrößen.

Mit den links dargestellten Schaltflächen lassen sich die Filterkriterien von einem Abschnitt in den anderen übertragen.



Beispiel

Für den 6.700 m langen Stab 11 wurde eine Stabteilung mit zwei Zwischenpunkten definiert. Die im Bild 11.122 dargestellten Filtereinstellungen für Ergebniskombinationen führen zu folgender Ausgabetable 4.6 Stäbe - Schnittgrößen.

Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C	D	E Kräfte [kN]			G Momente [kNm]			I M _z	J Zugehörige Lastfälle
					N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z		
11	16	0.000	max M _y	-15.09	0.02	21.24	0.00	-20.12	0.02	LK1		
			min M _y	-21.08	1.45	31.62	-0.02	-30.03	-0.11	LK4		
			max M _y	-15.09	0.02	21.24	0.00	-20.12	0.02	LK1		
			min M _y	-21.08	1.45	31.62	-0.02	-30.03	-0.11	LK4		
		2.233	max M _y	-15.77	1.27	10.70	-0.01	18.63	-4.64	LK15		
			min M _y	-19.33	0.01	6.86	-0.01	9.99	-0.02	LK2		
		3.350	max M _y	-15.78	0.00	0.06	-0.02	24.64	-5.39	LK14		
			min M _y	-19.34	0.00	-0.27	-0.01	13.67	-0.02	LK2		
			max M _y	-15.78	0.00	0.06	-0.02	24.64	-5.39	LK14		
			min M _y	-19.34	0.00	-0.27	-0.01	13.67	-0.02	LK2		
		4.467	max M _y	-15.77	-1.27	-10.60	-0.02	18.75	-4.63	LK14		
			min M _y	-19.33	-0.01	-7.41	-0.01	9.38	-0.01	LK2		
		6.700	max M _y	-12.38	-2.30	-21.83	0.02	-20.58	-0.27	LK8		
			min M _y	-22.71	-0.04	-31.68	0.00	-31.17	0.04	LK3		
	20	max M _y	-12.38	-2.30	-21.83	0.02	-20.58	-0.27	LK8			
		min M _y	-22.71	-0.04	-31.68	0.00	-31.17	0.04	LK3			
	3.350	Max M _y	-15.78	0.00	0.06	-0.02	24.64	-5.39	LK14			
		Min M _y	-19.34	0.00	-0.27	-0.01	13.67	-0.02	LK2			
	6.700	Max M _y	-12.38	-2.30	-21.83	0.02	-20.58	-0.27	LK8			
		Min M _y	-22.71	-0.04	-31.68	0.00	-31.17	0.04	LK3			

Bild 11.123 Ergebnisse gefiltert nach Knotenwerten, Teilungspunkten und Extremwerten M_y

In Spalte H werden die maximalen und minimalen Biegemomente **M_y** in Fettschrift an den Knoten, den Teilungspunkten und an den Stellen der absoluten Extremwerte ausgewiesen. Letztere erscheinen mit einem großen Anfangsbuchstaben als *Max M_y* und *Min M_y* am Ende der Liste (siehe Markierung im obigen Bild). Bei den Werten in den übrigen Spalten handelt es sich um die zugehörigen Schnittgrößen der jeweiligen Maximal- und Minimalwerte.

11.5.6 Tabellen importieren und exportieren

Eine Tabelle aus MS Excel kann direkt in die aktuelle Eingabetabelle von RFEM importiert werden. Die beteiligten Programme müssen geöffnet sein. Umgekehrt lässt sich die aktuelle RFEM-Tabelle auch ganz oder teilweise an MS Excel übergeben.

Import- und Exportfunktion aufrufen

Die Funktion wird über die [Excel]-Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen aufgerufen.



Knoten Nr.	A	B	C	E Knotenkoordinaten		F	G
	Knotentyp	Bezug Knoten	Koordinatensystem	X [m]	Y [m]	Z [m]	Kommentar

Bild 11.124 Schaltfläche Import/Export der Tabelle in der Tabellen-Symbolleiste

Damit sind die beiden Dialoge *Tabelle importieren* und *Tabelle exportieren* zugänglich (siehe folgende Bilder).

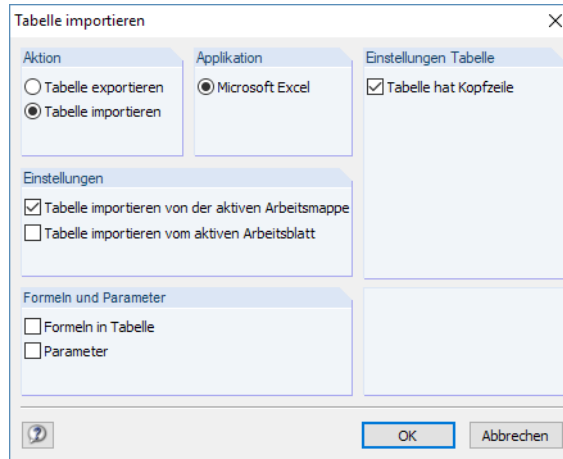


Bild 11.125 Dialog Tabelle importieren

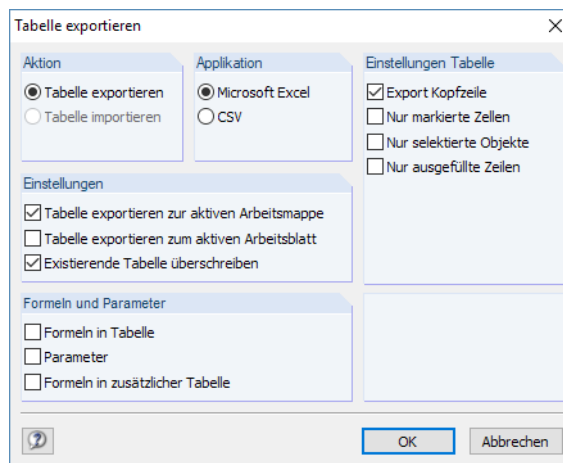


Bild 11.126 Dialog Tabelle exportieren

Tabelle importieren

Die Excel-Arbeitsmappe muss vor dem Import geöffnet werden. Falls Überschriften in den Arbeitsblättern existieren, ist das Kontrollfeld *Tabelle hat Kopfzeile* zu aktivieren. Damit werden die Kopfzeilen beim Import ignoriert und nur die Listen in die RFEM-Tabellen übertragen.

Als *Applikation* ist nur das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel verfügbar.

Der Abschnitt *Einstellungen* steuert, ob die aktive Arbeitsmappe oder nur das aktive Arbeitsblatt eingelesen wird. Beim Import einer kompletten Arbeitsmappe müssen Reihenfolge und Struktur der Arbeitsblätter mit den RFEM-Tabellen vollständig übereinstimmen.

Im Abschnitt *Formeln und Parameter-Bearbeitung* kann festgelegt werden, ob beim Datenaustausch auch Formeln importiert werden, die in Excel hinterlegt sind.

[OK] startet den Importvorgang.



Um nur bestimmte Teile des Arbeitsblattes zu importieren, sollte die Kopierfunktion benutzt werden: Markieren Sie den relevanten Bereich in der Excel-Tabelle und kopieren ihn mit [Strg]+[C] in die Zwischenablage. Dann setzen Sie den Cursor in die passende Zelle der RFEM-Tabelle und fügen dort den Inhalt der Zwischenablage mit [Strg]+[V] ein.

Tabelle exportieren

Für den Export von RFEM-Tabellen ist es nicht erforderlich, MS Excel vorher aufzurufen.

Als *Applikation* steht das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel zur Auswahl. Daneben besteht die Möglichkeit, eine Datei im allgemeinen Tabellenformat CSV zu erzeugen (siehe [Kapitel 4.13](#)).

Im Abschnitt *Einstellungen Tabelle* ist anzugeben, ob die Kopfzeilen mit exportiert werden sollen. Ist das Kontrollfeld angehakt, so sieht das Ergebnis in Excel wie in folgendem Bild dargestellt aus.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Knoten		Bezug	Koordinaten-	Knotenkoordinaten			
2	Nr.	Knotentyp	Knoten	system	X [m]	Y [m]	Z [m]	Kommentar
3	1	Standard	0	Kartesisch	0,000	0,000	0,000	
4	2	Standard	0	Kartesisch	0,000	6,000	0,000	
5	3	Standard	0	Kartesisch	7,000	6,000	0,000	
6	4	Standard	0	Kartesisch	7,000	0,000	0,000	
7	5	Standard	0	Kartesisch	10,000	3,000	0,000	
8	6	Standard	0	Kartesisch	7,000	6,000	4,000	
9	7	Standard	0	Kartesisch	7,000	0,000	4,000	
10	8	Standard	0	Kartesisch	10,000	3,000	4,000	
11	9	Standard	0	Kartesisch	3,000	1,000	0,000	
12	10	Standard	0	Kartesisch	3,000	2,000	0,000	
13	11	Standard	0	Kartesisch	5,500	2,000	0,000	
14	12	Standard	0	Kartesisch	5,500	1,000	0,000	
15	13	Standard	0	Kartesisch	0,000	6,000	4,000	Gelagert
16	14	Standard	0	Kartesisch	0,000	0,000	4,000	Gelagert
17	15	Standard	0	Kartesisch	0,000	0,000	-3,000	
18	16	Standard	0	Kartesisch	0,000	6,000	-3,843	

Bild 11.127 Excel-Tabelle mit exportierten Kopfzeilen

Ist das Kontrollfeld nicht aktiv, wird nur der Tabelleninhalt an Excel übergeben.

Die Option *Nur markierte Zellen* ermöglicht es, selektierte Tabelleninhalte zu exportieren (siehe [Kapitel 11.5.2](#)).

Mit dem Kontrollfeld *Nur selektierte Objekte* lassen sich die Daten oder Ergebnisse ausgewählter Zeilennummern exportieren. Die Selektion wird durch die Synchronisation der Selektion zwischen Grafik und Tabelle erleichtert (siehe [Kapitel 11.5.4](#)).

Die Option *Nur ausgefüllte Zeilen* steuert, wie Leerzeilen beim Export behandelt werden.

Im Abschnitt *Einstellungen* kann festgelegt werden, in welche Zieltabellen die Daten geschrieben werden sollen. Wenn das erste Kontrollfeld deaktiviert ist, legt RFEM eine neue Arbeitsmappe an. Die Option *Tabelle exportieren zum aktiven Arbeitsblatt* ermöglicht es, das aktuelle Arbeitsblatt des Tabellenkalkulationsprogramms zu benutzen. Ist das Kontrollfeld *Existierende Tabelle überschreiben* angehakt, so wird in der Arbeitsmappe eine Tabelle mit dem gleichen Namen wie in RFEM gesucht und dann überschrieben.

Im Abschnitt *Formeln und Parameter-Bearbeitung* kann festgelegt werden, ob und auf welche Weise die in RFEM hinterlegten Formeln exportiert werden sollen.

Der Exportvorgang der aktuellen RFEM-Tabelle wird mit [OK] gestartet.



Um mehrere Tabellen auf einmal an Excel zu übergeben, sollte die Menüfunktion **Datei** → **Exportieren** benutzt werden (siehe [Kapitel 12.5.2](#)). Die relevanten Tabellen können dann in einem Dialog ausgewählt werden.

11.6

Parametrisierte Eingabe

11.6.1 Konzept

Die parametrisierte Eingabe ermöglicht es, Modell- und Belastungsdaten so einzugeben, dass sie von bestimmten Variablen abhängig sind. Diese Variablen (z. B. Länge, Breite, Verkehrslast etc.) werden als „Parameter“ bezeichnet. Sie sind in der **Parameterliste** abgelegt.

Die Parameter können in Formeln benutzt werden, um einen Zahlenwert zu ermitteln. Die Formeln werden mit dem **Formeleditor** bearbeitet. Wird in der Parameterliste ein Parameter geändert, werden die Ergebnisse aller Formeln, die diesen Parameter benutzen, angepasst.

Die parametrisierte Eingabe eignet sich für Modelle, in denen viele Änderungen zu erwarten sind. Die Formeln der Geometrie- und Belastungseingabe sind bei den Modelldaten hinterlegt. Auch für die wiederkehrende Bearbeitung ähnlicher Modelle bietet sich die parametrisierte Eingabe an: Man lädt die Musterdatei und passt die Parameter an.



In einem Fachbeitrag ist beschrieben, wie eine Flächenlast parametrisiert aufgebracht werden kann: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/000922>

Auch in folgendem Webinar ist die parametrisierte Eingabe vorgestellt (ab Minute 27:00): <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/schulungen/webinare/000066>

11.6.2 Parameterliste

Die Parameterliste verwaltet alle Parameter, die für die Modellierung benötigt werden.

Parameterliste aufrufen

Die Parameterliste wird über die Schaltfläche [Parameter bearbeiten] aufgerufen:

- in der Symbolleiste einer Eingabetabelle

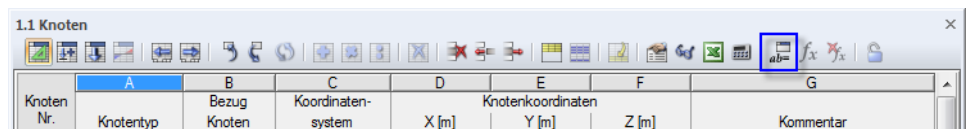


Bild 11.128 Schaltfläche Parameter bearbeiten in der Tabellen-Symbolleiste

- im Formeleditor

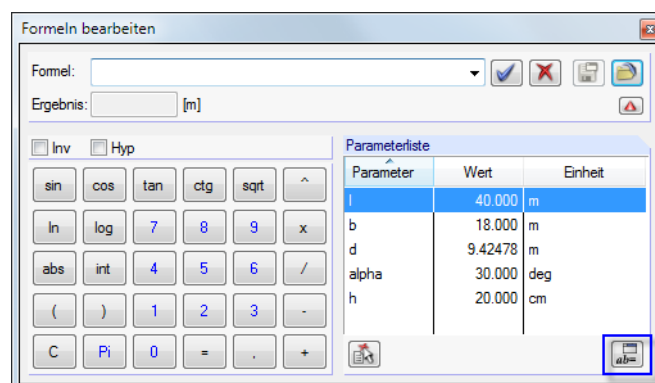


Bild 11.129 Schaltfläche Parameter bearbeiten im Formeleditor

Beschreibung

Es erscheint der Dialog *Parameter bearbeiten*.

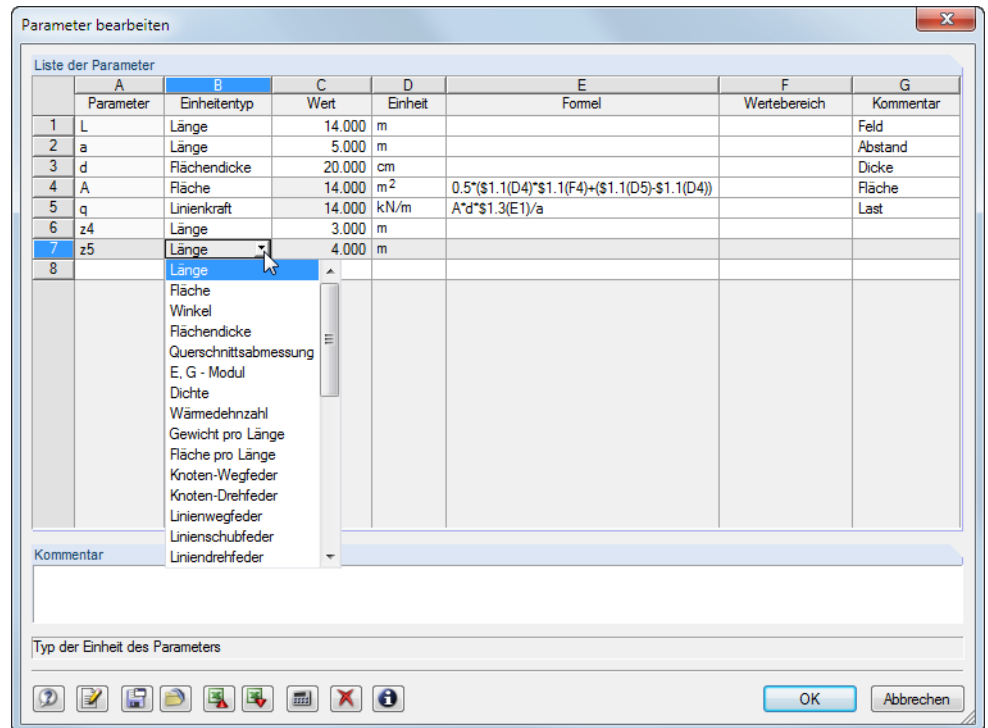


Bild 11.130 Dialog *Parameter bearbeiten*

Jede Tabellenzeile verwaltet einen *Parameter*. In Spalte **A** ist ein Name einzutragen, der aus ASCII-Zeichen bestehen muss und kein Leerzeichen enthalten darf. Über diesen Namen wird der Parameter in den Formeln angesprochen. Jeder Name darf nur einmal vergeben werden.

In Spalte **B** ist der *Einheitstyp* festzulegen. Damit wird bestimmt, ob der Parameter eine Länge, Last, Dichte etc. darstellt. Die Einheitentypen sind fest vorgegeben. Die Liste kann in dieser Spalte mit der Kontextschaltfläche oder mit [F7] aufgerufen werden.

In Spalte **C** ist der *Zahlenwert* des Parameters festzulegen.

Die *Einheit* ist in Spalte **D** anzugeben. In dieser Spalte kann die Liste der möglichen Einheiten mit der Kontextschaltfläche oder mit [F7] aufgerufen werden.

In Spalte **E** kann eine *Formel* hinterlegt werden, um den Wert des Parameters für Spalte C zu ermitteln. Neben allgemeinen mathematischen Operationen sind Wahrheitsprüfungen mit **If** sowie **Max-/Min-**Funktionen möglich. Mit dem **\$**-Bezug kann auf eine bestimmte Tabelle verwiesen werden (z. B. **\$1.1(A1)** verwendet den Wert der Zelle A1 von Tabelle 1.1).

Beispiele

if(A<B;10;B)


Wenn der Parameter A kleiner ist als Parameter B, wird der Wert 10 angesetzt. Trifft dies nicht zu, wird der Parameter B verwendet.

max(A;B)

Von den Parametern A und B wird der größere Wert verwendet.

min(max(A;B);C)

Es wird der größere Wert der Parameter A und B gesucht. Dieser wird mit dem Wert des Parameters C verglichen. Der kleinste dieser Werte wird dann angesetzt.

Über die Schaltfläche  in Spalte E ist eine *Liste der Operatoren und Funktionen* zugänglich.

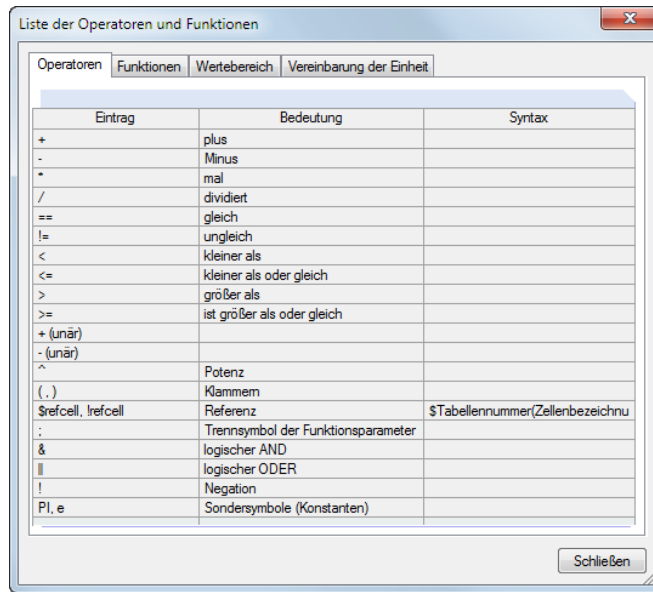


Bild 11.131 Dialog *Liste der Operatoren und Funktionen*

In Spalte **F** kann ein *Wertebereich* festgelegt werden, um die Werte der Spalte C zu steuern.

Die Spalte **G** steht für einen beliebigen *Kommentar* zur Verfügung.

Eingabefunktionen

Die Parameter können Zelle für Zelle eingegeben werden.

Für eine rationelle Eingabe stehen auch Werkzeuge zur Verfügung, die mit einem Klick der rechten Maustaste auf eine Zelle genutzt werden können. Die Bearbeitungsfunktionen (Zeile leeren oder einfügen, Ersetzen etc.) sind im [Kapitel 11.5.1](#) beschrieben.

Wenn mehrere Zellen als Selektion markiert sind, erscheint folgendes Kontextmenü.

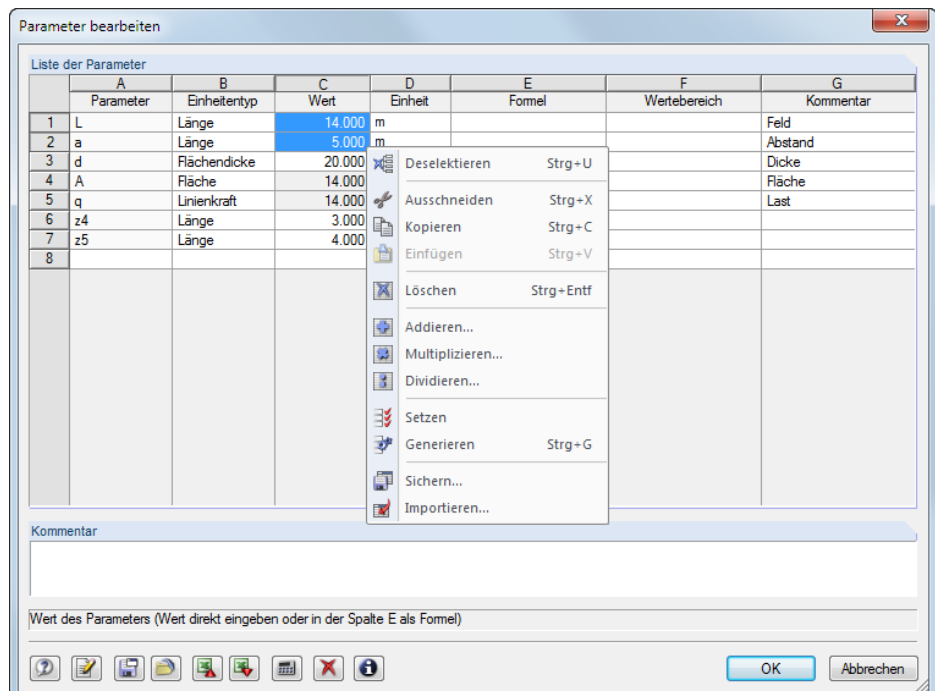


Bild 11.132 Kontextmenü einer Selektion in Parameterliste

Die Menüfunktionen sind in den Kapiteln 11.5.1 [\[1\]](#) und 11.5.2 [\[2\]](#) erläutert.

Schaltflächen

In der Parameterliste sind neben den Standardschaltflächen folgende Funktionen verfügbar.








Schaltfläche	Beschreibung
	Die Parameterliste wird in einer Datei abgespeichert.
	Eine abgespeicherte Parameterliste wird eingelesen.
	Die Parameterliste wird nach MS Excel exportiert.
	Die Daten der geöffneten Excel-Tabelle werden importiert.
	Der Taschenrechner wird aufgerufen und das Ergebnis dann übernommen.
	Der gesamte Inhalt der Parameterliste wird gelöscht.
	Die Querschnittsdetails zu den Profilen des Modells werden angezeigt.

Tabelle 11.12 Schaltflächen im Dialog *Parameter bearbeiten*

11.6.3 Formeleditor

Der Formeleditor verwaltet die Gleichungen der parametrisierten Eingabe.

Formeleditor aufrufen

Der Formeleditor ist zugänglich über

- die Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen,

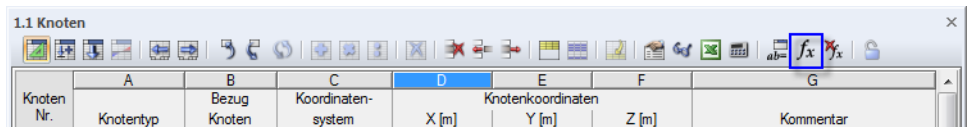


Bild 11.133 Schaltfläche *Formel bearbeiten* in der Tabellen-Symbolleiste

- einen Klick auf die gelbe oder rote Ecke in einer Tabellenzelle (die rote Ecke signalisiert eine fehlerhafte Formel),

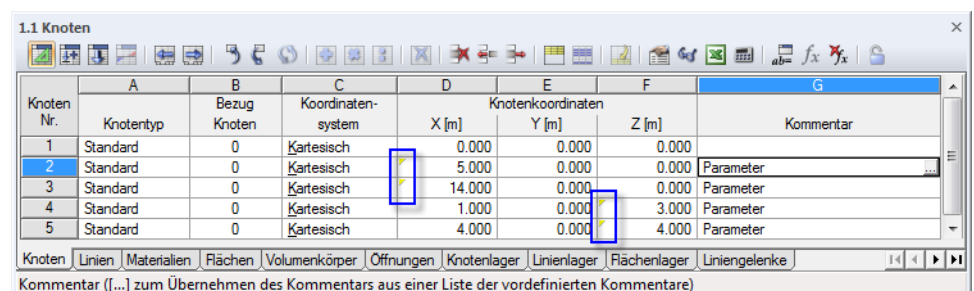


Bild 11.134 Markierte Zellenecken in Tabelle 1.1 Knoten

- die Funktionsschaltflächen hinter den Eingabefeldern in den Dialogen (siehe Bild 11.135).

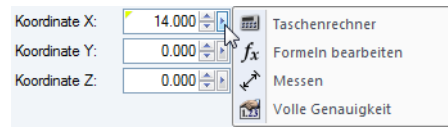


Bild 11.135 Funktionsschaltflächen mit Kontextmenü im Dialog *Knoten bearbeiten*

Es lassen sich auch Formeln importieren, die in Excel hinterlegt sind und Formeln von RFEM nach Excel exportieren. Weitere Hinweise zum Datenaustausch mit Excel finden Sie im [Kapitel 12.5.2](#).

Beschreibung

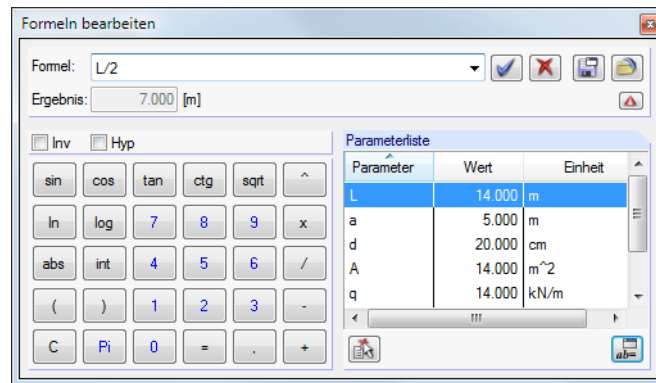


Bild 11.136 Dialog *Formeln bearbeiten*

In das Eingabefeld *Formel* kann eine beliebige Formel manuell eingetragen werden. Wird der Taschenrechner benutzt, so werden dessen Ergebnisse automatisch übernommen.

Die Formel kann aus konstanten Zahlenwerten, Parametern oder Funktionen bestehen. Das Ergebnis der Gleichung erscheint im Feld unterhalb. Über die Schaltfläche am Ende des *Formel*-Eingabefeldes wird eine Liste der bereits eingegebenen Formeln angezeigt, von denen eine wieder verwendet werden kann.

Die Schaltfläche übernimmt die Formel in die Zelle der Tabelle bzw. das Eingabefeld des Dialogs, die Schaltfläche löscht die Formelzeile. Bei Fehleingaben werden die Formeln im *Formel*-Eingabefeld rot angezeigt.



Die Inhalte anderer Zellen können in Formeln über Bezüge genutzt werden.

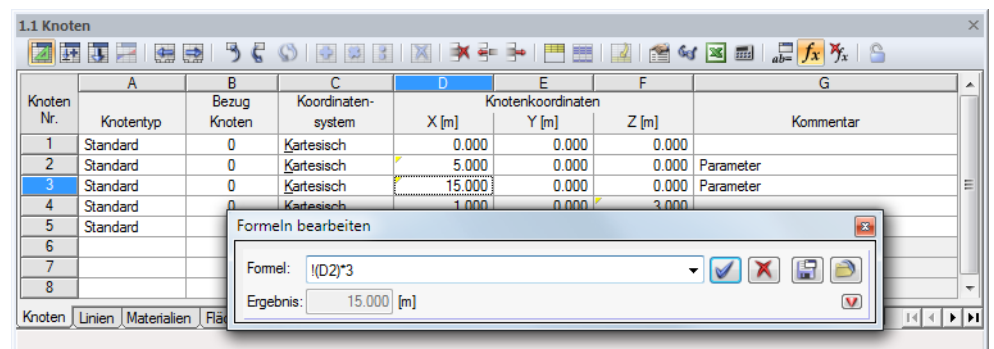


Bild 11.137 Formeleditor mit einem Bezug

Ein Bezug wird mit einem Ausrufezeichen eingeleitet, die Referenzzelle wird in Klammern gesetzt. Im obigen Bild ergibt sich die Zelle **D3** aus dem verdreifachten Wert der Zelle **D2**.



Mit einem vorangestellten Gleichheitszeichen können Formeln auch direkt in Zellen eingetragen werden (z. B. =2.5*PI). Werden dabei Werte verwendet (z. B. =22.1+A*H), so fließen diese in SI-Einheiten mit [m] oder [N] in die Formel ein.

Im Taschenrechner des Formeleditors stehen folgende Funktionen zur Verfügung:














Funktion	Beschreibung
	Sinus
	Kosinus
	Tangens
	Kotangens
	Quadratwurzel
	Potenz
	Natürlicher Logarithmus
	Logarithmus zur Basis 10
	Absolutbetrag
	Ganzzahliger Anteil, z. B. int(5.638) = 5
	Löschen der Formelzeile
	Umkehrfunktion, z. B. inv($\sqrt{5}$) bedeutet 5^2
	Hyperbelfunktion

Tabelle 11.13 Funktionen des Taschenrechners



Der Abschnitt *Parameterliste* im Formeleditor listet alle Parameter mit den aktuellen Werten auf. Ein bestimmter Parameter kann von dort per Doppelklick oder über die Schaltfläche [Parameter übernehmen] in die Formelzeile übertragen werden.



Die Schaltfläche [Parameter bearbeiten] ruft die Parameterliste auf (siehe [Kapitel 11.6.2](#)), in der die Parameter geändert oder ergänzt werden können.

Schaltflächen

Die Schaltflächen im Formeleditor sind mit folgenden Funktionen belegt.







Schaltfläche	Beschreibung
	Die Formel wird in die Tabellenzelle oder das Dialogfeld übernommen.
	Die Formelzeile wird gelöscht.
	Der Inhalt des Formeleditors wird als Datei abgespeichert.
	Eine abgespeicherte Datei wird eingelesen.
 	Der Taschenrechner und die Parameterliste werden ein- bzw. ausgeblendet.

Tabelle 11.14 Schaltflächen im Dialog *Formel bearbeiten*

11.6.4 Formeln in Tabellen und Dialogen

Die im Formeleditor hinterlegten Gleichungen können sowohl in den Zellen der Tabellen als auch in geeigneten Eingabefeldern von Dialogen benutzt werden. Da eine Interaktion zwischen Tabellen und Dialogen besteht, sind die Formeln in beiden Eingabemodi zugänglich.

Formeln in Tabellen

Wenn Zellen mit einem gelben oder roten Dreieck in der linken oberen Ecke gekennzeichnet sind, so ist eine Formel hinterlegt (siehe [Bild 11.134](#)). Ein Klick auf dieses Dreieck öffnet den Formeleditor.

Um einer „normalen“ Zelle eine Formel zu hinterlegen, ist der Cursor in diese Zelle zu setzen. Der Formeleditor kann dann mit der entsprechenden Schaltfläche aufgerufen werden.



Bild 11.138 Schaltfläche *Formel bearbeiten* in der Tabellen-Symboleiste

Ein rotes Dreieck deutet auf einen Fehler in der Formel hin. Es entspricht der rot markierten Formelzeile im Formeleditor. Die Formel sollte korrigiert werden.

Formeln in Dialogen

Die parametrisierte Eingabe ist in erster Linie für die Anwendung in Tabellen konzipiert. Es ist aber auch möglich, Formeln in Dialogen zu benutzen.

Eingabefelder in Dialogen, die mit Formeln belegt werden können, sind an der Funktionsschaltfläche rechts neben dem Eingabefeld zu erkennen.

0.30



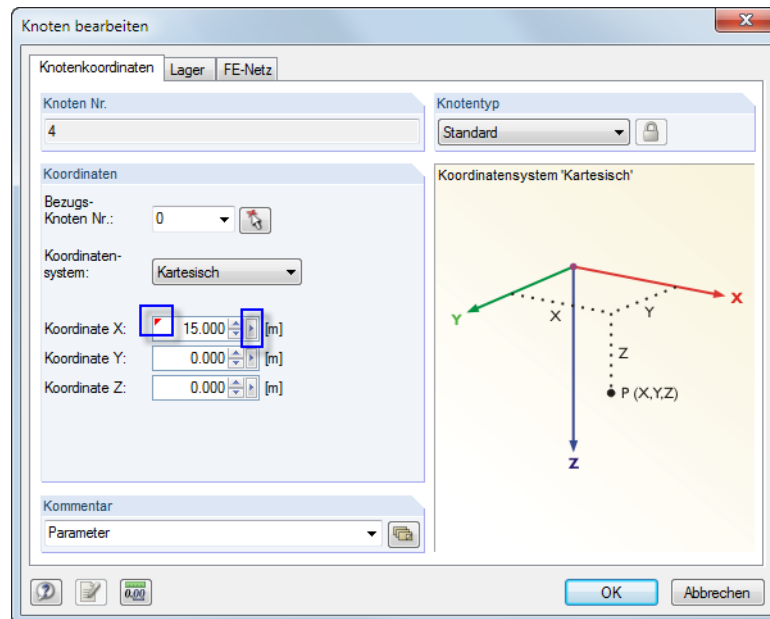



Bild 11.139 Dialog mit hinterlegter Formel und Funktionsschaltfläche

Wurde bereits eine Formel hinterlegt, so ist das Eingabefeld wie eine Zelle mit einem gelben (oder bei einer fehlerhaften Eingabe mit einem roten) Dreieck gekennzeichnet.

Der Klick auf die Funktionsschaltfläche  ruft das im [Bild 11.135](#) gezeigte Kontextmenü auf. In diesem Menü kann dann der Formeleditor aufgerufen werden.

11.7

Modellgenerierer

Verschiedene Werkzeuge erleichtern es, Modelle oder Teile davon zu erzeugen. Neben Kopier- und Extrusionsfunktionen stehen spezielle Dialoge für die Generierung von Stab- und Flächenmodellen zur Verfügung.

11.7.1 Kopien und Extrusionen

11.7.1.1 Linien und Stäbe parallel versetzen

Selektierte Linien oder Stäbe lassen sich auf einfache Weise grafisch kopieren: Schieben Sie die Objekte bei gedrückter [Strg]-Taste an die gewünschte Stelle. Diese Funktion entspricht dem Windows-Standard.

Sollen parallele Linien oder Stäbe erzeugt werden, so sind in einem Dialog gezielte Vorgaben möglich. Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Extras → **Linie parallel versetzen** bzw.

Extras → **Stab parallel versetzen**

oder das Linie- bzw. Stab-Kontextmenü (siehe Bild 11.149).

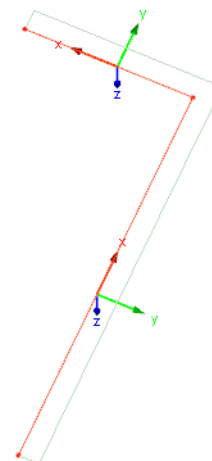
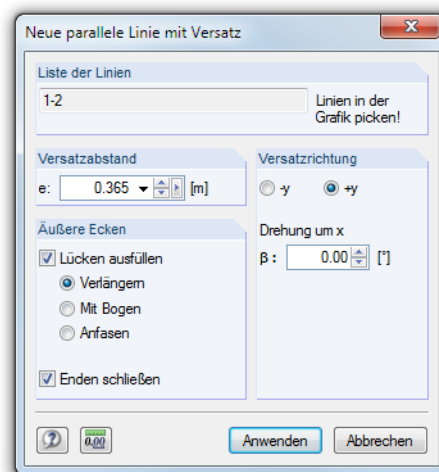


Bild 11.140 Dialog Neue parallele Linie mit Versatz

Die selektierte Linie erscheint in der *Liste der Linien*. Falls erforderlich, können weitere Linien durch Anklicken im Arbeitsfenster ergänzt werden. Alle Linien der Liste müssen aber in einer Ebene liegen.

Im Abschnitt *Versatzabstand* kann die Distanz der Kopie zum Original angegeben werden.

Werden mehrere Linien parallel versetzt, so bestehen im Abschnitt *Äußere Ecken* mehrere Möglichkeiten, die kopierten Linien oder Stäbe anzupassen. Im Bild oben werden die kopierten Linien (ohne Achsen dargestellt) bis zum gemeinsamen Schnittpunkt verlängert. Zudem werden die beiden Enden über das Kontrollfeld *Enden schließen* mit den Originallinien verbunden.

Der Abschnitt *Versatzrichtung* steuert, auf welche Seite die Linien kopiert werden. Die Richtungen $+y$ und $-y$ werden im Arbeitsfenster direkt angezeigt. Sie werden speziell für diesen Dialog benutzt und sind unabhängig von der aktuellen Arbeitsebene. Damit spiegeln sie nicht unbedingt die Linienachsen wider. Das Eingabefeld *Drehung um x* ermöglicht das Kopieren aus der Ebene heraus.

11.7.1.2 Linien und Stäbe extrudieren

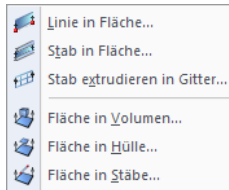
Über Extrusionen von Linien und Stäben lassen sich schnell Flächen, Gitter oder Trägerroste erzeugen. Soll jedoch ein unregelmäßiges Raster mit erweiterten Vorgaben generiert werden, ist der Dialog *Raster generieren* zu empfehlen (siehe Kapitel 11.7.2 [☞](#)).

Die Funktion wird aufgerufen über die Linien- bzw. Stab-Einträge im Menü

Extras → **Extrudieren**.

Alternativ wird das Linien- bzw. Stab-Kontextmenü benutzt.

Linie / Stab extrudieren in Fläche



Extrudieren-Optionen

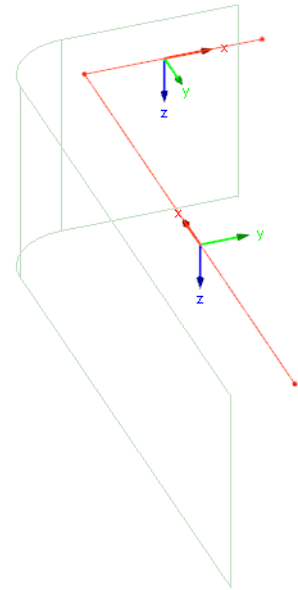
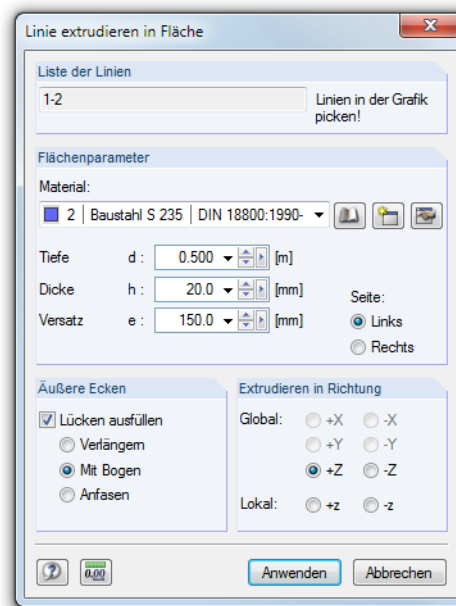


Bild 11.141 Dialog *Linie extrudieren in Fläche*

Die selektierte Linie erscheint in der *Liste der Linien*. Falls erforderlich, können weitere Linien durch Anklicken im Arbeitsfenster ergänzt werden. Alle Linien der Liste müssen aber in einer Ebene liegen.

Als *Flächenparameter* sind das Material, die Tiefe und die Dicke der neuen Fläche anzugeben. Bei einem *Versatz* wird die Fläche in einem seitlichen Abstand erzeugt, der sich auf die Extrusionsrichtung bezieht. Dabei ist die *Seite* festzulegen. Die geänderten Parameter werden sofort im Arbeitsfenster grafisch umgesetzt.

Werden mehrere Linien extrudiert, so bestehen im Abschnitt *Äußere Ecken* verschiedene Möglichkeiten, die kopierten Linien anzupassen. Im Bild oben werden die mit einem *Versatz* extrudierten Linien (ohne Achsen dargestellt) mit einem Bogen verbunden.

Im Abschnitt *Extrudieren in Richtung* ist die globale oder lokale Richtung der Extrusion anzugeben. Die Richtung wird in der Grafik angezeigt. Sie wird speziell für diesen Dialog benutzt und ist unabhängig von der aktuellen Arbeitsebene.

Stab extrudieren in Gitter

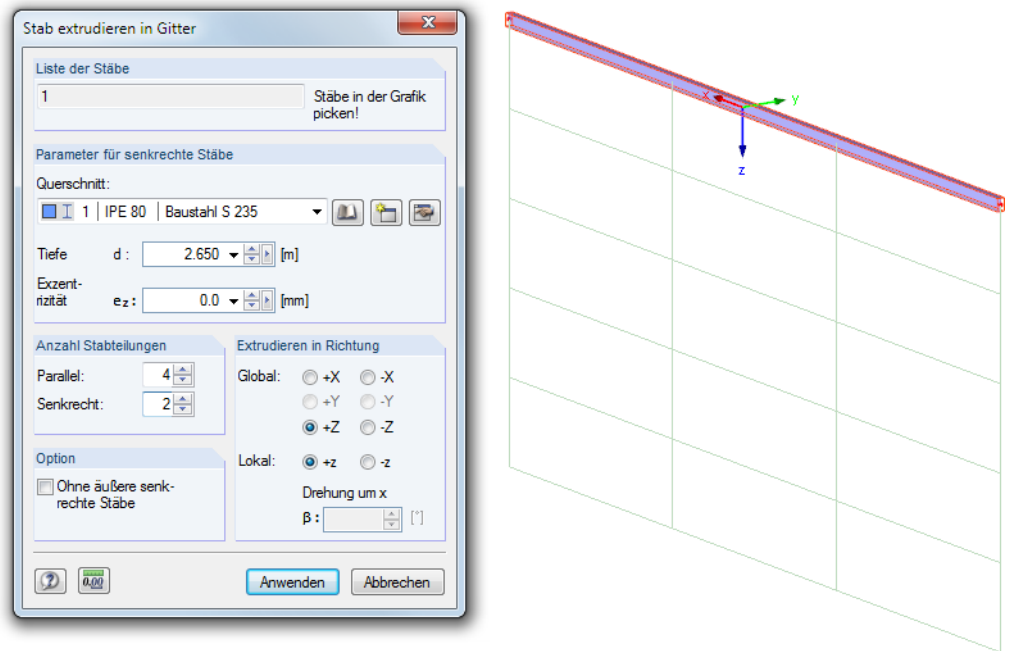


Bild 11.142 Dialog Stab extrudieren in Gitter

Der selektierte Stab erscheint in der *Liste der Stäbe*. Falls erforderlich, können weitere Stäbe durch Anklicken im Arbeitsfenster ergänzt werden. Alle Stäbe der Liste müssen aber in einer Ebene liegen.

Als *Parameter für senkrechte Stäbe* sind der Querschnitt der Vertikalstäbe und die Tiefe als Gesamthöhe des Gitters anzugeben. Optional wird eine Exzentrizität vorgegeben, um die Stäbe über einen exzentrischen Anschluss anzubinden (siehe [Kapitel 4.15](#)).

Der Abschnitt *Anzahl Stabteilungen* steuert die Einteilung in ein gleichmäßiges Gitterraster von parallelen und senkrechten Stäben. Zudem besteht die *Option*, auf die Generierung von äußeren Vertikalstäben zu verzichten.

Im Abschnitt *Extrudieren in Richtung* ist die globale bzw. lokale Richtung anzugeben, in die die Gitterstäbe erzeugt werden sollen. Die Richtung wird in der Grafik angezeigt. Sie wird speziell für diesen Dialog benutzt und ist unabhängig von der aktuellen Arbeitsebene. Das Eingabefeld *Drehung um x* ermöglicht das Kopieren aus der Ebene heraus.

11.7.1.3 Flächen extrudieren

Durch das Extrudieren von ebenen Flächen lassen sich schnell räumliche Körper erzeugen.

Diese Funktion wird aufgerufen über die Flächen-Einträge im Menü

Extras → **Extrudieren**.

Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt.



Extrudieren-Optionen

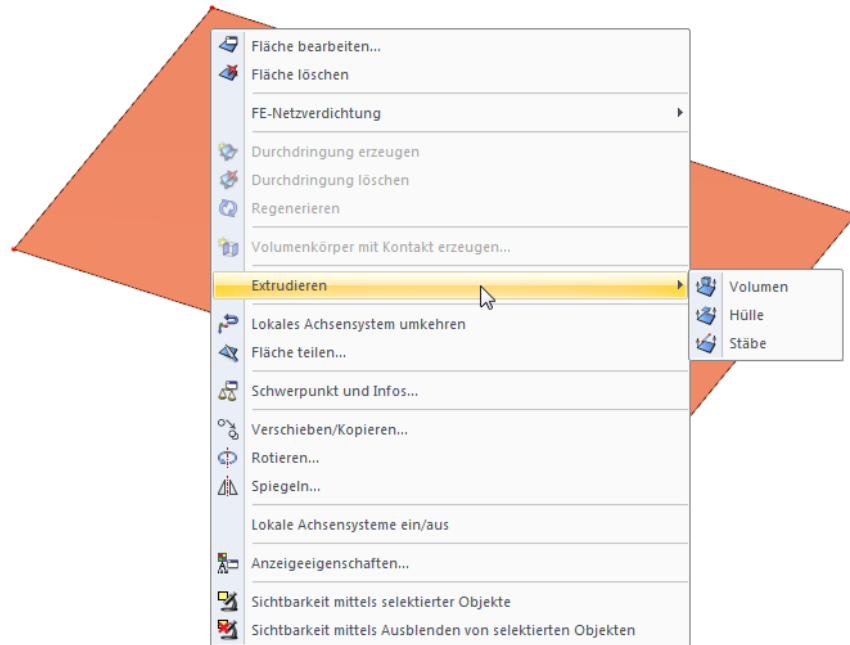


Bild 11.143 Fläche-Kontextmenü

Die drei Optionen steuern, welche Objekte durch das Parallelverschieben der Fläche im Raum entstehen:

- **Volumen:** Es wird ein 3D-Volumenkörper erzeugt (siehe [Kapitel 4.5](#)).
- **Hülle:** Es werden nur Oberflächen generiert, die den räumlichen Körper ummanteln.
- **Stäbe:** An den Verbindungslinien zwischen den Knoten und ihren Kopien werden Stäbe erzeugt. Optional wird die Basisfläche mitkopiert.

Je nach Vorgabe erscheint ein Dialog, in dem die Parameter festzulegen sind. Die Tiefe d kann dabei direkt eingetragen oder grafisch mit der Maus bestimmt werden.

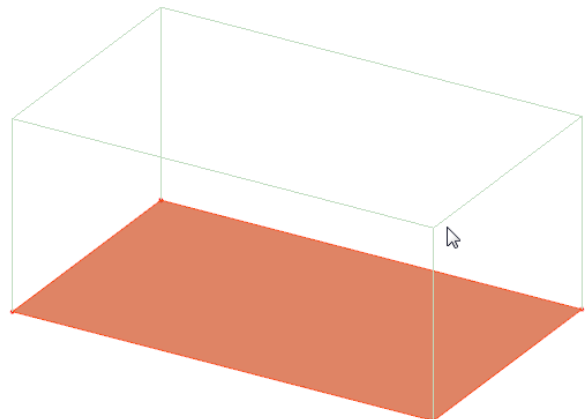
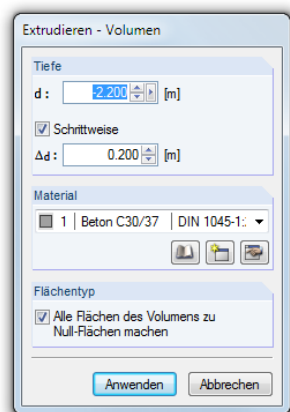


Bild 11.144 Dialog Extrudieren - Volumen

11.7.1.4 Volumenkörper generieren

Das vorherige Kapitel beschreibt, wie bereits existierende Flächen genutzt werden können, Volumen oder Hüllen zu erzeugen. Soll jedoch ein Volumen von Grund auf neu erstellt werden, bieten sich spezielle Funktionen zum Erzeugen von 3D-Körpern an: Zunächst werden die Flächen erzeugt (Rechteck mit Ausrundungen, Halbkreis etc.). Diese werden in einem zweiten Schritt auf einen Punkt oder eine Ebene bezogen extrudiert.

Fläche auf parallele Ebene bezogen extrudieren

Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Volumen** → **Grafisch** → **Zu paralleler Ebene extrudieren**



oder die entsprechende Listenschaltfläche in der Menüleiste.

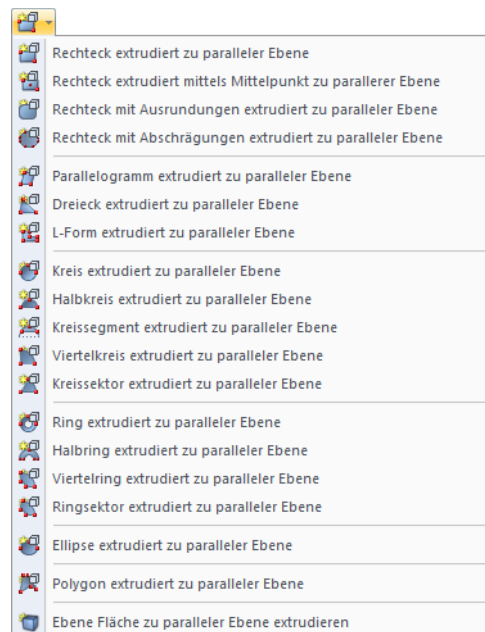


Bild 11.145 Listenschaltfläche *Fläche extrudieren*

Das Menü enthält eine Vielzahl ebener Flächenformen, die grafisch definiert und dann parallel zur Flächenebene extrudiert werden können.

Das Funktionsprinzip entspricht der grafischen Eingabe von Flächen (siehe [Kapitel 4.4](#)): Zunächst sind in einem Dialog Material und Steifigkeit festzulegen. Dann können die Flächen im Arbeitsfenster durch Anklicken der Definitionspunkte erzeugt werden.

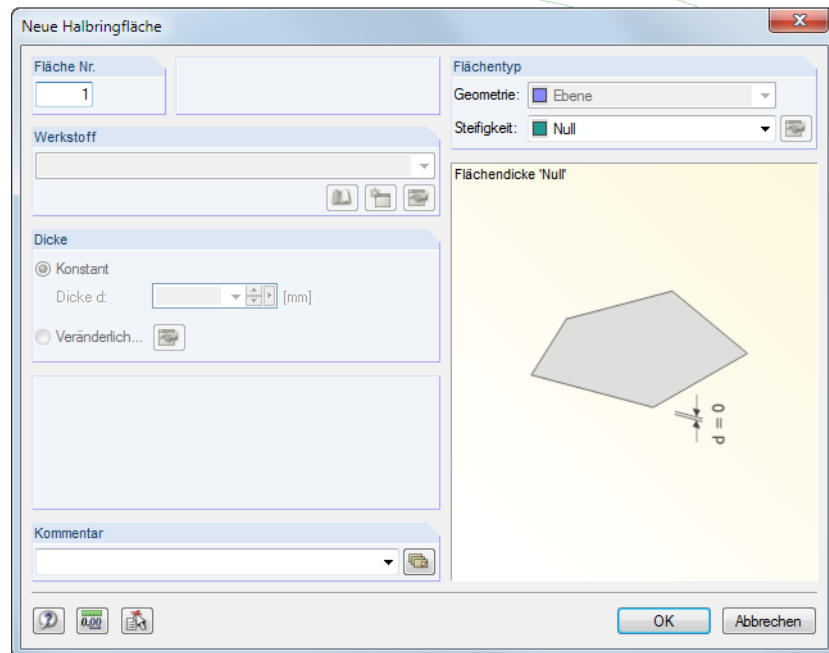


Bild 11.146 Dialog *Neue Halbringfläche* zur grafischen Definition der Fläche

Sobald die Grundfläche definiert ist, sind die Parameter zur Erzeugung des Volumenkörpers im Dialog *Extrudieren* festzulegen.

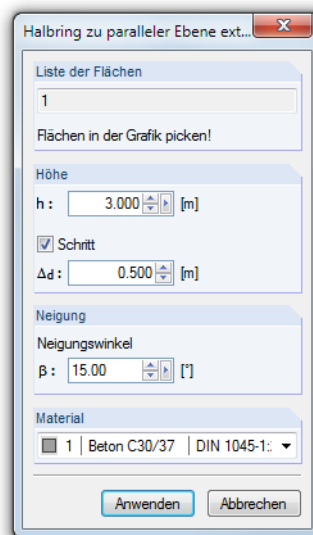
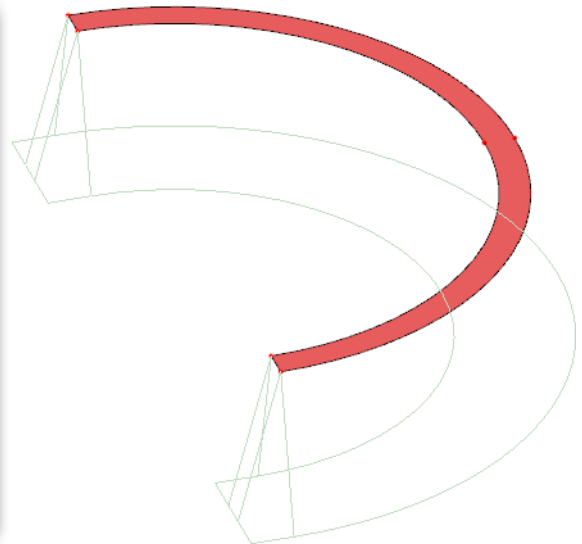


Bild 11.147 Dialog *Halbring zu paralleler Fläche extrudieren* mit geneigten Seitenflächen



Die *Höhe* h kann im Dialog direkt eingetragen oder grafisch mit der Maus bestimmt werden. Die Projektionsrichtung ist immer rechtwinklig zur Ebene der Grundfläche.

Der Abschnitt *Neigung* ermöglicht es, eine parallele Deck- bzw. Grundfläche mit geneigten Seiten zu erzeugen. Der Winkel β beschreibt die Neigung zur Projektionsrichtung.

Zusätzlich ist das *Material* des neuen Volumenkörpers anzugeben.

	Rechteck extrudiert zu Punkt
	Rechteck mit Ausrundungen extrudiert zu Punkt
	Rechteck mit Abschrägungen extrudiert zu Punkt
	Parallelogramm extrudiert zu Punkt
	Dreieck extrudiert zu Punkt
	L-Form extrudiert zu Punkt
	Kreis extrudiert zu Punkt
	Halbkreis extrudiert zu Punkt
	Kreissegment extrudiert zu Punkt
	Viertelkreis extrudiert zu Punkt
	Kreis Sektor extrudiert zu Punkt
	Ring extrudiert zu Punkt
	Halbring extrudiert zu Punkt
	Viertelring extrudiert zu Punkt
	Ringsektor extrudiert zu Punkt
	Ellipse extrudiert zu Punkt
	Polygon extrudiert zu Punkt
	Ebene Fläche zu Punkt extrudieren

Fläche auf Punkt bezogen extrudieren

Die Funktion wird aufgerufen über das Menü

Einfügen → **Modelldaten** → **Volumenkörper** → **Grafisch** → **Zu Punkt extrudieren**.

Das Menü enthält eine Vielzahl ebener Flächenformen, die grafisch definiert und dann auf einen Punkt bezogen extrudiert werden können.

Das Funktionsprinzip entspricht dem Extrudieren zu einer parallelen Ebene (siehe oben): Zunächst ist die Grundfläche grafisch zu definieren. Im *Extrudieren*-Dialog kann anschließend der Projektionspunkt der Extrusion eingetragen oder grafisch festgelegt werden.

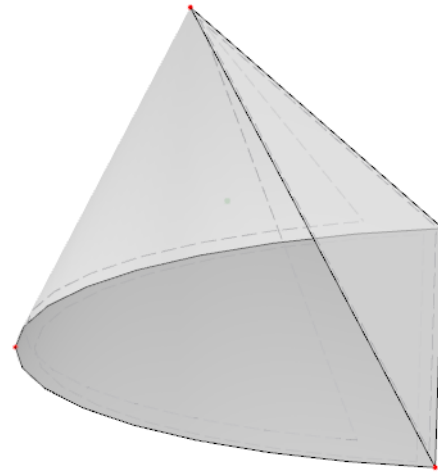
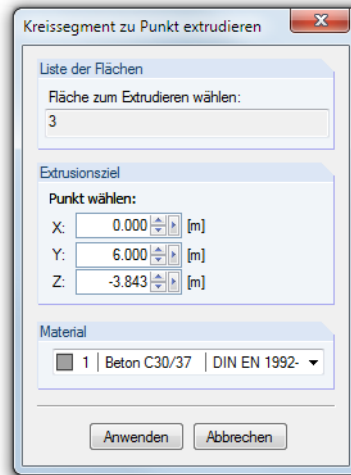


Bild 11.148 Dialog *Kreissegment zu Punkt extrudieren* mit Ergebnis

11.7.1.5 Stab in Flächen zerlegen

Manchmal ist es erforderlich, für bestimmte Bereiche eines Stabwerks genauere Untersuchungen durchzuführen (z. B. Auswertung an den Lagerungen oder Analyse einer Rahmenecke als Flächenmodell). Die manuelle Eingabe eines Profils in Form von Flächenelementen ist möglich, aber relativ aufwendig. Die Funktion *Stab in Fläche zerlegen* vereinfacht die Aufgabe, ein 1D-Stabelement über 2D-Flächenelemente abzubilden.

Diese Funktion ist nur verfügbar, wenn der Modelltyp als 3D definiert ist (siehe [Bild 12.23](#)).

Ist der Stab selektiert, kann die Zerlegung ausgeführt werden über das Menü

Extras → **Stab zerlegen in Flächen** → **Generieren**.

Diese Funktion steht auch im Stab-Kontextmenü zur Verfügung, das durch einen Rechtsklick auf den Stab aufgerufen wird (siehe [Bild 11.149](#)).



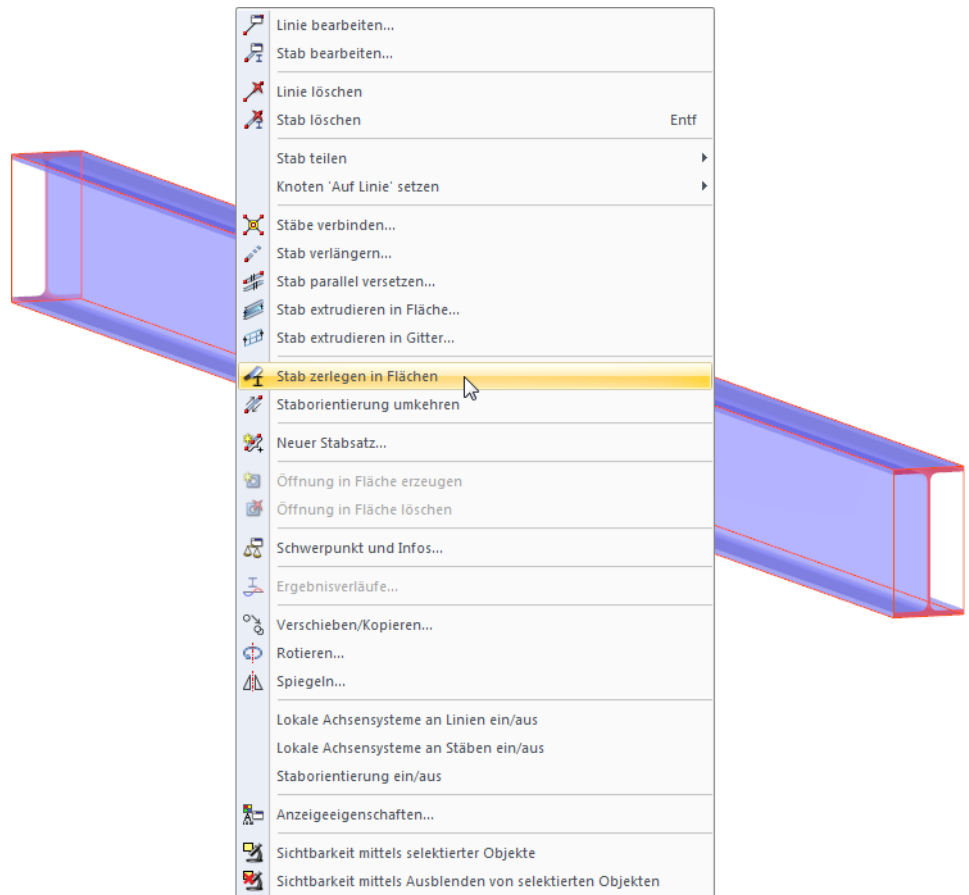


Bild 11.149 Stab-Kontextmenü

Die Informationen zum Stab gehen nicht verloren: Neben den Flächen wird in der Schwerachse ein Nullstab angelegt. Dieser enthält alle Stabdaten, wird aber nicht bei der Berechnung berücksichtigt.

Weitere Optionen zur Funktion *Stab zerlegen in Flächen* sind zugänglich über das Menü

Extras → Stab zerlegen in Flächen → Einstellungen.

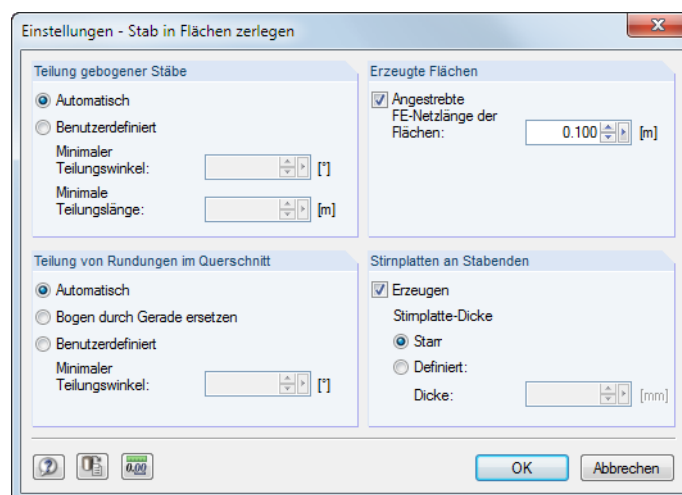


Bild 11.150 Dialog Einstellungen - Stab in Flächen zerlegen

Der Abschnitt *Teilung gebogener Stäbe* steuert, wie oft ein Stab geteilt wird, der auf einer gebogenen Linie liegt. Wird mit der Voreinstellung *Automatisch* ein sehr grober Polygonzug generiert, kann der *Teilungswinkel* oder die *Teilungslänge* verkleinert werden.

Die Einstellungen im Abschnitt *Teilung von Rundungen im Querschnitt* beeinflussen die Zerlegung von gekrümmten Flächen, z. B. Stäbe mit Querschnittstyp „Rohr“. Auch hier kann die Zerlegung durch einen benutzerdefinierten Teilungswinkel verfeinert werden.

Im Abschnitt *Erzeugte Flächen* kann eine FE-Netzverdichtung für die generierten Flächen definiert werden (siehe Kapitel 4.23 [\[1\]](#)).

Im Zuge der Umwandlung lassen sich zusätzlich *Stirnplatten* an den Stabenden erzeugen. Die Eigenschaften dieser Flächen können nachträglich durch Bearbeiten der Flächen angepasst werden (siehe Kapitel 4.12 [\[2\]](#)).

11.7.2 Modellgenerierer

Die Dialoge zur Erzeugung von Modellobjekten sind zugänglich in den Menüs

Extras → Modell generieren - Stäbe und

Extras → Modell generieren - Flächen.

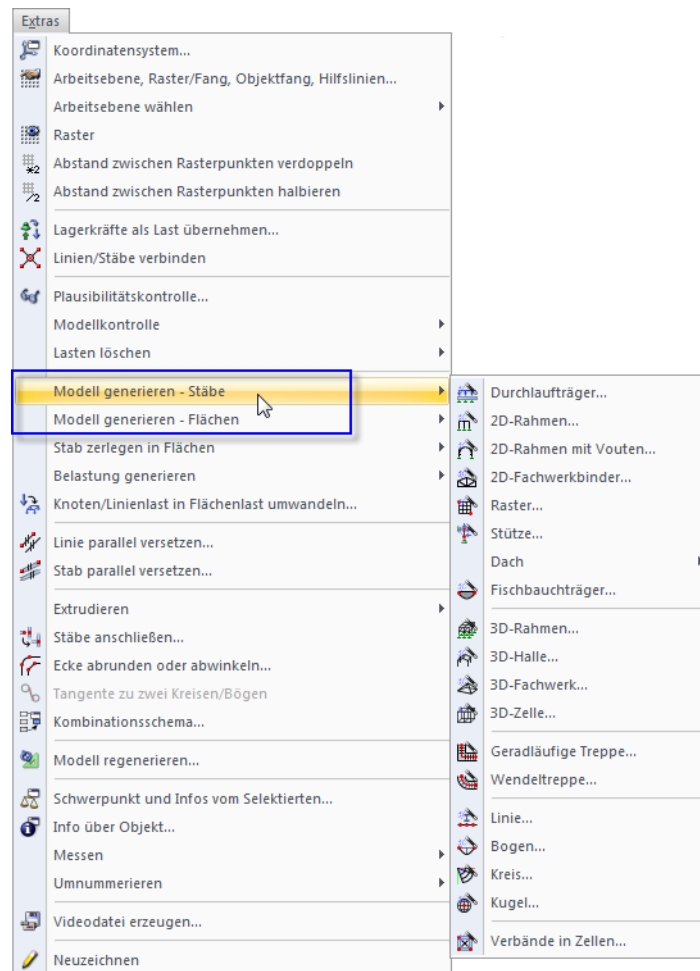


Bild 11.151 Menü Extras → Modell generieren - Stäbe bzw. Flächen

Die Generierer sind auf den folgenden Seiten einzeln vorgestellt. Auf eine detaillierte Beschreibung der Dialoge wird verzichtet, da die Grafiken in den Dialogen die Bedeutung der Parameter erklären.

Jede Dialogeingabe kann als Muster abgespeichert und später wieder verwendet werden. Mit den beiden links gezeigten Schaltflächen lassen sich die Generiererdaten [Speichern] und [Einlesen].



11.7.2.1 Stäbe

Durchlaufträger

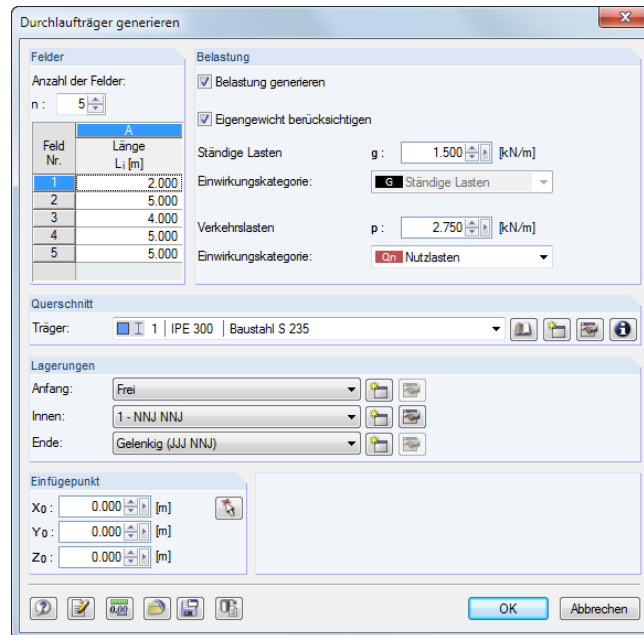


Bild 11.152 Dialog Durchlaufträger generieren

Es wird ein Durchlaufträger mit konstantem Querschnitt, Lagern und unregelmäßigen Feldern erzeugt. Optional werden Lastfälle und Ergebniskombinationen mit angelegt.

2D-Rahmen

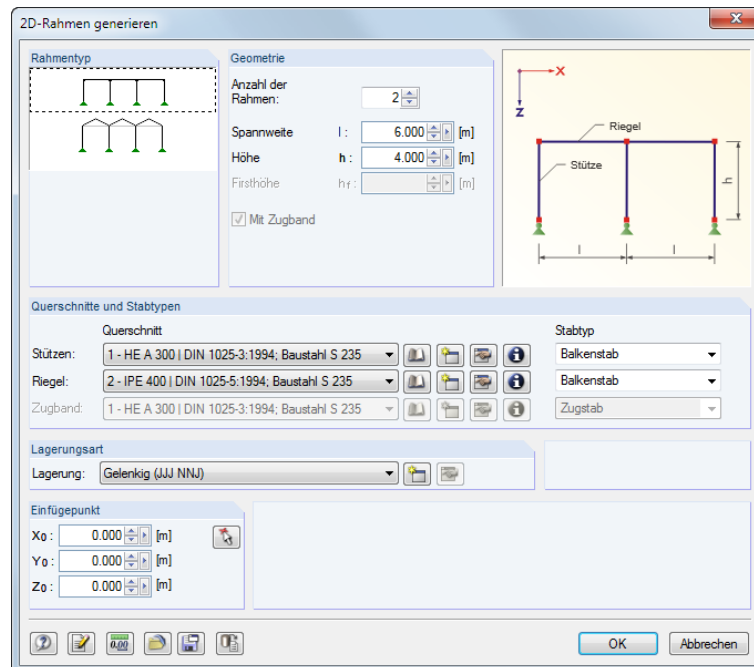


Bild 11.153 Dialog 2D-Rahmen generieren

Vor der Eingabe der Geometrie- und Querschnittsdaten sollte der *Rahmentyp* ausgewählt werden. Die Stützen des ebenen Rahmens erhalten eine einheitliche Lagerung.

2D-Rahmen mit Vouten

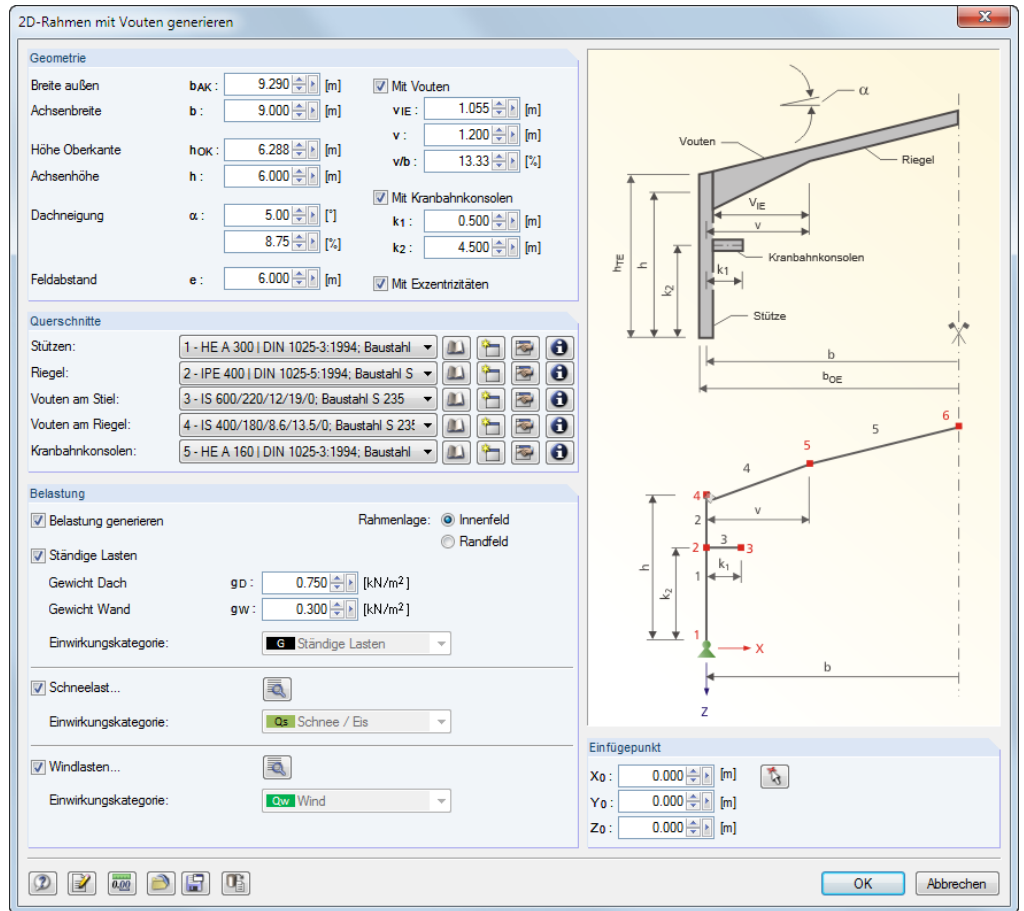



Bild 11.154 Dialog 2D-Rahmen mit Vouten generieren

Der ebene Rahmen ist über die *Geometrie* und *Querschnitte* zu definieren. Es sind Vouten, Kranbahnkonsolen und exzentrische Anschlüsse möglich. Zusätzlich kann eine *Belastung* erzeugt werden. Dabei bieten die Schaltflächen  Zugang zu den Generierparametern. Die *Rahmenlage* ist für die Lastermittlung bedeutsam.

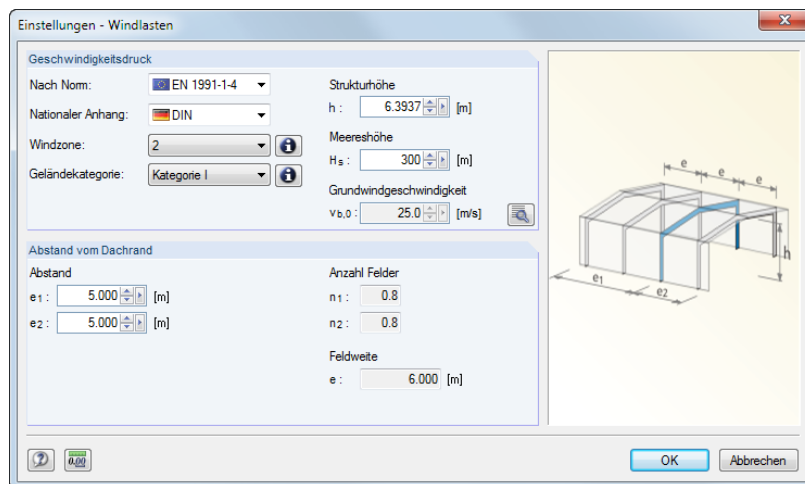


Bild 11.155 Dialog Einstellungen - Windlasten

2D-Fachwerkbinder

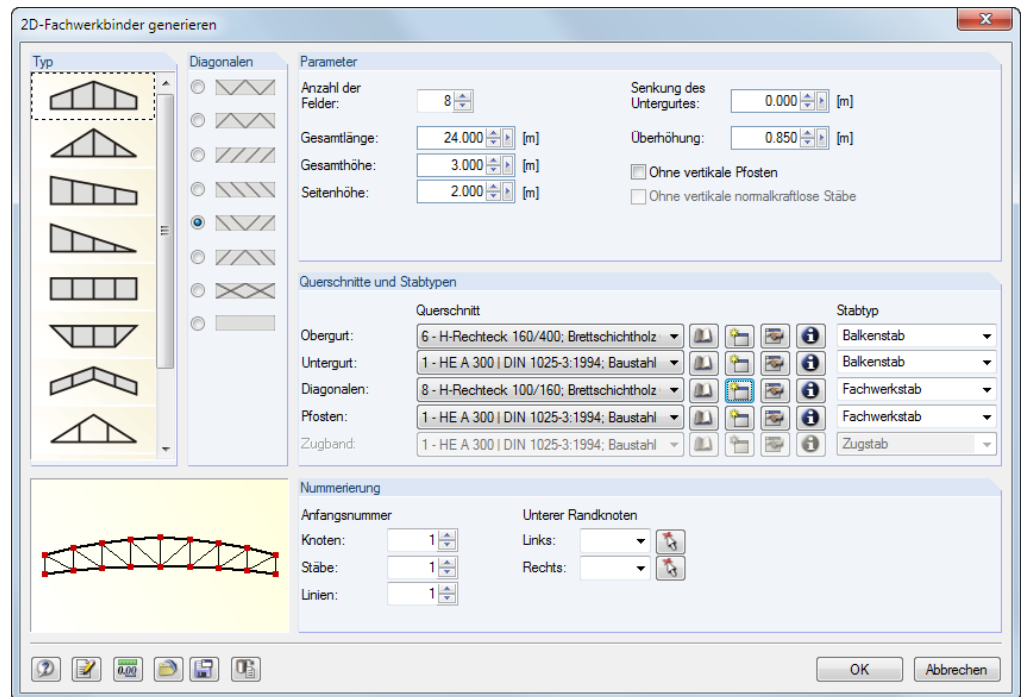


Bild 11.156 Dialog 2D-Fachwerkbinder generieren

In der Liste sind der *Typ* des Fachwerks und die Anordnung der *Diagonalen* festzulegen. Anschließend können die *Parameter*, *Querschnitte* und *Stabtypen* definiert werden.

Raster

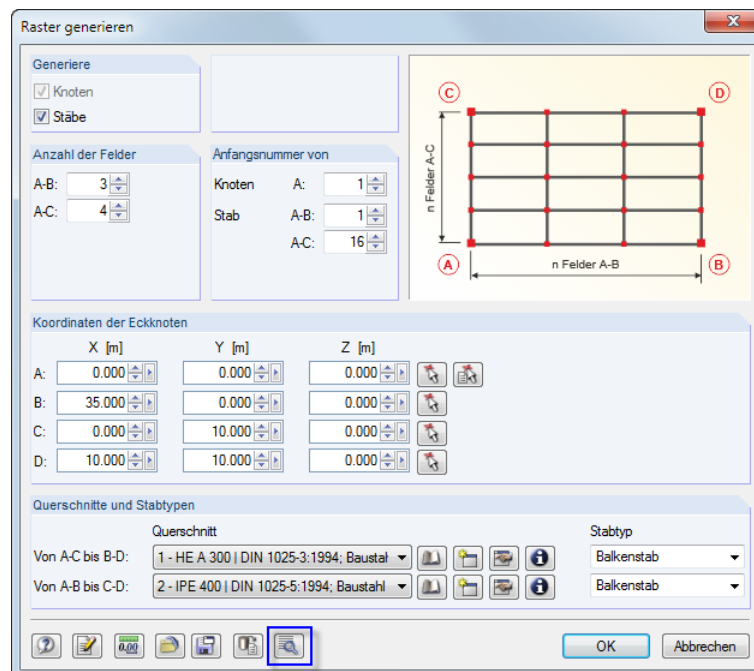



Bild 11.157 Dialog Raster generieren

Dieser Generierer erzeugt Modelle, die ein gleichmäßiges Raster aufweisen (z. B. Trägerroste). Sie brauchen nicht wie in der Dialoggrafik gezeigt mit rechten Winkeln ausgeführt werden; es sind beliebige räumliche Quadrangelmodelle über die vier Eckpunkte möglich. Um einen „echten“

Trägerrost zu erzeugen, sollte der *Modelltyp* bei den Basisangaben des Modells auf **2D - in XY** gesetzt werden (siehe Kapitel 12.2 [\[1\]](#)).

Über die Schaltfläche  können auch unregelmäßige Raster generiert werden.

Stütze

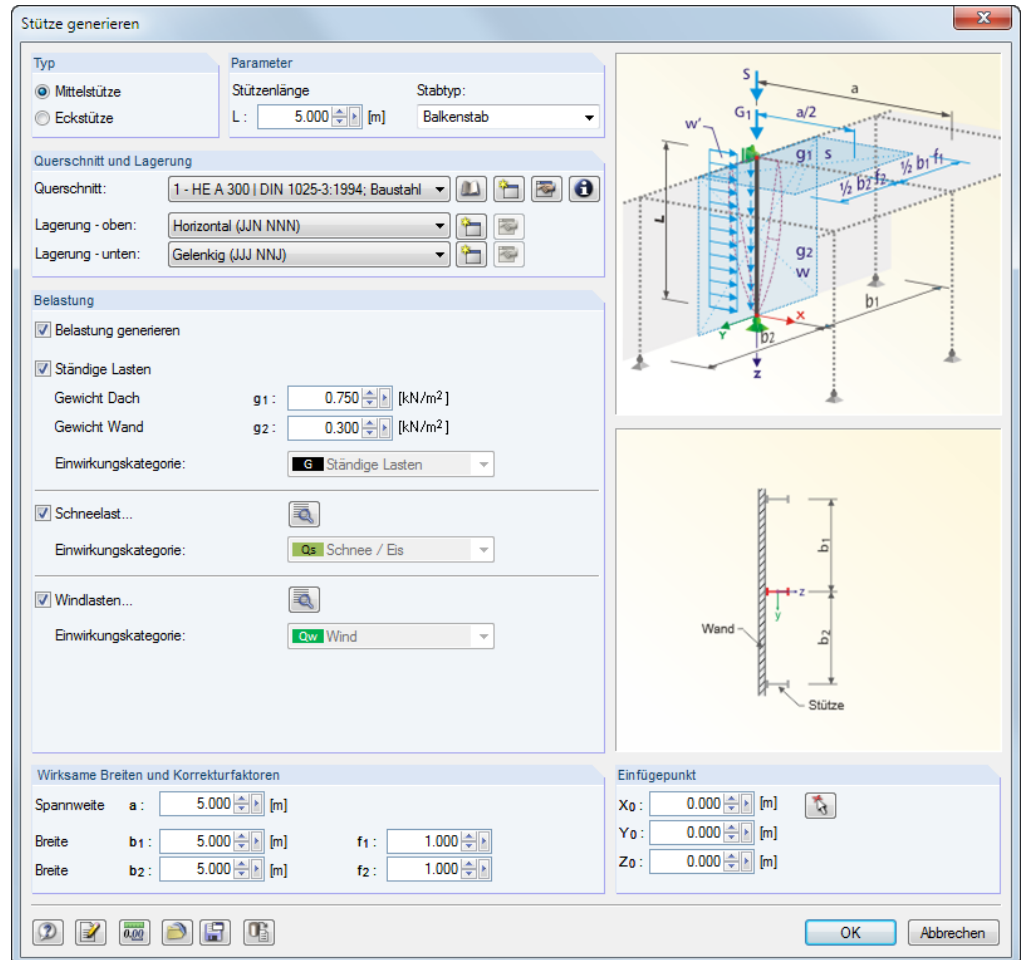


Bild 11.158 Dialog Stütze generieren

Im Abschnitt *Typ der Stütze* ist festzulegen, ob eine Mittel- oder Eckstütze vorliegt. Falls eine *Belastung* erzeugt werden soll, sind die *Wirksamen Breiten und Korrekturfaktoren* der Lasten anzugeben.

Die Spannweite a wird bei einer Giebelstütze für den Einflussbereich in Hallenlängsrichtung benötigt. Mit den Faktoren f_1 und f_2 können die geometrischen Breiten b_1 und b_2 für das statische Modell skaliert oder spezielle Normauflagen berücksichtigt werden (z. B. Lasterhöhungsfaktoren für Einzelnachweise).

Dachgenerierer

Im Menüeintrag *Dach* stehen drei Dachgenerierer zur Auswahl. Damit lassen sich ebene Dachsysteme einschließlich *Belastung* erzeugen (siehe folgende Bilder).



Die Ermittlung der Wind- und Schneelasten wird über die [Details]-Schaltflächen in den Dialogen erleichtert (siehe Bild 11.155 [\[1\]](#)).

Dach → Kehlbalkendach

Kehlbalkendach generieren

Geometrie

Spannweite l : 10.000 [m] Unverschiebliches System

Gesamthöhe h : 3.500 [m]

Dachneigung α : 34.99 [°]

Kehlbalkenhöhe h_{ku} : 2.000 [m]

Firsthöhe h_{fu} : 1.500 [m]

Kehlbalkenlänge l_k : 4.286 [m]

Kehlbalkenabstand l : 2.857 [m]

Sparrenabstand e : 1.000 [m]

Querschnitte

Sparren: 9 - H-Rechteck 100/200; Brettschichtholz

Kehlbalken: 8 - H-Rechteck 100/160; Brettschichtholz

Belastung

Belastung generieren

Ständige Lasten

Dachauflast g_D : 0.750 [kN/m²]

Ausbaulast g_U : 0.300 [kN/m²]

Einwirkungskategorie: G Ständige Lasten

Schneelast...

Einwirkungskategorie: Cs Schnee / Eis

Windlasten...

Traufhöhe über Gelände h_o : 5.650 [m]

Einwirkungskategorie: Cw Wind

Einfügepunkt

Xo: 0.000 [m]

Yo: 0.000 [m]

Zo: 0.000 [m]

OK Abbrechen

Bild 11.159 Dialog Kehlbalkendach generieren

Dach → Sparrendach

Sparrendach generieren

Geometrie

Spannweite l : 12.000 [m]

Höhe h : 4.201 [m]

Dachneigung α : 35.00 [°]

Sparrenabstand e : 4.000 [m]

Querschnitt

Sparren: 9 - H-Rechteck 100/200; Brettschichtholz

Belastung

Belastung generieren

Ständige Lasten

Dachauflast g_D : 0.750 [kN/m²]

Einwirkungskategorie: G Ständige Lasten

Schneelast...

Einwirkungskategorie: Cs Schnee / Eis

Windlasten...

Traufhöhe über Gelände h_o : 5.650 [m]

Einwirkungskategorie: Cw Wind

Einfügepunkt

Xo: 0.000 [m]

Yo: 0.000 [m]

Zo: 0.000 [m]

OK Abbrechen

Bild 11.160 Dialog Sparrendach generieren

Dach → Pfettendach

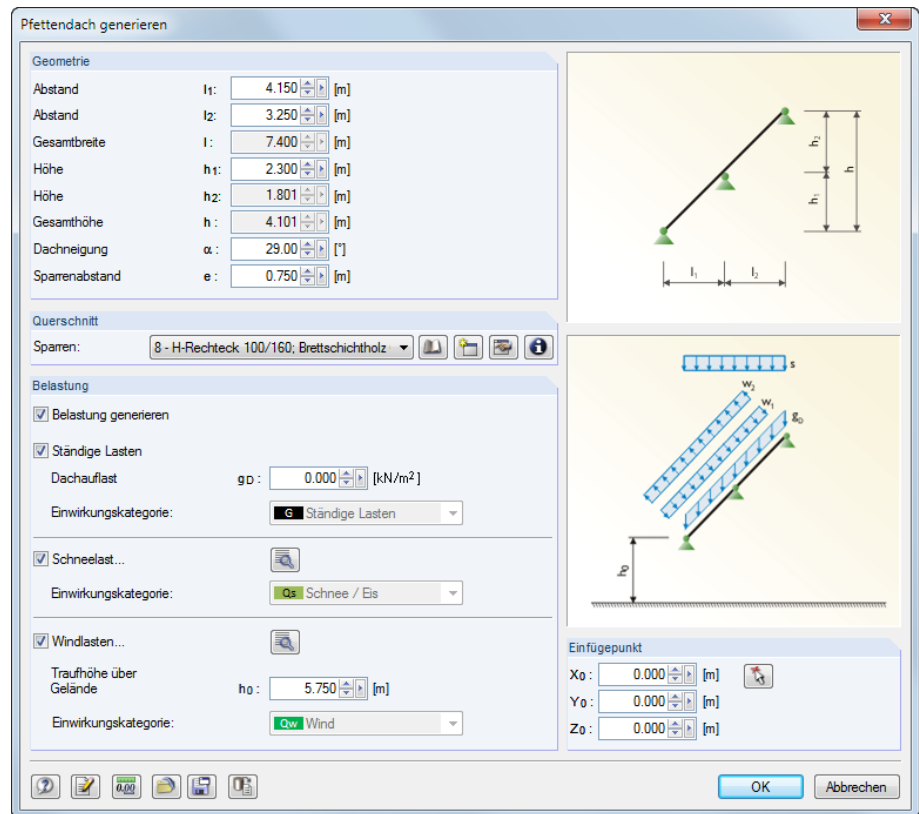


Bild 11.161 Dialog Pfettendach generieren

Fischbauchträger

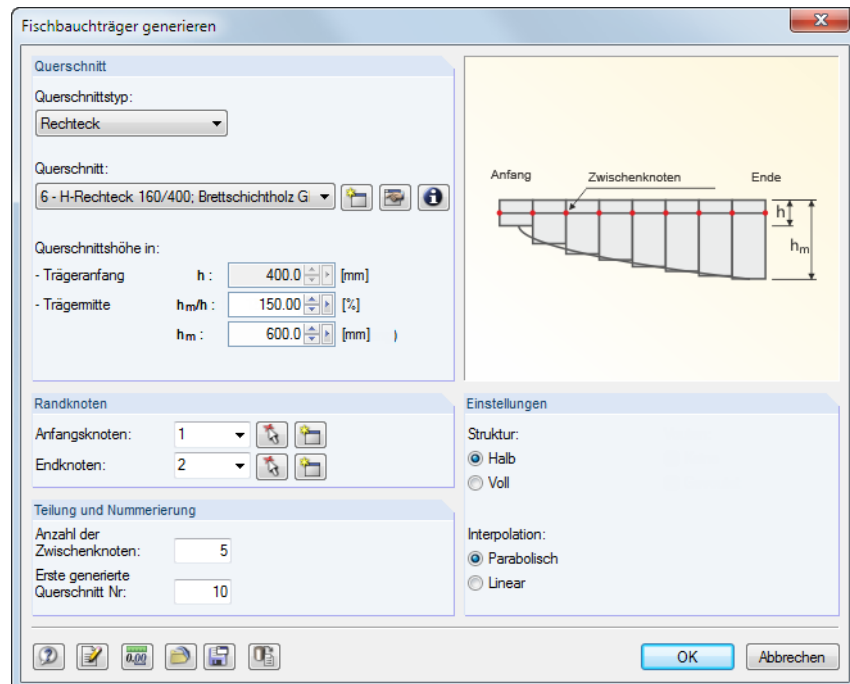


Bild 11.162 Dialog Fischbauchträger generieren

Zur Generierung der vor allem im Holzbau gebräuchlichen Fischbauchträger stehen in der Liste *Querschnittstyp* die Rechteck- und ITS-Profiltypen (symmetrische I-Träger) zur Auswahl.

3D-Rahmen

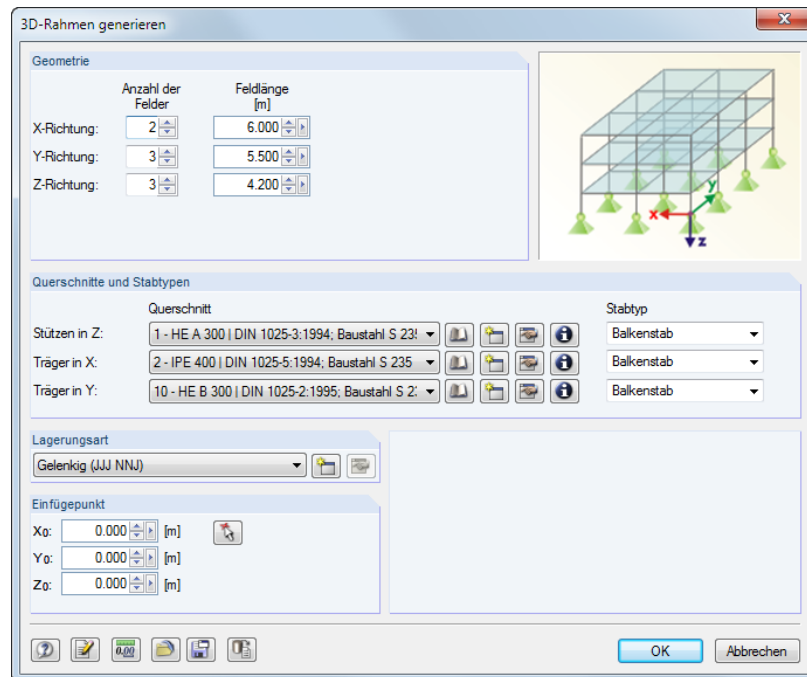


Bild 11.163 Dialog 3D-Rahmen generieren

Dieser Generierer erzeugt regelmäßige Rahmenmodelle. Die Stützen des Rahmens erhalten eine einheitliche Lagerung.

3D-Halle

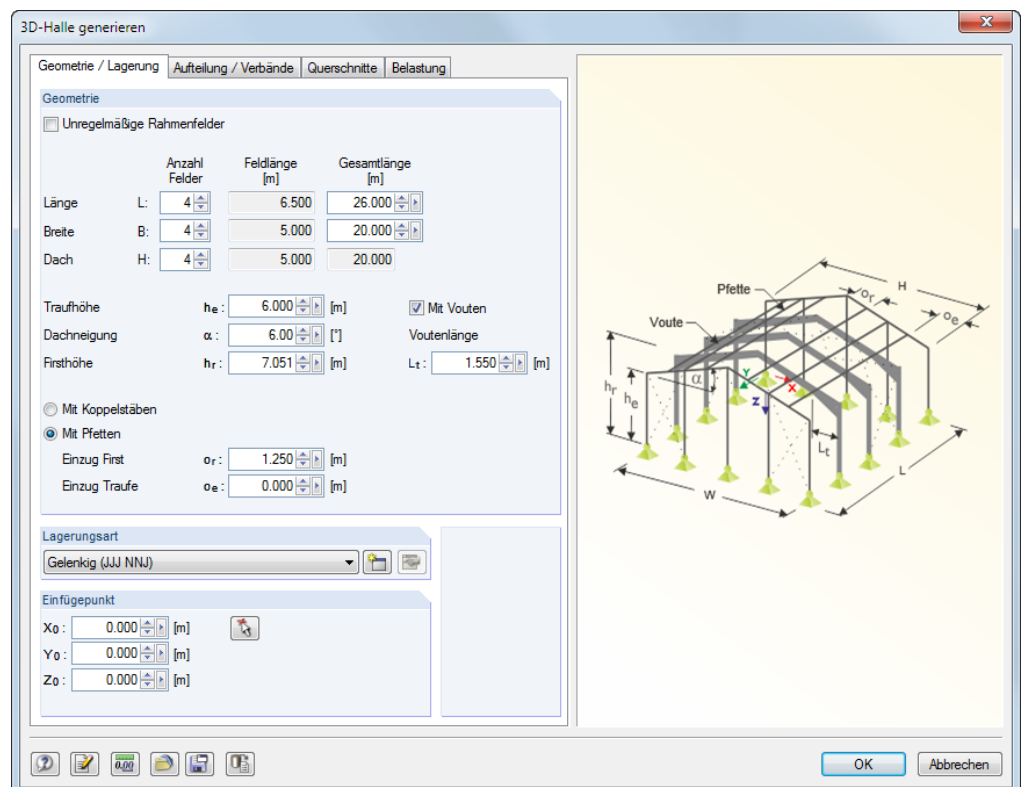


Bild 11.164 Dialog 3D-Halle generieren

Dieser umfangreiche Generierer erzeugt eine ganze Halle einschließlich Belastung. Es stehen vier Register zur Verfügung: *Geometrie/Lagerung* verwaltet die Systemgeometrie, *Aufteilung/Verbände* regelt unregelmäßige Rasterabstände und die Anordnung von Verbänden. In den restlichen Registern werden die *Querschnitte* und die *Belastung* definiert.

3D-Fachwerk

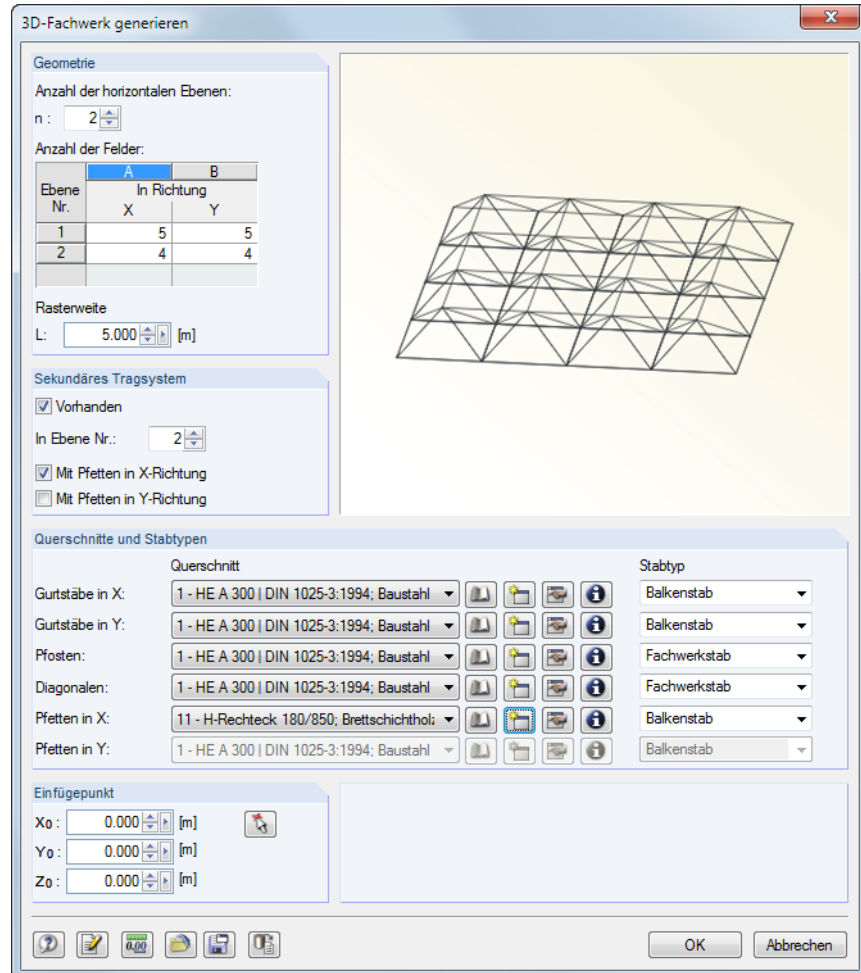


Bild 11.165 Dialog 3D-Fachwerk generieren

Es wird ein Raumtragwerk nach dem System *Bernauer* erzeugt.

3D-Zelle

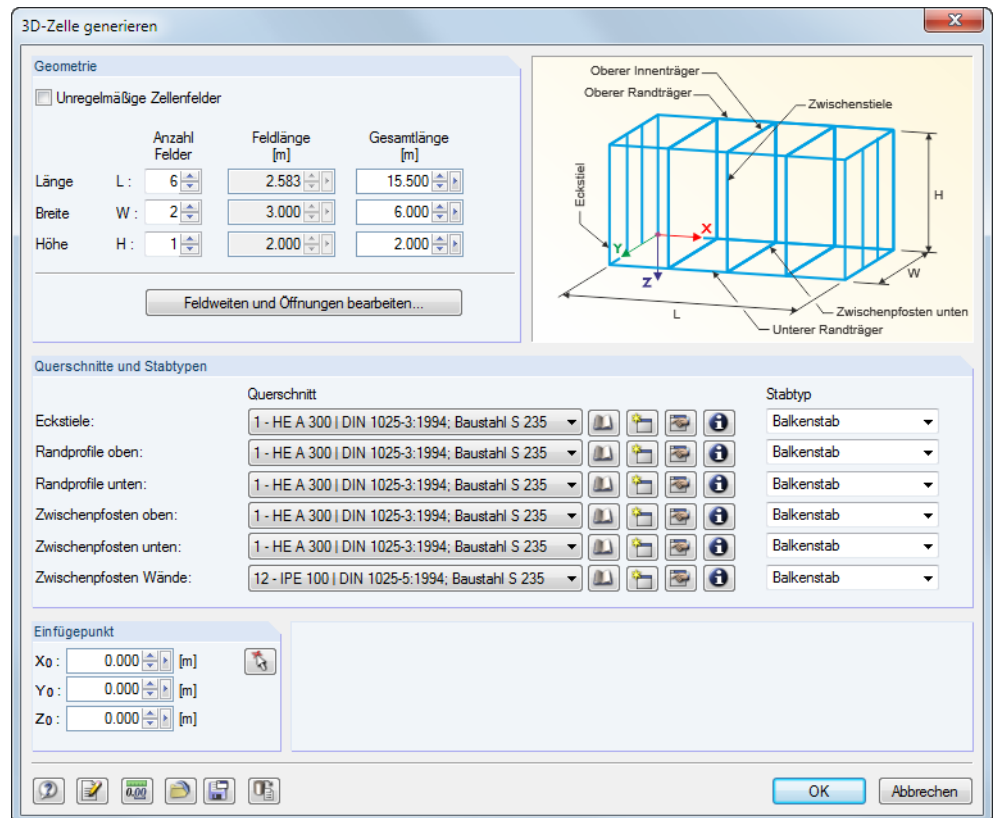


Bild 11.166 Dialog 3D-Zelle generieren

Feldweiten und Öffnungen bearbeiten

Dieser Generierer erzeugt eine räumliche Zelle mit mehreren Feldern. Die links dargestellte Schalfläche ruft einen weiteren Dialog auf, in dem die Rasteranordnung bei unregelmäßigen Feldabständen und Öffnungen festgelegt werden kann.

Geradläufige Treppe

Geradläufige Treppe generieren

Typ

Definieren durch

- Koordinaten der Eckpunkte A, B, Treppenhöhe und -länge
- Koordinaten der Eckpunkte A, B, Steigungshöhe und Auftritttiefe
- Koordinaten der Eckpunkte

Koordinaten der Eckpunkte

	X [m]	Y [m]	Z [m]
A:	0.000	0.000	0.000
B:	0.000	1.750	0.000
C:	4.200	0.000	2.300
D:	4.200	1.750	2.300
E:	5.950	4.750	3.950
F:	4.200	4.750	3.950

Querschnitte und Stabtypen

Wangen: 5 - HE A 160 | DIN 1025-3:1994; Baustahl | Balkenstab

Stufen: 13 - Flachstahl 280/12; Baustahl S 235 | Balkenstab

Podest: 5 - HE A 160 | DIN 1025-3:1994; Baustahl | Balkenstab

Abmessungen

	Erster Treppenlauf:	Zweiter Treppenlauf:	Dritter Treppenlauf:
Anzahl Stufen	n1: 14	n2: 10	n3:
Treppenhöhe	h1: 2.300 [m]	h2: 1.650 [m]	h3:
Laufänge	l1: 4.200 [m]	l2: 3.000 [m]	l3:
Laufbreite	b1: 1.750 [m]	b2: 1.750 [m]	b3:
Stufenhöhe	s1: 0.164 [m]	s2: 0.165 [m]	s3:
Stufenbreite	a1: 0.300 [m]	a2: 0.300 [m]	a3:
Kriterium $2s_1 + a_1$	g1: 0.629 [m]	g2: 0.630 [m]	g3:

Podest

Mit Podest

Podesttiefe t_p : 2.000 [m]

Podestbreite b_p : 2.000 [m]

0. Treppenstufe zwischen A-B

Nummerierung

Erste Nummer für

Knoten: 54

Stäbe: 77

OK Abbrechen

Bild 11.167 Dialog Geradläufige Treppe generieren

In der Liste ist der Typ der Treppe auszuwählen, der die übrigen Parameter steuert.

Wendeltreppe

Wendeltreppe generieren

Mittelpunkt 0

Xo: 0.000 [m]

Yo: 0.000 [m]

Zo: 0.000 [m]

Parameter

Innenradius R: 1.200 [m]

Gesamthöhe H: 4.200 [m]

Wendelwinkel ψ : -270.00 [°]

Anzahl Stufen ns: 24

Stufenhöhe ΔH : 0.175 [m]

Stufenbreite ΔW : 1.800 [m]

Unterer Außenpunkt A

Xa: 3.000 [m]

Ya: 0.000 [m]

Anfangsnummer für

Knoten: 1

Stäbe: 1

Anzahl neuer

Knoten: 58

Stäbe: 85

Podest

Anzahl Stufen nL: 4

Stufentiefe ΔD : 1.000 [m]

Querschnitte und Stabtypen

Querschnitt

Außenwange: 14 - U 160 | DIN 1026-1:1963; Baustahl S | Balkenstab

Innenwange: 14 - U 160 | DIN 1026-1:1963; Baustahl S | Balkenstab

Stufen: 13 - Flachstahl 280/12; Baustahl S 235 | Balkenstab

Stabtyp

Balkenstab

Balkenstab

Balkenstab

OK Abbrechen

Bild 11.168 Dialog Wendeltreppe generieren

Linie

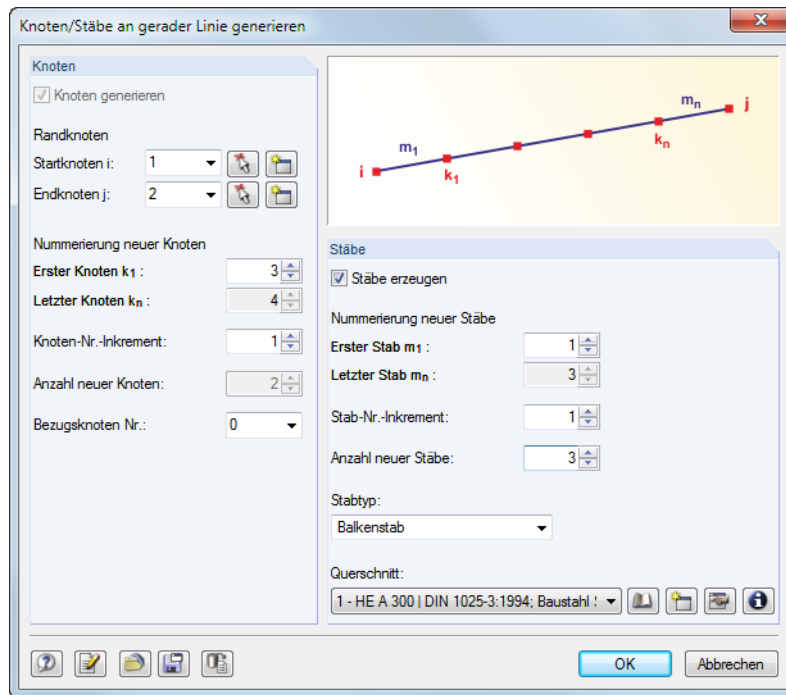


Bild 11.169 Dialog Knoten/Stäbe an gerader Linie generieren

Diese Funktion ermöglicht die Generierung von Geraden aus neuen oder bestehenden Knoten. Es können auch nur Knoten erzeugt werden, die auf einer imaginären Geraden liegen.

Bogen

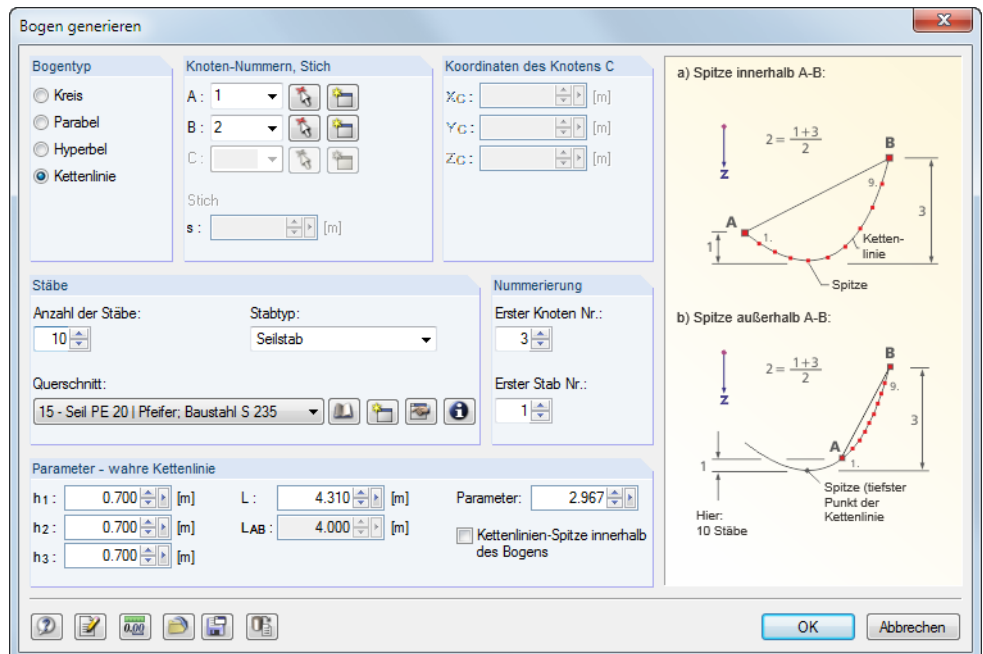


Bild 11.170 Dialog Bogen generieren

Zunächst ist der *Bogentyp* festzulegen: Kreis, Parabel, Hyperbel oder Kettenlinie. Die Punkte A und B stellen die beiden Randknoten des Bogens dar, Punkt C steuert dessen Anordnung. Mit dem *Stich* wird der Durchhang festgelegt. Der Parameter *L* legt die Länge einer Kettenlinie fest. Dabei besteht eine

Interaktion mit den Höhen h_1 , h_2 und h_3 .

Der *Parameter* beschreibt die Konstante a in folgender Funktionsgleichung der Kettenkurve:

$$y(x) = a \cosh\left(\frac{x - v_x}{a}\right) + v_y$$

Gleichung 11.1

mit v_x bzw. v_y : Verschiebungen in x bzw. y

Je größer die Anzahl der Stäbe, desto genauer wird der Bogen als Polygonzug modelliert.

Kreis

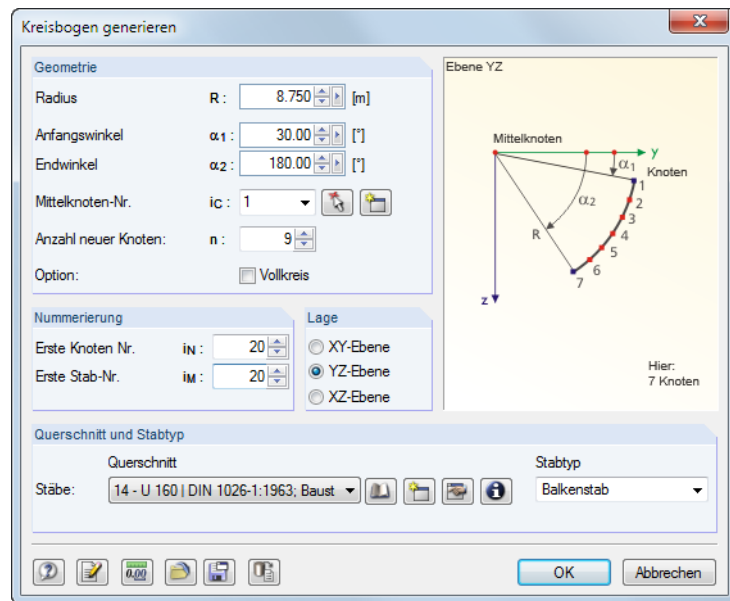


Bild 11.171 Dialog Kreisbogen generieren

Der *Radius* und die *Winkel* definieren einen Kreisbogen bzw. Vollkreis, der um einen frei wählbaren Mittelpunkt in einer der globalen Ebenen erzeugt wird.

Kugel

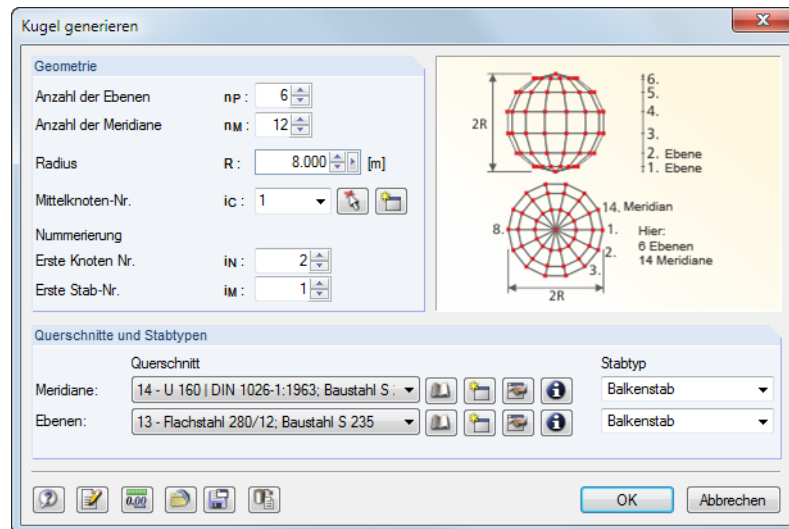


Bild 11.172 Dialog Kugel generieren

Je größer die Anzahl der *Ebenen* und *Meridiane* gewählt wird, desto runder wird die Kugel. Die Annäherung an die Kugelform wird durch Polygonzüge erreicht, wobei jedes Segment einem Stab entspricht.

Verbände in Zellen

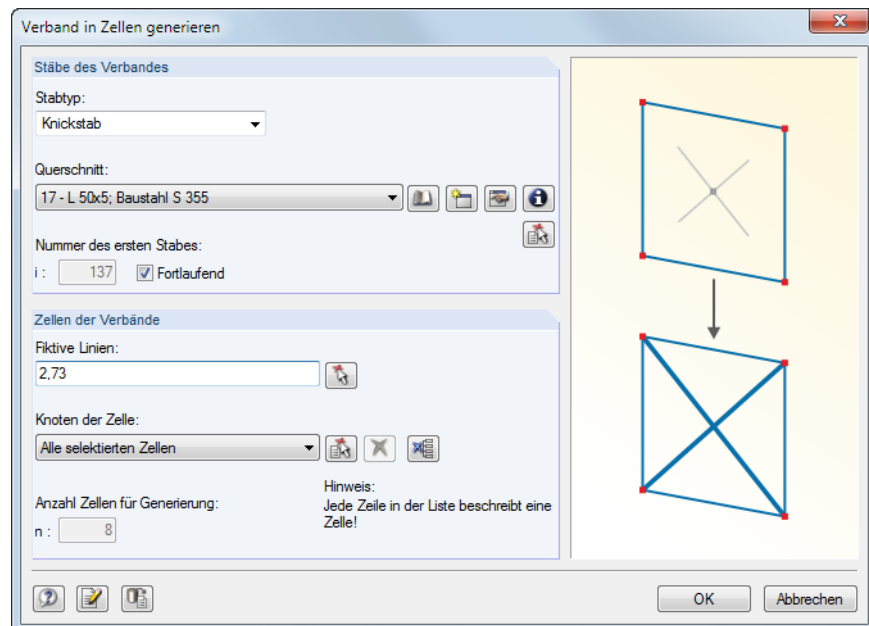



Bild 11.173 Dialog Verband in Zellen generieren

Zellen sind durch vier Eckknoten gebildete, allseitig mit Stäben umschlossene Bereiche, die in einer Ebene liegen. Im Dialog sind die *Stäbe des Verbandes* und die *Zellen der Verbände* anzugeben bzw. mit  im Arbeitsfenster durch Anklicken der Zellenkreuze auszuwählen.

Über *Fiktive Linien* ist es möglich, Zellen zu schließen, sodass auch z. B. zwischen Wandstützen Verbände erzeugt werden können.

11.7.2.2 Flächen

Gewölbter Boden nach DIN 28011 bzw. DIN 28013

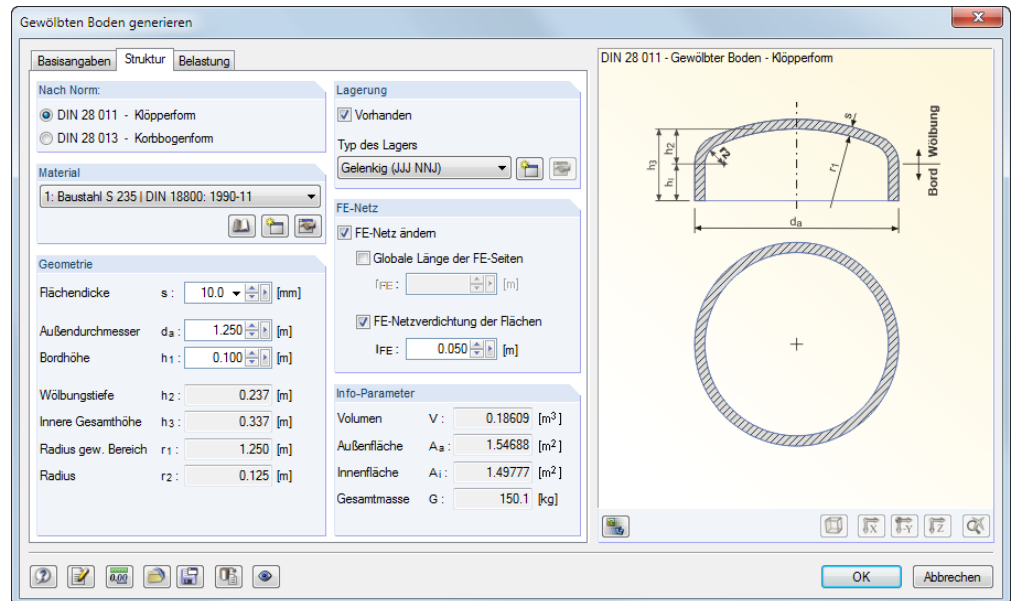


Bild 11.174 Dialog Gewölbten Boden generieren, Register Struktur

Zur Generierung eines gewölbten Bodens stehen die Normvarianten *Klopferform* und *Korbbogenform* zur Verfügung. Ist im Register *Basisangaben* der Bezugspunkt zur Platzierung des Bodens festgelegt, können im Register *Struktur* das Material und die Generierparameter Flächendicke, Außendurchmesser und Bordhöhe definiert werden. Im Register *Belastung* besteht die Möglichkeit, zusätzlich einen Überdruck als Flächenlast für die Generierung anzugeben.

Tonnendach

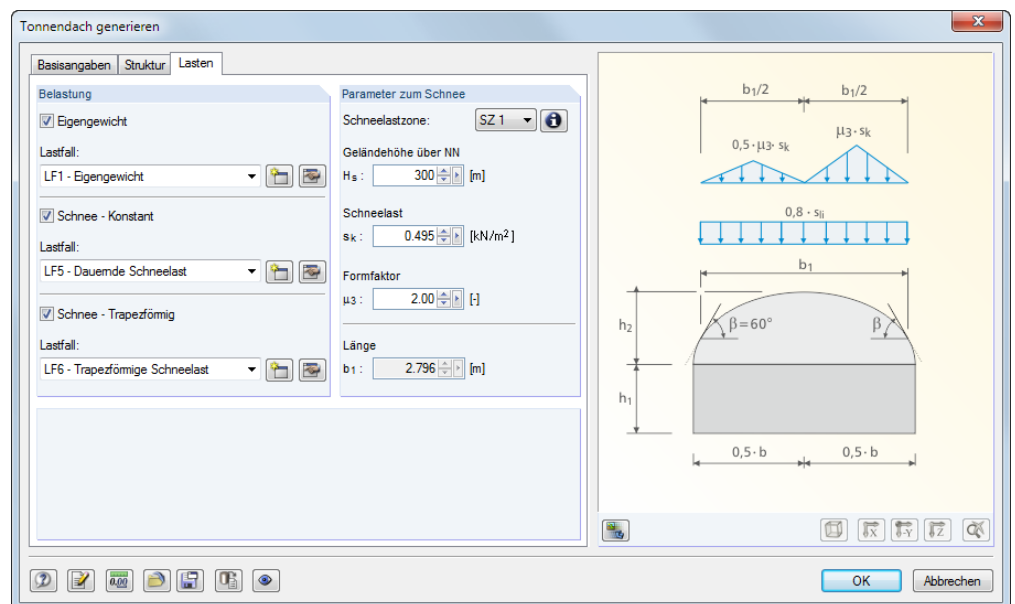


Bild 11.175 Dialog Tonnendach generieren, Register Lasten

Die Parameter des Tonnendachs sind in den Registern *Basisangaben* und *Struktur* anzugeben. Im Register *Lasten* erfolgen die Angaben zur Erzeugung der Schneelastfälle.

Kuppeldach

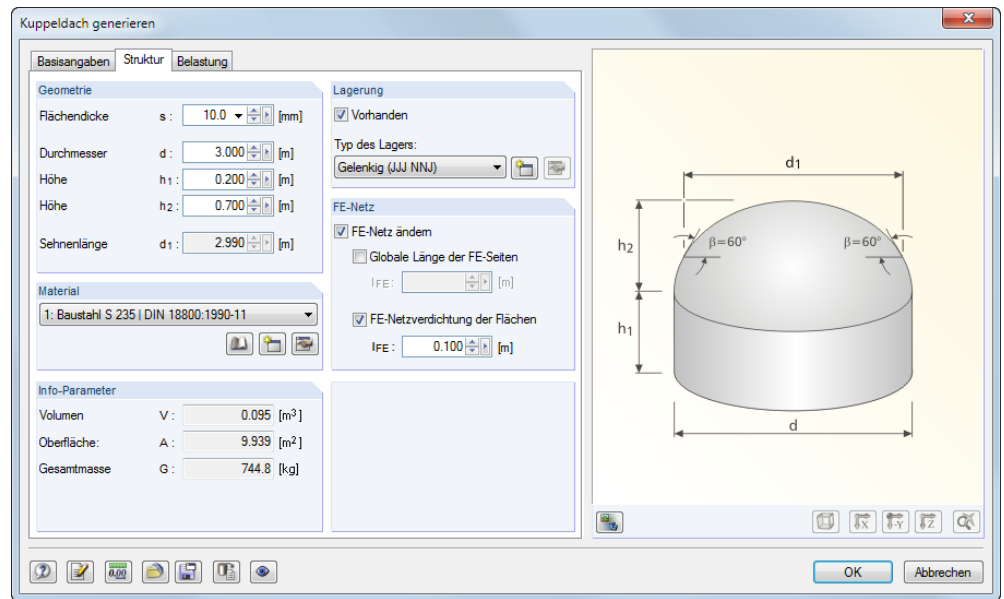


Bild 11.176 Dialog Kuppeldach generieren, Register Struktur

Die Parameter des Kuppeldachs sind in den Registern *Basisangaben* und *Struktur* anzugeben. Im Register *Belastung* erfolgen die Angaben zur Erzeugung der Schneelastfälle.

Flächen aus Zellen

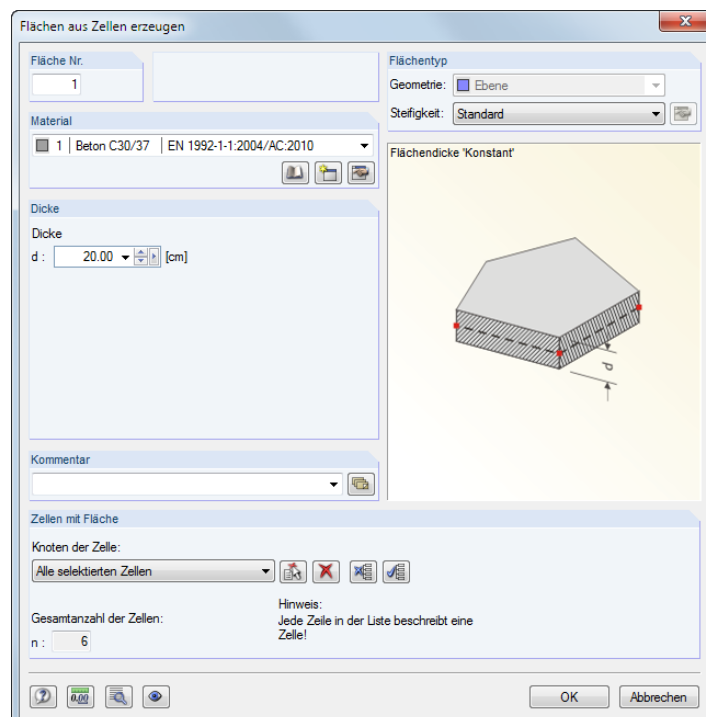



Bild 11.177 Dialog Flächen aus Zellen erzeugen

Zellen werden durch mindestens drei Eckknoten gebildet. Sie sind allseitig mit Linien oder Stäben umschlossen und liegen in einer Ebene. Um Zellen mit Flächen zu füllen, sind zunächst *Material* und *Dicke* der Fläche anzugeben. Die Zellen können dann grafisch mit  im Arbeitsfenster durch Anklicken der Zellenkreuze ausgewählt werden.

11.8

Belastungsgenerierer


Die Lastgenerierer erleichtern die Eingabe von Stab- und Flächenlasten: Zum einen können Flächenlasten (z. B. Schnee, Wind) in Stab- und Flächenlasten umgewandelt werden; zum anderen lassen sich freie Linienlasten und Ummantelungslasten (z. B. Eis) in Stablasten konvertieren.

Die Dialoge zur Generierung von Stab- und Flächenlasten sind zugänglich im Menü

Extras → **Belastung generieren**.

11.8.1 Allgemeines

Einstellungen für Lastgenerierung

Viele Dialoge bieten die Schaltfläche  an (siehe Bild 11.184 [☞](#)). Sie ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf, der die Toleranz für die Integration von Knoten in die Lastebene und die Korrektur der generierten Lasten steuert.

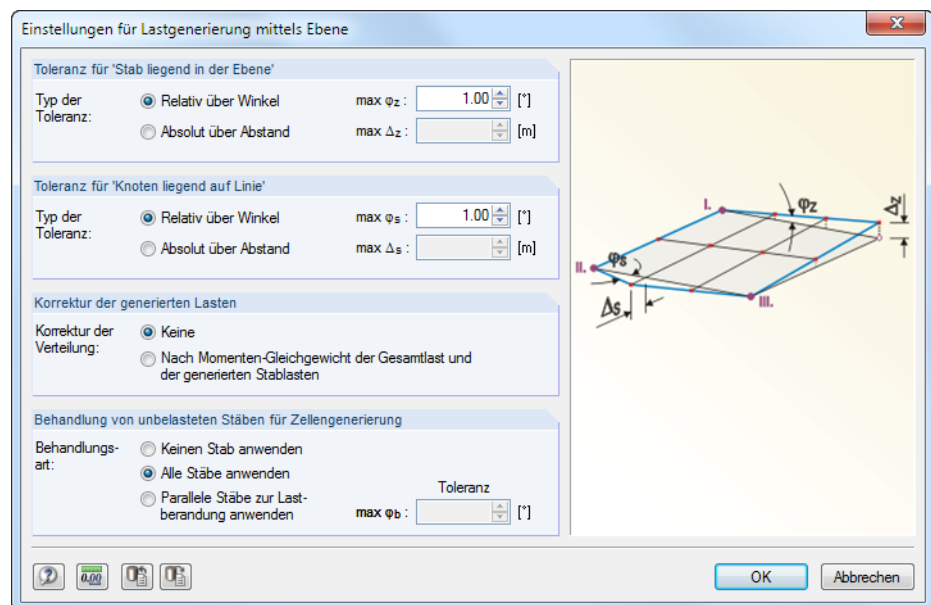


Bild 11.178 Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung mittels Ebene*

Diese Einstellungen gelten für alle Stablastengenerierer. Die *Toleranz* steuert, wann Stäbe oder Knoten als einer Ebene bzw. Linie zugehörig bewertet werden. Es sind jeweils Vorgaben über einen Winkel oder einen Abstand möglich. Liegen die Knoten innerhalb dieser Schranken, werden die Zellen erkannt und die Lasten generiert.

Der Abschnitt *Korrektur der generierten Lasten* ermöglicht einen Abgleich zwischen den vorliegenden Flächenlasten und den ermittelten Stablasten. Die Kontrollsummen werden in den Dialogen angezeigt, die nach der Lastgenerierung vor der endgültigen Umwandlung in Stablasten erscheinen (siehe Bild 11.188 [☞](#)). Bei kleinen Differenzen sollte eine Korrektur der Verteilung nach dem *Momenten-Gleichgewicht* vorgenommen werden.

Dabei gilt:

$$\int_{L_{\text{Zelle}}} (q_{\text{Stab}} + q_{\text{korrekt}}) dL = \int_{S_{\text{Zelle}}} q dS$$

Kräftegleichgewicht

$$\int_{L_{\text{Zelle}}} (q_{\text{Stab}} + q_{\text{korrekt}}) r dL = \int_{S_{\text{Zelle}}} q r dS$$

Momentengleichgewicht

mit $r = (x, y)$

Abstand zum Schwerpunkt der Zelle



Bei der Korrektur der generierten Lasten nach dem *Momenten-Gleichgewicht* wird das Moment aus den Flächenlasten zum Schwerpunkt gebildet und mit dem Moment aus den Stablasten zum Schwerpunkt abgeglichen. Vereinfacht kann man sich die Momentenkorrektur als erneute Berechnung der Lagerkräfte vorstellen. Diese Lagerkraft wird dann als Linienlast auf den Stab angesetzt. Mit dieser Korrekturmöglichkeit lassen sich beispielsweise Stab-Trapezlasten aus veränderlichen Flächenlasten erzeugen.

Der Abschnitt *Behandlung von unbelasteten Stäben für Zellengenerierung* betrifft in erster Linie Stäbe, die schräg im Modell liegen. Im Zuge der Lastgenerierung wird zuerst die zu belastende Gesamtfläche ermittelt. Danach untersucht RFEM, welche Stäbe Zellen einschließen. Die Zellen werden daraufhin von der Gesamtfläche abgezogen. Beim Ausschließen eines Stabes von der Belastung (Option *Ohne Wirkung auf Stäbe*, siehe unten) wird dessen Last auf die übrigen Stäbe der Ebene bzw. Zelle umgelagert.

Die drei Möglichkeiten werden am Beispiel einer Bühnenkonstruktion veranschaulicht. Es sollen nur Verkehrslasten auf die in X-Richtung verlaufenden Stäbe erzeugt werden. Der schräge Stab wird wie die Y-parallelen Stäbe von der Lastabtragung ausgenommen — er beeinflusst aber je nach Einstellung die Erzeugung von Stablasten.

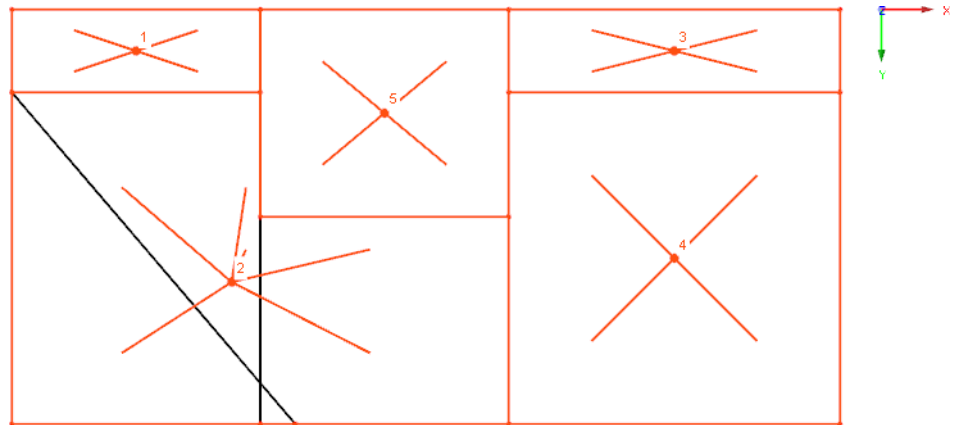


Bild 11.179 Bühnenkonstruktion mit Zellen für Lastgenerierung

Keinen Stab anwenden

Die Last wird konstant auf die Randstäbe und die Zwischenstäbe angesetzt. Mit dieser Einstellung werden alle ausgeschlossenen Stäbe ignoriert, d. h. intern zur Lastverteilung angesetzt. Nach der Berechnung des Zellen-Flächeninhalts wird die Last auf die zulässigen Stäbe der Zelle verteilt.

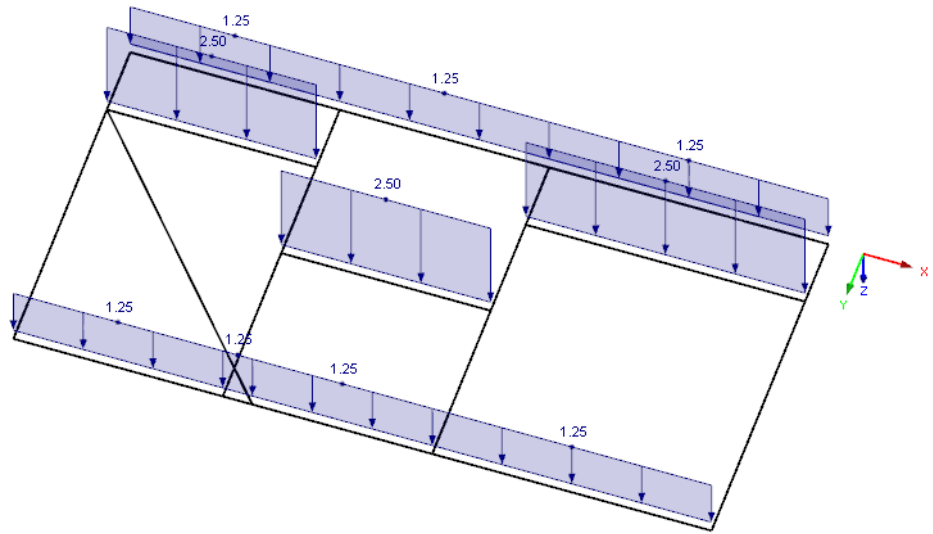


Bild 11.180 Ergebnis für Keinen Stab anwenden

Alle Stäbe anwenden

Es werden alle unbelasteten Stäbe für die Lastgenerierung ausgeschlossen. Wegen der großen generierten Zelle 2 gibt es dennoch ein Problem bei der Lastverteilung.

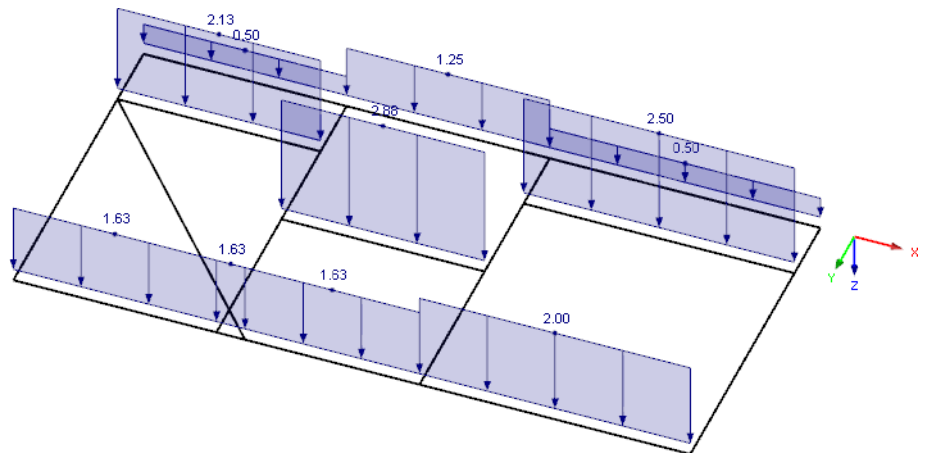


Bild 11.181 Ergebnis für Alle Stäbe anwenden

Parallele Stäbe zur Lastberandung anwenden

Damit lassen sich schräg liegende Stäbe von der Lastgenerierung ausschließen. Wird im *Einstellungen*-Dialog (siehe Bild 11.178) der Grenzwinkel zwischen Stäben φ_b auf 40.55° begrenzt, so wird die Belastung wie erwartet generiert.

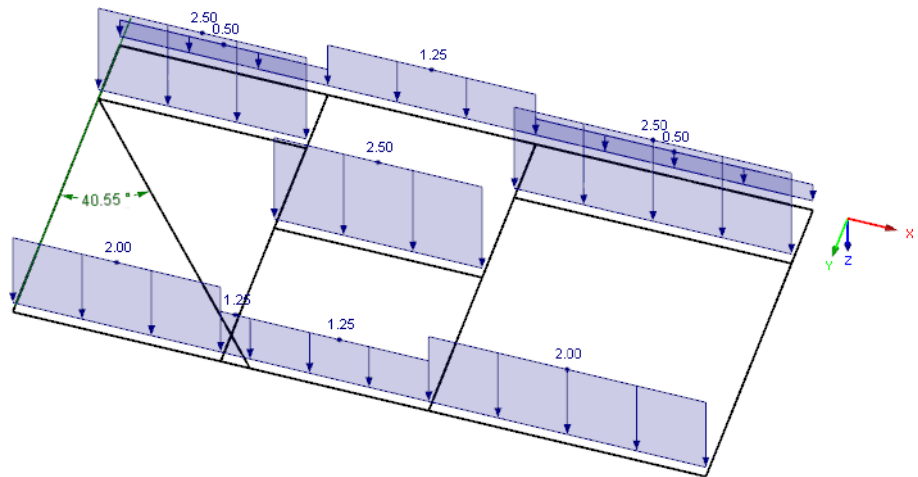


Bild 11.182 Ergebnis für Parallele Stäbe zur Lastberandung anwenden

Generierte Lasten nachträglich ändern

Nach dem Bestätigen eines Generierdialogs werden die generierten Lasten in die Lasten-Tabelle 3.15 übergeben. Der Daten-Navigator erhält den Zusatzeintrag *Generierte Lasten* (siehe Bild 6.57). Im Last-Kontextmenü und im Zeigen-Navigator kann eingestellt werden, ob die generierten Lasten als Flächenlast-Symbol oder *Getrennt* als Stablasten angezeigt werden sollen.

Die Generiererparameter gehen nicht verloren, denn die ursprünglichen Dialoge bleiben als Eingabeobjekte für Änderungen zugänglich. Der Doppelklick auf einen der Einträge oder auf eine generierte Last im Arbeitsfenster ruft den Ausgangsdialog erneut auf. Dort lassen sich dann die Parameter anpassen.

Um die generierten Lasten als isolierte Lastobjekte zu behandeln, müssen die Lasten aus dem Konzept herausgelöst und in ihre Komponenten zerlegt werden. Dieser Schritt ist über das Last-Kontextmenü auszuführen, das mit einem Rechtsklick auf eine generierte Last aufgerufen wird. Mit der Funktion *Generierte Last trennen* (siehe Bild 11.183) werden die einzelnen Lasten erzeugt.

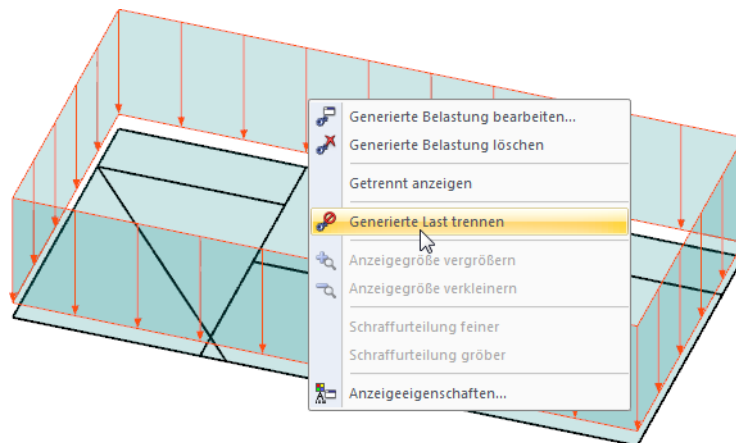
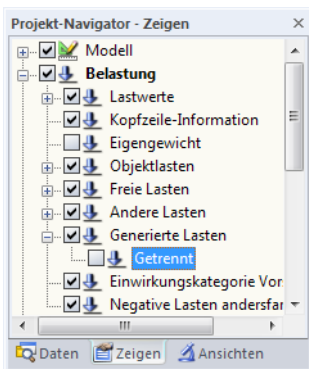


Bild 11.183 Kontextmenü generierter Lasten

Alternativ wird das Kontextmenü der generierten Lasten im Daten-Navigator benutzt.

11.8.2 Stab-/Linienlasten aus Flächenlasten

11.8.2.1 Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene

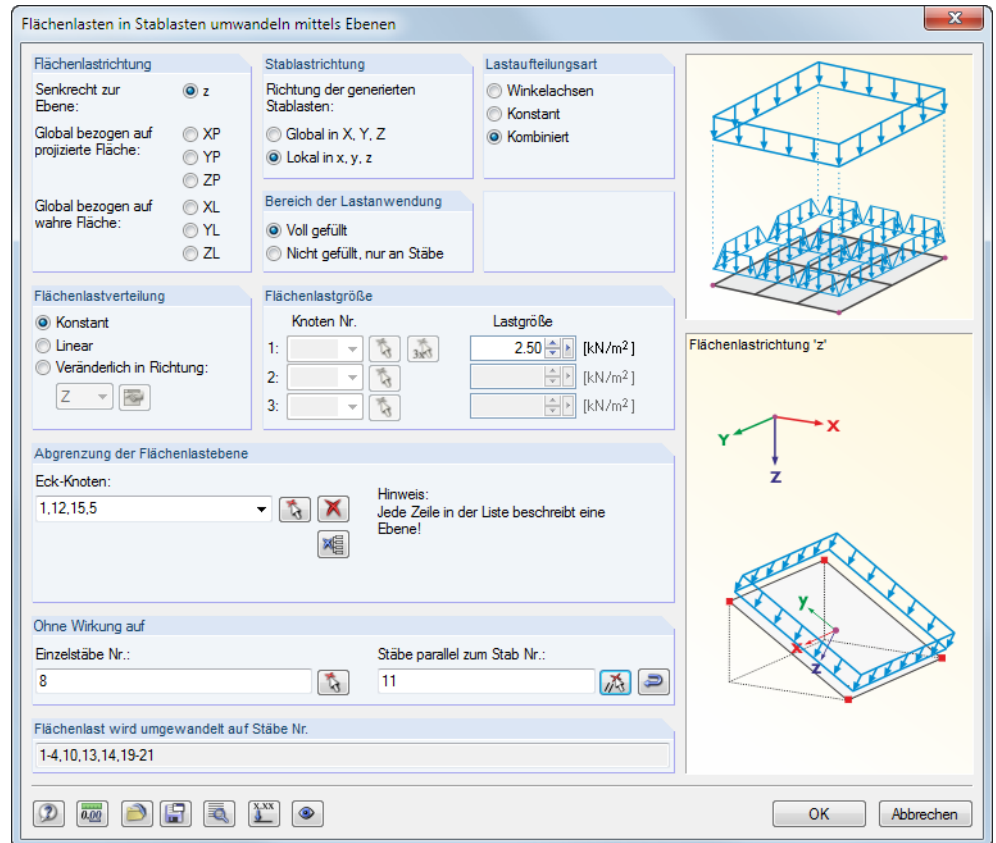


Bild 11.184 Dialog Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Ebenen

Flächenlastrichtung

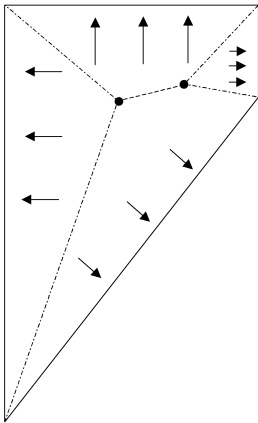
Es ist anzugeben, ob die Last senkrecht zur Ebene oder global bezogen auf die wahre bzw. projizierte Fläche wirkt. Die Grafik rechts unten im Dialog veranschaulicht die gewählte Lastrichtung.

Stablastrichtung

Dieser Abschnitt steuert, ob die generierten Stablasten als globale oder lokale Lasten abgelegt werden (siehe Kapitel 6.2 [\[2\]](#)). Der Unterschied wirkt sich vor allem bei nichtlinearen Berechnungen aus.

Bereich der Lastanwendung

Es bestehen zwei Wahlmöglichkeiten. Liegt in der Lastebene zwischen den Stäben eine Fläche vor (z. B. Wand- oder Dachfläche), die im RFEM-Modell nicht abgebildet ist, sollte *Voll gefüllt* gewählt werden. Damit wird die Flächenlast, die auf die ganze Ebene wirkt, auf die Stäbe umgerechnet. Wenn die Konstruktion aber nur aus Stäben besteht (z. B. Gittermast), ist die Option *Nicht gefüllt, nur an Stäbe* zu wählen. Dann wird lediglich die effektive bzw. projizierte Fläche belastet, die durch die Stabquerschnitte als „Lastangriffsfläche“ vorliegt. Die Last wird unter Berücksichtigung der Stablage angesetzt.



Lastaufteilungsart

Der Abschnitt steuert, wie die Flächenlastanteile den Stäben zugeordnet werden. Das Verfahren der *Winkelachsen* kann für Polygone angewandt werden, die keinen überstumpfen Winkel aufweisen. Es werden die Schnittpunkte der Winkelhalbierenden so miteinander verbunden, dass wie in nebenstehender Skizze gezeigt die anteiligen Einzugsflächen entstehen. So kann die Flächenlast eindeutig auf die Stäbe verteilt werden.

Das Winkelachsenverfahren ist bei Ebenen mit überstumpfen Winkel oder bei Vielecken nicht anwendbar. Diese Fälle können mit der Lastaufteilungsart *Konstant* bewältigt werden: Neben den Winkelhalbierenden wird auch der Schwerpunkt der Ebene ermittelt. Liegen die Schnittpunkte der Winkelhalbierenden **vor** dem Schwerpunkt, entstehen dreieckige Einzugsflächen; liegen sie **hinter** dem Schwerpunkt, wird eine zum Stab parallele Linie durch den Schwerpunkt gezogen, die mit den beiden Winkelhalbierenden eine Einzugsfläche bildet.

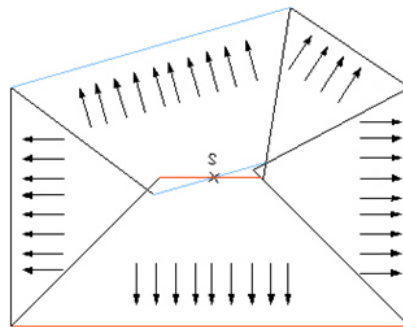


Bild 11.185 Lastaufteilungsart Konstant

Dieses Verfahren führt dazu, dass Flächen nicht berücksichtigt oder doppelt angesetzt werden. Der fehlende bzw. restliche Betrag wird mit einer Konstanten multipliziert, damit die Summe der Flächen- und Stablasten gleich ist.

Die Option *Kombiniert* ermittelt die Einzugsflächen von Drei-, Vier- und Vielecken soweit möglich nach der Winkelachsenmethode. Ist diese Methode nicht verwendbar, wird automatisch auf die konstante Lastverteilung umgeschaltet. Die kombinierte Methode ist deshalb voreingestellt; RFEM wählt automatisch das geeignete Verfahren.

Flächenlastverteilung

Die Last kann *Gleichmäßig* oder *Linear* veränderlich auf die Fläche wirken. Es lassen sich auch Flächenlasten definieren, die frei *Veränderlich in Richtung* einer globalen Achse wirken (z. B. höhenabhängige Windlast). Über die Schaltfläche ist ein Dialog zugänglich, in dem die Lastparameter in Abhängigkeit von den Knoten definiert werden können.

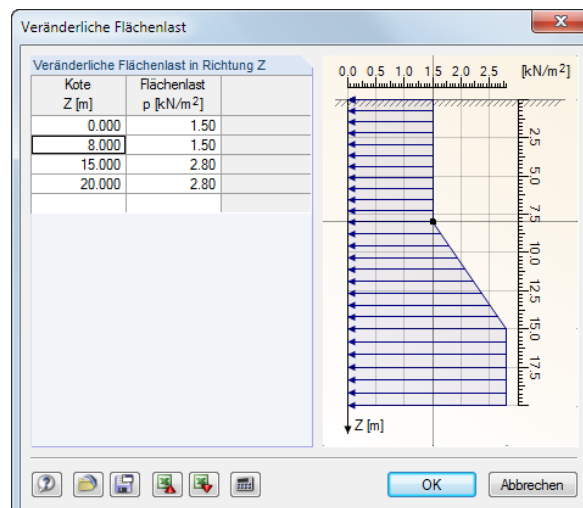




Bild 11.186 Dialog Veränderliche Flächenlast




In der linken Spalte sind die globalen Ordinaten der *Kote* anzugeben und rechts jeweils die Werte der *Flächenlast* zuzuweisen. Die Grafik visualisiert den aktuellen Stand der Eingabe.

Bei frei veränderlichen Lasten muss im *Einstellungen*-Dialog die Korrektur der Verteilung nach dem Momentengleichgewicht gewählt werden (siehe Bild 11.178 ). Ist dies nicht der Fall, werden konstante Stablasten erzeugt.

Flächenlastgröße


Wirkt die Last gleichmäßig auf die Fläche, ist der Lastwert in das Eingabefeld einzutragen. Bei linear veränderlichen Lasten sind drei Knotennummern mit den zugeordneten Lasten anzugeben. Die Knoten lassen sich auch mit  im Arbeitsfenster grafisch auswählen.

Abgrenzung der Flächenlastebene

Die *Abgrenzung der Flächenlastebene* erfolgt über die Eckknoten der Ebene. Die Knoten sind mit  nacheinander im Arbeitsfenster anzuklicken. Dabei wird die Ebene in der Selektionsfarbe gekennzeichnet. Die vollständig eingegebene Ebene erscheint in blaugrüner Farbe. Es sind mindestens drei Knoten für eine Ebene erforderlich. Die Fläche braucht nicht allseitig von Linien oder Stäben begrenzt sein. Ebenen mit gekrümmten Stäben sind jedoch nicht für die automatische Lastgenerierung geeignet.


Es können verschiedene Ebenen definiert werden, die dann in der Liste des Eingabefeldes *Eckknoten* erscheinen.





Wenn dieser Dialog mehrmals hintereinander aufgerufen wird, kann es sein, dass die zuletzt eingegebenen Ebenen in der Liste *Eckknoten* voreingestellt sind. Damit diese Ebenen nicht unbeabsichtigt doppelte Lasten erhalten, sollte man die komplette Liste mit der Schaltfläche  löschen.

Ohne Wirkung auf Stäbe



Im Abschnitt *Ohne Wirkung auf* ist es möglich, Stäbe von der Lastabtragung auszuschließen (z. B. Pfetten, Verbände). Die Auswahl erfolgt stabweise oder durch Angabe eines Musterstabes, der [Parallel] zu den lastfreien Stäben ist. Es empfiehlt sich die grafische Selektion mit .

Die Schaltfläche  ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung auf* (siehe Bild 11.178 ). Dort kann die Toleranz für die Integration von Knoten in die Lastebene angepasst sowie eine Korrektur der generierten Lasten vorgenommen werden.



Mit der Schaltfläche [Lastkorrekturfaktoren] können die Lasten für bestimmte Stäbe skaliert werden. Damit lässt sich z. B. die Durchlaufwirkung einer Dachschalung auf die Randsparren erfassen, um dort reduzierte Stablasten zu erzeugen. Es öffnet sich folgender Dialog.

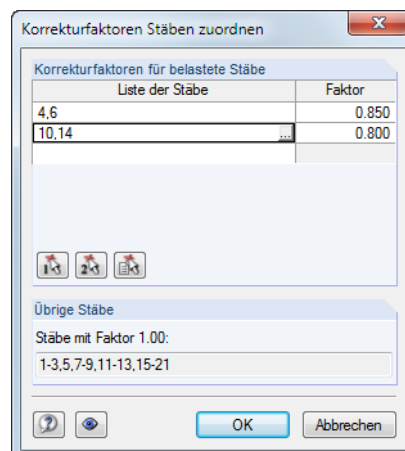




Bild 11.187 Dialog Korrekturfaktoren Stäben zuordnen

Die Stäbe können mit  und  im Arbeitsfenster ausgewählt und mit einem *Faktor* skaliert werden.

[OK] startet die Generierung der Stablasten. Es erscheint eine Übersicht mit Informationen zu den Zellen und Lasten.

Bild 11.188 Dialog Info über Umwandlung der Flächenlasten in Stablasten

Falls unzulässige Zellen ausgewiesen werden, konnte RFEM die Lasten nicht eindeutig zuweisen. Die Schaltfläche hebt die aktuelle unzulässige Zelle in der Grafik hervor, listet alle Ursachen für unzulässige Zellen auf. Oft sind entfernte Kanten (d. h. von der Lastabtragung ausgenommene Randstäbe) der Zelle oder kreuzende, nicht verbundene Stäbe verantwortlich für Probleme beim Konvertieren der Last.

Im Abschnitt *Gesamtmoment zum Nullpunkt* werden die ermittelten Stablasten mit den angesetzten Flächenlasten verglichen. Bei Differenzen kann mit wieder der Ausgangsdialog aufgerufen werden. Die Anpassungen sind dann im Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* vorzunehmen (siehe Bild 11.178 [a](#)), der über die Schaltfläche zugänglich ist.

Die beiden Schaltflächen im Infenster sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Es wird wieder der Dialog <i>Flächenlasten in Stablasten umwandeln</i> aufgerufen, in dem die Generierungsparameter angepasst werden können.
	Das Arbeitsfenster wird aufgerufen, in dem die Ansicht geändert werden kann (Ansichtsmodus). Die Rückkehr zum <i>Info</i> -Fenster erfolgt mit [Zurück] oder [Esc].

Tabelle 11.15 Schaltflächen im Info-Fenster zu umgewandelten Stablasten



11.8.2.2 Stablasten aus Flächenlast mittels Zellen

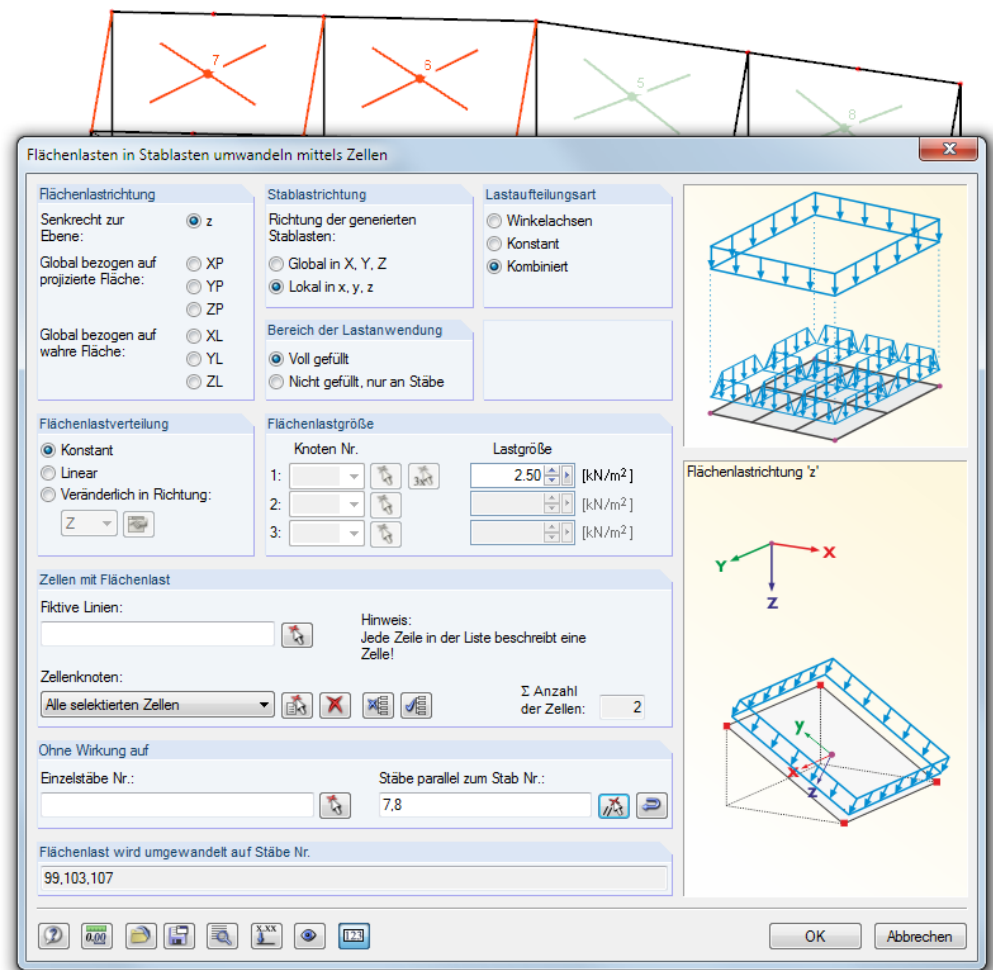


Bild 11.189 Dialog Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Zellen

Dieser Dialog ist dem beschriebenen Dialog *Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Ebenen* ähnlich. RFEM untersucht beim Aufruf des Dialogs, welche Zellen im Modell vorliegen und hinterlegt sie im Arbeitsfenster als Auskreuzungen. Eine „Zelle“ stellt einen allseitig von Stäben umschlossenen Bereich in einer Ebene dar, der durch drei oder mehr Eckpunkte gebildet wird.

Für die Generierung von Windlasten z. B. auf eine Hallenwand mit Stützen werden keine Zellen erkannt, da die Stäbe zwischen den Fußpunkten fehlen. In einem solchen Fall können mit *Fiktive Linien* durch Anklicken der Anfangs- und Endknoten erzeugt werden. Damit werden die Zellen künstlich geschlossen und vom Generierer erkannt.

Die *Knoten der Zelle* können mit in der Grafik nacheinander angeklickt werden. Nach der Generierung erscheint eine informative Übersicht über Zellen und Lasten.

Die Schaltfläche ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe [Bild 11.178](#)). Dort kann die Toleranz für die Integration von Knoten in die Lastebene angepasst sowie eine Korrektur der generierten Lasten vorgenommen werden.

11.8.2.3 Linienlasten aus Flächenlasten auf Öffnungen

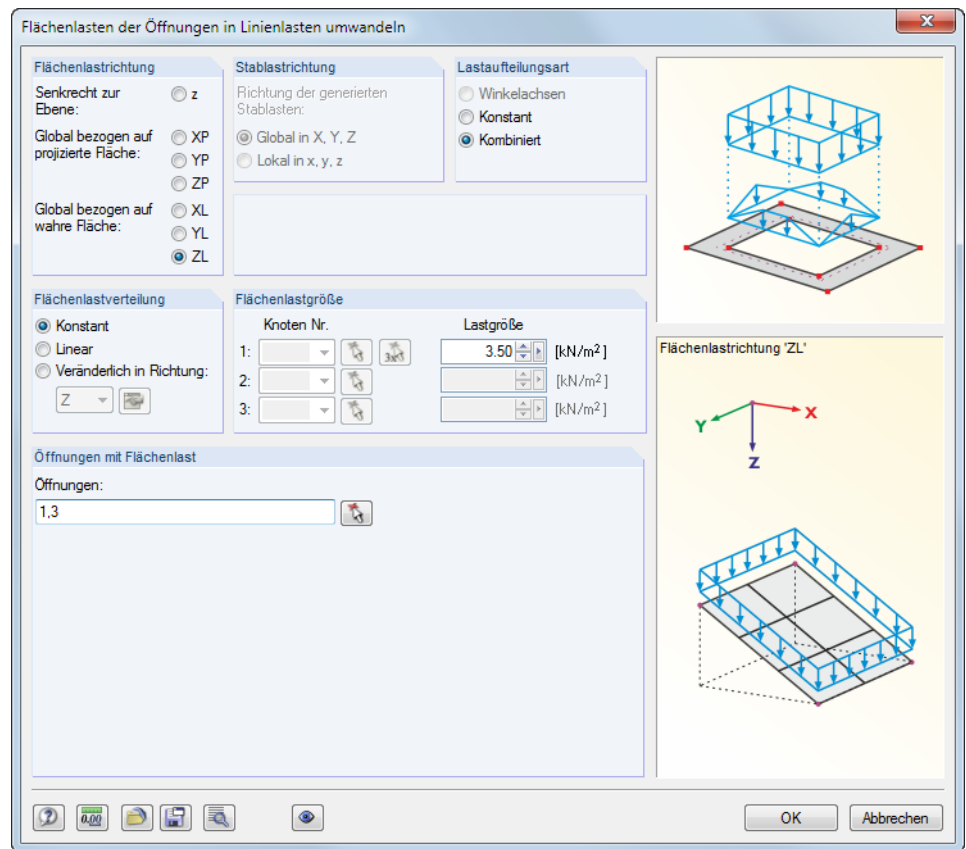



Bild 11.190 Dialog Flächenlasten der Öffnungen in Linienlasten umwandeln

Dieser Dialog ist wie der erläuterte Dialog *Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Ebenen* konzipiert. In den oberen Dialogabschnitten können die diversen Lastparameter festgelegt werden.

Im Eingabefeld *Öffnungen mit Flächenlast* sind die Nummern der Öffnungen einzutragen oder mit  im Arbeitsfenster auszuwählen.

Nach [OK] erscheint eine informative Übersicht über die generierten Lasten. Die Linienlasten werden dann nach einem erneuten [OK] an den Rändern der Öffnung(en) erzeugt.

11.8.3 Sonstige Lasten

11.8.3.1 Stablasten aus freier Linienlast

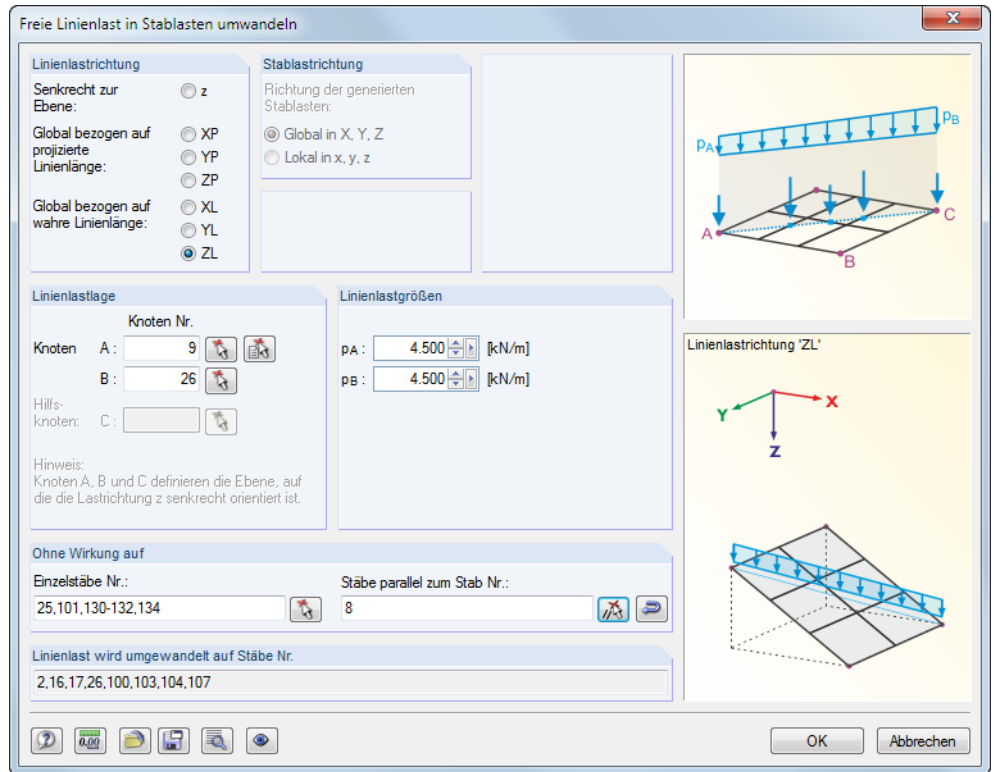




Bild 11.191 Dialog Freie Linienlast in Stablasten umwandeln

Bei reinen Stabmodellen wie z. B. Trägerrosten können über diesen Dialog freie Linienlasten definiert und anteilmäßig auf Stäbe umgelegt werden.

Für die korrekte Lastzuweisung sind Angaben zur *Linienlast*- und ggf. *Stablastrichtung* erforderlich. Diese Abschnitte sind ebenso wie der Abschnitt *Ohne Wirkung* bei der Funktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ erläutert.

Die *Linienlastgrößen* können konstant oder linear definiert werden. Die *Linienlastlage* lässt sich mit grafisch durch Anklicken des Anfangs- und Endknotens bestimmen. Ist die Linienlast senkrecht zur Ebene gerichtet, so ist zusätzlich der Hilfsknoten C anzugeben.

Die Schaltfläche  ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Bild 11.178 ).

11.8.3.2 Stablasten aus Ummantelung

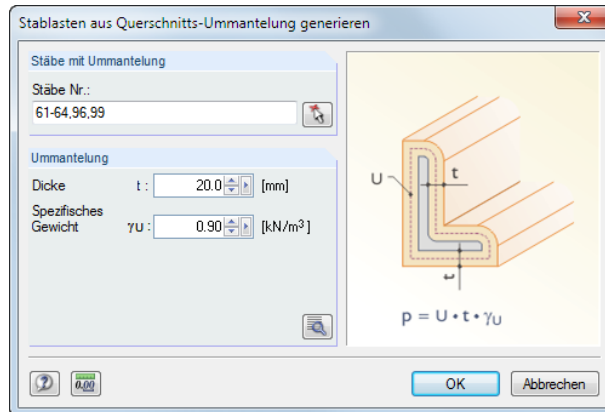




Bild 11.192 Dialog Stablasten aus Querschnittsummantelung generieren

Die *Stäbe mit Ummantelung* können direkt eingetragen oder mit  grafisch bestimmt werden. Die Ummantelung ist durch die Dicke und das spezifische Gewicht festzulegen.

Mit der Schaltfläche  können die Mantelflächen A_U der ausgewählten Stabquerschnitte kontrolliert werden, die für die Ermittlung der Eislast angesetzt werden. Diese sind wie in der Dialoggrafik (Bild 11.192) gezeigt auf die Mittellinien der Eislast bezogen. Damit werden die Lasten auch bei kleinen Profilen mit vielen Kanten korrekt erfasst.

11.8.3.3 Lasten aus beschleunigten Bewegungen

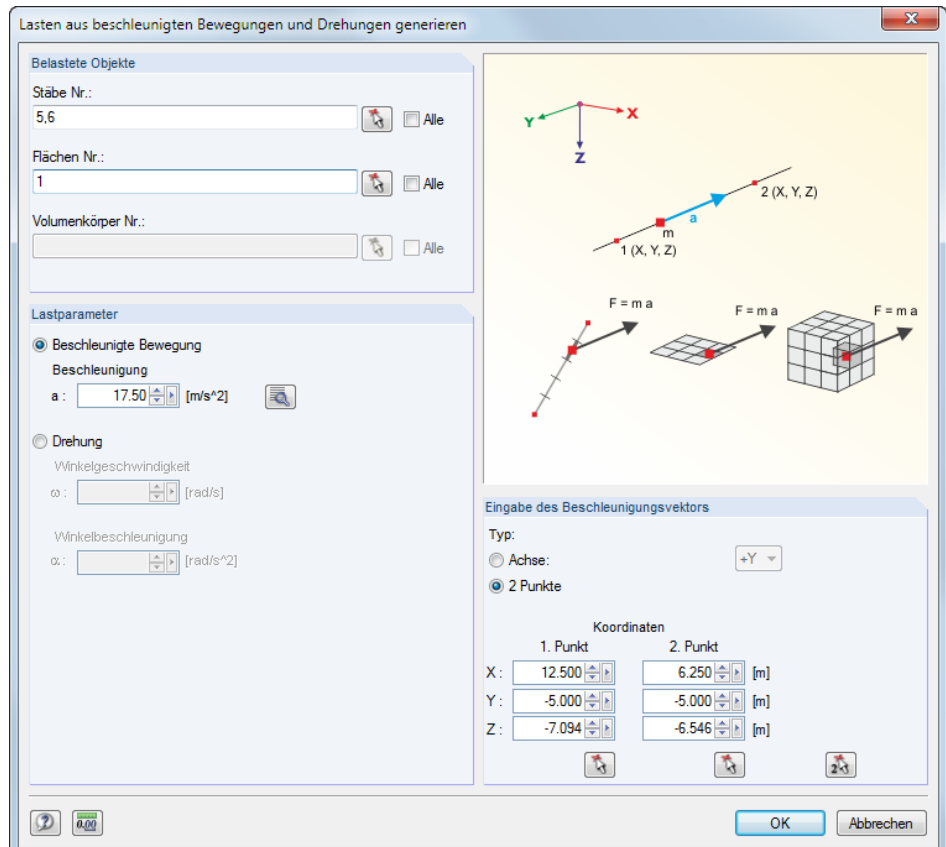





Bild 11.193 Dialog Lasten aus beschleunigten Bewegungen und Drehungen generieren

Dieser Generierer erzeugt Lasten infolge einer Beschleunigung oder Rotation, die auf bestimmte Objekte des Modells wirkt. Die Masse wird aus dem Eigengewicht ermittelt.

Im Abschnitt *Belastete Objekte* können die Nummern der relevanten Stäbe, Flächen oder Volumenkörper eingetragen oder mit  grafisch bestimmt werden.

Die *Lastparameter* sind entweder als Beschleunigung oder als Drehung (Winkelgeschwindigkeit ω , Winkelbeschleunigung α) festzulegen. Über die Schaltfläche  kann die Beschleunigung aus den Geschwindigkeiten ermittelt werden, die an zwei Punkten vorliegen.

Im Abschnitt *Eingabe des Beschleunigungsvektors* ist anzugeben, ob der Vektor auf eine globale Achse bezogen oder durch zwei Punkte definiert ist. Der Vektor kann mit den Schaltflächen  auch grafisch festgelegt werden.

Nach [OK] werden die Lasten für den aktuellen Lastfall erzeugt.

11.8.4 Schneelasten

11.8.4.1 Flach-/Pulldach

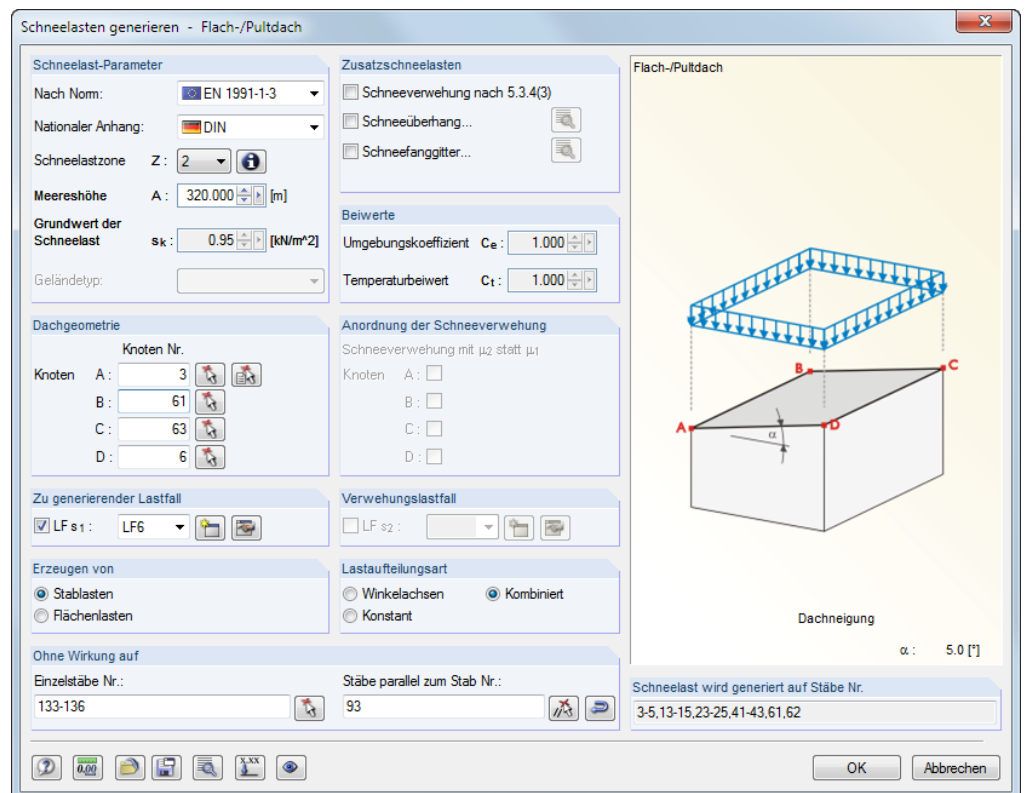


Bild 11.194 Dialog Schneelasten generieren - Flach-/Pulldach


Im Dialog sind Flach- und Pulldächer gemeinsam verwaltet. Die Formbeiwerte für flache bzw. einseitig geneigte Dächer werden gemäß EN 1991-1-3 und DIN 1055-5 berücksichtigt.

Im Abschnitt *Schneelast-Parameter* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang festzulegen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder im Einzelnen zugänglich sind.


Die Schneelastzone Z kann über die Schaltfläche  grafisch in einer Karte ausgewählt werden. Aus dieser Vorgabe wird unter Berücksichtigung der Meereshöhe A der charakteristische Wert der Schneelast s_k auf dem Boden ermittelt.

Die drei Kontrollfelder im Abschnitt *Zusatzschneelasten* steuern, ob weitere Schneelasten zu berücksichtigen sind:


- Schneeanhäufungen durch Verwehung
- Schneeüberhang an der Traufe
- Schneelasten auf Schneefanggitter


Über die Schaltfläche  lassen sich die Parameter des Schneeüberhangs sowie des Schneefanggitters definieren.



Im Abschnitt *Beiwerte* können bei Bedarf der Umgebungskoeffizient C_e (EN 1991-1-3, Tabelle 5.1) sowie der Temperaturbeiwert C_t (EN 1991-1-3, Absatz 5.2 (8)) angepasst werden.

Die *Dachgeometrie* ist über die Eckknoten A bis D des Dachs gemäß Dialoggrafik festzulegen. Sie lassen sich mit  auch grafisch im Arbeitsfenster bestimmen. Die Ebene wird dabei in der Selektionsfarbe markiert. Es sind mindestens drei Knoten für eine Ebene erforderlich. Die Fläche braucht nicht allseitig von Linien oder Stäben begrenzt sein.


Die *Anordnung der Schneeverwehung* kann über die Randknoten der Dachfläche definiert werden.

In den Abschnitten *Zu generierender Lastfall* und *Verwehungslastfall* sind die Lastfallnummern für die Generierung anzugeben. Mit  lassen sich Schneelastfälle erzeugen. Falls Flächen im Modell vorliegen, kann im Abschnitt *Erzeugen von festgelegt* werden, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden sollen.

Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Generierfunktion [Stablaster aus Flächenlast mittels Ebene](#)  erläutert.

Die Schaltfläche  ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe [Bild 11.178](#) ).

Mit der Schaltfläche  können die Lasten für bestimmte Stäbe skaliert werden. Die Angaben sind in einem separaten Dialog vorzunehmen (siehe [Bild 11.187](#) ).

Nach [OK] werden die Ergebnisse der Lastgenerierung zunächst in einer Übersicht für alle Lastfälle angezeigt. Dadurch lassen sich die wirkenden Flächenlasten mit den umgerechneten Lasten vergleichen. Mit der Schaltfläche  kann vor der Übergabe der Lasten an RFEM nochmals der Ausgangsdialog aufgerufen werden, um die Parameter der Lasten zu ändern.

11.8.4.2 Satteldach

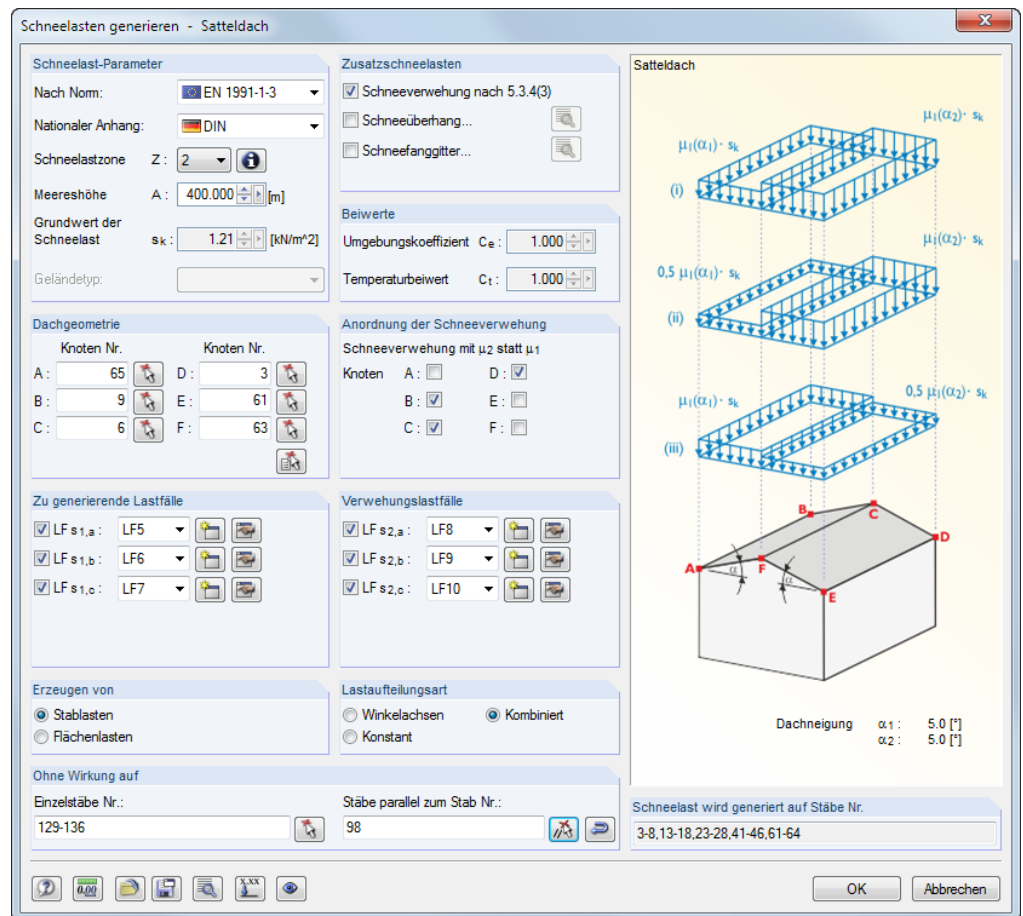


Bild 11.195 Dialog Schneelasten generieren - Satteldach

Im Abschnitt *Schneelast-Parameter* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang auszuwählen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder zugänglich sind.

Die Parameter sind wie im [Kapitel 11.8.4.1](#) beschrieben anzugeben. Die *Dachgeometrie* ist bei einem Satteldach über die Eckknoten A bis F des Dachs gemäß Dialoggrafik festzulegen. Die Knoten lassen sich mit auch grafisch im Arbeitsfenster bestimmen.

In den Abschnitten *Zu generierende Lastfälle* und *Verwehungslastfälle* sind die Lastfallnummern für die Generierung anzugeben. Die Alternativlastfälle entstehen, wenn *Zusatzschneelasten* (z. B. DIN 1055-5, Bild 4) oder *Formbeiwerte* (z. B. EN 1991-1-3, Bild 5.3) berücksichtigt werden. Über die *Schalfläche* lassen sich die entsprechenden Schneelastfälle anlegen.

11.8.5 Windlasten

11.8.5.1 Vertikale Wände

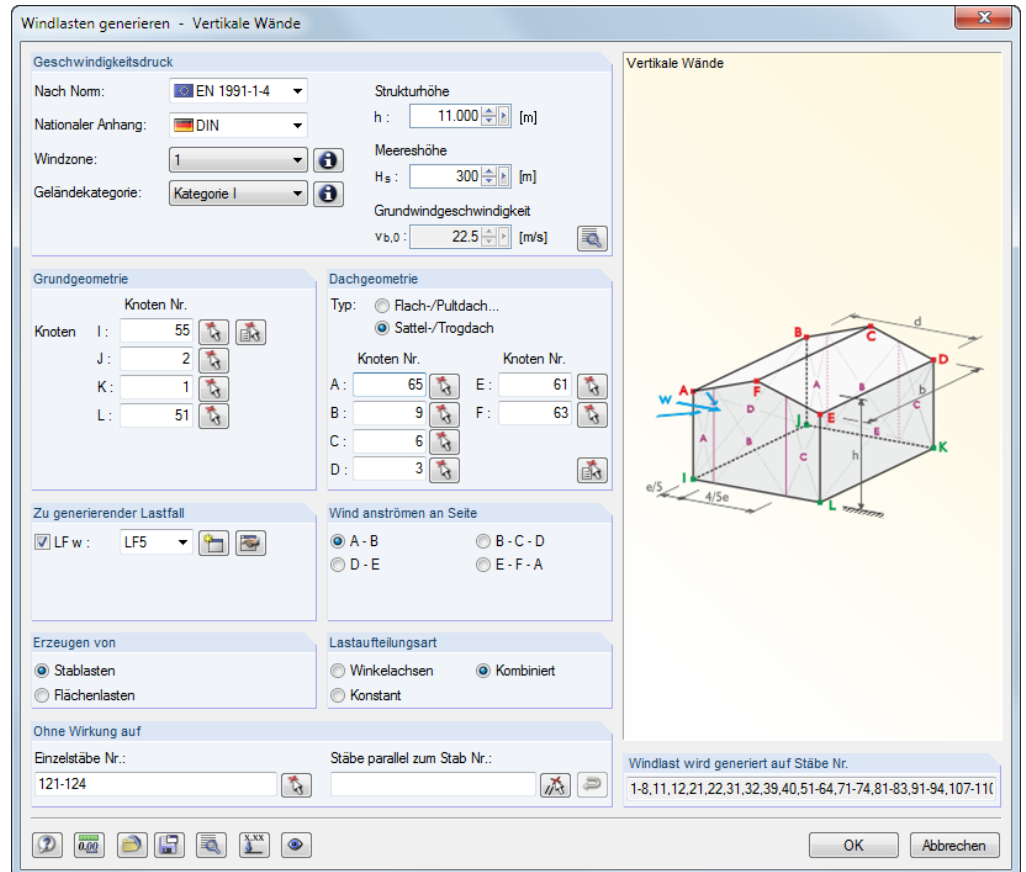




Bild 11.196 Dialog *Windlasten generieren - Vertikale Wände* (Dachgeometrie: *Sattel-/Trogdach*)

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang auszuwählen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder zugänglich sind.

Windzone und Geländekategorie können über die -Schaltflächen grafisch in einer Karte ausgewählt werden. Die Strukturhöhe h wird nicht automatisch vom Modell übernommen, sondern muss angegeben werden. Aus diesen Vorgaben wird der Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit $v_{b,0}$ ermittelt.

Über die Schaltfläche  sind weitere Beiwerte für die Ermittlung der Windlasten zugänglich (siehe Bild 11.197 [\[2\]](#)).

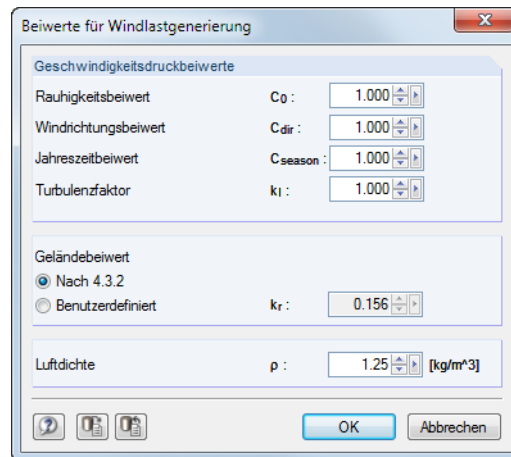


Bild 11.197 Dialog Beiwerte für Windlastgenerierung

Die Wände werden über die *Grundgeometrie* (Knoten I bis L der Grundfläche unten) und die *Dachgeometrie* (Knoten A bis D bzw. F der Dachebenen oben) erfasst. Bei Dachüberständen sind die oberen Wandknoten anzugeben, nicht die Dachknoten. Wie die Dialoggrafik zeigt, lassen sich Windlasten für allseitig geschlossene Baukörper mit viereckförmiger Grundfläche erzeugen. Bei der Geometrieingabe ist zu beachten, dass die Startknoten I und A übereinanderliegen und dass der „Umlaufsinn“ während der Bestimmung von Grund- und Dachfläche einheitlich ist. Die Grund- und Dachgeometrie kann mit den Schaltflächen und grafisch bestimmt werden.

Im Abschnitt *Zu generierender Lastfall* ist die Lastfallnummer für die Generierung anzugeben. Über die Schaltfläche kann ein Windlastfall erzeugt werden.

Die Windrichtung ist im Abschnitt *Wind anströmen an Seite* festzulegen. Der Wind wirkt rechtwinklig zur angegebenen Linie.

Falls Flächen im Modell vorliegen, kann im Abschnitt *Erzeugen von* festgelegt werden, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden sollen.

Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Generierfunktion *Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene* erläutert.

Die Schaltfläche ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe [Bild 11.178](#)).

Nach [OK] werden die Ergebnisse der Lastgenerierung zunächst in einer Übersicht angezeigt. Dadurch lassen sich die wirkenden Flächenlasten mit den umgerechneten Lasten vergleichen. Mit der Schaltfläche kann vor der Übergabe der Lasten an RFEM nochmals der Ausgangsdialog aufgerufen werden, um die Parameter der Lasten zu ändern.

11.8.5.2 Flachdach

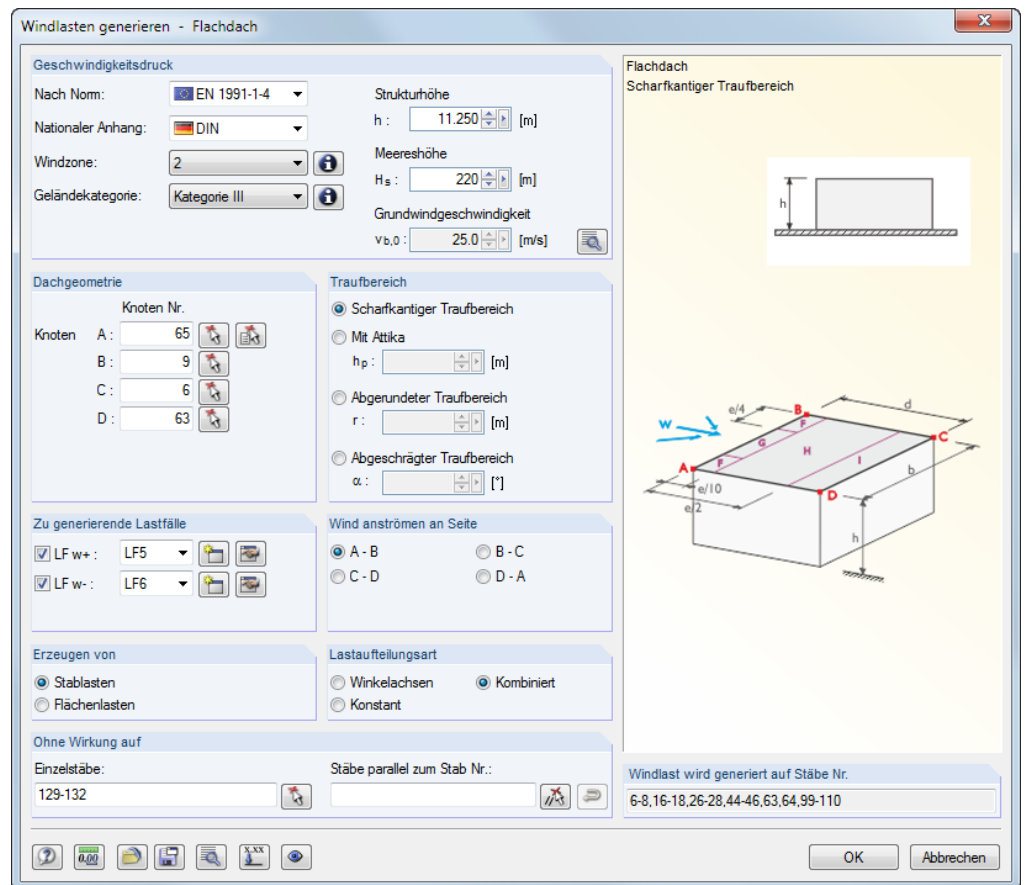


Bild 11.198 Dialog Windlasten generieren - Flachdach

Ein Flachdach liegt vor, wenn die Dachneigung $\alpha < 5^\circ$ ist.

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang auszuwählen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder zugänglich sind.

Die Parameter sind wie im [Kapitel 11.8.5.1](#) beschrieben festzulegen. Der Abschnitt *Traufbereich* ist mit Grafiken im Dialog gekoppelt, die die einzelnen Varianten veranschaulichen.

Wie z. B. in EN 1991-1-4, Tabelle 7.2 erläutert, sind für ein Flachdach mehrere Lastfälle zu berücksichtigen. Im Abschnitt *Zu generierende Lastfälle* sind die Lastfallnummern für die Generierung anzugeben. Die Drucklasten werden im Lastfall *LF w+*, die Soglasten im *LF w-* erzeugt. Über die Schaltfläche lassen sich die entsprechenden Lastfälle anlegen.

Nach [OK] werden die Ergebnisse der Lastgenerierung zunächst als Übersicht für alle Lastfälle angezeigt (siehe [Bild 11.201](#)). Die Register stellen eine wichtige Kontrollmöglichkeit dar, da für jeden Lastfall der Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ und Außendruck w_e bereichsweise abgelesen werden kann.

11.8.5.3 Pultdach

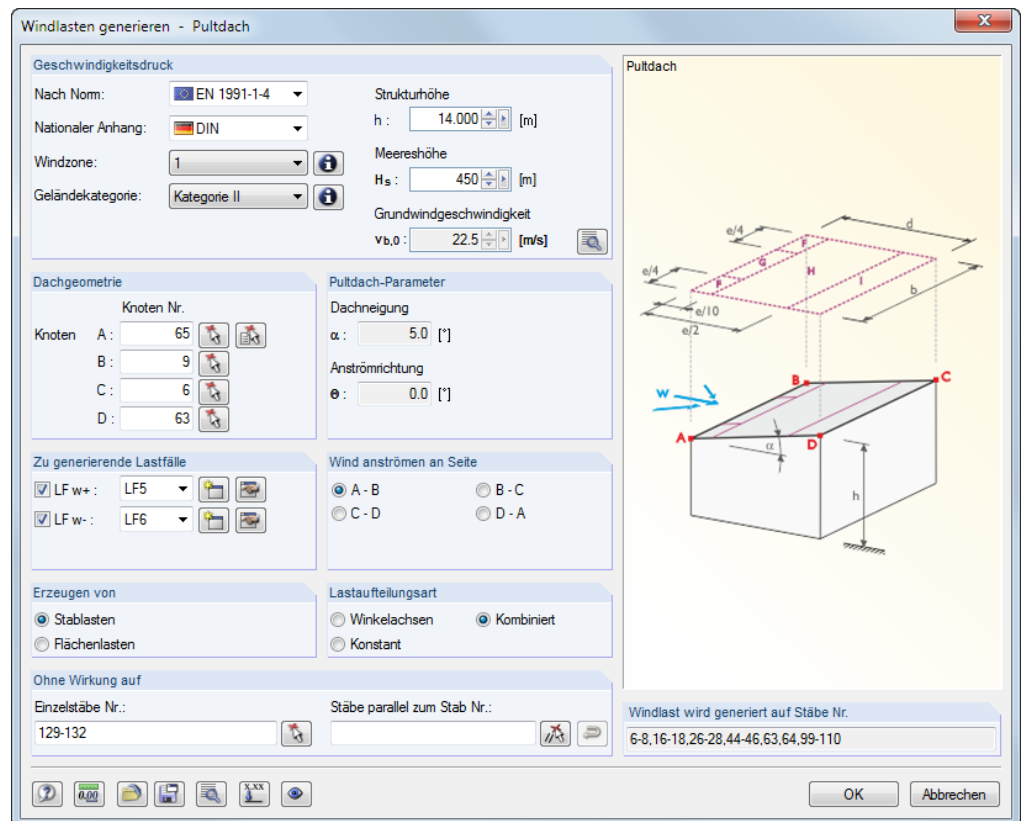


Bild 11.199 Dialog Windlasten generieren - Pultdach

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang auszuwählen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder zugänglich sind.

Die Parameter sind wie im [Kapitel 11.8.5.1](#) beschrieben festzulegen. Die *Pultdach-Parameter* werden automatisch aus der Dachgeometrie und der angeströmten Seite ermittelt.

Wie z. B. in EN 1991-1-4, Tabelle 7.3a erläutert, sind für ein Pultdach mehrere Lastfälle zu berücksichtigen. Im Abschnitt *Zu generierende Lastfälle* sind die Lastfallnummern für die Generierung anzugeben. Die Drucklasten werden im Lastfall *LF w+*, die Soglasten im *LF w-* erzeugt. Über die Schaltfläche lassen sich die entsprechenden Lastfälle anlegen.

Mit der Schaltfläche können die Lasten für bestimmte Stäbe skaliert werden. Damit lässt sich z. B. die Durchlaufwirkung einer Dachschalung auf die Randsparren erfassen, um reduzierte Stablaster zu generieren. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog (siehe [Bild 11.187](#)).

11.8.5.4 Sattel-/Trogdach

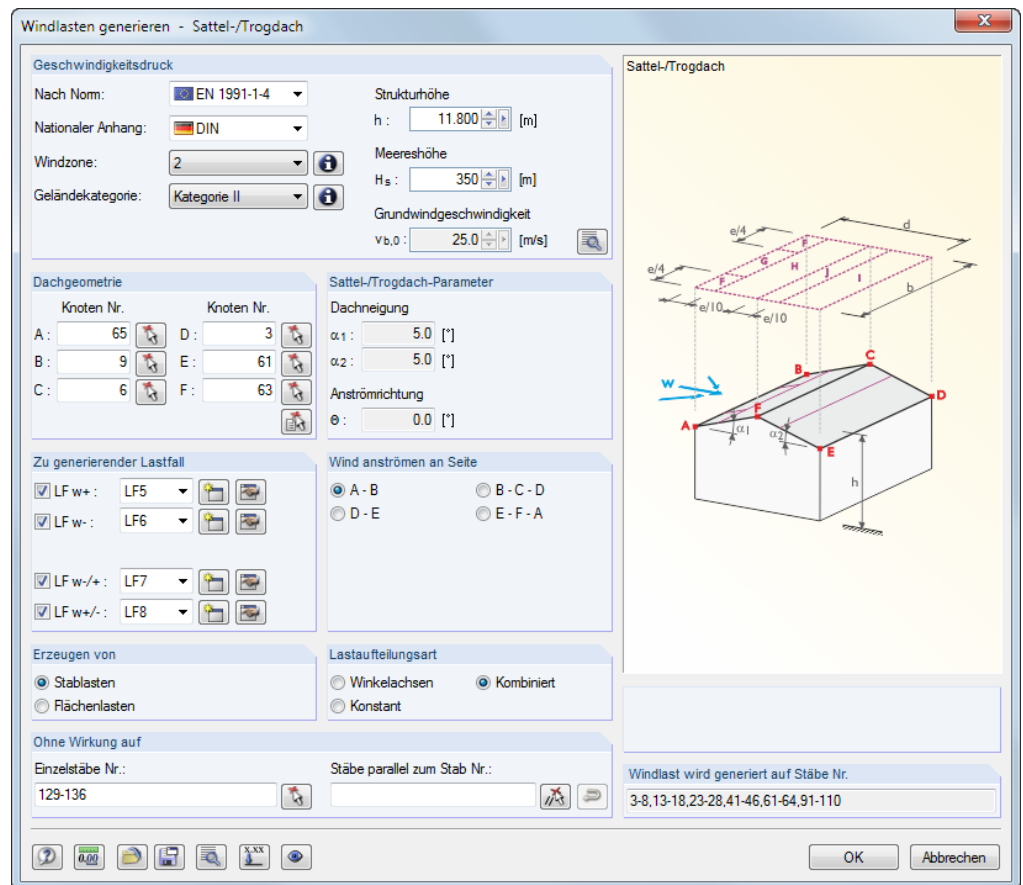


Bild 11.200 Dialog Windlasten generieren - Sattel-/Trogdach

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang auszuwählen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder zugänglich sind.

Die Parameter sind wie im Kapitel 11.8.5.1 beschrieben festzulegen. Die *Sattel-/Trogdach-Parameter* werden automatisch aus der Dachgeometrie und der angeströmten Seite ermittelt.

Wie z. B. in EN 1991-1-4, Tabelle 7.4a erläutert sind für ein Satteldach mehrere Lastfälle zu berücksichtigen. Im Abschnitt *Zu generierende Lastfälle* sind die Lastfallnummern für die Generierung anzugeben. Die Drucklasten werden im Lastfall *LF w+*, die Soglasten im *LF w-* erzeugt. Die Kombinationen (d. h. Druck auf einer Dachseite und Sog auf der anderen) werden als *LF w+/-* und *LF w+/-* erfasst. Über die Schaltfläche lassen sich die entsprechenden Lastfälle anlegen.

Nach [OK] werden die Ergebnisse der Lastgenerierung zunächst als Übersicht für alle Lastfälle angezeigt (siehe Bild 11.201). Die Register stellen eine wichtige Kontrollmöglichkeit dar, da für jeden Lastfall der Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ und Außendruck w_e bereichsweise abgelesen werden kann.

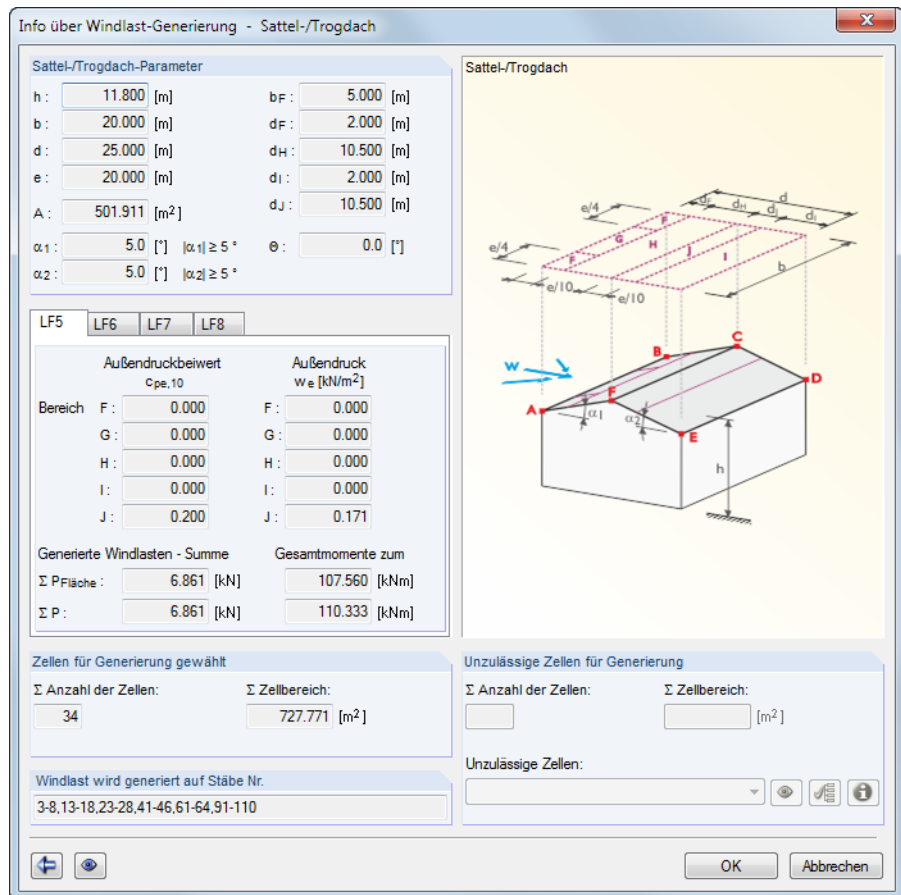



Bild 11.201 Dialog Info über Windlast-Generierung - Sattel-/Trogdach

Mit der Schaltfläche  kann vor der Übergabe der Lasten an RFEM nochmals der Ausgangsdialog aufgerufen werden, um die Parameter der Lasten zu ändern.

11.8.5.5 Vertikale Wände mit Dach

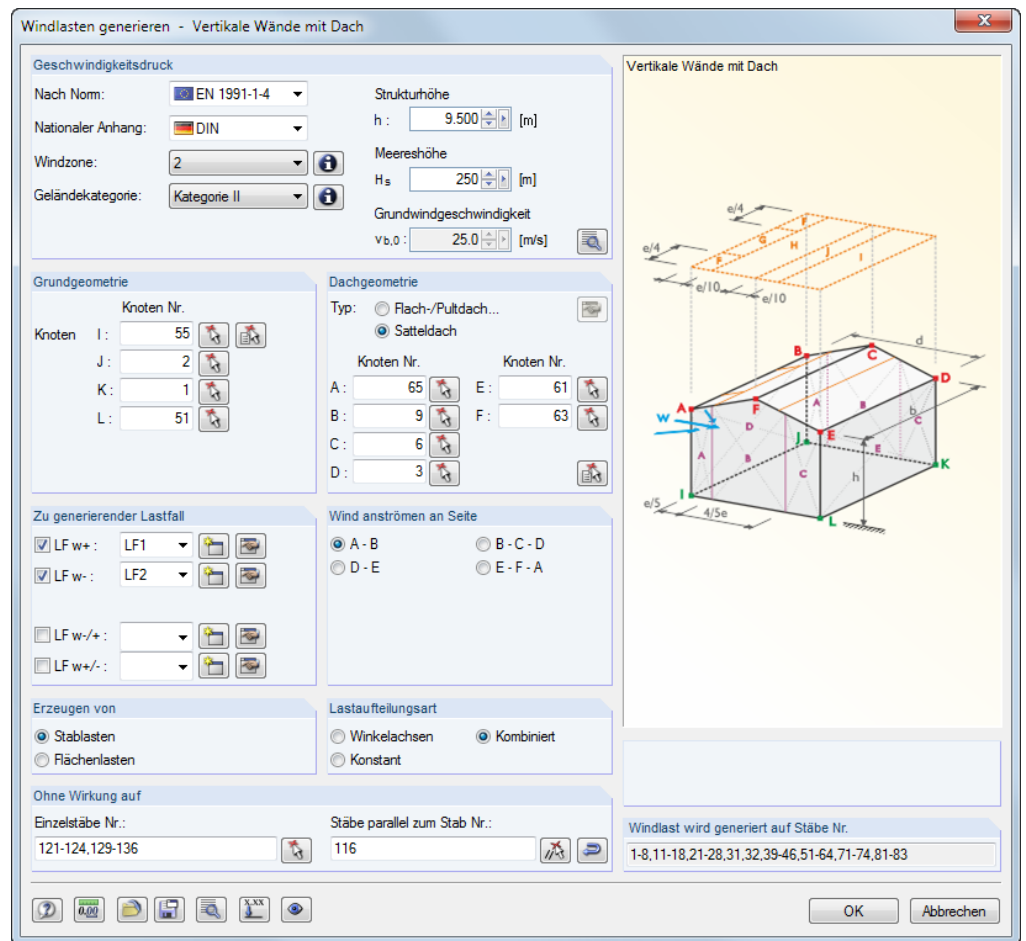


Bild 11.202 Dialog Windlasten generieren - Vertikale Wände mit Dach (Dachgeometrie: Satteldach)

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist zunächst die Norm und ggf. der Nationale Anhang auszuwählen. Diese Vorgabe steuert, welche Eingabefelder zugänglich sind.

Die Parameter sind wie im [Kapitel 11.8.5.1](#) beschrieben festzulegen.

Wie z. B. in EN 1991-1-4, Tabelle 7.4a erläutert sind für ein Satteldach mehrere Lastfälle zu berücksichtigen. Im Abschnitt *Zu generierende Lastfälle* sind die Lastfallnummern für die Generierung anzugeben. Die Drucklasten werden im Lastfall *LF w+*, die Soglasten im *LF w-* erzeugt. Die Kombinationen (d. h. Druck auf einer Dachseite und Sog auf der anderen) werden als *LF w+/+* und *LF w+/-* erfasst. Über die Schaltfläche lassen sich die entsprechenden Lastfälle anlegen.

Mit der Schaltfläche können die Lasten für bestimmte Stäbe skaliert werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog (siehe [Bild 11.187](#)).

Nach [OK] werden die Ergebnisse der Lastgenerierung zunächst als Übersicht für alle Lastfälle angezeigt (siehe [Bild 11.201](#)). Die Register stellen eine wichtige Kontrollmöglichkeit dar, da für jeden Lastfall der Außendruckbeiwert $c_{pe,10}$ und Außendruck w_e bereichsweise abgelesen werden kann.

12 Dateiverwaltung



Dieses Kapitel beschreibt, wie Daten mit dem Projektmanager organisiert und wie wiederkehrende Modellkomponenten als Blöcke verwaltet werden. Ferner werden die in RFEM integrierten Schnittstellen vorgestellt, die für den Datenaustausch mit anderen Programmen genutzt werden können.

12.1

Projektmanager

Bei statischen Berechnungen ist ein Projekt meist in mehrere Positionen untergliedert. Diese Positionen werden in RFEM als „Modelle“ bezeichnet. Der *Projektmanager* hilft, die Modelle aller Dlubal-Anwendungen zu organisieren. Er verwaltet auch Modelle, die im Netzwerk abgelegt sind (siehe Kapitel 12.3).

Der Projektmanager kann als eigenständige Anwendung im Hintergrund geöffnet bleiben, während in RFEM gearbeitet wird.



Der Projektmanager wird über das Menü **Datei** → **Projektmanager** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste aufgerufen.

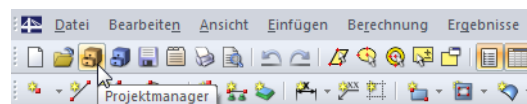


Bild 12.1 Schaltfläche *Projektmanager* in der Symbolleiste



Der Projektmanager ist auch im *Basisangaben*-Dialog des Modells zugänglich.

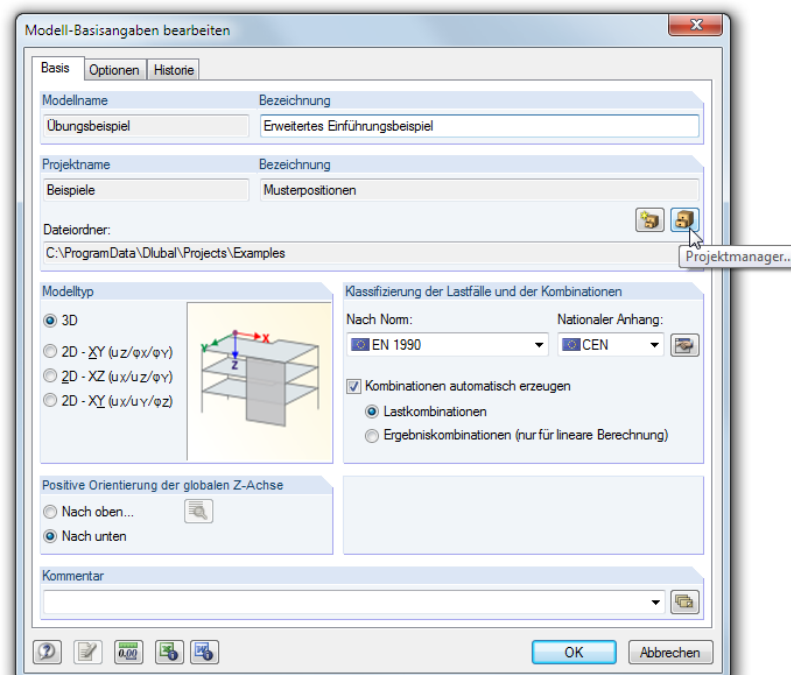


Bild 12.2 Schaltfläche *Projektmanager* im Dialog *Basisangaben*

Nach dem Aufruf erscheint das mehrteilige Fenster des Projektmanagers. Dieses Fenster hat ein eigenes Menü und eine eigene Symbolleiste.

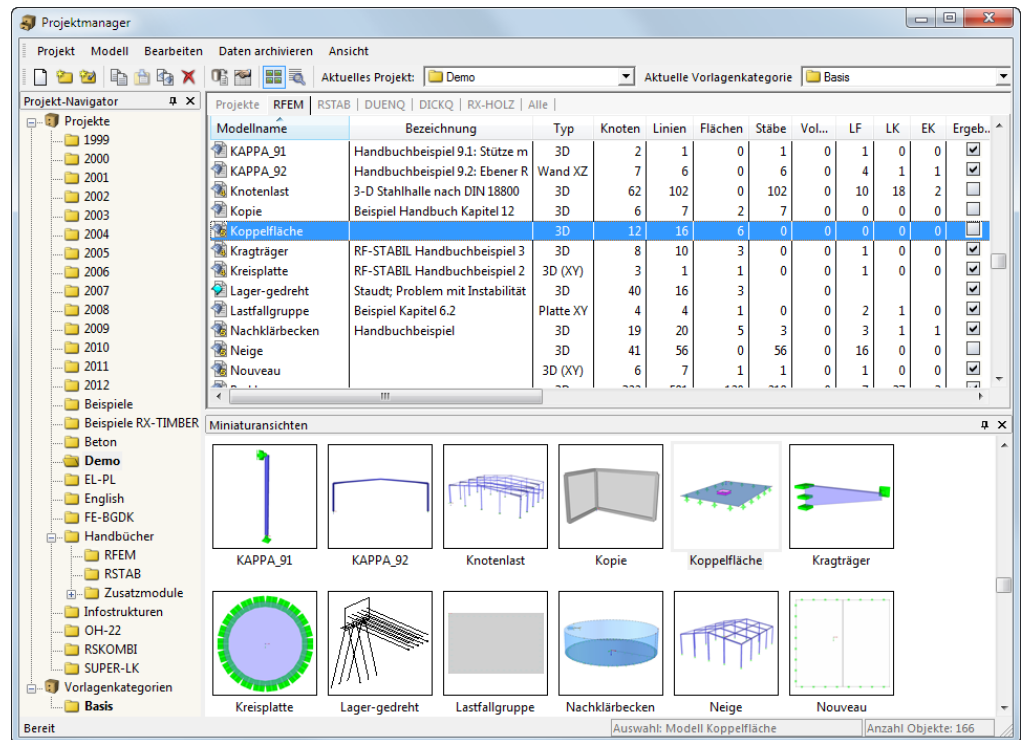


Bild 12.3 Projektmanager

Projekte-Navigator

Links wird ein Navigator mit der Baumstruktur aller Projekte angezeigt. Das aktuelle Projekt ist fett gekennzeichnet. Um ein anderes Projekt als aktuell zu setzen, ist dieses doppelzuklicken oder in der Symbolleiste *Aktuelles Projekt* einzustellen. Rechts sind die im selektierten Projekt enthaltenen Modelle tabellarisch aufgelistet.

Tabelle der Modelle

Die Modelle sind in mehreren Registern nach Dlubal-Anwendungen geordnet. Das Register *RFEM* listet alle RFEM-Modelle auf, die im selektierten Projekt enthalten sind. Es werden jeweils der *Modellname*, die *Bezeichnung*, wichtige Modell- und Dateinformationen einschließlich Namen des Erstellers und Bearbeiters angegeben.



Die angezeigten Spalten können über das Menü **Ansicht** → **Spalten bearbeiten** oder die zugeordnete Schaltfläche angepasst werden.

Details

In diesem Fensterabschnitt werden alle verfügbaren Informationen zum Modell angegeben, das in der Tabelle selektiert ist.

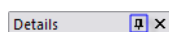
Vorschau

Das selektierte Modell wird als Vorschau angezeigt. Die Größe dieses Vorschau Fensters lässt sich durch Verschieben des oberen Randes anpassen.

Miniaturansichten

Der untere Bereich des Projektmanagers bietet eine grafische Übersicht aller Modelle im selektierten Projekt. Die Miniaturansichten wirken interaktiv mit der Tabelle der Modelle.

Über die Pins ist es möglich, bestimmte Fensterabschnitte zu minimieren. Sie werden dann in der Fußleiste als Register ange dockt.



12.1.1 Projektverwaltung

Neues Projekt anlegen

Ein neues Projekt wird angelegt mit

- dem Projektmanager-Menü **Projekt** → **Neu**
- der Schaltfläche [Neues Projekt] in der Symbolleiste.

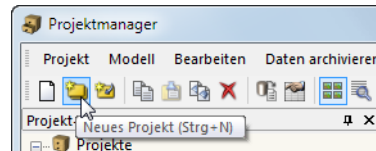



Bild 12.4 Schaltfläche Neues Projekt

Im folgenden Dialog sind der *Name* des Projekts sowie der *Dateiordner* festzulegen, in dem die Modelle gespeichert werden sollen. Über die Schaltfläche  kann der Verzeichnispfad eingestellt werden. Die optionale *Bezeichnung* ermöglicht eine Kurzbeschreibung des Projekts. Sie erscheint auch in der Kopfzeile des Ausdruckprotokolls; sonst hat sie keine weitere Bedeutung.

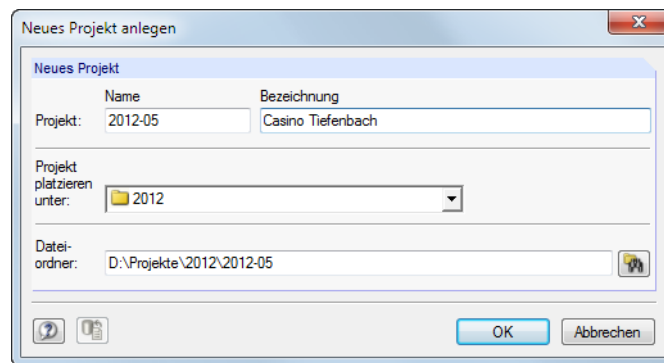


Bild 12.5 Dialog Neues Projekt anlegen

Im Projektmanager können auch Unterprojekte angelegt werden, indem man ein vorhandenes Projekt in der Liste *Projekt platzieren unter* auswählt. Das neue Projekt wird dann im Navigator als Unterprojekt geführt. Ist dies nicht gewünscht, so ist in der Liste der übergeordnete Eintrag *Projekte* zu wählen. Das Projekt erscheint dann im Navigator als Haupteintrag.

Nach [OK] wird ein neuer Dateiordner mit dem Projektnamen auf der Festplatte oder einem Netzlaufwerk angelegt.

Vorhandenen Dateiordner verknüpfen

Ein Ordner, der bereits RFEM-Modelle enthält, kann als Projekt eingebunden werden mit

- dem Projektmanager-Menü **Projekt** → **Mit Dateiordner verknüpfen**
- der Schaltfläche [Projekt mit Dateiodner verknüpfen] in der Symbolleiste.

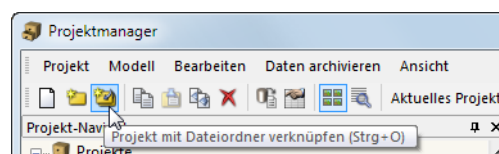
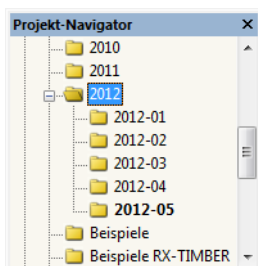



Bild 12.6 Schaltfläche Projekt mit Dateiodner verknüpfen



Es spielt keine Rolle, in welchem Ordner der Festplatte oder des Netzwerks sich das Projekt befindet. Es wird in die programminterne Verwaltung aufgenommen und am Standort belassen — vergleichbar einer Verknüpfung auf dem Desktop. Die Informationen werden in der ASCII-Datei **PRO.DLP** im Ordner **Project Manager** gespeichert (siehe [Kapitel 12.1.4.3](#)).

Es öffnet sich ein Dialog, der nach dem gleichen Konzept wie im [Bild 12.5](#) gezeigt funktioniert. Es sind *Name* und *Bezeichnung* des Projekts einzutragen und ggf. über  der Pfad zum *Dateiordner* einzustellen.



Wird in der Liste *Projekt platzieren unter* ein Projekt vorgegeben, muss sich der zu verknüpfende Dateiordner im Verzeichnis dieses Projekts befinden. Er wird dann als Unterprojekt verwaltet. Soll aber der Dateiordner im Projektmanager als eigenständiges Projekt erscheinen, ist in der Liste der übergeordnete Eintrag *Projekte* festzulegen.

Mit der Option *Dateiordner mit allen Unterordnern verknüpfen* können sämtliche Ordner, die sich in dem gewählten Dateiordner befinden, auf einmal in die Verwaltung des Projektmanagers eingebunden werden.

Dateiordner trennen

Die Einbindung eines Ordners in die Projektverwaltung wird aufgehoben mit

- dem Menü **Projekt** → **Verknüpfung mit Dateiordner trennen** (zuvor Projekt selektieren)
- der Schaltfläche [Verknüpfung trennen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü des Projekts im Navigator.

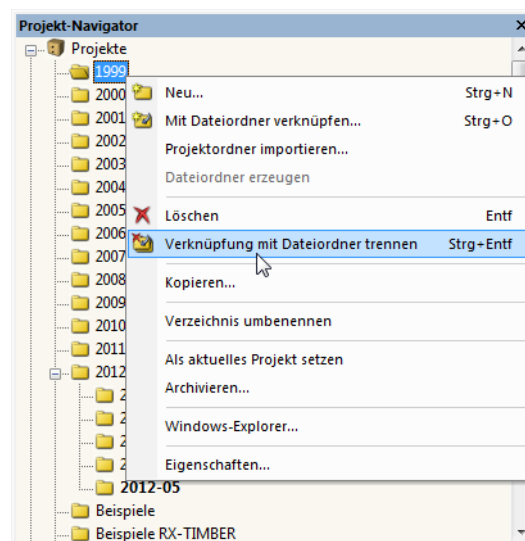


Bild 12.7 Kontextmenü eines Projekts



Das Projekt wird nur aus der internen Verwaltung entfernt. Der Ordner auf der Festplatte und sein Inhalt bleiben erhalten.

Projekt löschen

Ein Projekt wird gelöscht mit

- dem Projektmanager-Menü **Projekt** → **Löschen** (zuvor Projekt selektieren)
- der Schaltfläche [Löschen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü-Eintrag **Löschen** des Projekts im Navigator (siehe Bild 12.7 [↗](#)).

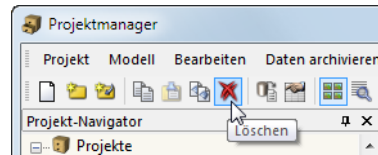


Bild 12.8 Schaltfläche Löschen

Der Ordner auf der Festplatte wird mitsamt Inhalt gelöscht.

Sollten sich in diesem Ordner auch Dateien anderer Programme befinden, werden nur die Dateien der Dlubal-Anwendungen gelöscht und der Ordner bleibt erhalten.

Das Löschen von Projekten kann rückgängig gemacht werden über das Menü

Bearbeiten → **Aus dem Dlubal-Papierkorb wiederherstellen**.

Der Dlubal-Papierkorb ist im [Kapitel 12.1.4.2](#) beschrieben.

Falls Dateien gelöscht werden, die auf einem Netzlaufwerk liegen, werden die gelöschten Dateien auf die Festplatte in den Dlubal-Papierkorb kopiert. Somit können Dateien, die auf Netzlaufwerken gelöscht wurden, wiederhergestellt werden. Ist dies nicht gewünscht, sollte das Projekt getrennt werden (siehe oben). Anschließend können die Daten manuell vom Netzlaufwerk gelöscht werden.

Projekt kopieren

Ein Projekt kann kopiert werden über

- das Projektmanager-Menü **Projekt** → **Kopieren** (zuvor Projekt selektieren)
- den Kontextmenü-Eintrag **Kopieren** des Projekts im Navigator (siehe Bild 12.7 [↗](#)).

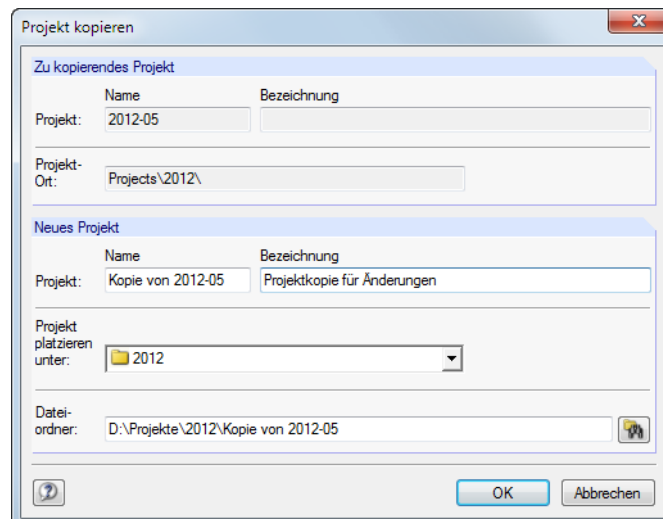


Bild 12.9 Dialog Projekt kopieren

Es sind *Name*, *Bezeichnung* und *Ort* des neuen Projekts im Projektmanager anzugeben sowie der *Dateiordner* festzulegen, der beim Kopieren erstellt wird.

Alternativ kann das Projekt mit dem Windows-Explorer kopiert und dann als verknüpfter Dateiordner in den Projektmanager eingebunden werden (siehe Bild 12.6 [↗](#)).

Projekt umbenennen / Bezeichnung ändern

Die Bezeichnung eines Projekts kann nachträglich geändert werden über das

- Projektmanager-Menü **Projekt** → **Eigenschaften** (zuvor Projekt selektieren)
- Kontextmenü-Eintrag **Eigenschaften** des Projekts im Navigator (siehe Bild 12.7 [↗](#))

Im Dialog *Projekteigenschaften* können der Projekt-Name und die *Bezeichnung* geändert werden. Es wird auch der *Dateiordner* des Projekts angezeigt.

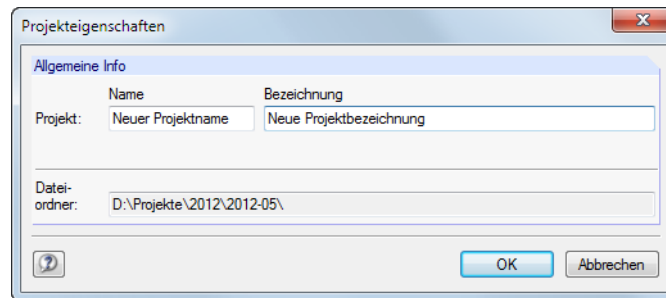


Bild 12.10 Dialog *Projekteigenschaften*

Projektordner importieren

Mit dieser Funktion kann nach einem Wechsel des Rechners die komplette Verzeichnisstruktur des Projektmanagers wiederhergestellt werden, ohne die Datei **PRO.DLP** zu kopieren (siehe Kapitel 12.3 [↗](#)). Es werden alle Projekte, die sich in einem Ordner befinden, in die Projektverwaltung aufgenommen (d. h. dieser Ordner muss Projekte, nicht Modelle enthalten). Die Projekte brauchen so nicht einzeln verknüpft werden.

Der Dialog zum Importieren eines Projekte-Ordners wird aufgerufen über das Projektmanager-Menü

Projekt → **Projektordner importieren.**

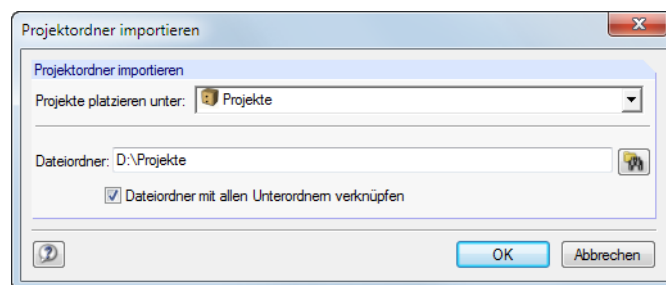



Bild 12.11 Dialog *Projektordner importieren*

In der Liste *Projekte platzieren unter* ist festzulegen, wie die Projektordner in die Verwaltung integriert werden sollen. Sollen die Dateiodner im Projektmanager als eigenständige Projekte erscheinen, ist der übergeordnete Eintrag *Projekte* zu wählen. Über die Schaltfläche  kann der Pfad für den zu verknüpfenden *Dateiordner* eingestellt werden.

Mit der Option *Dateiordner mit allen Unterordnern verknüpfen* können sämtliche Unterordner der Dateiodner in die Verwaltung des Projektmanagers eingebunden werden.

12.1.2 Modellverwaltung

Modell öffnen

Ein Modell kann aus dem Projektmanager geöffnet werden durch

- einen Doppelklick auf den Modellnamen oder das Miniaturbild,
- das Menü **Modell** → **Öffnen** (zuvor Modell selektieren) oder
- das Kontextmenü des Modells.

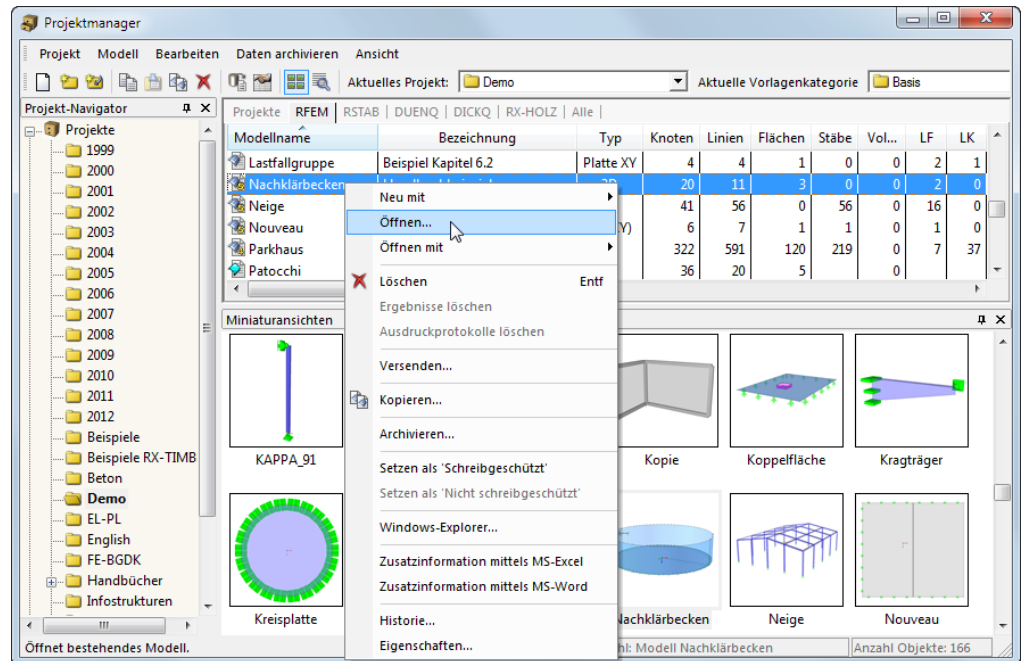
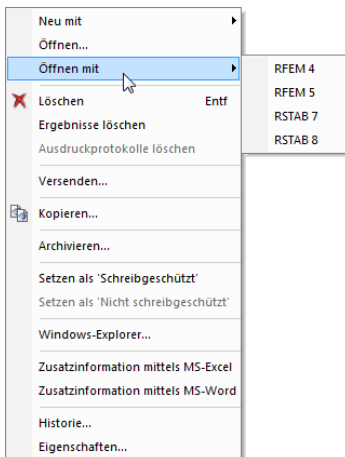


Bild 12.12 Kontextmenü Modell

Über die Kontextmenü-Option **Öffnen mit** kann eine Dlubal-Anwendung ausgewählt werden, mit der das Modell geöffnet werden soll.



RSTAB-Dateien lassen sich in RFEM direkt öffnen.

Modell kopieren / verschieben

Ein Modell wird in ein anderes Projekt kopiert mit

- dem Menü **Modell** → **Kopieren** (zuvor Modell selektieren),
- dem Kontextmenü-Eintrag **Kopieren** des Modells (siehe Bild 12.12) oder
- Drag-and-drop bei gedrückter [Strg]-Taste.

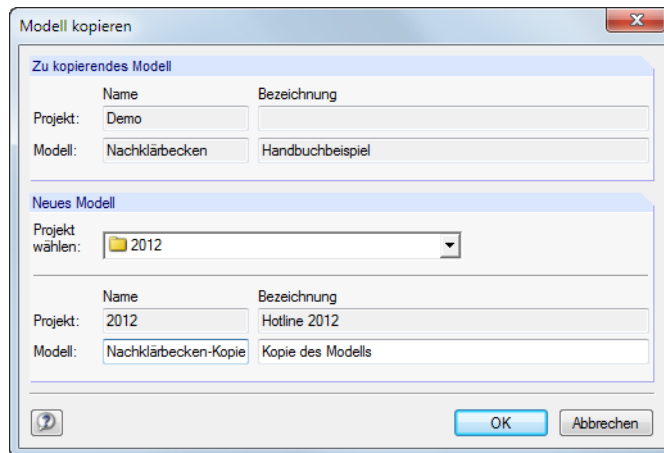


Bild 12.13 Dialog Modell kopieren

Im Dialog *Modell kopieren* sind das Zielprojekt sowie der *Name* und die *Bezeichnung* für die Kopie des Modells anzugeben.

Um ein Modell zu verschieben, wird es einfach mit der Maus in einen anderen Ordner gezogen.

Modell umbenennen

Ein Modell kann wie ein Projekt umbenannt werden über

- das Projektmanager-Menü **Modell** → **Eigenschaften** (zuvor Modell selektieren)
- dem Kontextmenü-Eintrag **Eigenschaften** des Modells (siehe Bild 12.12 [☞](#)).

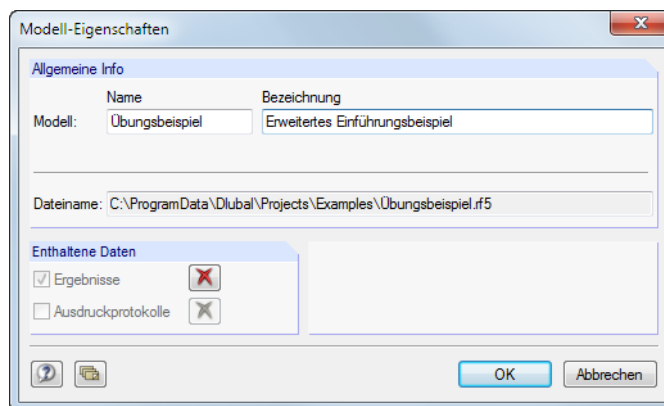



Bild 12.14 Dialog Modell-Eigenschaften

In einem Dialog können der *Name* und die *Bezeichnung* des Modells geändert werden. Es werden auch der *Dateiname* und der Verzeichnispfad des Modells angezeigt.

Enthält das Modell auch Ergebnisse und Ausdruckprotokolle, so können diese *Enthaltene Daten* mit den Schallflächen  aus dem Datensatz entfernt werden.

Modell löschen

Ein Modell wird gelöscht mit

- dem Menü **Modell** → **Löschen** (zuvor Modell selektieren)
- der Schaltfläche [Löschen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü-Eintrag **Löschen** des Modells (siehe Bild 12.12 [☞](#)).

Es lassen sich auch gezielt die *Ergebnisse* und/oder *Ausdruckprotokolle* des Modells löschen. Die Eingabedaten bleiben in diesen Fällen erhalten.

Das Löschen von Modellen kann rückgängig gemacht werden über das Menü

Bearbeiten → **Aus dem Dlubal-Papierkorb wiederherstellen**.

Der Dlubal-Papierkorb ist im [Kapitel 12.1.4.2](#) [☞](#) beschrieben.

Historie anzeigen

Der Bearbeitungsverlauf an einem Modell kann kontrolliert werden über

- das Projektmanager-Menü **Modell** → **Historie** (zuvor Modell selektieren)
- dem Kontextmenü-Eintrag **Historie** des Modells (siehe Bild 12.12 [☞](#)).

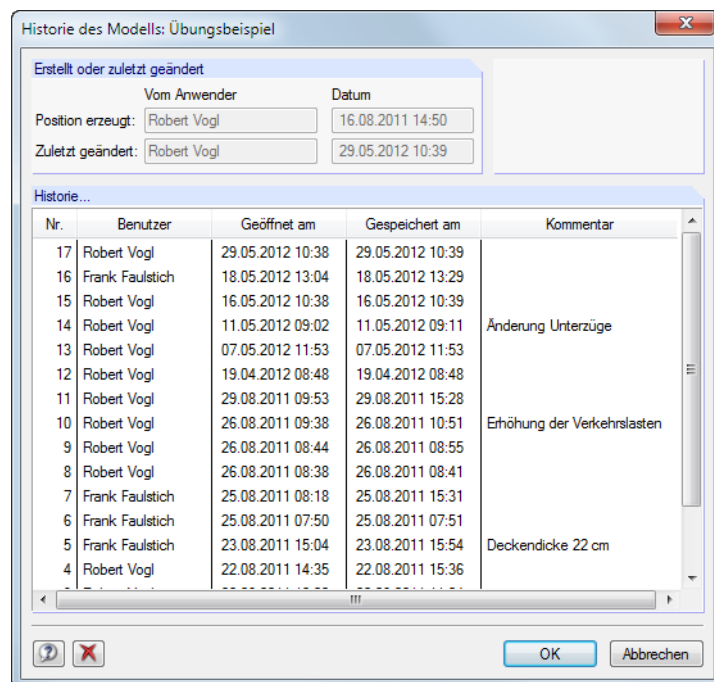


Bild 12.15 Info-Fenster *Historie des Modells*

Ein Dialog gibt Auskunft darüber, welche Personen das Modell erstellt, geöffnet oder geändert haben und zu welchem Zeitpunkt dies jeweils geschehen ist.

Die Anmerkungen in der Spalte *Kommentar* werden aus den Basisangaben des Modells übernommen. Die Einträge werden dort im Register *Historie* verwaltet. Damit lässt sich der Bearbeitungsstatus dokumentieren (siehe [Kapitel 12.2.3](#) [☞](#)).

12.1.3 Datensicherung

Archivieren

Ausgewählte Modelle oder auch ein ganzer Projektordner können in einer komprimierten Archivdatei gesichert werden. Die Modelle oder Ordner bleiben auf der Festplatte erhalten.

Die Archivierung wird gestartet über das

- Menü **Daten archivieren** → **Archivieren** (zuvor Modell bzw. Projekt selektieren)
- Kontextmenü des Projekts (siehe Bild 12.7 [↗](#)) oder Modells (siehe Bild 12.12 [↗](#)).

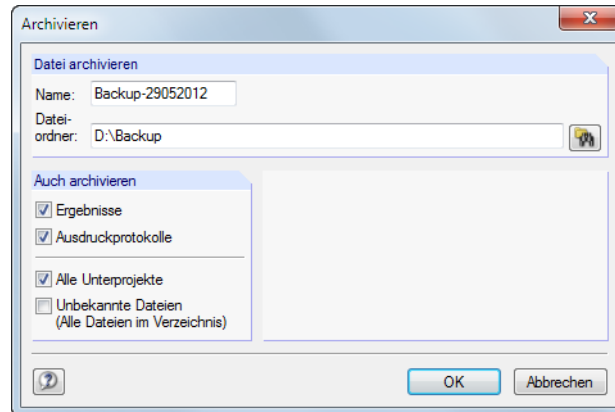


Bild 12.16 Dialog Archivieren

Die Sicherungsdatei kann mit oder ohne Ergebnissen und Ausdruckprotokollen gebildet werden. Optional lassen sich alle Unterprojekte und Dlubal-fremde Dateien integrieren.

Sind *Name* und *Dateiordner* der Archivdatei festgelegt, wird diese nach [OK] im ZIP-Format erstellt.

Dearchivieren

Eine Archivdatei kann wieder entpackt werden über das Projektmanager-Menü

- **Daten archivieren** → **Projekt dearchivieren** bzw.
- **Daten archivieren** → **Modelle dearchivieren**.

Es erscheint der Windows-Dialog *Öffnen* zur Auswahl der ZIP-Archivdatei. Nach [OK] wird der Inhalt in einem Dialog angezeigt.

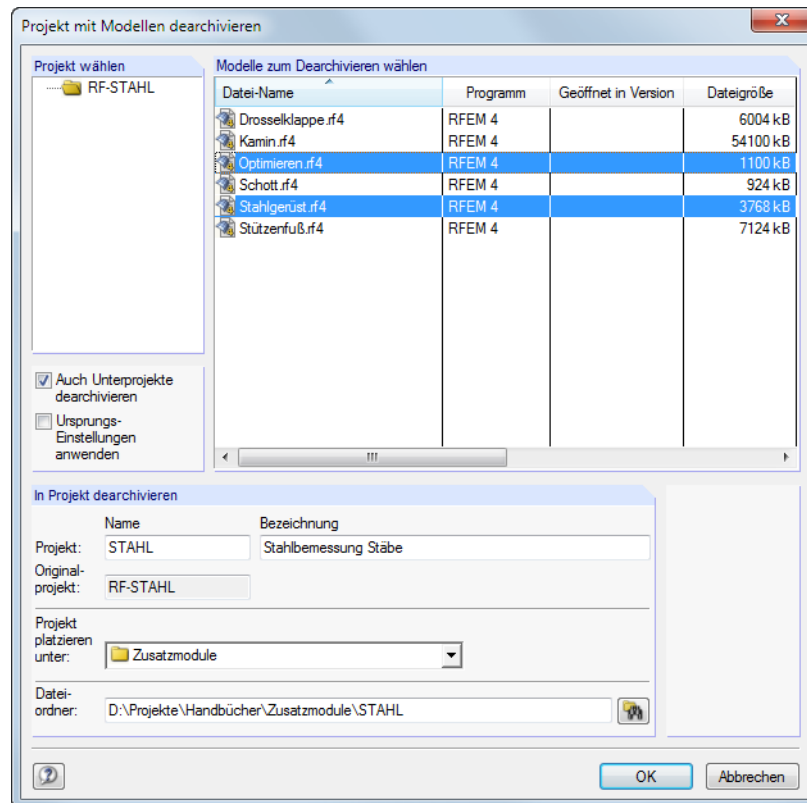



Bild 12.17 Dialog Projekt mit Modellen dearchivieren

In der Tabelle *Modelle für Dearchivierung auswählen* sind die wiederherzustellenden Modelle zu selektieren. Sie können mit den ursprünglichen Projekteinstellungen oder als neues Projekt entpackt werden. In der Liste *Projekt platzieren unter* kann die Einbindung in der Verwaltung des Projektmanagers festgelegt werden. Über  lässt sich auch ein neues Verzeichnis erstellen.

12.1.4 Einstellungen

12.1.4.1 Ansicht

Miniaturbilder und Details anzeigen

Der Bereich unterhalb der Modell-Tabelle kann benutzerdefiniert angepasst werden. Es stehen zwei Optionen für Zusatzfenster zur Auswahl, die sich unabhängig voneinander aktivieren lassen.

Die Steuerung erfolgt über die Menüpunkte

Ansicht → **Vorschaugrafiken aller Modelle** und

Ansicht → **Details des aktuellen Modells**

oder die zugeordneten Schaltflächen:



	Die Miniaturbilder aller Modelle im Projekt werden angezeigt.
	Die Modelldetails und das Vorschaubild des Modells werden angezeigt.

Tabelle 12.1 Schaltflächen zur Steuerung der Anzeige

Modelle sortieren

Die Anordnung der Modelle in der Tabelle ist anpassbar: Wie in Windows-Anwendungen üblich, lässt sich die Liste durch einen Klick auf einen der Spaltentitel auf- oder absteigend sortieren. Alternativ benutzt man das Menü

Ansicht → **Modelle sortieren**.

Spalten anpassen

Die Spalten lassen sich benutzerdefiniert arrangieren mit

- dem Menü **Ansicht** → **Spalten bearbeiten**
- der Schaltfläche [Registerspalten bearbeiten] in der Symbolleiste.

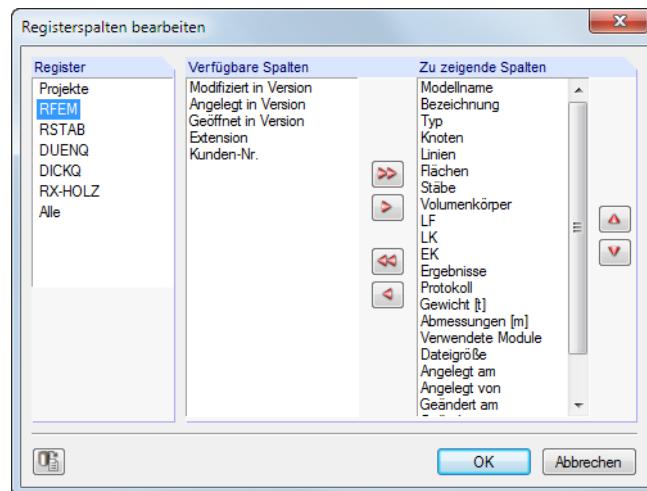






Bild 12.18 Dialog Registerspalten bearbeiten



Zunächst ist das *Register* festzulegen, dessen Spalten angepasst werden sollen (z. B. RFEM). In der Liste *Verfügbare Spalten* können nun Einträge markiert und in die Liste *Zu zeigende Spalten* übertragen werden. Die Übergabe erfolgt mit den -Schaltflächen oder per Doppelklick. Umgekehrt können unerwünschte Spalten mit den -Schaltflächen ausgeblendet werden.

Die Reihenfolge der Spalten in der Modellliste lässt sich ändern, indem man in der Liste *Zu zeigende Spalten* einen Eintrag mit den Schaltflächen  und  nach oben oder unten schiebt.



Über das Menü **Ansicht** → **Automatisch anordnen** oder die zugeordnete Schaltfläche werden die Spaltenbreiten der Modellliste optimiert.

12.1.4.2 Papierkorb

Gelöschte Projekte und Modelle lassen sich wieder retten über das Projektmanager-Menü

Bearbeiten → Aus dem Dlubal-Papierkorb wiederherstellen.

In einem Dialog werden die gelöschten Modelle nach Projekten aufgelistet.

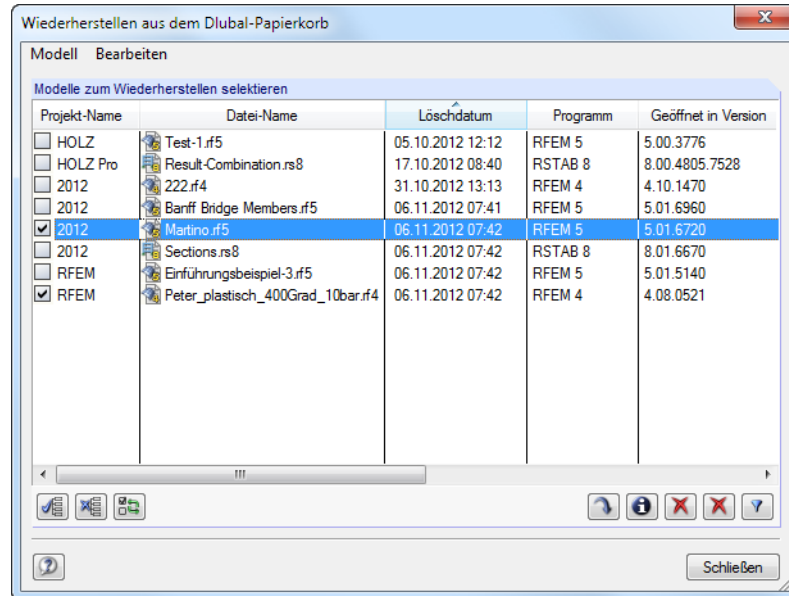


Bild 12.19 Dialog Wiederherstellen aus dem Dlubal-Papierkorb

Die gewünschten Modelle sind per Mausclick auszuwählen (mit lassen sich alle Einträge auf einmal markieren). Ein Klick auf die Schaltfläche fügt die gelöschten Modelle wieder in die ursprünglichen Projektordner ein.

Die im Dlubal-Papierkorb abgelegten Objekte werden gelöscht über das Menü

Bearbeiten → Dlubal-Papierkorb leeren.

Vor dem endgültigen Löschen erfolgt eine Sicherheitsabfrage.

Die Einstellungen für den Dlubal-Papierkorb sind zugänglich über das Projektmanager-Menü

Bearbeiten → Einstellungen für Dlubal-Papierkorb.

In einem Dialog werden die Vorgaben zu Speicherort und -größe verwaltet.

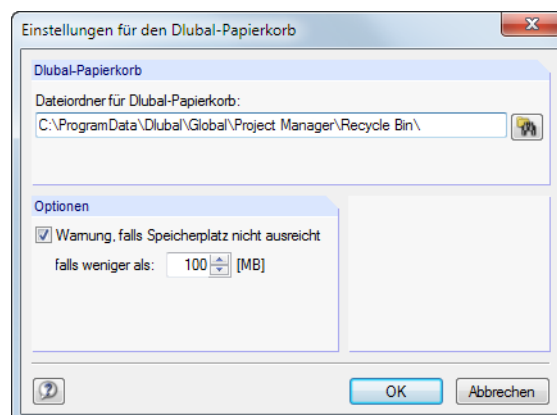


Bild 12.20 Dialog Einstellungen für den Dlubal-Papierkorb

12.1.4.3 Verzeichnisse

Die Verzeichnispfade des Projektmanagers (sowie des Blockmanagers) lassen sich im Dialog *Programmooptionen* überprüfen. Dieser wird aufgerufen über das Projektmanager-Menü

Bearbeiten → Programmooptionen.

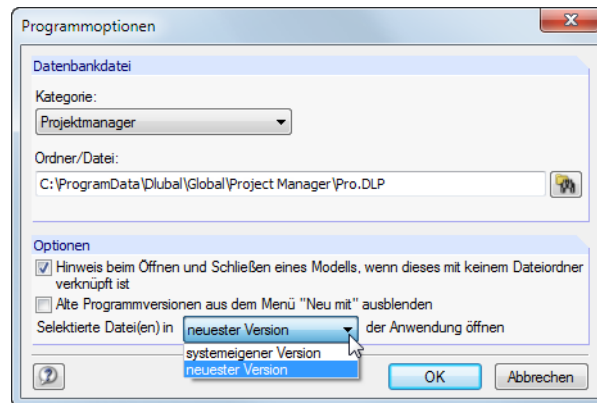




Bild 12.21 Dialog *Programmooptionen*

In der *Kategorie* werden die Einstellungen für Projektmanager und Blockmanager getrennt verwaltet. Der Ordner und der Dateiname werden im Eingabefeld unterhalb angezeigt und können dort bei Bedarf angepasst werden. Die Projekte sind in der Datei **PRO.DLP** verwaltet, die sich standardmäßig im Ordner *C:\ProgramData\Dlubal\Global\Project Manager* befindet. Die Schaltfläche  erleichtert es, einen anderen Verzeichnispfad einzustellen.

Da der Projektmanager netzwerkfähig ist, kann das Datenmanagement der im Projektmanager verwalteten Modelle auch an zentraler Stelle erfolgen: Es wird der Verzeichnispfad zur Datei *PRO.DLP* auf dem Server eingestellt (siehe [Kapitel 12.3](#) ).

Der Abschnitt *Optionen* bietet allgemeine Einstellungen zur Behandlung von RFEM-Dateien: Beim Öffnen einer Datei aus dem Explorer, E-Mail-Programm etc. erscheint üblicherweise eine Meldung, falls dieser Dateiodrner nicht in die Verwaltung des Projektmanagers integriert ist. Diese Meldung kann deaktiviert werden. Zudem lässt sich steuern, mit welcher Programmversion Modelldateien erstellt oder geöffnet werden.

12.2

Neues Modell anlegen

Ein Modell wird erstellt mit

- dem RFEM-Menü **Datei** → **Neu**,
- der Schaltfläche [Neues Modell] in der Symbolleiste,
- dem Menü **Modell** → **Neu mit** → **RFEM 5** im Projektmanager.

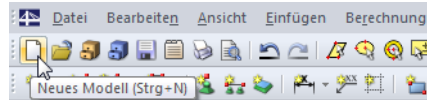


Bild 12.22 Schaltfläche Neues Modell

Der Dialog *Neues Modell - Basisangaben* wird geöffnet. Er besitzt drei Register.

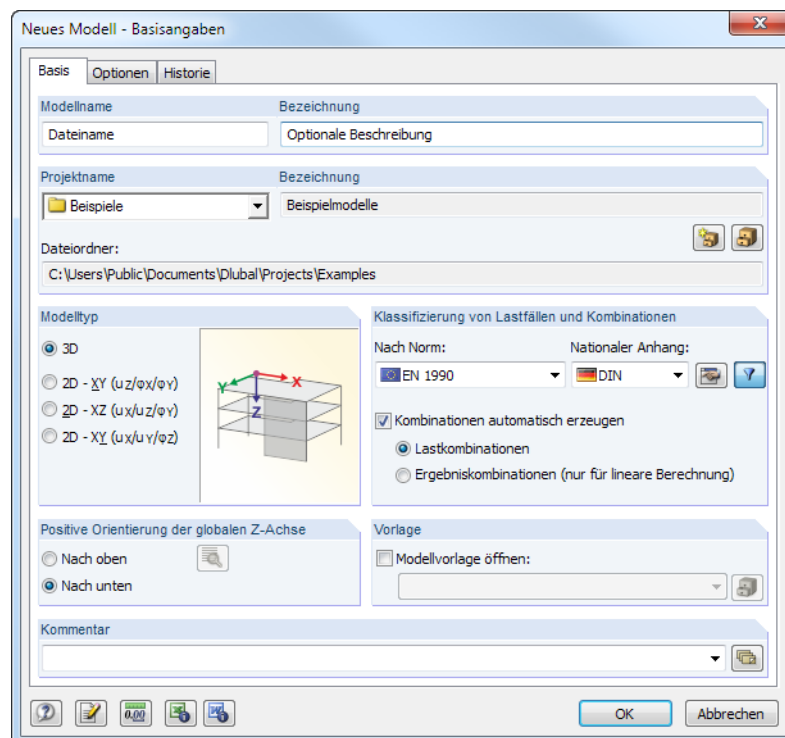


Bild 12.23 Dialog Neues Modell - Basisangaben, Register Basis

Um zu einem späteren Zeitpunkt die Basisangaben zu bearbeiten, benutzt man das

- Menü **Bearbeiten** → **Modelldaten** → **Basisangaben**
- Kontextmenü des Modells im *Daten-Navigator*.

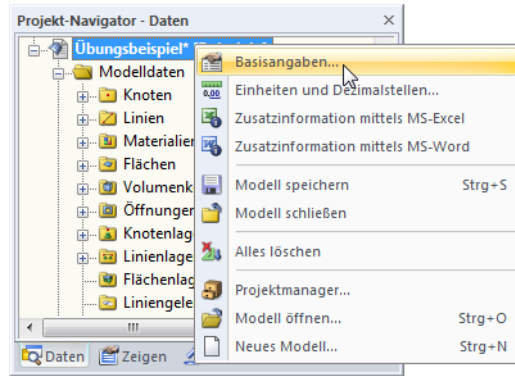


Bild 12.24 Kontextmenü des Modells

12.2.1 Basis

Das erste Register (siehe Bild 12.23) verwaltet grundlegende Modellparameter.

Modellname / Bezeichnung

Im Eingabefeld *Modellname* ist ein Name anzugeben. Er dient gleichzeitig als Dateiname des Modells. Das Modell kann mit einer *Bezeichnung* näher beschrieben werden. Sie erscheint im Ausdruckprotokoll, hat aber wie die Projektbezeichnung keine weitere Funktion.

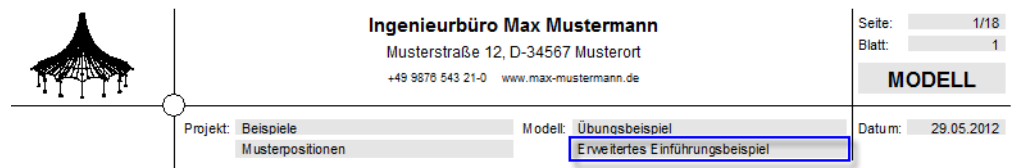


Bild 12.25 Modellbezeichnung im Ausdruckprotokoll

Projektname / Bezeichnung

In der Liste *Projektname* kann der Projektordner gewählt werden, in dem das Modell angelegt werden soll. Das aktuelle Projekt ist vorgegeben. Diese Voreinstellung lässt sich bei Bedarf im Projektmanager ändern (siehe Kapitel 12.1), der über die Schaltfläche rechts im Abschnitt zugänglich ist.

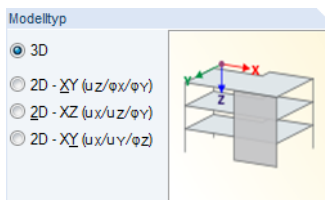
Zur Information werden die *Bezeichnung* und der *Dateiordner* des gewählten Projekts angezeigt.

Modelltyp

Bei den Basisangaben ist festzulegen, ob ein räumliches oder ein ebenes Modell vorliegt. Bei 2D-Modellen reduziert sich der Eingabeaufwand wegen der eingeschränkten Koordinaten und Freiheitsgrade.

Der Typ 2D - XY eignet sich für ebene Flächentragwerke wie Platten, die senkrecht zur Flächenebene belastet sind. Die Typen 2D - XZ und 2D - XY können bei Wänden und Scheiben benutzt werden, wenn nur Lasten in Richtung der Flächenebene wirken. Bei ebenen Stabtragwerken ist der Typ 2D - XZ zu empfehlen, da hier Momente nur um die starken Stabachsen berücksichtigt werden.

Der Modelltyp kann nachträglich geändert werden. Dies kann jedoch mit einem Datenverlust verbunden sein, z. B. wenn ein 3D-Modell zu einer Wand reduziert wird.



Klassifizierung der Lastfälle und der Kombinationen

Die Belastung ist nach Lastfällen geordnet aufzubringen. Lastfälle können z. B. Eigengewicht, Schnee oder Nutzlast sein.

Die einzelnen Normen geben Regeln vor, wie die Lastfälle zu kombinieren sind. Es ist daher wichtig, die Lastfälle bestimmten Einwirkungskategorien zuzuweisen (siehe [Kapitel 5.1](#)). Beim Erstellen der Last- und Ergebniskombinationen kann RFEM dann die Lastfälle automatisch mit den passenden Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten versehen.

Nach Norm

Die Liste *Nach Norm* enthält verschiedene Regelwerke, die die Prinzipien zur Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Tragwerken beschreiben. Mit der Auswahl der Norm werden die Regeln für die Bildung von Last- und Ergebniskombinationen in RFEM festgelegt. Diese Vorgabe ist wichtig für die automatische Erzeugung von Kombinationen (siehe [Kapitel 5.2](#) bis [Kapitel 5.4](#)).

Mit der Einstellung *Ohne* werden keine Kombinationen automatisch erzeugt. Die Lastfälle sind dann manuell zu überlagern (siehe [Kapitel 5.5.1](#) und [Kapitel 5.6.1](#)).

Die Schaltfläche  ermöglicht es, alte Normen in der Liste ein- oder auszublenden.

Beim nachträglichen Ändern der Norm ist es erforderlich, die Lastfälle neu zu klassifizieren und die Kombination anzupassen. Es erscheint eine entsprechende Warnung.

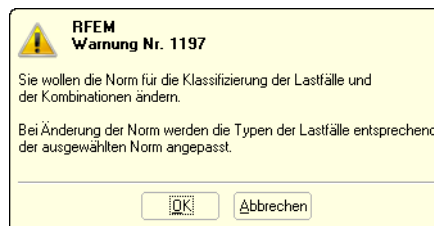



Bild 12.26 Warnung beim Ändern der Norm

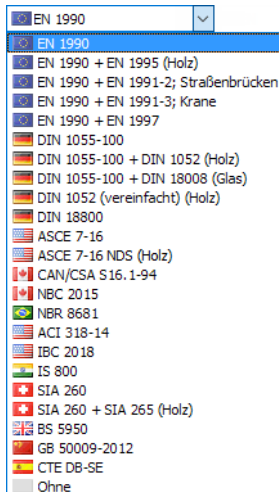
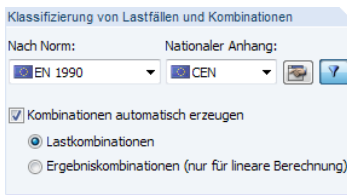
Nationaler Anhang

Wird die Norm *EN 1990* gewählt, erscheint eine zusätzliche Auswahlliste: Die Kombinationsregeln sind in der europäischen Norm zwar festgelegt, aber die Staaten dürfen die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte selbst regeln.

Die Liste bietet eine Auswahlmöglichkeit unter den Nationalen Anhängen verschiedener Staaten. Bei der Option *CEN* gelten die von der europäischen Kommission empfohlenen Beiwerte.

Über die Schaltfläche  können die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte der aktuellen Norm überprüft und — bei einer benutzerdefinierten Norm — angepasst werden.

Im Dialog *Beiwerte* sind die Faktoren in mehreren Registern organisiert. Das erste Register verwaltet die *Teilsicherheitsbeiwerte* für die Bemessungssituationen „Lagesicherheit“ und „Tragfähigkeit“.



			Bemessungssituation		
			Grundkombination	Außergewöhnlich	Erdbeben
1. Ständige Einwirkungen	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$:	1.10	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$:	0.90	1.00	1.00
2. Vorspannung	ungünstig	$\gamma_{P,sup}$:	1.10	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{P,inf}$:	0.90	1.00	1.00
3. ...					
6. Veränderliche Einwirkungen	ungünstig	γ_Q :	1.50	1.00	1.00
7. Außergewöhnliche Einwirkungen		γ_A :		1.00	
8. Einwirkungen aus Erdbeben		γ_I :			1.00

			Bemessungssituation		
			Grundkombination	Außergewöhnlich	Erdbeben
1. Ständige Einwirkungen	ungünstig	$\gamma_{G,sup}$:	1.35	1.00	1.00
	günstig	$\gamma_{G,inf}$:	1.00	1.00	1.00
2. Vorspannung		γ_P :	1.00	1.00	1.00
3. ...					
6. Veränderliche Einwirkungen	ungünstig	γ_Q :	1.50	1.00	1.00
7. Außergewöhnliche Einwirkungen		γ_A :		1.00	
8. Einwirkungen aus Erdbeben		γ_I :			1.00

Bild 12.27 Dialog Beiwerte, Register Teilsicherheitsbeiwerte

Das Register *Kombinationsbeiwerte* (siehe Bild 5.24) steuert die Faktoren ψ und ξ . Im Register *Schadensfolgeklasse*, das für EN 1990 zur Verfügung steht, kann der Zuverlässigkeitsfaktor K_{FI} festgelegt werden.

Kombinationen automatisch erzeugen

Wenn dieses Kontrollfeld deaktiviert ist, sind die Auswahlfelder unterhalb nicht zugänglich. Die erforderlichen Last- und Ergebniskombinationen sind dann manuell zu bilden (siehe Kapitel 5.5.1 und Kapitel 5.6.1). Die eingestellte Norm bewirkt, dass die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte automatisch zugewiesen werden.

Alternativ lassen sich *Kombinationen automatisch erzeugen*. Für diesen Zweck stehen zusätzliche Register im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, separate Einträge im Daten-Navigator sowie die Tabellen 2.2 bis 2.4 zur Verfügung. Die Generierung von Kombinationen ist in Kapitel 5.2 bis Kapitel 5.4 beschrieben.



Weitere Informationen zur Kombinatorik finden Sie im Kapitel 5 sowie im Handbuch des früheren Zusatzmoduls RF-KOMBI, das im [Downloadbereich unserer Website](#) verfügbar ist.

Im Zuge der automatischen Überlagerung werden entweder *Lastkombinationen* oder *Ergebniskombinationen* erzeugt. Der Unterschied zwischen den beiden Kombinationsmöglichkeiten ist in den Kapiteln 5.5 und 5.6 beschrieben.

Positive Orientierung der globalen Z-Achse


Dieser Abschnitt steuert die Richtung der globalen Achse Z. In CAD-Anwendungen zeigt die Z-Achse meist nach oben, in Statikprogrammen nach unten. Für die Berechnung spielt diese Vorgabe keine Rolle.

Positive Orientierung der globalen Z-Achse

- Nach oben...
 Nach unten



Wenn *Z nach oben* gerichtet ist und bei den Lastfall-Basisangaben das Eigengewicht mit dem Faktor 1.0 in Richtung Z definiert wird, so wirkt das Eigengewicht nach oben. In diesem Fall muss der Eigengewichtsfaktor auf -1.0 geändert werden.

Bei nach oben gerichteter Z-Achse können über die Schaltfläche  Einstellungen für Flächen und Stäbe vorgenommen werden. Es erscheint der Dialog *Orientierung der lokalen z-Achse*.

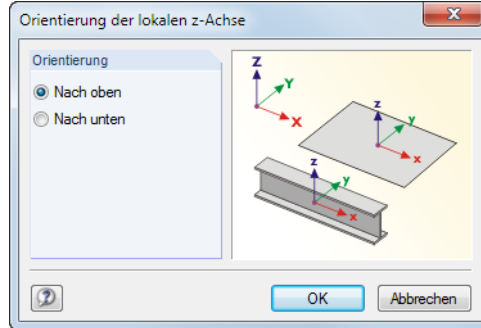


Bild 12.28 Dialog *Orientierung der lokalen z-Achse*

Die lokale z-Achse kann *Nach oben* oder *Nach unten* ausgerichtet werden, um beispielsweise Flächenbettungen oder Bewehrungen von Platten passend zuzuweisen. Die Abfrage beim Schließen des *Basisangaben*-Dialogs (siehe [Bild 12.29](#)) ist dann mit *Nein* zu beantworten.

Die Orientierung der Achse Z kann nachträglich geändert werden. Dabei besteht die Möglichkeit, die Koordinaten und globalen Lasten so anzupassen, dass die Ansicht des Modells erhalten bleibt. Bei einer Änderung der Achsenrichtung erscheint die in folgendem Bild dargestellte Abfrage.

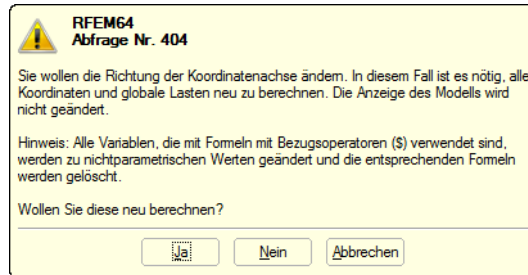


Bild 12.29 Abfrage beim Ändern der Z-Richtung

Vorlage

Das Modell kann nach einem Muster erzeugt werden, das in einem anderen Modell über das Menü

Datei → Als Vorlage speichern

gesichert wurde.

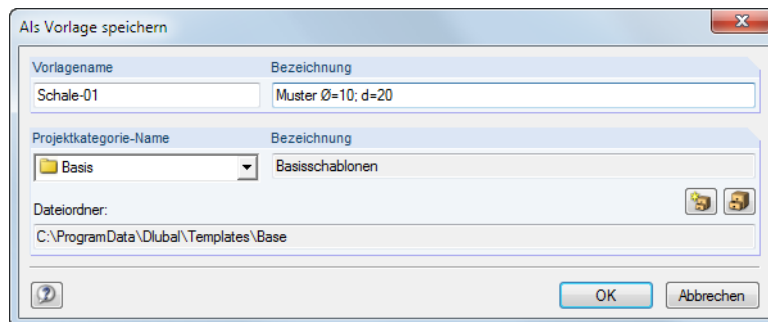
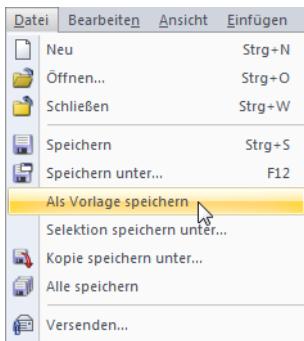
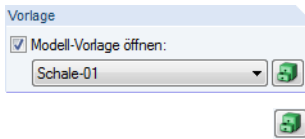


Bild 12.30 Dialog *Als Vorlage speichern*



Die Vorlagen werden im Dlubal-Ordner für Mustermodelle *Base* abgelegt. Sie sind auch im Projektmanager unter dem Eintrag **Vorlagenkategorien** → **Basis** zugänglich (siehe Bild 12.3 [↗](#)).

Nach dem Anhaken des Kontrollfeldes im Dialog *Neues Modell - Basisangaben* kann die gewünschte *Modell-Vorlage* in der Liste ausgewählt werden.

Ein Klick auf die links dargestellte Schaltfläche öffnet eine Übersicht mit Vorschaugrafiken, die die Auswahl unter den Vorlagen erleichtert.

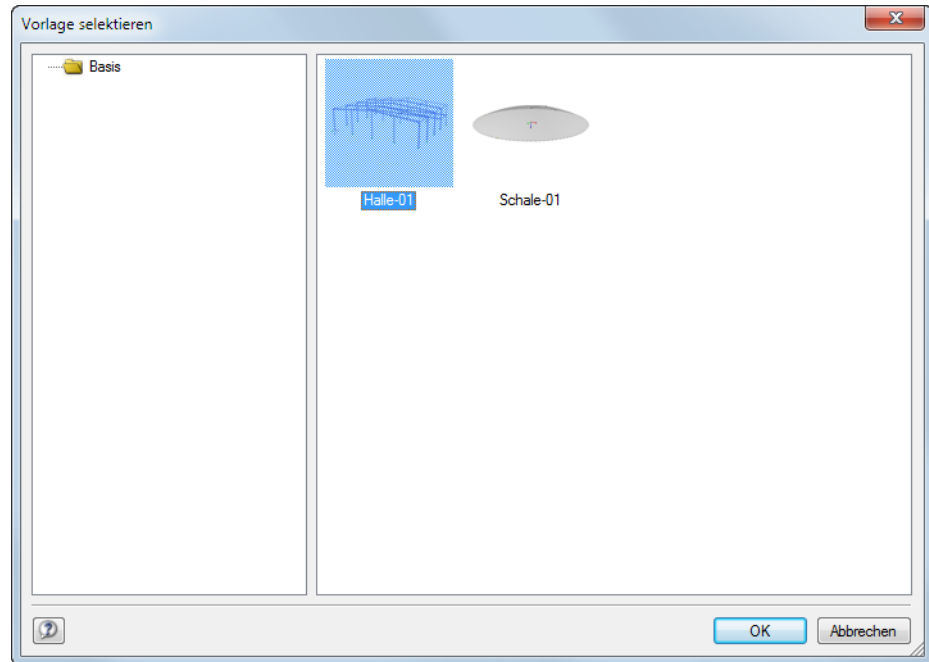


Bild 12.31 Dialog Vorlage selektieren

Kommentar

Man kann im Eingabefeld einen Text eingeben oder aus der Liste wählen, um die Basisangaben mit einer kurzen Beschreibung zu versehen. Der Kommentar erscheint auch im Ausdruckprotokoll.

Die Schaltflächen im *Basisangaben*-Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt.





Schaltfläche	Bezeichnung	Erläuterung
	Kommentar	→ Kapitel 11.1.4 ↗
	Einheiten und Dezimalstellen	→ Kapitel 11.1.3 ↗
	MS Excel	Möglichkeit für Zusatzerläuterungen in Form einer XLS-Datei, die in der RFEM-Datei gespeichert wird
	MS Word	Möglichkeit für Zusatzerläuterungen in Form einer DOC-Datei, die in der RFEM-Datei gespeichert wird

Tabelle 12.2 Dialog Basisangaben, Schaltflächen

12.2.2 Optionen

Das zweite Register des Dialogs *Neues Modell - Basisangaben* steuert, ob ein RFEM-spezifisches Zusatzmodul freigeschaltet wird und welcher Grundwert der Fallbeschleunigung gilt.

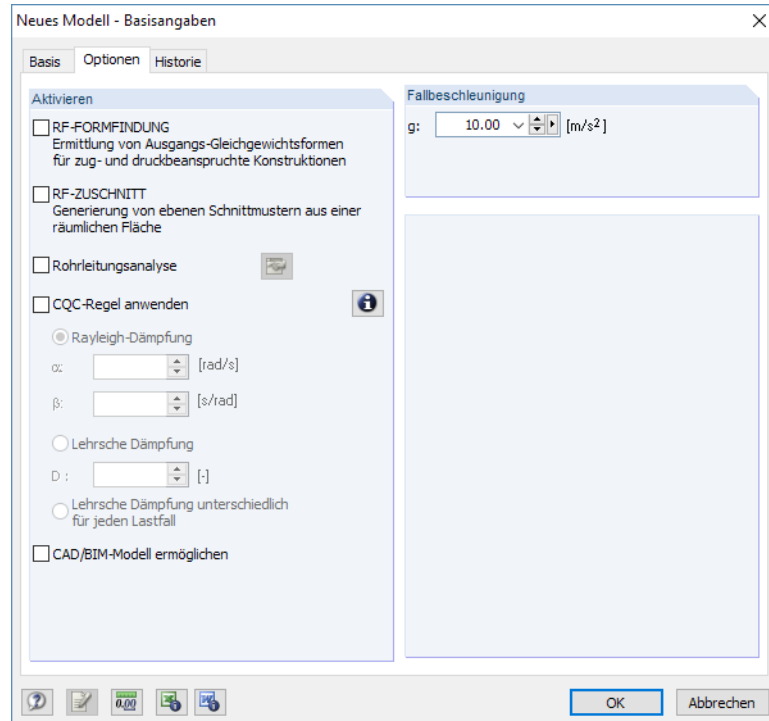


Bild 12.32 Dialog *Neues Modell - Basisangaben*, Register *Optionen*

Aktivieren

Die Kontrollfelder ermöglichen es, die Zusatzmodule RF-FORMFINDUNG (Formermittlung von Membran- und Seilkonstruktionen), RF-ZUSCHNITT (Ermittlung von Schnittmustern für Membrankonstruktionen) und RF-PIPING (Rohrleitungsberechnung) freizuschalten. Damit werden in RFEM spezifische Dialoge und Funktionen für die Modellierung von Membran- oder Rohrleitungssystemen zugänglich.



Für die Arbeit mit RF-FORMFINDUNG, RF-ZUSCHNITT und RF-PIPING sind entsprechende Lizenzen erforderlich.

Mit dem Kontrollfeld *CQC-Regel anwenden* lassen sich Erdbebenlastfälle nach der CQC-Regel („complete quadratic combination rule“) kombinieren. Damit ist eine vollständige quadratische modale Kombination dynamischer Lastfälle möglich. In den Eingabefeldern unterhalb können die Parameter für die *Rayleigh-Dämpfung* bzw. *Lehrsche Dämpfung* festgelegt werden. Das [RF-DYNAM Pro Handbuch](#) bietet ausführliche Erläuterungen zur dynamischen Analyse.

Das Kontrollfeld *CAD/BIM-Modell ermöglichen* ist zu aktivieren, wenn die Daten mit einem CAD- oder BIM-Modell abgeglichen werden sollen. Damit ist z. B. das Einlesen, Organisieren und Transformieren von IFC-, STEP- und IGES-Dateien möglich (Zusatzmodul RF-LINK erforderlich). Diese Funktion ist in folgendem Beitrag vorgestellt: <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/support/knowledge-base/001328>

Fallbeschleunigung

Dieser Abschnitt verwaltet den Grundwert der Gravitation g , der z. B. für die Ermittlung des Eigengewichts und für dynamische Analysen relevant ist. Falls erforderlich, kann der Näherungswert 10.00 m/s^2 hier angepasst werden.

12.2.3 Historie

Im Register *Historie* des *Basisangaben*-Dialogs ist der Bearbeitungsverlauf dokumentiert.

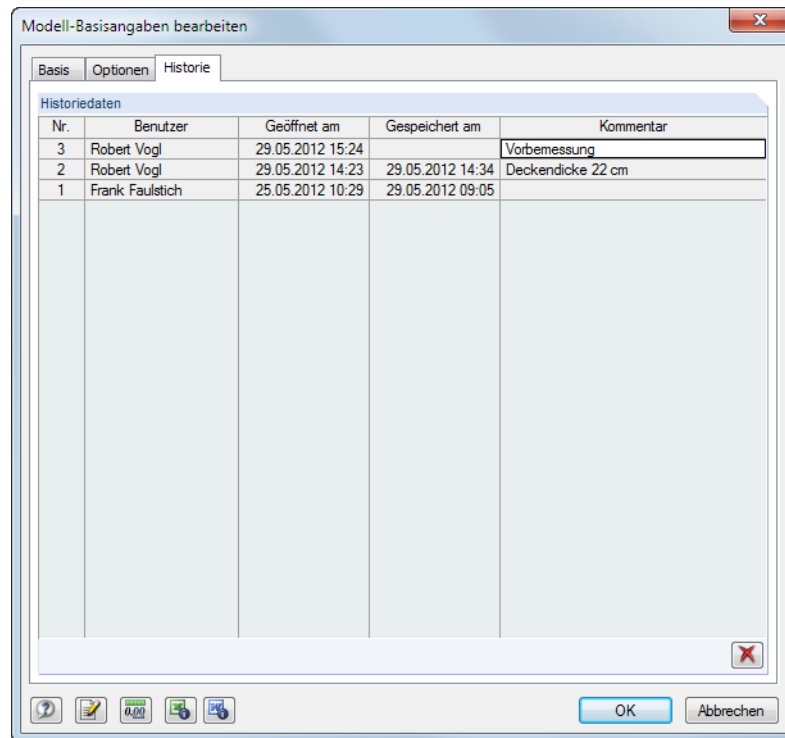



Bild 12.33 Dialog *Modell-Basisangaben bearbeiten*, Register *Historie*

In einer Tabelle ist ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt welcher *Benutzer* das Modell *geöffnet* und *gespeichert* hat.

In der obersten Tabellenzeile kann ein *Kommentar* zum aktuellen Stand der Bearbeitung eingetragen werden. Diese Anmerkung wird beim nächsten Speichern des Modells für die *Historie* wirksam. Der *Kommentar* erscheint nicht nur in diesem Register, sondern ist auch im *Projektmanager* abrufbar (siehe [Bild 12.15](#)).

Die Schaltfläche  löscht den Bearbeitungsverlauf. Damit lassen sich persönliche Informationen aus der Datei entfernen.

12.3

Verwaltung im Netzwerk

Arbeiten mehrere Anwender an den gleichen Projekten, so kann die Modellverwaltung über den Projektmanager organisiert werden. Die Voraussetzung ist, dass die Modelle in einem Ordner mit Netzfreigabe abgelegt sind.

Zunächst ist der Ordner, der sich im Netzwerk befindet, in die interne Projektverwaltung einzubinden. Dies ist im [Kapitel 12.1.1](#) beschrieben. Damit ist es möglich, im Projektmanager direkt auf die Modelle dieses Ordners zuzugreifen, d. h. zu öffnen, kopieren oder mit einem Schreibschutz zu versehen, den Bearbeitungsstand zu verfolgen etc.

Arbeitet ein Kollege bereits an dem Modell, das geöffnet werden soll, so erscheint ein entsprechender Hinweis. Dieses Modell kann dann als Kopie geöffnet werden.

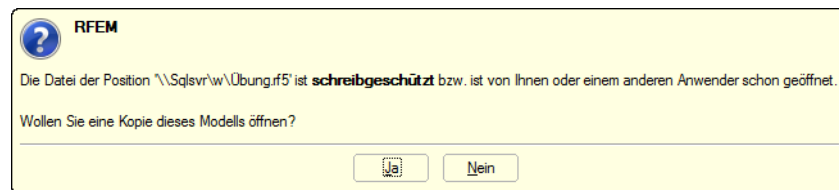


Bild 12.34 Abfrage beim Öffnen eines schreibgeschützten Modells



Ein automatischer Abgleich der Änderungen ist nicht möglich.

Die Informationen zu den im Projektmanager registrierten Projekten werden in der Datei **PRO.DLP** abgelegt. Hierbei handelt es sich um eine ASCII-Datei, die sich standardmäßig im Verzeichnis `C:\ProgramData\Dlubal\Global\Project Manager` befindet.

Durch das Kopieren dieser Datei PRO.DLP auf einen anderen Rechner lässt sich das projektweise Einbinden der Ordner umgehen. Die Datei kann zudem mit einem Editor bearbeitet werden. Dies erleichtert insbesondere bei Neuinstallationen die Aufgabe, alle relevanten Projektordner in die interne Verwaltung des Projektmanagers aufzunehmen. Alternativ kann die Funktion *Projektordner importieren* genutzt werden (siehe [Kapitel 12.1.1](#)).

Vor dem Kopieren der Datei PRO.DLP sollte — wie auch vor dem Deinstallieren der Dlubal-Anwendungen — die bestehende Datei gesichert werden.

Der Projektmanager ist auch netzwerkfähig. Damit kann das Dateimanagement an zentraler Stelle organisiert werden, wodurch alle Mitarbeiter in die gemeinsame Projektverwaltung eingebunden sind. Die Einstellungen werden getroffen über das Projektmanager-Menü

Bearbeiten → Programmoptionen.

Es öffnet sich ein Dialog, in dem der Speicherort der Datei PRO.DLP festgelegt werden kann (siehe [Bild 12.21](#)).

Der Projektmanager läuft auf jedem lokalen Rechner, aber es wird jeweils die zentrale Datei PRO.DLP des Servers genutzt. Alle Anwender können damit gleichzeitig Änderungen an der Projektstruktur vornehmen. Für Schreibzugriffe auf die Datei PRO.DLP wird diese kurz gesperrt und sofort wieder freigegeben.

12.4

Blockmanager

Der Blockmanager verwaltet Modellbausteine projektübergreifend: Ausgewählte Objekte lassen sich als Block speichern und in anderen Modellen wieder einlesen. Im *Katalog* des Blockmanagers ist eine Vielzahl typisierter Elemente vordefiniert.

Der Blockmanager wird über das Menü **Datei** → **Blockmanager** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste aufgerufen.

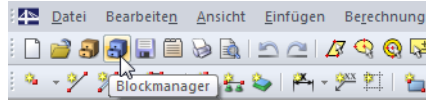


Bild 12.35 Schaltfläche Blockmanager in der Symbolleiste

Nach dem Aufruf erscheint das mehrteilige Fenster des Blockmanagers. Dieses Fenster hat wie der Projektmanager (siehe Kapitel 12.1) ein eigenes Menü und eine eigene Symbolleiste.

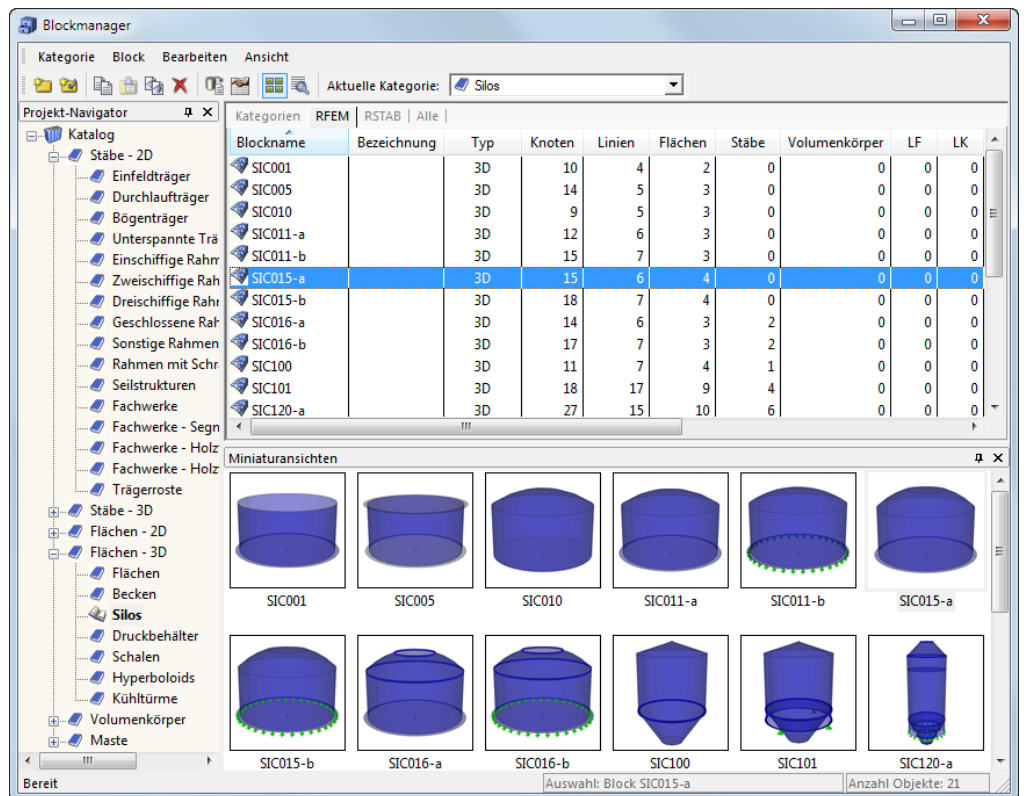



Bild 12.36 Blockmanager

Navigator

Links wird ein Navigator mit dem *Katalog* aller Block-Kategorien dargestellt. Die aktuelle Kategorie ist fett gekennzeichnet. Um eine andere Kategorie als aktuell zu setzen, wird diese doppelgeklickt oder in der Symbolleisten-Liste *Aktuelle Kategorie* eingestellt. Rechts neben dem Navigator sind die in der selektierten Kategorie katalogisierten Objekte aufgelistet. Es stehen Blöcke für verschiedene Stab-, Flächen- und Volumenmodelle zur Auswahl.

Tabelle der Blöcke

Die Blöcke der selektierten Kategorie werden der Reihe nach aufgelistet. Es werden jeweils der *Blockname*, die *Bezeichnung* und wichtige Objekt- und Dateinformationen angegeben.

Die angezeigten Spalten können über das Menü **Ansicht** → **Spalten bearbeiten** oder die zugeordnete Schalfläche angepasst werden (siehe [Kapitel 12.1.4.1](#) ).

Details

In diesem Fensterabschnitt werden nähere Informationen zum selektierten Block ausgegeben.

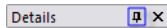
Vorschau

Der selektierte Block wird als Vorschau angezeigt. Die Größe dieses Vorschau Fensters lässt sich durch Verschieben des oberen Randes anpassen.

Miniaturansichten

Der untere Bereich des Blockmanagers bietet eine grafische Übersicht über die Blöcke, die in der selektierten Kategorie enthalten sind. Die Bilder sind interaktiv mit der Tabelle oberhalb.

Über die Pins ist es möglich, bestimmte Fensterabschnitte zu minimieren. Sie werden dann in der Fußleiste als Register angedockt.



12.4.1 Block erzeugen

Um einen Block aus bestimmten Objekten zu erzeugen, sind diese zunächst im aktuellen RFEM-Modell zu selektieren. Eine Mehrfachauswahl ist durch das Aufziehen eines Fensters oder durch Anklicken mehrerer Elemente mit gedrückter [Strg]-Taste möglich.

Der neue Block wird dann erzeugt mit dem RFEM-Menü

Datei → **Speichern als Block**.

Es öffnet sich folgender Dialog.

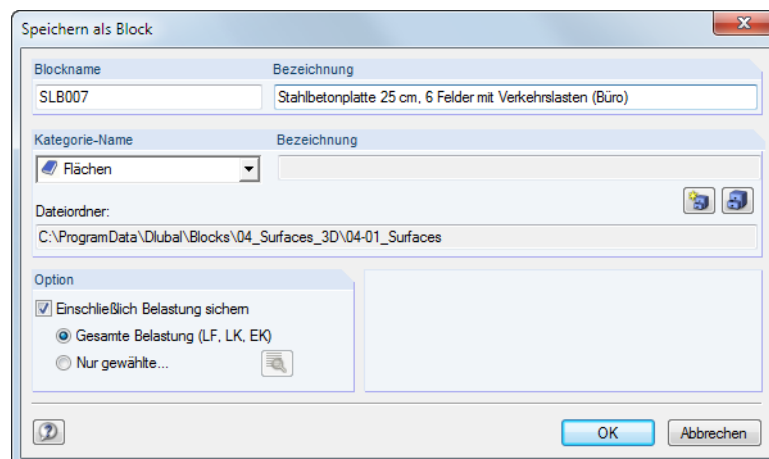


Bild 12.37 Dialog Speichern als Block

Es sind *Blockname* und *Kategorie-Name* festzulegen, unter der der Block gespeichert werden soll. Die *Kategorie* kann in der Liste ausgewählt werden. Die *Bezeichnung* dient optional zur kurzen Beschreibung des Blocks.

Der Speicherpfad des Blocks wird in der Zeile *Dateiordner* angezeigt.

Sofern Lasten definiert sind, können diese zusammen mit dem Block abgespeichert werden. Der

Abschnitt *Option* steuert zudem, ob alle Lasten oder nur bestimmte Lastfälle relevant sind.

Über die Schaltfläche [Neue Kategorie] kann eine Block-Kategorie erstellt werden:

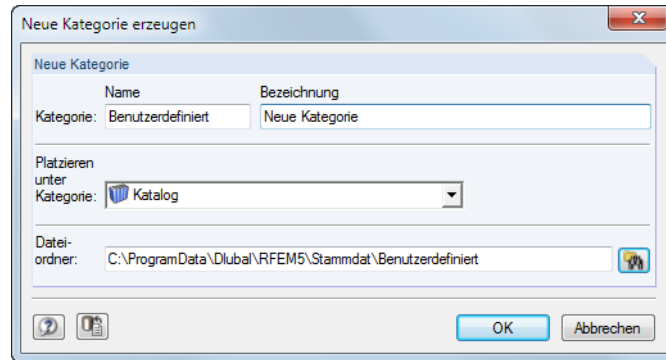


Bild 12.38 Dialog Neue Kategorie erzeugen

Die Vorgehensweise entspricht der beim Anlegen eines neuen Projekts im Projektmanager (siehe Kapitel 12.1.1 [\[2\]](#)).

12.4.2 Block importieren

Um einen Block in das aktuelle RFEM-Modell einzulesen, ist der Blockmanager aufzurufen (siehe Bild 12.35 [\[2\]](#)). Im Katalog wird zunächst die Kategorie ausgewählt. Der gewünschte Block kann dann im Register RFEM mit einem Mausklick selektiert werden.

Der Import wird gestartet über das

- Menü **Block** → **Block einfügen**
- Kontextmenü des Blocks.

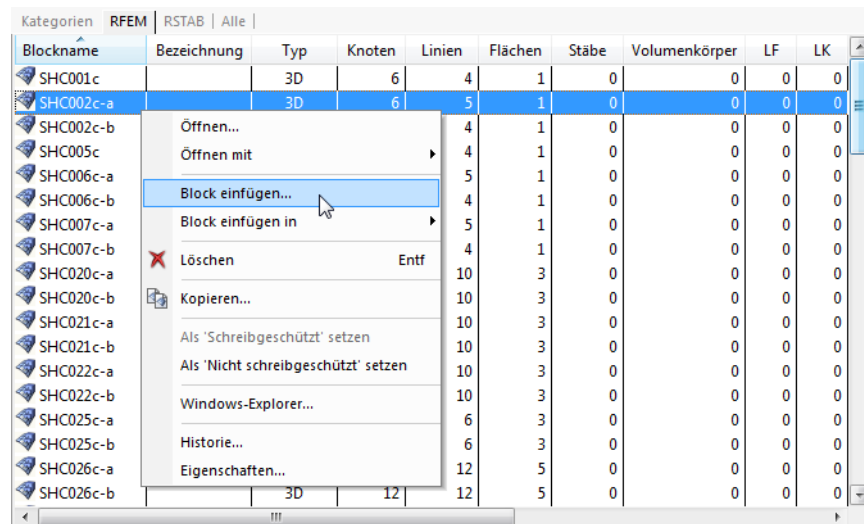


Bild 12.39 Kontextmenü Block

Der Block kann in der Tabelle auch doppelgeklickt werden. Es öffnet sich folgender Dialog.

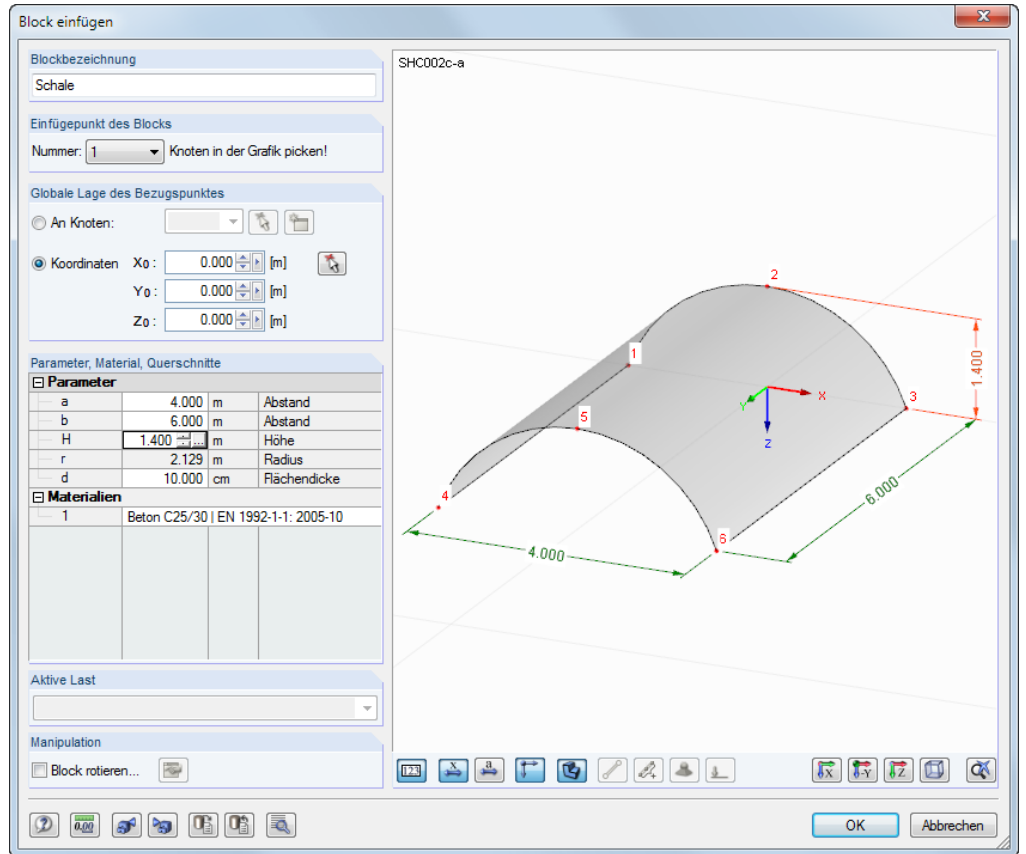


Bild 12.40 Dialog Block einfügen



Im Dialog sind der *Einfügepunkt des Blocks* (der „Greifpunkt“) sowie die *Globale Lage des Bezugspunktes* anzugeben. Die Auswahl kann auch grafisch im Block- bzw. RFEM-Modell erfolgen.

Die geometrischen *Parameter* sind ebenso modifizierbar wie *Materialien* und *Querschnitte*. Über einen Klick in das entsprechende Eingabefeld werden die Schaltflächen zur Auswahl aus einer Liste bzw. zum Aufruf von Bibliotheken zugänglich.

Bei benutzerdefinierten Blöcken lassen sich auch Belastungen importieren: Die *Aktive Last* kann in der Liste ausgewählt werden.

Über die Schaltfläche  sind spezifische Importeinstellungen zugänglich.

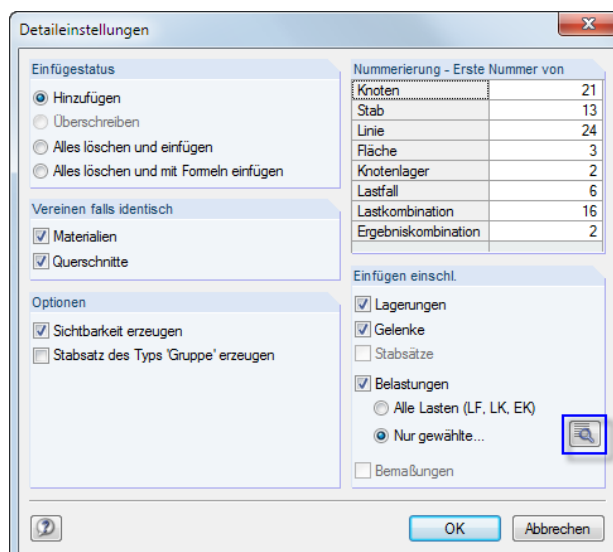


Bild 12.41 Dialog Detaileinstellungen

Der Dialog *Detaileinstellungen* steuert, wie die Objekte mit den vorhandenen Modellelementen abgeglichen werden. Zudem kann die *Nummerierung* beeinflusst werden.

Die Schaltfläche  in diesem Dialog (siehe Bild 12.41 [↗](#)) ruft einen weiteren Dialog auf. Dort können die Lastfälle, Last- und Ergebniskombinationen für den Import ausgewählt werden.

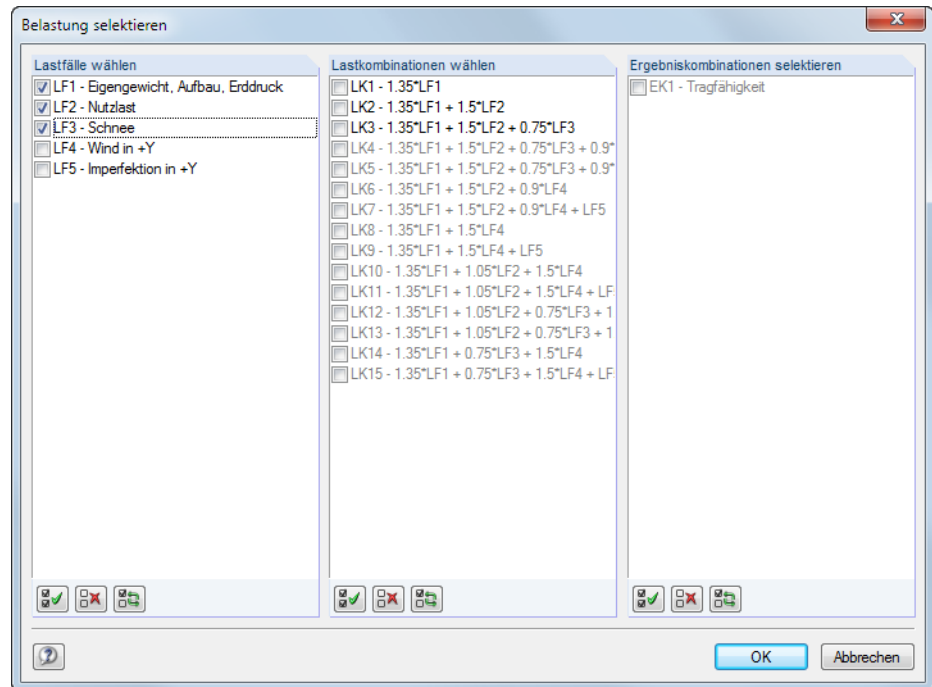


Bild 12.42 Dialog *Belastung selektieren*

12.4.3 Block löschen

Ein Block kann gelöscht werden mit

- dem Blockmanager-Menü **Block** → **Löschen** (Block zuvor selektieren)
- der Schaltfläche [Löschen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü des Blocks (siehe Bild 12.39 [↗](#)).

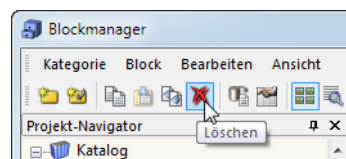


Bild 12.43 Schaltfläche *Löschen*

Nach einer Sicherheitsabfrage wird der Block in den Dlubal-Papierkorb verschoben.

12.5

Schnittstellen

In RFEM besteht die Möglichkeit, Daten mit anderen Programmen auszutauschen. Damit lassen sich sowohl die CAD-Vorlagen anderer Anwendungen nutzen als auch die Ergebnisse der statischen Berechnung in Konstruktions- oder Bemessungsprogrammen verwenden.

Der Export des Ausdruckprotokolls als **RTF**-Datei und nach **VCmaster** ist im [Kapitel 10.1.11](#) beschrieben.

RFEM ist auch über eine programmierbare Schnittstelle auf Basis der COM-Technologie (z. B. Visual Basic) von außen steuerbar: Mit **RF-COM**, das als Zusatzmodul erworben werden kann, lassen sich maßgeschneiderte Eingabemakros und Nachlaufprogramme nutzen.

12.5.1 Direkter Datenaustausch

Dlubal-Anwendungen

RFEM beinhaltet eine Schnittstelle zu Programmen aus dem Hause Dlubal. Die Eingabedaten aller **RFEM**-Vorgängerversionen werden problemlos eingelesen. Auch die Dateien des Stabwerksprogramms **RSTAB** können direkt geöffnet und mit Flächen- oder Volumenelementen ergänzt werden. Umgekehrt lassen sich Dateien, die in RFEM 5 erzeugt wurden, mit RSTAB 8 öffnen.

Tekla Structures / AutoCAD

Es besteht eine direkte Kopplung zu den CAD-Anwendungen von **Tekla Structures** und **AutoCAD** (jedoch nicht für LT-Versionen). Damit lassen sich mit RFEM die Vorteile von BIM (*Building Information Modeling*) nutzen, um Datenmodelle für die digitale Planung auszutauschen.

Der direkte Datenaustausch wird gestartet über das Menü

Datei → **Importieren** bzw.

Datei → **Exportieren** oder

die links dargestellten Schaltflächen.



Es öffnet sich der im [Bild 12.44](#) bzw. [Bild 12.45](#) gezeigte Dialog. Dort kann im Abschnitt *Direkte Importe* bzw. *Direkter Export* die gewünschte CAD-Anwendung gewählt werden.

Die Schaltflächen der Symbolleiste *Export/Import* sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Direkter Import aus Tekla Structures
	Direkter Export nach Tekla Structures
	Direkter Import aus AutoCAD
	Direkter Export nach AutoCAD

Tabelle 12.3 Schaltflächen der Symbolleiste *Export/Import*



Nähere Informationen zum Datenaustausch mit **Tekla Structures** und **Autodesk Revit** finden Sie im [Handbuch für BIM-Schnittstellen](#).

12.5.2 Formate für Datenaustausch

Wenn in CAD- oder Statikprogrammen Dateien des Typs ***.stp**, ***.dxf**, ***.fem**, ***.asf**, ***.dat**, ***.cfe** oder ***.ifc** erzeugt werden können, lassen sich die Daten als Vorlage für RFEM nutzen. Umgekehrt ist RFEM auch in der Lage, Dateien in Formaten für andere Programme zu erstellen.

Der Dialog zum Importieren einer Datei wird aufgerufen über das Menü

Datei → Importieren.

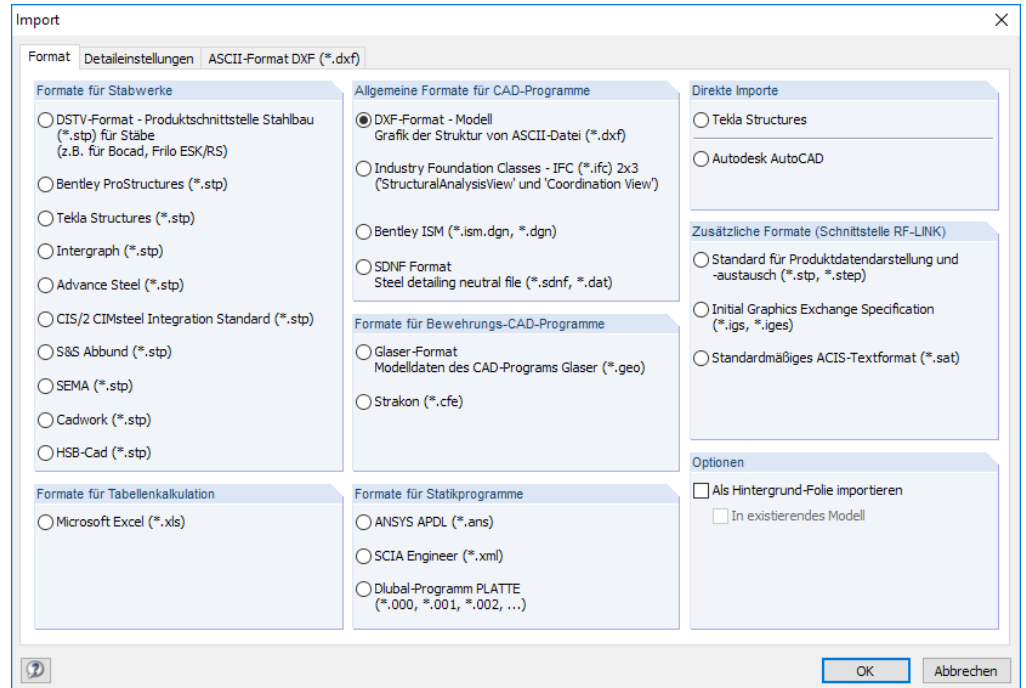


Bild 12.44 Dialog Import

Mit der Option *Als Hintergrund-Folie importieren* wird nur ein Drahtmodell hinterlegt, das zum Setzen von Knoten, Linien etc. genutzt werden kann (siehe [Kapitel 11.3.10](#)).

Eine RFEM-Datei kann exportiert werden über das Menü

Datei → Exportieren.

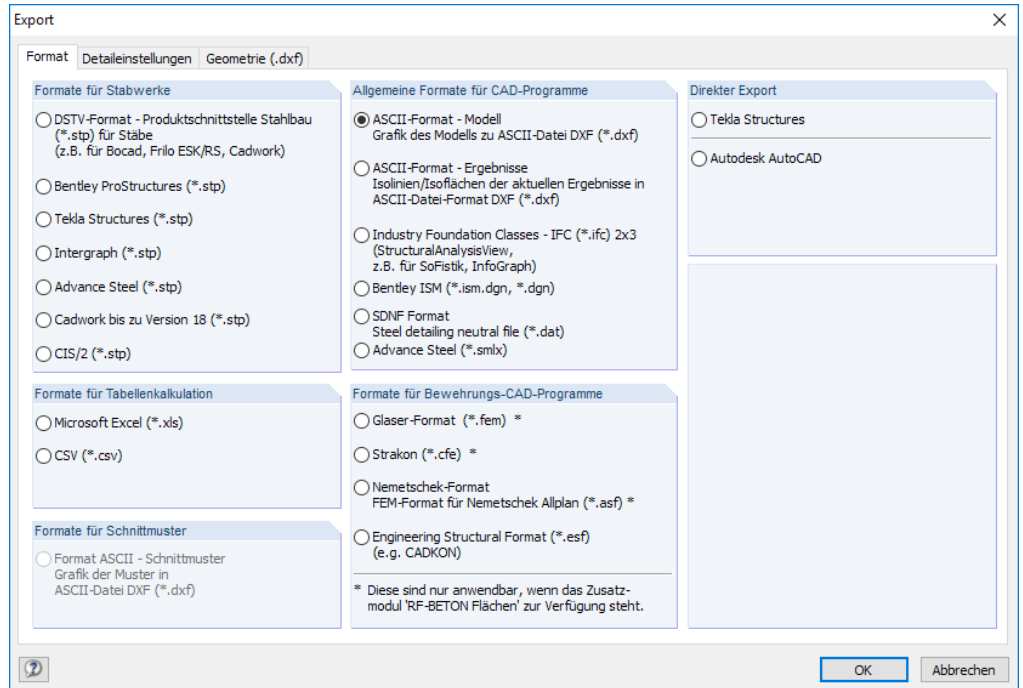


Bild 12.45 Dialog Export

Formate für Stabwerke

DSTV-Format *.stp

Über die Produktschnittstelle des Deutschen Stahlbau-Verbandes werden Stabwerksdateien nicht auf ein Drahtmodell reduziert übergeben, sondern es sind alle Modell- und Belastungsinformationen enthalten, die für eine rationelle Weiterbearbeitung benötigt werden. Viele Softwarehersteller, darunter auch Dlubal Software, arbeiten an der Entwicklung dieser Schnittstelle zusammen. Sie ermöglicht den Datenaustausch u. a. mit *Bentley ProStructure*, *Tekla Structures*, *Intergraph Frameworks*, *Advance Steel*, *CIS/2 CIMSteel* oder *cadwork*.



Die Schnittstelle umfasst generell Statik- und CAD-Daten. Von RFEM wird nur das Statikformat mit bestimmten „Entities“ unterstützt (siehe http://www.dlubal.com/de/download/pss_dstv.pdf).

Die Schnittstelle überträgt Knoten-, Stab- und Querschnittsinformationen inklusive Stabexzentrizitäten und Querschnittsdrehungen. Ferner werden Knotenlager, Lastfälle, Last- und Ergebniskombination mit Knoten-, Stablasten und Imperfektionen übergeben. Die Ergebnisse der Berechnung können ebenfalls in der Austauschdatei abgelegt werden.

Im Dialogregister *DSTV (.stp)* lassen sich weitere Einstellungen für den Datenaustausch treffen.

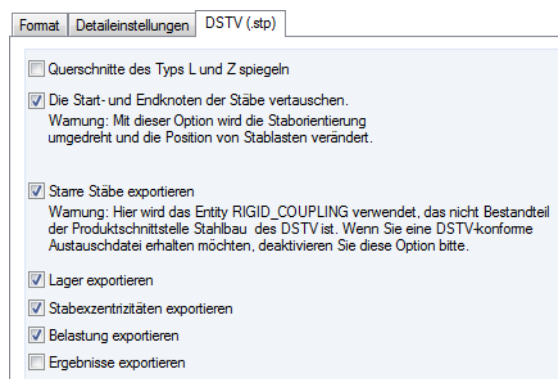


Bild 12.46 Dialog Export, Register DSTV (.stp)

Formate für Tabellenkalkulation

MS Excel-Format *.xls

RFEM kann Tabellen im Format *.xls einlesen und auch erzeugen. Der Datenaustausch mit MS Excel ist bereits im [Kapitel 11.5.6](#) beschrieben. Die dort vorgestellte Möglichkeit steht jedoch nur für die aktive RFEM-Tabelle zur Verfügung. Mit der nachfolgend beschriebenen Funktion können alle Daten des Modells auf einmal erfasst werden. Damit lassen sich eigene, externe Generierer für Modell- oder Belastungsdaten nutzen.

Zum **Importieren** einer XLS-Datei ist die Datei zunächst in MS Excel zu öffnen. Im RFEM-Importdialog (siehe [Bild 12.44](#)) kann dann über die Option *Microsoft Excel* folgender Dialog aufgerufen werden.

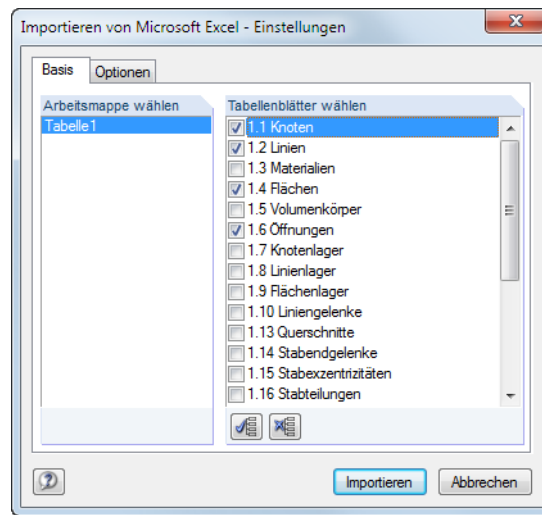


Bild 12.47 Dialog *Importieren von Microsoft Excel*

Hier erfolgt die Auswahl der zu importierenden *Arbeitsmappe* und *Tabellenblätter*. Damit die Daten beim Import korrekt in die RFEM-Tabellen geschrieben werden, müssen Bezeichnung, Reihenfolge und Struktur der Tabellenblätter genau mit RFEM übereinstimmen. Falls Sie sich nicht ganz sicher sind, so können Sie aus der aktuellen RFEM-Datei zu Testzwecken eine XLS-Datei erzeugen.

Im Register *Optionen* ist anzugeben, ob die Tabellenblätter mit oder ohne Kopf versehen sind und wie mit den Formeln in den Tabellenblättern zu verfahren ist.

Beim **Exportieren** einer Datei ist es nicht erforderlich, MS Excel zu öffnen; das Programm wird automatisch gestartet.

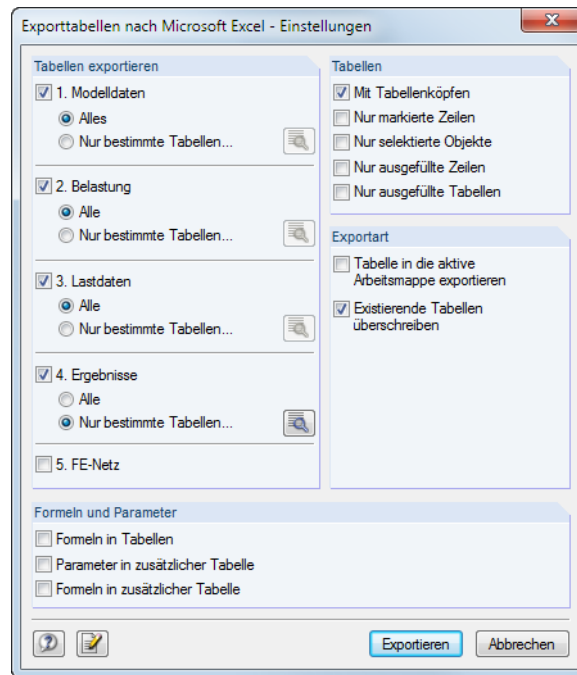



Bild 12.48 Dialog *Exporttabellen nach Microsoft Excel - Einstellungen*

Im Abschnitt *Tabellen exportieren* wird ausgewählt, welche Tabellen für den Export infrage kommen. Beim Aktivieren des Auswahlfeldes *Nur bestimmte Tabellen...* wird die zugehörige Schallfläche  zugänglich. In einem neuen Dialog lassen sich dann spezifische Vorgaben treffen.

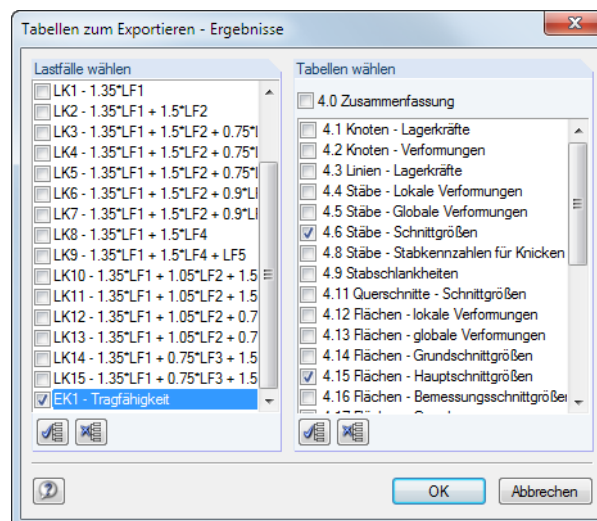



Bild 12.49 Dialog *Tabellen zum Exportieren - Ergebnisse*

Im Abschnitt *Formeln und Parameter-Behandlung* des Ausgangsdialogs ([Bild 12.48](#) ) kann festgelegt werden, ob beim Datenaustausch zwischen RFEM und Excel auch hinterlegte Formeln übergeben werden.

CSV-Format *.csv

Die RFEM-Tabellen können auch in das CSV-Format exportiert werden. Die Vorgehensweise ist analog zum Export in das MS Excel-Format (siehe oben).

Allgemeine Formate für CAD-Programme

ASCII-Format *.dxf

Im DXF-Format werden nur die allgemeinen Informationen zu den im Modell verwendeten Linien übergeben. RFEM kann sowohl ein z. B. in AutoCAD erzeugtes Linienmodell einlesen als auch eine DXF-Datei aus dem aktuellen Modell erzeugen. Es wird dabei für jeden Querschnitt ein Layer verwendet. Knotenlager, Belastungen etc. werden nicht übergeben.

Im Dialogregister *ASCII-Format DXF (*.dxf)* lassen sich weitere Einstellungen für den Datenaustausch treffen. Vor allem vor dem Import sollten einige Parameter kontrolliert werden.

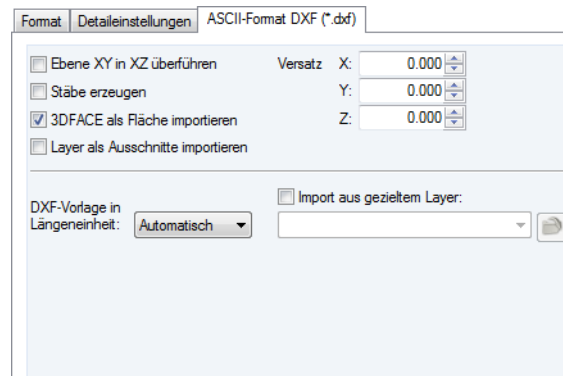



Bild 12.50 Dialog Import, Register ASCII-Format DXF (*.dxf)

Es empfiehlt sich, die *Längeneinheit* der DXF-Vorlage zu überprüfen. Optional kann ein *Versatz* angegeben werden, um das DXF-Modell in einem Abstand vom Ursprung zu platzieren. Wenn man die Option *3DFACE als Fläche importieren* aktiviert, werden 3D-Flächen der DXF-Vorlage automatisch als Flächen in RFEM angelegt.

Soll der *Import aus einem gezielten Layer* erfolgen, so ist zunächst über die Schaltfläche  rechts die DXF-Datei anzugeben. Dann stehen die einzelnen Layer in der Liste zur Auswahl.



In den meisten CAD-Programmen zeigt die Z-Achse nach oben, in RFEM in der Regel jedoch nach unten. Wenn man im zweiten Register *Detaileinstellungen* für den Import die Z-Achse über die Auswahlliste nach unten ausrichtet, können die Gewichtslasten in RFEM positiv eingegeben werden.

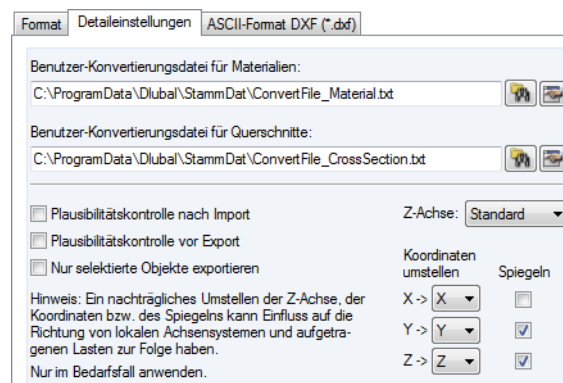


Bild 12.51 Dialog Import, Register Detaileinstellungen

Beim DXF-Export werden auch Werte exportiert. Es ist jedoch immer nur ein Wert oder eine Gruppe von Werten möglich. Falls mehrere Werte angegeben werden, dann wird stets der erste Wert exportiert und es erscheint eine entsprechende Meldung.

Es ist auch für den DXF-Export empfehlenswert, die Ausrichtung der Z-Achse zu überprüfen.



IAH-Logo

IFC-Format *.ifc

Die *Industry Foundation Classes* (IFC) werden von der IAI (*Industriellianz für Interoperabilität*) entwickelt als weltweit gültiger Datenaustauschstandard für modellbasierte Arbeitsweise im Bauwesen. Die IFC sind in Domains (Architektur, Konstruktion, Statik, Elektrotechnik usw.) nach verschiedenen Gewerken eines Bauwerks gegliedert. Dlubal Software unterstützt die Statik-Domain der IFC, wodurch Statikdaten wie Knoten, Stäbe, Lager, Lastfälle und Lasten übertragen werden können. Die IFC befinden sich derzeit noch im Aufbau.

Die Beschreibung der Schnittstelle ist unter <https://www.buildingsmart.de> zu finden.

Beim Export eines RFEM-Modells als IFC-Modell wird ein analytisches Modell in der Version IFC 2x Edition 3 erzeugt.

Bentley-Format *.ism.dgn, *.dgn

Diese Schnittstelle ermöglicht den Datenaustausch mit dem CAD-Produkt *MicroStation*. Es lassen sich sowohl Modelldaten importieren als auch RFEM-Dateien exportieren und damit die Möglichkeiten der Interoperabilität nutzen. Auf der Grundlage von ISM (*Integrated Structural Modeling*) ist so eine Anbindung an alle Bentley-Applikationen wie z. B. *ProSteel* gegeben.

SDNF-Format *.dat

Das SDNF-Format (*Steel Detailing Neutral File*) ist zum Austausch von Geometriedaten wie z. B. Knoten, Querschnitte und Stäbe mit Intergraph geeignet.

Formate für Bewehrungs-CAD-Programme

Glaser-Format *.geo, *.fem

RFEM verfügt über eine Schnittstelle zum Programm *Glaser* von Isb Cad, die den Austausch von Geometrie- und Bewehrungsdaten ermöglicht.

Für den Export der Bewehrungsergebnisse des Moduls RF-BETON Flächen ist zu beachten, dass die Flächen eben definiert und horizontal, d. h. in der XY-Ebene angelegt sein müssen.

Die für den Export relevanten Bewehrungsergebnisse können nach [OK] in einem neuen Dialog festgelegt werden.

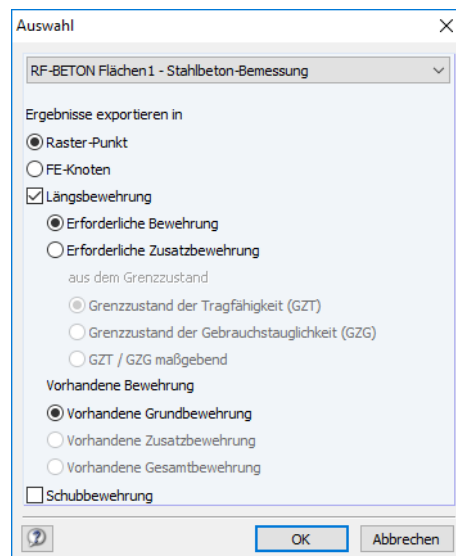


Bild 12.52 Dialog *Auswahl* für Bewehrungsergebnisse

Im Glaser-Programm werden die Bewehrungen der Rasterpunkte bzw. FE-Knoten grafisch umgesetzt. Da sie als Werte hinterlegt sind, ist die Weiterverarbeitung in Bewehrungsplänen möglich.

Strakon-Format *.cfe

Das Strakon-Format *.cfe unterstützt den Austausch von Geometriedaten wie Flächen mit dem CAD-Programmsystem STRAKON des Softwareherstellers Dicad.

Im Register *Ergebnisse* des *Export*-Dialogs können die Flächen angegeben werden, deren Bewehrungen exportiert werden sollen (siehe Bild 12.53 [↗](#)).

Nemetschek-Format *.asf

Daten lassen sich auch zum Programm *Allplan* von Nemetschek übergeben.

Für den Export der Bewehrungsergebnisse des Moduls RF-BETON Flächen ist zu beachten, dass die Flächen zwar in beliebiger Lage, jedoch eben definiert sein müssen. Es wird beim Export pro ebener Fläche eine ASF-Datei erzeugt. Bei 12 Flächen entstehen damit beispielsweise 12 Dateien, die in *Allplan* zu räumlichen Modellen zusammengefügt werden können.

Im Register *Ergebnisse* des *Export*-Dialogs können die Flächen angegeben werden, deren Bewehrungen exportiert werden sollen.

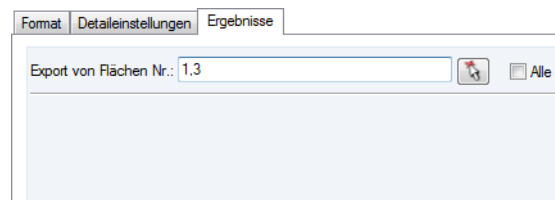


Bild 12.53 Dialog *Export*, Register *Ergebnisse*

ESF-Format *.esf

Die Schnittstelle wurde für das Programm CADKON von AB STUDIO entwickelt. Es können ebene, konstant dicke Flächen einschließlich Öffnungen und Materialinformationen exportiert werden. Ferner lassen sich die Bewehrungen von RFEM-Flächen in das Format *.esf (*Engineering Structural Format*) exportieren.

Für den Datenimport kann das DXF-Format benutzt werden; das ESF-Format wird nicht unterstützt.

Formate für Statikprogramme

Ansys-Format *.ans

Über die Schnittstelle zu dem FE-Programm ANSYS lassen sich Dateien importieren, die im Format *.ans vorliegen. So können die Daten dieses vielseitigen Programms auch für Untersuchungen mit RFEM genutzt werden.

Scia-Format *.xml

Aus dem Statikprogramm Scia von Nemetschek können ebenfalls Modelldaten in RFEM importiert werden, sofern diese im Format *.xml abgelegt sind.

Dlubal Platte-Format *.000

Mit dieser Schnittstelle lassen sich DOS-Dateien aus dem Dlubal-Programm *Platte* importieren. Im *Öffnen*-Dialog ist der Pfad des INP-Ordners mit den Eingabedaten einzustellen.



Allgemeine Dlubal-Formate *.xml, *.ft5

RFEM-Dateien können als XML-Dateien oder als Vorlagen abgelegt werden über das Menü

Datei → **Speichern unter**.

Im Windows-Dialog *Speichern unter* ist in Liste der gewünschte *Dateityp* einzustellen.

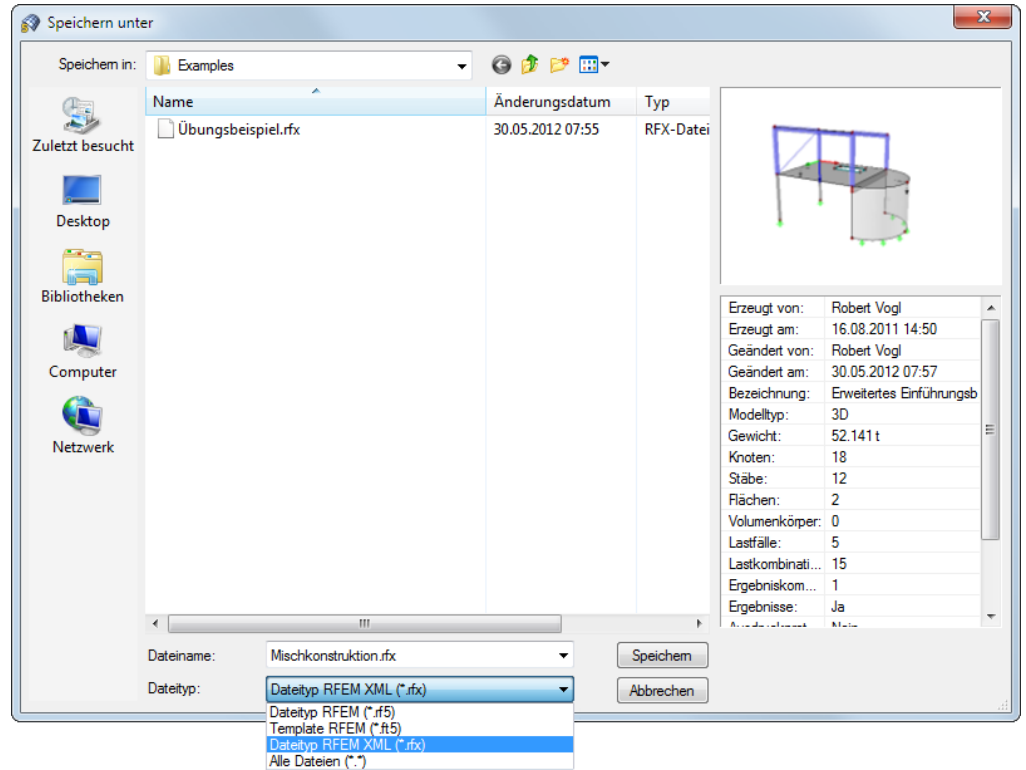


Bild 12.54 Dialog *Speichern unter*

Im FT5-Format wird das Modell als Vorlage gespeichert, die beim Anlegen einer neuen Datei wieder eingelesen werden kann (siehe Bild 12.23 [☞](#)).

Beim Speichern als Dateityp RFX werden die Tabellendaten in ein XML-Format konvertiert, die übrigen Daten im Binärformat gespeichert. Sie werden in einer komprimierten Datei abgelegt, die sich wie ein ZIP-Archiv öffnen lässt. Damit ist es möglich, Dateien für CAD-Anwendungen zu erzeugen.

12.5.3 RF-LINK-Import *.step, *.iges, *.sat

Über das Zusatzmodul RF-LINK (nicht im Leistungsumfang von RFEM enthalten) besteht die Importmöglichkeit für Daten im STEP-, IGES- oder ACIS-Format. Diese Dateiformate sind vor allem im Maschinenbausektor verbreitet. Sie ermöglichen die Übernahme der Modellgeometrie in Form von Berandungslinien und Flächen.

Modelldateien, die in einem dieser Formate vorliegen, können importiert werden über das Menü

Datei → Importieren.

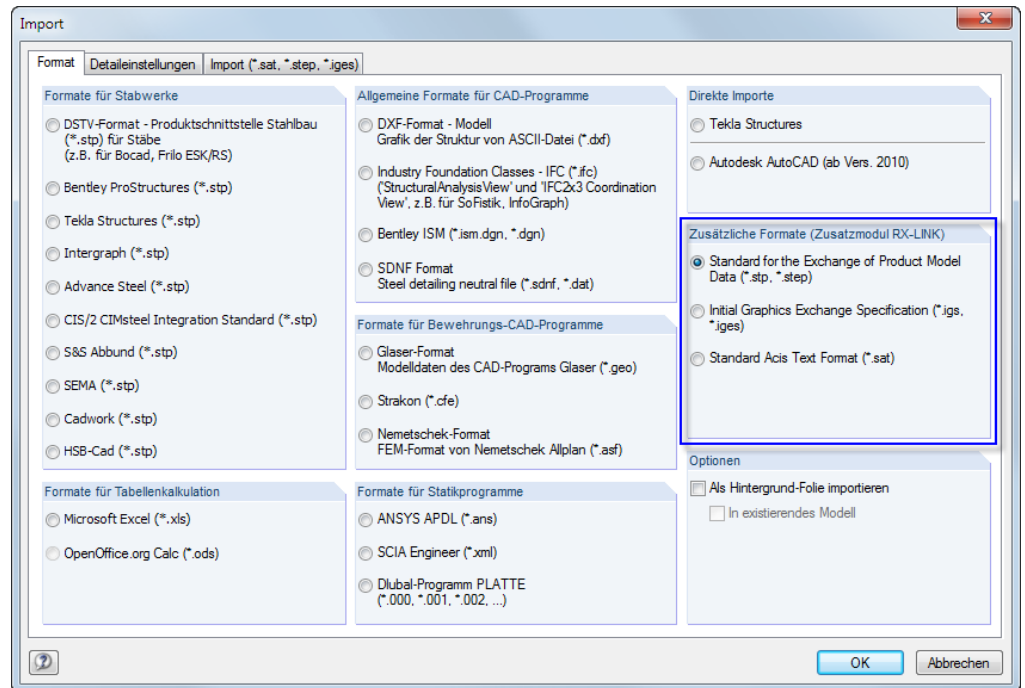


Bild 12.55 Dialog *Import*

Im Dialogabschnitt *Zusätzliche Formate* kann das relevante Dateiformat festgelegt werden:

- *Standard for the Exchange of Product Model Data (*.stp, *.step)*
- *Initial Graphics Exchange Specification (*.iges)*
- *Standard Acis Text Format (*.sat)*

Im Dialogregister *Import (*.sat, *.step, *.iges)* sind weitere Detailinstellungen möglich.

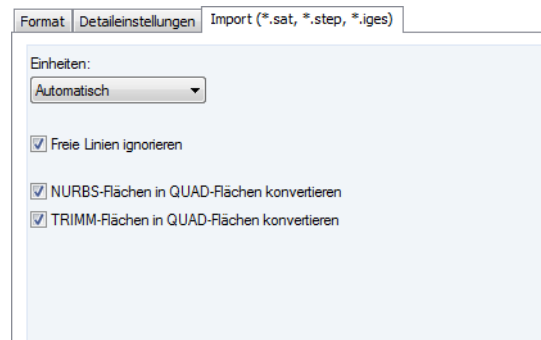


Bild 12.56 Dialog *Import*, Register *Import (*.sat, *.step, *.iges)*

Der Export von RFEM-Dateien in das STEP-, IGES- oder SAT-Format ist derzeit nicht vorgesehen.

13 Literatur



- [1] P. L. Pasternak. Grundlagen einer neuen Methode der Berechnung von Fundamenten mittels zwei Bettungskoeffizienten. Gosudarstvennoe Izdatelstvo Literaturi po Stroitelstvu I Arkhitekture, Moskau, 1954. Russisch.
- [2] Kolář, V.; Němec, I.: Modeling of Soil-Structure Interaction, 2. Auflage. Amsterdam: Elsevier Science Publishers with Academica Prague, 1989
- [3] Vladimír Kolář et al. Kurs für Statiker von Gründungsbauwerken und Erdkörpern. Haus der Technik, Ostrau, 1983. Tschechisch.
- [4] Ivan Němec und Vladimír Kolář. Finite Element Analysis of Structures - Principles and Praxis. Shaker Verlag, Aachen, 2010.
- [5] Christian Barth und Walter Rustler. Finite Elemente in der Baustatik-Praxis. Bauwerk, Berlin, 2010.
- [6] Vladimír Kolář et al. Bemessung von zwei- und dreidimensionalen Strukturen mit FEM. Springer-Verlag, New York / Wien, 1975. Kapitel 1 (1D-Element) und 6 (Variationsprinzip)
- [7] Vladimír Kolář und Ivan Němec. Finite Element Analysis of Structures. United Nations Development Program, Economic Com. for Europe, Workshop on CAD Techniques, Prague - Geneva, 1984.
- [8] Eduardo N. Dvorkin und Klaus-Jürgen Bathe. A continuum mechanics based four-node shell element for general non-linear analysis. Engineering Computations, 1, 1984.
- [9] P. G. Bergan. Finite Elements Based on Energy Orthogonal Functions. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 15, 1980.
- [10] P. G. Bergan und M. K. Nygård. Finite Elements With Increased Freedom in Choosing Shape Functions. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 20, 1984.
- [11] P. G. Bergan und Carlos A. Felippa. A Triangular Membrane Element With Rotational Degrees of Freedom. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 50, 1985.
- [12] Olgierd Cecil Zienkiewicz. The Finite Element Method in Engineering Science. Mc Graw-Hill, London 3. Auflage, 1979. Chapter 18 - 19 (Nonlinear Problems).
- [13] I. Sevcík. 3D Finite Elements with Rotational Degrees of Freedom. FEM Consulting s.r.o, Brno.
- [14] S. Timoshenko und S. Woinowski-Krieger. Theory of Plates and Shells. McGraw-Hill, New York, 2. Auflage, 1959.
- [15] Olgierd Cecil Zienkiewicz und Yau Kai Cheung. The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics. McGraw-Hill, New York, London, 1967.
- [16] Vladimír Kolář et al. Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach der Methode der finiten Elemente. SMTL Prag, 1972. Tschechisch.
- [17] Vladimír Kolář et al. Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach der Methode der finiten Elemente. Springer, Wien, New York, 1975.
- [18] Klaus Stiglat und Herbert Wippel. Massive Platten. Betonkalender, 1, 1989.
- [19] Fritz Czerny. Tafeln für Rechteckplatten. Betonkalender, 1, 1990.
- [20] Walter Wunderlich et al. Modellierung und Berechnung von Deckenplatten mit Unterzügen. Bauingenieur, 69, 1994.

- [21] Emil Grasser und Gerd Thielen. Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken nach DIN 1045. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1978.
- [22] Emil Grasser, Karl Kordina und Ulrich Quast. Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 1979.
- [23] Vladimír Kolář und Ivan Němec. Contact stress and settlement in the structure-soil interface. Academia Prag, 1991. Tschechisch.
- [24] Christian Petersen. Stahlbau. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1988.
- [25] Klaus-Jürgen Bathe. Finite Element Procedures. Prentice Hall, 1996.
- [26] Th. Baumann. Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken. Der Bauingenieur, 47, 1972.
- [27] Schlaich, Jörg und Schäfer, Kurt. Konstruieren im Stahlbetonbau. Betonkalender Teil II, 1993.
- [28] Fritz Leonhardt. Vorlesungen über Massivbau, Band 6. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.
- [29] Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung. In .
- [30] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001.
- [31] DIN 18800 (11.90) Teil 1: Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion. Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1992.
- [32] DIN 18800-2:1990-11: Stahlbauten; Stabilitätsfälle; Knicken von Stäben und Stabwerken
- [33] Oswald Klingmüller, Michael Lawo und Georg Thierauf. Stabtragwerke, Matrizenmethoden der Statik und Dynamik. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1983.
- [34] Vladimír Koloušek. Dynamik der Baukonstruktionen. VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin, 1962.
- [35] Erwin Krämer. Maschinendynamik. Springer, Berlin, 1984.
- [36] Theodor Lehmann. Elemente der Mechanik IV: Schwingungen, Variationsprinzipie. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1979.
- [37] Janusz Lipinski. Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen. Bauverlag, Wiesbaden, 1972.
- [38] Hans Lorenz. Grundbau-Dynamik. Springer, Berlin, 1960.
- [39] F. P. Müller. Baudynamik. Betonkalender, 1978.
- [40] Hans-Günter Natke. Baudynamik. B. G. Teubner, Stuttgart, 1989.
- [41] Witold Nowacki. Baudynamik. Springer, Berlin, 1974.
- [42] Rainer Flesch. Baudynamik praxisgerecht. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin, 1993.
- [43] Konstantin Meskouris. Baudynamik, Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Ernst & Sohn, Berlin, 1999.
- [44] Richard Bareš. Tabellen für die Berechnung von Platten und Wänden. SNTL, Prag, 1989b.
- [45] Paulo José Lourenço. Computational Strategies for Masonry Structures. Delft University Press, 1996.