

**Fassung
Januar 2010**

Programm

RFEM 4

**Räumliche Tragwerke nach der
Finiten Elemente Methode**

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

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

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

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0

Fax: +49 (0) 9673 1770

E-Mail: info@dlubal.com

Web: www.dlubal.de

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
1.	Einleitung	7	3.6.3	Struktur berechnen	55
1.1	Neu in RFEM 4	7	3.7	Ergebnisse	55
1.2	Programmkapazitäten	8	3.7.1	Grafische Ergebnisse	55
1.3	Firmenprofil	8	3.7.2	Ergebnistabellen	57
1.4	Das RFEM Team	9	3.8	Dokumentation	58
1.5	Zum Gebrauch des Handbuchs	10	3.8.1	Ausdruckprotokoll anlegen	58
2.	Installation	11	3.8.2	Ausdruckprotokoll aufbereiten	59
2.1	Systemanforderungen	11	3.8.3	Grafiken in Ausdruckprotokoll aufnehmen	60
2.2	Installationsvorgang	11	3.9	Ausblick	63
2.2.1	Installation von der DVD	12	4.	Benutzeroberfläche	64
2.2.2	Installation im Netzwerk	12	4.1	Überblick	64
2.2.3	Installation von Updates und neuen Modulen	13	4.2	Verwendete Begriffe	65
2.2.4	Parallelinstallation von RFEM 3 und RFEM 4	13	4.3	Spezielle Begriffe in RFEM	69
3.	Einführungsbeispiel	14	4.4	Die Benutzeroberfläche von RFEM	70
3.1	System und Belastung	14	4.4.1	Menüleiste	70
3.2	RFEM starten und Position anlegen	16	4.4.2	Symbolleisten	70
3.3	Eingabe der Strukturdaten	17	4.4.3	Navigator	73
3.3.1	Arbeitsfenster und Raster einstellen	17	4.4.4	Tabellen	75
3.3.2	Flächen definieren	18	4.4.5	Statusleiste	76
3.3.2.1	Decke	18	4.4.6	Steuerpanel	77
3.3.2.2	Wände	23	4.4.7	Standardschaltflächen	81
3.3.3	Stäbe definieren	28	4.4.8	Tastaturfunktionen	82
3.3.3.1	Stahlstütze	28	4.4.9	Mausfunktionen	83
3.3.3.2	Stahlträger	33	5.	Strukturdaten	84
3.3.4	Lager setzen	36	5.1	Knoten	86
3.3.5	Eingabe kontrollieren	37	5.2	Linien	92
3.4	Eingabe der Belastungsdaten	38	5.3	Materialien	101
3.4.1	Lastfall 1: Eigengewicht	38	5.4	Flächen	108
3.4.2	Lastfall 2: Verkehrslast	41	5.5	Volumina	118
3.4.3	Lastfall 3: Imperfektion	45	5.6	Öffnungen	121
3.5	Kombination der Einwirkungen	47	5.7	Knotenlager	122
3.5.1	Lastfallkombination definieren	47	5.8	Linienlager	126
3.5.2	Lastfallgruppe definieren	49	5.9	Flächenbettungen	130
3.6	Berechnung	51	5.10	Liniengelenke	135
3.6.1	Plausibilitätskontrolle durchführen	51	5.11	Veränderliche Dicken	137
3.6.2	FE-Netz erzeugen	52	5.12	Orthotrope Flächen	138

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
5.13	Querschnitte	143	8.2.1	Grundlagen der verwendeten Finiten Elemente	242
5.14	Stabendgelenke	151	8.2.2	Parameter für das FE-Netz	244
5.15	Stabexzentrizitäten	152	8.2.3	FE-Netzverdichtungen	247
5.16	Stabteilungen	154	8.2.4	FE-Netzgenerierung	247
5.17	Stäbe	155	8.3	Berechnungsparameter	248
5.18	Rippen	163	8.3.1	Lastfälle	248
5.19	Stabbettungen	166	8.3.2	Lastfallgruppen	250
5.20	Stabnichtlinearitäten	168	8.3.3	Lastfallkombinationen	252
5.21	Stabsätze	172	8.3.4	Optionen	253
5.22	Durchdringungen	174	8.4	Starten der Berechnung	258
5.23	FE-Netzverdichtungen	177	9.	Ergebnisse	260
6.	Lastfälle und Kombination	181	9.0	Zusammenfassung	260
6.1	Lastfälle	181	9.1	Knoten - Lagerkräfte	261
6.2	Lastfallgruppen	186	9.2	Linien - Lagerkräfte	264
6.3	Lastfallkombinationen	192	9.3	Knoten - Verformungen	268
7.	Belastungen	198	9.4	Stäbe - Verformungen	269
7.1	Knotenlasten	200	9.5	Stäbe - Schnittgrößen	271
7.2	Stablasten	203	9.6	Stäbe - Kontaktkräfte	275
7.3	Linienlasten	210	9.7	Stabsätze - Schnittgrößen	276
7.4	Flächenlasten	214	9.8	Querschnitte - Schnittgrößen	277
7.5	Volumenlasten	217	9.9	Flächen - Verformungen	278
7.6	Freie Einzellasten	219	9.10	Flächen - Grundschnittgrößen	281
7.7	Freie Linienlasten	221	9.11	Flächen - Hauptschnittgrößen	284
7.8	Freie Rechtecklasten	223	9.12	Flächen - Bemessungsschnittgrößen	286
7.9	Freie Kreislasten	225	9.13	Flächen - Grundspannungen	290
7.10	Freie Polygonlasten	227	9.14	Flächen - Hauptspannungen	292
7.11	Knoten-Zwangsverformungen	230	9.15	Flächen - Vergleichsspannungen	294
7.12	Linien-Zwangsverschiebungen	231	9.16	Flächen - Weitere Spannungen	296
7.13	Imperfektionen	232	9.17	Flächen - Kontaktspannungen	298
7.14	Generierte Lasten	236	9.18	Volumina - Verformungen	300
8.	Berechnung	238	9.19	Volumina - Spannungen	301
8.1	Kontrolle der Eingabedaten	238	10.	Ergebnisauswertung	303
8.1.1	Plausibilitätskontrolle	238	10.1	Vorhandene Ergebnisse	303
8.1.2	Modellkontrolle	239	10.2	Ergebnisauswahl	304
8.1.3	Struktur regenerieren	241	10.3	Ergebnisdarstellung	305
8.1.4	Unbenutzte Lasten löschen	242	10.4	Werteanzeige	307
8.2	FE-Netz	242			

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
10.5	Ergebnisverläufe	312	12.1.1	Grafische Selektion	362
10.6	Schnitte	314	12.1.2	Spezielle Selektion	364
10.7	Glätten der Ergebnisse	317	12.1.3	Verschieben und Kopieren	365
10.8	Mehrfensterdarstellung	322	12.1.4	Rotieren	368
10.9	Filtern der Ergebnisse	322	12.1.5	Spiegeln	369
10.10	Animation der Verformungen	328	12.1.6	Projizieren	370
11.	Ausdruck	329	12.1.7	Strecken	372
11.1	Ausdruckprotokoll	329	12.1.8	Abschrägen	373
11.1.1	Ausdruckprotokoll anlegen oder öffnen	329	12.1.9	Stab zerlegen in Flächen	374
11.1.2	Im Ausdruckprotokoll arbeiten	331	12.2	CAD-Funktionen	376
11.1.3	Inhalt des Ausdruckprotokolls festlegen	333	12.2.1	Arbeitsebenen	376
11.1.3.1	Selektion der Strukturdaten	334	12.2.2	Raster	377
11.1.3.2	Selektion der Belastungsdaten	335	12.2.3	Objektfang	379
11.1.3.3	Selektion der Ergebnisse	336	12.2.4	Koordinatensysteme	383
11.1.3.4	Selektion der Zusatzmodul-Daten	339	12.2.5	Linien und Stäbe teilen	385
11.1.4	Druckkopf anpassen	340	12.2.6	Linien und Stäbe verbinden	387
11.1.5	RFEM-Grafiken einfügen	342	12.2.7	Linien und Stäbe verschmelzen	388
11.1.6	Grafiken und Texte einfügen	344	12.2.8	Linien und Stäbe verlängern	389
11.1.6.1	Grafiken einfügen	344	12.2.9	Stäbe anschließen	389
11.1.6.2	Texte einfügen	344	12.2.10	Abrunden	390
11.1.6.3	Texte aus Text-Dateien einfügen	345	12.2.11	Linien und Stäbe parallel versetzen	391
11.1.6.4	Texte aus RTF-Dateien einfügen	345	12.2.12	Linien und Stäbe extrudieren	392
11.1.7	Ausdruckprotokoll-Muster	346	12.2.13	Flächen extrudieren	393
11.1.7.1	Muster neu anlegen	346	12.2.14	Bemaßungen	394
11.1.7.2	Muster anwenden	347	12.2.15	Kommentare	395
11.1.7.3	Muster verwalten	348	12.2.16	Hilfslinien	397
11.1.8	Layout anpassen	349	12.2.17	DXF-Folien	400
11.1.9	Deckblatt erzeugen	349	12.2.18	Nummerierung ändern	403
11.1.10	Ausdruckprotokoll drucken	350	12.3	Funktionen für die Tabelleneingabe	405
11.1.11	Ausdruckprotokoll exportieren	351	12.3.1	Bearbeitungsfunktionen	405
11.1.12	Sprache einstellen	352	12.3.2	Selektionsfunktionen	409
11.2	Direkter Grafikausdruck	355	12.3.3	Ansichtsfunktionen	414
11.2.1	Register <i>Basis</i>	355	12.3.4	Tabelleneinstellungen	415
11.2.2	Register <i>Optionen</i>	359	12.3.5	Filterfunktionen	416
11.2.3	Register <i>Farbskala</i>	361	12.3.6	Tabellen importieren und exportieren	418
12.	Programmfunktionen	362	12.4	Parametrisierte Eingabe	420
12.1	Objekte bearbeiten	362	12.4.1	Konzept	420

Inhalt

Inhalt	Seite	Inhalt	Seite		
12.4.2	Parameterliste	420	13.1.14	Detaileinstellungen	474
12.4.3	Formeleditor	423	13.2	Anlegen einer neuen Position	475
12.4.4	Formeln in Tabellen und Dialogen	426	13.3	Verwaltung im Netzwerk	478
12.5	Struktur- und Belastungsgenerierer	427	13.4	Blockmanager	479
12.5.1	Strukturgenerierer	427	13.4.1	Block erzeugen	480
12.5.2	Belastungsgenerierer	441	13.4.2	Block importieren	481
12.6	Allgemeine Funktionen	455	13.4.3	Block löschen	482
12.6.1	Anzeigeeigenschaften	455	13.5	Schnittstellen	483
12.6.2	Einheiten und Dezimalstellen	457	13.5.1	Dlubal-Programme	484
12.6.3	Kommentare	458	13.5.1.1	RFEM 1.xx/2.xx - Format *.rfe	484
12.6.4	Messfunktion	460	13.5.1.2	PLATTE - Format *.000	486
12.6.5	Suchfunktion	461	13.5.2	Externe Programme	486
12.6.6	Standpunkt und Sichtwinkel	461	13.5.2.1	DSTV-Format *.stp	486
12.6.7	Schwerpunktermittlung	462	13.5.2.2	ASCII-Format *.dxf	487
13.	Dateiverwaltung	463	13.5.2.3	Glaser-Format *.fem	489
13.1	Projektmanager	463	13.5.2.4	Nemetschek-Format *.asf	489
13.1.1	Projekt neu anlegen	464	13.5.2.5	MS Excel-Format *.xls	490
13.1.2	Vorhandenen Dateiordner verknüpfen	465	13.5.2.6	OpenOffice-Format *.ods	492
13.1.3	Dateiordner trennen	466	13.5.2.7	SDNF-Format *.dat	492
13.1.4	Projekt löschen	466	13.5.2.8	Strakon-Format *.cfe	492
13.1.5	Projekt kopieren	468	13.5.2.9	IFC-Format *.ifc	492
13.1.6	Projektbezeichnung ändern	468	13.5.2.10	ESF-Format *.esf	493
13.1.7	Position öffnen	469	13.5.2.11	RX-LINK-Import *.step, *.iges, *.sat	493
13.1.8	Position kopieren oder verschieben	470	13.5.2.12	RX-CAD	493
13.1.9	Position umbenennen	470	A	Literatur	496
13.1.10	Position löschen	471	B	Index	498
13.1.11	Historie verfolgen	472			
13.1.12	Daten archivieren	472			
13.1.13	Daten dearchivieren	473			

1. Einleitung

1.1 Neu in RFEM 4

RFEM, das FE-Programm für Platten, Scheiben, Schalen, Volumina und Stabwerke, unterstützt den Anwender bei der Aufgabe, den Anforderungen im modernen Ingenieurbau gerecht zu werden. In der modular aufgebauten Softwarearchitektur stellt dieses Programm die Basis dar, da hier die Schnittgrößen, Verformungen und Lagerreaktionen allgemeiner Flächentragwerke mit oder ohne Stab- und Volumenelemente ermittelt werden.

Die neue Programmversion RFEM 4 bietet eine Reihe nützlicher Ergänzungen und Möglichkeiten, die ein noch komfortableres Arbeiten ermöglichen. In diesem Zusammenhang möchten wir unseren Kunden wieder für die wertvollen Anregungen aus der Praxis danken.

RFEM 4 enthält unter anderem folgende Neuerungen:

- Netzwerkfähiger Projektmanager
- Design-Styles für RFEM-Benutzeroberfläche
- Dialog *Öffnen* mit Grafiken und Detailangaben
- Erweiterte Kontextmenüs mit nützlichen Funktionen und Befehlen
- Vierseitige Nurbs-Flächen
- Erweiterte Orthotropieeigenschaften für Flächen
- Kreis mit Mittelpunkt und Radius
- Optionale Materialnichtlinearität für Flächen über Zusatzmodul RF-MAT NL
- Linientypen Ellipse, elliptischer Bogen, Parabel, Hyperbel
- Direktes Setzen von rechteckigen, kreisförmigen und elliptischen Öffnungen
- Eingabekoordinatensystem für Flächen
- Bilineare Spannungs-Dehnungsdiagramme für Stähle
- Knickspannungslinien gemäß EC 3 für alle Walz- und Schweißprofile
- Anzeige der Knoten- und Linienlagerachsensysteme über Kontextmenü
- Generierung von Stab- und Flächenlasten infolge von Schwinden
- Benutzerdefinierte Organisation der Belastungsdaten in Tabellen
- Generierte Lasten als editierbare Belastungsobjekte
- Strukturkontrolle auf überlappende und kreuzende Linien
- 64-Bit-Gleichungslöser für direkte Berechnungsmethode mit erweiterten Kapazitäten
- Ermittlung des Modellschwerpunkts einschließlich Knotengenerierung
- Linienlagerreaktionen mit Summe, Durchschnitt, Schwerpunkt, Exzentrizität, Moment
- Excel-Exportmöglichkeit für Querschnittswerte und Kombinationsschemata
- Objektinfo-Fenster mit Stab- und Flächendaten sowie Ergebniswerten
- Anzeige der Zugfaser von Stäben
- Bemaßungen mit Textergänzungen und erweiterten Anzeigeeigenschaften
- Bemaßung von Winkeln, Durchmessern und Neigungen
- Excel-Export für Werte des Dialogs *Ergebnisverläufe*
- Möglichkeit, DXF-Folien zu rotieren, verschieben oder spiegeln
- Formeditor mit erweiterten Funktionen und erhöhtem Eingabekomfort
- Option für automatisches Verbinden von Stäben und Linien
- Flächengenerierung aus Zellen
- Verwaltung aller verwendeter Ausschnitte im *Zeigen*-Navigator
- Zusatzmodul-Favoriten im *Daten*-Navigator
- Ausdruckprotokoll in ungarischer Sprache

Wir wünschen Ihnen viel Freude und Erfolg mit RFEM 4.

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

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 mit RFEM deutlich niedriger liegen und nicht zuletzt von der Hardware abhängen.

Strukturdaten

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

Belastungsdaten

99 999 Objekte jeder Lastart pro Lastfall

Lastfälle und Kombinationen

Lastfälle	9 999
Lastfallgruppen	9 999
Lastfallkombinationen	9 999

Tabelle 1.1: Programmgrenzen RFEM

1.3 Firmenprofil

Die 1987 gegründete ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH beschäftigt sich mit der Entwicklung von benutzerfreundlichen und leistungsfähigen Programmen 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.

Der ungebrochene Spaß aller Beteiligten an der Entwicklung und Umsetzung immer neuer Ideen spiegelt sich ebenso deutlich in den Programmen wider wie das Firmencredo, das knapp umrissen „Benutzerfreundlichkeit“ lautet. Diese beiden Punkte bilden zusammen mit der fachlichen Kompetenz das Fundament für den in den Jahren gewachsenen Erfolg der ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH.

Die Software ist so konzipiert, dass der Anwender mit Computergrundkenntnissen selbstständig in kürzester Zeit den Umgang mit den leicht erlernbaren Programmen beherrscht. So kann die Firma heute mit einigem Stolz mehr als 6800 Ingenieurbüros, Baufirmen aus unterschiedlichen Sparten und Hochschulen europaweit zu ihren zufriedenen Kunden zählen. Damit das so bleibt, sorgen inzwischen etwa 100 interne und externe Mitarbeiter für die kontinuierliche Verbesserung und Neuentwicklung der DLUBAL-Programme. Für die alltäglichen Fragen und Probleme steht dem Kunden zudem eine qualifizierte Fax- und E-Mail-Hotline zur Verfügung, die schnell und unkompliziert weiterhilft.

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

1.4 Das RFEM Team

An der Entwicklung von RFEM 4 waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
 Ing. Pavel Bartoš
 Ing. Pavol Červeňák

Dipl.-Ing. (FH) Younes El Frem
 Ing. Evžen Haluzík
 Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

Programmierung

RNDr. Miroslav Šejna, CSc
 Ing. Radek Brettschneider
 Jan Brnušák
 Ing. Martin Budáč
 Ing. Michal Búzik
 Dipl.-Ing. Georg Dlubal
 Jan Fenár
 Ing. Pavel Gunia
 Ing. František Kafka
 Ing. Lenka Kočutová
 Jan Kofroň
 Dr.-Ing. Jaroslav Lain
 Ing. Martin Matúšů
 Ing. Jan Miléř
 Ing. Daniel Molnár
 Mgr. Ján Nad'á
 Ing. Petr Novák

Ing. Jan Otradovec
 Mgr. Petr Oulehle
 Mgr. Jiří Patrák
 Mgr. Petr Pitka
 Bc. Ondřej Planý
 Lukáš Rajchert
 Ing. Jan Rybín, Ph.D.
 David Schweiner
 Ing. Roman Svoboda
 Bc. Ondřej Šašinka
 RNDr. Stanislav Škovran
 Dis. Jiří Šmerák
 Ing. Jan Štalmach
 Lukáš Tůma
 Jan Vachulka
 RNDr. Miroslav Valeček
 Michal Zelenka

Programmierung – Rechenkern

Doc. Ing. CSc. Ivan Němec
 Ing. Jiří Buček
 Ing. Jiří Doležal
 Ing. Petr Horák
 Ing. Ph.D. Radoslav Rusina

Ing. CSc. Ivan Ševčík
 Ing. CSc. Zbyněk Vlk
 Ing. Lukáš Weis
 RNDr. Milan Zeiner

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal
 Ing. Pavol Červeňák
 MgA. Robert Kolouch

Zdeněk Ballák
 Ing. Jan Miléř

Blöcke

Tommy Brtek
 Ing. Dmitry Bystrov

Ing. Evžen Haluzík
 Tomáš Németh

Programmkontrolle

Jakub Falc
 Ing. Tomáš Ferencz
 Bc. Jakub Harazín
 Kamila Horová
 Karel Kolář
 Ing. František Knobloch
 Ing. Zuzana Lašová
 Jozef Krčmárik
 Stanislav Krytinář

Lukáš Macalík
 Ing. Pavel Marek
 Petr Mareš
 Ctirad Martinec
 Ing. Robert Michalovič
 Ing. Václav Rek
 Ing. Michala Sobotková
 Ing. Martin Vasek

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl
Ing. Dmitry Bystrov
Jan Jeřábek
Ing. Ladislav Kábrt

Msc. Michaela Kryšková
Ing. Petr Míchal
Dipl.-Ü. Gundel Pietzcker
Mgr. Petra Pokorná

Technische Unterstützung und Endkontrolle

Dipl.-Ing. (BA) Markus Baumgärtel
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
Dipl.-Ing. Frank Faulstich
Dipl.-Ing. (FH) René Flori
Dipl.-Ing. (FH) Peter Konrad
Dipl.-Ing. (FH) Bastian Kuhn
Dipl.-Ing. (FH) Alexandra Lazar

M.Sc. Dipl.-Ing. Frank Lobisch
Dipl.-Ing. (FH) Alexander Meierhofer
Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier
Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag
Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner
Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

1.5 Zum Gebrauch des Handbuchs

Viele Wege führen zum Ziel. Dieser Grundsatz gilt auch für die Arbeit mit RFEM, denn Grafik, Tabellen und Daten-Navigator stehen gleichberechtigt nebeneinander. Um dem Charakter eines Nachschlagewerkes zu entsprechen, orientiert sich das Handbuch an der Reihenfolge und am Aufbau der Struktur-, Belastungs- und Ergebnistabellen. In den Kapiteln werden 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 das im Kapitel 3 vorgestellte Einführungsbeispiel Schritt für Schritt selbst eingeben. Damit werden Sie am schnellsten mit den wichtigsten Funktionen von RFEM vertraut.

Im Handbuchttext sind die beschriebenen **Schaltflächen** (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Details]. Gleichzeitig sind sie am linken Rand abgebildet. Zudem werden im Fließtext verwendete **Begriffe** der Dialoge, Tabellen und Menüs durch *Kursivschrift* hervorgehoben, um das Nachvollziehen der Erläuterungen zu erleichtern.

Neu in diesem Handbuch ist auch der Index für das schnelle Auffinden bestimmter Begriffe. Falls Sie trotzdem nicht fündig werden sollten, so steht Ihnen auf unserer Website unter www.dlubal.de eine Suchfunktion zur Verfügung, mit der Sie in der umfangreichen Liste aller *Fragen und Antworten* nach bestimmten Kriterien filtern können.

2. Installation

2.1 Systemanforderungen

Folgende Systemvoraussetzungen sollten für die Nutzung von RFEM erfüllt sein:

- Betriebssystem Windows XP / Vista / 7
- X86-Prozessor mit 2 GHz
- 2 GB RAM
- DVD-ROM- und ggf. 3,5-Zoll-Diskettenlaufwerk für die Installation, alternativ ist die Installation auch über das Netzwerk möglich
- 10 GB Gesamtfestplattenkapazität, davon zirka 500 MByte 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 4 wird nicht von Windows 95/98/Me/NT/2000, Linux oder Mac OS unterstützt.

Mit Ausnahme des Betriebssystems sprechen wir bewusst keine Produktempfehlungen aus, da RFEM und die Zusatzmodule grundsätzlich auf allen Systemen laufen, die die genannten Leistungsanforderungen erfüllen. Soll RFEM sehr rechenintensiv genutzt werden, gilt natürlich das Prinzip „je mehr, desto besser“.

Wenn große Systeme bearbeitet werden, fallen umfangreiche 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 Ausrüstung des Hauptspeichers meist mehr beschleunigt als durch einen schnelleren Prozessor. Bei der Auswahl des Motherboards sollte deshalb darauf geachtet werden, dass der Hauptspeicher genügend ausgebaut werden kann.



Da der RFEM-Rechenkern mehrere Prozessorkerne unterstützt, können die Möglichkeiten von 64-Bit-Betriebssystemen genutzt werden. Bei 32-Bit-Betriebssystemen ist die Größe des Speichers, die ein Prozess nutzen kann, auf 2 Gigabyte begrenzt. Bei 64-Bit-Systemen kann wesentlich mehr Speicher verwendet werden. Wenn also der Rechner über genügend RAM-Speicher verfügt und ein 64-Bit-Betriebssystem verwendet wird, kann auch noch bei großen Strukturen die schnellere direkte Gleichungslösermethode angewandt werden.

Zur Berechnung sehr großer Systeme kann folgende Konfiguration empfohlen werden:

- Quad-Kern Prozessor
- Windows Vista 64-Bit
- 8 GB RAM

2.2 Installationsvorgang

Die Programmfamilie **RFEM** wird auf DVD geliefert. Auf dieser DVD befindet sich nicht nur das Hauptprogramm RFEM, sondern auch sämtliche zur Programmfamilie RFEM gehörenden Zusatzmodule wie beispielsweise **RF-BETON**, **RF-STABIL** und so weiter. Es sind also alle Module auf der DVD enthalten, die mit RFEM zu tun haben.

Zur uneingeschränkten Lauffähigkeit des Programms als Vollversion sind ein entsprechender Dongle (Hardlock) und eine Autorisierungsdatei erforderlich. In dieser Autorisierungsdatei sind die codierten Informationen ganz speziell und nur für Ihre Zulassung(en) enthalten. Der Dongle ist ein Stecker, der an einem USB-Anschluss bzw. der LPT-Schnittstelle Ihres Computers angebracht wird.

Man benötigt für jeden Arbeitsplatz die Autorisierungsdatei. Auf dem Aufkleber der Autorisierungsdiskette befindet sich ein Vermerk, zu welchem Dongle bzw. welchen Dongles (bei Mehrfachlizenzen) diese Autorisierungsdatei gehört. Die Datei kann beliebig oft kopiert werden. Sollte jedoch der Inhalt in irgendeiner Weise geändert werden, so wird sie zur Autorisierung unbrauchbar. Erhalten Sie später einmal eine RFEM-DVD als Update, kann in der Regel die bestehende Autorisierungsdatei wieder verwendet werden. Wenn jedoch zusätzliche Programm-Module erworben wurden, erhalten Sie eine neue Autorisierungsdatei. Die alte darf dann nicht mehr verwendet werden.

Ehe Sie RFEM installieren, schließen Sie bitte die im Hintergrund geöffneten Anwendungen. Installieren Sie dann das Programm gemäß den Installationshinweisen auf der DVD-Hülle. Nach der Installation bringen Sie den mitgelieferten USB-Dongle an einer beliebigen USB-Schnittstelle bzw. den LPT-Dongle an der Druckerschnittstelle des lokalen Computers an.



Beachten Sie bitte, dass Sie für die Installation als Administrator angemeldet sein müssen bzw. Administratorrechte besitzen. Für die spätere Arbeit mit RFEM sind dann Benutzerrechte ausreichend.

2.2.1 Installation von der DVD

Lesen Sie zunächst die Informationen auf der Hülle der RFEM-DVD. Dort finden Sie auf der Rückseite eine komplette Installationsanweisung.

- Legen Sie die RFEM-DVD in Ihr DVD-ROM-Laufwerk.
- Die Installationsroutine startet automatisch.
- Klicken Sie im Eröffnungsbildschirm [RFEM installieren].
- Folgen Sie den Anweisungen des Setup-Assistenten.

Wenn die Installation nicht selbstständig startet, ist bei Ihrem DVD-ROM-Laufwerk vermutlich die Autoplay-Funktion deaktiviert. Doppelklicken Sie in diesem Fall zuerst mit der linken Maustaste das Icon [Arbeitsplatz] auf dem Desktop und dann im Arbeitsplatz-Ordner das Symbol Ihres DVD-ROM-Laufwerkes mit dem RFEM-Logo. Im sich öffnenden DVD-ROM-Ordner doppelklicken Sie danach die Datei [setup.exe].

Auf der DVD befindet sich auch das komplette Handbuch als PDF-Dokument. Sie benötigen hierfür den Acrobat Reader. Falls dieser auf Ihrem System noch nicht installiert ist, können Sie die Installation mit der Schaltfläche [Acrobat-Reader installieren] starten. Durch einen Klick auf die Schaltfläche [RFEM-Handbuch] wird das Handbuch im Acrobat Reader geöffnet und kann hier angesehen und gedruckt werden.

Zur Erleichterung des Einstiegs stehen auf der DVD auch einige Videos zur Verfügung. Zum Abspielen muss z. B. der Windows Media Player oder der Real Player installiert sein.

Die Schaltfläche [Software-Informationen] öffnet ein PDF-Dokument mit den neuesten Informationen zu den Programmen der ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH.

2.2.2 Installation im Netzwerk

Die Installation kann auch von einem beliebigen Laufwerk Ihres Computers oder eines Netzwerkrechners aus gestartet werden. Kopieren Sie dazu den Inhalt der DVD und eventuell auch die Autorisierungsdatei der Diskette einfach in einen beliebigen Ordner. Starten Sie dann vom Zielrechner aus die ausführbare Datei [setup.exe]. Im weiteren Ablauf werden Sie keinen Unterschied zur Installation von der DVD feststellen.

2.2.3 Installation von Updates und neuen Modulen

Wie bereits erwähnt, befindet sich auf der DVD das komplette Programmpaket einschließlich aller Zusatzmodule. Beim Kauf eines Zusatzmoduls erhält man nicht unbedingt eine neue DVD, auf jeden Fall aber eine neue Autorisierungsdatei. Die Installation muss ab sofort immer mit dieser neuen Autorisierungsdatei durchgeführt werden.

Besonders wenn Sie später im Zuge einer Servicelieferung eine neue RFEM-DVD installieren, müssen Sie darauf achten, die aktuelle Autorisierungsdatei zu verwenden.



Falls Sie mit benutzerdefinierten Druckköpfen arbeiten, sollten Sie diese vor der Installation eines Updates sichern. Diese Druckköpfe werden in der Datei **DlubalProtocolConfig.cfg** im allgemeinen Stammdatenordner (üblicherweise *C:\Dokumente und Einstellungen\All Users\Anwendungsdaten\Dlubal\Stammdat*) abgelegt. Obwohl diese Datei bei der Installation nicht überschrieben werden sollte, ist es empfehlenswert, vorher eine Sicherungsdatei anzulegen.

Verwenden Sie Musterprotokolle, so sollten Sie vor der Installation eines Updates die Datei **RfemProtocolConfig.cfg** sichern. Diese befindet sich im Stammdatenordner von RFEM 4 (*C:\Dokumente und Einstellungen\All Users\Anwendungsdaten\Dlubal\RFEM4\Stammdat* als Standard).

Die im Projektmanager verknüpften Projekte werden in der ASCII-Datei **PRO.DLP** verwaltet, die sich standardmäßig im Ordner *C:\Dokumente und Einstellungen\All Users\Anwendungsdaten\Dlubal\ProMan* befindet. Wenn man RFEM 4 vor einer Neuinstallation vollständig deinstallieren möchte, sollte auch diese Datei vorher gesichert werden.

2.2.4 Parallelinstallation von RFEM 3 und RFEM 4

Die Dlubal-Anwendungen RFEM 4 und RFEM 3 können parallel auf dem Rechner betrieben werden, da die Programmdateien in unterschiedlichen Verzeichnissen liegen. Die Standardordner sind für

- RFEM 3: *C:\Programme\Dlubal\RFEM3*,
- RFEM 4: *C:\Programme\Dlubal\RFEM4*.

Alle mit der Vorgängerversion RFEM 3 erstellten Positionen können in RFEM 4 geöffnet und weiterbearbeitet werden. Die Positionsdateien sind aufwärts-, jedoch nicht abwärtskompatibel, d. h. mit RFEM 4 erstellte Positionen lassen sich nicht in RFEM 3 öffnen.

Damit Ihre bestehenden Positionen beim Speichern in RFEM 4 nicht überschrieben werden, wird für die beiden RFEM-Programme eine unterschiedliche Dateiendung benutzt: RFEM 3 speichert die Positionsdateien im Format ***.rf3** ab, RFEM 4 im Format ***.rf4**.

Im Kapitel 13.5.1.1 auf Seite 484 finden Sie Hinweise, wie Projekte der Vorgängerversionen RFEM 1 und RFEM 2 in die Verwaltung des Projektmanagers von RFEM 4 aufgenommen werden können. Sie können die alten Projekte in das Dateimanagement des neuen Projektmanagers einbinden, sodass Sie hier wieder Zugriff auf die einzelnen Strukturen haben.

3. Einführungsbeispiel

In diesem Kapitel lernen Sie an einem einfachen Beispiel die wichtigsten Funktionen von RFEM kennen. Da es auch in RFEM mehrere Wege gibt, die zum Ziel führen, kann je nach Situation und Vorliebe des Anwenders einmal der eine und einmal der andere Weg sinnvoll sein. Das Beispiel soll Sie anregen, selbstständig die Möglichkeiten von RFEM zu erkunden.

Als Beispiel dient eine gemischte Konstruktion mit Beton- und Stahlelementen. Es soll für die Lastfälle *Eigengewicht*, *Verkehrslast* und *Imperfektion* nach Theorie I. und II. Ordnung berechnet werden.

Die Datei **RFEM-Beispiel-01.rf4** mit den Daten dieses Beispiels finden Sie auch im **Beispiele-Projekt**, das während der Installation angelegt wird. Für die ersten Schritte mit RFEM möchten wir Ihnen aber empfehlen, das Beispiel eigenhändig einzugeben.

3.1 System und Belastung

Statisches System

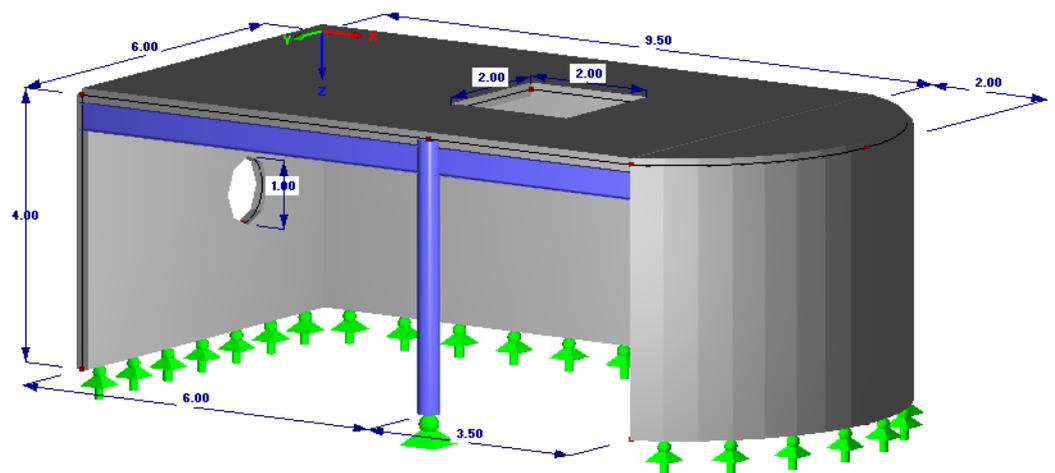


Bild 3.1: Statisches System

Materialien und Profile

Als Materialien sollen **Beton C 30/37** und **Stahl S 235** verwendet werden.

Die Wand- und Deckenstärken betragen einheitlich **20 cm**.

Für den Stahlträger ist ein **IPE 400**, für die Stahlstütze ein Rohr **RO 323.9 x 10** vorgesehen.

Belastung

Lastfall 1: Ständige Lasten

Die Last ergibt sich aus dem **Eigengewicht** der Struktur, dem **Deckenaufbau** von 2.0 kN/m² sowie dem **Erddruck** auf die halbkreisförmige Wand. Die Lastordinate am Wandfuß ermittelt sich mit der angenommenen Kieshinterfüllung wie folgt:

$$q = 16.0 \text{ kN/m}^3 * 4.0 \text{ m} = 64.0 \text{ kN/m}^2$$

Das Eigengewicht der Struktur braucht nicht mit angesetzt werden, da RFEM dieses anhand der verwendeten Flächendicken und Profile selbst ermitteln kann.

Lastfall 2: Verkehrslast

Bei den Deckenflächen handelt es sich um Versammlungsräume, die mit einer Nutzlast von 4.0 kN/m² zu beaufschlagen sind.

Zusätzlich werden infolge einer Abdeckung im Bereich der Deckenöffnung vier lotrecht wirkende Linienlasten mit je 2.0 kN/m sowie zwei Knotenlasten mit je 10.0 kN angenommen.

Lastfall 3: Imperfektion

Nach DIN 18 800 sind Imperfektionen zu berücksichtigen. Diese werden in einem separaten Lastfall verwaltet, weil man dann bei der Bildung von Lastfallgruppen den Imperfektionen gesondert Teilsicherheitsbeiwerte zuweisen kann.

Warm gefertigte Rohrprofile können nach DIN 18 800 Teil 2, Tabelle 5 der Knickspannungslinie **a** zugeordnet werden. Als Schiefstellung φ_0 wird vereinfachend 1/200, als Vorkrümmung w_0 l/300 angesetzt.

Genauere Werte können nach DIN 18 800 Teil 2, Element (201) bis (207) ermittelt werden.

3.2 RFEM starten und Position anlegen



RFEM lässt sich über

Start → **Programme** → **Dlubal** → **Dlubal RFEM 4.xx**
 oder das Icon **Dlubal RFEM 4.xx** auf Ihrem Desktop starten.

Wir gelangen in ein Arbeitsfenster, in dem wir in einem Dialog zur Eingabe der Basisangaben für eine neue Position aufgefordert werden.

Falls bereits eine Struktur angezeigt werden sollte, so schließen wir diese über Menü **Datei** → **Schließen** und rufen diesen Dialog dann über Menü **Datei** → **Neu** auf.

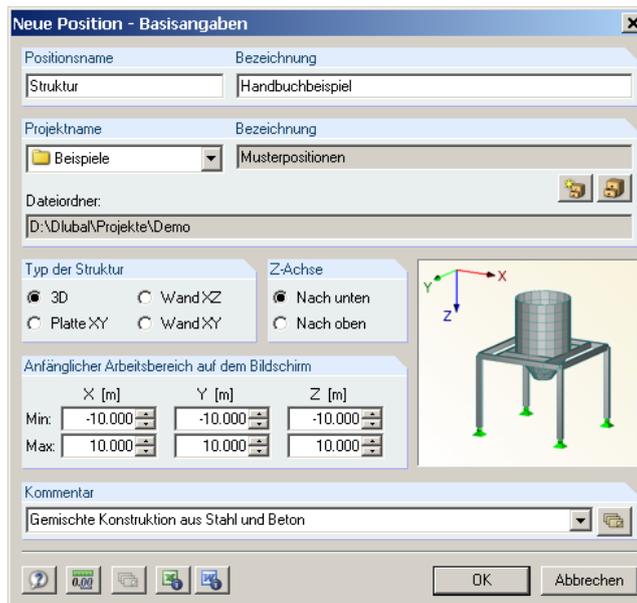


Bild 3.2: Dialog *Neue Position - Basisangaben*

Im Eingabefeld *Positionsname* tragen wir **Struktur** ein, als *Bezeichnung* geben wir rechts davon die Beschreibung **Handbuchbeispiel** an. Das Eingabefeld *Positionsname* muss immer ausgefüllt werden, da dieser Eintrag als Dateiname verwendet wird. Das Feld *Bezeichnung* hingegen braucht nicht unbedingt ausgefüllt werden.

Im Eingabefeld *Projektname* wählen wir aus der Auswahlliste das Projekt **Beispiele** aus, sofern es nicht voreingestellt sein sollte. Die *Bezeichnung* des Projekts und die Angabe zum *Dateiordner* werden dann automatisch angezeigt.

Im Dialogabschnitt *Typ der Struktur* ist bereits die Option **3D** voreingestellt, wodurch eine räumliche Modellierung möglich wird. Die Orientierung der *Z-Achse* belassen wir ebenfalls auf der Voreinstellung **Nach unten**.

Auch die Angaben des Abschnitts *Anfänglicher Arbeitsbereich auf dem Bildschirm* werden unverändert übernommen. Im Feld *Kommentar* können wir eine zusätzliche Erläuterung eintragen.

Sobald wir den Dialog mit [OK] schließen, wird die leere Arbeitsfläche angezeigt.

3.3 Eingabe der Strukturdaten

3.3.1 Arbeitsfenster und Raster einstellen



Zunächst maximieren wir das Arbeitsfenster über die Schaltfläche in dessen Titelleiste. Man sieht in der Arbeitsfläche das Achsenkreuz mit den Richtungen der globalen Achsen X, Y und Z.



Die Position des Achsenkreuzes auf dem Bildschirm kann verändert werden. Hierfür aktivieren wir die links dargestellte Schaltfläche [Ansicht verschieben] in der Werkzeugleiste. Der Mauszeiger verwandelt sich in eine Hand. Mit gedrückter linker Maustaste können wir die Arbeitsfläche durch Ziehen beliebig positionieren.

Außerdem kann mit der Hand die Ansicht gedreht und gezoomt werden:

- Drehen: Ziehen mit zusätzlich gedrückter [Strg]-Taste
- Zoomen: Ziehen mit zusätzlich gedrückter Umschalt-/Hochsteltaste



Die Arbeitsfläche ist mit einem Raster hinterlegt. Der Abstand der Rasterpunkte kann im Dialog *Raster und Arbeitsebene* eingestellt werden. Dieser Dialog wird über die Schaltfläche [Arbeitsebene] in der Werkzeugleiste aufgerufen.

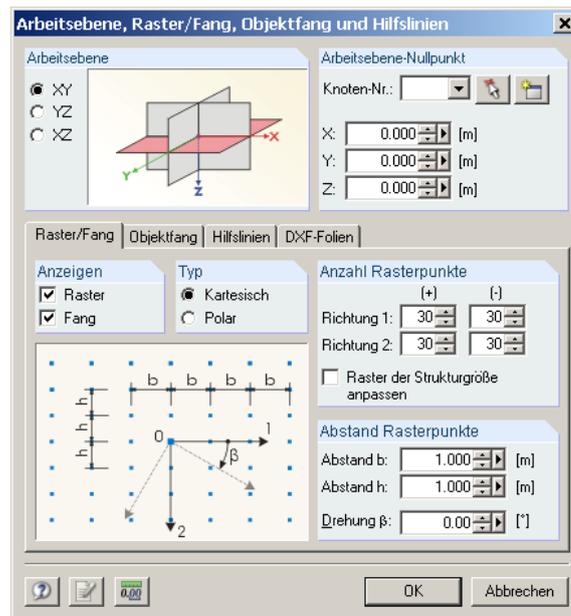


Bild 3.3: Dialog *Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang und Hilfslinien*

FANG RASTER

Wichtig für die spätere Eingabe in den Rasterpunkten ist, dass in der Statusleiste die Kontrollfelder *FANG* und *RASTER* aktiviert sind. Dadurch wird das Raster in der Arbeitsfläche sichtbar und die Punkte werden beim Klicken am Raster gefangen.



Als Arbeitsebene ist die XY-Ebene eingestellt. Das bedeutet, dass alle grafisch eingegebenen Objekte in dieser Ebene angelegt werden. Für die Eingabe im Dialog oder in der Tabelle spielt die Arbeitsebene keine Rolle.

Die Voreinstellungen sind für unser Beispiel geeignet, sodass wir diesen Dialog mit [OK] schließen und mit der Eingabe der Struktur beginnen können.

3.3.2 Flächen definieren

Man könnte zunächst grafisch oder tabellarisch die Eckknoten definieren, diese mit Linien verbinden und daraus die Flächen erzeugen. Alternativ steht die direkte grafische Eingabe von Linien und Flächen zur Verfügung.

3.3.2.1 Decke

Rechteckige Fläche definieren

Da rechteckige Platten häufig vorkommende Bauteile sind, können diese über das Menü **Einfügen** → **Strukturdaten** → **Flächen** → **Eben** → **Grafisch** → **Rechteck** oder die entsprechende Listenschaltfläche in der Werkzeugleiste sehr schnell erzeugt werden. Die zugehörigen Knoten und Linien werden automatisch mit gebildet.

Nach dem Aufruf der Funktion erscheint der Dialog *Neue Rechteckplatte*.

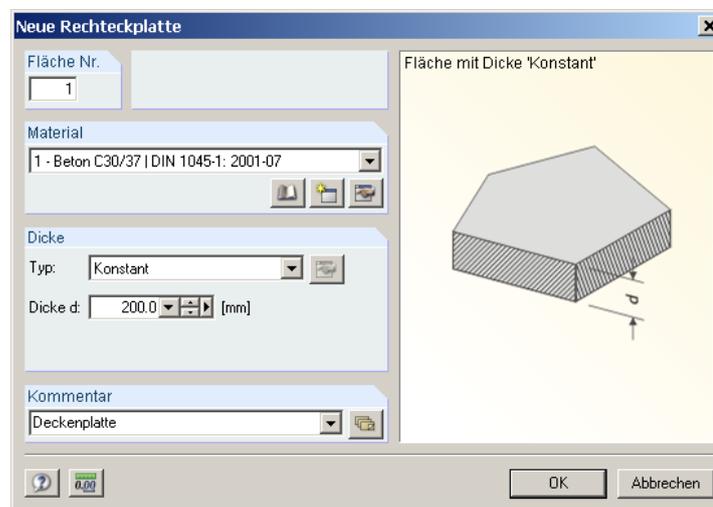


Bild 3.4: Dialog *Neue Rechteckplatte*

Die *Fläche Nr.* für die neue Rechteckplatte ist in diesem Dialog bereits mit '1' eingetragen. Wir belassen diese unverändert.

Als *Material* ist bereits **Beton C30/37** gemäß DIN 1045-1 voreingestellt. Falls man ein anderes Material verwenden möchte, wäre dies über die Schaltfläche [Material-Bibliothek] unterhalb davon möglich.

Im Abschnitt *Dicke* belassen wir den *Typ* als **Konstant**, die *Dicke d* hingegen erhöhen wir auf **200 mm**. Dies kann über das Drehfeld oder durch eine direkte Eingabe erfolgen.

Als *Kommentar* für diese Fläche können Sie beispielsweise **Deckenplatte** eingeben.

Nach [OK] legen wir die linke obere Ecke der Platte fest, indem wir mit der linken Maustaste in den **Koordinatenursprung** (X/Y/Z-Koordinaten **0.000/0.000/0.000**) klicken. Die aktuellen Koordinaten des Mauszeigers werden am Fadenkreuz angezeigt. Die diagonal gegenüberliegende Ecke der Platte wird mit einem weiteren Mausklick auf den Rasterpunkt mit den X/Y/Z-Koordinaten **9.000/6.000/0.000** gesetzt.

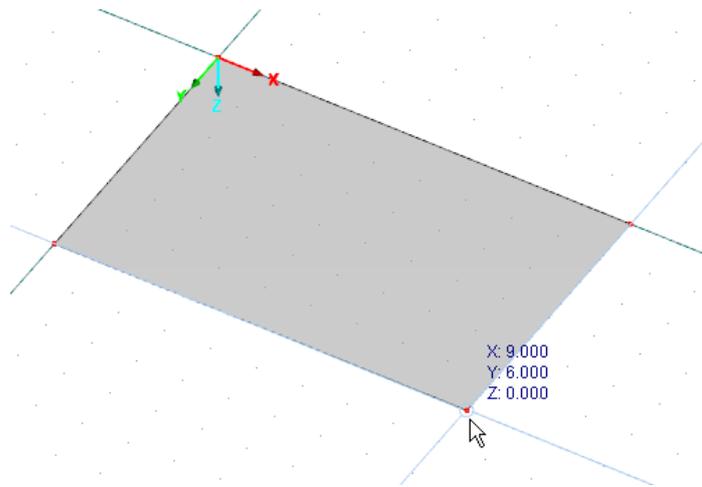


Bild 3.5: Rechteckplatte Fläche 1



Das Setzen des rechten unteren Eckpunktes wird erleichtert, wenn wir über die links dargestellte Schaltfläche in der Symbolleiste die Ansicht in Z (die „Draufsicht“) einstellen. Der Eingabemodus wird dabei nicht abgebrochen.

Es werden die Knoten 1 bis 4, die Linien 1 bis 4 sowie die Fläche 1 erzeugt. Da vorerst keine weitere Rechteckplatte erzeugt werden soll, beenden wir den Eingabemodus mit der [Esc]-Taste oder einem Klick der rechten Maustaste in einen leeren Bereich der Arbeitsfläche.



Die Nummerierung der Knoten, Linien und Flächen lässt sich am schnellsten über einen Klick mit der rechten Maustaste in einen freien Bereich des Arbeitsfensters einblenden. Es öffnet sich ein Kontextmenü mit diversen Optionen zur Anpassung der Ansicht.

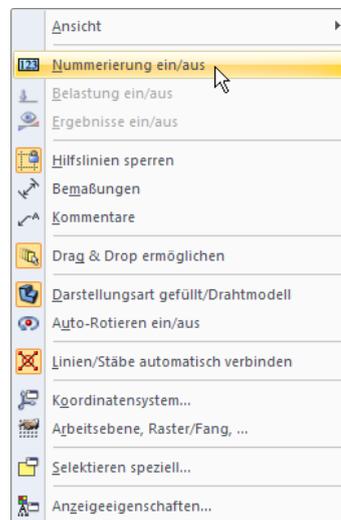


Bild 3.6: Kontextmenü bei Klick mit rechter Maustaste in Arbeitsfenster



Der Zeigen-Navigator links am Bildschirmrand eröffnet weitere detaillierte Einstelloptionen.

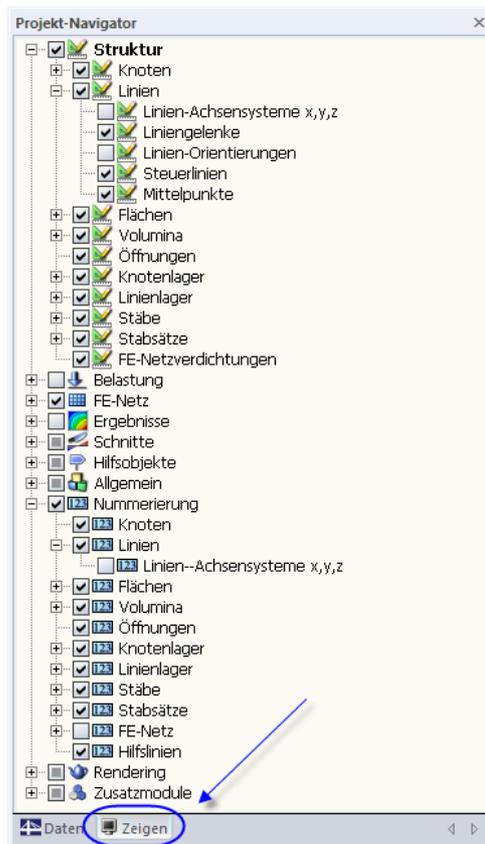


Bild 3.7: Zeigen-Navigator

Die Koordinaten der Knoten 3 und 4 sind noch nicht exakt, denn die Fläche ist 9.50 m lang. Um die Koordinaten des Knotens 4 zu ändern, klicken wir in der Arbeitsfläche doppelt auf diesen Knoten. Es erscheint der Dialog *Knoten bearbeiten*.

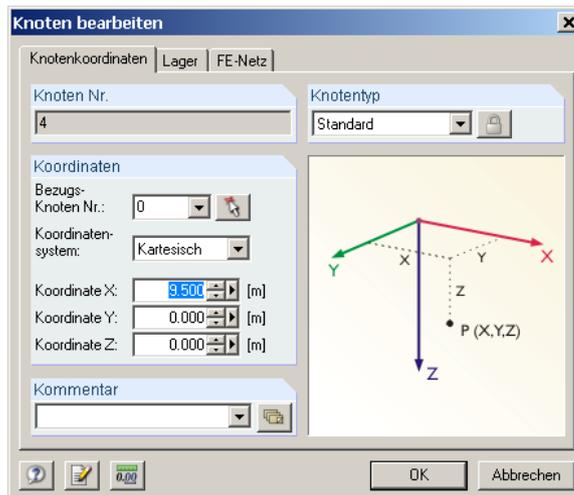


Bild 3.8: Dialog *Knoten bearbeiten*

Im Abschnitt *Koordinaten* ändern wir die Koordinate X auf 9.500 m. Nach dem Bestätigen des Dialoges wird die grafische Darstellung entsprechend aktualisiert.



Der Dialog *Knoten bearbeiten* kann auch aus dem *Daten*-Navigator aufgerufen werden, indem man den Eintrag *Strukturdaten* → *Knoten* öffnet und die Knotennummer doppelklickt.



Die Koordinaten des Knotens **3** soll in der Tabelle geändert werden. Wir stellen das Register *1.1 Knoten* ein und klicken bei der Zeile des Knotens 3 in die Spalte D. Dort ändern wir die X-Koordinate auf **9.500 m** ab und bestätigen mit der [Tab]- oder [↵]-Taste. Das Resultat der Änderung wird sofort in der Grafik angezeigt.



Um die bisher eingegebene Struktur fensterfüllend darzustellen, klicken wir in der Symbolleiste die Schaltfläche [Struktur gesamt] an. Möchte man nur einen Ausschnitt darstellen, kann man diesen mit der Schaltfläche [Zoom] festlegen: Nach dem Aktivieren der Funktion klickt man mit der Maus in die linke obere Ecke des darzustellenden Ausschnittes und zieht mit gedrückter linker Maustaste ein rechteckiges Fenster auf.



Öffnung einfügen



Wir fügen nun die quadratische Aussparung in die Deckenplatte ein. Über die Schaltfläche [Neue rechteckige Öffnung] lässt sich die Aussparung direkt setzen. Wir klicken als ersten Knoten der Öffnung den Rasterpunkt mit den X/Y/Z-Koordinaten **5.000/2.000/0.000** an. Als diagonal gegenüberliegenden Knoten der Öffnung legen wir per Mausklick den Rasterpunkt mit den X/Y/Z-Koordinaten **7.000/4.000/0.000** fest.

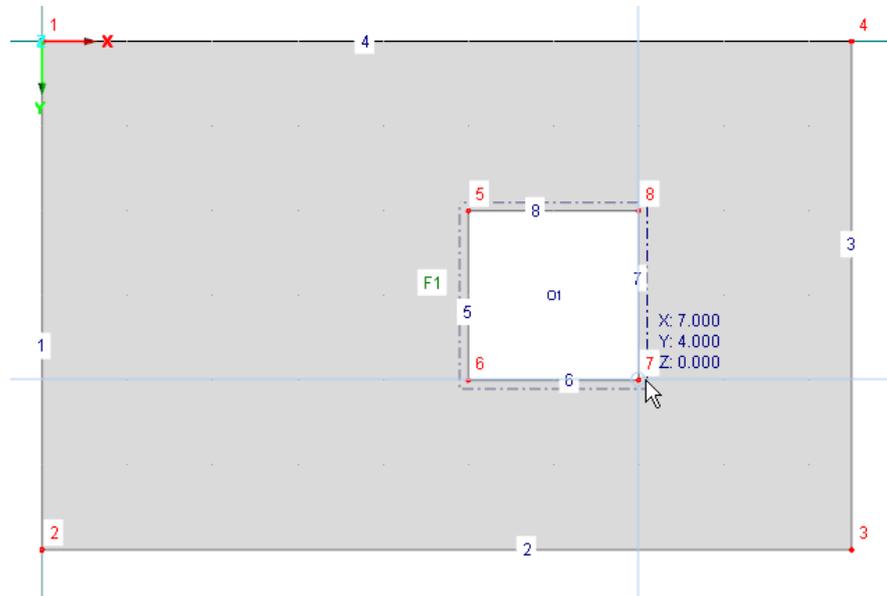


Bild 3.9: Einfügen der Öffnung

Der Eingabemodus wird mit der [Esc]-Taste oder durch einen Klick der rechten Maustaste in einen leeren Bereich der Arbeitsfläche beendet.

Halbkreisfläche definieren



Um den anschließenden Bereich der Deckenplatte einzugeben, der durch den Kreisbogen begrenzt wird, definieren wir zunächst den Punkt im Kreisbogenstück. Wir aktivieren die Schaltfläche [Neuer Knoten] und geben im Dialog dann die Koordinaten **X = 11.500 m** und **Y = 3.000 m** an (siehe Bild 3.10). Mit [Anwenden] oder [Alt] + A wird der Knoten gesetzt. Achten Sie darauf, dass Sie die Maus nicht mehr außerhalb des Dialogfensters bewegen, sonst würde die Dialogeingabe wieder durch die Cursorposition überschrieben werden.



Wir schließen den Dialog über [x] und beenden den Eingabemodus mit [Esc]. Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Struktur gesamt anzeigen] wird die Gesamtansicht hergestellt.



Bild 3.10: Dialog *Neuer Knoten ,Standard'*



Es kann nun über die Knoten 3, 4 und 9 ein Kreisbogen konstruiert werden. Ein Klick auf den Pfeil [▼] neben der Listenschaltfläche [Neue Polylinie] öffnet ein Menü mit Werkzeugen für besondere Linienarten.

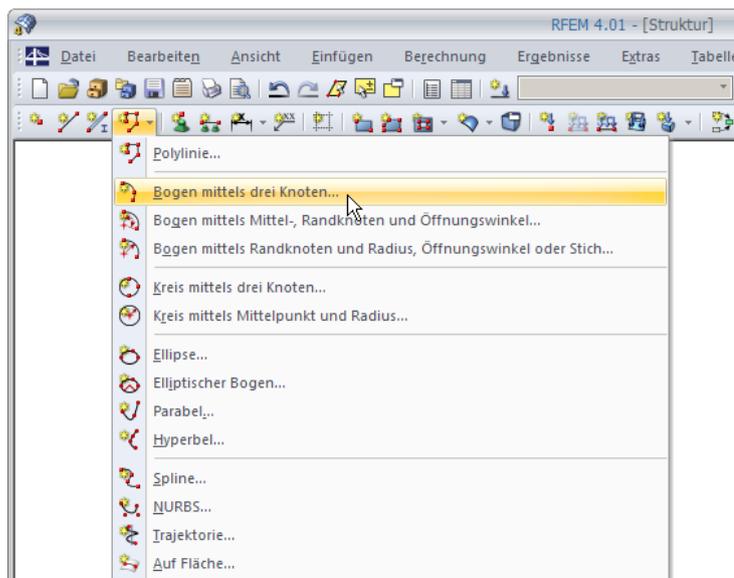


Bild 3.11: Schaltfläche *Neue Polylinie - Bogen mittels drei Knoten*

Wir wählen hier die Option *Bogen mittels drei Knoten* und klicken in der Arbeitsfläche dann nacheinander die Knoten 4, 9 und 3 an. Nach dem Anklicken des letzten Knotens wird der Bogen erstellt. Wir beenden den Eingabemodus wieder mit [Esc].



Um die durch den Bogen begrenzte Platte zu erzeugen, klicken wir auf die Schaltfläche [Neue ebene Fläche]. Es öffnet sich der Dialog *Neue Fläche*, in dem wir zunächst wieder Material und Dicke definieren.

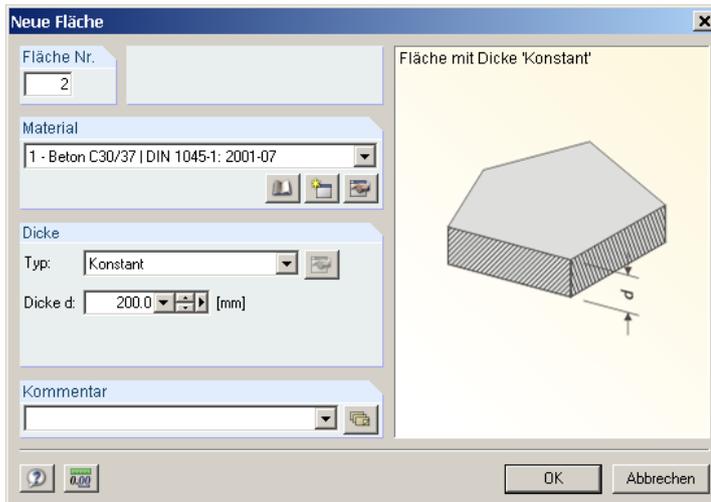


Bild 3.12: Dialog *Neue Fläche*

Wir übernehmen die Voreinstellungen mit [OK] und klicken dann nacheinander die Linien **3** und **9** an. RFEM erkennt den geschlossenen Linienzug und erzeugt die neue Fläche 2.

Die Eingabe der Deckenplatte ist damit abgeschlossen. Es liegt eine biegesteife Verbindung zwischen den beiden Deckenflächen vor, denn entlang der Linie 3 ist kein Gelenk definiert.

3.3.2.2 Wände

Rechteckige Wand mit Öffnung definieren



Ehe wir die Wandscheiben erzeugen, schalten wir mit der links dargestellten Schaltfläche in die isometrische Ansicht um. Das System kann man während der Eingabe über die aktivierte Greifhand in eine geeignete Position drehen, indem man die [Strg]-Taste beim Ziehen gedrückt hält.

Als Arbeitsebene muss nun die vertikale YZ-Ebene festgelegt werden. Hierzu klicken wir auf die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste. Das Raster ist jetzt in senkrechter Richtung aktiv. Den Ursprung der Arbeitsebene können wir beibehalten.

Wir rufen erneut die Funktion *Neue rechteckige Fläche* auf, bestätigen die Dialogvorgaben und klicken dann auf den Knoten 1. Um die gegenüberliegende untere Ecke der Fläche festzulegen, klicken wir den Rasterpunkt mit den Koordinaten $Y = 6.000$ m und $Z = 4.000$ m an. RFEM erkennt automatisch, dass der Knoten 2 und die Linie 1 zur neuen Fläche gehören. Durch die gemeinsame Linie 1 sind die Flächen 1 und 3 biegesteif miteinander verbunden.

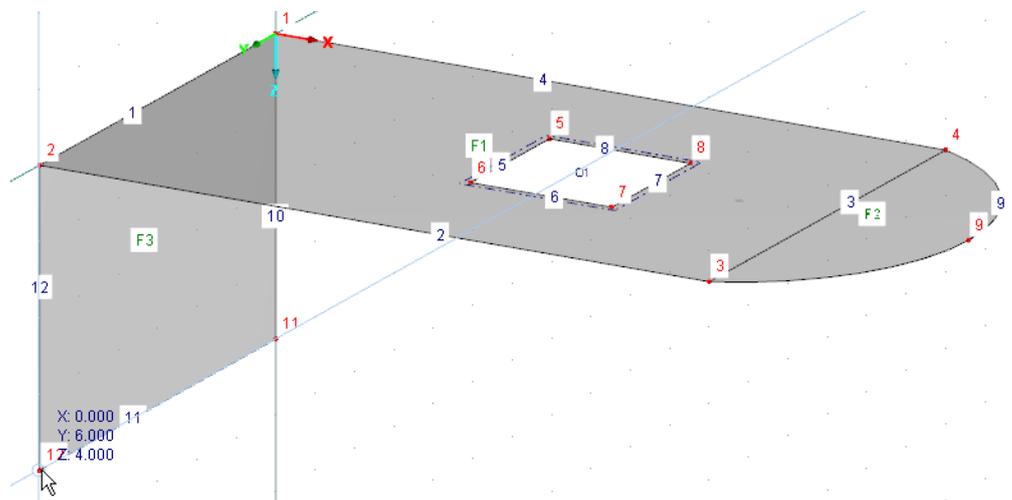


Bild 3.13: Rechteckwand Fläche 3

In die Wandfläche soll nun die runde Aussparung eingefügt werden. Wir beenden zunächst den Eingabemodus für die Rechteckplatte mit [Esc].

Oft ist es vorteilhaft, anstelle der Gesamtstruktur nur den Teil im Arbeitsfenster anzuzeigen, der aktuell bearbeitet wird. Mit der *Ausschnitt*-Funktion kann ein bestimmter Bereich der Struktur grafisch herausgelöst werden. Wir klicken hierzu auf die Schaltfläche [Ausschnitte] und wählen den Menüeintrag *Ausschnitt mit Fenster*. Nun ziehen wir mit der Maus ein Fenster auf, in dem die Fläche 3 vollständig (!) enthalten ist. Die Reststruktur wird danach schwach hinterlegt angezeigt.

[Struktur gesamt anzeigen] stellt die Gesamtansicht des Ausschnitts her.

Die Öffnung in der Fläche 3 kann wieder direkt erzeugt werden. Im Menü der Schaltfläche [Öffnung] aktivieren wir die Option *Kreisförmig mittels Mittelpunkt und Radius*.

Mit einem Klick auf den Rasterpunkt (0.00/2.00/2.00) legen wir den Kreismittelpunkt fest.

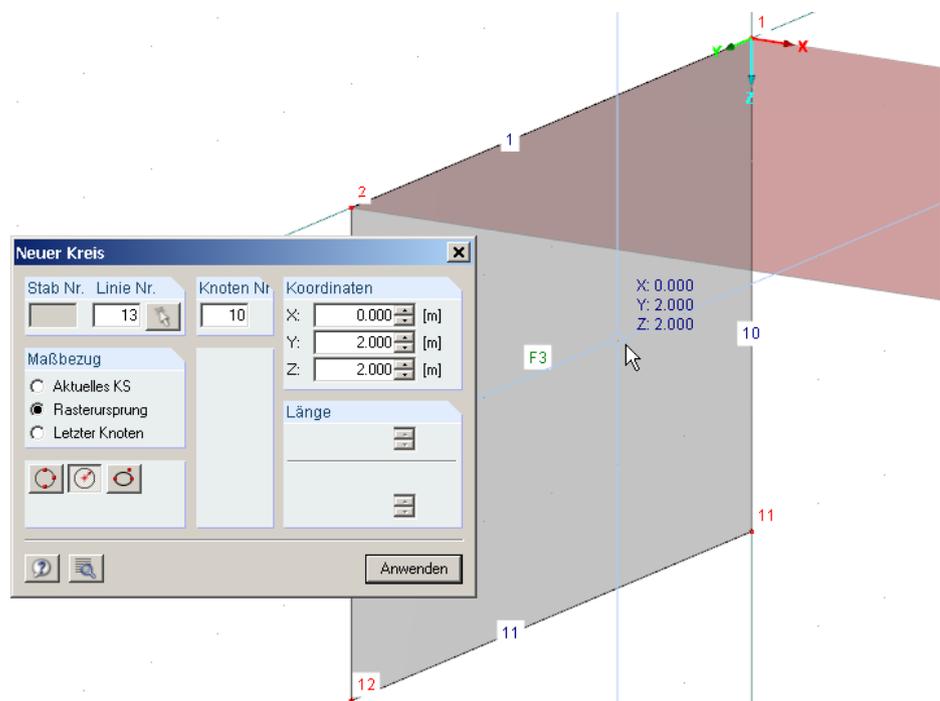
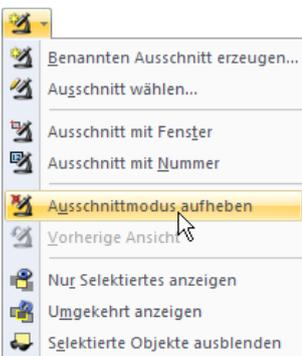
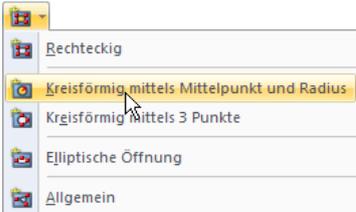
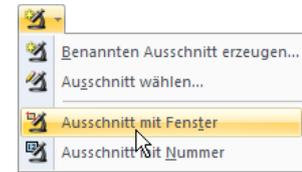


Bild 3.14: Dialog *Neuer Kreis*

Im folgenden Dialog *Neuer Kreis* geben wir als *Radius r* den Wert 0.5 m ein und klicken auf die Schaltfläche [Anwenden]. Achten Sie bitte darauf, die Maus nicht mehr außerhalb dieses Dialogfensters zu bewegen, sonst wird der Radius wieder von der Position des Mauszeigers übernommen. [Esc] beendet auch diesen Dialog.

Um die ausgeblendeten Teile der Struktur wieder sichtbar zu machen, klicken wir die Schaltfläche [Ausschnitte] an und wählen im Menü die Funktion *Ausschnittmodus aufheben*. Die Gesamtansicht sollte nun folgender Grafik entsprechen.



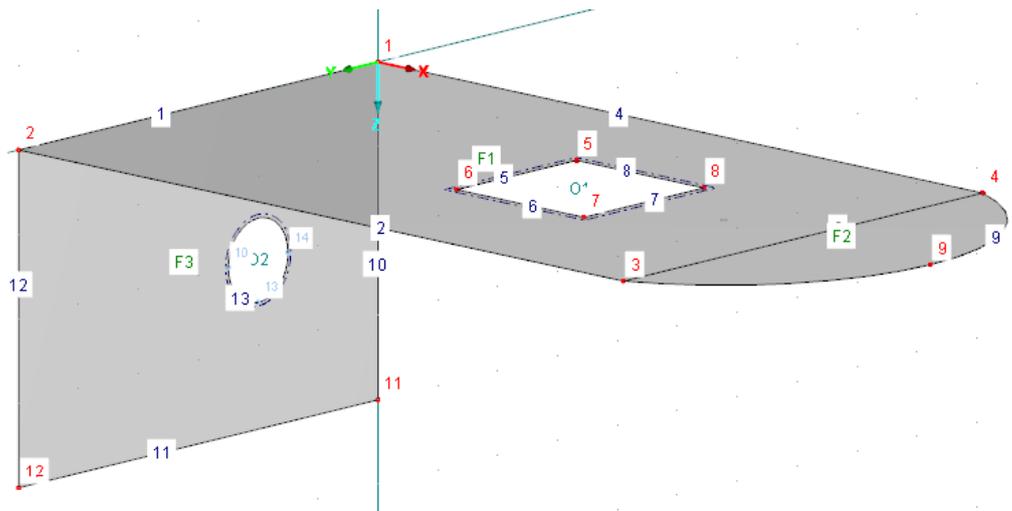


Bild 3.15: Decken- und Wandflächen mit Öffnungen

Rückwand definieren

Um die gewölbte Schale und die Rückwand zu erzeugen, werden zunächst die Linien 3, 4, und 9 kopiert. Klicken Sie mit der linken Maustaste die Linie 3 an, halten dann die Hochstell- oder Umschalttaste [↑] gedrückt und klicken nun die Linien 4 und 9 nacheinander an. Damit werden alle drei Linien auf einmal selektiert. Die selektierten Objekte werden mit anderer Farbe dargestellt. Klicken Sie jetzt nicht in die Arbeitsfläche oder auf ein anderes Objekt, da sonst die Selektion wieder gelöscht würde.



Über Menü *Bearbeiten* → *Verschieben/Kopieren* bzw. die links dargestellte Schaltfläche in der Symbolleiste können diese drei Linien nun um 4.0 m in Z-Richtung kopiert werden. Es erscheint der folgende Dialog.

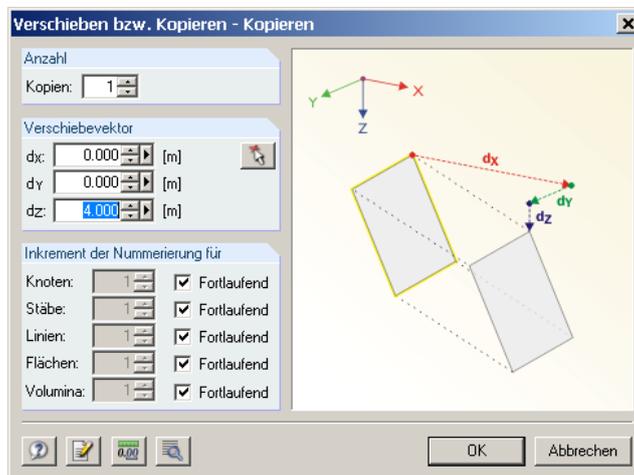


Bild 3.16: Dialog *Verschieben bzw. Kopieren - Kopieren*

Wenn im Eingabefeld *Kopieren* eine ,0' eingetragen ist, werden die Elemente verschoben. In unserem Fall soll aber genau eine Kopie erzeugt werden. Wir tragen deshalb eine ,1' ein. Als *Verschiebevektor* d_z geben wir 4.0 m an und bestätigen den Dialog dann mit [OK].



Die Knoten 3 und 16 sowie 4 und 17 müssen nun durch Linien verbunden werden. Wir aktivieren diese Funktion über die links dargestellte Schaltfläche und setzen die beiden Linien nacheinander durch Anklicken der jeweiligen Knoten. Wir beenden die Funktion dann mit der [Esc]-Taste oder durch Rechtsklicken in die Arbeitsfläche.

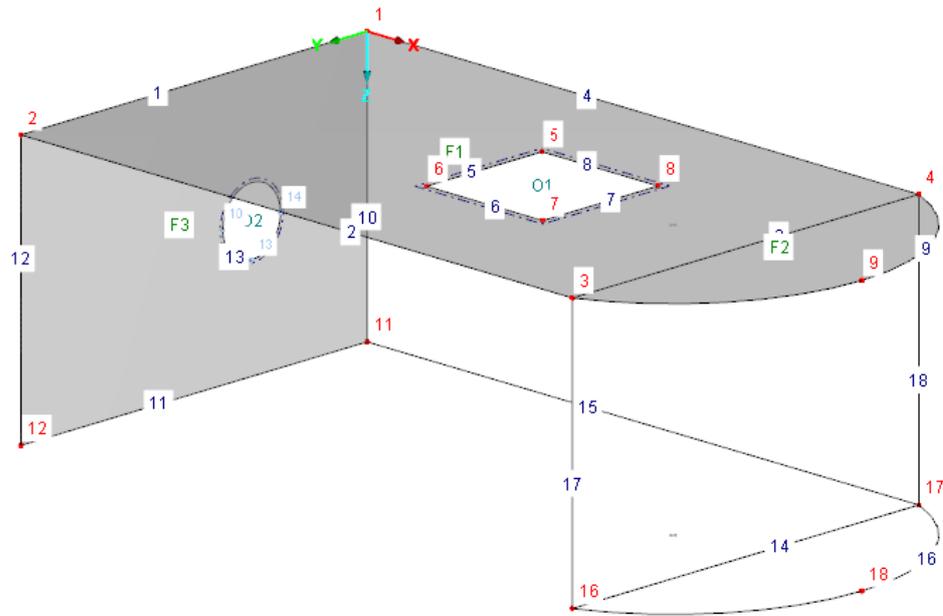


Bild 3.17: Ergebnis: Linien 14 bis 18

Im nächsten Schritt wird die Rückwand erstellt. Selektieren Sie hierzu die Linien **4, 10, 15** und **18** mit der Maus, indem Sie beim Klicken wieder die Umschalttaste gedrückt halten. Die Reihenfolge spielt keine Rolle.

Wir öffnen im *Daten-Navigator* den Ordner *Strukturdaten* und klicken dort mit der rechten Maustaste den Eintrag *Flächen* an. Im Kontextmenü wählen wir anschließend die Funktion *Neue Fläche* → *Eben.*

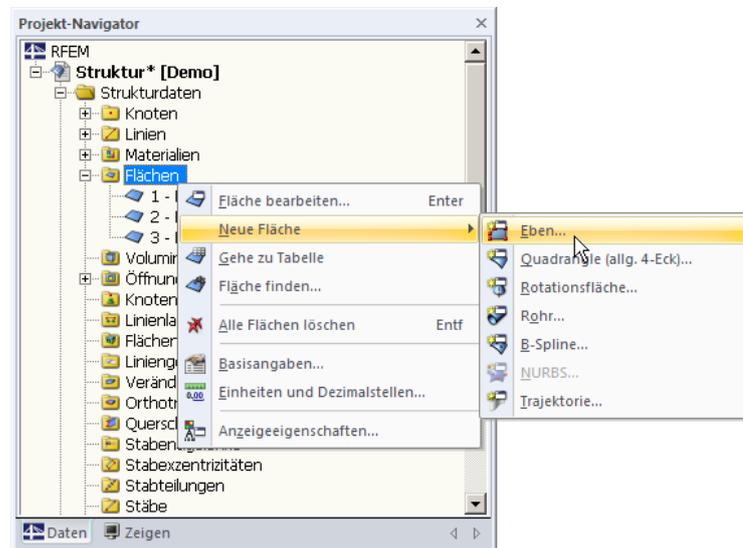


Bild 3.18: Erzeugen einer Fläche über das *Flächen*-Kontextmenü

Es erscheint der bekannte Dialog *Neue Fläche*. Dieser ist jetzt allerdings um den Abschnitt *Begrenzungslinien Nr.* ergänzt. In diesem Eingabefeld sind die vier selektierten Linien schon eingetragen. Nach dem Bestätigen des Dialoges wird die Fläche erzeugt.

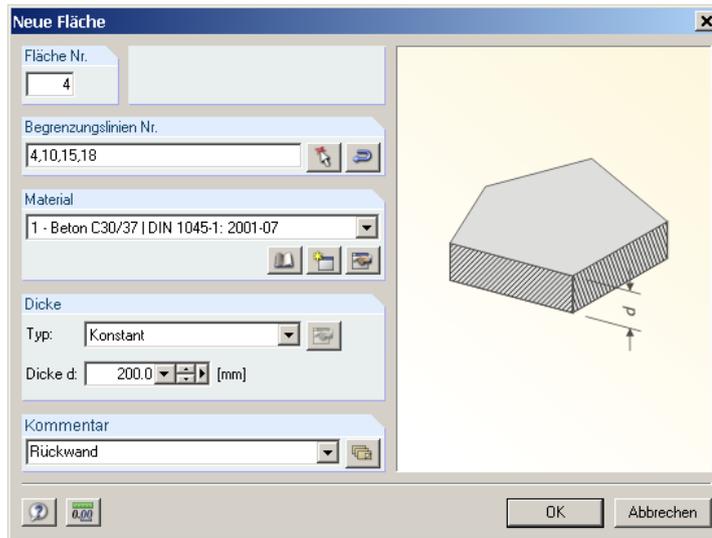


Bild 3.19: Dialog *Neue Fläche*



Alternativ hätte man die Fläche auch über die Schaltfläche [Neue ebene Fläche] oder über das Menü **Einfügen** → **Strukturdaten** → **Flächen** → **Eben** → **Dialog** definieren können.



Wenn Sie möchten, können Sie die Erzeugung der Fläche 4 noch einmal rückgängig machen und eine der Alternativen ausprobieren. Die sehr nützliche *Rückgängig*-Funktion wird über diese Schaltfläche aufgerufen:



Bild 3.20: Schaltfläche *Rückgängig*

Schale definieren



Da es sich bei der vorderen gekrümmten Fläche nicht um eine ebene Fläche handelt, kann die oben beschriebene Funktion nicht angewandt werden. Durch einen Klick auf [▼] in der Listenschaltfläche [Quadrangle-Flächen] öffnen wir ein Menü, das die Eingabe verschiedener gekrümmter Flächenarten ermöglicht.

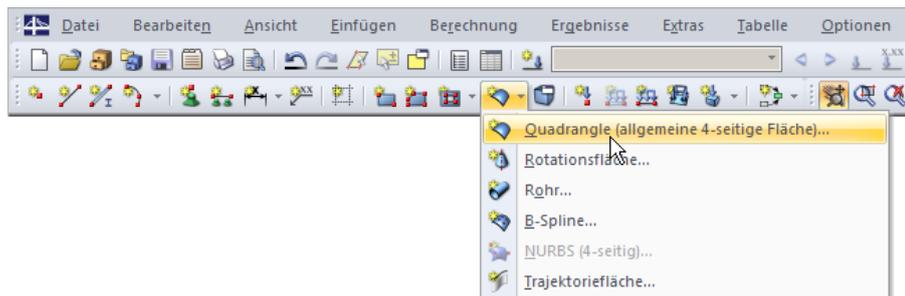


Bild 3.21: Schaltfläche *Quadrangle*

Mit der Funktion *Quadrangle* kann eine Schale erzeugt werden, die durch mindestens vier Linien begrenzt ist. Wir geben im Dialog wieder Material und Dicke für die neue Fläche an.

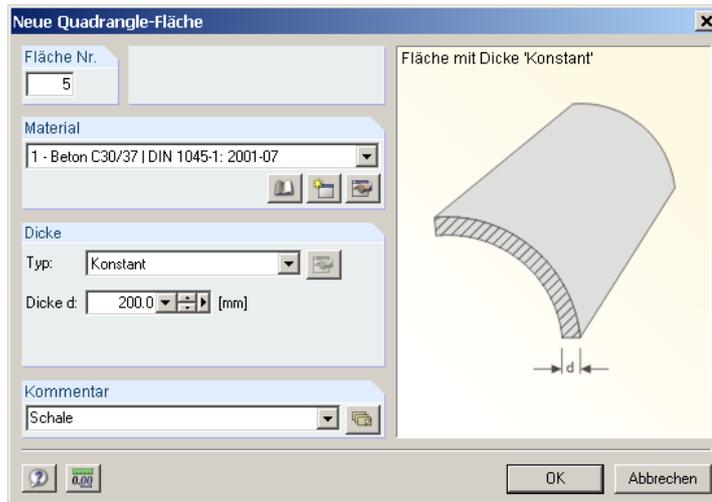


Bild 3.22: Dialog *Neue Quadrangle-Fläche*

Wir bestätigen mit [OK] und klicken dann mit der Maus die Begrenzungslinien der Schale nacheinander an. Es sind dies die Linien 9, 17, 16 und 18 (Umfahrungssinn beachten). Die Funktion beenden wir danach mit [Esc].

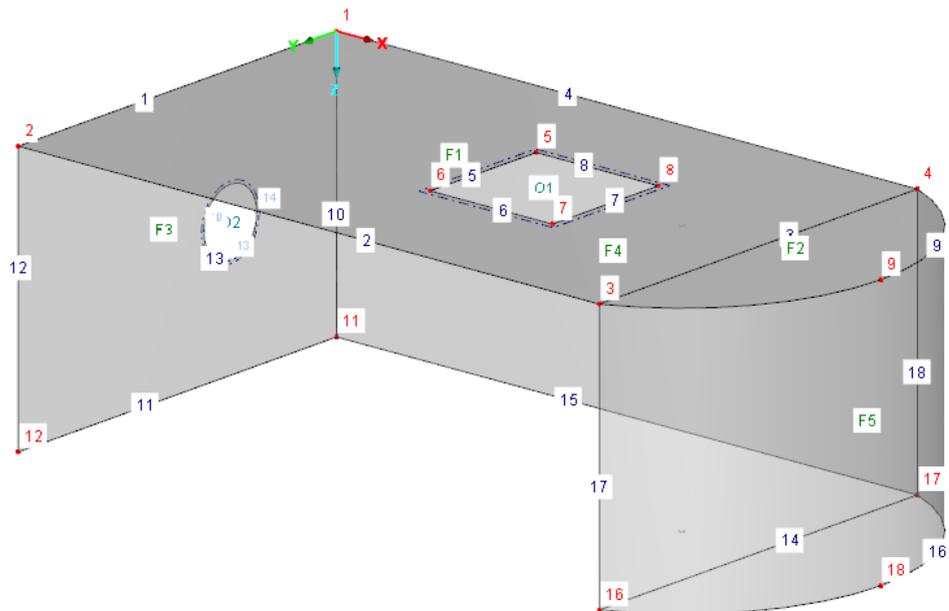


Bild 3.23: Resultat der Flächeneingabe

3.3.3 Stäbe definieren

3.3.3.1 Stahlstütze

Stabelemente sind zwar an Linien gebunden (d. h. nur einer Linie kann ein Stab zugewiesen werden), aber da die zugehörigen Linien automatisch beim Setzen von Stäben mit erzeugt werden, kann die Stahlstütze direkt in der Ebene der Linien 12 und 17 gesetzt werden.

Wir stellen zunächst als Arbeitsebene die XZ-Ebene ein.

Die Arbeitsebene muss nun in die Ebene der Linien 12, 2 und 17 verschoben werden. Dies geschieht durch die Funktion *Raster-/Arbeitsebene-Ursprung setzen*, die wir mit der links dargestellten Schaltfläche aufrufen. Als neuen *Ursprung der Arbeitsebene* können wir beispielsweise den vorderen Knoten 2 mit der Maus anwählen.



Obwohl noch kein Knoten für die Stütze auf der Linie 2 existiert, kann die Stütze direkt gesetzt werden. Die erforderliche Teilung der Linie 2 erfolgt automatisch – ohne die Fläche 1 zu löschen, die durch diese Linie definiert ist.



Ein Klick auf die Schaltfläche [Neuer Stab grafisch] ruft den Dialog *Neuer Stab* auf.

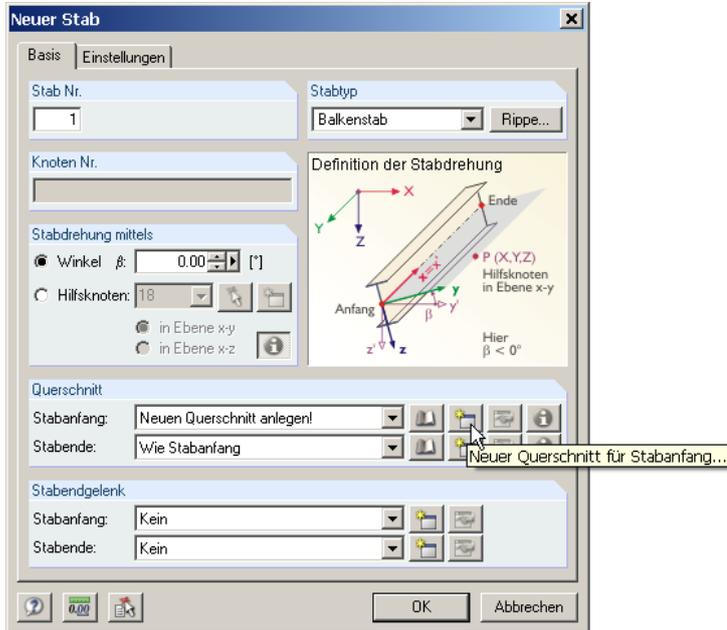


Bild 3.24: Dialog *Neuer Stab*



Als *Stabtyp* kann die Voreinstellung **Balkenstab** beibehalten werden. Es muss allerdings noch ein Querschnittstyp zugewiesen werden. Im Abschnitt *Querschnitt* klicken wir hierzu für den *Stabanfang* auf die Schaltfläche [Neuer Querschnitt für Stabanfang].

Es erscheint der Dialog *Neuer Querschnitt*.

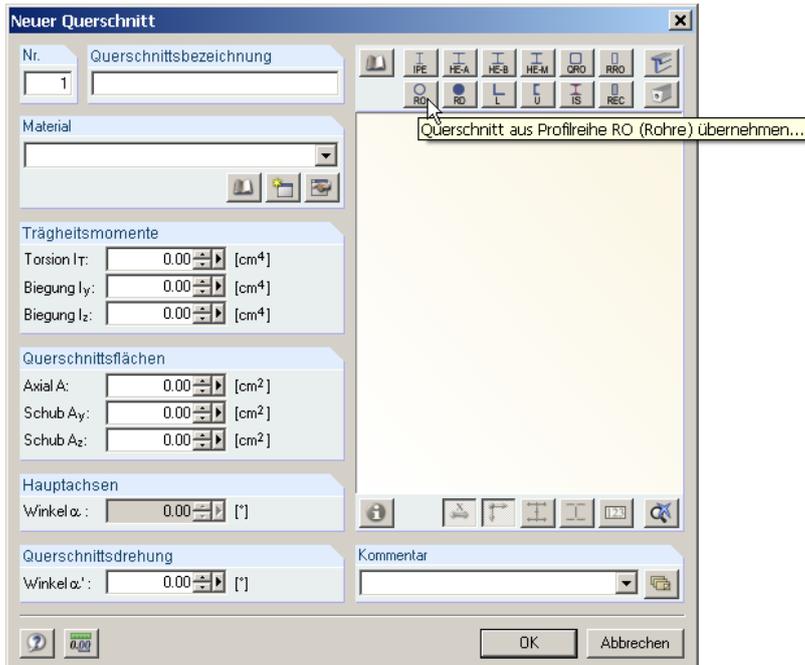


Bild 3.25: Dialog *Neuer Querschnitt*



Die Schaltfläche [RO] öffnet die Profilliste **Rohre** der Querschnittsbibliothek.

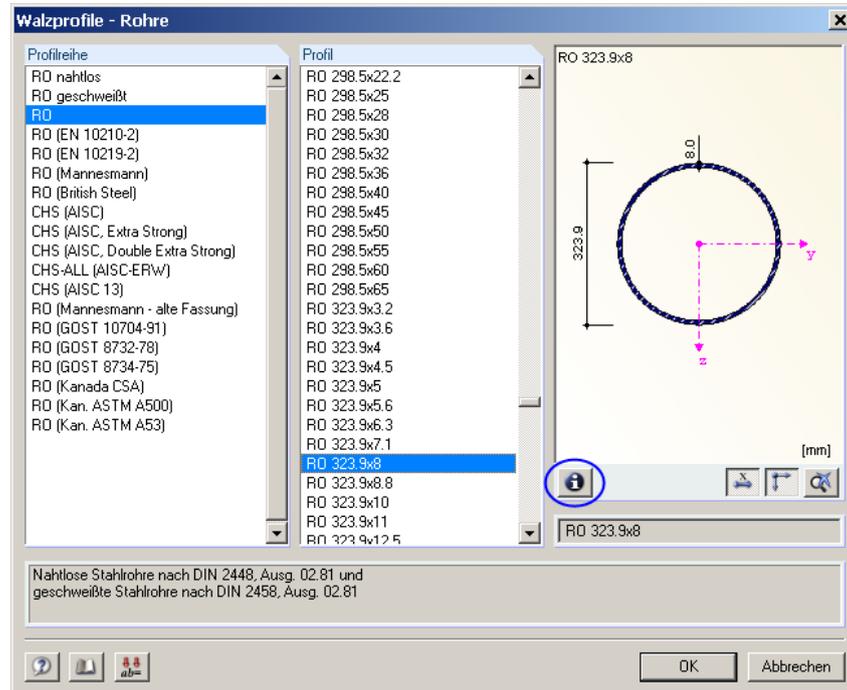


Bild 3.26: Walzprofile - Rohre



Wir stellen links die **Profilreihe RO** ein und scrollen dann rechts zum **Profil RO 323.9 x 8**. Über die Schaltfläche [Querschnittswerte] können die in der Datenbank hinterlegten Profilkennwerte eingesehen werden.

Mit [OK] werden die Querschnittswerte in den Dialog *Neuer Querschnitt* übernommen.

Als **Material** ist für Walzprofile automatisch die Nummer 2 - **Baustahl S 235** eingestellt.

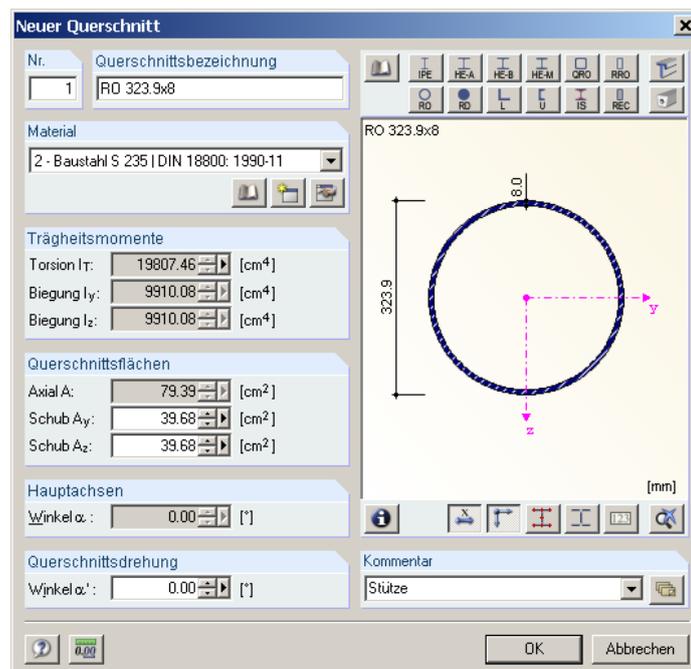


Bild 3.27: Dialog *Neuer Querschnitt*



Möchte man das Material ändern, so wäre dies über die Schaltfläche [Material-Bibliothek] rechts davon möglich. Als *Kommentar* für den Querschnitt können wir **Stütze** eingeben.

Wir beenden den Dialog mit [OK] und gelangen wieder in den Ausgangsdialog *Neuer Stab* (vgl. Bild 3.24, Seite 29) zurück.

Die Stütze soll als Pendelstütze wirken. Gelenke sollten nicht an einem Auflager definiert werden, da die Freiheitsgrade dort durch die Lagerbedingungen gesteuert werden. Deshalb wird nur am oberen Stützenende ein Gelenk definiert.



Da im Abschnitt *Stabendgelenk* noch kein Gelenktyp vorhanden ist, muss zunächst über die Schaltfläche [Neues Stabendgelenk] ein neues Gelenk für das *Stabende* definiert werden.

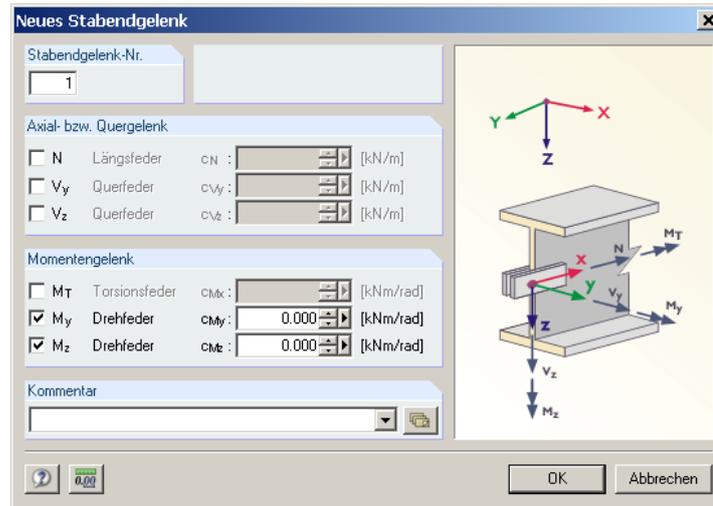


Bild 3.28: Dialog *Neues Stabendgelenk*

Im Dialog *Neues Stabendgelenk* werden die Schnittgrößen angehakt, die im Gelenk nicht übertragen werden sollen. In unserem Fall sind dies die Momente M_y und M_z . Wir können den Dialog unverändert mit [OK] bestätigen. Der Dialog *Neuer Stab* sieht nun wie folgt aus:

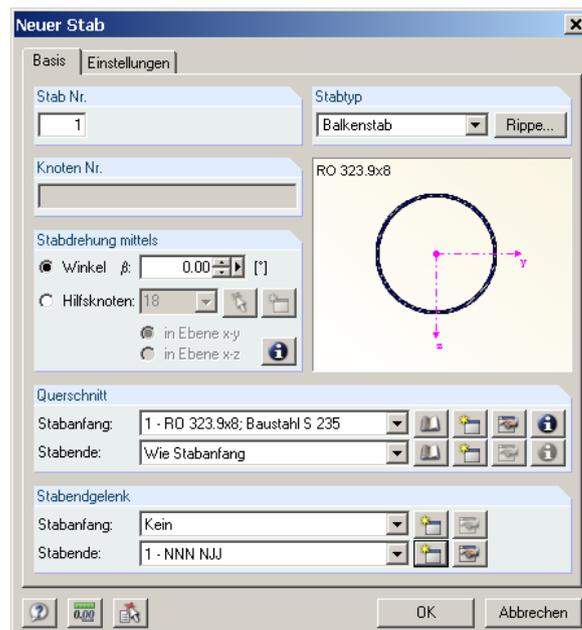


Bild 3.29: Dialog *Neuer Stab*

Nach [OK] erscheint der Dialog *Neuer Stab (Linie)*. Wir legen den Stützenfuß durch einen Klick auf den Rasterpunkt mit den Koordinaten $X' = 6.000$ m und $Z' = 4.000$ m fest.

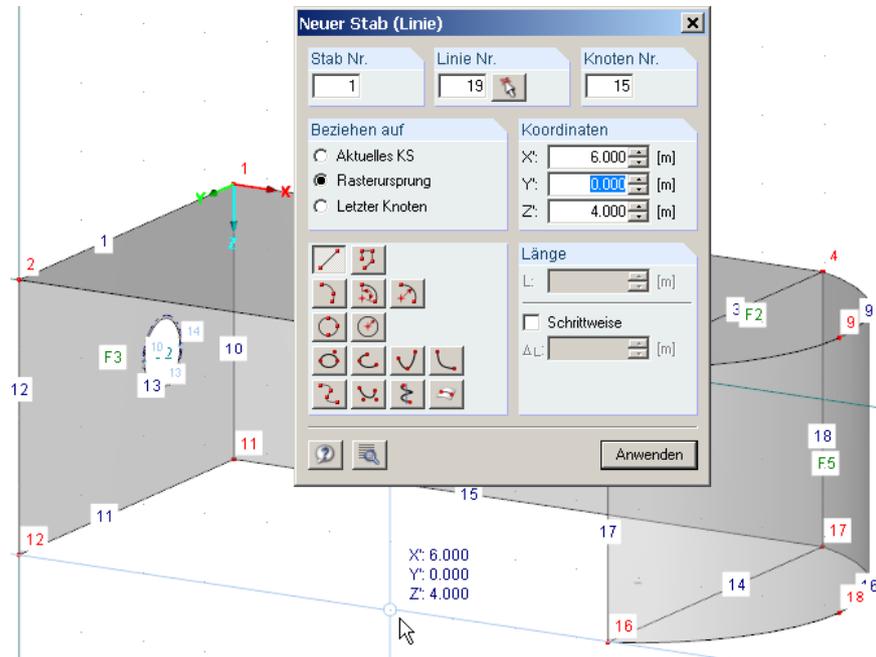


Bild 3.30: Festlegen des Stützenfußpunktes



Ehe das obere Stützenende im Rasterpunkt $X = 6.000$ m, $Y = 6.000$ m und $Z = 0.000$ m gesetzt wird, überprüfen wir über die [Details]-Schaltfläche, ob die Option *Automatisches Verbinden* für Linien und Stäbe aktiviert ist. Es öffnet sich ein weiterer Dialog.

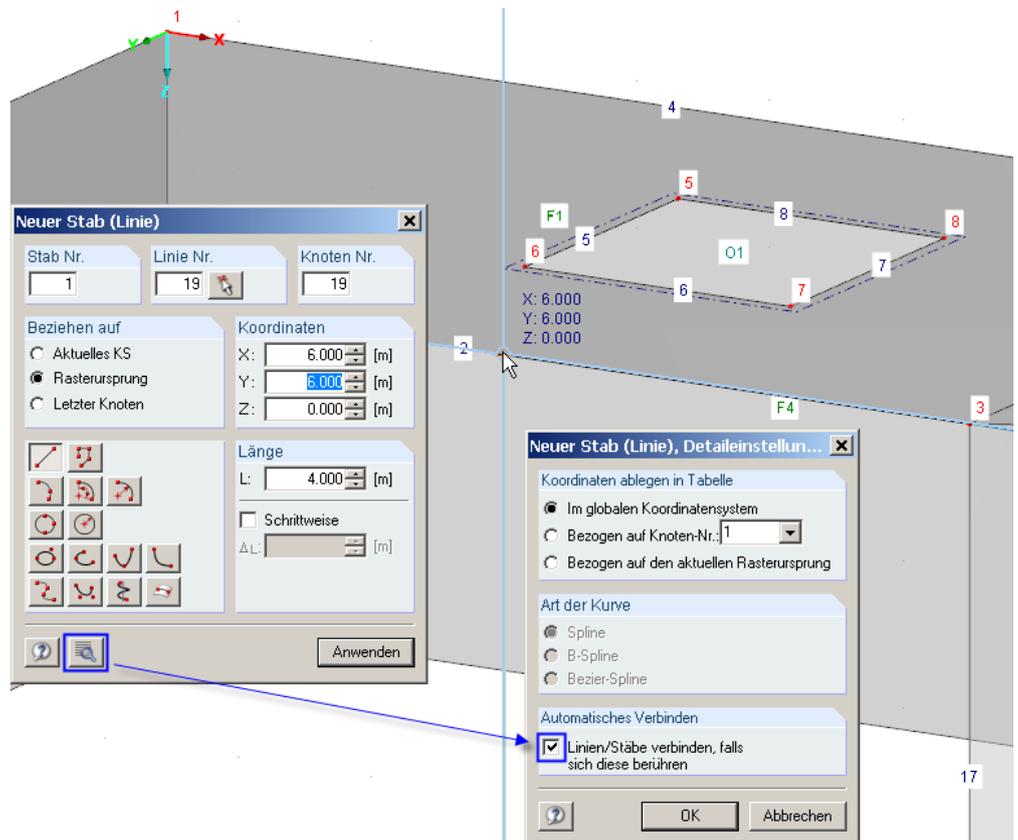


Bild 3.31: Festlegen des oberen Stützenknotens

Ist dies der Fall, schließen wir die Stütze per Mausclick an die Deckenplatte an.

An der Liniennummerierung kann kontrolliert werden, dass rechts vom neuen Knoten 19 die neue Linie 20 eingefügt wurde. Die Linie 2 verläuft jetzt vom Knoten 2 zum Knoten 19. Die Begrenzungslinien der Fläche 1 wurden ebenfalls angepasst. Sie können die Liniennummern über einen Doppelclick auf die Fläche 1 überprüfen, die dann im Dialog *Fläche bearbeiten* angezeigt werden.



Im Rendering ist es schwierig zu kontrollieren, ob das Gelenk auch dem richtigen Stabende zugewiesen wurde. Deshalb steht neben der fotorealistischen Ansicht eine auf die Schwerelinien reduzierte Modelldarstellung zur Verfügung. Zwischen diesen beiden Darstellungsvarianten können Sie über Menü **Ansicht** → **Darstellungsart gefüllt / Drahtmodell** oder die entsprechende Schaltfläche wechseln. Im Drahtmodell wird der Stab nur noch als Linie angezeigt. Das Gelenk wird am oberen Ende sichtbar.

3.3.3.2 Stahlträger



Nun werden die beiden Stahlträger am freien Deckenrand erzeugt. Wir selektieren zunächst die beiden Linien 2 und 20, indem wir beim Klicken die [Strg]-Taste gedrückt halten. Mit der Schaltfläche [Neuer Stab] wird dann wieder der gleichnamige Dialog aufgerufen.



Wir legen wie im vorherigen Kapitel beschrieben für den *Stabanfang* einen neuen Querschnitt fest. In unserem Beispiel wird als Querschnitt Nr. 2 ein **IPE 400** festgelegt, den wir über die Schaltfläche [Neu] aus der Bibliothek auswählen.



Es soll vom Träger kein Biegemoment in die Stahlbetonwand übertragen werden, sondern nur auf den anschließenden Stahlträger. Wir nehmen die Angaben global für beide Träger vor und werden die Parameter nachträglich anpassen. Deshalb wählen wir im Abschnitt *Stabdgelenk* den bereits definierten Gelenktyp 1 für den *Stabanfang* aus der Liste [▼] aus. Am *Stabende* soll **kein** gelenkiger Anschluss erfolgen.



Der Dialog *Neuer Stab* sieht nun wie folgt aus.

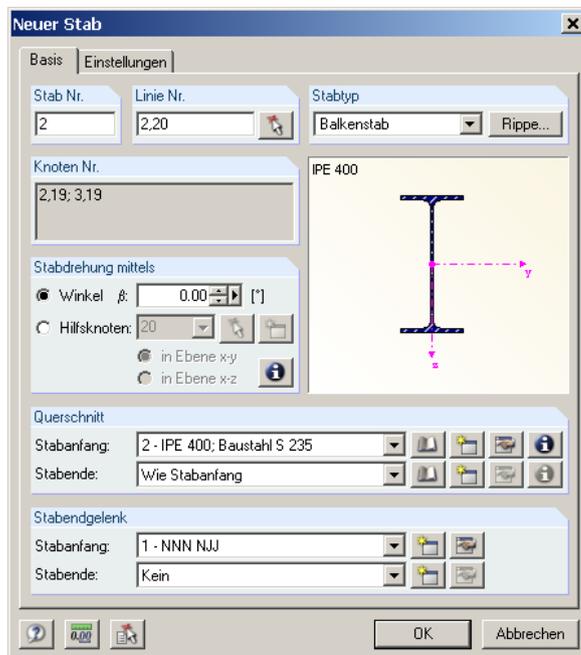


Bild 3.32: Dialog *Neuer Stab*



Die Träger verlaufen nicht in Deckenebene, sondern unterhalb der Decke. Wir definieren im zweiten Register *Einstellungen* dieses Dialogs eine Exzentrizität. Die Eingabe nehmen wir hierzu wieder über die Schaltfläche [Neu] vor.

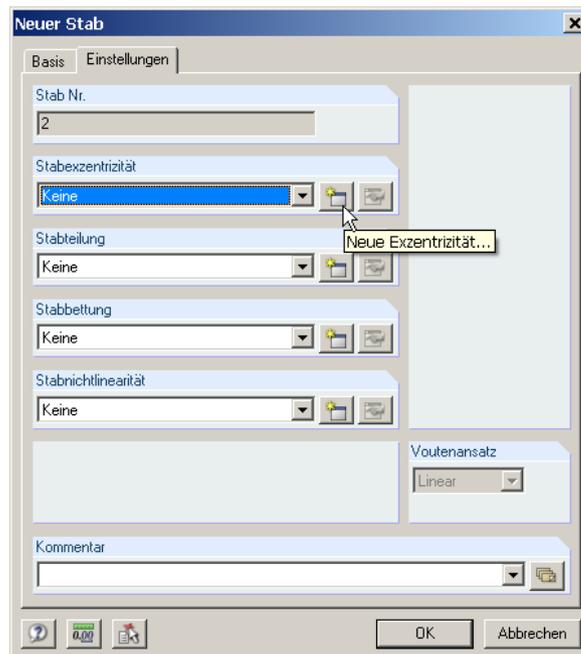


Bild 3.33: Dialog *Neuer Stab*, Register *Einstellungen*

Der Stabanschluss wird an jedem Stabende um die Summe aus halber Trägerhöhe (200 mm) und halber Deckenstärke (100 mm) nach unten verschoben. Es ergibt sich damit für den *Stabanfang* und das *Stabende* jeweils eine Exzentrizität von **300.0 mm** in e_z , die auf das Achsensystem *Global X,Y,Z* bezogen ist.

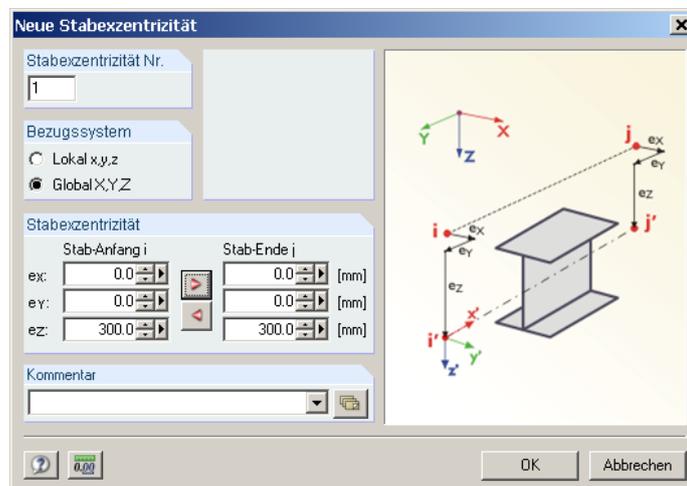


Bild 3.34: Dialog *Neue Stabexzentrizität*

Die beiden Stahlträger werden nach dem Bestätigen aller Dialoge gesetzt.

Die Gelenkzuweisung für den rechten Stab an Linie 20 lässt sich schnell korrigieren, indem wir den Stab **3** mit der rechten Maustaste anklicken und dann in Kontextmenü die Funktion *Staborientierung umkehren* wählen.

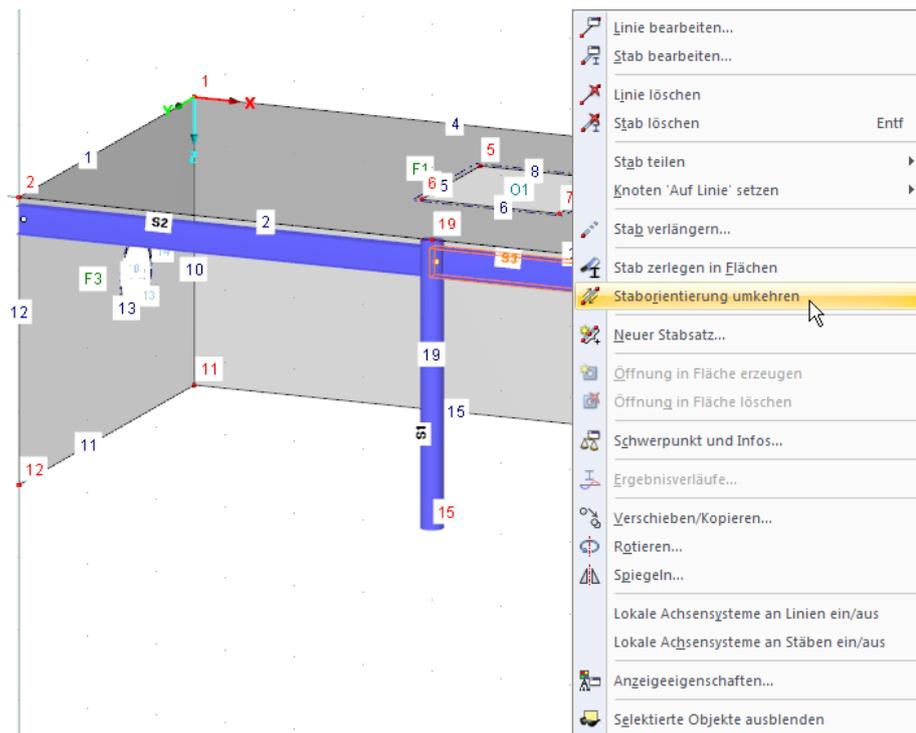


Bild 3.35: Kontextmenü Stab

Mit der Darstellungsvariante *Gefüllt einschließlich Dicke*, die man im Zeigen-Navigator einstellen kann, lässt sich die Exzentrizität gut kontrollieren. Für die weitere Eingabe wählen wir jedoch wieder die Option *Gefüllt transparent*.

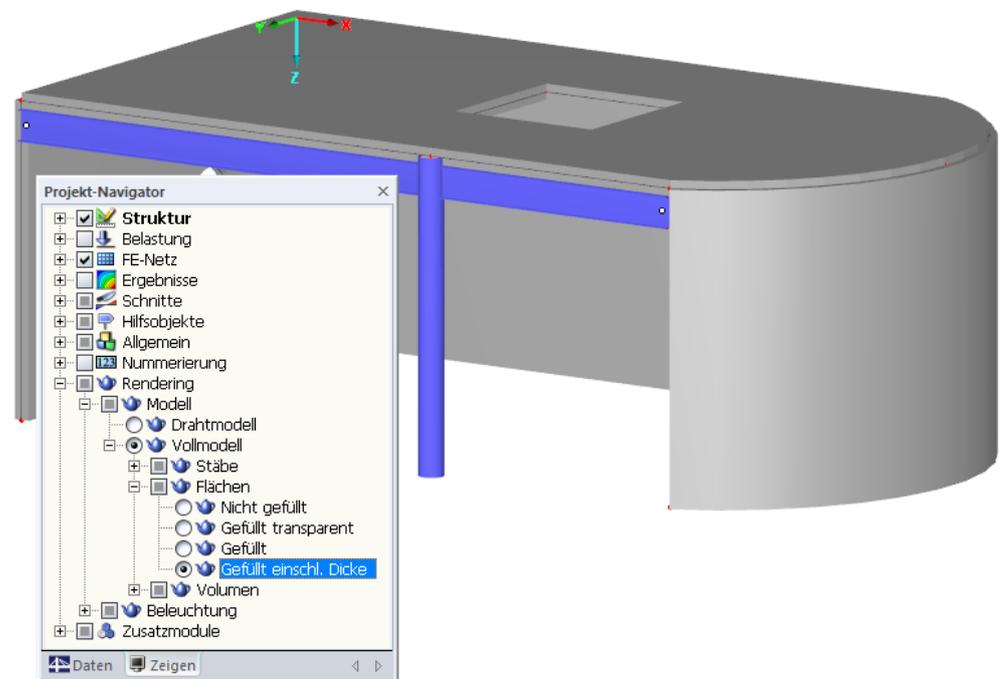


Bild 3.36: Zeigen-Navigator: Rendering → Modell → Vollmodell → Flächen

In gleicher Weise könnte man eine weitere Exzentrizität für den Stützenkopf definieren, worauf wir jedoch im Rahmen dieses Beispiels verzichten.

3.3.4 Lager setzen

Die Eingabe der Struktur ist damit fast vollständig. Es fehlen nur noch die Lager.

Linienlager



Für die Lagerung der Wände verwenden wir Linienlager. Wir selektieren zunächst die Linien 11, 15 und 16 mit der Maus und halten dabei beim Klicken die [Strg]-Taste gedrückt. Über die Schaltfläche [Neues Linienlager grafisch] wird dann der folgende Dialog aufgerufen.

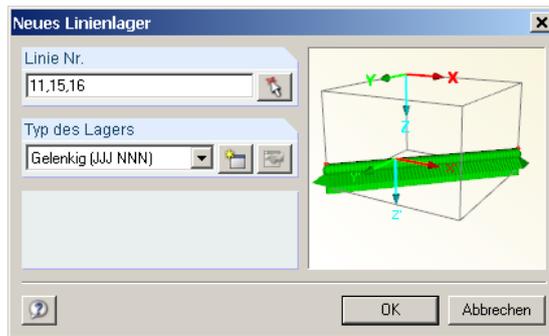


Bild 3.37: Dialog *Neues Linienlager*



Für den *Typ des Lagers* sind bereits die Optionen *Gelenkig* und *Eingespannt* vordefiniert. Die Buchstaben *JJJ NNN* (*J*a für Stützung in X, Y und Z, *N*ein für Einspannung um X, Y und Z) geben einen schnellen Überblick über die Definitionskriterien. Mit [Neu] könnte man einen beliebigen Lagerungstyp definieren, was für unser Beispiel jedoch nicht erforderlich ist. Wir belassen deshalb die Voreinstellung **Gelenkig** und bestätigen den Dialog mit [OK]. Die Linienlager werden nun in der grafischen Darstellung angezeigt.

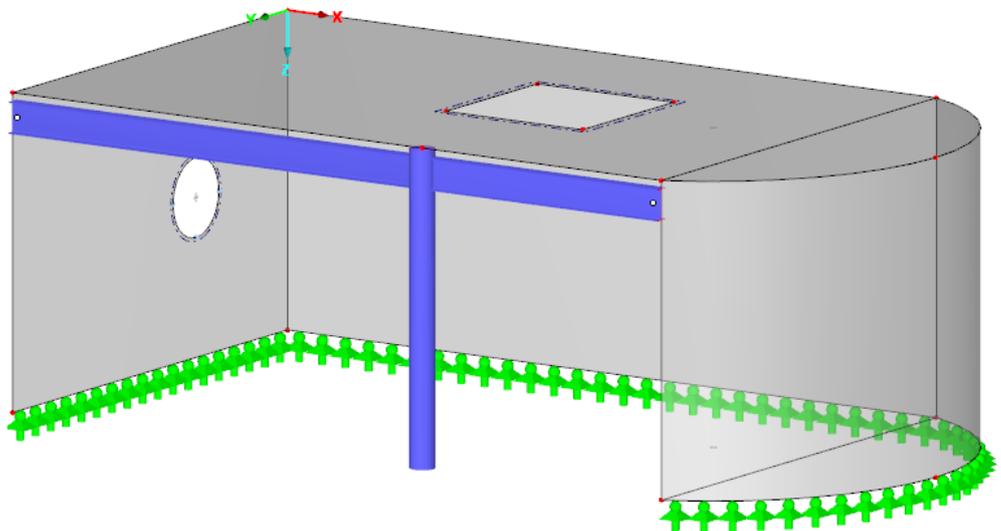


Bild 3.38: Linienlager der Wände

Knotenlager

Abschließend weisen wir noch der Stahlstütze ein gelenkiges Lager zu. Dazu doppelklicken wir den Knoten 15 am Stützenfuß und rufen so den Dialog *Knoten bearbeiten* auf. Dort aktivieren wir das Register *Lager* durch einen Klick auf den Registerreiter. Im Abschnitt *Lager* setzen wir ein Häkchen in das Kontrollfeld vor *Vorhanden*.

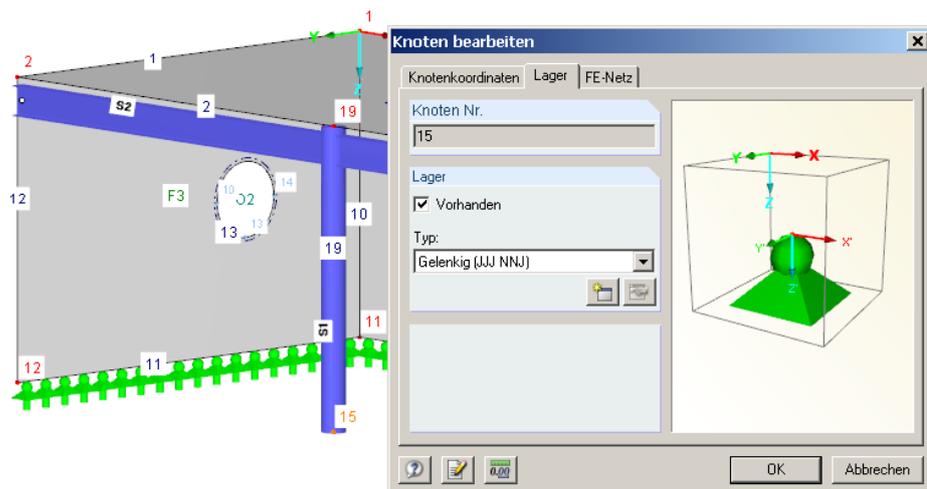


Bild 3.39: Dialog *Knoten bearbeiten*, Register *Lager*

Der Lagertyp **Gelenkig** kann wieder beibehalten werden. Sobald wir den Dialog bestätigen, wird das neue Knotenlager in der Grafik angezeigt.

3.3.5 Eingabe kontrollieren



RFEM bietet wie bereits erwähnt mehrere Möglichkeiten der Struktureingabe. Die hier demonstrierte grafische Eingabe spiegelt sich in den völlig gleichberechtigten Eingabetabellen wider. Werfen Sie deshalb einen kurzen Blick auf die tabellarischen Daten. Die Tabellen werden standardmäßig unterhalb des Arbeitsfensters angezeigt. Diese können über Menü **Tabelle** → **Anzeigen** oder die entsprechende Schaltfläche ein- und ausgeblendet werden.

Für die unterschiedlichen Strukturobjekte gibt es separate Eingabetabellen, die über die Registerreiter angesteuert werden. Sucht man beispielsweise eine bestimmte Linie in der Tabelle, so stellt man die Tabelle 1.2 *Linien* ein und selektiert die Linie mit einem Mausklick in der Grafik. Die farbig hervorgehobene Zeile der Tabelle entspricht der selektierten Linie.

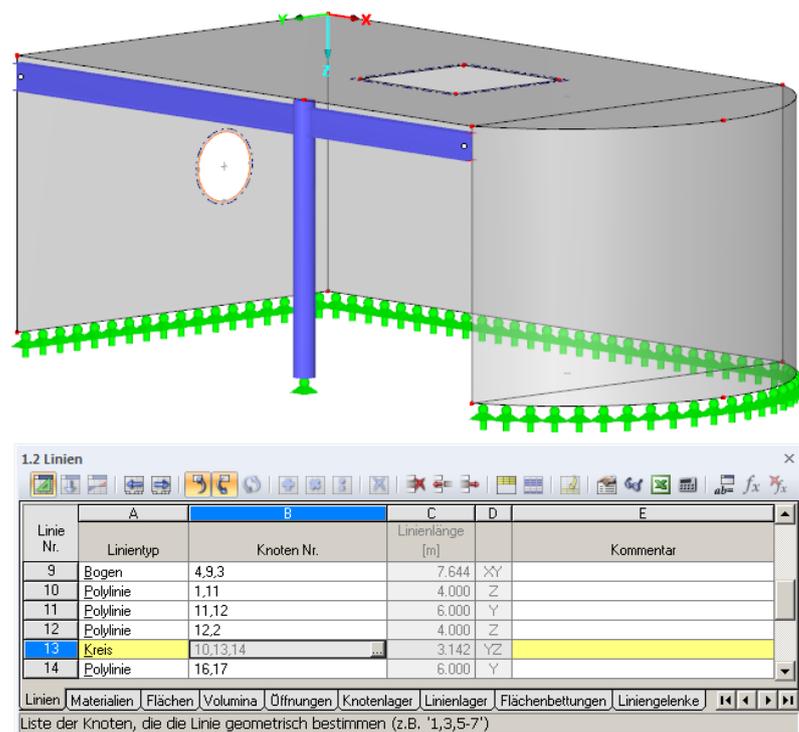


Bild 3.40: Tabelle 1.2 *Linien* mit selektierter Linie 13 der runden Wandöffnung



Die Eingabe der Struktur ist damit beendet. Mit Menü **Datei** → **Speichern** oder der entsprechenden Schaltfläche sichern Sie die Daten.

3.4 Eingabe der Belastungsdaten

Im *Daten-Navigator* findet man unter **Belastung** drei Einträge: *Lastfälle*, *Lastfallgruppen* und *Lastfallkombinationen*.

In den Lastfällen werden die eigentlichen Lasten (wie beispielsweise Eigengewicht, Schnee- und Windlast) definiert. Diese Lastfälle werden dann in Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen mit Teilsicherheitsfaktoren versehen und kombiniert.

3.4.1 Lastfall 1: Eigengewicht

Als erste Einwirkung wird der Eigengewichtslastfall eingegeben. Rufen Sie hierzu Menü **Einfügen** → **Belastung** → **Flächenlasten** → **Grafisch** auf. Es öffnet sich ein Dialog, mit dem zunächst ein neuer Lastfall angelegt wird.

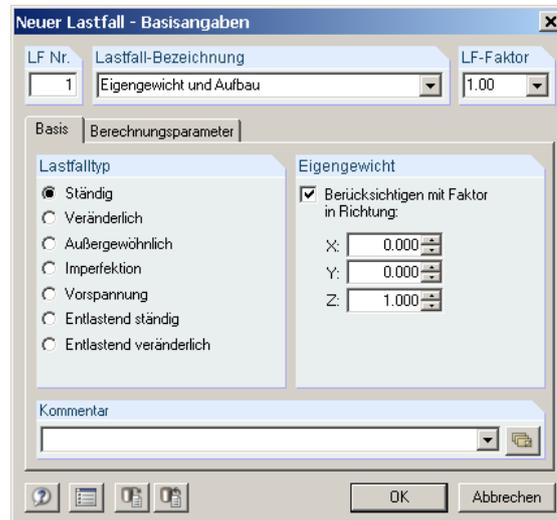


Bild 3.41: Dialog *Neuer Lastfall - Basisangaben*



Als *Lastfall-Bezeichnung* tragen wir **Eigengewicht und Aufbau** ein oder wählen den entsprechenden Eintrag aus der Liste. RFEM stellt standardmäßig die *Lastfall-Nr.* 1 mit dem *Lastfalltyp* **Ständig** ein. Das *Eigengewicht* der Flächen und Stäbe in Richtung **Z** wird automatisch berücksichtigt, wenn der Faktor wie voreingestellt mit **1.00** angegeben ist.

Konstante Flächenlast

Übernehmen Sie die Eingaben mit [OK]. Sie gelangen in den Dialog *Neue Flächenlast*.

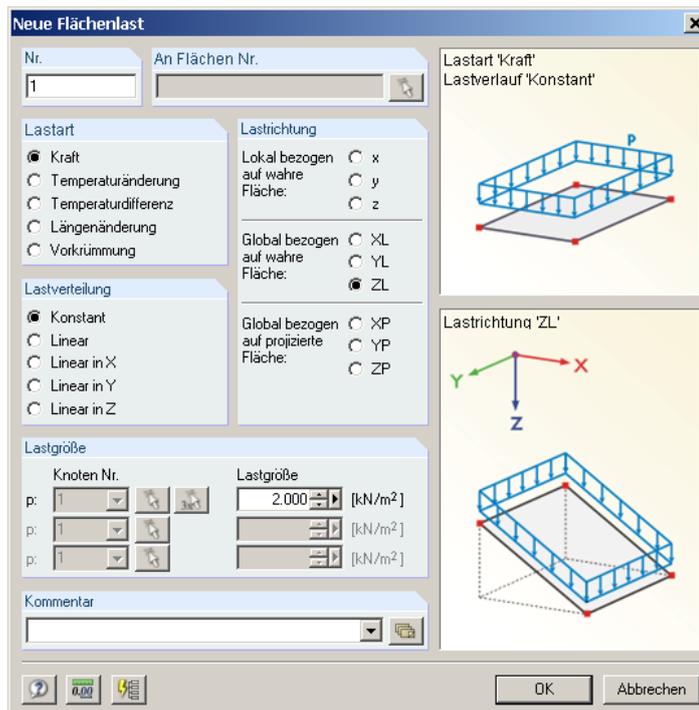


Bild 3.42: Dialog *Neue Flächenlast*

Das Eigengewicht des Deckenaufbaus wirkt als *Lastart Kraft*, die *Lastverteilung* ist **Konstant**. Diese Voreinstellungen belassen wir ebenso wie die *Lastrichtung* **Global ZL**.

Als *Lastgröße* tragen wir im Eingabefeld den Wert **2.0 kN/m²** ein (siehe „Belastung“, Seite 15) und bestätigen die Eingabe dann mit [OK].



Der Dialog wird geschlossen und die Last kann grafisch bestimmten Flächen zugewiesen werden. Der Mauszeiger erhält ein kleines Lastsymbol, das verschwindet, sobald man sich über einer Fläche befindet. Wenn wir jetzt nacheinander die Flächen 1 und 2 anklicken, wird die Last auf die beiden Deckenflächen gesetzt. Mit einem Klick der rechten Maustaste oder [Esc] beenden wir die Funktion.

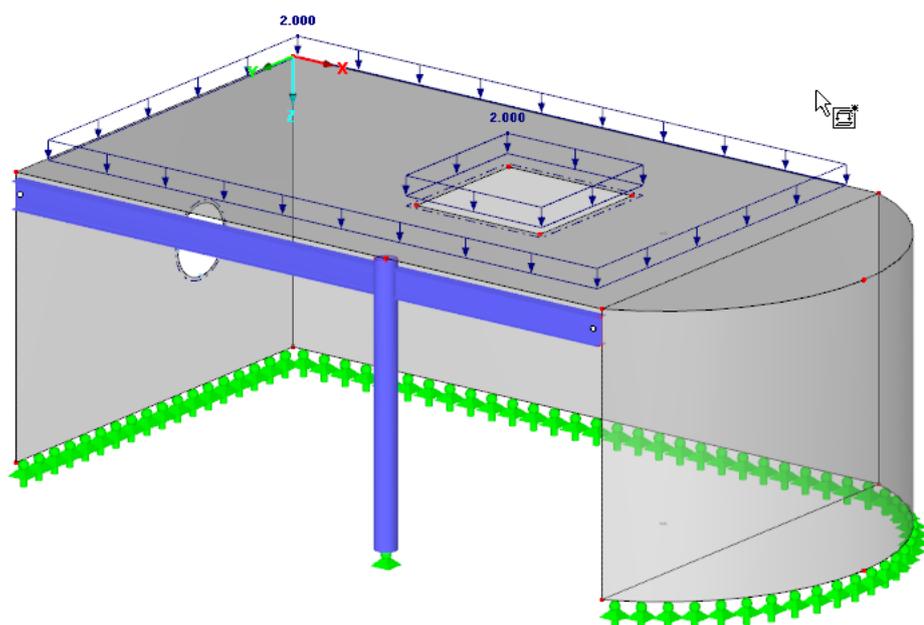


Bild 3.43: Grafische Eingabe der Deckenlasten

Die Flächenlast wird in der Aussparung der Fläche 1 nicht angesetzt.



Die Belastungswerte lassen sich mit der Schaltfläche [Werte der Lasten anzeigen] in der Grafik ein- und ausblenden.

Veränderliche Flächenlast

Auf Wände wirkt oft Erddruck. Es handelt sich dabei um eine linear veränderliche Last, die senkrecht zur Fläche wirkt. Eine solche Belastung soll jetzt auf die gekrümmte Fläche angesetzt werden.



Wir selektieren die zu belastende Fläche 5 per Mausklick und rufen dann den Dialog zur Lasteingabe über die Schaltfläche [Neue Flächenlast grafisch] auf.

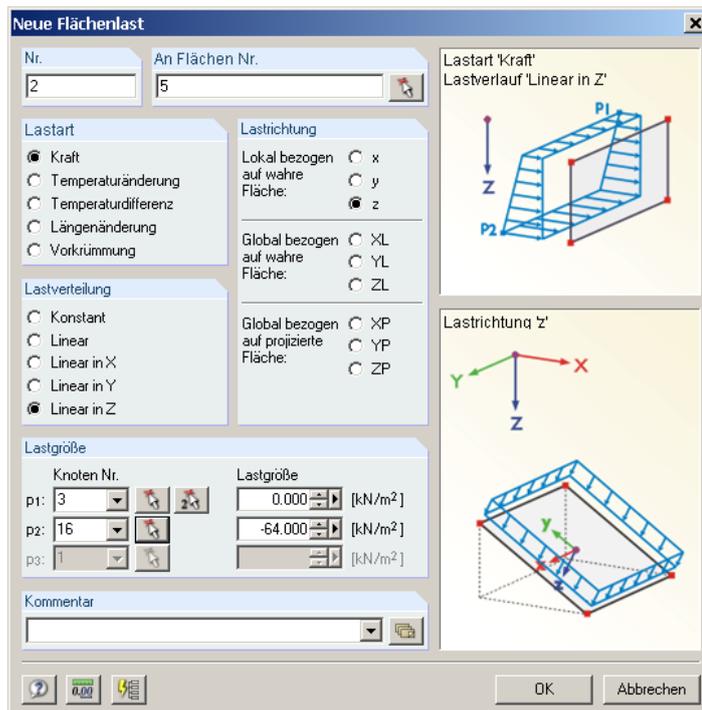


Bild 3.44: Dialog *Neue Flächenlast*

Die Last soll als *Lastart Kraft* mit der *Lastverteilung Linear in Z* senkrecht zur Fläche wirken. Als *Lastrichtung* wählen wir deshalb **Lokal z**.



Zur Eingabe der *Last* wählen wir mit der [Pick]-Schaltfläche markante Punkte aus und geben hierfür die entsprechenden Ordinaten der Flächenlast an. In unserem Beispiel wird dem *Knoten-Nr. 3* die *Lastgröße 0.0* kN/m² und dem *Knoten-Nr. 16* die *Lastgröße -64.0* kN/m² zugewiesen (siehe „Belastung“, Seite 15). Die Last muss negativ eingegeben werden, da die lokale z-Achse der Fläche nach außen gerichtet ist. Nach [OK] wird die linear nach unten zunehmende, senkrecht zur Fläche wirkende Flächenlast in der Grafik angezeigt.

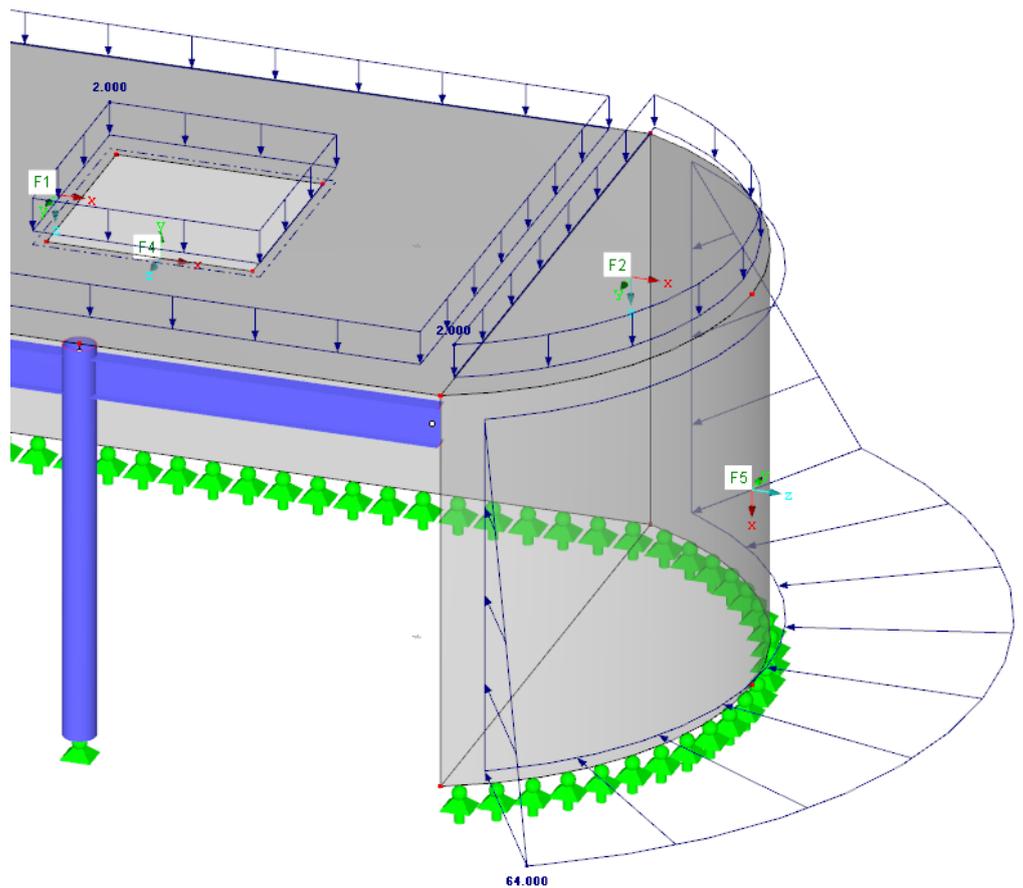


Bild 3.45: Veränderliche Flächenlast (Erddruck) mit Darstellung der lokalen Flächenachsen

Die Belastungseingabe für den Lastfall *Eigengewicht* ist damit abgeschlossen.

3.4.2 Lastfall 2: Verkehrslast



Ehe wir die nächste Einwirkung definieren, legen wir einen neuen Lastfall an. Dies kann über Menü **Einfügen** → **Belastung** → **Neuer Lastfall** oder die entsprechende Schaltfläche in der Werkzeugleiste erfolgen.

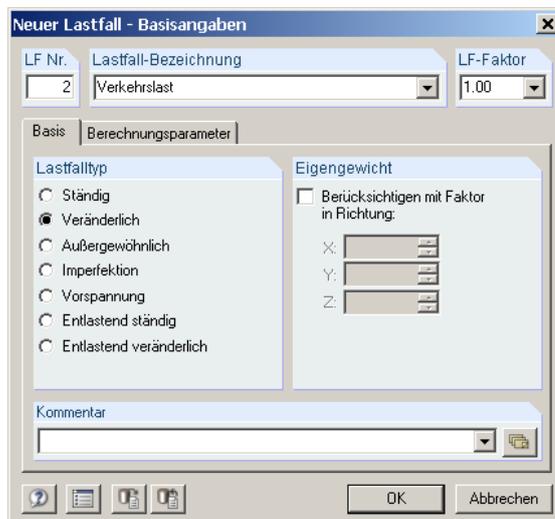


Bild 3.46: Dialog *Neuer Lastfall - Basisangaben*

Als *Lastfall-Bezeichnung* tragen Sie **Verkehrslast** ein. Der *Lastfalltyp* ist als **Veränderlich** voreingestellt. Diese Angabe spielt beim Bilden von Lastfallgruppen oder -kombinationen eine Rolle, wenn der entsprechende Teilsicherheitsfaktor festgelegt wird. Bei der Definition von Lastfällen sollte noch kein Sicherheitsfaktor angegeben werden. Es empfiehlt sich, Lastfälle grundsätzlich als Gebrauchslasten zu definieren. Wir belassen deshalb im Eingabefeld *LF-Faktor* die Voreinstellung und bestätigen Ihre Eingabe mit [OK].

Flächenlasten



Zunächst definieren wir die Flächenlasten für die Flächen 1 und 2. Wir selektieren die beiden Deckenflächen mit der Maus, wobei wieder die [Strg]-Taste beim Anklicken der zweiten Fläche benutzt wird. Dann rufen wir über die Schaltfläche [Neue Flächenlast grafisch] in der Werkzeugleiste den bereits bekannten Dialog auf.

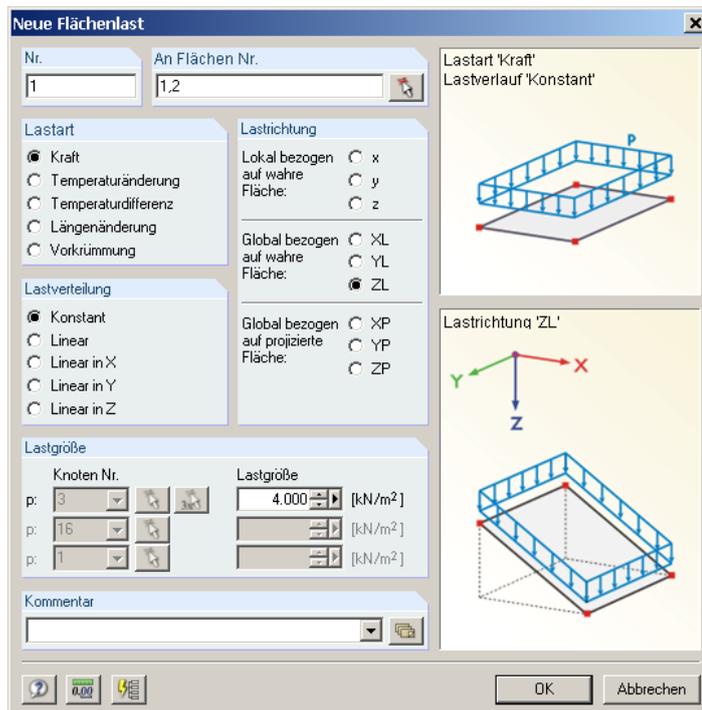


Bild 3.47: Dialog *Neue Flächenlast*

Die Flächennummern sind im Eingabefeld *An Flächen Nr.* eingetragen. Die Verkehrslast wirkt wiederum als *Lastart Kraft*, der *Lastverlauf* ist **Konstant** mit der *Lastrichtung ZL*. Als *Lastgröße p* geben Sie **4.0** kN/m² an (vgl. „Belastung“, Seite 15) und bestätigen die Eingabe dann mit [OK].

Linienlasten



Um die Linienlasten an den Öffnungsrändern bequem setzen zu können, stellen wir diesen Bereich über die *Zoom-Funktion* oder das Scrollrad der Maus als vergrößerte Ansicht dar.



Mit der Schaltfläche [Neue Linienlast] in der Werkzeugleiste (unmittelbar links neben der [Flächenlast]-Schaltfläche) rufen wir den folgenden Dialog auf:

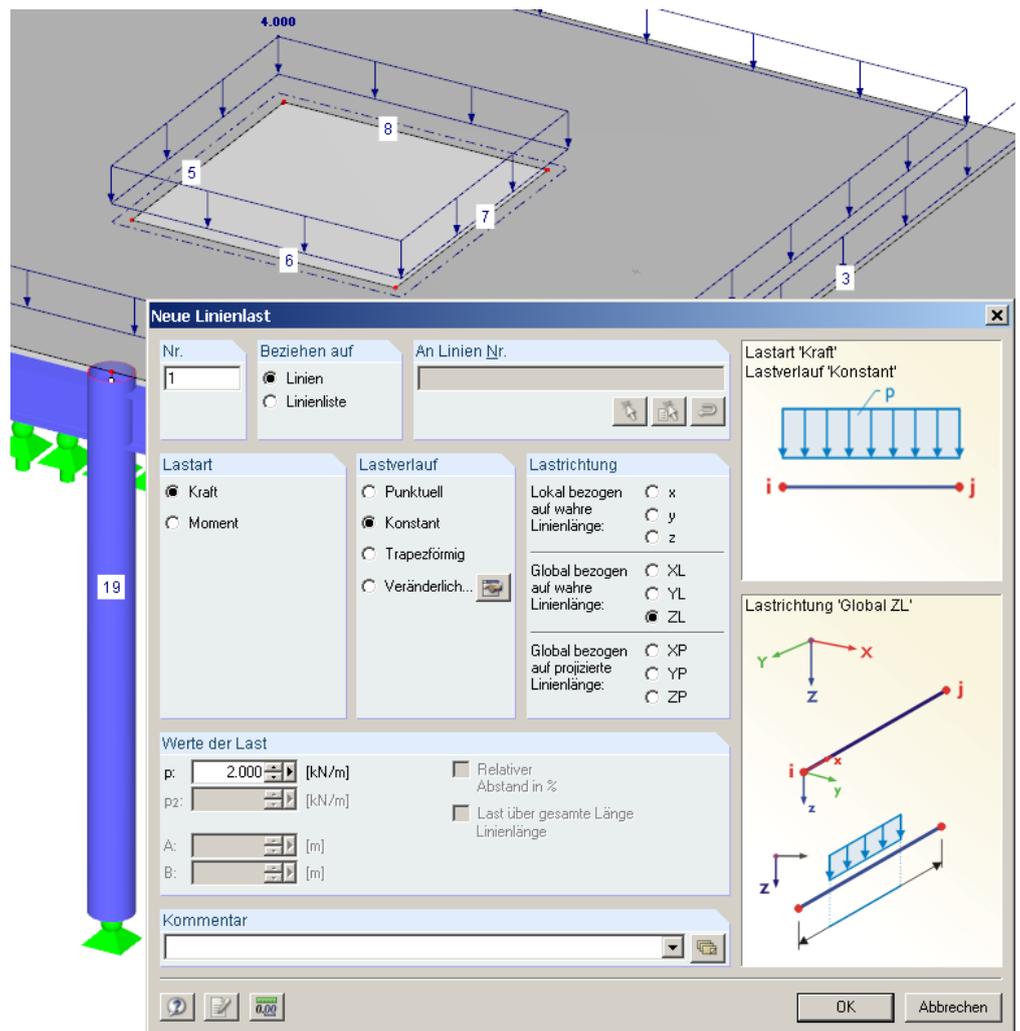


Bild 3.48: Dialog *Neue Linienlast*



Die Linienlast als *Lastart Kraft* mit *Lastverlauf Konstant* wirkt in *Lastrichtung ZL*. Im Eingabefeld *Werte der Last* geben wir **2.0** kN/m an. Sie ist zu *Beziehen auf Linien*, die wir nach [OK] in der Grafik festlegen: Es werden nacheinander die Linien **5, 6, 7** und **8** angeklickt, die die Öffnung begrenzen.

Die Eingabe beenden wir wie gewohnt mit [Esc] oder einem Klick der rechten Maustaste.

Knotenlasten



Abschließend sind noch die beiden Einzellasten einzugeben, die im Bereich der Öffnung wirken. Rufen Sie mit der Schaltfläche [Neue Knotenlast grafisch] folgenden Dialog auf.

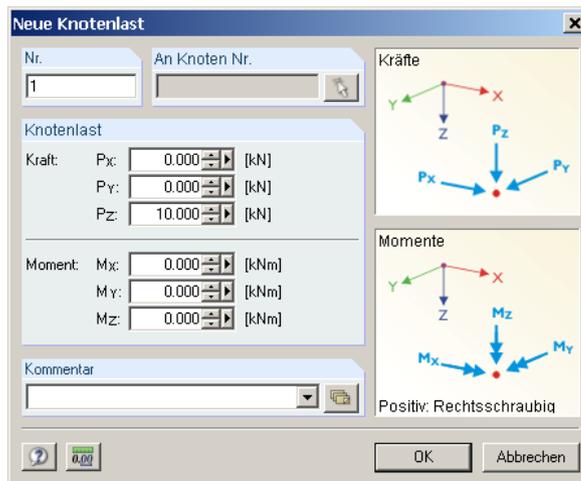


Bild 3.49: Dialog *Neue Knotenlast*



Tragen Sie als *Kraft* P_z den Wert **10.0** kN ein und bestätigen mit [OK]. In der Grafik weisen Sie die Last dann den Knoten **6** und **7** per Mausklick zu.

Die Belastung im Lastfall 2 sollte nun wie folgt aussehen.

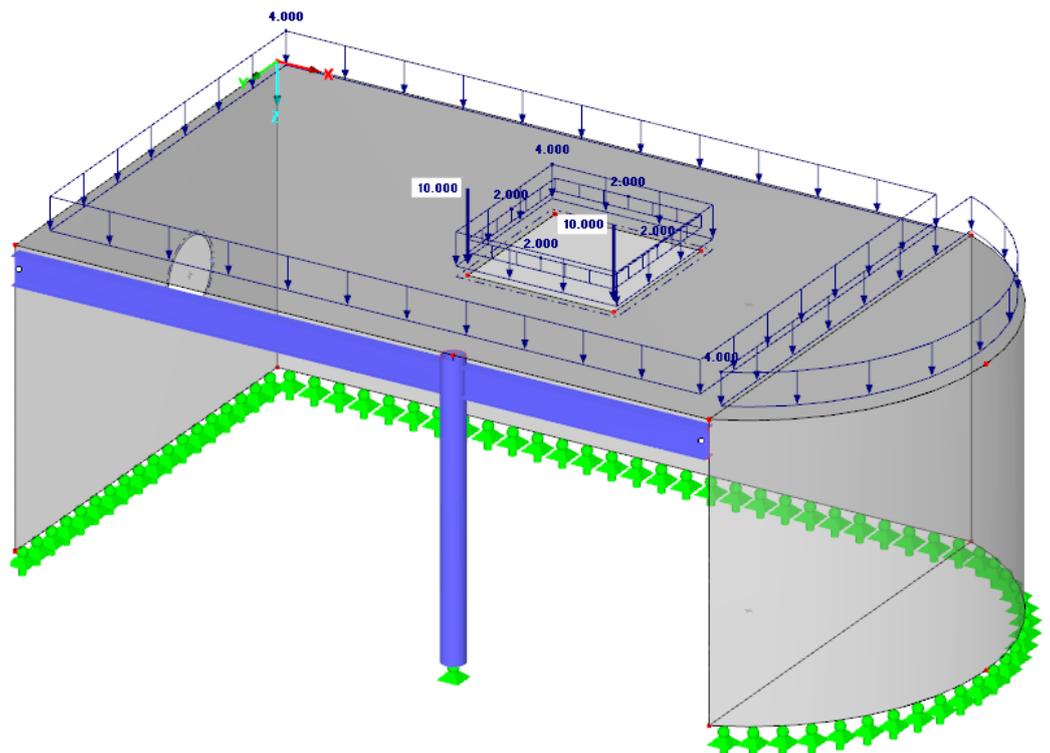


Bild 3.50: Ergebnis der Belastungseingabe im Lastfall 2

3.4.3 Lastfall 3: Imperfektion



Als dritte Einwirkung geben wir die Imperfektion für die Stütze ein. Diesmal soll jedoch der *Daten-Navigator* benutzt werden, um einen neuen Lastfall anzulegen: Klicken Sie mit der **rechten** Maustaste auf den Eintrag *Lastfälle* und rufen so das Kontextmenü auf.

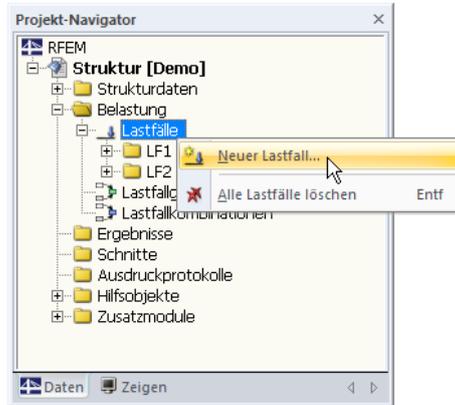


Bild 3.51: Kontextmenü *Lastfälle*

Als *Lastfall-Bezeichnung* wählen wir **Imperfektion nach +Y** aus der Liste und ändern den *Lastfalltyp* auf **Imperfektion** ab. Somit wird später bei der Definition der Lastfallgruppen automatisch der korrekte Teilsicherheitsbeiwert zugewiesen.



Schließen Sie den Dialog mit [OK] und klicken die Listen-Schaltfläche [Neue Volumenlast] an. Es klappt ein Menü mit diversen Schaltflächen und Einträgen auf, in dem wir die letzte Option [Neue Imperfektion] auswählen. Folgender Eingabedialog wird geöffnet:

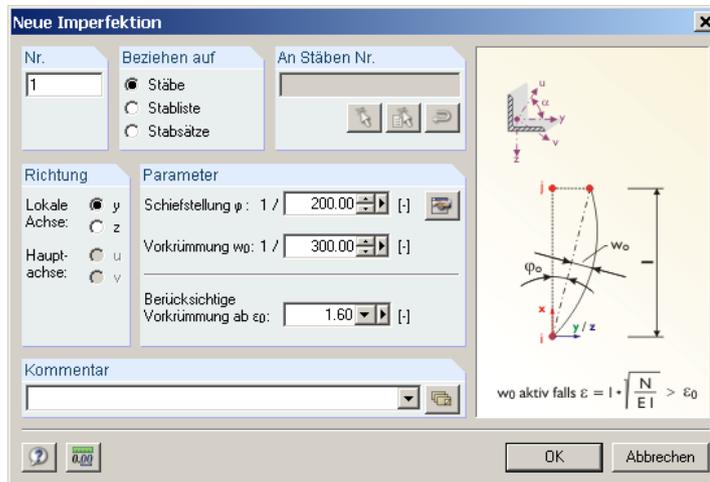


Bild 3.52: Dialog *Neue Imperfektion*

Die Imperfektion wird in *Richtung* der lokalen Achse **y** des Stabes angesetzt. Diese stimmt mit der Orientierung der globalen Y-Achse überein.

Es sind geeignete Vorgaben für Schiefstellung und Vorkrümmung voreingestellt, die auch unseren Erfordernissen entsprechen (siehe „Belastung“, Seite 15). Im Abschnitt *Parameter* ändern wir jedoch den Wert der Stabkennzahl ϵ_0 auf **1.60** ab. Dieser Wert entspricht der in DIN 18800 genannten Schranke, ab der die Vorkrümmung berücksichtigt werden soll.



Wir schließen den Dialog mit [OK] und klicken die Stütze an, um dieser die Imperfektion zuzuweisen.

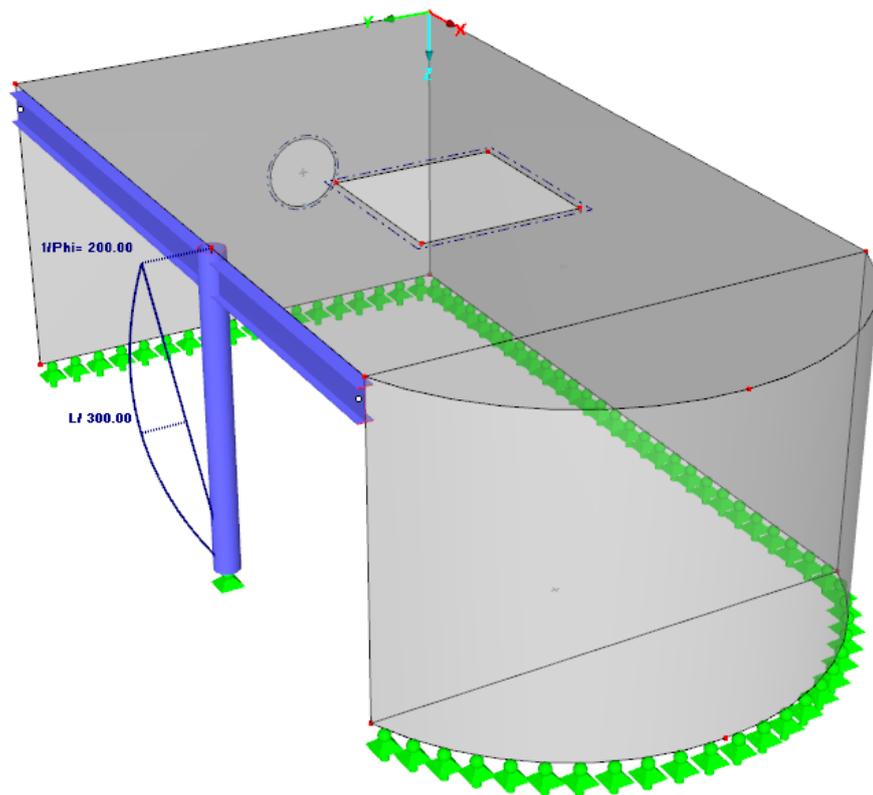


Bild 3.53: Imperfektion der Stütze im Lastfall 3

Damit ist die Eingabe der drei Lastfälle abgeschlossen.



Sie können nun im Schnelldurchlauf die einzelnen Lastfälle nochmals grafisch kontrollieren. Benutzen Sie einfach die Schaltflächen [◀] und [▶] in der Symbolleiste für den vorherigen bzw. nächsten Lastfall, um durch die einzelnen Lastfälle zu blättern.

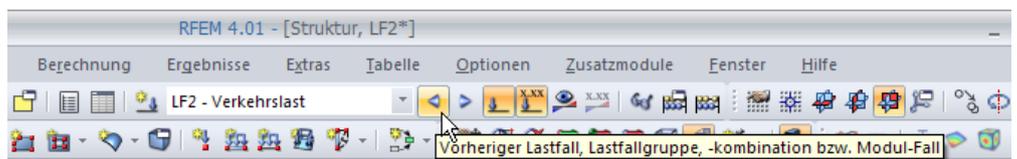


Bild 3.54: Blättern durch die einzelnen Lastfälle

3.5 Kombination der Einwirkungen

Die einzelnen Lastfälle sind nun in Lastfallkombinationen bzw. Lastfallgruppen zusammenzufassen. Der grundsätzliche Unterschied zwischen den beiden Überlagerungsarten besteht darin, dass in Lastfallgruppen die **Belastungen** aus den enthaltenen Lastfällen zusammengefasst und als Ganzes berechnet werden. In Lastfallkombinationen werden die **Ergebnisse** aus den berechneten Lastfällen überlagert. Als Ergebnisse erhält man hier immer Maxima und Minima, also zwei Werte pro Stelle.

3.5.1 Lastfallkombination definieren

Die Berechnung der Stahlbetonbauteile erfolgt nach Theorie I. Ordnung. Es wird eine Lastfallkombination angelegt.



Klicken Sie mit der rechten Maustaste den Navigatoreintrag *Lastfallkombinationen* an und öffnen über das Kontextmenü den Dialog *Neue Lastfallkombination*.

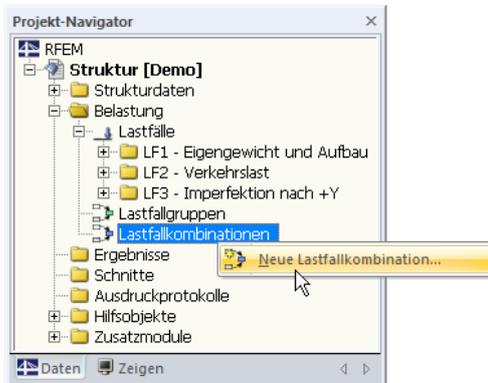


Bild 3.55: Anlegen einer Lastfallkombination mit dem Kontextmenü

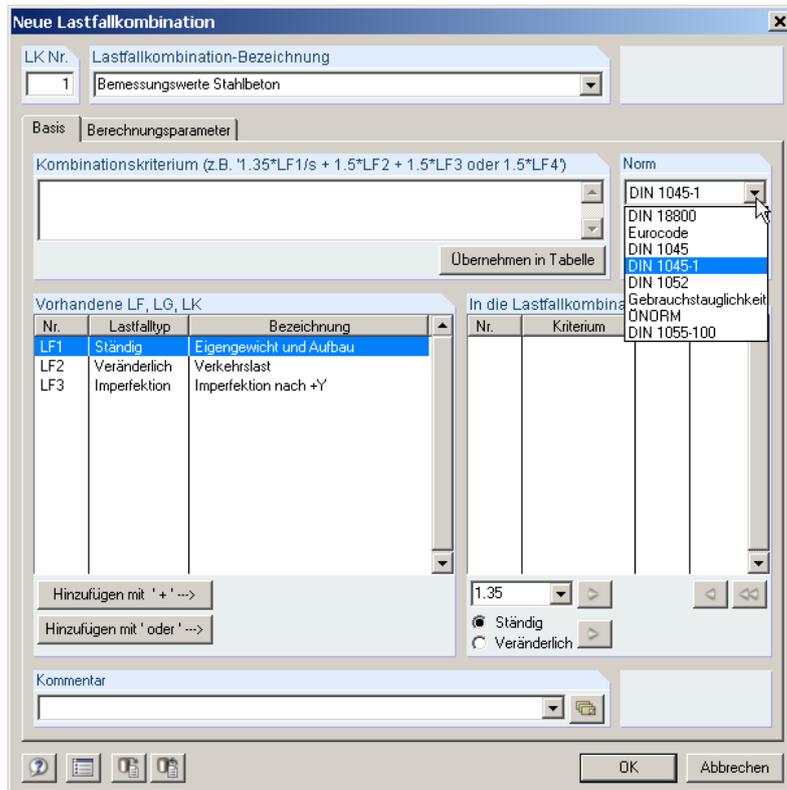


Bild 3.56: Dialog *Neue Lastfallkombination*, Auswahl der Norm

Die LK Nr. 1 ist bereits voreingestellt. Als Lastfallkombination-Bezeichnung tragen wir **Bemessungswerte Stahlbeton** ein.

Als Norm für das Kombinationsschema stellen wir über die Liste **DIN 1045-1** ein. Es sollen ständige Lasten und Verkehrslasten nach folgender Vorschrift überlagert werden:

$$1.35 * LF1 + 1.50 * LF2$$

In der Liste *Vorhandene LF, LG, LK* selektieren wir die beiden ersten Lastfälle wie gewohnt, indem wir beim Klicken mit der Maus die [Strg]-Taste gedrückt halten.

Mit der Schaltfläche [Hinzufügen mit '+'] wird die Lastfallkombination gebildet.

Hinzufügen mit '+' --->

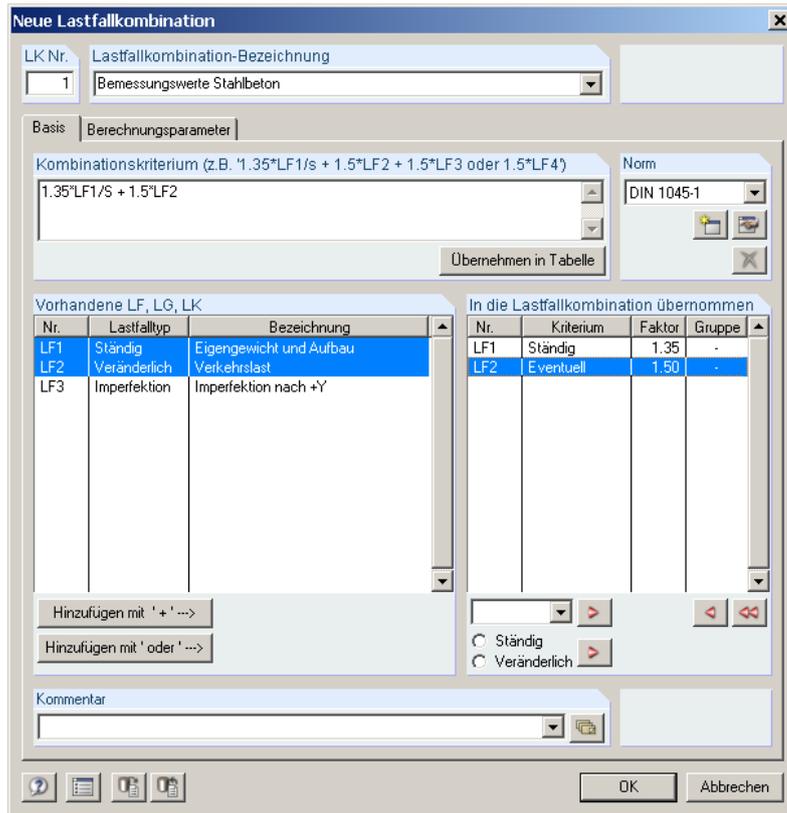


Bild 3.57: Dialog *Neue Lastfallkombination*

Zur Selektion der Lastfälle kann gemäß Windows-Standard auch die Mehrfachselektion mit gedrückter [Shift]-Taste benutzt werden. Versehentlich hinzugefügte Lastfälle lassen sich mit der Schaltfläche [◀] wieder aus der Lastfallkombination entfernen.

Abschließend bestätigen wir die Eingaben mit [OK].

3.5.2 Lastfallgruppe definieren

Die Einwirkungen sind noch für die Berechnung der Stahlbauteile nach Theorie II. Ordnung zu kombinieren. Es wird eine Lastfallgruppe für die Bemessungswerte nach DIN 18800 mit Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungsseite gebildet.

Wir klicken in der Werkzeugleiste auf die links dargestellte Schaltfläche und wählen im sich öffnenden Menü die Funktion **Neue Lastfallgruppe** aus. Es öffnet sich folgender Dialog.

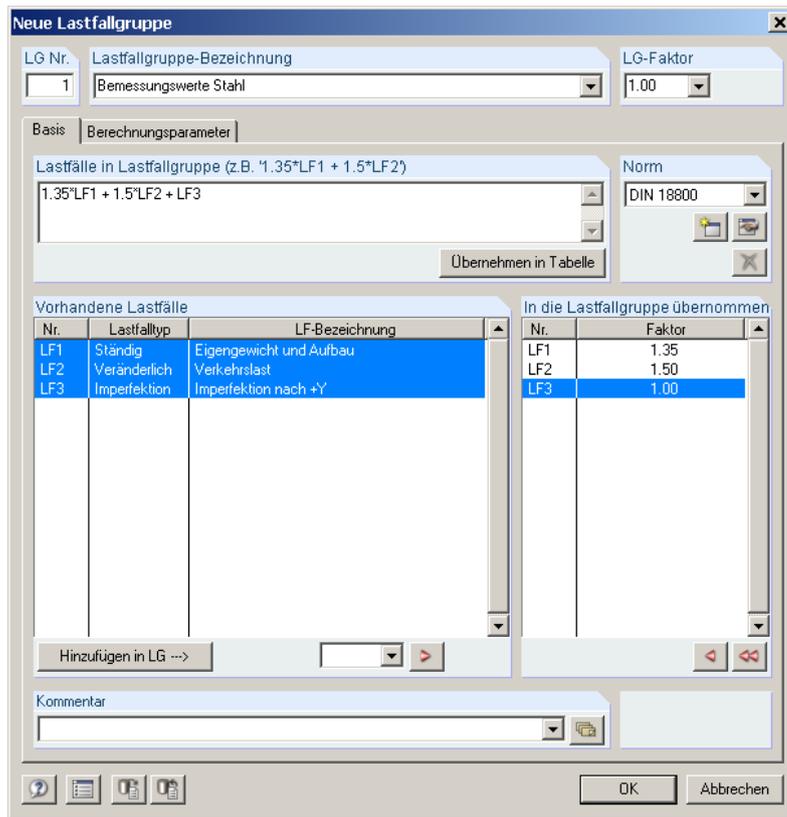
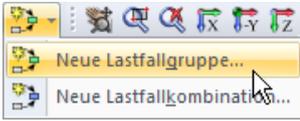


Bild 3.58: Dialog *Neue Lastfallgruppe*

Dieser Dialog ist wie der einer Lastfallkombination aufgebaut. Es fehlt allerdings die Möglichkeit der Bildung von „Oder“-Gruppen für Alternativuntersuchungen.

Die *LG Nr.* 1 und der globale *LG-Faktor* 1.00 sind bereits voreingestellt. Als *Lastfallgruppe-Bezeichnung* geben wir **Bemessungswerte Stahl** ein.

Als *Norm* für das Kombinationsschema ist **DIN 18800** eingestellt. Die Lastfallgruppe soll alle drei Einwirkungen enthalten und folgendermaßen definiert sein:

$$1.35 * LF1 + 1.50 * LF2 + 1.0 * LF3$$

Hinzufügen in LG -->

In der Liste *Vorhandene Lastfälle* selektieren wir nacheinander alle drei Lastfälle, indem wir beim Klicken mit der Maus wieder die [Strg]-Taste gedrückt halten. Mit der Schaltfläche [Hinzufügen in LG] wird die Lastfallgruppe gebildet. Die Teilsicherheitsfaktoren werden dabei automatisch zugewiesen. Falls man mehrere veränderliche Lasten kombiniert, werden die Teilsicherheitsfaktoren mit $\psi = 0.9$ abgemindert.

Im Register *Berechnungsparameter* dieses Dialogs überprüfen wir, ob dort im Abschnitt *Berechnungstheorie* das Kontrollfeld **II. Ordnung** aktiviert ist.

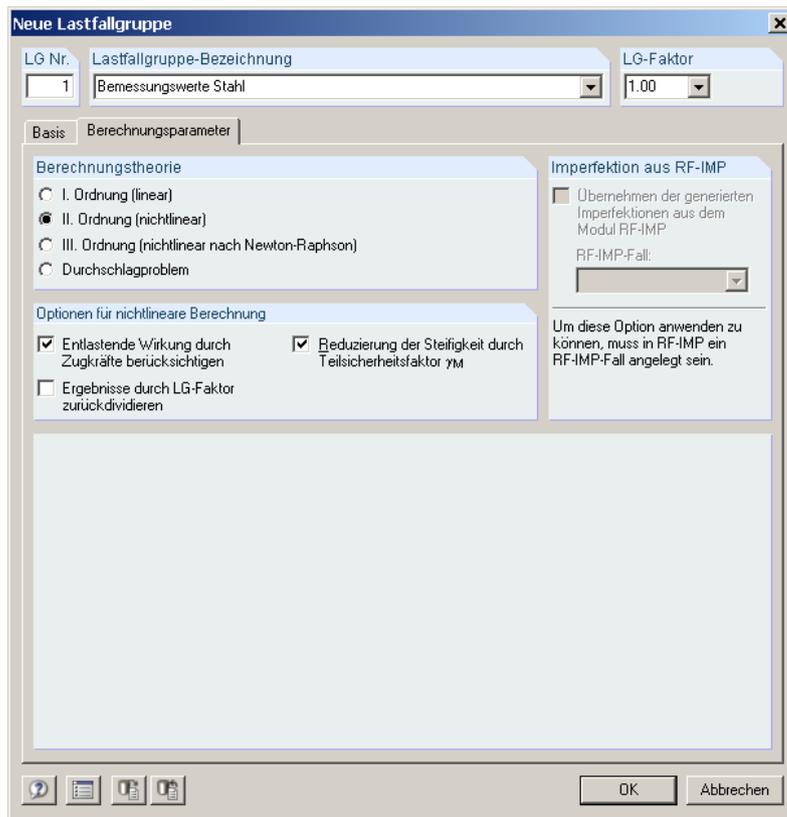


Bild 3.59: Dialog *Neue Lastfallgruppe*, Register *Berechnungsparameter*

Nach [OK] werden alle in dieser Lastfallgruppe enthaltenen Lasten grafisch dargestellt.



Einen guten Überblick über die eingegebenen Struktur- und Belastungsdaten verschafft der *Daten-Navigator* am linken Bildschirmrand. Durch Doppelklicken eines bestimmten Eintrags in dieser Baumstruktur gelangt man schnell in den entsprechenden Bearbeitungsdialog. Wird vor einem Eintrag ein [+] angezeigt, so sind wie im Windows-Explorer weitere Unterpunkte vorhanden.

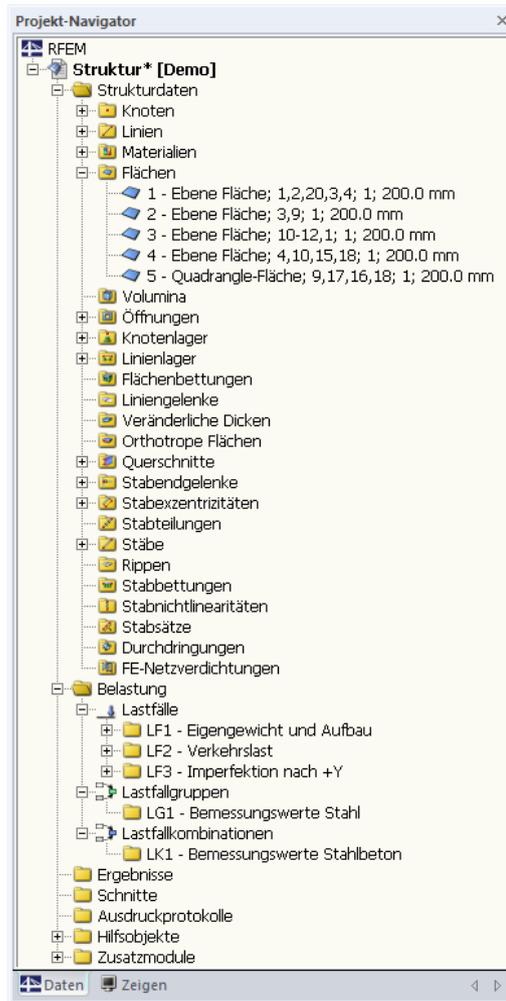


Bild 3.60: Daten-Navigator

3.6 Berechnung

3.6.1 Plausibilitätskontrolle durchführen



Wir lassen vor der Berechnung die Eingabedaten noch auf etwaige Fehler hin überprüfen. Rufen Sie das Menü **Extras** → **Plausibilität kontrollieren** auf und treffen im erscheinenden Dialog *Plausibilitätskontrolle* folgende Einstellungen:



Bild 3.61: Dialog *Plausibilitätskontrolle*

Werden nach [OK] keine Unstimmigkeiten entdeckt, erscheint eine entsprechende Meldung mitsamt Bilanz.

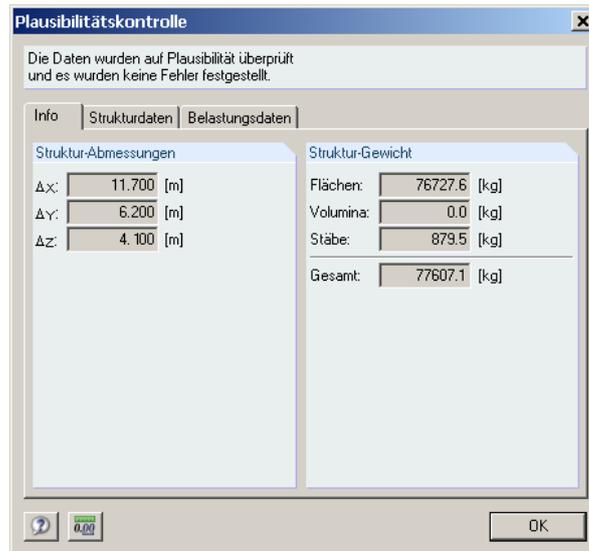


Bild 3.62: Ergebnis der Plausibilitätskontrolle

3.6.2 FE-Netz erzeugen

Da wir im *Plausibilitätskontrolle*-Dialog das Kontrollfeld *FE-Netz generieren* aktiviert hatten (Bild 3.61), wurde automatisch ein Netz mit der Standardmaschenweite von 50 cm erzeugt. Dieses FE-Netz wird in der Grafik dargestellt.

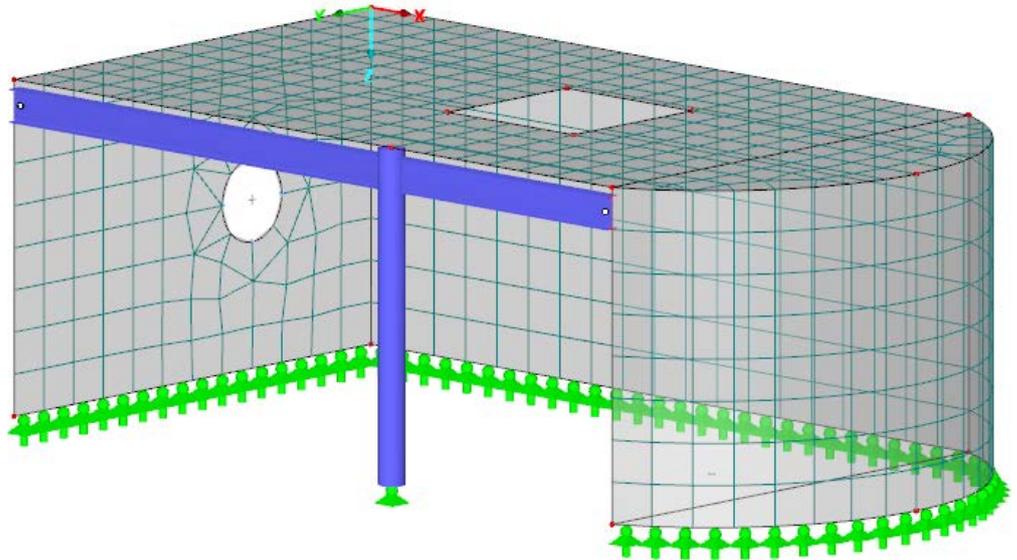


Bild 3.63: Modell mit generiertem FE-Netz

In unserem Beispiel soll die Erzeugung des FE-Netzes noch an markanten Stellen beeinflusst werden. Ecken von Aussparungen und Flächen oder Knoten mit Einzellasten erweisen sich für Netzverdichtungen meist als ungünstig, da dadurch die Singularitätseffekte verstärkt werden. Im Rahmen unseres Beispiels jedoch wird dieser Effekt bewusst in Kauf genommen: An den Ecken der Deckenöffnung sollen Verdichtungsgebiete definiert werden.

Doppelklicken Sie einen der vier Eckknoten, um den Dialog *Knoten bearbeiten* zu öffnen. Im Register *FE-Netz* wird dann das Kontrollfeld **Vorhanden** aktiviert.

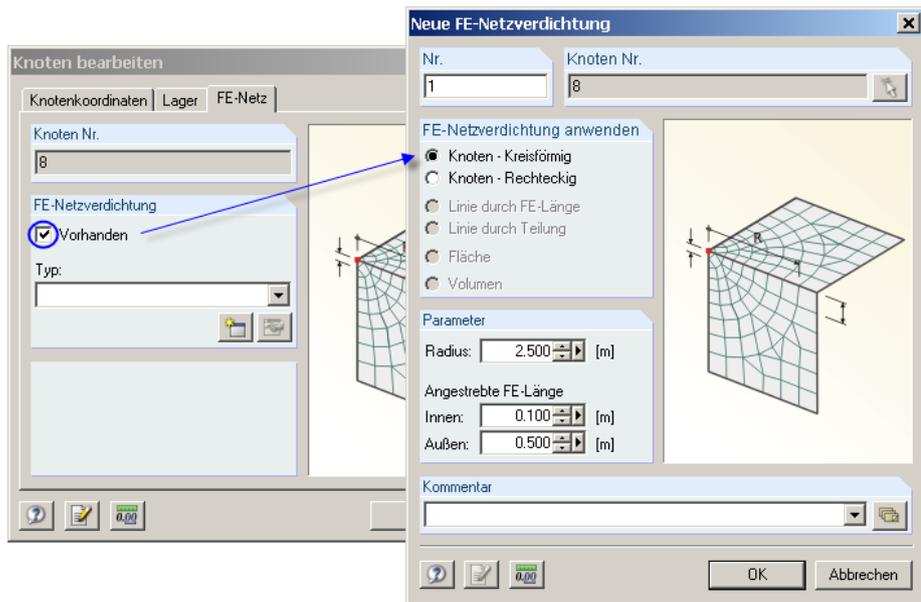


Bild 3.64: Dialoge *Knoten bearbeiten* und *Neue FE-Netzverdichtung*

Da noch kein FE-Netzverdichtungstyp definiert ist, öffnet sich automatisch der Dialog zur Eingabe einer neuen Verdichtung.

Für unser Beispiel wählen wir den Verdichtungstyp **Knoten - Kreisförmig**. Die vorgeschlagenen *Parameter* übernehmen wir unverändert und schließen den Dialog mit [OK]. Damit wird das FE-Netz gelöscht und der kreisförmige Verdichtungsbereich in der Grafik angezeigt.

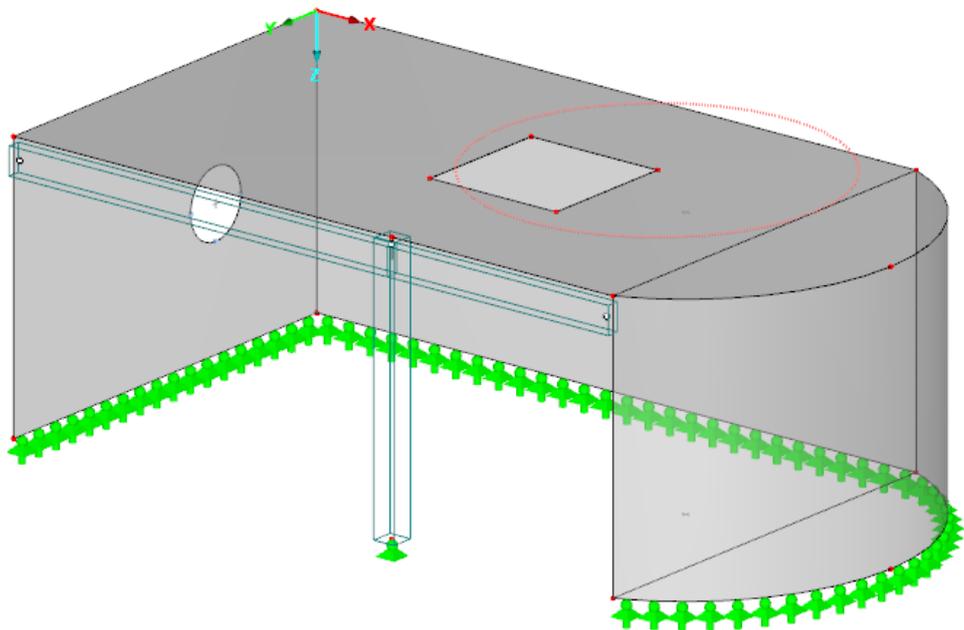


Bild 3.65: Grafische Darstellung der FE-Netzverdichtung



Dieser Verdichtungsbereich kann jetzt grafisch mit der Maus auf die übrigen drei Öffnungsknoten kopiert werden (falls erforderlich, stellen Sie vorher über *Zoomen* eine vergrößerte Ansicht des Aussparungsbereichs her): Ziehen Sie mit der gedrückten linken Maustaste den Verdichtungskreis jeweils auf den nächsten Knoten und halten dabei die [Strg]-Taste gedrückt. Sobald der neue Kreis am Knoten angezeigt wird, lösen Sie die Maustaste.

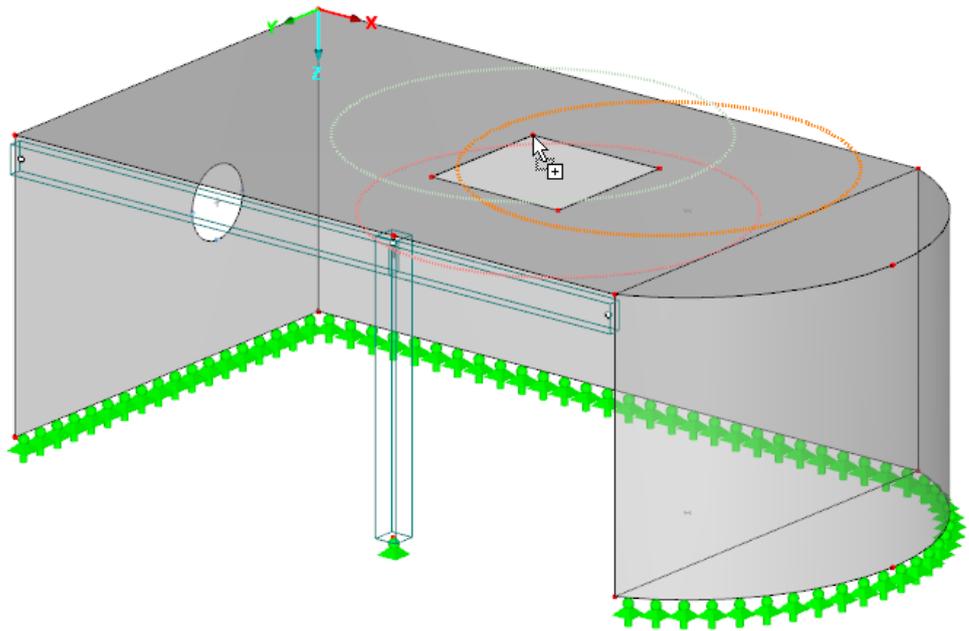


Bild 3.66: Grafisches Kopieren einer FE-Netzverdichtung



Sind alle vier Öffnungsknoten mit einer Verdichtung versehen, lassen wir das FE-Netz erneut über Menü **Berechnung** → **FE-Netz generieren** erzeugen und kontrollieren anschließend die Verdichtungsbereiche.

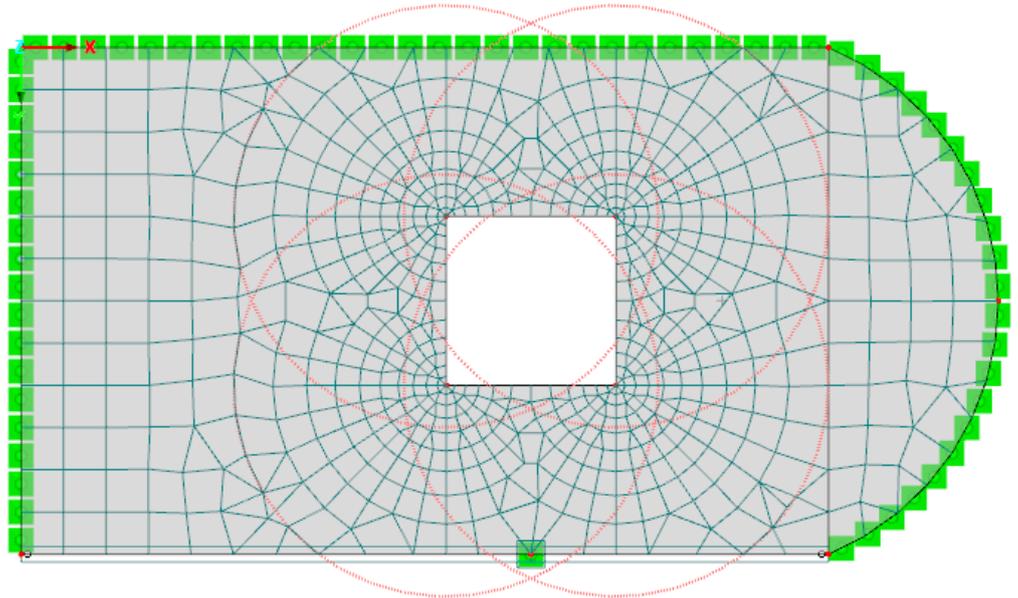


Bild 3.67: Deckenplatte mit Netzverdichtungen (Ansicht in Z-Richtung)

3.6.3 Struktur berechnen



Die Berechnung kann nun über Menü **Berechnen** → **Alles berechnen** oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste gestartet werden.

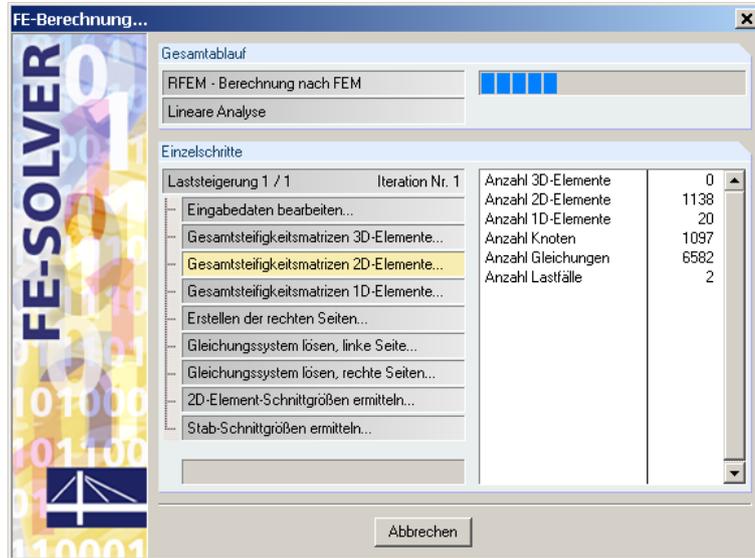


Bild 3.68: Berechnung der Ergebnisse

3.7 Ergebnisse

3.7.1 Grafische Ergebnisse



Nach der Berechnung werden die Verformungen des aktuellen Lastfalls grafisch angezeigt.

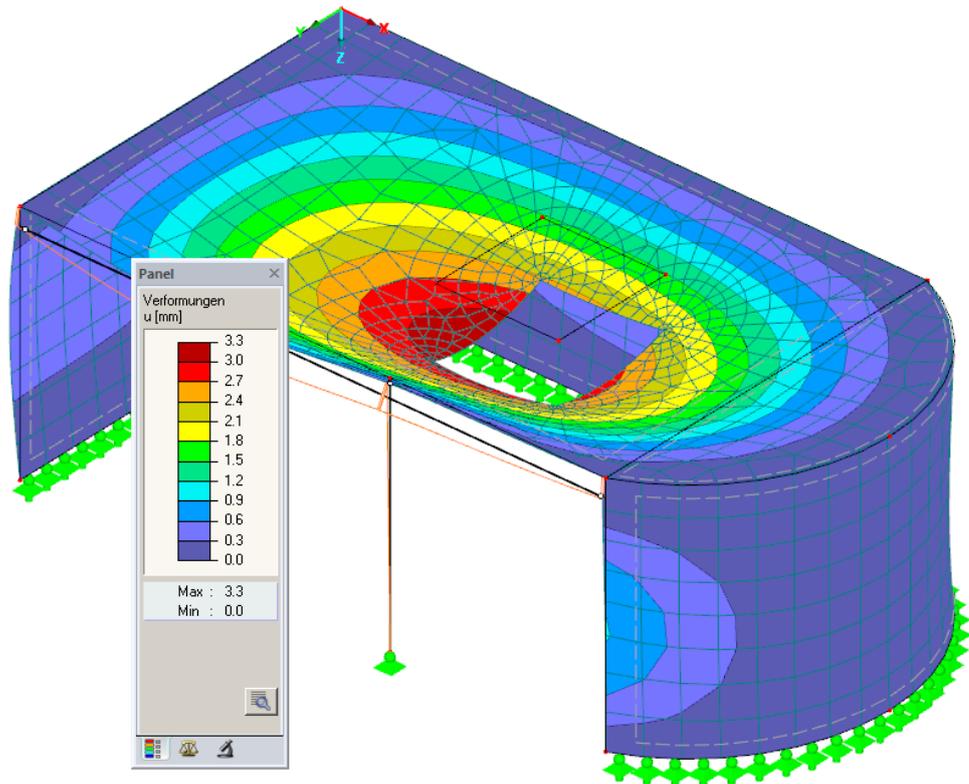


Bild 3.69: Grafik der Verformungen im Lastfall 1



Wir können nun mit den Schaltflächen [◀] und [▶] in der Symbolleiste (rechts neben der Lastfall-Liste) zwischen den Ergebnissen der Lastfälle, LF-Gruppe und LF-Kombination wechseln, wie wir es schon von der Kontrolle der einzelnen Lastfälle her kennen. Die Auswahl kann selbstverständlich auch über die Liste erfolgen.

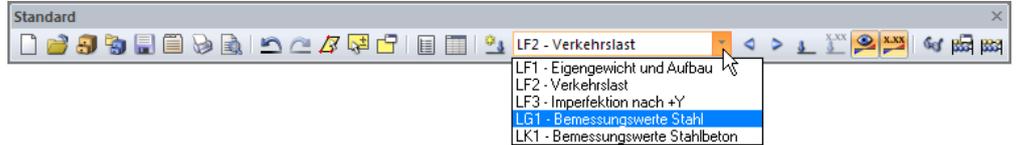


Bild 3.70: Auswahlliste in Standard-Symbolleiste

Wenn man mit dem Mauszeiger kurz über einer bestimmten Schaltfläche der Symbolleiste verweilt, erscheint eine Kurzinformation zur jeweiligen Funktion.



Um die grafische Ausgabe der Ergebnisse übersichtlich zu gestalten, werden die einzelnen Ergebnisarten in einem eigenen Navigator präsentiert. Damit der *Ergebnisse*-Navigator zugänglich ist, muss die Ergebnisanzeige aktiv sein. Die Darstellung der Ergebnisse lässt sich im *Zeigen*-Navigator oder mit der Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] ein- und ausblenden.



Bild 3.71: *Ergebnisse*-Navigator

Vor den Kategorien der Ergebnisse (*Verformungen*, *Stäbe*, *Flächen*, *Lagerreaktionen*) befinden sich Kontrollfelder. Wenn man eines davon aktiviert, wird die entsprechende Schnittgröße oder Verformung angezeigt. Vor den Einträgen innerhalb dieser Kategorien befinden sich weitere Felder, über die man die anzuzeigende Ergebnisart einstellen kann. Blättern Sie ein wenig durch die verschiedenen Lastfälle und kontrollieren die jeweiligen Verformungen, Schnittgrößen oder Lagerreaktionen.



Die Zuordnung der Farbbereiche wird anhand der Farbskala im Steuerpanel ersichtlich. Oft werden jedoch an bestimmten Stellen genaue Zahlenwerte benötigt. Hierzu aktiviert man im *Ergebnisse*-Navigator die Kategorie *Werte an Flächen* ganz unten, um die Zahlenwerte der FE-Netz-Knoten oder in den Rasterpunkten der Fläche darzustellen.

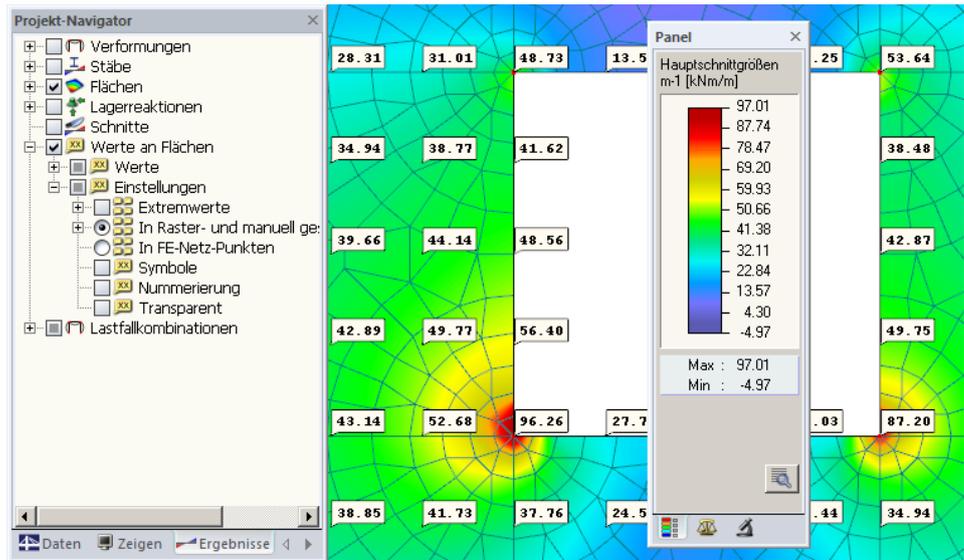


Bild 3.72: Darstellung der Ergebnisse in den Rasterpunkten

3.7.2 Ergebnistabellen



Die Ergebnisse werden auch numerisch in Form von Tabellen gelistet. Werfen Sie deshalb kurz einen Blick auf diese Ergebnisdaten.



Wie bei der numerischen Eingabe gibt es auch für die Ergebnisse separate Tabellen, die über die Registerreiter angesteuert werden. Sucht man beispielsweise die Ergebnisse einer bestimmten Fläche in der Tabelle, so stellt man die Tabelle 3.10 *Flächen - Grundschnittgrößen* ein und selektiert diese Fläche dann mit einem Mausklick in der Grafik (das aktive Rendering erleichtert die Auswahl von Flächen). In der Ergebnistabelle erfolgt dann ein Sprung zu den Grundschnittgrößen der selektierten Fläche.



Fläche Nr.	Raster Punkt	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	0.000	0.000	0.000	3.20	3.35	0.06	33.13	-34.42	-38.90	-39.96	25.11	
2	0.500	0.000	0.000	-0.82	-6.92	-6.21	51.17	8.41	-24.60	-21.43	-1.34	
3	1.000	0.000	0.000	-3.33	-12.58	-7.28	63.03	17.07	-14.61	-13.90	-5.45	
4	1.500	0.000	0.000	-4.78	-17.96	-7.49	64.63	26.94	-9.97	-9.77	-8.36	
5	2.000	0.000	0.000	-6.31	-23.76	-7.20	59.49	38.00	-10.66	-9.23	-13.09	
6	2.500	0.000	0.000	-6.10	-26.57	-7.62	60.38	48.64	-11.47	-5.29	-11.53	
7	3.000	0.000	0.000	-5.00	-30.18	-5.93	41.04	45.39	-17.54	-1.06	-11.11	
8	3.500	0.000	0.000	-7.37	-33.54	-5.42	34.61	46.31	-17.11	-16.23	-12.39	
9	4.000	0.000	0.000	-8.94	-36.98	-3.89	24.31	52.03	-21.38	-2.50	-22.04	
10	4.500	0.000	0.000	-9.18	-39.29	-2.98	17.45	48.55	-27.53	-10.32	-19.44	
11	5.000	0.000	0.000	-8.23	-39.86	-0.35	-6.30	56.42	-30.65	-20.03	-24.37	
12	5.500	0.000	0.000	-8.13	-41.76	1.50	4.50	45.77	-28.57	-0.92	-28.51	
13	6.000	0.000	0.000	-8.54	-43.48	1.51	13.89	60.31	-32.57	-12.19	-29.26	
14	6.500	0.000	0.000	-7.90	-38.11	2.13	21.49	41.81	-34.77	-10.44	-29.33	
15	7.000	0.000	0.000	-7.78	-36.14	3.82	36.12	51.67	-35.82	-9.25	-35.21	

Bild 3.73: Ergebnistabelle 3.10 *Flächen - Grundschnittgrößen*



Wie in der Grafik können wir mit den Schaltflächen [◀] und [▶] durch die Lastfälle blättern oder über die Auswahlliste die Ergebnisse eines bestimmten Lastfalls ansteuern.

Diese Flächenschnittgrößen werden in den Rasterpunkten ausgegeben, die für die jeweilige Fläche definiert sind. Standardmäßig liegt dem Ergebnistraster – wie dem FE-Netz – eine Maschenweite von 50 cm zugrunde. Im Dialog *Fläche bearbeiten*, den man per Doppelklick auf die Fläche oder den Eintrag im *Daten-Navigator* aufruft, kann man die *Raster-Parameter* im Register *Raster* entsprechend anpassen.

3.8 Dokumentation

3.8.1 Ausdruckprotokoll anlegen

Die umfangreichen Ergebnisse einer FE-Berechnung werden normalerweise nicht direkt zum Drucker geleitet. Aus den Ein- und Ausgabedaten wird eine Druckvorschau erzeugt – das so genannte Ausdruckprotokoll. In diesem Ausdruckprotokoll wird entschieden, welche Daten letztendlich ausgedruckt werden sollen. Es können dort zudem Grafiken, Kommentare und auch Ergebnisse aus anderen Programmen eingefügt werden.



Wir starten das Ausdruckprotokoll über Menü **Datei** → **Ausdruckprotokoll öffnen** oder die entsprechende Schaltfläche. Es erscheint zunächst ein Dialog, in dem man eine Bezeichnung für das neue Ausdruckprotokoll vergeben kann.



Bild 3.74: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*

Das Protokoll kann auf der Basis bereits definierter *Muster* gebildet werden. Wir bestätigen diesen Dialog jedoch ohne Änderung und lassen die Druckvorschau erstellen.

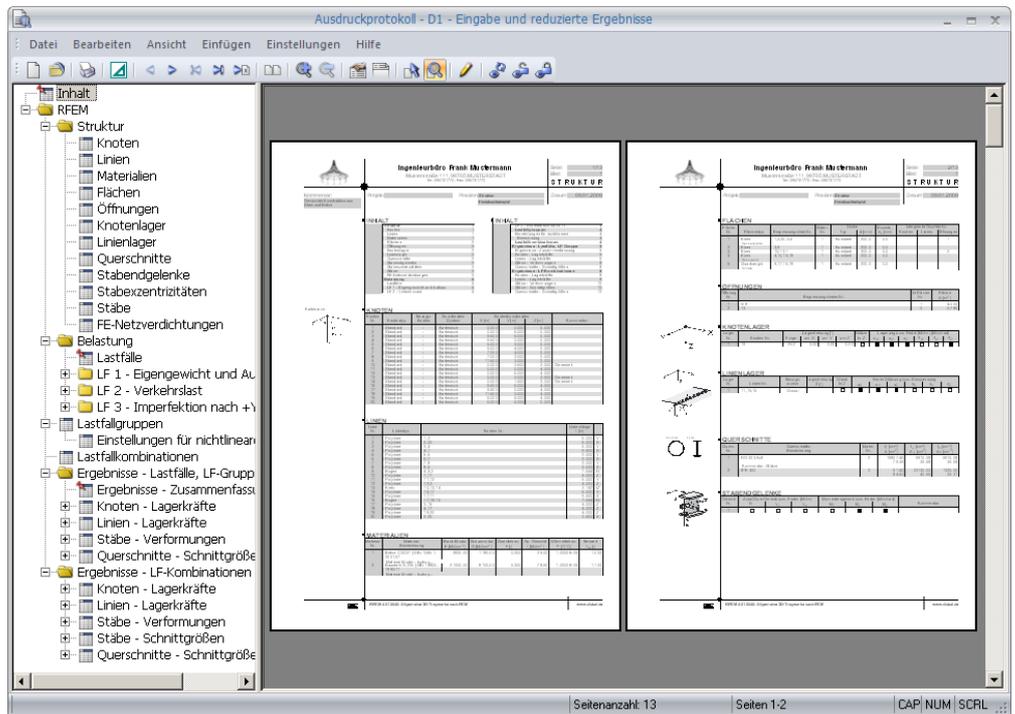


Bild 3.75: Druckvorschau im Ausdruckprotokoll

3.8.2 Ausdruckprotokoll aufbereiten

Auf der linken Seite wird ein Navigator mit allen Kapiteln des Protokolls angezeigt. Um zu einem bestimmten Kapitel zu gelangen, klicken wir einfach den entsprechenden Navigator-eintrag an. Zu jedem Kapitel kann mit der rechten Maustaste ein Kontextmenü aufgerufen werden. Über dieses Kontextmenü kann das Kapitel beispielsweise aus dem Protokoll entfernt oder im Hinblick auf die Detailangaben verändert werden.

Wir klicken im Kapitel *Ergebnisse - LF-Kombinationen* den Eintrag *Stäbe - Schnittgrößen* mit der rechten Maustaste an und wählen dann im Kontextmenü die *Selektion*.

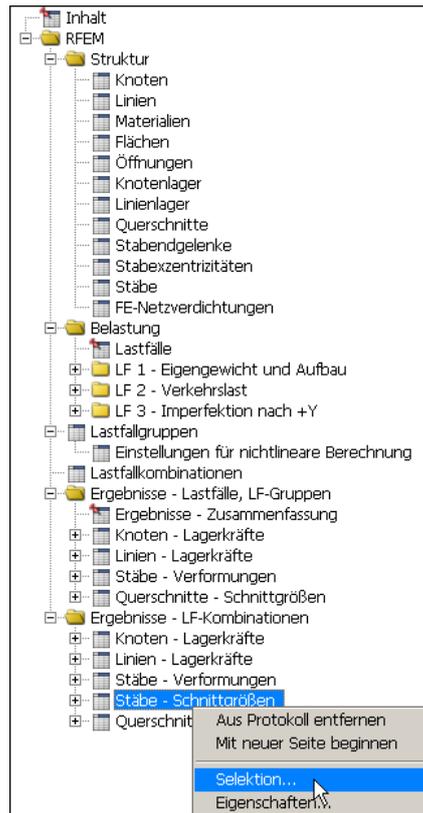


Bild 3.76: Kontextmenü *Stäbe - Schnittgrößen*

Es öffnet sich ein Dialog mit detaillierten Auswahlmöglichkeiten für die LK-Ergebnisse.

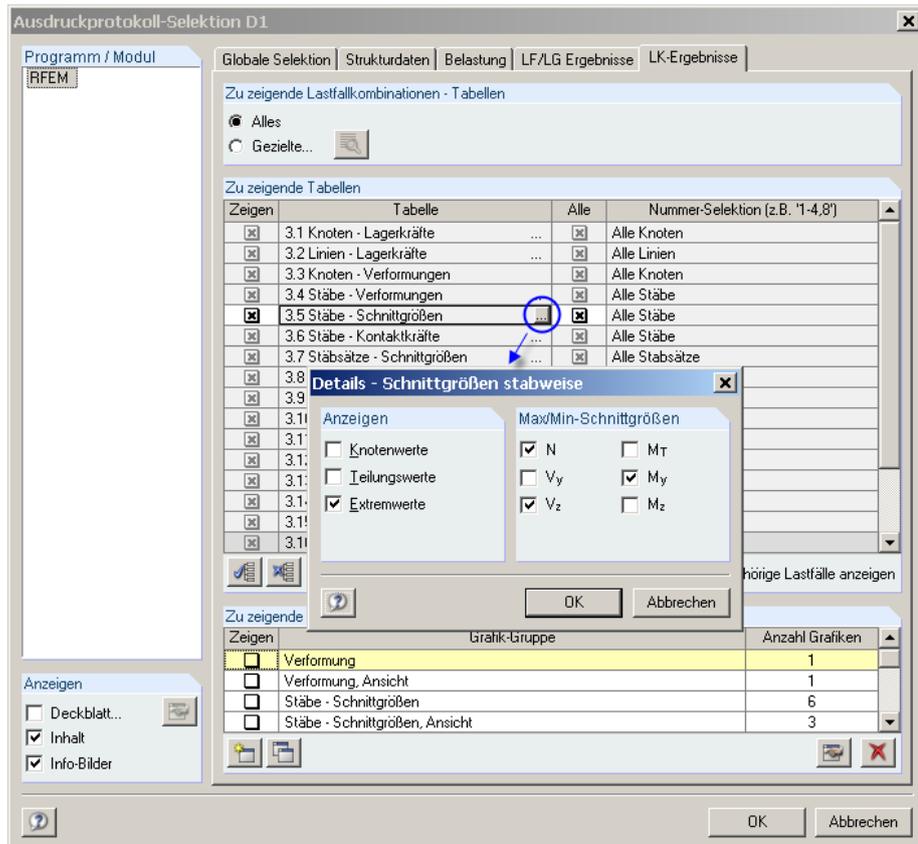


Bild 3.77: Dialog Ausdruckprotokoll-Selektion mit Detailvorgaben



Wir platzieren den Cursor in der weiß gekennzeichneten Zeile der Spalte *Tabelle*. Damit wird wie im Bild oben dargestellt eine Schaltfläche mit drei Pünktchen zugänglich. Wir klicken diese an und öffnen so einen weiteren Dialog mit Detaileinstellungen. Dort beschränken wir die Druckausgabe auf die **Extremwerte** der Stabschnittgrößen **N**, **V_z** und **M_y**.

Wenn wir die beiden Dialoge jeweils mit [OK] bestätigen, erscheinen die Schnittgrößen der LK1 wie vorgegeben in reduziertem Umfang.

In gleicher Weise kann jedes Kapitel für die Druckausgabe beliebig angepasst werden. Um die Position eines Kapitels im Dokument zu verändern, wird es im Navigator einfach mit der Maus an die neue Stelle verschoben (Drag & Drop).

3.8.3 Grafiken in Ausdruckprotokoll aufnehmen

In der Regel wird eine Dokumentation durch Grafiken veranschaulicht. Hierzu schließen wir vorerst das Ausdruckprotokoll durch Anklicken von [x] oder über Menü **Datei** → **Beenden**. Bestätigen Sie die Abfrage, ob die Änderungen gespeichert werden sollen.



Wir stellen auf dem Bildschirm die Verformungen des LF1 - **Eigengewicht und Aufbau** dar und positionieren die Grafik passend. Zudem deaktivieren wir die gefüllte Darstellungsart der Struktur über die bereits bekannte Schaltfläche in der Symbolleiste.



Um diese Darstellung in das Protokoll zu übergeben, wählen wir Menü **Datei** → **Drucken** oder die entsprechende Schaltfläche. Der Dialog *Grafikausdruck* erscheint.

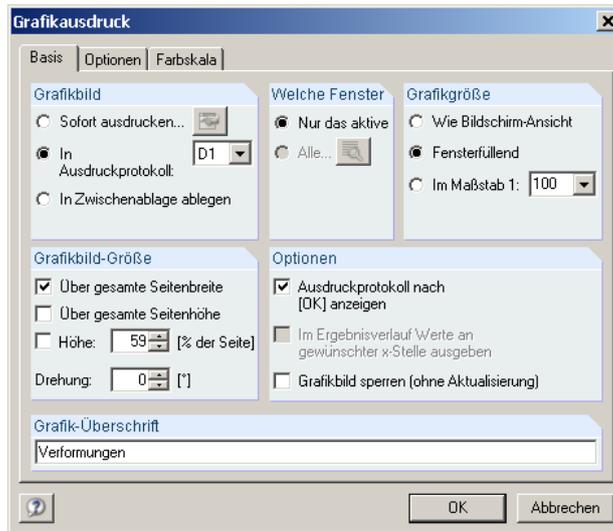


Bild 3.78: Dialog *Grafikausdruck*

Wir stellen die Druckparameter wie in Bild 3.78 gezeigt ein. In den Registern *Optionen* und *Farbskala* können noch weitere Eigenschaften für den Grafikausdruck festgelegt werden, wir belassen aber die Voreinstellungen. Mit [OK] wird die Grafik dann in das Ausdruckprotokoll gedruckt. Das Bild erscheint am Ende des Kapitels *Ergebnisse - Lastfälle, LF-Gruppen*.

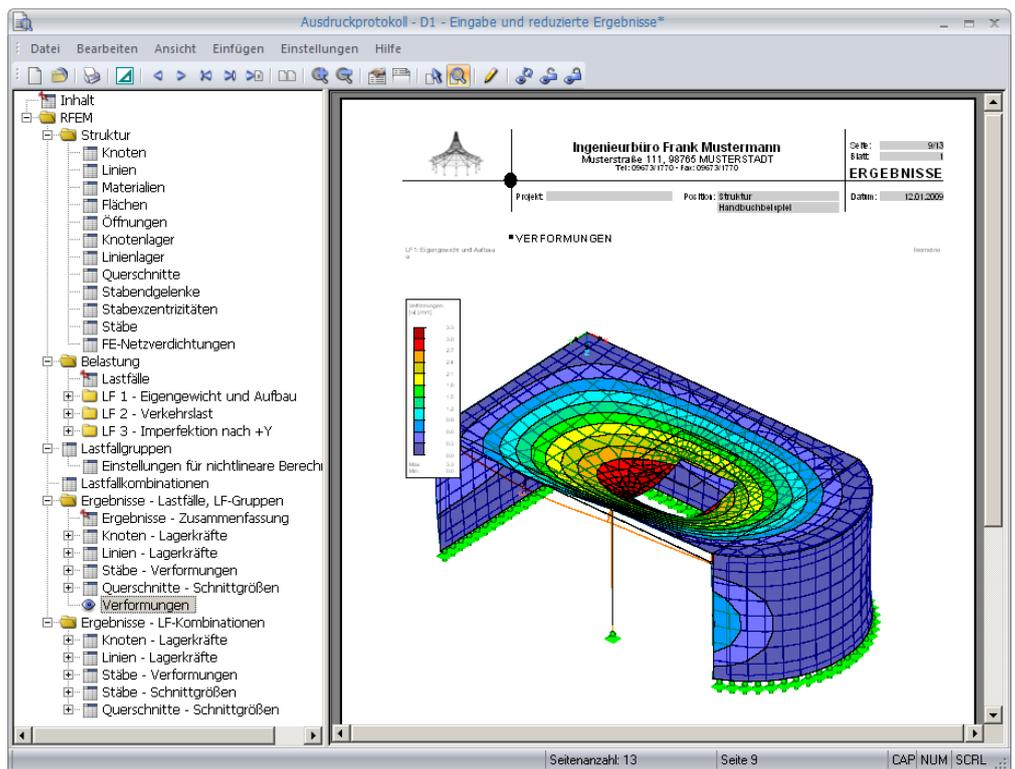


Bild 3.79: Ausdruckprotokoll mit Grafik

Abschließend soll noch eine Detailansicht des Momentenverlaufs der LG 1 für den Stahlträger gedruckt werden. Wir beenden das Ausdruckprotokoll und bestätigen die Abfrage, ob die Änderungen gespeichert werden sollen.

In der RFEM-Arbeitsfläche selektieren wir diesmal die Stäbe 2 und 3 auf eine andere Weise: Wir ziehen mit der Maus ein Fenster auf, in dem die beiden Stäbe vollständig enthalten sind. Wichtig ist, dass das Fenster von links nach rechts aufgezogen und der Lagerknoten der Stütze dabei nicht erfasst wird. Dadurch werden die Objekte selektiert, die vollständig in diesem Fenster liegen. Würde man das Fenster von rechts nach links aufziehen, wären auch die Objekte selektiert, die sich nur teilweise im Selektionsbereich befinden – somit unter anderem die Stütze, die nicht ausgewählt werden soll.



Wenn wir nun das Menü **Ergebnisse** → **Ergebnisverläufe an selektierten Stäben** oder die links dargestellte Schaltfläche nutzen, erscheint folgendes Fenster:

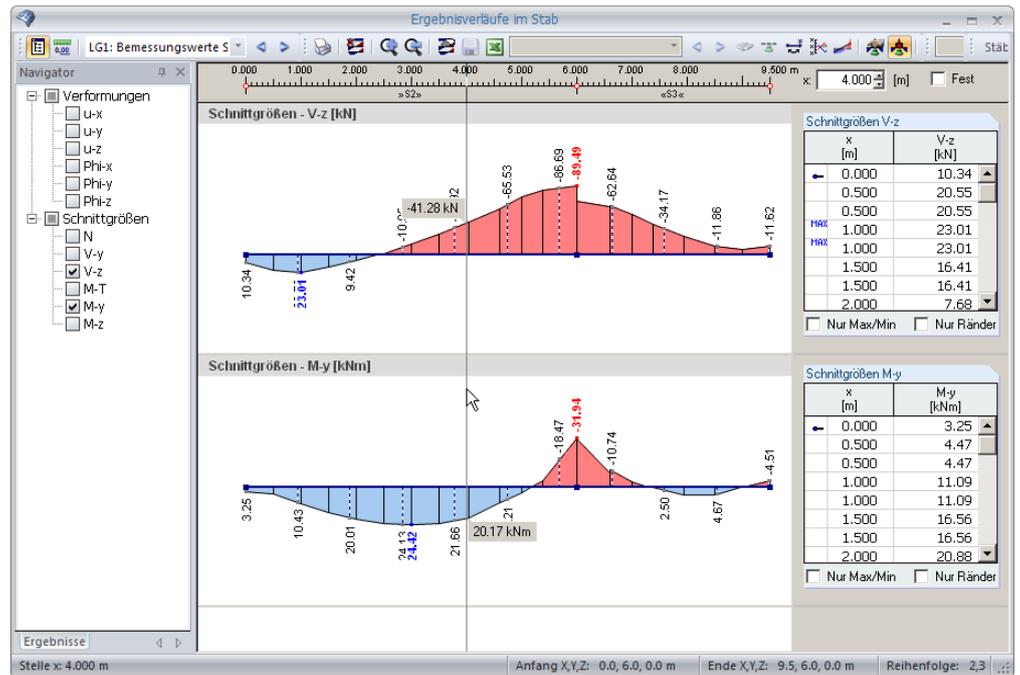


Bild 3.80: Ergebnisverläufe der Stäbe 2 und 3

In der Liste des aktiven Lastfalls links oben stellen wir die **LG 1** ein. Mithilfe des Mauszeigers lassen sich verschiedene Ergebniswerte am Stabzug ablesen, im Navigator links die diversen Ergebnisse der Verformungen und Schnittgrößen ein- und ausblenden. Wir aktivieren für den Ausdruck die Schnittgrößen **V-z** und **M-y**.



Mit der Schaltfläche [Drucken] in der Werkzeugleiste dieses Fensters rufen wir den Dialog **Grafikausdruck** auf. Dort stellen wir als **Grafikbild-Größe** **Über gesamte Seitenbreite** mit einer **Höhe** von **40 %** der Seite ein. Nach [OK] wird das Ausdruckprotokoll erstellt.

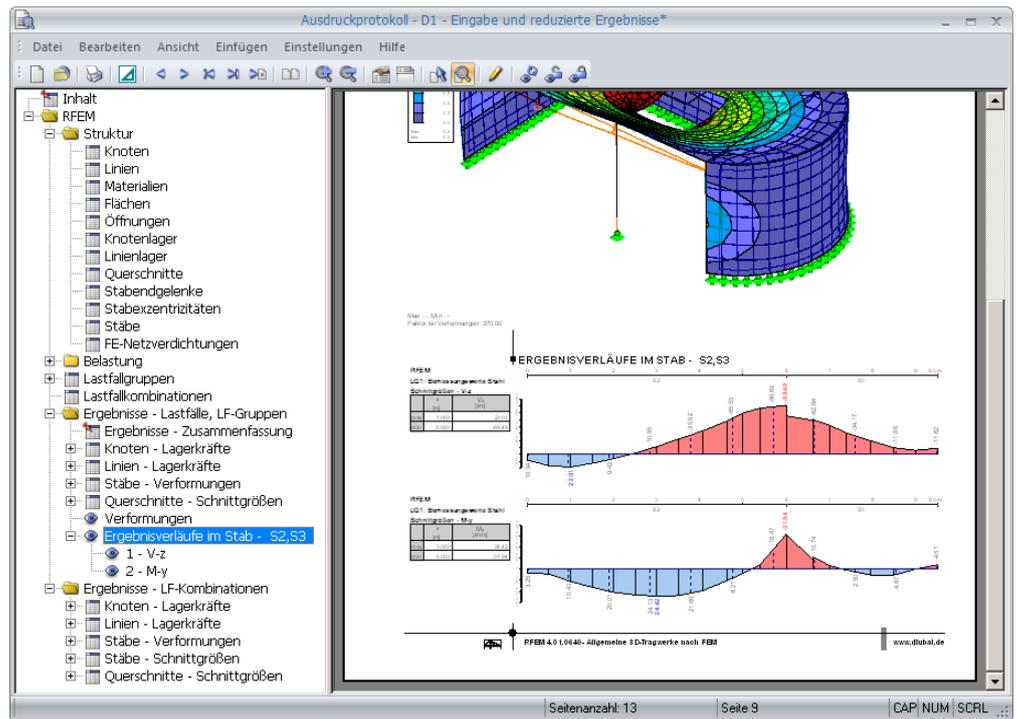


Bild 3.81: Ausdruckprotokoll mit Ergebnisverläufen



Ist das Ausdruckprotokoll entsprechend aufbereitet, kann es zum Drucker geschickt werden.

3.9 Ausblick

Nun sind wir am Ende unseres kleinen Beispiels angekommen. Wir hoffen, dass wir Ihnen mit dieser Kurzeinführung den Zugang zu RFEM eröffnet und Ihre Neugier auf noch unbekannte Funktionen geweckt haben. Die ausführliche Programmbeschreibung finden Sie in den folgenden Kapiteln dieses Handbuches.

In der RFEM Online-Hilfe, die Sie über das Menü **Hilfe** oder [F1] aufrufen, können Sie wie im Handbuch nach bestimmten Begriffen suchen. Die Online-Hilfe basiert auf dem Handbuch, ist aber mitunter aktueller als die Printversion.

Gerne können Sie sich mit Ihren Fragen auch an unsere Telefax- und E-Mail-Hotline wenden. Oder stöbern Sie einfach in den FAQs und im Anwenderforum unter www.dlubal.de.

4. Benutzeroberfläche

4.1 Überblick

Wenn Sie nach dem Start von RFEM eines der mitgelieferten Demobeispiele öffnen, wird sich Ihr Bildschirm wie in Bild 4.1 dargestellt präsentieren. Die Benutzeroberfläche entspricht den in Windows üblichen Konventionen.

In der folgenden Abbildung sind die wichtigsten Bereiche gekennzeichnet.

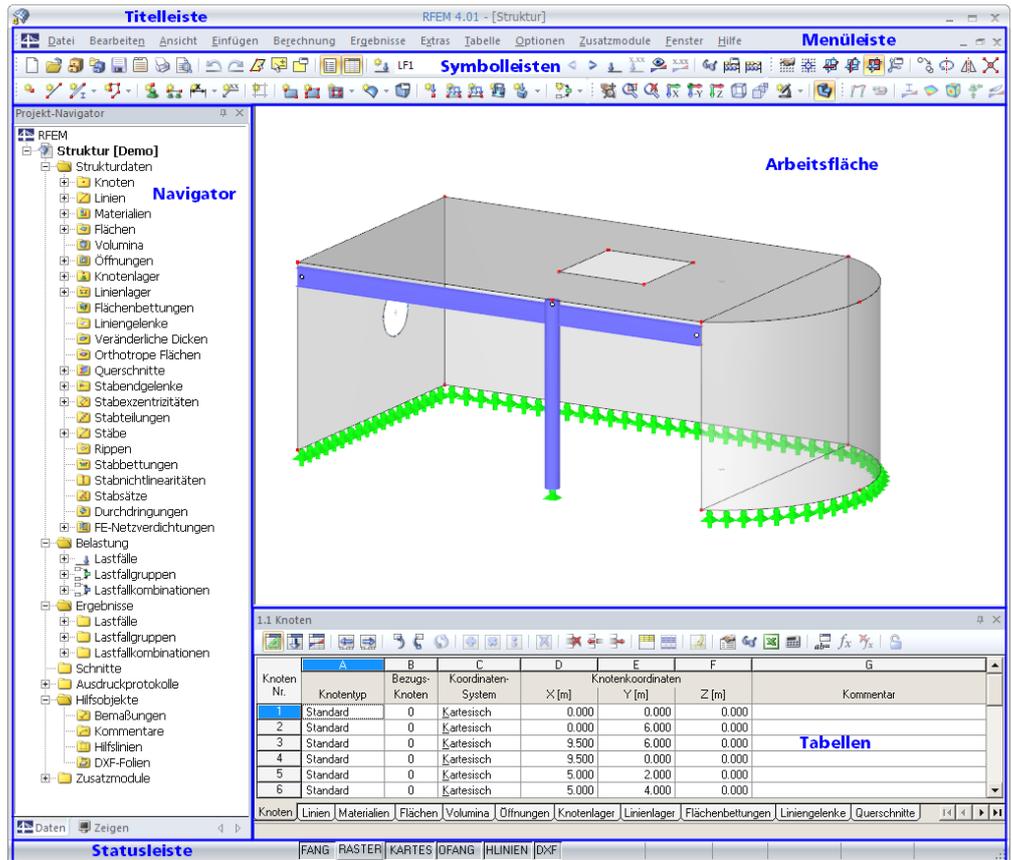
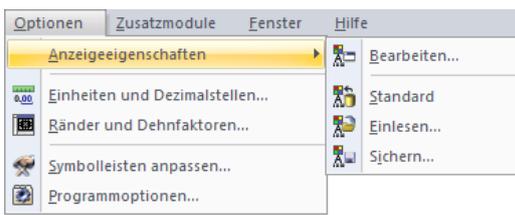
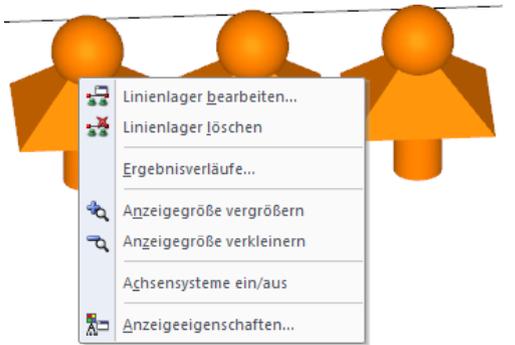
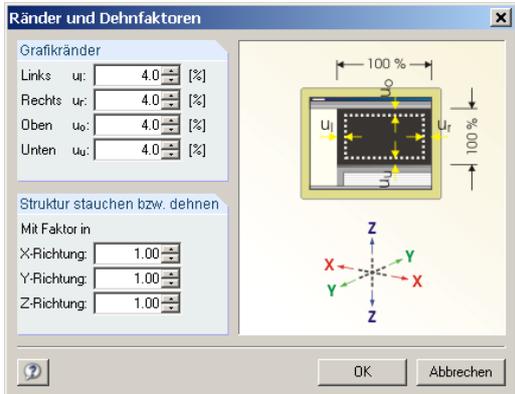


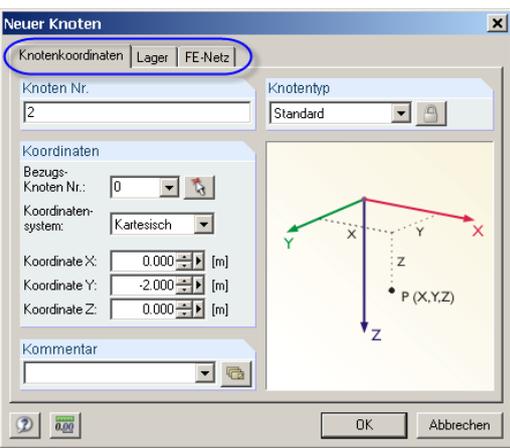
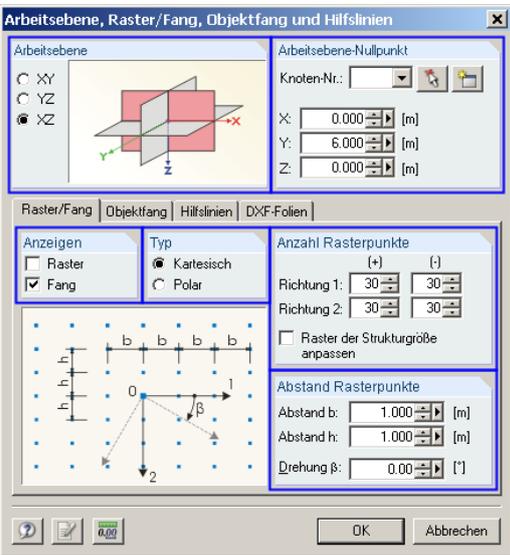
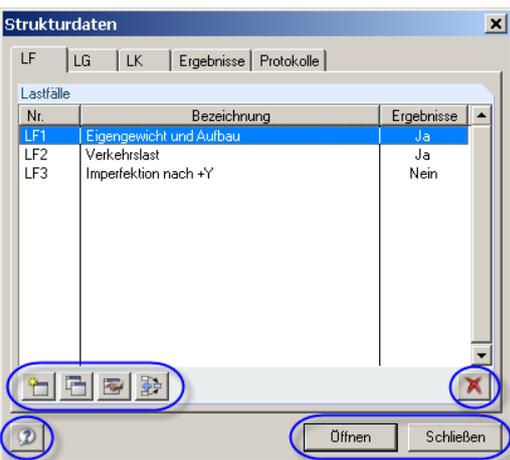
Bild 4.1: RFEM Benutzeroberfläche

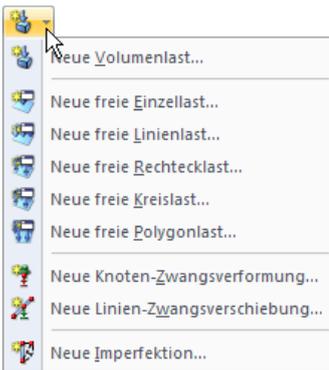
4.2 Verwendete Begriffe

In diesem Kapitel werden Begriffe der Benutzeroberfläche von Windows erläutert, die im Handbuch verwendet werden.

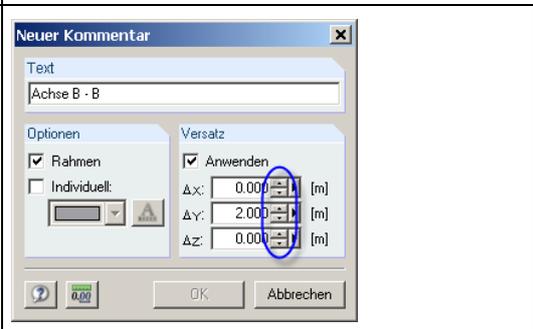
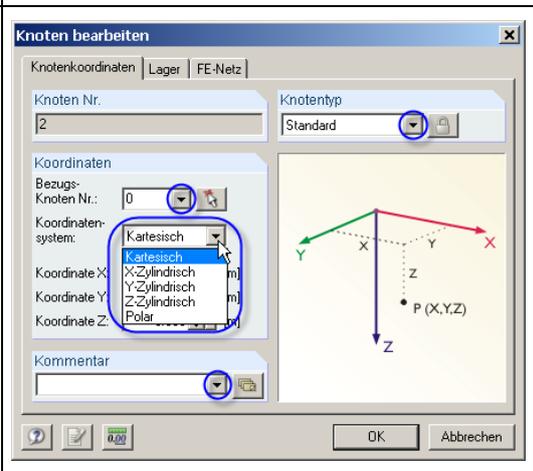
Für die einzelnen Elemente der Benutzeroberfläche sind die unterschiedlichsten Begriffe in Gebrauch. Dieses Handbuch benutzt die deutschsprachigen Ausdrücke. Einige Begriffe sind zusammengefasst, wenn eine Unterscheidung nicht wesentlich für die Bedienung von RFEM ist. In der folgenden Tabelle sind die häufig verwendeten Begriffe kurz erläutert.

Begriff	Bild	Synonym	Erläuterung
Menü		Pulldown-menü	Befehle und Funktionen unterhalb der Titelleiste
Kontextmenü		Pop-up-menü	Menü, das mit einem Klick der rechten Maustaste auf ein bestimmtes Objekt gestartet wird Es enthält wichtige Befehle und Funktionen zu diesem Objekt.
Symbolleiste		Werkzeugleiste, Toolbar	Sammlung von Schaltflächen unterhalb der Menüleiste
Dialog			Fenster, das zur Dateneingabe im Hauptfenster geöffnet wird

<p>Register</p>		<p>Registerkarte, Kartenreiter</p>	<p>Große Dialoge werden in mehrere Register gegliedert. Durch Anklicken der Reiter sind die einzelnen „Karteikarten“ zugänglich.</p>
<p>Abschnitt</p>		<p>Gruppe, Rahmen</p>	<p>Elemente in einem Dialog, die inhaltlich zusammenhängen.</p>
<p>Schaltfläche</p>		<p>Button</p>	<p>Der Klick auf eine Schaltfläche löst eine Aktion aus, z. B. öffnet einen neuen Dialog oder führt eine Änderung durch. In den Symbolleisten stehen so genannte <i>Listenschaltflächen</i> zur Verfügung. Der Klick auf [▼] öffnet eine Liste mit thematisch verwandten Funktionen. Die zuletzt gewählte Schaltfläche wird dann zuoberst voreingestellt.</p>



Listenschaltfläche der Menüleiste

<p>Eingabefeld</p>		<p>Textfeld, Eingabezeile</p>	<p>Feld für die Eingabe von Text oder Zahlenwerten</p>
<p>Drehfeld</p>		<p>Spinner, Spin Button</p>	<p>Zwei kleine Schaltflächen neben einer Eingabezeile Zahlenwerte können schrittweise geändert werden.</p>
<p>Liste</p>		<p>Listefeld, Listbox, Combobox, DropDown-Liste</p>	<p>Auswahlmöglichkeit für Eingabefelder Manchmal ist die Ergänzung durch eigene Einträge möglich.</p>
<p>Kontrollfeld</p>		<p>Checkbox, Kontrollkästchen</p>	<p>Ja- oder Nein-Entscheidung durch Setzen oder Entfernen des Hakens</p>

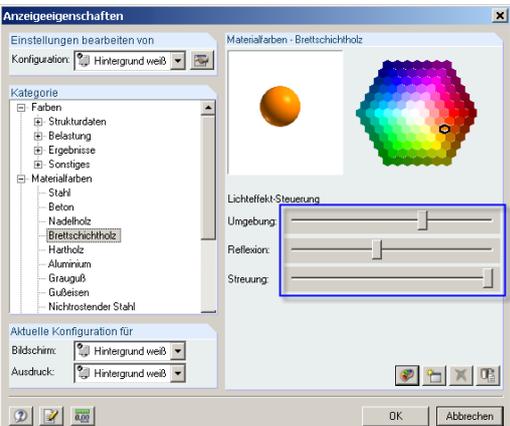
<p>Auswahl- feld</p>		<p>Radio Button</p>	<p>Entscheidung zwischen Alter- nativen, von denen nur eine Aussage zu- treffen kann</p>
<p>Baum- struktur</p>		<p>Tree Diagramm</p>	<p>Anordnung von Informationen ähnlich dem Windows Explorer</p>
<p>Schie- beregler</p>			<p>„Stufenlose“ Regelung für bestimmte Eigenschaften</p>

Tabelle 4.1: Begriffe der Benutzeroberfläche

4.3 Spezielle Begriffe in RFEM

In diesem Kapitel werden einige RFEM-spezifische Begriffe vorgestellt.

Begriff	Erläuterung
Knoten	Im 3D-Modell ist ein Knoten durch die Koordinaten (X/Y/Z) festgelegt. Über Knoten wird die Geometrie der Struktur 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 Querschnitteigenschaften wird dem Stab eine Steifigkeit zugewiesen. Ein Stab wird als 1D-Element dargestellt.
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.
Volumen	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 Knoten auf einer Linie sind eingeschränkt.
Knotenlast	Ein Knoten wird mit einer Kraft oder einem Moment belastet.
Linienlast	Eine Linie wird mit einer konstanten oder linear veränderlichen Streckenlast oder mit einer Einzellast belastet. Die Last wirkt als Kraft oder als Moment.
Stablast	Ein Stab wird mit einer Strecken- oder Einzellast belastet. Der Lastverlauf kann konstant oder trapezförmig 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 Volumen wird durch Temperatureinwirkungen oder Zwangsverformungen belastet.
Lastfall <i>LF</i>	<p>Alle Belastungen aus einer Einwirkung werden in einem Lastfall abgelegt, z. B. ‚Eigengewicht‘ oder ‚Verkehrslast‘.</p> <p>Die Belastungen sollten als Gebrauchslasten, also ohne Faktor, definiert werden. Die Teilsicherheitsfaktoren können in den Lastfallgruppen oder -kombinationen berücksichtigt werden.</p> <p>Ein Lastfall wird in der Regel nach Theorie I. Ordnung berechnet. Eine Berechnung nach Theorie II. oder III. Ordnung ist aber möglich.</p>

Lastfallgruppe <i>LG</i>	Eine Lastfallgruppe überlagert Lastfälle, indem die Belastungen der enthaltenen Lastfälle zusammengefasst werden. Eine Lastfallgruppe wird in der Regel nach Theorie II. oder III. Ordnung berechnet. Eine Berechnung nach Theorie I. Ordnung ist aber möglich.
Lastfallkombination <i>LK</i>	In einer Lastfallkombination werden die Ergebnisse der enthaltenen Lastfälle überlagert. Es ist auch möglich, mit einer <i>Oder</i> -Kombination die extremen Schnittgrößen und Verformungen aus verschiedenen Lastfällen, Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen zu ermitteln. Das Superpositionsprinzip gilt nicht für das Überlagern von Ergebnissen, die nach Theorie II. Ordnung berechnet wurden.

Tabelle 4.2: RFEM-spezifische Begriffe

4.4 Die Benutzeroberfläche von RFEM

Dieses Kapitel beschreibt die einzelnen Bedienelemente von RFEM (siehe Bild 4.1, Seite 64). Das Programm hält sich an die allgemeinen Standards für Windows-Anwendungen.

4.4.1 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 daraufhin auf, sodass die Menüeinträge zugänglich sind. 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 gewechselt werden.

Neben einigen Menüeinträgen ist rechts eine Tastenkombination angegeben. Diese 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.

4.4.2 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 (*QuickInfo, Tooltip*).

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



Bild 4.2: Symbolleiste *Ansicht* im angedockten Zustand

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



Bild 4.3: Symbolleiste *Ansicht* schwebend

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

Der Menüpunkt **Ansicht** → **Symbolleisten anpassen** ruft einen Dialog auf, mit dem Inhalt und Aussehen der diversen Symbolleisten wie in Windows üblich verändert werden können.

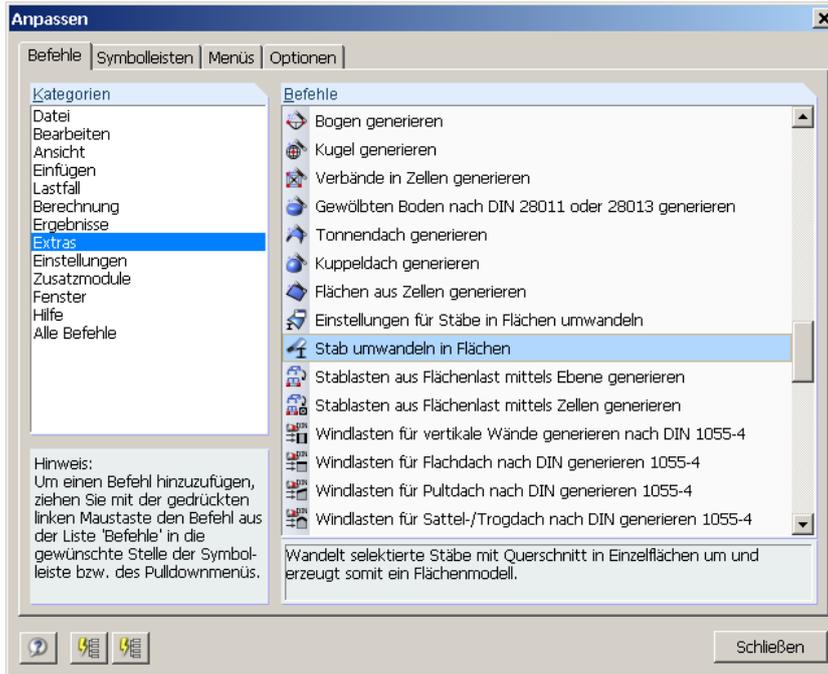


Bild 4.4: Dialog *Anpassen*, Register *Befehle*

Alle Befehle von RFEM sind in *Kategorien* eingeordnet. Wenn man in dieser Liste einen Eintrag markiert, werden rechts die Schaltflächen aller zugehörigen *Befehle* eingeblendet. Klickt man dort eine Schaltfläche an, wird deren Funktion im Abschnitt unterhalb erläutert. Jede Schaltfläche kann dann per Drag & Drop an eine beliebige Stelle in der Symbolleiste oben geschoben werden.

Um eine Schaltfläche wieder aus der Symbolleiste zu entfernen, hält man die [Alt]-Taste gedrückt und zieht die Schaltfläche mit der Maus von der Symbolleiste auf die Arbeitsfläche.



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

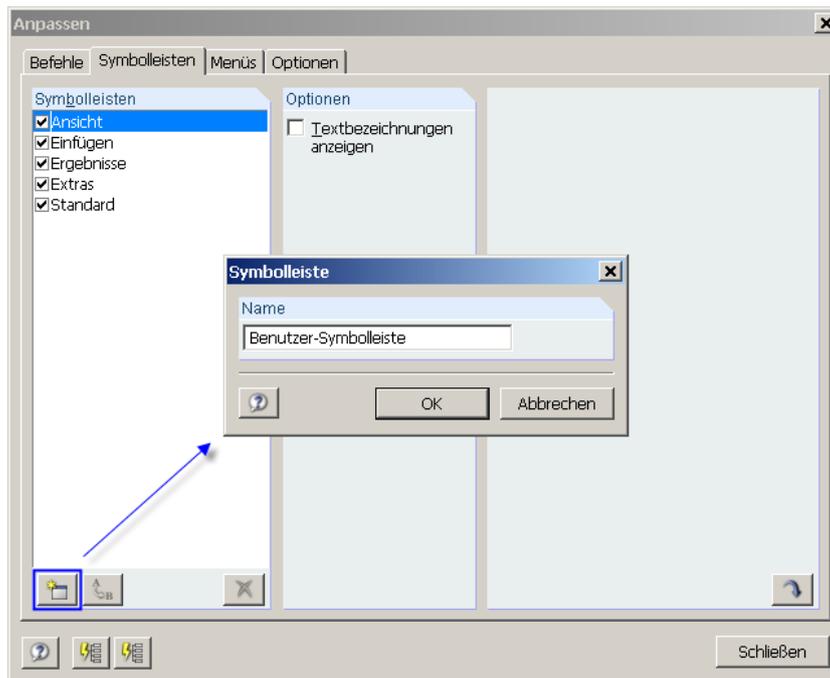


Bild 4.5: Anlegen einer neuen Symbolleiste

Im Dialog *Symbolleiste* wird der *Name* der neuen Symbolleiste angegeben. Die neue Leiste wird nach [OK] schwebend angezeigt. Man kann diese an die gewünschte Stelle verschieben und die Schaltflächen dann über das Register *Befehle* dieses Dialogs zuweisen.



Die Schaltfläche [Symbolleisten zurücksetzen] stellt den Grundzustand wieder her. Wenn in der Liste eine benutzerdefinierte Symbolleiste markiert ist, wird diese entfernt. Die vorgegebenen RFEM-Symbolleisten können nicht entfernt, sondern nur ausgeblendet werden.

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



Bild 4.6: Verfügbare Oberflächen-Designs

Veränderte Einstellungen werden unmittelbar aktualisiert.

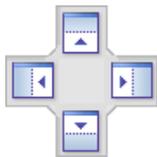
4.4.3 Navigator



Der Navigator wird auf der linken Seite des Arbeitsfensters angezeigt. Er wird über Menu **Ansicht** → **Navigator** oder mit der entsprechenden Schaltfläche ein- und ausgeblendet.



Bild 4.7: Schaltfläche *Navigator* in der Symbolleiste *Standard*



Der Navigator kann wie eine Symbolleiste behandelt werden. Man kann ihn an seinem oberen Rand mit der Maus „anfassen“ und auf die Arbeitsfläche verschieben. Ein Doppelklick auf die Titelleiste des Navigators oder das Verschieben an den Rand dockt ihn wieder am Fensterrand an. Zusätzlich stehen während des Verschiebens die links dargestellten Schaltflächen bereit, die das Andocken an einem der vier Ränder ermöglichen: Ziehen Sie den Navigator auf die gewünschte Schaltfläche und lösen dann die Maustaste, sobald sich der Mauszeiger über dieser Schaltfläche befindet.

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

Die Kontextmenü-Option *Automatisch im Hintergrund* ermöglicht die automatische Minimierung des Navigators, sobald man außerhalb arbeitet. Diese Funktion kann bei gedocktem Navigator auch über den Pin rechts oben im Navigator aktiviert werden (siehe Bild 4.9, Seite 74). Wenn die Maus über die gedockte Leiste bewegt wird, öffnet sich der Navigator wieder in voller Größe.

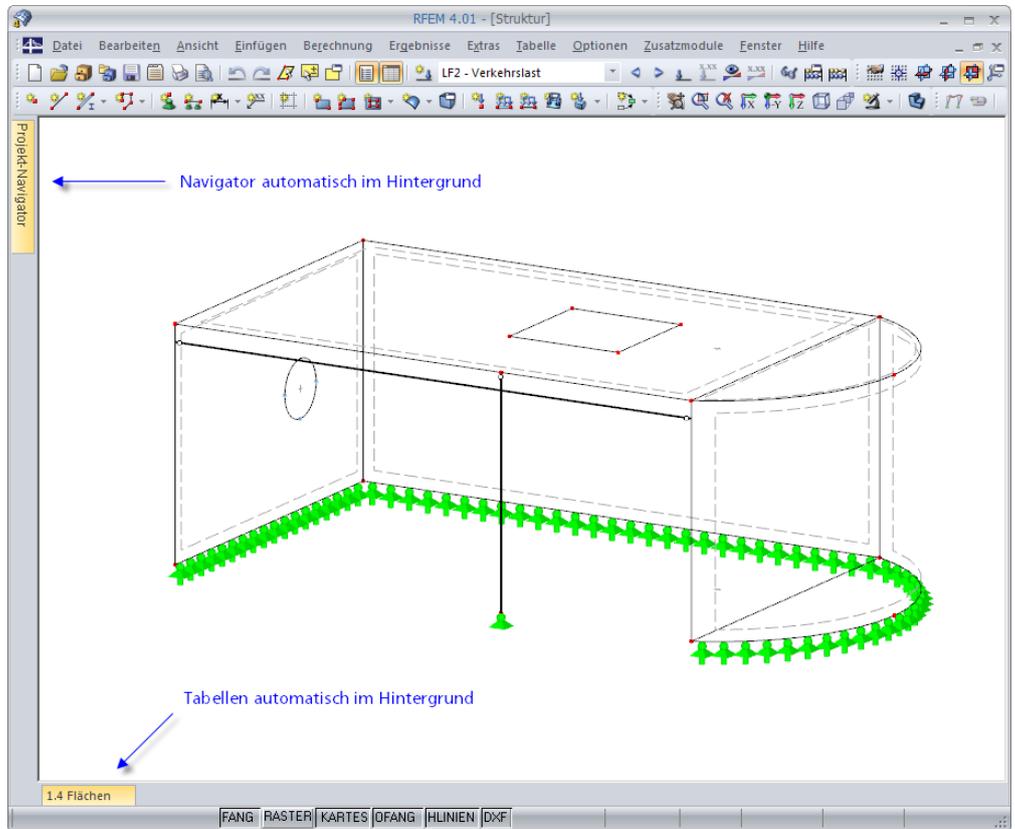
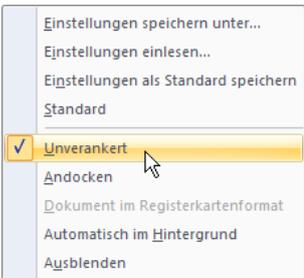


Bild 4.8: Navigator und Tabellen automatisch im Hintergrund

In einer übersichtlichen Baumstruktur werden alle Daten einer Position dargestellt. Mit [+] können Zweige des Baumes aufgeklappt werden, mit [-] werden diese wieder zugeklappt. Die gleiche Wirkung hat ein Doppelklick auf einen Eintrag.

Am unteren Ende des Navigators befinden sich drei Registerreiter. Mit diesen kann zwischen dem *Daten*-, dem *Zeigen*- und dem *Ergebnisse*-Navigator umgeschaltet werden.

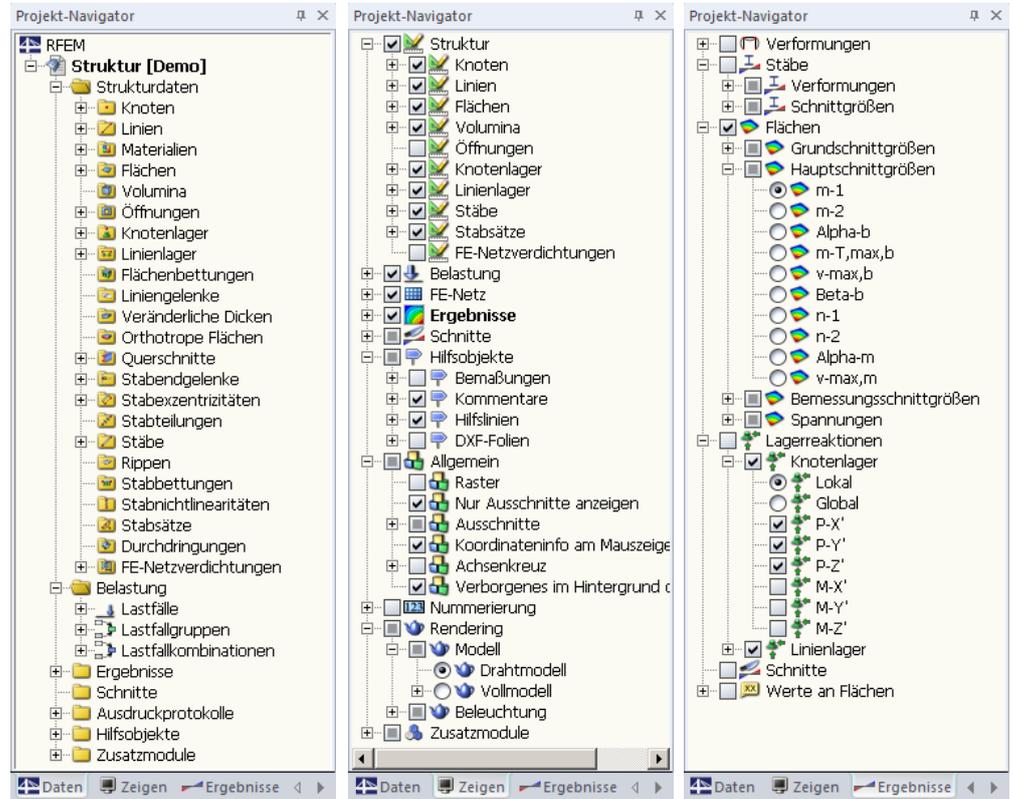


Bild 4.9: *Daten*-, *Zeigen*- und *Ergebnisse*-Navigator

Daten-Navigator



Alle eingegebenen Daten und alle vorhandenen Ergebnisse sind in diesem Navigator eingetragen. Der Doppelklick auf einen Eintrag (ein „Blatt“ des Baumes) ruft einen Dialog auf, mit dem der Eintrag geändert werden kann. Durch das Anklicken eines Eintrags mit der rechten Maustaste wird dessen Kontextmenü aufgerufen, das sehr nützliche Funktionen enthält.

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

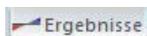
Zeigen-Navigator



Mit dem Darstellungsnavigator wird die Anzeige der Grafik im Arbeitsfenster gesteuert. Entfernt man den Haken im Kontrollfeld vor einem Eintrag, so wird das entsprechende Element in der Grafik nicht mehr dargestellt.

Über das links dargestellte Kontextmenü dieses Navigators können die benutzerdefinierten Einstellungen gespeichert und eingelesen sowie als Standard für neu angelegte Positionen verwendet werden.

Ergebnisse-Navigator



In diesem Navigator erfolgt die Steuerung der grafischen Ergebnisausgabe. Der Inhalt ist abhängig davon, ob die RFEM-Ergebnisse oder die eines Zusatzmoduls angezeigt werden.

Einstellungen speichern unter...

Einstellungen einlesen...

Einstellungen als Standard speichern

Standard

4.4.4 Tabellen



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

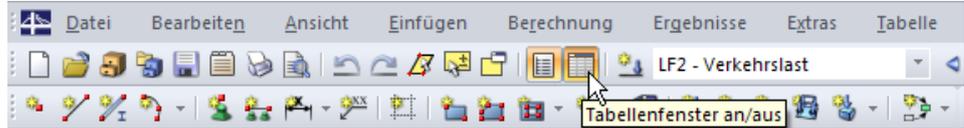


Bild 4.10: Schaltfläche *Tabellenfenster ein/aus* in der Symbolleiste *Standard*

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



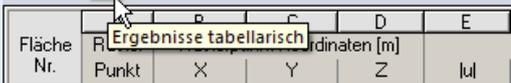
<p>1.4 Flächen</p>  <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Strukturdaten</p>	<p>Tabellen zur Struktureingabe</p>
<p>2.4 Flächenlasten</p>  <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Belastung</p>	<p>Tabellen zur Lasteingabe</p>
<p>3.9 Flächen - Verformungen</p>  <p>Menü Tabelle → Gehe zu → Ergebnisse</p>	<p>Ergebnistabellen</p>

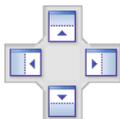
Tabelle 4.3: Schaltflächen der Struktur-, Belastungs- und Ergebnistabellen

In den Tabellen können alle Struktur- und Belastungsdaten numerisch eingegeben werden. Durch eine Reihe leistungsfähiger Funktionen ist eine sehr effektive Eingabe möglich, die im Kapitel 12.3 ab Seite 405 näher beschrieben ist.

Das sequentielle Abarbeiten von Tabelle zu Tabelle stellt zudem sicher, dass wirklich alle Daten erfasst werden. Die Tabellen spiegeln die interne Datenstruktur von RFEM wider. Auch die Beschreibung der Ein- und Ausgabe in den Handbuch-Kapiteln 5, 6 und 9 ist an die Struktur der Tabellen angelehnt.

Die Tabellen können ebenfalls wie eine Symbolleiste behandelt werden. Sie lassen sich an ihrem oberen Rand mit der Maus „anfassen“ und auf die Arbeitsfläche verschieben. Ein Doppelklick auf deren Titelleiste oder das Verschieben an den Rand bzw. auf eine der links dargestellten Schaltflächen dockt sie wieder an.

Die Kontextmenü-Option *Automatisch im Hintergrund* in der Tabellen-Titelleiste ermöglicht die automatische Minimierung der Tabellen, sobald man außerhalb arbeitet (siehe Bild 4.8, Seite 73). Diese Funktion kann bei gedockten Tabellen auch über den Pin rechts oben in der Tabellen-Titelleiste aktiviert werden. Wenn die Maus über die gedockte Leiste bewegt wird, öffnen sich die Tabellen wieder in der ursprünglichen Größe.





Wird in der Tabelle eine Zeile markiert, so wird dieses Objekt in der Grafik farblich hervor-gehoben. Falls umgekehrt in der Grafik ein Objekt selektiert wird, wird auch in der Tabelle die entsprechende Zeile eingeblendet und in anderer Farbe markiert. Diese Synchronisation der Selektion kann über Menü **Tabelle** → **Einstellungen** oder mit den beiden links gezeigten Schaltflächen gesteuert werden.

4.4.5 Statusleiste

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

Die Statusleiste ist in drei Bereiche gegliedert.

Linker Bereich



Bild 4.11: Linker Bereich der Statusleiste

Der hier angezeigte Text variiert je nach der gerade aktiven Programmfunktion. Befindet sich der Mauszeiger in der grafischen Arbeitsfläche, werden in der Statuszeile Informationen zu dem Objekt angezeigt, über dem sich der Mauszeiger aktuell befindet.

Diesen Teil der Statuszeile sollten Sie gerade am Anfang immer im Auge behalten. Dort werden stets Erläuterungen zu den Symbolleisten-Schaltflächen und Dialogen angeboten.

Mittlerer Bereich



Bild 4.12: Mittlerer Bereich der Statusleiste

Dieser Bereich hat eine ähnliche Funktionalität wie eine Symbolleiste. Sie können damit das grafische Arbeitsfenster beeinflussen.

FANG

Über diese Schaltfläche wird die Fangfunktion des Rasters ein- oder ausgeschaltet. Über das links dargestellte Kontextmenü dieser Schaltfläche ist der Dialog zum detaillierten Einstellen des Rasters zugänglich (Erläuterung im Kapitel 12.2.2, Seite 377).

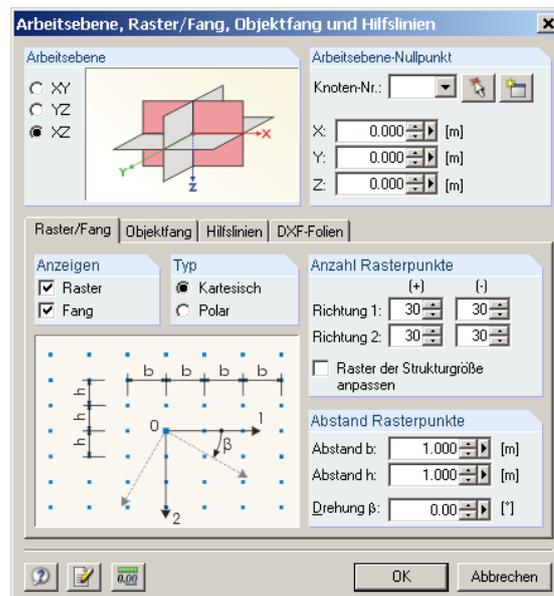


Bild 4.13: Dialog Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang und Hilfslinien



RASTER

Ein Klick auf diese Schaltfläche blendet das Raster ein- bzw. aus. Über die Option *Bearbeiten* im Schaltflächen-Kontextmenü kann ebenfalls der in Bild 4.13 dargestellte Dialog aufgerufen werden.

Zusätzlich besteht im Kontextmenü die Möglichkeit, die Rasterabstände schrittweise zu vergrößern oder zu verkleinern.

ORTHO / KARTES / POLAR

Mit dieser Schaltfläche kann man zwischen orthogonalem, kartesischem und polarem Raster umschalten. Über das Kontextmenü ist wiederum der im Bild 4.13 dargestellte Dialog zugänglich. Zudem lassen sich die Rasterabstände vergrößern und verkleinern.

OFANG

Mit dieser Schaltfläche kann der Objektfang ein- oder ausgeschaltet werden. Diese Funktion ist im Kapitel 12.2.3 auf Seite 379 näher erläutert.

HLINIEN

Ein Klick auf diese Schaltfläche schaltet die Hilfslinien ein oder aus. Die Beschreibung der Hilfslinien findet sich im Kapitel 12.2.16 auf Seite 397.

DXF

Diese Schaltfläche steuert die Anzeige der DXF-Folien (siehe Kapitel 12.2.17, Seite 400).

Rechter Bereich



Bild 4.14: Rechter Bereich der Statusleiste

Im rechten Bereich der Statuszeile werden Informationen zur grafischen Eingabe angezeigt:

- Koordinatensystem KS
- Arbeitsebene
- Aktuelle Koordinaten des Mauszeigers

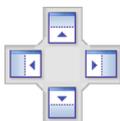
4.4.6 Steuerpanel



Wenn Schnittgrößen oder Verformungen grafisch dargestellt werden, sind diverse Anzeige- und Steuerungsparameter über das so genannte **Panel** zugänglich. Mit dem Menübefehl

Ansicht → Steuerpanel

oder der entsprechenden Schaltfläche kann das Panel ein- und ausgeblendet werden.



Auch das Panel kann an den Bildschirmrand angedockt werden, indem man die Titelleiste doppelklickt oder das Panel auf eine der links dargestellten Schaltflächen schiebt. Die Kontextmenü-Option *Automatisch im Hintergrund* in der Panel-Titelleiste ermöglicht die automatische Minimierung des Panels, sobald man außerhalb arbeitet (vgl. Bild 4.8, Seite 73). Bei gedocktem Panel kann diese Funktion auch über den Pin in der Panel-Titelleiste aktiviert werden. Wird die Maus über die gedockte Leiste bewegt, öffnet sich das Panel wieder in voller Größe.

Das Steuerpanel ist in die drei Register *Farbskala*, *Faktoren* und *Filter* untergliedert.

Farbskala

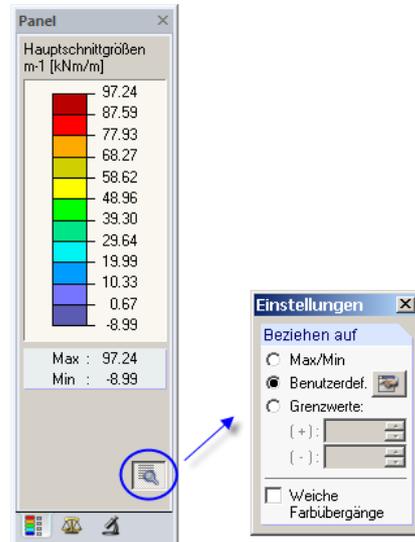


Bild 4.15: Steuerpanel, Register *Farbskala* mit aktivem Dialog *Einstellungen*

Ist eine mehrfarbige Darstellung der Ergebnisse gewählt, so wird in diesem Register die Farbskala mit den zugeordneten Wertebereichen angezeigt. Standard ist eine elfstufige Farbskala, die den Bereich zwischen den Extremwerten in gleichen Intervallen abdeckt.



Die Farbskala kann bearbeitet werden, indem man eine der Farben doppelklickt. Alternativ wird die Schaltfläche [Einstellungen] im Panel aktiviert und im sich öffnenden *Einstellungen*-Dialog dann das Auswahlfeld *Benutzerdefiniert* angewählt (siehe Bild 4.15). Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Bearbeiten] erscheint folgender Dialog:

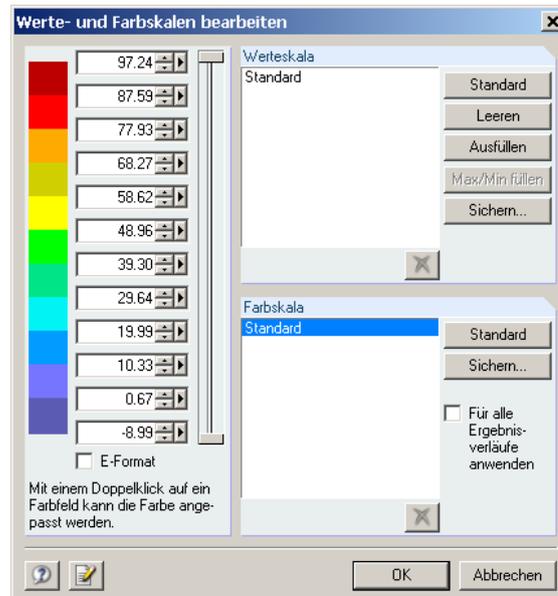


Bild 4.16: Dialog *Werte- und Farbskalen bearbeiten*

Über die zwei vertikalen Schieberegler (rechts neben den Werten) kann die Anzahl der Farbbereiche von beiden Seiten aus reduziert werden.

Die Farben lassen sich über einen Doppelklick auf das jeweilige Farbfeld modifizieren.

Die Werte der Skala können manuell angepasst werden. Es muss allerdings auf eine konsequent auf- bzw. absteigende Reihenfolge geachtet werden. 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 in Abhängigkeit 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 positionsübergreifend gespeichert.

Tabelle 4.4: Schaltflächen im Abschnitt *Werteskala*

Über das Kontrollfeld *Für alle Ergebnisverläufe anwenden* wird geregelt, ob die aktuelle Farbskala für die Ergebnisdarstellung sämtlicher Lastfälle, LF-Gruppen und -Kombinationen Anwendung finden soll. Die Werteskala bleibt davon unberührt, da eine globale Zuweisung für Verformungen, Kräfte, Momente und Spannungen problematisch ist. Die geänderte Farbskala ist zunächst über [Sichern] als benutzerdefinierte Skala abzuspeichern.



Ist die Schaltfläche [Einstellungen] aktiv wie im Bild 4.15 dargestellt, so stehen im Dialog *Einstellungen* weitere Optionen zur Auswahl.

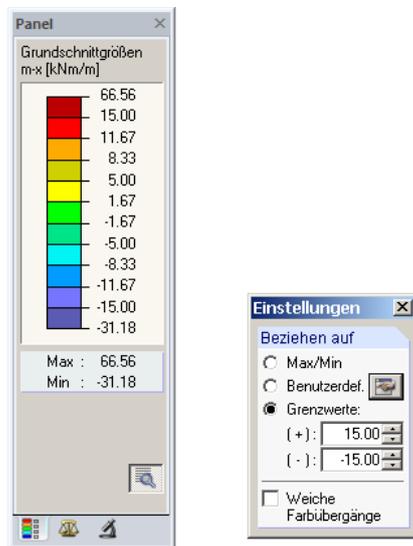


Bild 4.17: Dialog *Einstellungen*, Option *Grenzwerte +/-*

Die Option *Grenzwerte* ermöglicht eine detaillierte Auswertung innerhalb eines definierten Bereiches. Alle Über- und Unterschreitungen werden durch jeweils eine Farbe abgedeckt. Mit den im Bild 4.17 getroffenen Vorgaben beispielsweise werden die Grundmomente m_x im Bereich von ± 15.00 kNm/m fein abgestuft dargestellt.

Aktiviert man im *Einstellungen*-Dialog das Kontrollfeld *Weiche Farbübergänge*, so verschwinden die ausgeprägten Bereichsgrenzen. Diese Möglichkeit eines kontinuierlichen Farbspektrums ist unabhängig vom gewählten Bezug der Ergebniswerte.

Faktoren



Bild 4.18: Steuerpanel, Register *Faktoren*

Dieses Register steuert die Überhöhungsfaktoren für die grafische Darstellung. Es sind Eingabefelder vorgesehen zur Skalierung der *Verformung*, *Stab-* und *Flächenverläufe*, *Schnitte*, *Lagerkräfte* und *Trajektorien*, die in Abhängigkeit von der aktuellen Grafik zugänglich sind.

Filter



Bild 4.19: Steuerpanel, Register *Filter*

Das erste Register *Farbskala* ermöglicht das Filtern von Ergebniswerten im Allgemeinen. Dieses Register *Filter* hingegen steuert die Ergebnisanzeige in Hinblick auf bestimmte Flächen, Stäbe oder Volumina. Welche Objekte gefiltert werden sollen, wird über die drei Auswahlfelder unterhalb der Schaltflächen gesteuert.

In das Eingabefeld *Verläufe darstellen von* kann man die Nummern der relevanten Stäbe, Flächen oder Volumina eintragen. Mit einem Klick auf [Anwenden] wird die Filterfunktion umgesetzt. Die Nummern lassen sich auch aus der Grafik übernehmen, indem man dort zunächst die relevanten Objekte markiert (Mehrfachselektion mit Fenster oder gedrückter [Strg]-Taste) und dann die Schaltfläche [Von der Selektion übernehmen] betätigt.



4.4.7 Standardschaltflächen

Bestimmte Schaltflächen werden in vielen Dialogen benutzt. Wenn man mit dem Mauszeiger einen Moment über einer Schaltfläche verweilt, wird deren Funktion als Kurzinformation eingeblendet.

In der folgenden Übersicht sind die Standardschaltflächen mit Verweisen auf die entsprechenden Kapitel kurz erläutert.

Schaltfläche	Bezeichnung	Funktion
	Neu	Öffnen eines Dialogs zur Definition eines Objekts
	Bearbeiten	Öffnen eines Dialogs zum Ändern eines Objekts
	Pick	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 12.6.3, Seite 458
	Einheiten und Dezimalstellen	Einstellmöglichkeit für Einheiten und Dezimalstellen → Kapitel 12.6.2, Seite 457
	Standard	Wiederherstellen der Dialog-Standard-einstellungen
	Als Standard setzen	Speichern der aktuellen Einstellungen als Standard
	Fonts	Einstellmöglichkeit für Schriftarten und -größen
	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 4.5: Standardschaltflächen

4.4.8 Tastaturfunktionen

Auch in der grafischen Benutzeroberfläche und in den Tabellen können bestimmte, häufig benötigte Funktionen schnell über die Tastatur aufgerufen werden:

[F1]	Hilfe
[F2]	Nächste Tabelle
[F3]	Vorherige Tabelle
[F4]	Plausibilitätskontrolle der aktuellen Tabelle
[F5]	Plausibilitätskontrolle aller Tabellen
[F7]	Auswahlfunktion in Tabellen
[F8]	Gesamtstruktur bildschirmfüllend – <i>Zeige alles</i>
[F9]	Taschenrechner
[F10]	Menüleiste
[F12]	Speichern der Struktur 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+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
[Strg+L]	Springen zu einer bestimmten Zeilennummer in der Tabelle
[Strg+N]	Anlegen einer neuen Position
[Strg+O]	Öffnen einer vorhandenen Position
[Strg+P]	Drucken der Grafik (Drucker, Ausdruckprotokoll, Zwischenablage)
[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 4.6: Tastaturfunktionen

4.4.9 Mausfunktionen

Die Verwendung der Maus entspricht den in Windows üblichen Standards. Ein einfaches Anklicken mit der **linken** Maustaste selektiert ein Objekt zur weiteren Bearbeitung, mit einem Doppelklick wird der Bearbeitungsdialog des Objekts aufgerufen. Diese Funktionen stehen sowohl für die Objekte der Grafik als auch für die Einträge im *Daten-Navigator* zur Verfügung.

Klickt man ein Objekt mit der **rechten** Maustaste an, wird dessen Kontextmenü aufgerufen. Das Kontextmenü beinhaltet Befehle und Funktionen, die für das gewählte Objekt oft sehr nützlich sind.

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

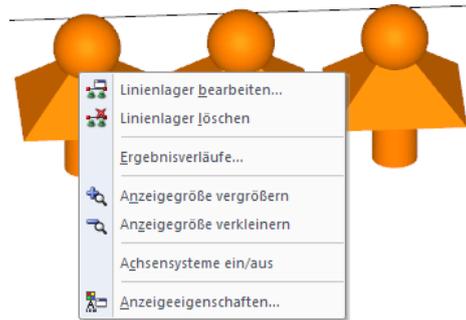


Bild 4.20: *Linienlager*-Kontextmenü in der Grafik



Das **Scrollrad** erweist sich bei der Arbeit in der Grafik als äußerst nützlich. Durch Scrollen (Drehen des Musrades) lässt sich die aktuelle Darstellung vergrößern bzw. verkleinern. Als Zentrum des Zoombereichs wird stets die Position des Mauszeigers angenommen.



Mit gedrücktem Scrollrad kann die Struktur direkt verschoben werden (d. h. ohne vorher die Schaltfläche [Ansicht verschieben] zu aktivieren). Benutzt man zusätzlich die [Strg]-Taste, so lässt sich die Struktur mit gedrücktem Scrollrad rotieren. Alternativ lässt sich die Struktur mit dem Scrollrad drehen, indem man gleichzeitig die rechte Maustaste gedrückt hält. Die am Mauszeiger angezeigten Symbole verdeutlichen jeweils 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 die Struktur mit gedrücktem Scrollrad um den ausgewählten Knoten rotieren.



Ergänzend sei in diesem Zusammenhang eine praktische Funktion erwähnt, mit der man bestimmte Objekte schnell in vergrößerter Ansicht darstellen kann: Man selektiert das Objekt in der Grafik und benutzt dann eine der links dargestellten Schaltflächen in der Symbolleiste *Ansicht*, wobei man gleichzeitig die Umschalttaste [⇧] gedrückt hält. Die Grafik zeigt sofort eine Ausschnittsvergrößerung des Objekts in die gewählte Ansichtsrichtung.



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

5. Strukturdaten

Ehe man mit der Eingabe von Strukturdaten beginnen kann, muss eine Position angelegt oder geöffnet werden. Nähere Informationen hierzu sind im Kapitel 13.2 ab Seite 475 zu finden.

RFEM bietet mehrere Möglichkeiten der Dateneingabe an. Man kann die Objekte in einem **Dialog**, einer **Tabelle** und oft auch direkt **grafisch** definieren.

Die Dialoge und die grafische Eingabe werden generell aufgerufen über die

- Untereinträge im Menü **Einfügen** → **Strukturdaten**,
- Schaltflächen in der Symbolleiste **Einfügen**,
- Kontextmenüs der Strukturdaten-Objekte im *Daten*-Navigator oder
- Kontextmenüs (oder durch Doppelklicken) der Zeilennummern in den Tabellen.

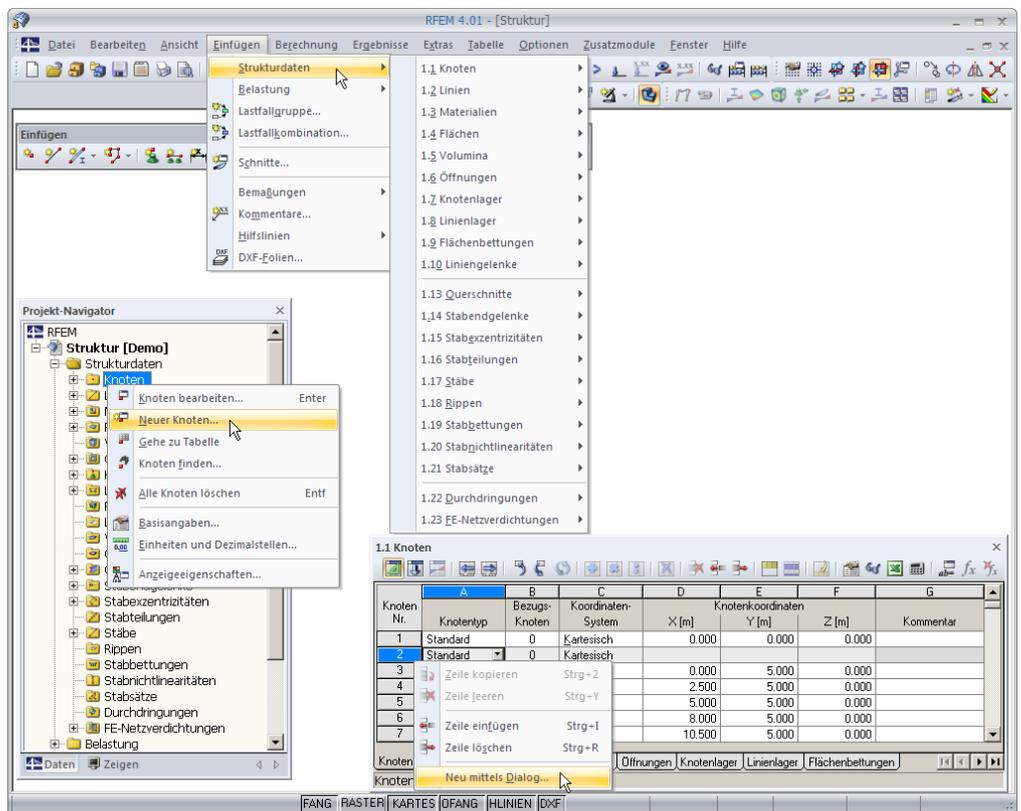


Bild 5.1: Aufruf von Eingabemöglichkeiten über Menü, Symbolleiste und Kontextmenüs von Navigator und Tabelle

Soll ein bereits definiertes Objekt geändert werden, kann dies ebenfalls in einem **Dialog** oder in einer **Tabelle** erfolgen.

Die Bearbeitungsdialoge werden generell aufgerufen über

- die Untereinträge im Menü **Bearbeiten** → **Strukturdaten**,
- die Kontextmenüs oder einen Doppelklick der Objekte in der Grafik,
- die Kontextmenüs oder einen Doppelklick der Objekte im *Daten*-Navigator oder
- die Kontextmenüs oder einen Doppelklick der Zeilennummern in den Tabellen.

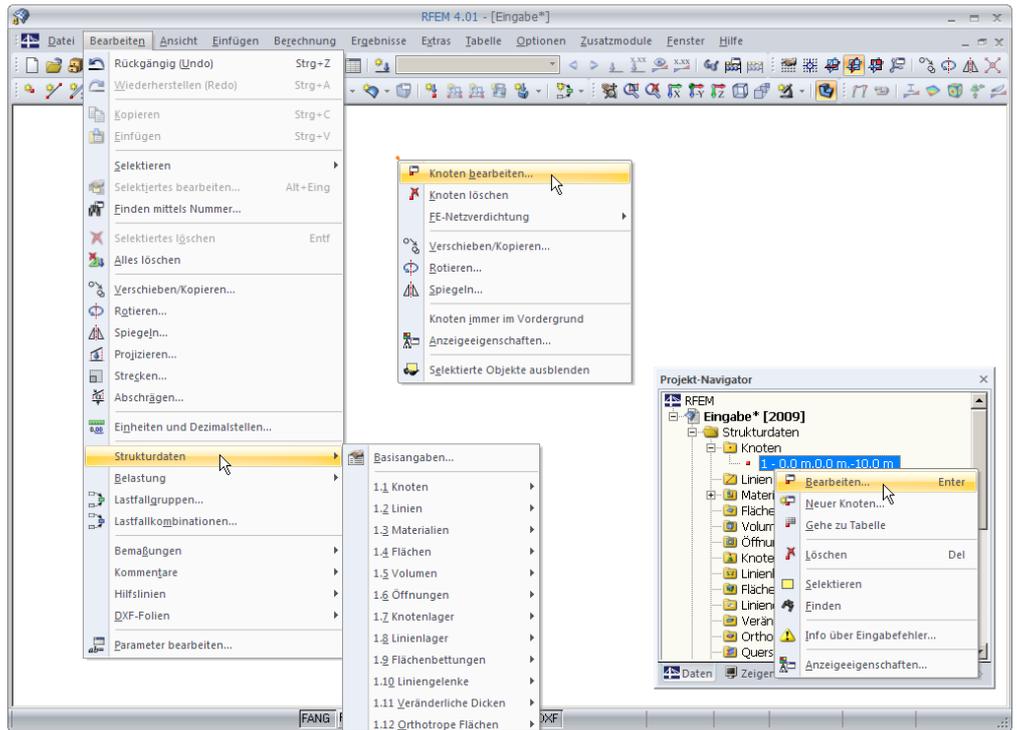


Bild 5.2: Aufruf von Bearbeitungsdialogen über Menü und Kontextmenüs



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

1.1 Knoten

Tabelleneingabe Strukturdaten							
Nr.	Knotentyp	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	2.500	0.000	
3	Standard	0	Kartesisch	0.000	5.000	0.000	
4	Standard	0	Kartesisch	2.500	5.000	0.000	
5	Standard	0	Kartesisch	5.000	5.000	0.000	
6	Standard	0	Kartesisch	8.000	5.000	0.000	
7	Standard	0	Kartesisch	10.500	5.000	0.000	

Bild 5.3: Schaltfläche [Tabelleneingabe Strukturdaten]

Die Tabelleneingabe hat ihre Vorzüge, denn durch das konsequente Abarbeiten der einzelnen Register wird ein zügiger und fehlerfreier Ablauf der Eingabe sichergestellt. Zudem hat man innerhalb einer Tabelle einen guten Überblick über den Datensatz. Nicht zuletzt lassen sich Daten in tabellarischer Form schnell bearbeiten oder importieren.



In der Tabelle und im Daten-Navigator werden unbenutzte Objekte blau gekennzeichnet (vgl. Bild 5.35, Seite 101).

In allen Dialogen und in jeder Tabelle kann man einen *Kommentar* ergänzen, um das Objekt näher zu beschreiben. Es lassen sich auch vordefinierte Kommentare verwenden (siehe Kapitel 12.6.3, Seite 458). Die Kommentare sind Teil der QuickInfos bei den grafischen Objekten.



Bild 5.4: QuickInfo Knotenlager

5.1 Knoten

Allgemeine Beschreibung

In RFEM dienen Knoten zur Beschreibung der Geometrie. Sie stellen die Voraussetzung dar für Linien und damit auch für Stäbe, Flächen und Volumina. Jeder Knoten wird über die Koordinaten (X,Y,Z) beschrieben. Diese Koordinaten beziehen sich normalerweise auf den Ursprung des globalen Koordinatensystems. Es ist auch möglich, die Koordinaten auf einen anderen Knoten bezogen zu definieren.

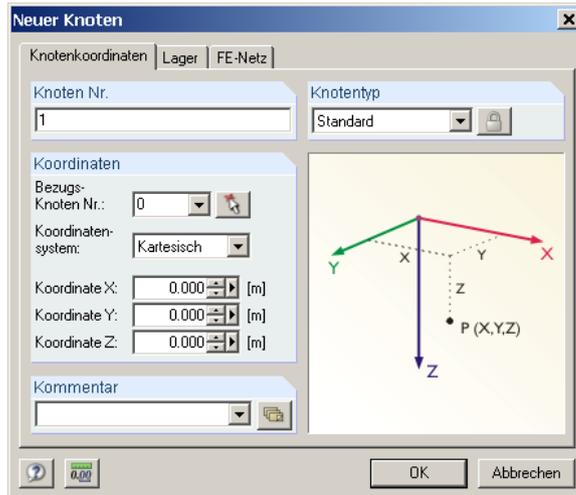


Bild 5.5: Dialog *Neuer Knoten*

Knoten Nr.	A			B			C			D			E			F			G		
	Knoten	Linien	Materialien	Flächen	Volumina	Öffnungen	Knotenlager	Linienlager	Flächenbettungen	X [m]	Y [m]	Z [m]	Kommentar								
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	Gelagert														
2	Standard	0	Polar	5.000	0.00	0.00															
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					

Bild 5.6: Tabelle 1.1 *Knoten*

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

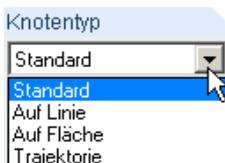
Über Menü **Extras** → **Nummerierung ändern** kann die Reihenfolge der Knotennummern im Nachhinein angepasst werden (siehe Kapitel 12.2.18, Seite 403).

Knotentyp

Standard

Dieser Knotentyp wird in den häufigsten Fällen verwendet. Standardknoten können in der grafischen Arbeitsfläche gesetzt oder per Koordinatenangabe beliebig im Raum positioniert werden. Bei der grafischen Eingabe von Linien oder Rotationsflächen werden ebenfalls 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 unverändert belassen. Damit ist es möglich, Knotenlasten an einer beliebigen Stelle der Linie anzuordnen. Der Knotenparameter δ beschreibt den relativen Abstand zum Anfangsknoten der Linie.

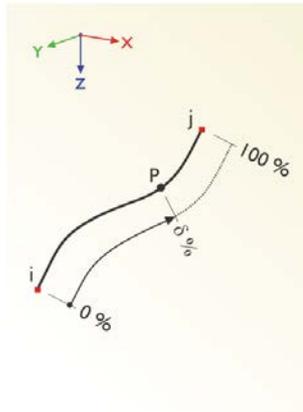


Bild 5.7: Knoten auf Linie

Knoten auf Linien werden in der Grafik hellblau dargestellt.

Auf Fläche

Bei Quadrangleflächen ist es meist schwierig, die Koordinaten eines Knotens zu ermitteln, der sich auf der gekrümmten Fläche befindet. Mit diesem Knotentyp können in der Grafik Knoten direkt auf eine Quadranglefläche gesetzt werden. Die Knotenparameter δ beziehen sich auf die vier Eckknoten der Fläche. Damit ist es möglich, Knotenlasten an einer beliebigen Stelle der gekrümmten Fläche anzuordnen.

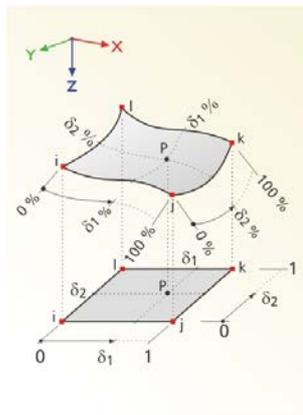


Bild 5.8: Knoten auf Fläche

In der Tabelle werden die Koordinaten im kartesischen Koordinatensystem abgelegt. Liegt eine ebene Fläche vor, sind Standardknoten zu verwenden.

Knoten auf Flächen werden in der Grafik hellblau dargestellt.

Trajektorie

Dieser Knotentyp wird beim Erzeugen einer spiralförmigen Trajektorienkurve angelegt (vgl. Kapitel 5.2, Seite 99). Der Knotenparameter δ beschreibt den relativen Abstand zum Anfangsknoten der Linie.

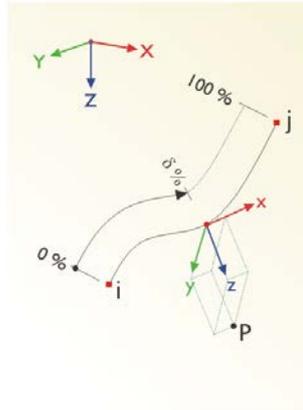


Bild 5.9: Trajektorie

Trajektorienknoten werden in der Grafik dunkelgrün dargestellt.

Bezugsknoten

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

Es kann aber auch jeder andere Knoten als Bezugsknoten dienen. Selbst ein Knoten mit einer höheren Nummer ist als Referenzknoten zulässig. Der Bezug auf einen anderen Knoten ist beispielsweise sinnvoll, wenn man einen neuen Knoten in einem bestimmten Abstand zu einer bekannten Stelle setzen möchte.



Im Dialog *Neuer Knoten* kann man den Bezugsknoten direkt angeben, aus der Liste wählen oder grafisch mit [Pick] bestimmen.

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.

Kartesisch

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

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

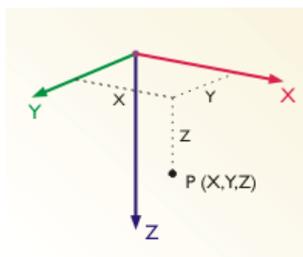


Bild 5.10: Kartesisches Koordinatensystem

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 beschreibt ausgehend von einer Nulllage die Drehung der Knotenkoordinaten um die X-Achse.

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

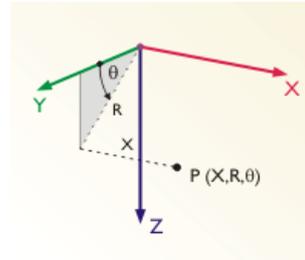


Bild 5.11: X-Zylindrisches Koordinatensystem

Y-Zylindrisch

Das Konzept ist analog zum X-zylindrischen Koordinatensystem, jedoch ist in diesem Fall die Achse Y die Längsachse.

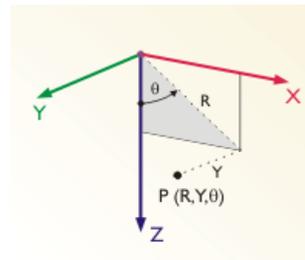


Bild 5.12: Y-Zylindrisches Koordinatensystem

Z-Zylindrisch

Das Konzept ist analog zum X-zylindrischen Koordinatensystem, jedoch stellt hier die Achse Z die Längsachse dar.

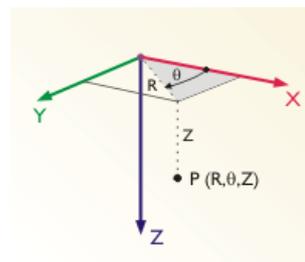


Bild 5.13: Z-Zylindrisches Koordinatensystem

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.

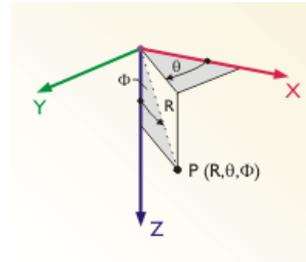


Bild 5.14: Polares Koordinatensystem

Alle zur Verfügung stehenden Koordinatensysteme sind rechtsschraubig zu verstehen.

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



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.

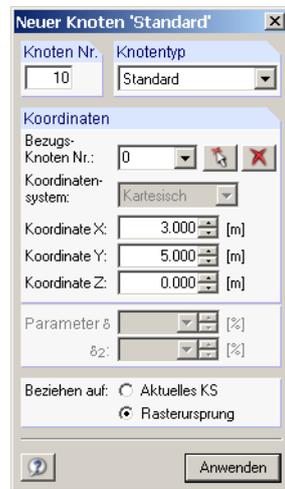


Bild 5.15: Schwebender Dialog *Neuer Knoten*

Informationen zur Verwendung von benutzerdefinierten Koordinatensystemen finden Sie im Kapitel 12.2.4 auf Seite 383.

Beim nachträglichen Ändern des Koordinatensystems können die Knotenkoordinaten automatisch auf das neue System umgerechnet werden.

Knotenkoordinaten

Die Knotenkoordinaten werden im vorher angegebenen Koordinatensystem definiert. Bei einer 3D-Struktur 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 Strukturtyp bei den Basisangaben auf eine 2D-Platte oder -Wand reduziert, sind nicht alle drei Eingabefelder oder Spalten zugänglich.

RFEM
Abfrage Nr. 56

Es wurde das Koordinatensystem geändert!

Sollen die bereits definierten Koordinaten auf das neue Koordinatensystem umgerechnet werden?



Über Menü **Bearbeiten** → **Einheiten und Dezimalstellen** oder die entsprechende Schaltfläche im Dialog können Sie die Anpassungen für *Längen* und *Winkel* vornehmen.

Sie können mehrere Knoten selektieren und dann per Doppelklick deren gemeinsame Eigenschaften bearbeiten. Im Dialog *Knoten bearbeiten* sind nun die Koordinaten-Eingabefelder gefüllt, deren Werte bei allen selektierten Knoten übereinstimmen. So können Sie schnell Abweichungen überprüfen oder allen Knoten einheitlich eine Ebenen-Koordinate zuweisen.

Knotenkoordinaten lassen sich auch aus Excel übernehmen (siehe Kapitel 12.3.6, Seite 418) oder mit dem Formeleditor von RFEM ermitteln. Zudem stehen diverse Strukturgenerierer zur Verfügung, die die Eingabe erleichtern (siehe Kapitel 12.5.1, Seite 427).

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

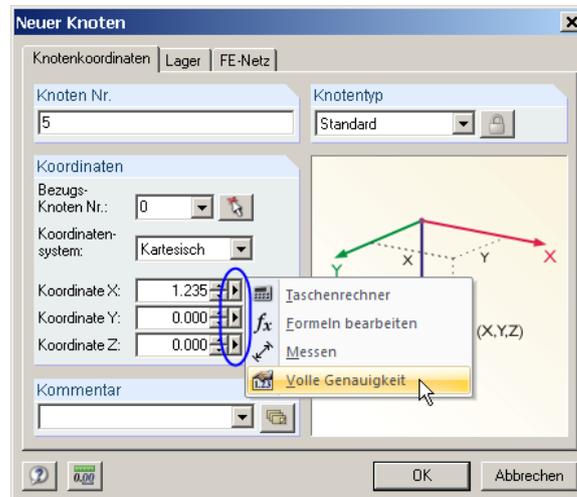


Bild 5.16: Kontextmenü im Dialog *Neuer Knoten*

Es erscheint folgender Dialog:



Bild 5.17: Dialog *Volle Genauigkeit*

Kommentar



Diese Spalte ermöglicht benutzerdefinierte Anmerkungen. Bei Knoten, die das Programm während des Erzeugens einer Rotationsfläche anlegt, erscheint der Vermerk *Generiert*. Über die links dargestellte Schaltfläche, die im Dialog und in der Tabelle zur Verfügung steht, können generierte Knoten „entsperrt“, d. h. für Änderungen zugänglich gemacht werden.

5.2 Linien

Allgemeine Beschreibung



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

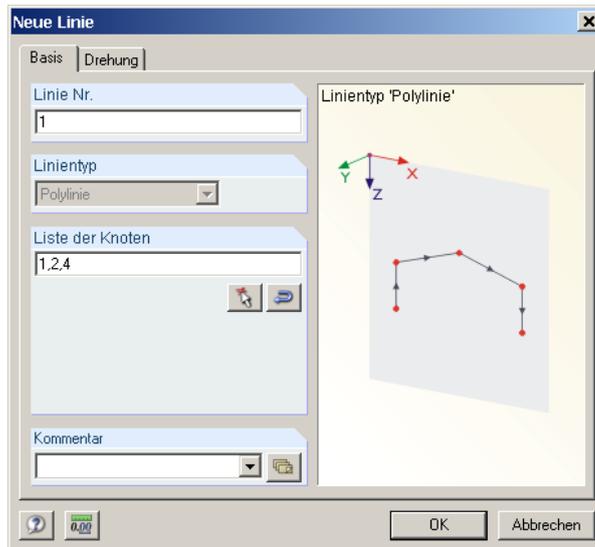


Bild 5.18: Dialog *Neue Linie*

Linie Nr.	Linientyp	Knoten Nr.	Linienlänge [m]		Kommentar
1	Polylinie	3,4	3.451	YZ	
2	Polylinie	1,8	3.000	X	
3	Polylinie	13,6,9,14,5	25.560	XY	
4	Ellipse	16-18	5.944	XZ	
5	Polylinie	3,10	21.065		
6	Bogen	11,20,4	14.898		
7	Spline	21-25	26.526	XZ	

Bild 5.19: Tabelle 1.2 *Linien*

Die Liniennummer wird im Dialog *Neue Linie* automatisch vergeben, kann dort aber jederzeit abgeändert werden. Die Reihenfolge der Liniennummern spielt keine Rolle. Über Menü **Extras** → **Nummerierung ändern** kann die Reihenfolge der Liniennummern im Nachhinein angepasst werden (siehe Kapitel 12.2.18, Seite 403).

Linientyp

Folgende Linienarten stehen zur Verfügung:

- Polylinie
- Bogen
- Kreis
- Ellipse
- Elliptischer Bogen
- Parabel

- Hyperbel
- Spline
- NURBS
- Trajektorie
- Linie auf Fläche

Die einzelnen Linienarten werden auf den folgenden Seiten ausführlich beschrieben.

Knoten Nr.

Jede Linie wird geometrisch mindestens durch einen Anfangs- und einen Endknoten beschrieben. Damit wird die Linienrichtung festgelegt, die auch die Lage des Linienkoordinatensystems beeinflusst. Die Knoten können manuell eingegeben, grafisch ausgewählt oder neu definiert werden. Sind Kontroll- oder Zwischenknoten für eine Linie erforderlich, so werden diese in der Liste mit aufgeführt.

Über den *Zeigen*-Navigator lassen sich die Linienrichtungen am Modell visualisieren.

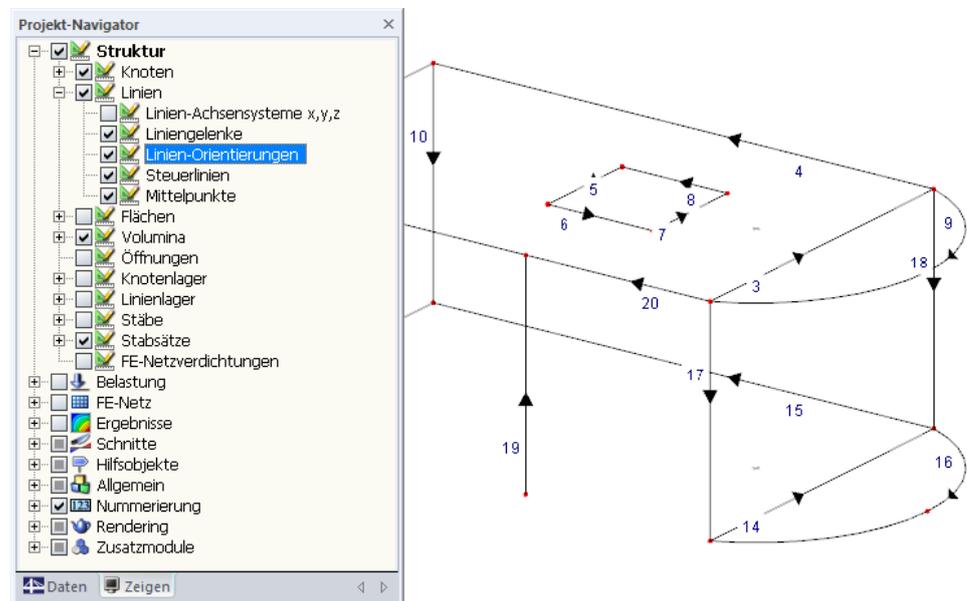


Bild 5.20: Einblenden der *Linien-Orientierungen* im *Zeigen*-Navigator



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 über den *Zeigen*-Navigator darstellen, indem man unter den Einträgen *Struktur* und *Nummerierung* jeweils die *Linien-Achsen* *x,y,z* aktiviert (vgl. Bild 5.70, Seite 127).

Nähere Hinweise zum Thema „Knoten“ finden Sie im vorherigen Kapitel 5.1 ab Seite 86.

Linienlänge

In dieser Tabellenspalte wird die Gesamtlänge der Linie angegeben.

Lage

In der Spalte **D** der Tabelle kann man ablesen, 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

Hier kann eine benutzerdefinierte Anmerkung eingetragen oder aus der Liste ausgewählt werden. Bei vom Programm erzeugten Linien (z. B. Rohr) erscheint der Vermerk *Generiert*.

Linie / Polylinie



Bild 5.21: Grafischer Eingabedialog *Neue Linie*

Der Dialog *Neue Linie*, der beim Aufruf über das Pulldownmenü erscheint, ist im Bild 5.18 auf Seite 92 dargestellt. Das Bild oben zeigt den allgemeinen Linien-Eingabedialog bei der grafischen Eingabe, die über eine der Schaltflächen in der Symbolleiste gestartet wird.



Eine „echte“ **Linie** liegt vor, wenn diese nur durch einen Anfangs- und einen Endknoten definiert ist. Die Linie stellt daher 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 (vgl. Bild 5.18) neben den Nummern des Anfangs- und Endknotens auch die der Zwischenknoten aufgelistet. Der Einfachheit halber werden auch „echte“ Linien als Polylinien verwaltet.

Bei der grafischen Eingabe einer Polylinie können bestehende Knoten, Rasterpunkte oder Fangobjekte gewählt werden. Während der Linieneingabe lassen sich die erforderlichen Zwischen- und Endpunkte auch frei in der Arbeitsebene setzen. Die neuen Knoten werden dabei automatisch erzeugt.

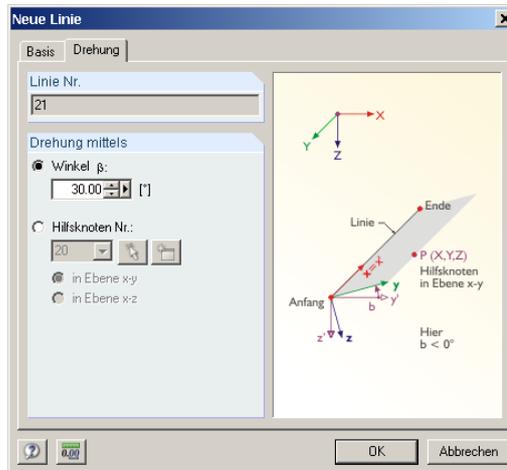


Bild 5.22: Dialog *Neue Linie*, Register *Drehung*



Im zweiten Register des Dialogs kann eine Liniendrehung definiert werden. Man gibt einen festen Winkel β an oder richtet die lokale y- bzw. z-Achse auf einen bestimmten *Hilfsknoten* aus. Der Knoten kann in der Liste ausgewählt, grafisch bestimmt oder neu angelegt werden.

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

Die Anzeige der lokalen Linienachsensysteme ist im Bild 5.70 auf Seite 127 dargestellt.



Am schnellsten kann man die Drehung einer bereits definierten Linie anpassen, indem man diese in der Grafik doppelklickt und dann im Register *Drehung* des Dialog *Linie bearbeiten* die Änderungen vornimmt.

Bogen

Ein Bogen kann über verschiedene Parameter definiert werden:

- mittels drei Knoten,
- mittels Randknoten und Radius, Mittelpunkt oder Stich,
- mittels Mittel-, Randknoten und Öffnungswinkel.

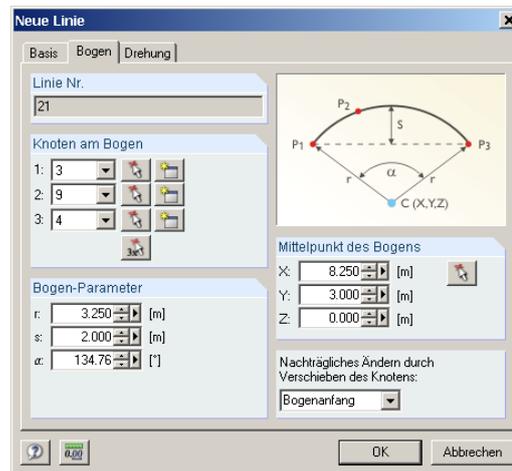
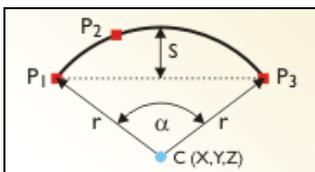


Bild 5.23: Dialog *Neue Linie*, Register *Bogen*



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 *Bogenparameter* ermittelt, die dann im Abschnitt unterhalb angegeben werden. Es ist aber auch möglich, den Radius r , das Stichmaß s oder den Öffnungswinkel α in den Eingabefeldern abzuändern. Die Knotenkoordinaten werden entsprechend angepasst.

Im Abschnitt *Mittelpunkt des Bogens* werden die Koordinaten des Bogenmittelpunktes angezeigt, die sich aus den Bogenknoten bzw. -parametern ergeben. Bei einer Änderung werden ebenfalls die Knotenkoordinaten angepasst.

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



Wenn man den Bogen grafisch über eine der Schaltflächen setzt, kann man bei der Option *mittels drei Knoten* die drei Knoten direkt in der Grafik auswählen bzw. neu setzen. Bei den beiden übrigen Eingabemöglichkeiten sind wie in Bild 5.24 und Bild 5.25 jeweils links dargestellt zunächst zwei Knoten anzugeben. Dann werden in einem weiteren Dialog (rechts dargestellt) jeweils die Bogenparameter festlegt.

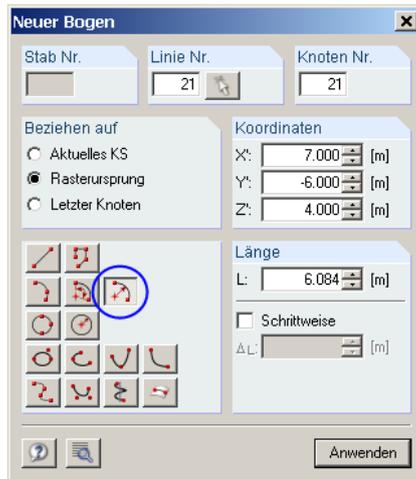
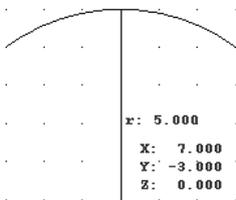


Bild 5.24: Dialog *Neuer Bogen* – Definitionsart *Radius, Winkel oder Stich*



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

Im Eingabefeld *Schrittweise* wird angegeben, in welchen Abständen der Mauszeiger beim Aufziehen des Radius, Winkels oder Stichts einrastet.

Die Richtung des Kreisbogens kann über das Kontrollfeld *Orientierung umkehren* beeinflusst werden. Damit lässt sich einstellen, ob der Bogen „rechts“ oder „links“ der beiden Knoten angeordnet wird.

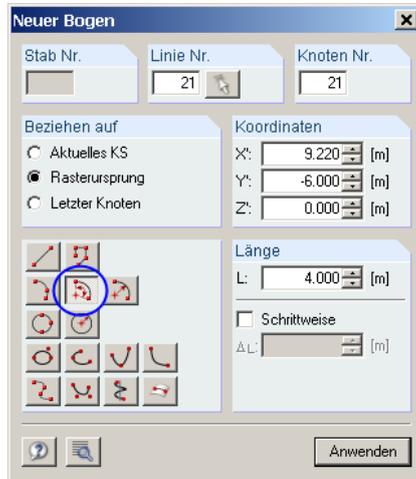
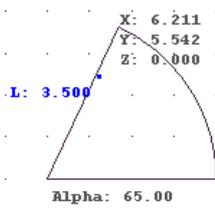


Bild 5.25: Dialog *Neuer Bogen* – Definitionsart *Mittel- und Randknoten, Öffnungswinkel*



Die Ebene des Bogens kann man im Abschnitt *Einstellungen* (rechts) aus der Liste wählen. Der *Öffnungswinkel* α wird entweder direkt grafisch oder über eine manuelle Eingabe und [Anwenden] festgelegt.

Ein bereits definierter Bogen lässt sich am schnellsten anpassen, indem man diesen in der Grafik doppelklickt und dann im Register *Bogen* des Dialog *Linie bearbeiten* die Änderungen vornimmt (vgl. Bild 5.23, Seite 95).

Kreis

Ein Kreis kann über verschiedene Parameter definiert werden:

- mittels drei Knoten,
- mittels Mittelpunkt und Radius.

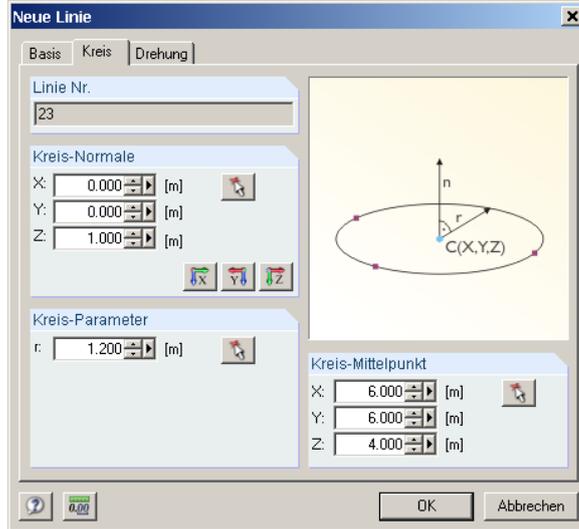
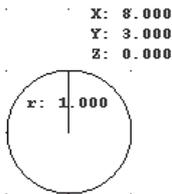


Bild 5.26: Dialog *Neue Linie*, Register *Kreis*



Der Radius als *Kreis-Parameter* und der *Kreis-Mittelpunkt* werden direkt eingetragen oder in der Grafik festgelegt. Die *Kreis-Normale* steuert, in welcher globalen Arbeitsebene der Kreis generiert wird.

Wenn man den Kreis über eine der Schaltflächen grafisch setzt, können die drei Knoten bzw. Mittelpunkt und Radius direkt in der Grafik ausgewählt oder neu angelegt werden.

Ellipse

Zur Definition einer Ellipse sind drei Knoten erforderlich.

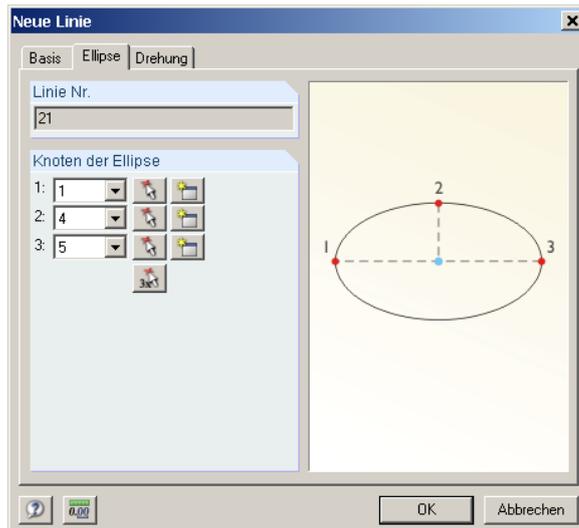
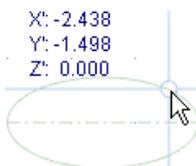


Bild 5.27: Dialog *Neue Linie*, Register *Ellipse*



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

Wenn man die Ellipse über die Schaltfläche grafisch definiert, kann diese 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

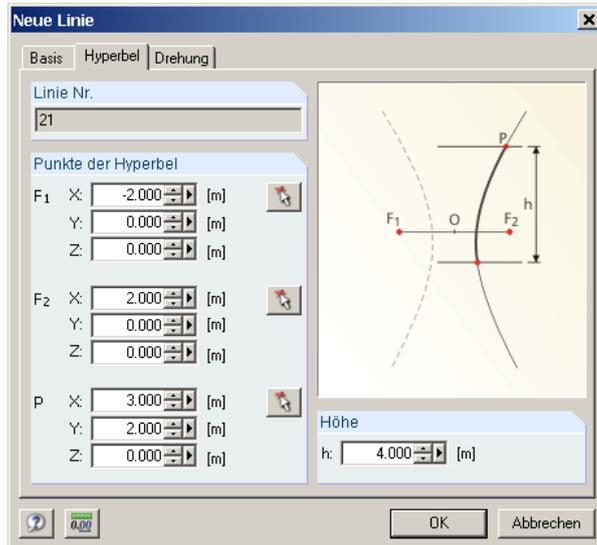
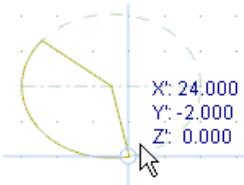


Bild 5.28: Dialog *Neue Linie*, Register *Hyperbel*

Im entsprechenden Register des Dialogs *Neue Linie* werden die Kurvenparameter (Brennpunkte, Öffnungswinkel, Achsendrehung etc.) festgelegt, wobei auch die grafische Auswahl möglich ist.

Wird die grafische Eingabe dieser Linien über die jeweiligen Schaltflächen gewählt, können die Kurvenparameter direkt in der Grafik festgelegt werden.



Spline

Splines eignen sich sehr gut, um Kurven darzustellen. Sie werden grafisch eingegeben, indem man nacheinander die bestimmenden Knoten der gekrümmten Linie auswählt oder neu per Mausklick anlegt.

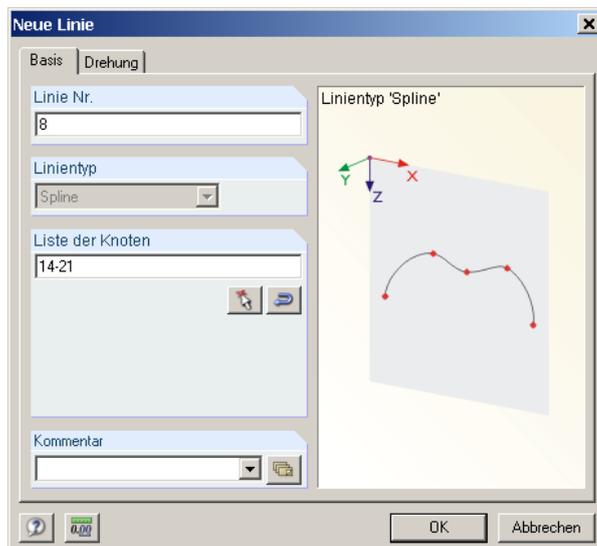


Bild 5.29: Dialog *Neue Linie* – Linientyp *Spline*



NURBS

NURBS (Nicht-Uniforme Rationale B-Splines) werden zur Modellierung von Freiformflächen benötigt. Hier handelt es sich um Splines, deren Kontrollpunkte nicht auf der Kurve selbst liegen. Auch diese Linien werden in der Regel grafisch eingegeben, indem man nacheinander die Kontrollpunkte auswählt oder neu per Mausklick anlegt.

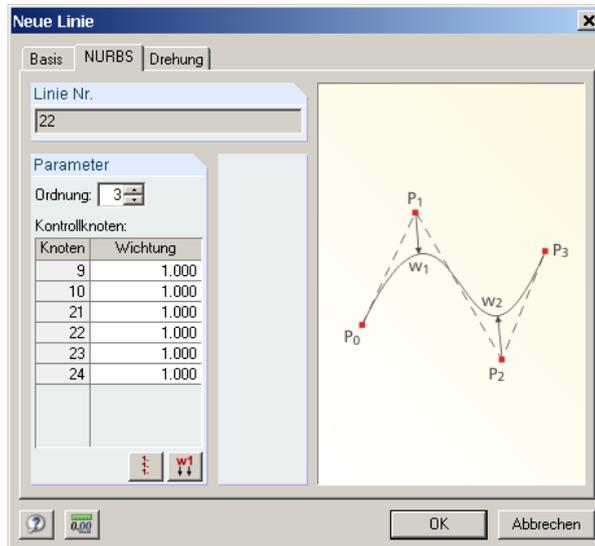


Bild 5.30: Dialog *Neue Linie* – Linientyp *NURBS*

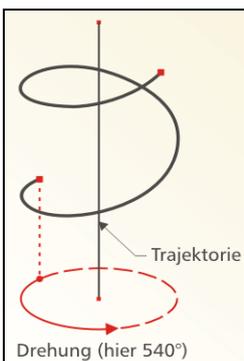


Trajektorienkurve

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



Bild 5.31: Dialog *Neue Trajektorienkurve*



Es werden zunächst die *Koordinaten* des Linienanfangs festgelegt. Damit wird der Abschnitt *Parameter* zugänglich, in dem man die gesamte *Drehung* der Spirale angibt.

Die *Koordinaten* des Linienendes werden dann wiederum grafisch bestimmt oder über eine manuelle Eingabe und [Anwenden] festgelegt. Alternativ kann das Eingabefeld *Länge* benutzt werden. Die *Koordinaten* des Endpunktes werden dann unter Berücksichtigung der vorgegebenen *Drehung* in der Arbeitsebene ermittelt.

Eine Trajektorienkurve kann man nachträglich anpassen, indem man diese in der Grafik doppelklickt und dann im Register *Trajektorie* des Dialog *Linie bearbeiten* die Änderungen vornimmt.

Linie auf Fläche



Linien in ebenen Flächen werden in der Regel automatisch als integrierte Objekte erkannt, sodass dort meist der Linientyp *Polylinie* ausreichend ist. Soll eine Linie in eine gekrümmte Fläche gesetzt werden, ist die Variante *Linie auf Fläche* zu empfehlen. Mit diesem Linientyp können zudem Linien in ebene Flächen eingefügt werden, die nicht parallel zu den globalen Achsen liegen. Man braucht damit kein neues Benutzerkoordinatensystem anlegen.

Die grafische Eingabe wird über die entsprechende Schaltfläche gestartet. Der Eingabedia-log gleicht dem einer Polylinie.

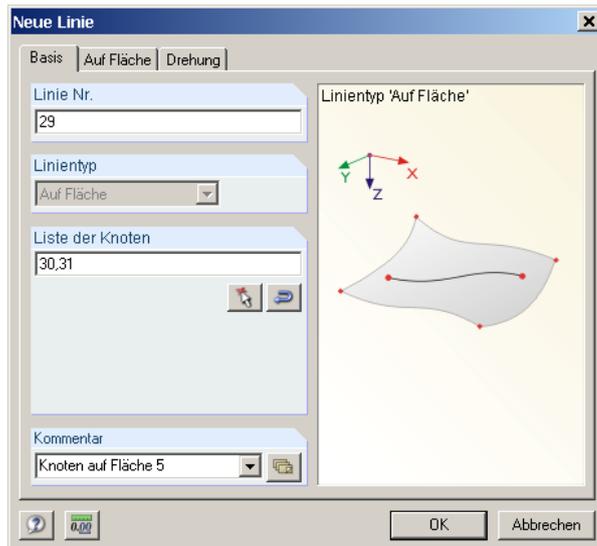


Bild 5.32: Dialog *Neue Linie*, Register *Basis*



Die Anfangs- und Endknoten der Linie werden eingetragen oder grafisch ausgewählt. Im schwebenden Dialog *Neue Linie des Typs 'Auf Fläche'* lassen sich die Knoten auch direkt auf eine gekrümmte Fläche setzen, wenn diese Fläche vorher selektiert wurde. Es werden dabei Knoten des Typs *Auf Fläche* erzeugt.



Im zweiten Register *Auf Fläche* wird die Fläche festgelegt, in der die Linie liegt. Dort können auch die Parameter δ_1 und δ_2 von Anfangs- und Endknoten überprüft werden (vgl. Bild 5.8, Seite 87). Für Modifikationen sind diese Parameter allerdings nicht zugänglich.

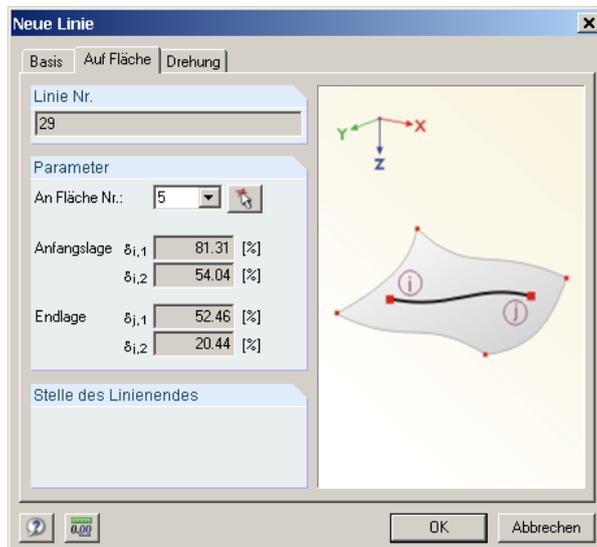


Bild 5.33: Dialog *Neue Linie*, Register *Auf Fläche*

5.3 Materialien

Allgemeine Beschreibung

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

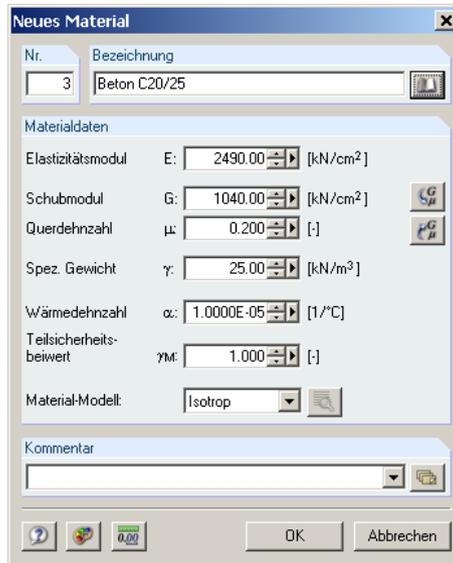


Bild 5.34: Dialog *Neues Material*

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elastizitätsmodul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Querdehnzahl μ [-]	Spez. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehnzahl α [1/°C]	Teilsich.-Beiwert γ _M [-]	Material-Modell	Kommentar
1	Beton C30/37 DIN 1045-1:	2830.00	1180.00	0.200	25.00	1.0000E-05	1.000	Isotrop	
2	Baustahl S 235 DIN 18800	21000.00	8100.00	0.300	78.50	1.2000E-05	1.100	Isotrop	
3	Brettschichtholz BS 14 DIN	1100.00	60.00	0.000	5.00	5.0000E-06	1.000	Isotrop	
4									
5	Beton C25/30 DIN 1045-1:	2670.00	1110.00	0.200	25.00	1.0000E-05	1.000	Isotrop	
6									
7									

Bild 5.35: Tabelle 1.2 *Materialien*

Materialbezeichnung

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

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

Elastizitätsmodul E

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



Über 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, die das elastische Verhalten eines linearen, isotropen und homogenen Materials vollständig charakterisiert.

Querdehnzahl μ

Zwischen E- und G-Modul sowie der Querdehnzahl μ bestehen folgende Zusammenhänge:

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

Gleichung 5.1

$$G = \frac{E}{2 \cdot (\mu + 1)}$$

Gleichung 5.2

$$\mu = \frac{E}{2 \cdot G} - 1$$

Gleichung 5.3



Diese Formeln sind auch den beiden links dargestellten Schaltflächen hinterlegt. Damit wird bei einer manuellen Eingabe von G bzw. μ der entsprechende Wert in das andere Eingabefeld eingetragen.

Spezifisches Gewicht γ

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

Diese Angabe ist insbesondere für den Lastfall ‚Eigengewicht‘ bedeutsam. Die automatische Eigenlast der Struktur wird aus dem spezifischen Gewicht und den Querschnittsflächen der verwendeten Stäbe 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.

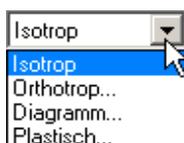
Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Dieser Beiwert beschreibt den Sicherheitsfaktor auf der Widerstandsseite für das Material, weshalb Index M benutzt wird. Mit dem Faktor γ_M wird optional die Steifigkeit bei der Berechnung nach Theorie II. und III. Ordnung abgemindert.

Der Beiwert γ_M darf somit 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 Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen ein.

Materialmodell

In der Liste stehen vier verschiedene Materialmodelle zur Auswahl. Falls die Parameter näher definiert werden müssen, so ist dies über die [Details]-Schaltflächen im Dialog bzw. in der Tabelle möglich.



Isotrop

Die Steifigkeitseigenschaften des Materials sind unabhängig von der Richtung.

Orthotrop

Für das Material können Steifigkeitseigenschaften angegeben werden, die in die beiden Flächenrichtungen x und y unterschiedlich ausgeprägt sind. Die Flächenachsen x und y stehen in Flächenebene senkrecht zueinander (vgl. Bild 5.55, Seite 116). Somit kann sämtlichen Flächen mit diesem Material global eine Orthotropieeigenschaft zugewiesen werden, anstatt dies für jede Fläche einzeln vorzunehmen (vgl. Kapitel 5.12 *Orthotrope Flächen*, Seite 138).

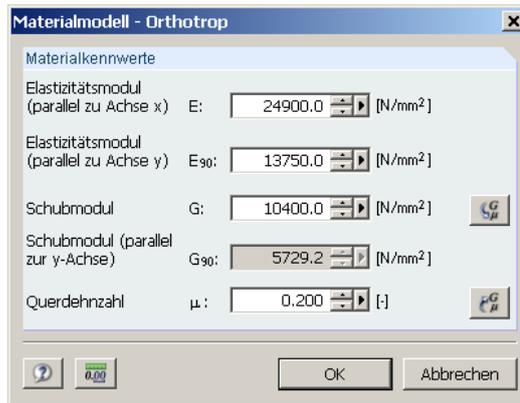


Bild 5.36: Dialog *Materialmodell - Orthotrop*

Diagramm

Es kann ein detailliertes Spannungs-Dehnungs-Diagramm definiert oder auch aus Excel importiert werden. Diese Materialeigenschaften finden bei Flächen Berücksichtigung.

Diese Funktion steht zur Verfügung, wenn das Zusatzmodul **RF-MAT NL** lizenziert ist.

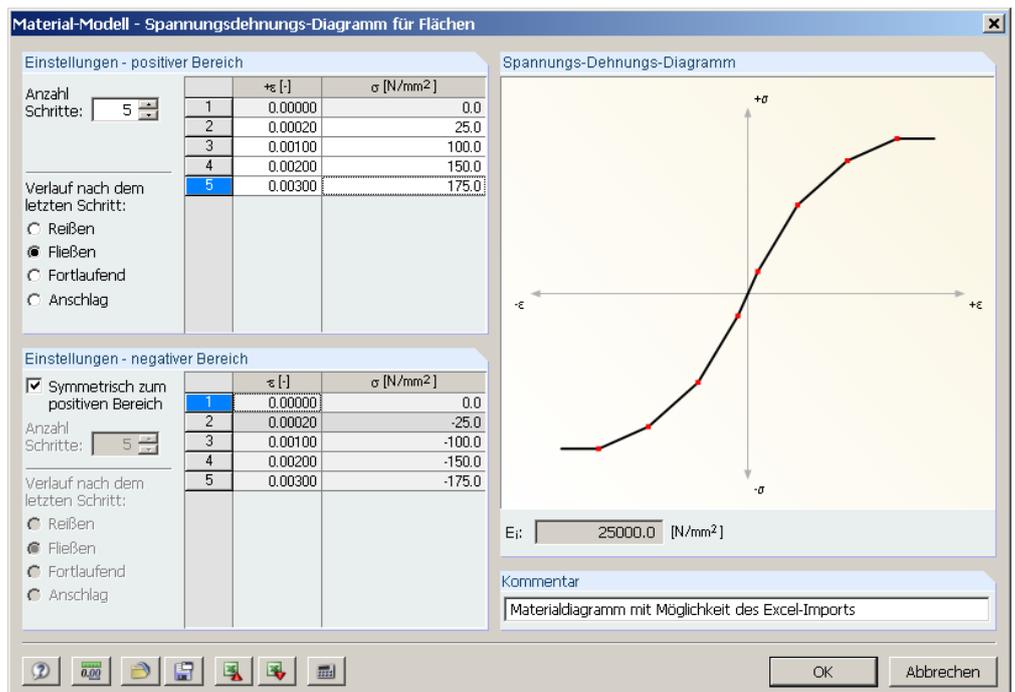
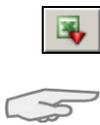


Bild 5.37: Dialog *Materialmodell - Spannungs-Dehnungs-Diagramm*

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 Hauptspannungen 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.

Zur Kontrolle der Materialeigenschaften empfiehlt sich die dynamische Grafik im Abschnitt *Spannungs-Dehnungs-Diagramm*. Im Feld E_i unterhalb kann der E-Modul am aktuellen Definitionspunkt abgelesen werden.



Über die links gezeigte Schaltfläche kann man vordefinierte bilineare Spannungs-Dehnungs-Diagramme für handelsübliche Stahlgüten (S 235, S 275, S 355 etc.) importieren.

Plastisch

In einem Dialog kann die Vergleichsspannung der Flächen auf einen bestimmten Wert der *Streckgrenze* limitiert werden.



Diese Funktion steht zur Verfügung, wenn das Zusatzmodul **RF-MAT NL** lizenziert ist.



Bild 5.38: Dialog *Materialmodell - Plastisch*

Zudem besteht die Wahl zwischen zwei *Fließbedingungen*, die für Flächen wie folgt lauten:

- VON MISES

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

Gleichung 5.4

- TRESCA

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

Gleichung 5.5

Da sich die Fließhypothese nach TRESCA insbesondere für spröde Werkstoffe eignet, wird sie häufig im Maschinenbau angewandt.



Sind plastische Materialeigenschaften zu berücksichtigen, wird die Berechnung iterativ und mit Laststeigerungen durchgeführt (vgl. Kapitel 8.3, Seite 255). Im Falle einer Spannungsüberschreitung in einem finiten Element wird dort der E-Modul abgemindert und dann ein erneuter Rechenlauf gestartet, bis eine Konvergenz erreicht ist.



Zur Auswertung der Ergebnisse sollte die Glättungsoption *Konstant in Elementen* gewählt werden (vgl. Bild 10.25, Seite 318). Damit wird gewährleistet, dass die definierte Streckgrenze als Maximum im Ergebnispanel erscheint. Plastische Effekte können in der Berechnung nur elementweise berücksichtigt werden. Die übrigen drei Glättungsoptionen hingegen inter- bzw. extrapolieren die Ergebnisse. Dies kann zu Verzerrungen führen, die je nach Vernetzung mehr oder weniger ausgeprägt sind.

Materialbibliothek

Eine Vielzahl von Materialien ist bereits in einer Datenbank hinterlegt.

Bibliothek aufrufen

Die Bibliothek kann im Dialog *Neues Material* über die Schaltfläche [Material-Bibliothek] aufgerufen werden. Auch in der Tabelle 1.3 *Materialien* ist diese Datenbank zugänglich: Platzieren Sie den Cursor in Spalte A und drücken dann die Schaltfläche [...] oder die Funktionstaste [F7].

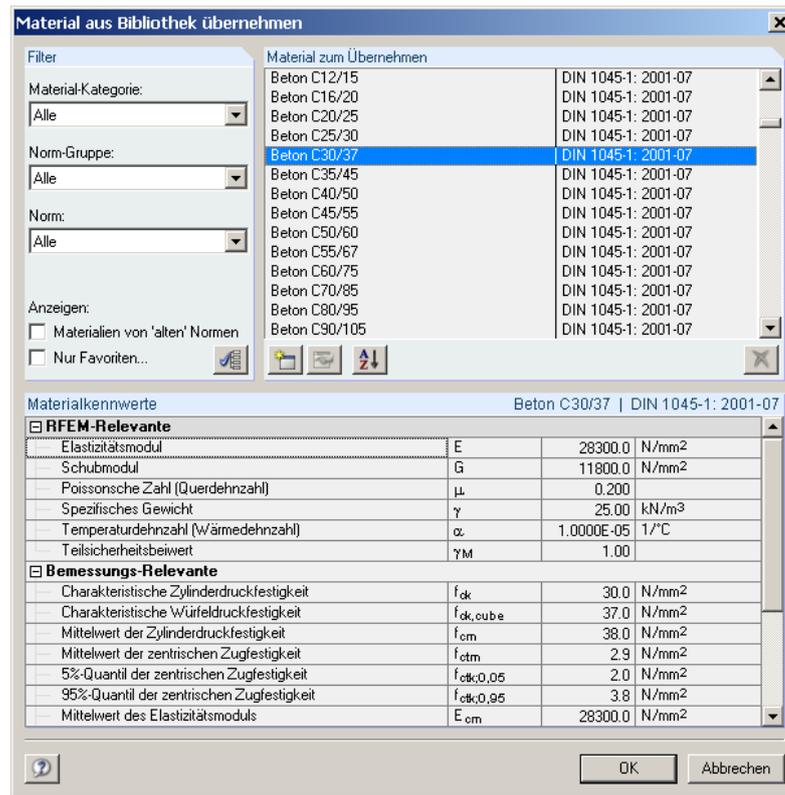


Bild 5.39: Dialog *Material aus Bibliothek übernehmen*

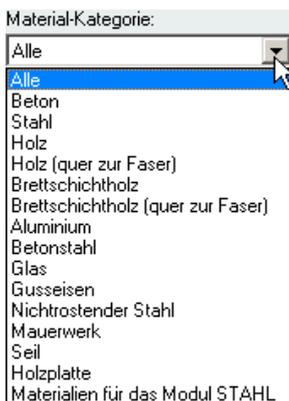
Aus der Liste *Material zum Übernehmen* können Sie ein Material auswählen und dessen Kennwerte im unteren Bereich des Dialogs kontrollieren. Mit [OK] oder [↵] wird es in den vorherigen Dialog oder die Tabelle übernommen.

Bibliothek filtern

Da die Materialbibliothek sehr umfangreich ist, stehen im Abschnitt *Filter* diverse Selektionsmöglichkeiten zur Verfügung. Sie können die Liste der Materialien nach den Kriterien *Material-Kategorie*, *Norm-Gruppe* und *Norm* filtern und dadurch das Angebot reduzieren.

Favoriten anlegen

Oft werden nur einige wenige Materialien verwendet. Diese können als Favoriten abgelegt werden. Der Dialog zum Anlegen der Favoriten wird mit der Schaltfläche [Favoriten und Reihenfolge bearbeiten] aufgerufen.



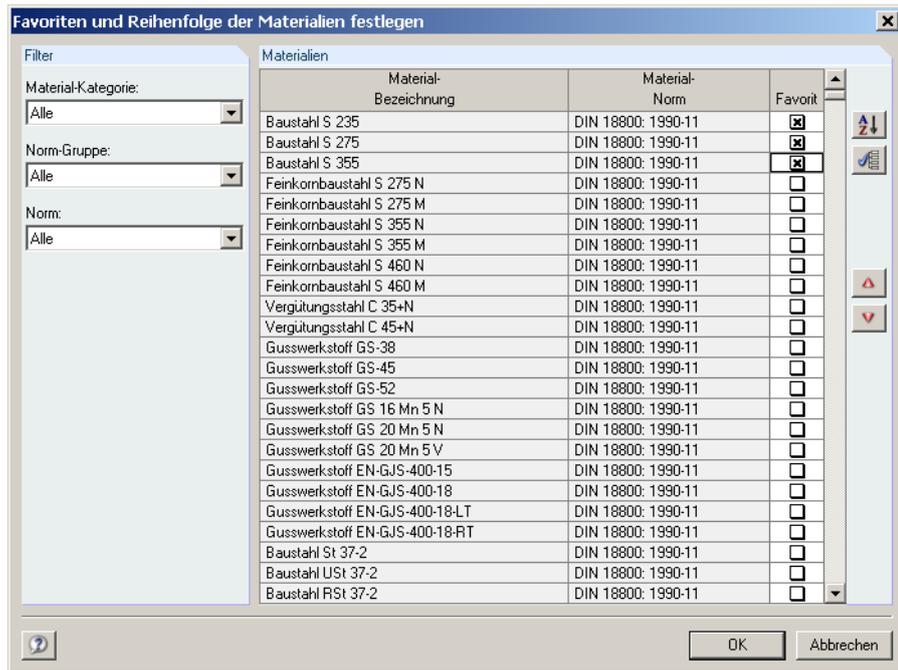


Bild 5.40: Dialog *Favoriten und Reihenfolge der Materialien festlegen*



In diesem Dialog stehen die bereits beschriebenen Filtermöglichkeiten zur Verfügung. Die häufig verwendeten Materialien können Sie in der letzten Spalte der *Materialien*-Liste als *Favorit* kennzeichnen, indem Sie das Kästchen ankreuzen. Zudem können Sie in diesem Dialog die Reihenfolge der Materialien mit den Schaltflächen [▲] und [▼] verändern.

Die Materialbibliothek präsentiert sich nun wesentlich übersichtlicher, wenn das Kontrollfeld *Nur Favoriten* aktiviert ist.

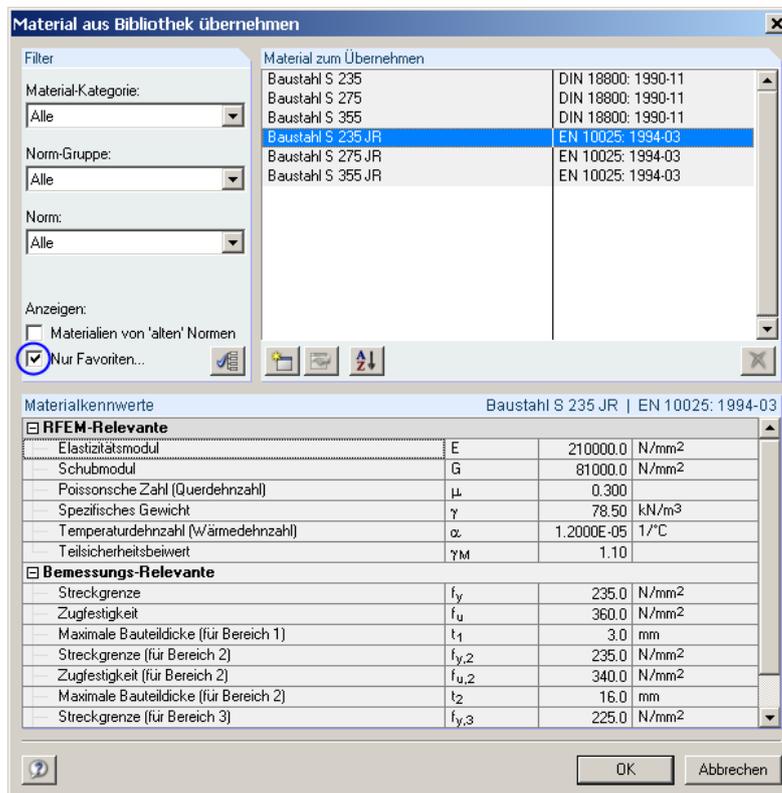


Bild 5.41: Materialbibliothek: *Nur Favoriten*

Die Favoriten wirken sich auch auf die beiden Materialien aus, die beim Anlegen einer neuen RFEM-Position automatisch voreingestellt werden. Als Standard sind dies *Baustahl S 235* und *Beton C30/37*. Wenn Sie jedoch Favoriten definiert haben, erscheinen die obersten beiden Materialien Ihrer Favoritenliste als voreingestelltes Material.

Werden die *Materialien ,alter' Normen* benötigt, so kann man diese über das entsprechende Kontrollfeld im Abschnitt *Filter* exklusiv anzeigen lassen.

Bibliothek ergänzen

Die Materialdatenbank ist erweiterbar. Sobald man ein neues Material ergänzt hat, steht es für alle RFEM-Strukturen zur Verfügung.



Die Schaltfläche [Neues Material anlegen] ist im Abschnitt *Material zum Übernehmen* unter der Liste zu finden. Sie ruft den Dialog *Neues Material* auf, wobei die Parameter des in der Liste *Material zum Übernehmen* selektierten Eintrags voreingestellt werden. Das Anlegen eines neuen Materials kann also erleichtert werden, wenn man ein Material mit ähnlichen Eigenschaften selektiert und dann erst den Dialog aufruft.

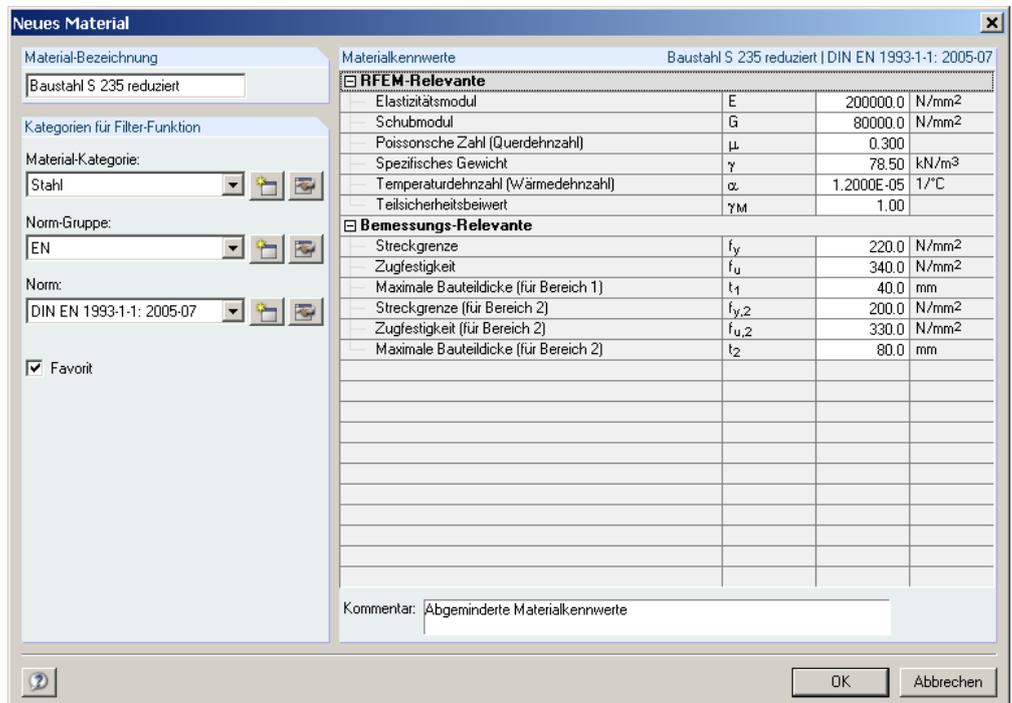


Bild 5.42: Dialog *Neues Material*

Legen Sie die *Material-Bezeichnung* fest, definieren die *Materialkennwerte* und weisen das Material den geeigneten *Filter-Kategorien* zu.



Über die links dargestellten Schaltflächen können Kategorien neu erstellt bzw. bearbeitet werden.



Bild 5.43: Dialog *Material-Kategorien bearbeiten*



Die Reihenfolge der Einträge lässt sich mithilfe der Schaltflächen [▲] und [▼] anpassen.

5.4 Flächen

Allgemeine Beschreibung

Mit Flächen wird in RFEM zum einen die Geometrie beschrieben, zum anderen dem System über die Material- und Dickeneigenschaften eine Steifigkeit zugewiesen. Beim Generieren des FE-Netzes werden an Flächen 2D-Elemente erzeugt. Hintergrundinformationen zu den verwendeten Elementen finden Sie im Kapitel 8.2.1 auf Seite 242.

Der Dickentyp *Null* wird ausschließlich zur Geometriebeschreibung von Volumina benutzt.

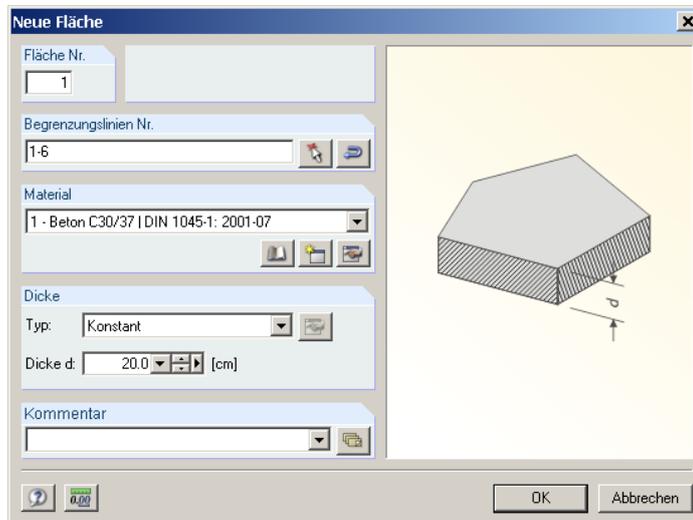


Bild 5.44: Dialog *Neue Fläche*

1.4 Flächen

Fläche Nr.	A Flächentyp	B Begrenzungslinien Nr.	C Material		E Dicke Typ	F Exzentrizität e _z [cm]	G Integrierte Objekte			I Öffnungen Nr.	J Kommentar
			Nr.	Material			Knoten Nr.	Linien Nr.	Veränderliche Dicken		
1	Eben	1,2,19,3,4	1	Konstant	20.00	0.00				1	Deckenplatte
2	Eben	3,9	1	Veränderlich		0.00					Rückwand
3	Eben	1,10-12	1	Orthotrop	25.00	0.00			2		
4	Quadrangle	16,12,4,17	1	Konstant	20.00	0.00					Schale
5	Quadrangle	9,18,15,17	1	Konstant	20.00	0.00					
6	Flöhr	20/0.250	2	Konstant	0.80	0.00					
7											

Linien | Materialien | Flächen | Volumina | Öffnungen | Knotenlager | Linienlager | Flächenbettungen | Liniengelenke | Veränderliche Dicken

Typ der Fläche ('E'ben / 'Q'quadrangle / 'B'-Spline / 'R'otationsfläche / 'R'o'hr / F7 zum Wählen)

Bild 5.45: Tabelle 1.4 *Flächen*

Flächentyp

Für die Modellierung stehen verschiedene Flächenarten zur Verfügung.

Ebene Fläche

Ebene Flächen können grafisch durch das Aufziehen eines Rechtecks, Parallelogramms, Kreises, Rings, Polygons etc. definiert werden. Über die links dargestellte Listenschaltfläche oder im Menü ist eine Vielzahl an Varianten ebener Flächen zugänglich. Bei der grafischen Eingabe öffnet sich folgender Dialog.

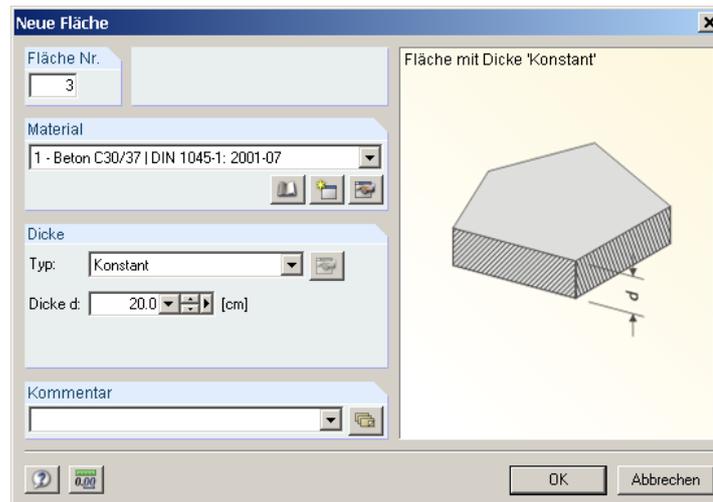


Bild 5.46: Dialog *Neue Fläche*

Sind die Parameter *Material* und *Dicke* festgelegt, können nach [OK] die Begrenzungslinien der Fläche durch Anklicken der relevanten Punkte im Arbeitsfenster neu definiert werden. Das grafische Setzen der verschiedenen Linientypen entspricht dabei der im Kapitel 5.2 ab Seite 95 beschriebenen Vorgehensweise.

Mit der Option *Begrenzungslinien selektieren* lassen sich auch bereits bestehende Linien auswählen. Die Linien müssen einen geschlossenen Linienzug darstellen, der in einer Ebene liegt. Die Flächen werden automatisch erkannt, sobald eine ausreichende Anzahl an Begrenzungslinien feststeht.

Quadranglefläche

Dieser Flächentyp stellt eine allgemeine Viereckfläche dar. Als Begrenzungslinien sind neben geraden Linien auch Bögen, Polylinien oder Splines zulässig. Da die Begrenzungslinien nicht in einer Ebene liegen müssen, lassen sich mit diesem Flächentyp Schalen modellieren.

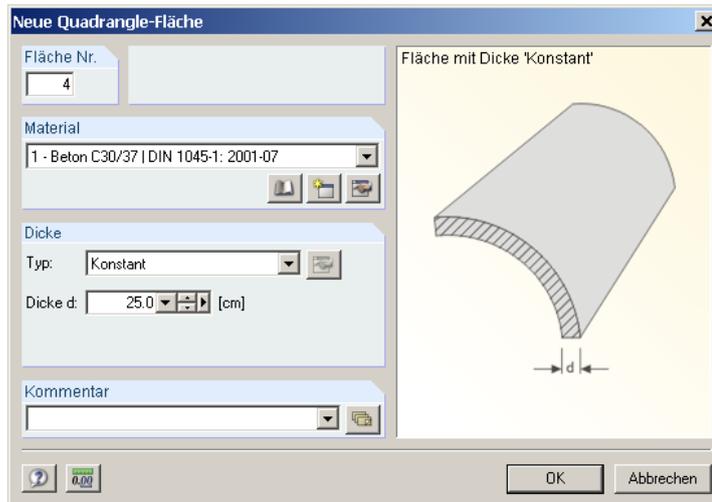


Bild 5.47: Dialog *Neue Quadranglefläche*

Wie bei der Eingabe einer ebenen Fläche können die Begrenzungslinien nach [OK] grafisch bestimmt werden.

Rotationsfläche



Bei einer Rotationsfläche wird eine Linie um eine bestimmte Achse gedreht. Die Fläche ergibt sich dann aus der Anfangs- und Endlage der Linie sowie den Radien der Linienpunkte.

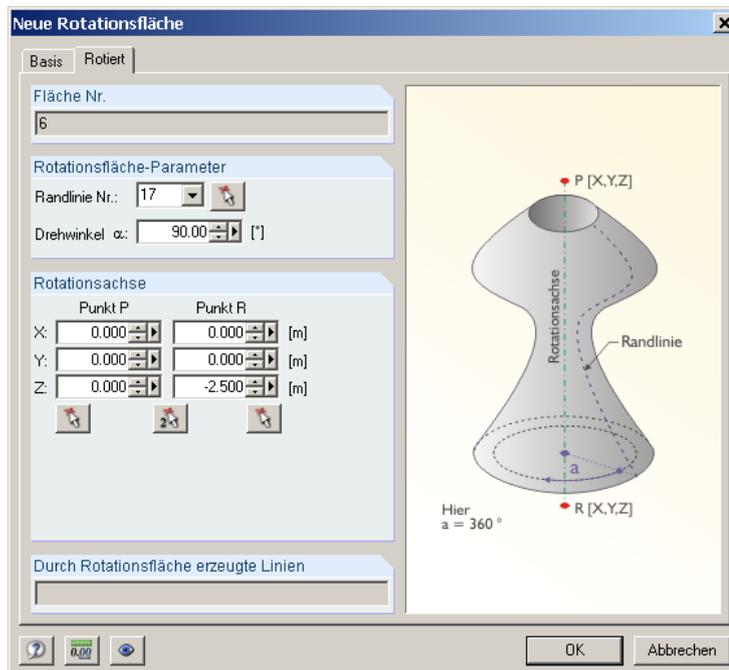


Bild 5.48: Dialog *Neue Rotationsfläche*, Register *Rotiert*

Der Dialog *Neue Rotationsfläche* ist in zwei Register gegliedert. Im Register *Basis* werden *Material* und *Dicke* der Fläche festgelegt. Eine veränderliche Flächendicke ist nicht zulässig.



Im Register *Rotiert* ist der *Drehwinkel* α anzugeben. Die beiden Punkte der Rotationsachse werden über ihre Koordinaten oder durch [Pick] grafisch festgelegt. Nach [OK] wird die zu rotierende Randlinie in der Grafik bestimmt. Auch generierte Linien können für Rotationsflächen verwendet werden.

Rohr



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

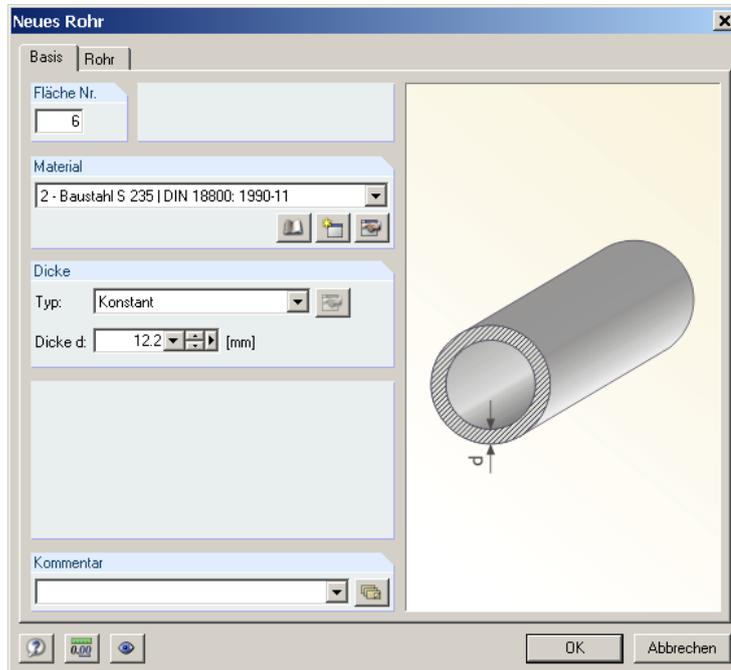


Bild 5.49: Dialog *Neues Rohr*



Der Dialog *Neues Rohr* ist in zwei Register gegliedert. Im Register *Basis* werden die Parameter *Material* und *Dicke* der Fläche, im Register *Rohr* die Parameter *Mittellinie* und *Radius r* festgelegt. 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 oben beschriebenen Quadranglefläche. Zusätzlich werden auf dieser Fläche Hilfsknoten erzeugt. Durch das Bearbeiten deren Koordinaten kann man die Form der Flächen beeinflussen.

Dieser Eingabedialog ist in zwei Register gegliedert. Im Register *Basis* werden die Parameter *Material* und *Dicke* der Fläche festgelegt. Eine veränderliche Flächendicke ist nicht zulässig.

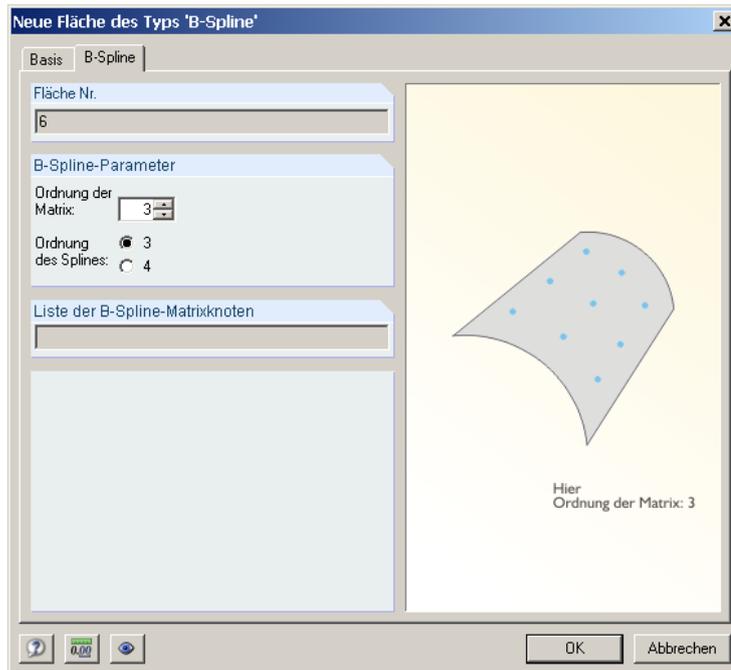


Bild 5.50: Dialog *Neue Fläche des Typs ,B-Spline'*, Register *B-Spline*

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 für die Berechnung der Fläche verwendet wird.

NURBS-Fläche



NURBS-Flächen werden aus vier geschlossenen NURBS-Linien (siehe Kapitel 5.2, Seite 99) gebildet. Sie ermöglichen die Modellierung nahezu beliebiger Freiformflächen.

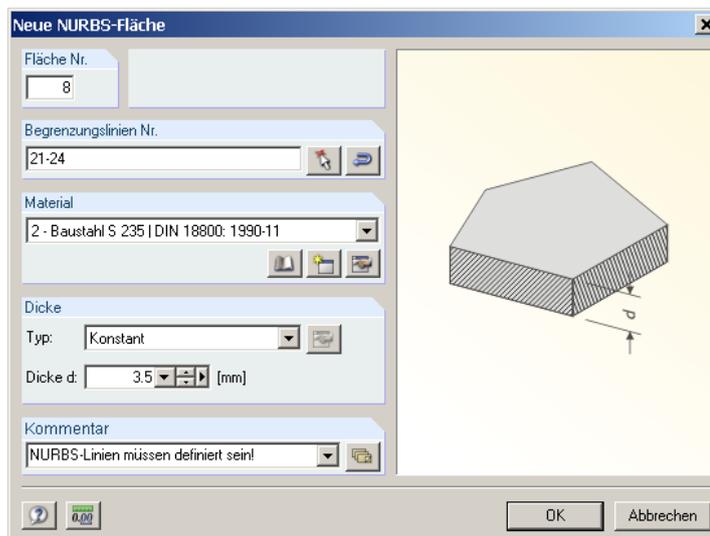


Bild 5.51: Dialog *Neue NURBS-Fläche*

Bei der Eingabe der Begrenzungslinien ist zu beachten, dass jedes gegenüberliegende Paar der NURBS-Linien zueinander „kompatibel“ sein muss: Nur wenn diese jeweils die gleiche Anzahl an Kontrollpunkten aufweisen, liegt auch die gleiche Ordnung der gegenüberliegenden NURBS-Linien vor.



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* werden die Parameter *Material* und *Dicke* der Fläche festgelegt. Eine veränderliche Flächendicke ist nicht zulässig.

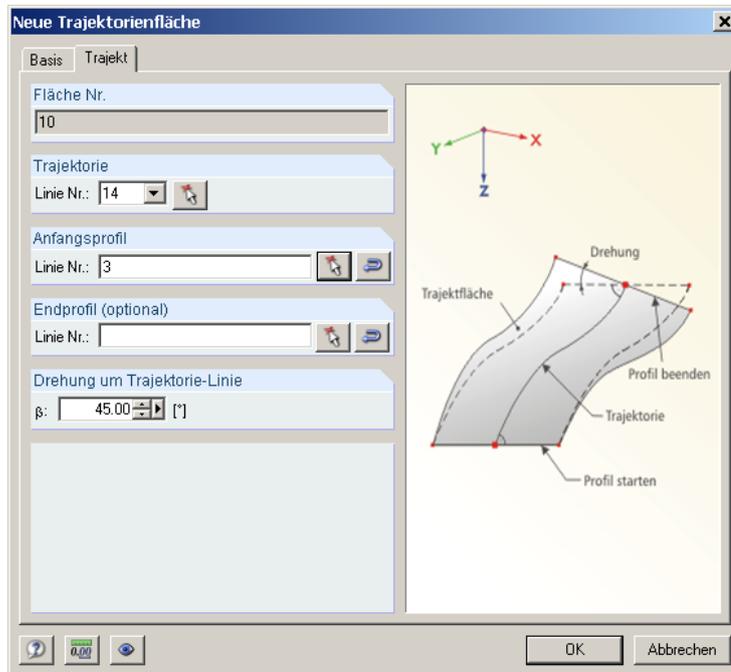


Bild 5.52: Dialog *Neue Trajektorienfläche*, Register *Trajekt*



Im Register *Trajekt* ist zunächst im Abschnitt *Trajektorie* die Nummer der Linie anzugeben oder grafisch auszuwählen, die die Bezugslinie der Fläche darstellt. Das *Anfangsprofil* kann ebenfalls in der Grafik per Mausklick festgelegt werden. Optional ist es möglich, eine zweite Linie als *Endprofil* zu bestimmen. Der *Drehwinkel* β beschreibt die Verdrehung der generierten, parallelen Begrenzungslinie gegenüber der Trajektorie.

Begrenzungslinien

In diesem Eingabefeld bzw. dieser Tabellenspalte werden die Berandungslinien der Fläche angegeben. Die Linien müssen einen geschlossenen Linienzug bilden.

Bei Rotationsflächen erscheinen in dieser Tabellenspalte die Generierungsparameter.

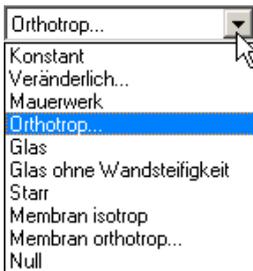
Material

Aus der Liste der bereits definierten Materialien kann ein bestimmter Eintrag ausgewählt werden. In der Tabelle wird die Zuweisung durch die Anzeige der Materialfarbe erleichtert, die für das Rendering benutzt wird



Im Dialog *Neue Fläche* befinden sich unterhalb der Liste drei Schaltflächen. Diese eröffnen den Zugang zur Materialbibliothek und die Neudefinition oder Bearbeitung eines Materials.

Im Kapitel 5.3 ab Seite 101 finden Sie ausführliche Hinweise zu den Materialien.



Dicke

Typ

Es stehen diverse Dickentypen zur Auswahl, die eine realistische Modellierung gestatten.

Konstant

Die Fläche ist an jeder Stelle gleich dick. Es werden Momente und Membrankräfte übertragen.

Veränderlich

Die Dicke der Fläche ist linear veränderlich (siehe Kapitel 5.11, Seite 137). Die Parameter können über die [Bearbeiten]-Schaltfläche definiert werden.

Mauerwerk

Es werden Momente und Membrankräfte übertragen. Bei Scheibenkräften, die Zug verursachen, erfolgt ein Ausfall der betroffenen Flächenelemente.

Orthotrop

Es liegen unterschiedliche Steifigkeiten in beide Flächenrichtungen vor (siehe Kapitel 5.12, Seite 138). Die Parameter können über die [Bearbeiten]-Schaltfläche definiert werden.

Glas

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

Glas ohne Wandsteifigkeit

Die Fläche weist nur eine Biegesteifigkeit auf, jedoch keine Scheibensteifigkeit. Damit wird unterbunden, dass die Fläche aussteifend auf die RFEM-Struktur wirkt.

Starr

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

Membran isotrop

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 5.12, Seite 138) und können über die [Bearbeiten]-Schaltfläche definiert werden.

Null

Nullflächen werden für die Definition von Volumina benötigt.

Dicke d

In diesem Eingabefeld kann die Flächendicke d festgelegt werden, sofern keine veränderliche Dicke oder Nullfläche definiert ist. Bei den Flächentypen *Konstant*, *Mauerwerk*, *Glas* und *Membran isotrop* wird diese Dicke zur Ermittlung des Eigengewichtes und der Steifigkeit herangezogen, bei den Flächentypen *Orthotrop* wird dieser Wert nur zur Berechnung des Eigengewichtes verwendet, da die Steifigkeiten separat definiert sind.

Die Flächendicken können in der Strukturgrafik verschiedenfarbig dargestellt werden. Aktivieren Sie hierzu im Zeigen-Navigator unter dem Eintrag *Struktur* → *Flächen* das Kontrollfeld *Farbskala der Dicken im Panel*.

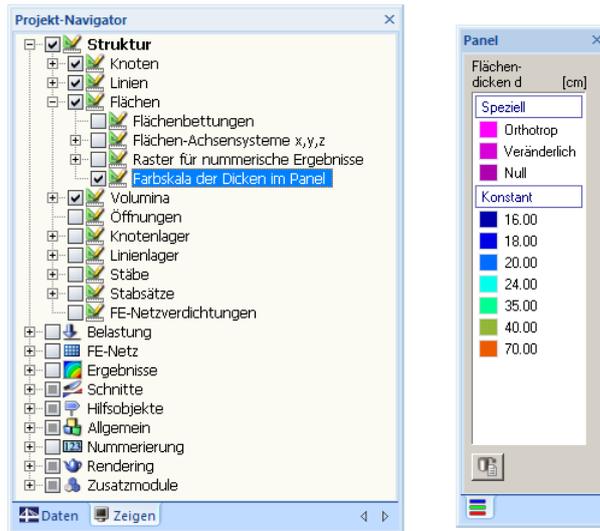


Bild 5.53: Zeigen-Navigator: Flächen → Farbskala der Dicken im Panel

Exzentrizität

Die Flächenmittellinie stellt die Bezugsfläche der Dicke dar, die in gleichen Anteilen beidseits dieser „Schwerachse“ angenommen wird. Dies kann im Zeigen-Navigator überprüft werden, indem man *Rendering* → *Modell* → *Vollmodell* → *Flächen* → *Gefüllt einschl. Dicke* aktiviert.

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

Durch die Zusatzmomente wirkt sich die Exzentrizität auf die Schnittgrößen der Fläche aus.

Integrierte Objekte

RFEM erkennt in der Regel alle Objekte automatisch, die in der Flächenebene oder auf einer Fläche liegen, aber nicht als Begrenzungslinien zur Definition der Fläche benutzt werden. In den Tabellenspalten bzw. Eingabefeldern werden die Nummern dieser Knoten, Linien und Öffnungen angezeigt.

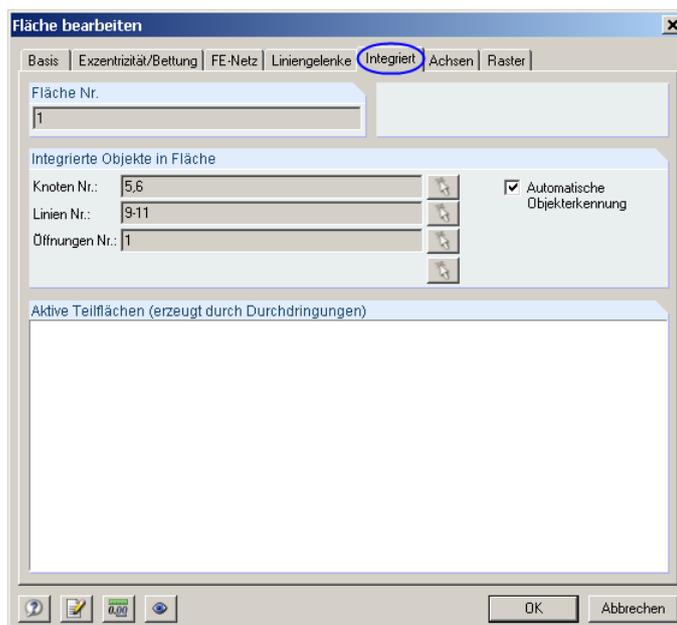


Bild 5.54: Dialog Fläche bearbeiten, Register Integriert

Es besteht die Möglichkeit, manuell Objekte zu integrieren: Im Dialog *Fläche bearbeiten* ist die Option *Automatische Objekterkennung* zu deaktivieren, wodurch die Eingabefelder im Abschnitt *Integrierte Objekte in Fläche* zugänglich werden.

Kommentar

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

Achsensystem

Jede Fläche besitzt ein lokales Koordinatensystem, das für verschiedene Eingabeparameter wie z. B. Orthotropie- und Bettungseigenschaften oder Flächenlastrichtungen bedeutsam ist. Die Grundschnittgrößen sind ebenfalls auf das jeweilige Flächenachsensystem bezogen.

Die Koordinatensysteme lassen sich über das Fläche-Kontextmenü ein- oder ausblenden.

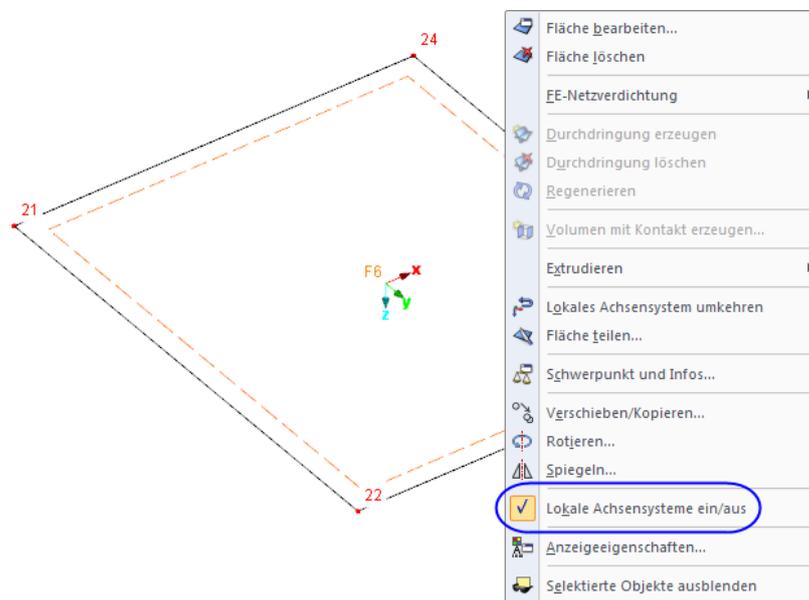
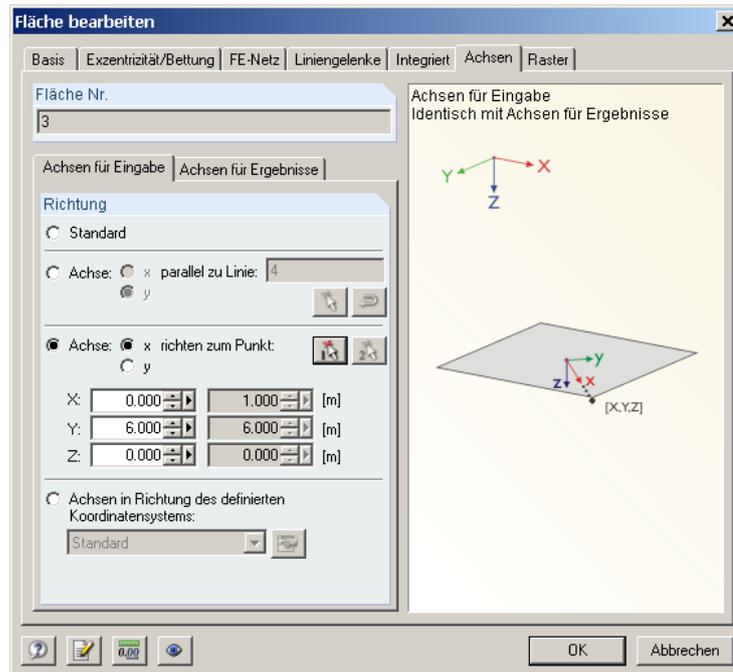


Bild 5.55: Fläche-Kontextmenü

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“ Bewehrungslage für die Stahlbetonbemessung die Flächenseite wechseln.
- Dialog *Fläche bearbeiten*
Der Dialog *Fläche bearbeiten* wird durch Doppelklicken der Fläche aufgerufen. Im Register *Achsen* können die lokalen Flächenachsen sowohl für die *Eingabe* als auch für die *Ergebnisse* angepasst werden.

Bild 5.56: Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Achsen*

In den beiden Unterregistern besteht die Möglichkeit, die lokale Flächenachse *x* oder *y* auf eine *Linie*, einen *Punkt* oder ein *Benutzerkoordinatensystem* (vgl. Kapitel 12.2.4, Seite 383) auszurichten.

5.5 Volumina

Allgemeine Beschreibung



Mit Volumina werden in RFEM Körper beschrieben, in denen beim Generieren des FE-Netzes 3D-Elemente erzeugt werden. Durch Volumina werden auch Kontakteigenschaften zwischen zwei Flächen abgebildet.

In der Regel sind die Volumenbegrenzungsflächen vom Dickentyp *Null*. Eine Ausnahme ist die Modellierung eines Kontakts zwischen zwei Flächen. In diesem Fall müssen die beiden Kontaktflächen mit einer Steifigkeit versehen werden.

FE-Netzverdichtungen lassen sich auch für 3D-Elemente definieren.



Bitte beachten Sie, dass für Volumina derzeit keine Stahlbetonbemessung implementiert ist.

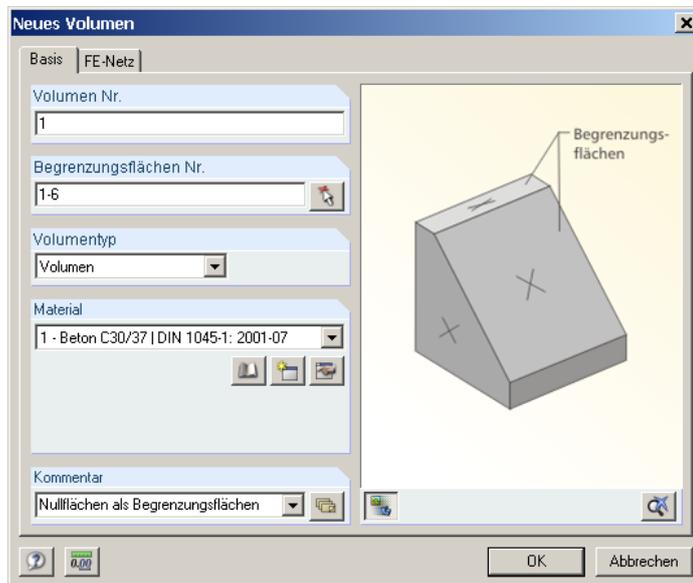


Bild 5.57: Dialog Neues Volumen

Volumen Nr.	Volumentyp	Begrenzungsflächen Nr.	Material Nr.	Kommentar
1	Volumen mit Material	6-11	1	Nullflächen als Begrenzungsflächen
2	Kontakt zwischen zwei Flächen	12-17	2	
3				
4				
5				
6				
7				

Bild 5.58: Tabelle 1.5 Volumina

Volumentyp

Ein *Volumen mit Material* wirkt als 3D-Objekt mit den volumenspezifischen Materialeigenschaften. Die Begrenzungsflächen sollten deshalb als Dickentyp *Null* definiert werden.

Der Volumentyp *Kontakt* eignet sich für die Abbildung von Kontaktproblemen zwischen zwei Flächen. Die Kontakteigenschaften können in einem separaten Register des Dialogs festgelegt werden (siehe unten).

Begrenzungsflächen



Die Flächen müssen einen abgeschlossenen Raum einhüllen. Die Nummern der Flächen werden in das Eingabefeld eingetragen oder mit [Pick] in der Grafik ausgewählt.



Sind die Begrenzungsflächen im Dialog *Neues Volumen* vollständig definiert, kann über die Schaltfläche [Rendering] unterhalb der Grafik eine Vorschau eingeblendet werden.

Die beiden Kontaktflächen eines Kontaktvolumens müssen parallel angeordnet sein.

Material

Aus der Liste der definierten Materialien kann ein bestimmter Eintrag ausgewählt werden.



Im Dialog *Neues Volumen* befinden sich rechts unterhalb der Liste drei Schaltflächen. Diese ermöglichen den Zugang zur Materialbibliothek sowie die Neudefinition oder Bearbeitung eines Materials.

Im Kapitel 5.3 ab Seite 101 finden Sie ausführliche Hinweise zu den Materialien.

Kontakt zwischen zwei Flächen

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

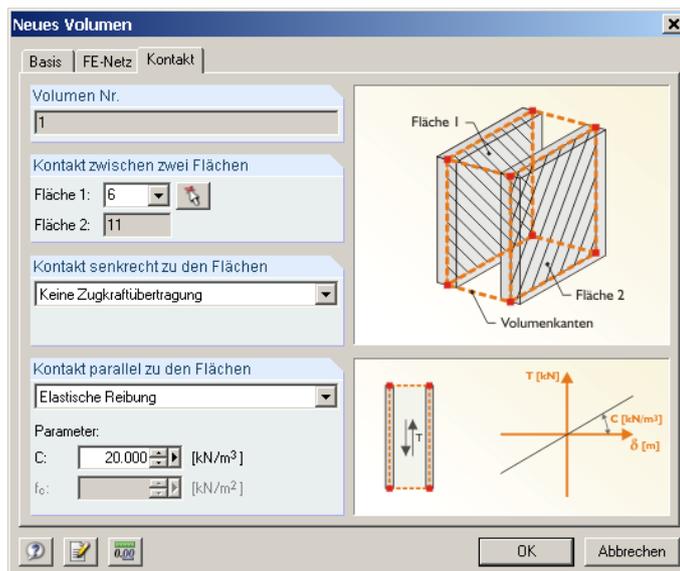
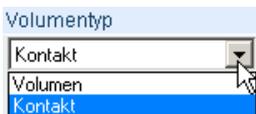


Bild 5.59: Dialog *Neues Volumen*, Register *Kontakt*

Bei Kontaktvolumen muss darauf geachtet werden, die Verbindungsflächen zwischen den beiden Kontaktflächen als ganze, durchgängige Flächen anzulegen. Die Unterteilung einer Verbindungsfläche beispielsweise auf halber Höhe zwischen den Kontaktflächen wäre nicht zulässig. Die Kontaktflächen selbst müssen identisch aufgebaut sein (z. B. durch Kopieren).



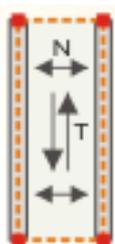
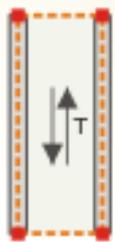
RFEM versucht zunächst, die Kontaktflächen automatisch zu finden. Die *Fläche 1* kann im Abschnitt *Kontakt zwischen zwei Flächen* jedoch in der Liste ausgewählt oder mit [Pick] in der Grafik ausgewählt werden. Als *Fläche 2* wird automatisch die Fläche bestimmt, die zur ersten Fläche parallel liegt und die auch eine Begrenzungsfläche des Volumens ist.

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

- Volle Kraftübertragung
- Keine Druckkraftübertragung
- Keine Zugkraftübertragung

Die Parameter *Druck* und *Zug* werden im Zuge der Berechnung aufgrund der Verformungen der Volumen-FE-Netzknotten berücksichtigt.

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



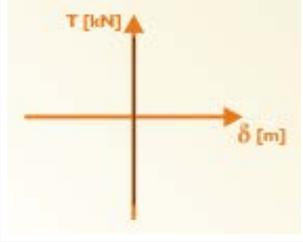
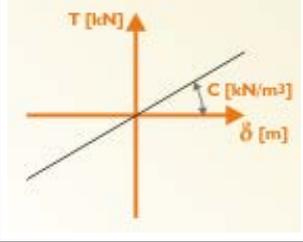
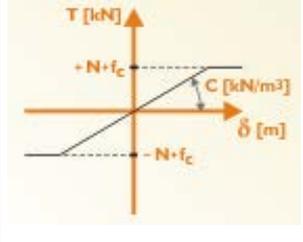
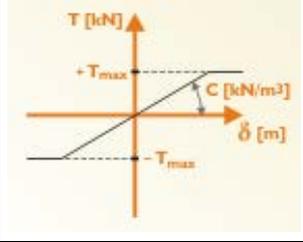
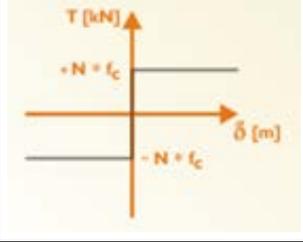
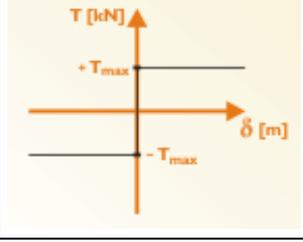
Kontakt	Diagramm	Beschreibung
Volle Kraftübertragung		Alle Kräfte werden übertragen.
Elastische Reibung		Diese „Reibung“ repräsentiert eigentlich ein elastisches Verhalten: Die Scherkraft steigt proportional zur Verformung an. Für die Verformung gibt es keine Begrenzung. Als Parameter ist die Federsteifigkeit C erforderlich (d. h. die erforderliche Kraft, um eine Fläche von 1 m^2 um 1 m zu bewegen).
Elastische Coulomb-Reibung		Zunächst verhält sich diese Nichtlinearität wie die Elastische Reibung. Wird eine Scherkraft von $N \cdot f_c$ erreicht, wird die Scherkraft durch eine Vergrößerung der Verformung nicht weiter gesteigert. Sie bleibt konstant. N repräsentiert dabei die Normalkraft im jeweiligen FE-Element. Als Parameter sind die Federsteifigkeit C und die Coulombsche Gleitreibungszahl f_c erforderlich.
Elastische Coulomb-Reibung mit Begrenzung		Im Unterschied zur Elastischen Coulomb-Reibung ist die Begrenzung der Scherkraft nicht von der Normalkraft abhängig. Es kann nur eine definierte Scherkraft aufgenommen werden. Als Parameter sind die Federsteifigkeit C und die Scherkraft T einzugeben.
Starre Reibung		Diese Nichtlinearität verhält sich ähnlich wie die Elastische Coulomb-Reibung. Da jedoch der elastische Bereich fehlt, wirkt gleich die Coulombsche Reibung. Als Parameter ist die Coulombsche Gleitreibungszahl f_c einzugeben.
Starre Reibung mit Begrenzung		Diese Nichtlinearität verhält sich ähnlich wie die Elastische Coulomb-Reibung mit Begrenzung. Da jedoch der elastische Bereich fehlt, wirkt gleich die Begrenzung durch die Scherkraft. Als Parameter ist die Scherkraft T anzugeben.

Tabelle 5.1: Kontakteigenschaften parallel zu den Kontaktflächen

5.6 Öffnungen

Allgemeine Beschreibung



Mit Öffnungen können Aussparungen in Flächen erzeugt werden. Es werden dort keine FE-Elemente generiert. Wenn eine Fläche mit einer Flächenlast beaufschlagt wird, so wird der Bereich der Öffnung ausgespart.

Voraussetzung für eine Öffnung ist ein geschlossener, in die Fläche integrierter Linienzug.

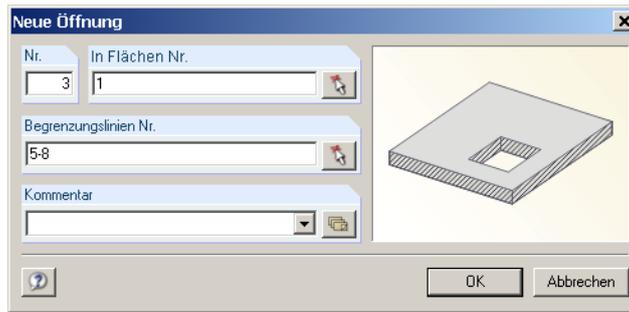


Bild 5.60: Dialog *Neue Öffnung*

Öffnung Nr.	Begrenzungslinien Nr.	In Fläche Nr.	Fläche A [m²]	Kommentar
1	5-8	1	4.000	Treppe
2	13	3	0.780	
3				
4				
5				
6				
7				

Bild 5.61: Tabelle 1.6 *Öffnungen*

Begrenzungslinien Nr.

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



Bei der grafischen Eingabe werden die Begrenzungslinien der Öffnung nacheinander angeklickt. Die Öffnung wird automatisch erkannt, sobald eine ausreichende Anzahl an Begrenzungslinien feststeht.

Öffnungen können über eine der links dargestellten Schaltflächen auch direkt in die Flächen gesetzt werden, die sich in der Arbeitsebene befinden. Den Definitionsarten liegen in etwas reduziertem Umfang die im Kapitel 5.2 ab Seite 92 beschriebenen Linientypen zu Grunde. Sobald die Umrisslinien bestimmt sind, werden die Öffnungen sofort erzeugt. Somit ist es nicht erforderlich, die Linien der Öffnung vorab zu definieren.

In Fläche

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 5.54, Seite 115).

Fläche

In dieser Spalte der Tabelle wird die Öffnungsfläche näherungsweise angegeben.



5.7 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, durch eine Feder eingeschränkt oder mit einer Zwangsverformung versehen werden. Zudem muss an diesem Knoten mindestens ein Stab anschließen. Dabei sollten auch die Randbedingungen der Stäbe berücksichtigt werden, um Doppelgelenke an den gelagerten Knoten auszuschließen.

Als nichtlineare Eigenschaften können Knotenlagern Ausfallkriterien für Zug- oder Druckkräfte zugewiesen werden.

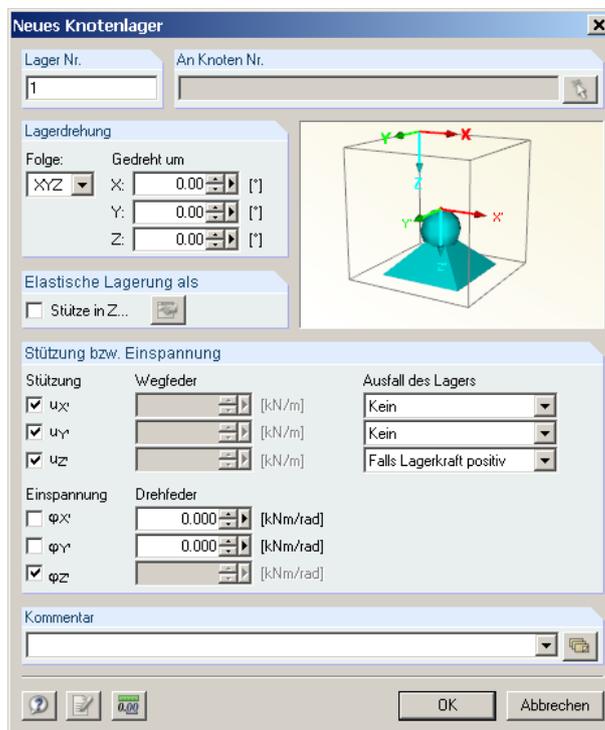


Bild 5.62: Dialog Neues Knotenlager

Lager Nr.	An Knoten Nr.	Folge	Lagerdrehung [°]			Stütze in Z	Stützung bzw. Feder [kN/m]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad]			Kommentar
			um X	um Y	um Z		ux	uy	uz	φx	φy	φz	
1	19	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	12	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11320.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	8	XYZ	0.00	0.00	0.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4													
5													
6													
7													

Bild 5.63: Tabelle 1.7 Knotenlager



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

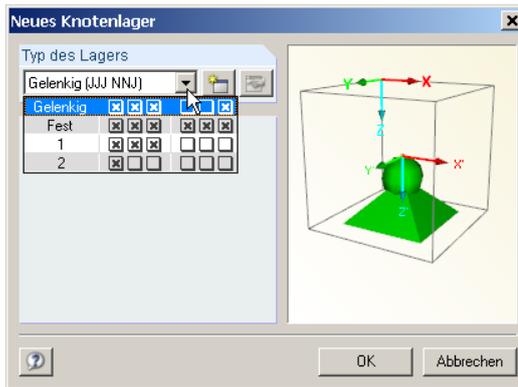


Bild 5.64: Dialog *Neues Knotenlager*

Die Lagertypen *Gelenkig (JJJ NNJ)* und *Fest (JJJ JJJ)* sind bereits vordefiniert und stehen in der Liste zur Auswahl. Der gewählte Lagertyp wird nach [OK] grafisch zugewiesen.



Mit der Schaltfläche [Neu] kann ein weiterer Lagertyp erstellt werden. Es erscheint der im Bild 5.62 gezeigte Dialog.

An Knoten Nr.



Punktueller Lager können nur an Knoten gesetzt werden. Die Knotennummer wird in diese Spalte bzw. dieses Eingabefeld eingetragen oder grafisch ausgewählt.

Lagerdrehung

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

Es ist auch möglich, das lokale Achsensystem des Lagers zu drehen: Wählen Sie zunächst die *Folge*, die die Reihenfolge der lokalen Lagerachsen 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 Dialog-Schaltflächen [►] lässt sich die Lagerdrehung auch grafisch bestimmen.

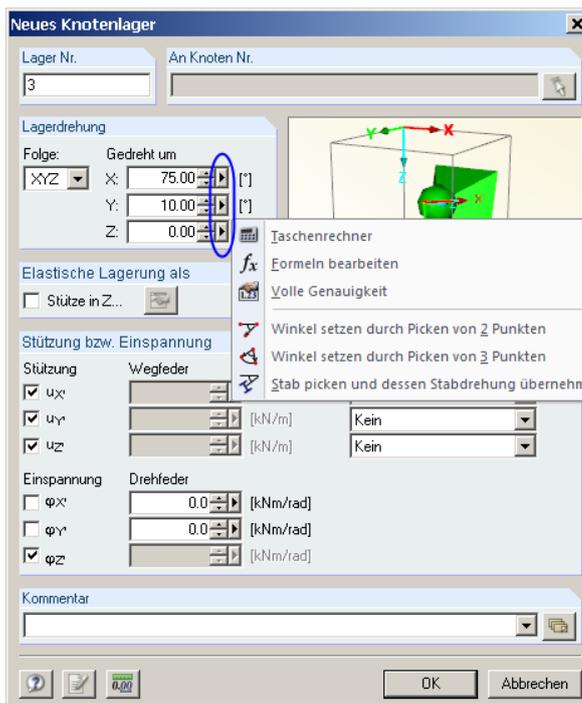
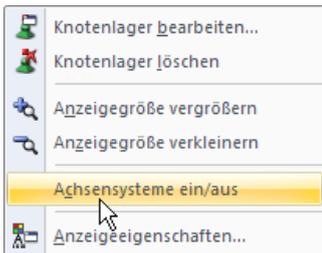


Bild 5.65: Dialog *Neues Knotenlager* mit Optionen zur Lagerdrehung



Die Drehung des Lagers wird in der Dialoggrafik dynamisch angezeigt.

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

Oft werden die realen Gegebenheiten durch ein Knotenlager nur ungenügend abgebildet – insbesondere dann, wenn das Lager nicht zu vernachlässigende geometrische Abmessungen aufweist. Mit speziellen Stützen-Makroelementen werden die Lagerungsbedingungen über Material und Geometrie der Stütze erfasst. Das Programm errechnet die Federsteifigkeiten und passt die Lagerungsbedingungen an. Dank dieser realitätsnahen Modellierung lassen sich Singularitäten vermeiden, die eine feste Stützung nach sich ziehen würde.

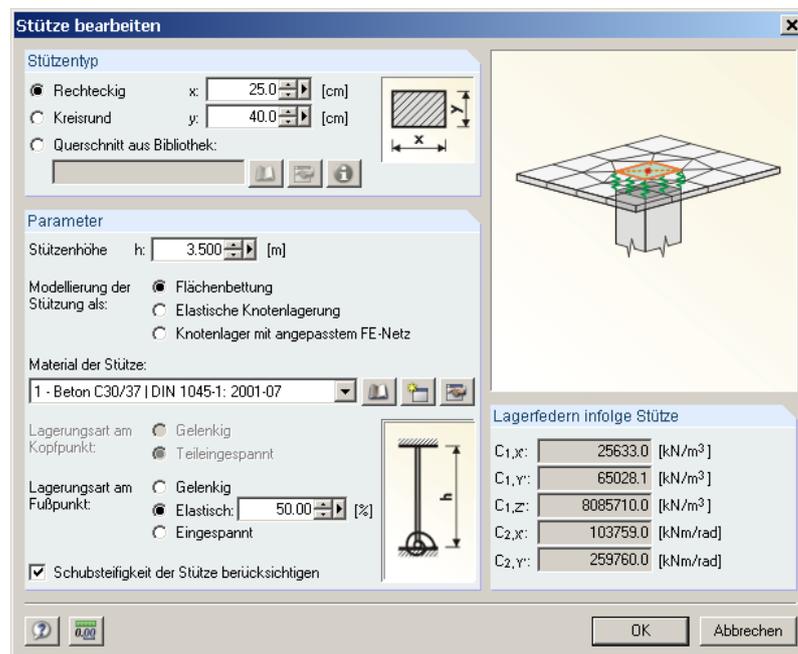


Bild 5.66: Dialog *Stütze bearbeiten*

Im Abschnitt *Stütztyp* wird das Stützenprofil festgelegt. Die Eingabefelder ändern sich je nach Auswahl des Typs *Rechteckig*, *Kreisrund* oder *Querschnitt aus Bibliothek*. Somit können neben Stahlbetonstützen auch Stahlprofile als Stützenquerschnitte verwendet werden.

Neben dem Stützenquerschnitt fließt die *Höhe h* in die Konstanten der Senk- und Drehfedern ein. Im Abschnitt *Parameter* wird weiterhin festgelegt, wie die Stützen im Modell zu realisieren sind. Es stehen drei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Bei der *Flächenbettung* wird eine Fläche mit den Stützenabmessungen herausgelöst und intern elastisch gebettet. Die Bettungskoeffizienten werden aus den Geometrie- und Materialdaten der Stütze errechnet.
- Die Option *Elastische Knotenlagerung* löst ebenfalls eine Fläche heraus, die jedoch punktförmig gelagert wird. 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 intern die Fläche verdoppelt.
- Das *Knotenlager mit angepasstem FE-Netz* entspricht der Option „Elastische Knotenlagerung“, jedoch werden keine Federn an den punktförmigen Lagern verwendet.



Bei allen drei Modellierungsvarianten werden die herausgelösten Flächen im Zusatzmodul RF-BETON Flächen nicht bemessen. Es werden die Schnittgrößen an der Begrenzungslinie der Stütze angesetzt.

Werden die Typen „Flächenbettung“ oder „Elastische Knotenlagerung“ verwendet, müssen weitere Daten zur Stütze eingegeben werden. Das *Material der Stütze* wird aus der Liste der bereits definierten Materialien ausgewählt oder neu angelegt (siehe Kapitel 5.3, Seite 101).

Zur Ermittlung der Federsteifigkeiten sind noch Angaben zur *Lagerungsart am Kopfpunkt* bzw. *Fußpunkt* erforderlich. Wird die *Schubsteifigkeit* der Stütze berücksichtigt, fließt diese ebenfalls in die Konstanten der *Lagerfedern infolge Stütze* ein. Zur Information werden die ermittelten Knotenfedern auf der rechten Seite des Dialogs angezeigt.

Stützung bzw. Feder

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

Soll keine Stützung vorliegen, entfernt man das Häkchen im entsprechenden Kontrollfeld. Im Dialog *Knotenlager* wird die Konstante der Wegfeder mit Null angegeben. Die Federkonstante lässt sich jederzeit modifizieren, um eine elastische Lagerung des Knotens abzubilden. In der Tabelle wird die Konstante direkt in die Spalte eingetragen. Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Die Möglichkeit von Nichtlinearitäten ist weiter unten beschrieben.

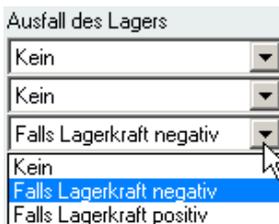
Einspannung bzw. Feder

Einspannungen werden analog zu Stützungen definiert. Auch hier bedeutet das Häkchen bzw. Kreuz, 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 wird die Federkonstante direkt in die entsprechende Spalte eingetragen.

Ausfall des Lagers

Für Knotenlager lassen sich folgende Ausfallkriterien definieren:

- Ausfall falls Lagerkraft positiv
- Ausfall falls Lagerkraft negativ



Im Dialog und in der Tabelle sind die nichtlinearen Eigenschaften über die Liste zugänglich (vgl. Bild 5.62 und Bild 5.63). Damit kann für jede Komponente der Stützung separat festgelegt werden, ob ausschließlich positive oder negative Kräfte am gelagerten Knoten 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 von Seiten des Auflagers). 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.

Knotenlager mit Ausfallkriterien werden in der Grafik andersfarbig dargestellt. Auch in der Tabelle ist eine Lagerkomponente mit nichtlinearen Eigenschaften an einem blauen Kreuz erkennbar.

5.8 Linienlager

Allgemeine Beschreibung

Durch ein Linienlager werden die Randbedingungen für alle FE-Knoten entlang einer Linie definiert. Es können die Verschiebungen und Verdrehungen an diesen internen Knoten ausgeschlossen 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.

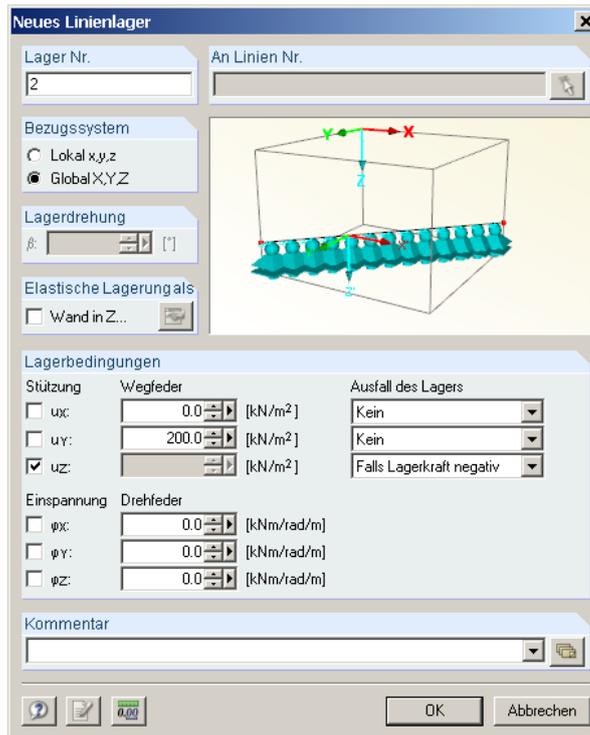


Bild 5.67: Dialog Neues Linienlager

Lager Nr.	A	B	C	D	E			H			K
	An Linien Nr.	Bezugs-system	Drehung β [°]	Wand in Z	Stützung bzw. Feder [kN/m ²]			Einspannung bzw. Feder [kNm/rad/m]			
					u_x	u_y	u_z	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z	Kommentar
1	11,15,16	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 type="checkbox"/>	200.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	6	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											
5											
6											
7											

Bild 5.68: Tabelle 1.8 Linienlager



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

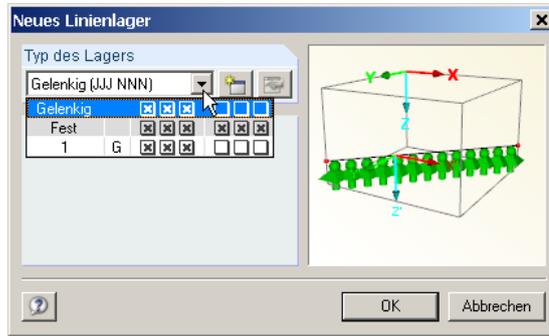


Bild 5.69: Dialog Neues Linienlager

Die Lagertypen *Gelenkig (JJJ NNN)* und *Fest (JJJ JJJ)* sind bereits vordefiniert und stehen in der Liste zur Auswahl. Der gewählte Lagertyp wird nach [OK] grafisch zugewiesen.



Mit der Schaltfläche [Neu] kann ein weiterer Lagertyp erstellt werden.



An Linien Nr.

Linienlager können nur an Linien gesetzt werden, die zu einer Fläche oder einem Volumen gehören. Die Nummer der Linie wird in diese Spalte bzw. dieses Eingabefeld eingetragen oder grafisch ausgewählt.

Bezugssystem

Die Lagerparameter können auf das *lokale* Linienachsensystem x,y,z oder auf das *globale* Achsensystem 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 kann über den *Zeigen*-Navigator eingeblendet werden.

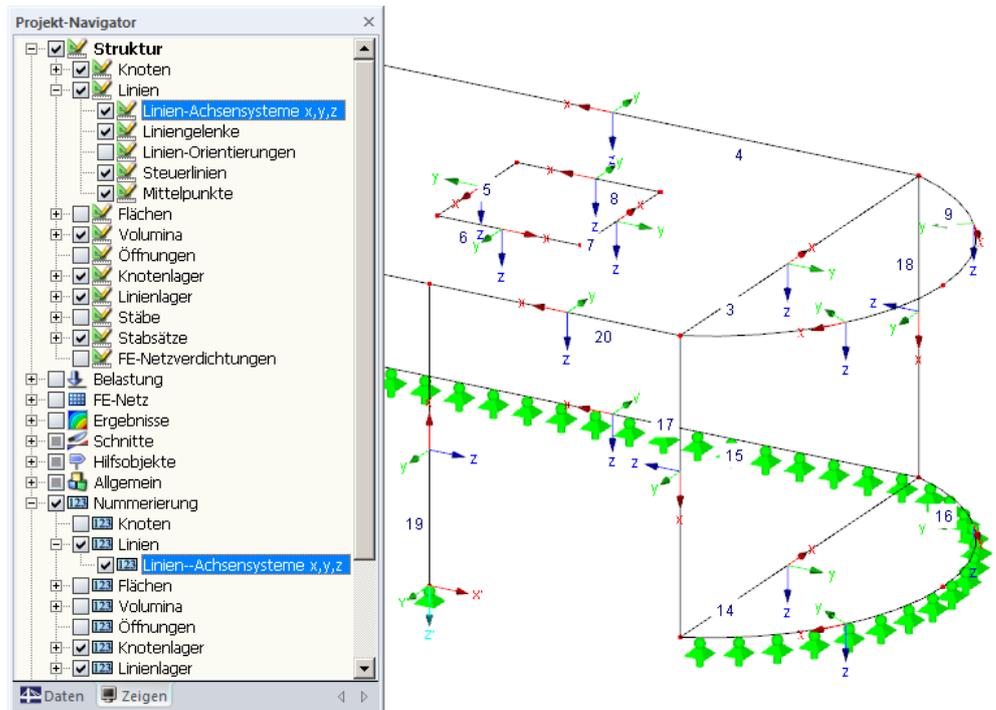


Bild 5.70: Lokale Linienachsensysteme x,y,z

Lagerdrehung

Es ist auch möglich, das lokale Linienlager-Koordinatensystem zu drehen. Die *Drehung* um einen positiven Winkel β rotiert das Lager rechtsschraubig um die positive Linienachse x . In der Dialoggrafik wird die Drehung des Lagers dynamisch angezeigt.

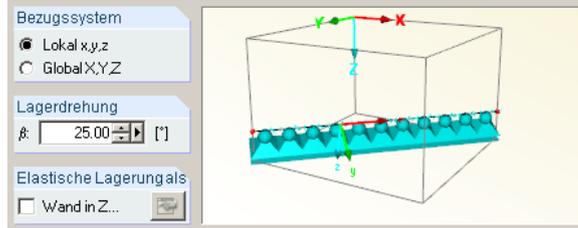
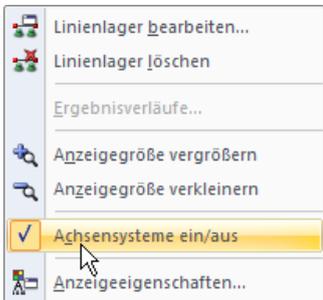


Bild 5.71: Lagerdrehung



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

Über das Kontextmenü eines Linienlagers kann die Anzeige der lokalen Lagerachsen aktiviert werden.



Wand in Z

Ist eine Fläche auf einer Wand gelagert, werden die realen Gegebenheiten durch ein Linienlager nur ungenügend abgebildet. Aus dem Material und der Geometrie der Wand errechnet das Programm die Konstanten der Weg- und Drehfedern. Auf diese Weise lassen sich Singularitäten vermeiden, die eine feste Stützung nach sich ziehen würde.

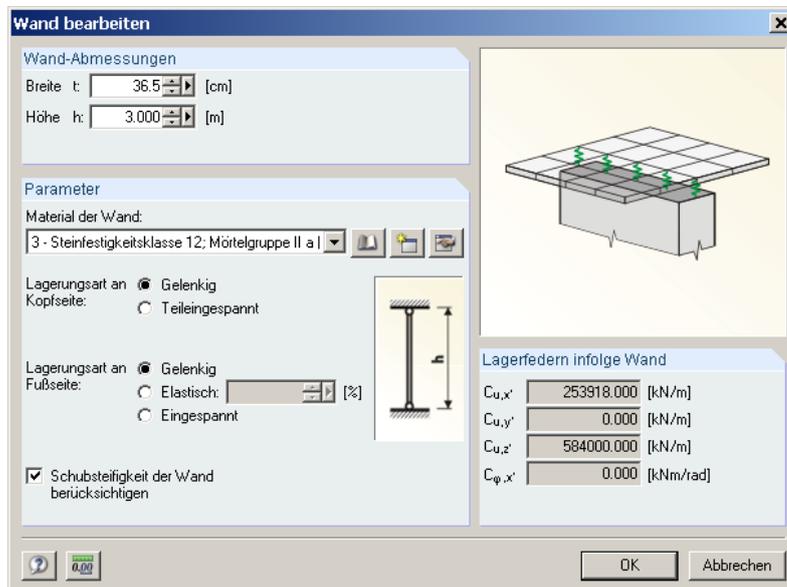


Bild 5.72: Dialog *Wand bearbeiten*

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

Im Abschnitt *Parameter* wird das *Material der Wand* aus der Liste der bereits definierten Materialien ausgewählt oder neu angelegt (siehe Kapitel 5.3, Seite 101).

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. Zur Information werden die ermittelten Federkonstanten auf der rechten Seite des Dialogs 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 bzw. Kreuz zeigt somit an, dass der Freiheitsgrad gesperrt und die Verschiebung der Linie in die entsprechende Richtung nicht möglich ist.

Soll keine Stützung vorliegen, entfernt man das Häkchen im entsprechenden Kontrollfeld. Im Dialog *Linienlager* wird die Konstante der Wegfeder mit Null angegeben. Die Federkonstante lässt sich jederzeit modifizieren, sodass eine elastische Lagerung der Linie abgebildet werden kann. In der Tabelle wird die Konstante direkt in die Spalte eingetragen. Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Die Möglichkeit eines Ausfallkriteriums ist unten beschrieben.

Einspannung bzw. Feder

Einspannungen werden analog definiert. Auch hier bedeutet das Häkchen bzw. Kreuz, 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 wird die Federkonstante direkt in die entsprechende Spalte eingetragen.

Ausfall des Lagers

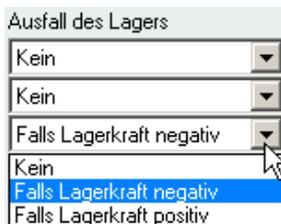
Den Stützungen bzw. Wegfedern eines Linienlagers können folgende nichtlineare Eigenschaften zugewiesen werden:

- Ausfall falls Lagerkraft positiv
- Ausfall falls Lagerkraft negativ

Im Dialog und in der Tabelle sind die nichtlinearen Eigenschaften über die Liste zugänglich (vgl. Bild 5.67 und Bild 5.68). Damit kann für jede Komponente der Stützung separat festgelegt werden, ob ausschließlich positive oder negative Kräfte 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 von Seiten des Auflagers). Die Vorzeichen ergeben sich somit aus der Richtung der lokalen bzw. globalen Achsen. Ist die lokale z-Achse einer Linie beispielsweise nach unten gerichtet, so hat der Lastfall ‚Eigengewicht‘ eine positive Lagerkraft p_z zur Folge.

Linienlager mit Ausfallkriterien werden in der Grafik andersfarbig dargestellt. Auch in der Tabelle ist eine Lagerkomponente mit nichtlinearen Eigenschaften an einem blauen Kreuz erkennbar.



5.9 Flächenbettungen

Bettungsmodell

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

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

$$p_z = C_z \cdot w_z$$

Gleichung 5.6

Sie setzt einfach die Kontaktpressung p_z mit der Verschiebung w_z in jedem Punkt 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 wird damit der umliegende Baugrund überhaupt nicht einbezogen (Bild 5.73a).

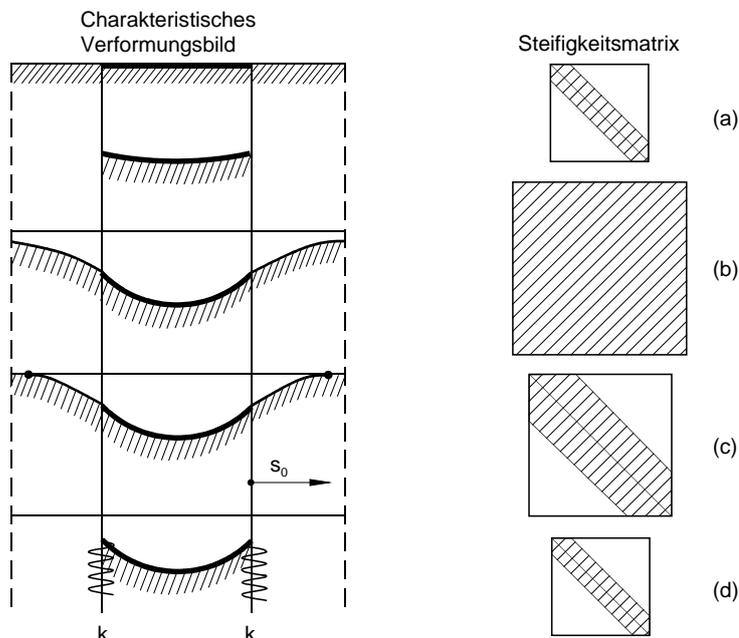


Bild 5.73: Zusammenhang zwischen Verformungsbild und Bandbreite der Steifigkeitsmatrix

Dieses rudimentäre Bettungsmodell genügt den heutigen Anforderungen oft nicht mehr.

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. Der Vorteil dieses mechanisch besseren Baugrundmodells wird allerdings durch numerische Nachteile in Form einer wesentlich größeren Systemmatrix zunichte gemacht (Bild 5.73b).

Das Verfahren des Effektiven Baugrundes nach KOLAR / NEMEC vereint die Vorteile der beiden beschriebenen Modelle, ohne deren Nachteile zu übernehmen. Dieses Baugrundmodell baut auf der Idee von PASTERNAK [8] 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 5.4), jedoch energetisch defekt. Durch Einbeziehung eines zweiten Koeffizienten C_2 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 so ein zweiparametrisches System (C_1, C_2), wobei $C_{1,z}$ in etwa der WINKLERSCHEN Bettungszahl gleichkommt und in praktischen Berechnungen so auch angesetzt werden kann. Detailliert betrachtet ergibt sich ein System von fünf Einzelparametern: $C_{1,x}, C_{1,y}, C_{1,z}, C_{2,x}, C_{2,y}$.

Bild 5.73c 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 5.73d symbolisch dargestellt ist. Es eliminiert den Nachteil der größeren Systemmatrix. In KOLAR/NEMEC [4] ist die Handhabung des Effektiven Modells ausführlich dargelegt.

Die geometrische Eliminierung des umliegenden Baugrundes („Erdkeil“) aus dem Flächenmodell geschieht dadurch, dass die Steifigkeit des Erdkeils in eine äquivalente elastische Randlinien- und Eckknotenlagerung umgerechnet wird.

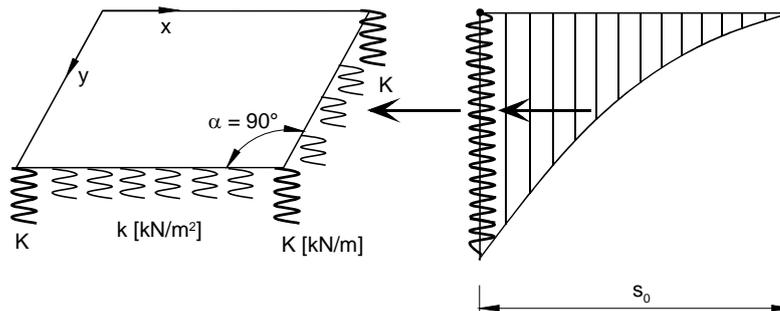


Bild 5.74: Umrechnung des Erdkeils in eine Linien- und Eckknotenlagerung

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

$$k = \sqrt{C_{1,z} \cdot C_{2,\text{senkrecht}}}$$

Gleichung 5.7: Federkonstante Linienlagerung

$$K = \frac{C_{2,x} + C_{2,y}}{4}$$

Gleichung 5.8: Federkonstante Eckknotenlagerung

In Gleichung 5.7 ist derjenige C_2 -Parameter einzusetzen, der senkrecht zur Randlinie wirkt.

Die Gleichung 5.8 gilt für Ecken mit dem Winkel $\alpha \approx 90^\circ$ (andere Winkelgrößen siehe [18]). Größere Winkel von α ergeben kleinere Werte von K ; für $\alpha \approx 0^\circ$ ist allerdings auch $K = 0$.



Die auf diese Weise ermittelten Federn werden dann im Modell als Linien- und Knotenlager zusätzlich zur elastischen Flächenbettung angeordnet.

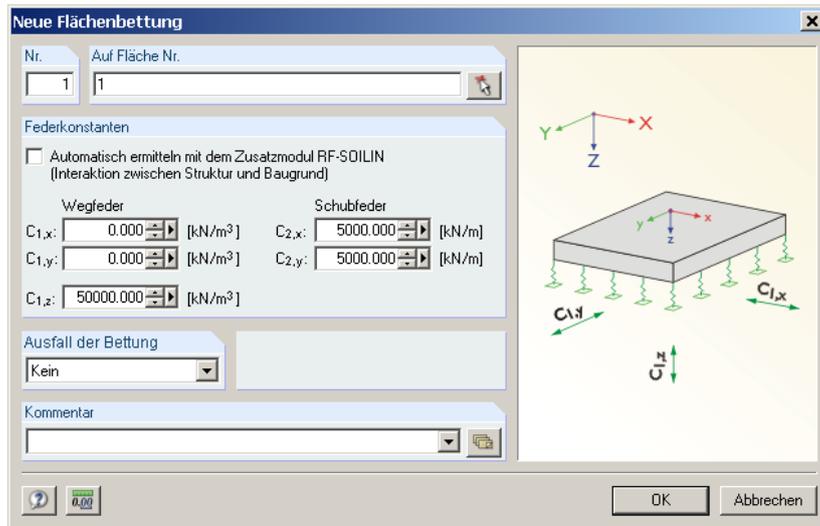


Bild 5.75: Dialog *Neue Flächenbettung*

1.9 Flächenbettungen

Bettung Nr.	A An Fläche Nr.	B Automatisch mit RF-SOILIN	C C _{1,x} [kN/m ³]	D C _{1,y} [kN/m ³]	E C _{1,z} [kN/m ³]	F C _{2,x} [kN/m]	G C _{2,y} [kN/m]	H Ausfall der Bettung	I Kommentar
1	1	<input type="checkbox"/>	0.000	0.000	50000.000	5000.000	5000.000	Kein	
2	2-4	<input type="checkbox"/>	0.000	0.000	75000.000	7500.000	7500.000	Falls Kontaktspannung negativ	
3									
4									
5									
6									
7									

Ausfall der Bettung ('K'ein / Bei 'Z'ug / Bei 'D'ruck / F7 zu Wählen)

Bild 5.76: Tabelle 1.9 *Flächenbettungen*

An Flächen Nr.



In diesem Eingabefeld werden die Nummern derjenigen Flächen eingetragen oder grafisch ausgewählt, die elastisch gelagert sind.

Automatisch mit RF-SOILIN

Jeder Baugrund besitzt mehr oder weniger ausgeprägte nichtlinear elastische bis plastische Eigenschaften. Die Bettungskennwerte können bequem mit dem Zusatzmodul RF-SOILIN ermittelt werden. Dieses Programm führt Setzungsberechnungen anhand der Ergebnisse von Probebohrungen durch und ermittelt die entsprechenden 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 wird der RFEM-Berechnung die Analyse der Bettungskennwerte vorgeschaltet.

Wegfedern C_{1,x} / C_{1,y} / C_{1,z}

Die Richtungen der Federn beziehen sich auf die lokalen Flächenachsen x, y und z. Diese können über den Zeigen-Navigator oder das Kontextmenü einer Fläche eingeblendet werden (vgl. Bild 5.55, Seite 116). Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Wenn eine Bettung senkrecht zur Fläche wirken soll, dann ist der Bettungskoeffizient in das Eingabefeld C_{1,z} einzutragen. Dieser Parameter ist der WINKLERSCHEN Bettungszahl C_z praktisch gleich und kann einem Baugrundgutachten entnommen werden.



Die Parameter $C_{1,x}$ und $C_{1,y}$ sind die Gleitreibungsbeiwerte, die den Widerstand der Bettung gegen die Verschiebung in die Flächenrichtungen x bzw. y beschreiben. Bei einer Bodenplatte wird damit der Gleitwiderstand in die horizontale Richtung angegeben.

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-Strukturen zur Verfügung, nicht bei eben angelegten Modellen. Beachten Sie dabei auch, dass ein eventuelles Ausfallkriterium die Wirkungsrichtung wechselt.

Schubfedern $C_{2,x} / C_{2,y}$

Eine Eingabe in diesen Feldern bewirkt, dass die Schubtragfähigkeit des Baugrundes in Richtung der Flächenachsen x bzw. y berücksichtigt wird. Die PASTERNAKSCHKE Konstante C_2 liegt in den meisten Fällen zwischen $0.1 C_z$ (geringe Schubtragwirkung) und $0.5 C_z$ (mittlere Schubtragwirkung). In der Regel kann $C_{2,x} = C_{2,y}$ angesetzt werden.

Die zentrale Beziehung des Effektiven Modells ist die Kopplung der Parameter $C_{1,z}$ und C_2 über den Koeffizienten s nach folgenden Gleichungen.

$$C_{2,x} = C_{1,z} \cdot s_x^2$$

Gleichung 5.9: Schubfederkonstante $C_{2,x}$

$$C_{2,y} = C_{1,z} \cdot s_y^2$$

Gleichung 5.10: Schubfederkonstante $C_{2,y}$

s ist eine Analogie der elastischen Länge bei gebetteten Balken. Aus Setzungsmessungen wurde die empirische Gleichung aufgestellt (siehe Bild 5.73c, Seite 130):

$$s_0 = 4.0 \text{ s bis } 5.0 \text{ s} \quad \text{Mittelwert:} \quad s_0 = 4.5 \text{ s}$$

Gleichung 5.11: Senkmulde s_0

Damit wird der wichtige Begriff der Reichweite der Senkmulde s_0 eingeführt. Da s_0 eher ein energetischer als geometrischer Begriff ist, wird s_0 baupraktisch als derjenige Abstand vom Plattenrand definiert, bei dem die Setzungen unter 1 % der Fundamentrandwerte absinken. Ist ein Bezugswert von s_0 bekannt, errechnet sich s aus Gleichung 5.11. Daraus ergibt sich nach Gleichung 5.9 und Gleichung 5.10 der Wert von C_2 . Liegen keine verwertbaren Messungen vor, ist dagegen aber der Wert von C_2 aufgrund der Bodenart ermittelbar oder schätzbar, kann der Wert von s wie folgt abgeleitet werden:

$$s_x = \sqrt{\frac{C_{2,x}}{C_{1,z}}} \quad \text{bzw.} \quad s_y = \sqrt{\frac{C_{2,y}}{C_{1,z}}}$$

Gleichung 5.12

Die Bestimmung von C_2 ist das Kernproblem der Anwendung des PASTERNAKSCHEN Bettungsmodells. Geht C_2 gegen 0, vollzieht sich der Übergang zum energetisch defekten WINKLERSCHEN Modell. Geht C_2 gegen unendlich, wird die Reichweite der Senkmulde s_0 unendlich. Die Energie der Deformation des Baugrundes ist dann ein unendlicher Ausdruck, die Setzungsänderungen und auch die Setzungen selbst gehen zu Null. Unrealistisch hohe Werte von C_2 führen dementsprechend zu numerischen Problemen im FE-Algorithmus.

Der Wert von C_2 geht beispielsweise für lockeren Sand zu Null, für feste Gesteinsarten kann er dagegen mit Werten nahe $1.0 C_{1,z}$ angesetzt werden.

KOLAR [18] führt hierzu eine zusammenfassende Tabelle mit Orientierungswerten an:

Bodenkonsistenz	C _{1,z}	Schubtragwirkung C ₂		
		keine	mittel	groß
	[kN/m ³]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
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 5.2: Orientierungswerte für C_{1,z} und C₂

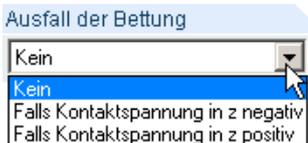
Diese Tabelle kann konkrete Werte eines Bodengutachtens nicht ersetzen. Sie dient lediglich dazu, Anhaltswerte aufzuzeigen.

Ausfall der Bettung

Über die Liste ist es möglich, die Lagerung für positive oder negative Kontaktkräfte auszuschließen (siehe Bild 5.76, Seite 132). Eine positive Kontaktkraft entsteht beispielsweise, wenn eine Bodenplatte bei nach unten gerichteter globaler Z- und lokaler z-Achse durch Eigengewicht belastet wird. Mit einer nach oben orientierten z-Achse der Fläche wäre die Kontaktkraft negativ.

Die Anzeigemöglichkeit für die Flächenachsen ist im Bild 5.55 auf Seite 116 dargestellt.

Ist ein Ausfallkriterium definiert, berechnet RFEM in mehreren Iterationen die Verformungen und Kräfte unter der Vorgabe, dass durch die Bettung an den Stellen, an denen das Ausfallkriterium erfüllt wird, keine Kräfte aufgenommen werden. Dabei ist aber zu beachten, dass bei ausfallenden Bettungen Lastfallkombinationen u. U. nicht korrekt berechnet werden, denn es werden die Ergebnisse der einzelnen Lastfälle mit jeweils örtlich unterschiedlichem Bettungsausfall überlagert. Korrekt wäre es in diesen Fällen, Lastfallgruppen zu verwenden (vgl. Beispiel im Bild 6.13, Seite 187).



5.10 Liniengelenke

Allgemeine Beschreibung

Haben zwei Flächen eine Linie gemeinsam, so sind sie dort biegesteif verbunden. Falls nicht alle Freiheitsgrade gekoppelt sein sollen, muss ein Liniengelenk verwendet werden.

Liniengelenke müssen nicht unbedingt an Begrenzungslinien von Flächen definiert werden. Sie können wie links gezeigt auch in die Fläche integrierten Linien zugewiesen werden.

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 Menü

Einfügen → **Strukturdaten** → **Liniengelenke** → **Zu Linien grafisch zuordnen**.

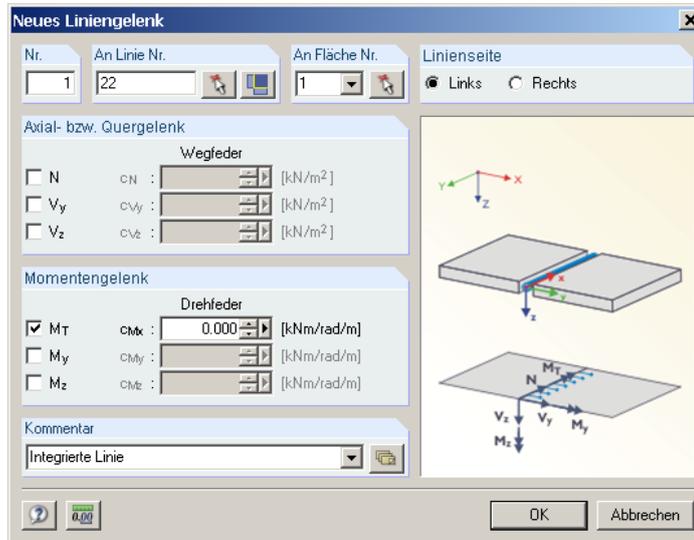
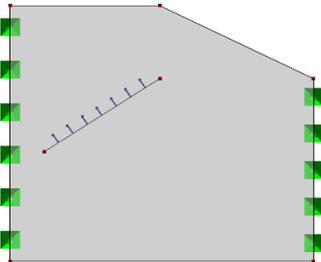


Bild 5.77: Dialog Neues Liniengelenk

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]			Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad/m]							
	Nr.	Nr.		N	V _y	V _z	M _x	M _y	M _z	M _x	M _y	M _z	M _x	M _y	M _z	M _x	M _y	M _z	Kommentar	
1	22	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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Integrierte Linie	
2	3	2		<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"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				

Bild 5.78: Tabelle 1.10 Liniengelenke

Linie Nr.

Es wird die Nummer der Linie eingetragen, in der Liste oder grafisch ausgewählt, an der das Gelenk wirken soll. Falls im Dialog die Fläche vorher ausgewählt wird, lassen sich dort über die Schaltfläche [Alle Begrenzungslinien] sämtliche Randlinien dieser Fläche übernehmen.



Fläche Nr.

Das Liniengelenk wird einer Fläche zugeordnet. Da dieses Gelenk eine Eigenschaft dieser Fläche ist, lässt es dementsprechend im Dialog *Fläche bearbeiten* nachträglich anpassen.



Seite

Dieses Auswahlfeld bzw. diese Spalte ist nur dann zugänglich, wenn es sich um eine in die Fläche integrierte Linie handelt. Hier ist anzugeben, auf welcher Seite das Gelenk vorliegt. Die finiten Elemente auf dieser Linienseite werden in der Steifigkeit entsprechend berücksichtigt. Die Anordnung ist auf das Achsensystem der Fläche (vgl. Bild 5.55, Seite 116) bezogen.

Bei einer Begrenzungslinie der Fläche ist diese Option gesperrt, da durch die Zuweisung zur Fläche eindeutig feststeht, auf welcher Seite der Linie das Gelenk wirkt.

Axial-/Quergelenk bzw. Feder

In diesen Eingabefeldern bzw. Spalten werden die Freiheitsgrade für die Normal- und Querkräfte definiert. Wenn ein Kontrollfeld aktiviert ist, bedeutet dies, dass dieser Freiheitsgrad nicht übertragen wird. Alternativ wird die Konstante der infrage kommenden Wegfeder eingegeben.

Die Freiheitsgrade beziehen sich auf die lokalen Flächenachsensysteme xyz . Die Flächenachsen können über das Flächen-Kontextmenü oder den *Zeigen*-Navigator eingeblendet werden (vgl. Bild 5.84, Seite 140).

Momentengelenk bzw. Feder

Die Freiheitsgrade der Momente an der Linie sind ebenfalls auf das xyz -Achsensystem der Flächen bezogen. Wenn ein Kontrollfeld aktiviert ist, wird das entsprechende Moment nicht übertragen. Alternativ kann die Konstante der jeweiligen Drehfeder angegeben werden.



Die kleine Grafik im Dialog veranschaulicht die Richtung der Momente. Für den üblichen Anwendungsfall eines „Scharniergelenks“ zwischen zwei Flächen kommt der Gelenktyp M_T infrage, d. h. ein Gelenk um die Linienlängsachse x .

5.11 Veränderliche Dicken

Allgemeine Beschreibung

Mit einer veränderlichen Dicke lässt sich die lineare Änderung der Flächendicke beschreiben. Die Dicke wird an drei Punkten definiert, zwischen denen linear interpoliert wird. Auf diese Weise lassen sich gevoutete Flächen modellieren.

Eine veränderliche Dicke kann nicht direkt eingegeben werden, sondern nur als Parameter bei der Flächendefinition. Es wird zunächst beim Anlegen der Fläche der *Typ* der *Dicke* als **Veränderlich** definiert (siehe Kapitel 5.4, Seite 114). Damit werden die links dargestellten Schaltflächen [Parameter der Dicke bearbeiten] im Dialog bzw. in der Tabelle zugänglich.

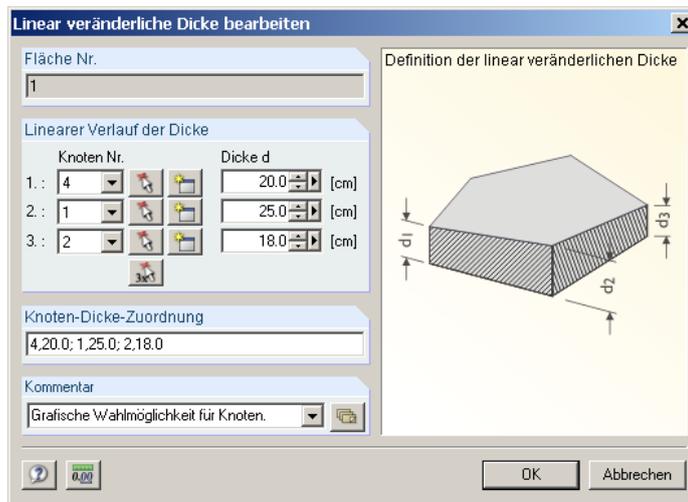


Bild 5.79: Dialog *Linear veränderliche Dicke bearbeiten*

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	4	20.0	1	25.0	2	18.0	
2	3	25.0	4	25.0	9	18.0	Balkon

Bild 5.80: 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 wird über drei Knoten festgelegt. Dazwischen wird linear interpoliert. Es dürfen beliebige Knoten in der Ebene der Fläche für die Definition der Dicken verwendet werden. Die Knoten brauchen nicht zur Fläche gehören, jedoch müssen an diesen Knoten FE-Knoten generiert werden können.

Die drei *Knoten* werden in der Liste oder mit [Pick] in der Grafik ausgewählt oder ggf. neu angelegt. Die *Dicke d* kann dann jeweils zugewiesen werden.



Das Eingabefeld im Abschnitt *Knoten-Dicke-Zuordnung* repräsentiert eine Kurzdarstellung der Eingabe: Knotennummer und Dicke werden durch Kommata getrennt, die einzelnen Knoten-Dicke-Paare durch ein Semikolon.

Zur Kontrolle kann man den Verlauf der Flächendicken im Rendering darstellen lassen. Im *Zeigen-Navigator* wird hierzu die Option *Gefüllt einschließlich Dicke* aktiviert.

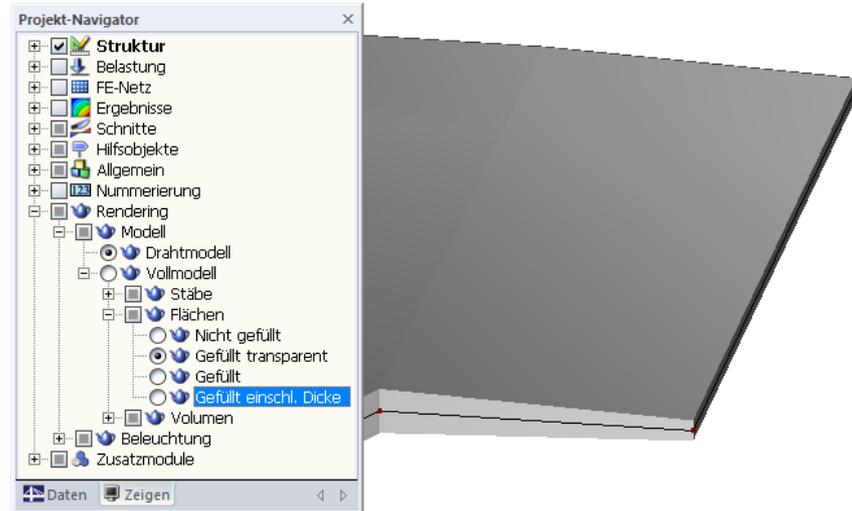


Bild 5.81: *Zeigen-Navigator*: Rendering → Vollmodell → Flächen → Gefüllt einschließlich Dicke

5.12 Orthotrope Flächen

Allgemeine Beschreibung

Bei orthotropen Flächen liegen unterschiedliche Steifigkeiten in Richtung der lokalen Flächenachsen x und y vor. Auf diese Weise lassen sich beispielsweise Brettschichtholzträger modellieren. Orthotropieeigenschaften können nur ebenen Flächen zugewiesen werden.

Eine Orthotropie kann nicht direkt eingegeben werden, sondern nur als Parameter bei der Flächendefinition. Zunächst wird beim Anlegen der Fläche der *Typ* der *Dicke* als **Orthotrop** oder **Membran orthotrop** definiert (siehe Kapitel 5.4, Seite 114). Damit werden die links dargestellten Schaltflächen [Parameter der Dicke bearbeiten] im Dialog bzw. in der Tabelle zugänglich, über die man folgenden Dialog aufrufen kann.



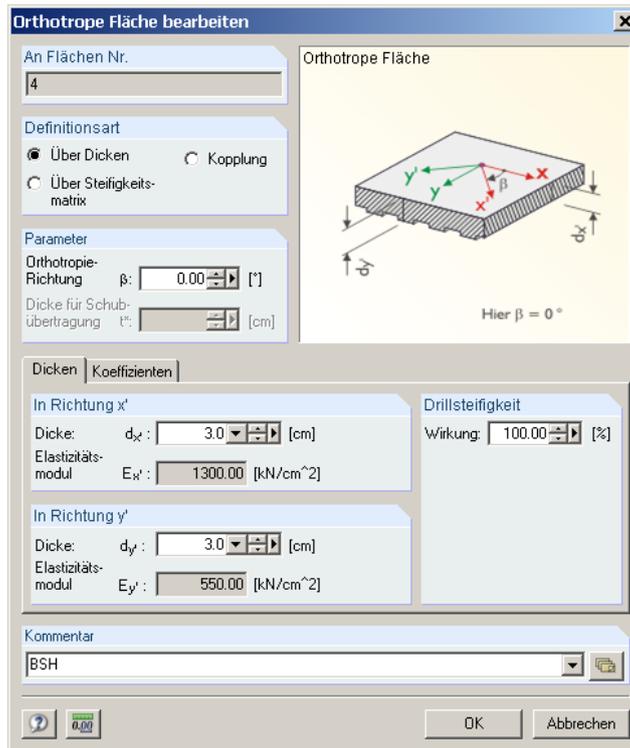


Bild 5.82: Dialog Orthotrope Fläche bearbeiten, Register Dicken

1.12 Orthotrope Flächen

Fläche Nr.	Definitionsart	Orthotropie-Richtung β [°]	Effektive Schubdicke t^* [cm]	In Richtung x' Dicke d_x [cm]	E	In Richtung y' Dicke d_y [cm]	E_{90}	Drillsteifigkeit Wirkung [%]	Kommentar
1	Kopplung	90.00	20.0						
2	Dicken	20.00		25.0	2830.0	20.0	2830.0	100.00	
3	Koeffizienten	0.00							
4	Dicken	0.00		3.0	1300.0	3.0	550.00	100.00	BSH

Bild 5.83: Tabelle 1.12 Orthotrope Flächen

Definitionsart

Orthotrope Flächen können über verschiedene Dicken in die Richtungen x' und y' oder über die Koeffizienten der lokalen Steifigkeitsmatrix definiert werden. Je nach Vorgabe werden bestimmte Bereiche des Dialogs bzw. der Tabelle aktiviert oder deaktiviert.

Definition über Dicken

Es können verschiedene Materialien und Dicken in Richtung x' und in Richtung y' festgelegt werden. Damit lassen sich unterschiedliche Steifigkeitsverhältnisse abbilden.

Definition über Steifigkeitsmatrix

Mit diesem Eingabemodus können die Koeffizienten der lokalen Steifigkeitsmatrix direkt festgelegt werden (siehe Bild 5.85).

Kopplung

Die orthotrope Fläche überträgt nur Membranschubkräfte.

Orthotropierichtung

Die Orthotropierichtung ist auf die lokalen Achsen x und y einer jeden Fläche bezogen. Der Winkel β beschreibt die Drehung der x' -Achse zur lokalen x -Achse der Fläche.

Die Koordinatensysteme der Flächen können über den *Zeigen*-Navigator oder das Kontextmenü einer Fläche eingeblendet werden.

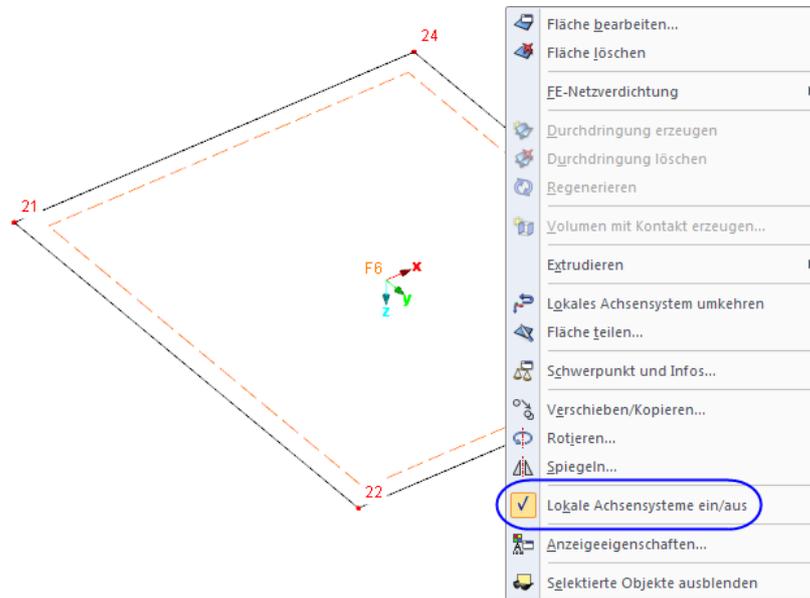


Bild 5.84: Lokales xyz-Flächenachsensystem

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

Effektive Schubdicke

Wenn die Definitionsart *Kopplung* gewählt wurde, überträgt die orthotrope Fläche nur Membranschubkräfte. Es muss eine *effektive Schubdicke* t^* für die Schubübertragung angegeben werden.

Dicke in Richtung x' bzw. y'

Es können unterschiedliche Dicken für die Richtungen x' und y' angegeben werden. Für die Bestimmung des Eigengewichts werden nicht die Dicken dieses Dialogs benutzt, sondern es wird die Dicke der Fläche herangezogen, die im Dialog *Fläche bearbeiten* bzw. in Tabelle 1.4 *Flächen* eingetragen ist. Diese wird gleichfalls zur Berechnung der Spannungen verwendet.

Zur Kontrolle werden die Elastizitätsmoduli E_x und E_y des verwendeten Materials angezeigt. Die Einstellungen hierfür werden bei den Materialeigenschaften getroffen (siehe Kapitel 5.3, Seite 103). Es ist somit möglich, die Orthotropieeigenschaften über das Material zu steuern und in diesem Dialog die gleiche Dicke für beide Richtungen anzusetzen.

Im Register *Koeffizienten* des Dialogs werden die Koeffizienten der lokalen Steifigkeitsmatrix angezeigt. Diese Koeffizienten können nicht verändert werden.

Drillsteifigkeit

Im Eingabefeld *Wirkung* wird die Drillsteifigkeit der orthotropen Fläche um die Achsen x' und y' angegeben. Die Bandbreite reicht von 0 % (keine Drillsteifigkeit) bis 100 % (volle Drillsteifigkeit). Ein kleiner Wert wird beispielsweise bei Verbundkonstruktionen mit semisteifen Verbindungen angesetzt.

Koeffizienten

In diesem Eingabemodus können die Koeffizienten der lokalen Steifigkeitsmatrix direkt eingegeben werden. In der Tabelle muss die Schaltfläche [...] in Spalte D benutzt werden, um den Dialog aufzurufen.



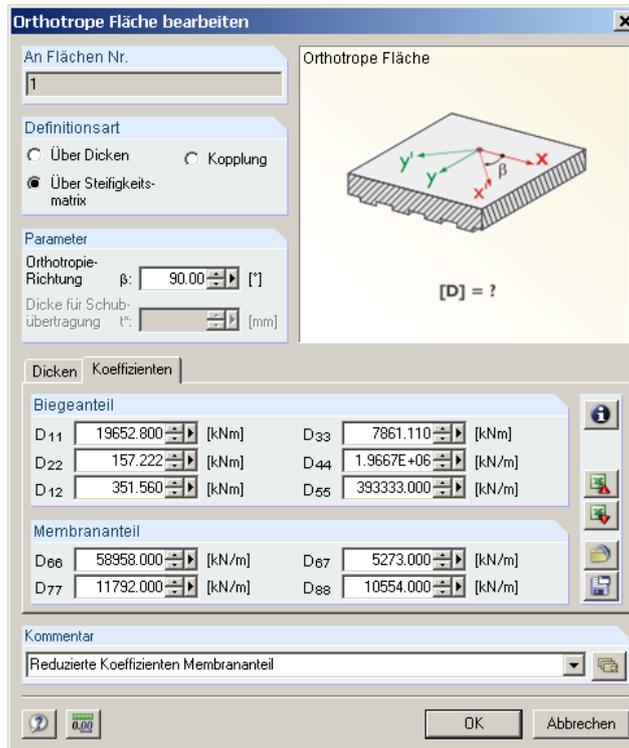


Bild 5.85: Dialog *Orthotrope Fläche bearbeiten*, Register *Koeffizienten*

Die Schnittgrößenermittlung für ein Element erfolgt nach folgendem Gleichungssystem:

Biegung

$$\begin{Bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \partial\varphi_y / \partial x \\ -\partial\varphi_x / \partial y \\ \partial\varphi_y / \partial y - \partial\varphi_x / \partial x \\ \partial w / \partial x + \varphi_y \\ \partial w / \partial y - \varphi_x \end{Bmatrix}$$

Gleichung 5.13

Membrankräfte

$$\begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{66} & D_{67} & 0 \\ D_{76} & D_{77} & 0 \\ 0 & 0 & D_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial v / \partial y \\ \partial u / \partial y - \partial v / \partial x \end{Bmatrix}$$

Gleichung 5.14

$$D_{11} = \frac{E_x \cdot h_x^3}{12 \cdot (1 - \mu_x \cdot \mu_y)}$$

Gleichung 5.15

$$D_{22} = \frac{E_y \cdot h_y^3}{12 \cdot (1 - \mu_x \cdot \mu_y)}$$

Gleichung 5.16

$$D_{12} = \sqrt{\mu_x \cdot \mu_y \cdot D_{11} \cdot D_{22}}$$

Gleichung 5.17

$$D_{33} = \frac{\Phi}{100} \cdot \frac{1 - \sqrt{\mu_x \cdot \mu_y}}{2} \cdot \sqrt{D_{11} \cdot D_{22}}$$

Gleichung 5.18

$$D_{44} = G_x \cdot h_x \cdot \frac{5}{6}$$

Gleichung 5.19

$$D_{55} = G_y \cdot h_y \cdot \frac{5}{6}$$

Gleichung 5.20

$$D_{66} = \frac{E_x \cdot h_x}{1 - \mu_x \cdot \mu_y}$$

Gleichung 5.21

$$D_{77} = \frac{E_y \cdot h_y}{1 - \mu_x \cdot \mu_y}$$

Gleichung 5.22

$$D_{67} = \sqrt{\mu_x \cdot \mu_y \cdot D_{11} \cdot D_{77}}$$

Gleichung 5.23

$$D_{88} = \sqrt{G_x \cdot G_y \cdot h_x \cdot h_y}$$

Gleichung 5.24

mit

 h_x Dicke in der lokalen x-Richtung h_y Dicke in der lokalen y-Richtung Φ Reduktionsfaktor für die Drillsteifigkeit E_x E-Modul des Werkstoffes in x-Richtung E_y E-Modul des Werkstoffes in y-Richtung G_x G-Modul des Werkstoffes in x-Richtung G_y G-Modul des Werkstoffes in y-Richtung μ_x Querdehnzahl des Werkstoffes in x-Richtung μ_y Querdehnzahl des Werkstoffes in y-Richtung

Diese Gleichungen gelten für den Fall, dass die Achsen der Orthotropie mit den Achsen des Element-Koordinatensystems zusammenfallen. Ist das nicht der Fall, so müssen die Matrizen transformiert werden (siehe [17], S. 305 - 313).

Die Zahlenwerte der Koeffizienten dürfen nicht negativ werden. D_{12} , D_{33} und D_{67} dürfen nicht 0 werden.

Die Werte für E, G und μ werden aus der Definition des Werkstoffes verwendet. Diese Werte können voneinander unabhängig sein.

Zur Berechnung der Spannungen wird die Dicke verwendet, die im Dialog *Fläche bearbeiten* definiert ist.

5.13 Querschnitte

Allgemeine Beschreibung

In RFEM werden zunächst Querschnittstypen definiert, die man später den Stäben zuweist.

Nicht jeder Querschnitt, der definiert wird, muss auch verwendet werden. Das Ummummern von Querschnitten ist nicht vorgesehen.

Ein gevouteter Träger wird modelliert, indem man unterschiedliche Anfangs- und Endquerschnitte für den Stab definiert. RFEM ermittelt automatisch die veränderlichen Steifigkeiten entlang des Stabes.

Neben der manuellen Eingabe der Querschnittswerte stehen eine umfangreiche Querschnittsbibliothek sowie Importmöglichkeiten zur Verfügung.

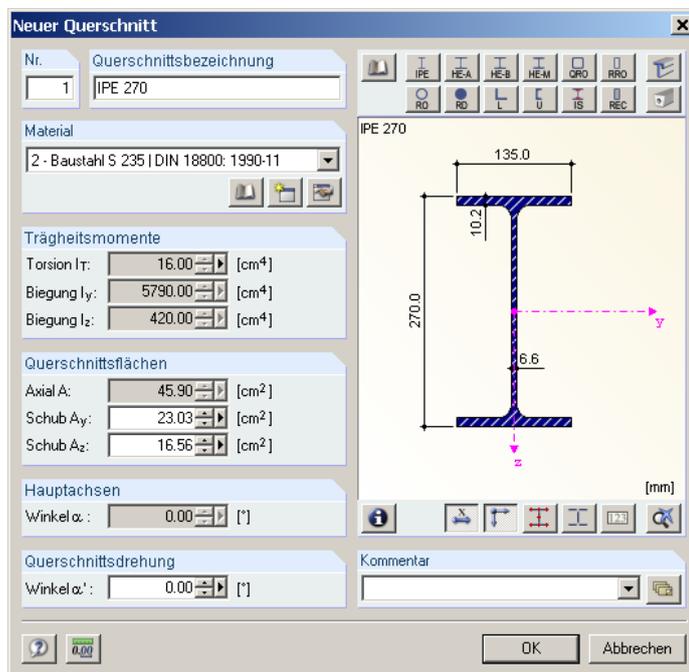


Bild 5.86: Dialog Neuer Querschnitt

Querschnitt Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Material Nr.	Trägheitsmomente [cm ⁴]			Querschnittsflächen [cm ²]			Hauptachsen α [°]	Drehung α' [°]	Kommentar
			Torsion I _T	Biegung I _y	Biegung I _z	Axial A	Schub A _y	Schub A _z			
1	RO 323.9x8	2	19807.5	9910.1	9910.1	79.4	39.7	39.7	0.00	0.00	Stütze
2	IPE 400	2	51.4	23130.0	1320.0	84.5	40.6	32.3	0.00	0.00	
3	PB 750/800/200/250	1	475637.5	1439864.2	924948.0	2975.0	2374.1	1868.7	0.00	0.00	
4	HE-A 300	2	85.6	18260.0	6310.0	113.0	69.9	21.7	0.00	0.00	
5	L 65x50x5	2	0.5	28.8	6.2	5.5	2.1	2.4	-30.24	-90.00	
6											
7											

Bild 5.87: Tabelle 1.13 Querschnitte

Querschnittsbezeichnung

Die *Bezeichnung* des Querschnitts kann beliebig gewählt werden. Wenn der eingegebene Name mit einem Eintrag der Querschnittsbibliothek übereinstimmt, liest RFEM alle benötigten Profilkennwerte ein. Die Querschnittswerte der *Trägheitsmomente* und Fläche *Axial A*



sind in diesem Fall für Änderungen unzugänglich. Eine Ausnahme ist das Torsionsträgheitsmoment I_T , das über die links gezeigten Dialog- bzw. Tabellenschnittflächen in einem separaten Dialog abgemindert werden kann. Bei unbekanntenen Querschnittsbezeichnungen können die Profilwerte manuell eingegeben werden.

Es ist auch möglich, die Kennwerte parametrisierter Querschnitte automatisch einzulesen. Beispielsweise werden nach der Eingabe von „Rechteck 80/140“ die Querschnittswerte berechnet und entsprechend eingetragen.

Die Auswahl von Querschnitten aus der Bibliothek ist weiter unten beschrieben.

Besonderheiten

In 2D-Strukturen sind als Stab- und Querschnittsdrehwinkel nur 0° und 180° möglich. Trotzdem lassen sich in ebenen Systemen Profile verwenden, die um 90° gedreht sind: Ergänzen Sie die Querschnittsbezeichnung durch ein „y“ (z. B. **HE-A 240y** oder **Rechteck 40/160y**). Damit werden die Trägheitsmomente der Achsen y und z vertauscht, die Drehung erfolgt im Gegenuhrzeigersinn. Diese Möglichkeit besteht für alle registrierten Bibliotheksquerschnitte mit Ausnahme der DUENQ-Profile.

Sowohl bei ebenen als auch räumlichen Strukturen kann der Fall auftreten, dass ein L-Profil in gespiegelter oder gedrehter Lage benötigt wird (z. B. Rohrversteifungen). Die Anpassung des Profils erfolgt wiederum über bestimmte Ergänzungen beim Querschnittsnamen:

- 180 spiegelt das L-Profil um die z-Achse, z. B. **L180 100x50x6**
- #180 dreht das L-Profil um 180° , z. B. **L 100x50x6#180**
- 180 #180 vereinigt beide Optionen, z. B. **L180 100x50x6#180**

Unabhängig von den Kopplungs-Stabtypen (vgl. Seite 156), die unter Umständen numerische Probleme aufgrund großer Steifigkeitsunterschiede bereiten, kann ein starrer Dummy-Querschnitt verwendet werden. Bei einem derartigen Querschnitt werden die Steifigkeiten wie bei einem starren Kopplungsstab berechnet. Geben Sie als Querschnittsbezeichnung den Namen **Dummy Rigid** an, ohne die Querschnittswerte im Detail zu definieren. Damit können Stäbe mit hoher Steifigkeit auch unter Berücksichtigung von Gelenken oder anderen Stabeigenschaften benutzt werden. *Dummy Rigid*-Stäbe bieten zudem den Vorteil, dass Schnittgrößen an diesen Stäben abgelesen werden können. Selbst eine Bemessung in den Zusatzmodulen ist möglich. Es treten kaum numerische Probleme auf, da die Steifigkeit von *Dummy Rigid*-Stäben dem System angepasst ist.

Materialnummer

Aus der Liste der bereits definierten Materialien kann ein bestimmter Eintrag ausgewählt werden. In der Tabelle wird die Zuweisung durch die Anzeige der Materialfarbe erleichtert, die für das Rendering benutzt wird.

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

Im Kapitel 5.3 ab Seite 101 finden Sie ausführliche Hinweise zu den Materialien.

Trägheitsmomente

Über die Trägheitsmomente wird die Querschnittssteifigkeit definiert. 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.



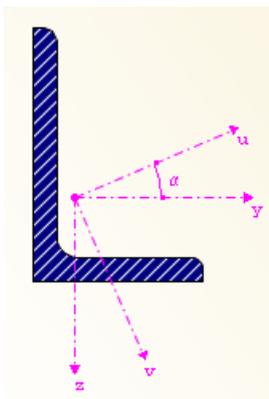
Profil im 2D-System drehen



L-Winkel spiegeln



Dummy Rigid



Querschnittsflächen

Die Angaben zu diesen Querschnittskennwerten untergliedern sich in die Gesamtquerschnittsfläche *Axial* A sowie die Schubflächen *Schub* A_y und *Schub* A_z .

Schubfläche A_y steht im Zusammenhang mit Trägheitsmoment I_z , Schubfläche A_z entsprechend mit I_y . Zwischen den Schubflächen A_y und A_z sowie der Gesamtfläche A besteht über einen Korrekturfaktor κ folgender Zusammenhang:

$$A_y = \frac{A}{\kappa_y}$$

Gleichung 5.25

$$A_z = \frac{A}{\kappa_z}$$

Gleichung 5.26

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

Gleichung 5.27

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. Wenn die Schubflächen zu Null gesetzt werden, bleibt der Einfluss des Schubes unberücksichtigt. Werden sehr kleine Werte für die Schubflächen angesetzt, können numerische Probleme auftreten, da die Schubflächen im Nenner der entsprechenden Gleichungen enthalten sind.

Die Werte der Querschnittsflächen sollten realistisch gewählt werden. Bei extremen Unterschieden in den Querschnittsflächen entstehen große Steifigkeitsunterschiede, die numerische Probleme beim Lösen des Gleichungssystems bereiten können.

Hauptachsenneigung α

Die Hauptachsen sind bei symmetrischen Profilen als y und z , bei unsymmetrischen Profilen als u und v bezeichnet (siehe oben). Der Hauptachseneigungswinkel 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 . Dieser ist positiv im Uhrzeigersinn definiert. Bei symmetrischen Querschnitten gilt $\alpha = 0$. Die Hauptachsenneigung von Bibliotheksprofilen ist nicht editierbar.

Der Hauptachseneigungswinkel wird aus der folgenden Gleichung ermittelt:

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

Gleichung 5.28

Querschnittsdrehung α'

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

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 Querschnittsdrehung manuell festgelegt werden.

Querschnittsbibliothek

Eine Vielzahl von Querschnitten ist in einer Datenbank hinterlegt.

Bibliothek aufrufen

Im Dialog *Neuer Querschnitt* und in Tabelle 1.13 *Querschnitte* besteht jeweils rechts oben über die Schaltflächen eine direkte Zugriffsmöglichkeit auf häufig verwendete Profilreihen.

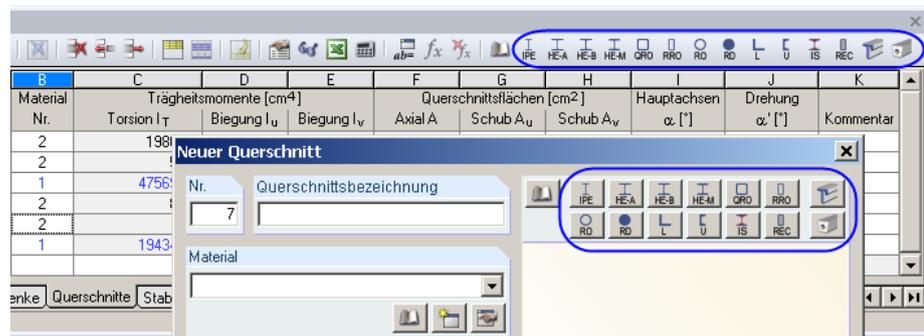


Bild 5.88: Schaltflächen häufig verwendeter Profilreihen in Tabelle (oben) und Dialog (unten)



Die vollständige Profilbibliothek rufen Sie im Dialog *Neuer Querschnitt* mit der Schaltfläche [Querschnittsbibliothek] auf. Auch in Tabelle 1.13 ist diese Datenbank zugänglich: Platieren Sie den Cursor in Spalte B und drücken dann [...] oder die Funktionstaste [F7].

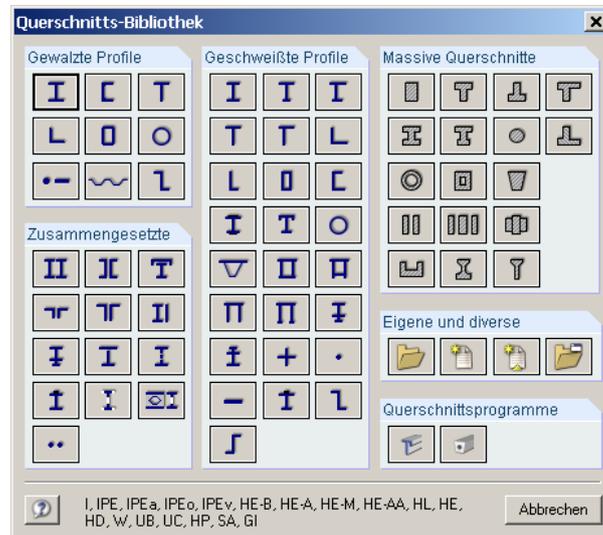
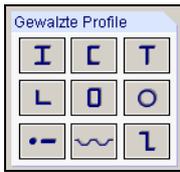


Bild 5.89: Querschnittsbibliothek

Die Querschnittsbibliothek ist mehrere Bereiche gegliedert, die auf den folgenden Seiten vorgestellt werden.



Gewalzte Profile

Die tabellierten Werte vieler Walzprofile sind in einer Datenbank hinterlegt.

Mit einem Klick auf eine der neun Schaltflächen wird zunächst der Profiltyp bestimmt. Im nächsten Fenster legt man links die *Profilreihe* fest und wählt dann das geeignete *Profil* aus.

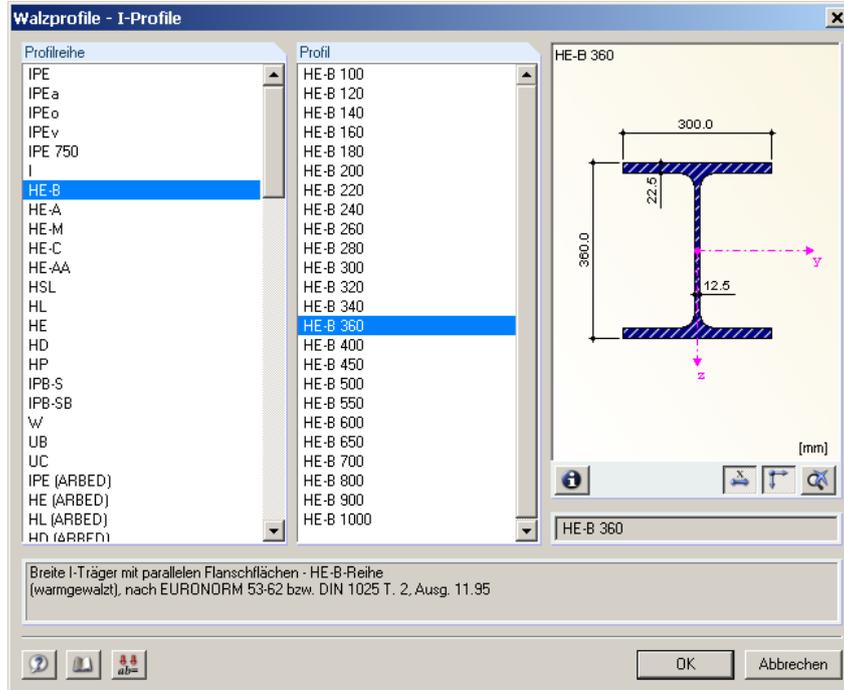
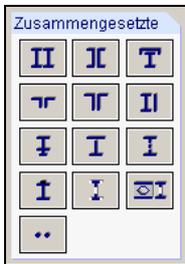


Bild 5.90: Walzprofil wählen



Zusammengesetzte Profile

Mehrere Walzprofile werden über die Angabe von Parametern zusammengesetzt.

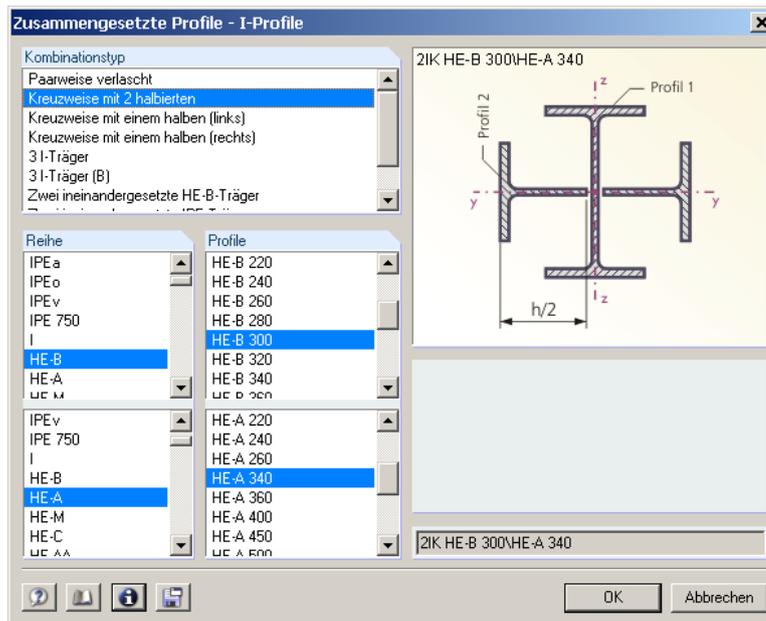
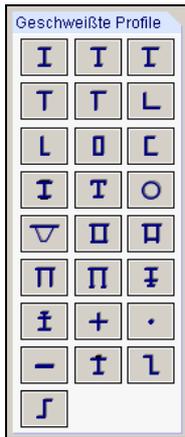


Bild 5.91: Eingabedialog eines zusammengesetzten Profils



Mit der Schaltfläche [Sichern] lässt sich ein zusammengesetztes Profil unter einem Namen speichern (im obigen Bild als „2IK HE-B 300\HE-A 340“). Es wird unter der Rubrik *Eigene Profile* abgelegt und kann dort wieder eingelesen werden.



Geschweißte Profile

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 ist nur gültig für Profile, bei denen die Dicke der einzelnen Elemente deutlich geringer ist als die jeweilige Elementlänge. Ist dies nicht der Fall, sollte das Profil als *massiver Querschnitt* (siehe unten) definiert werden.

Der Parameter *a* stellt das Wurzelmaß der Schweißnaht dar, nicht den Ausrundungsradius.

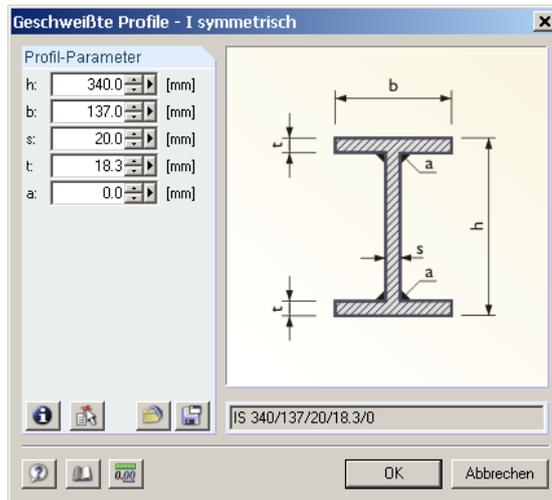


Bild 5.92: Eingabedialog eines geschweißten Profils



Mit der links dargestellten Schaltfläche können die Parameter eines bestimmten Walzprofils übernommen werden. Man braucht dann nur noch wenige Eingaben modifizieren.



Die Schaltfläche [Sichern] speichert ein parametrisiertes Profil unter einem Namen (im Bild oben als „IS 340/137/20/18.3/0“). Mit der Schaltfläche [Öffnen] lässt es sich wieder einlesen.

Massive Querschnitte

In den Eingabefeldern können die Parameter massiver Profile frei definiert werden. Die Querschnittswerte dieser Stahlbeton- oder Holzprofile werden nach der Theorie für dickwandige Querschnitte ermittelt.

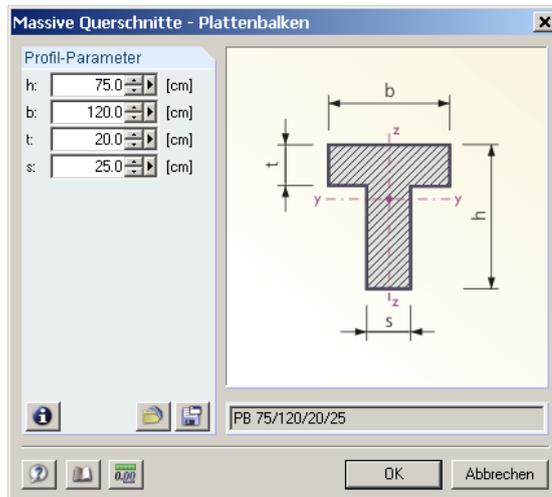
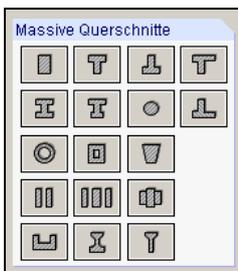


Bild 5.93: Eingabedialog eines massiven Profils



Eigene Querschnitte

Lesen von gesicherten Profilen

Der Klick auf die Schaltfläche [Öffnen] ruft einen Dialog auf, in dem alle Profile angezeigt werden, die durch die Funktion **Sichern** angelegt wurden.

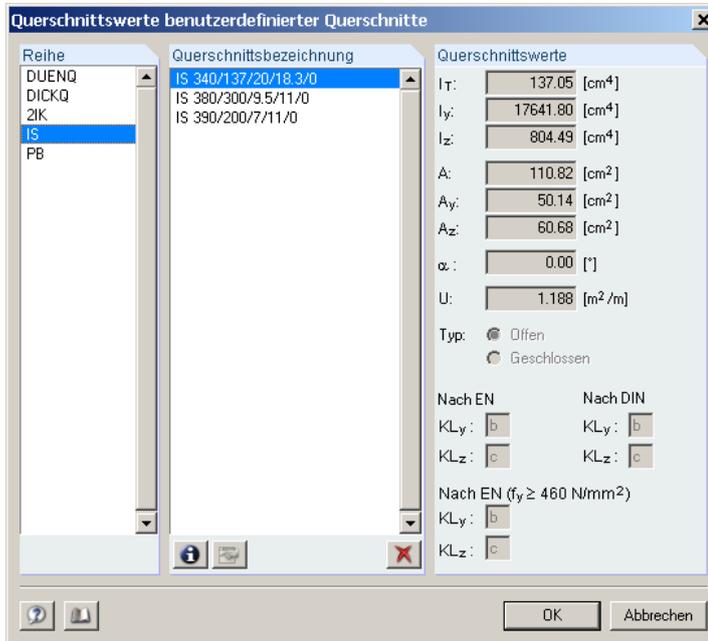


Bild 5.94: Dialog *Querschnittswerte benutzerdefinierter Querschnitte*



Eigenes Profil definieren

In einem Dialog können die Querschnittswerte frei eingegeben werden.

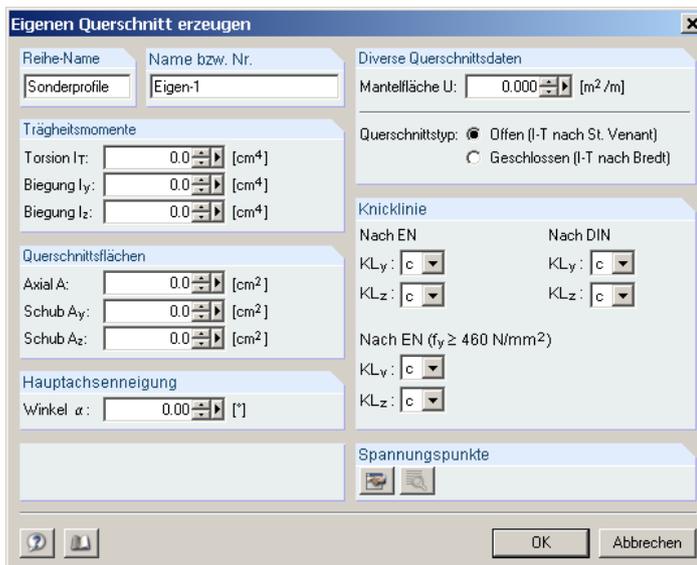


Bild 5.95: Dialog *Eigenen Querschnitt erzeugen*

Zunächst wird der *Reihe-Name* festgelegt, unter dem das Profil eingeordnet werden soll, und im Eingabefeld *Name bzw. Nr.* die Bezeichnung des Querschnitts angegeben. Dann werden die Profilkennwerte in die entsprechenden Eingabefelder eingetragen.



Profilreihe aus ASCII-Datei importieren

Es ist möglich, komplette Profilreihen 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 kann in diesem Format gespeichert werden. Wichtig ist allerdings, dass die Syntax der ASCII-Reihe mit der Definition der entsprechenden Profilreihe von RFEM übereinstimmt.

Beispiel: Doppelsymmetrische I-Profile sollen importiert werden.

Diese Profile werden als IS-Reihe verwaltet (vgl. Bild 5.92). 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						
3						
4						

Bild 5.96: Excel-Tabelle mit den Profilkennwerten

Im Importdialog wird das Verzeichnis der CSV-Datei festgelegt. Dann wählt man in der Liste aus, zu welcher Querschnittsreihe die importierten Profile hinzugefügt werden sollen.

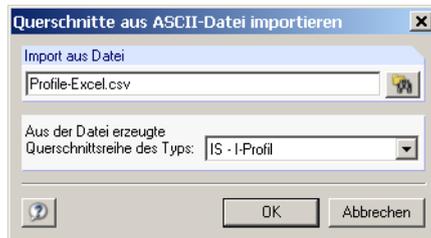


Bild 5.97: Dialog Querschnitte aus ASCII-Datei importieren

Für die importierten Profile werden anschließend die Querschnittswerte berechnet und die Spannungspunkte ermittelt, sodass auch Spannungsnachweise geführt werden können.



Diverse Querschnitte

Über die Schaltfläche [Diverse Profile] wird ein Dialog aufgerufen, in dem die Kennwerte verschiedener Querschnitte verwaltet sind (derzeit ausgewählte LIGNOTREND-Profile).



Querschnittsprogramme

Es lassen sich auch Profile aus den externen Querschnittsprogrammen **DUENQ** und **DICKQ** importieren.

Bitte beachten Sie, dass die Profile in DUENQ oder DICKQ berechnet und gespeichert sein müssen, ehe deren Querschnittswerte eingelesen werden können.

5.14 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 der 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.

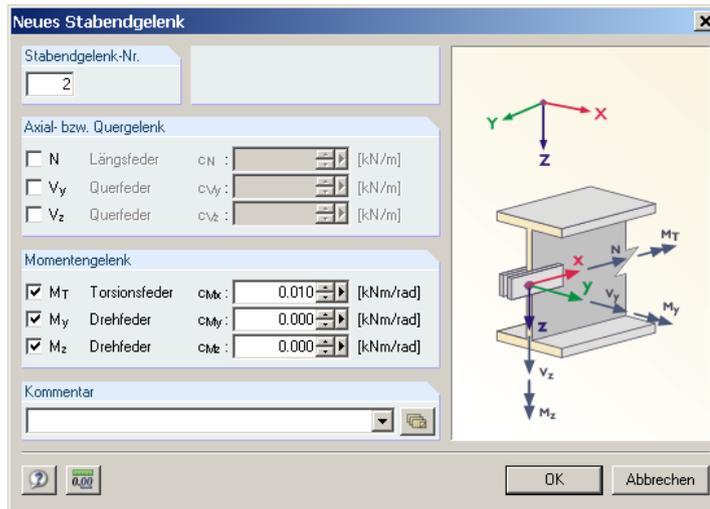
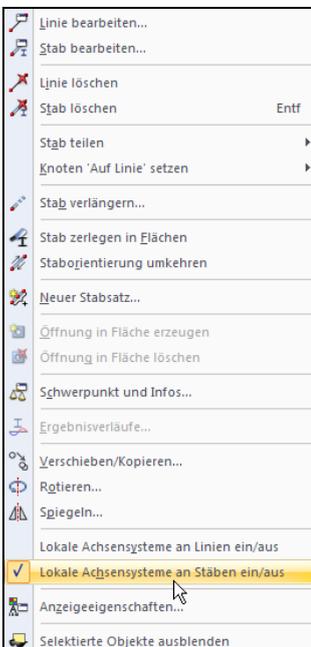


Bild 5.98: Dialog Neues Stabendgelenk



Stab-Kontextmenü

Gelenk Nr.	A	B	C	D	E	F	G
	Axial/Quer-Gelenk bzw. Feder [kN/m]	V _y	V _z	Momentengelenk bzw. Feder [kNm/rad]	M _y	M _z	Kommentar
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.010	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3				Ja			
4				Nein			
5				Federkonstante			
6							
7							

Bild 5.99: Tabelle 1.14 Stabendgelenke

Die Stabendgelenke sind auf das jeweilige lokale xyz-Stabachsensystem bezogen. Über den Zeigen-Navigator (vgl. Bild 5.109, Seite 159) oder das Stab-Kontextmenü kann die Anzeige der lokalen Stabachsen eingeblendet werden.

Detaillierte Informationen zur Ausrichtung der lokalen Stabachsen im globalen XYZ-Koordinatensystem finden Sie im Kapitel 5.17 auf Seite 159.

Axial-/Querkraftgelenk bzw. Feder

Ein Normalkraft- oder Querkraftgelenk wird definiert, indem man im Dialog oder der Tabelle die jeweilige Option anhakt. Das Häkchen bedeutet somit, dass die entsprechende Schnittgröße 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 lässt sich jederzeit modifizieren, wodurch ein nachgiebiger Anschluss modelliert werden kann. In der Tabelle wird die Konstante direkt in die Spalte eingetragen. Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Momentengelenk bzw. Feder

Gelenke für Torsions- oder Biegemomente werden analog definiert. Auch hier bedeutet ein Häkchen, dass die entsprechende Schnittgröße am Stabende nicht übertragen wird.

Es lassen sich zudem Federkonstanten für die Abbildung elastischer Anschlüsse definieren. In der Tabelle wird die Konstante direkt in die Spalte eingetragen. Man sollte jedoch keine extremen Steifigkeitswerte verwenden, da diese zu numerischen Problemen bei der späteren Berechnung führen können. Anstelle ausgeprägt großer oder kleiner Federkonstanten sind deshalb starre Verbindungen (kein Häkchen) oder Gelenke (Häkchen) zu bevorzugen.

Grafisches Setzen von Gelenken

Stabendgelenke lassen sich auch in der Grafik direkt zuweisen. Wählen Sie hierzu Menü

Einfügen → **Strukturdaten** → **Stabendgelenke** → **Stäben grafisch zuordnen** bzw.

Bearbeiten → **Strukturdaten** → **Stabendgelenke** → **Stäben grafisch zuordnen**.

Zunächst wird ein Gelenktyp aus der Liste ausgewählt bzw. neu definiert.

Nach [OK] erscheinen die Stäbe grafisch in den Drittelpunkten geteilt. Man kann nun mit dem Mauszeiger diejenigen Stabseiten anklicken, die das gewählte Gelenk erhalten sollen. Wird der Stab im Mittelbereich angeklickt, wird das Gelenk beiden Stabenden zugeordnet.

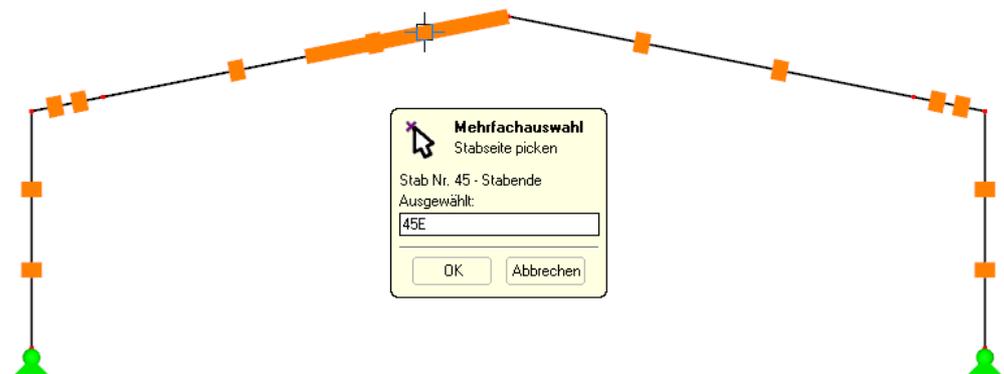


Bild 5.100: Stabendgelenke grafisch zuordnen

5.15 Stabexzentrizitäten

Allgemeine Beschreibung

Die Stablänge in RFEM entspricht dem Abstand der beiden Knoten, die durch die Linie des Stabes festgelegt ist. Bei Profilan schlüssen oder Unterzügen wird damit die Realität nur angenähert abgebildet. Über Stabexzentrizitäten können deshalb Stäbe durch starre Stabendabschnitte außermittig angeschlossen werden.

Die fotorealistische Darstellung im 3D-Rendering bietet eine gute Kontrollmöglichkeit der eingegebenen Exzentrizitäten.

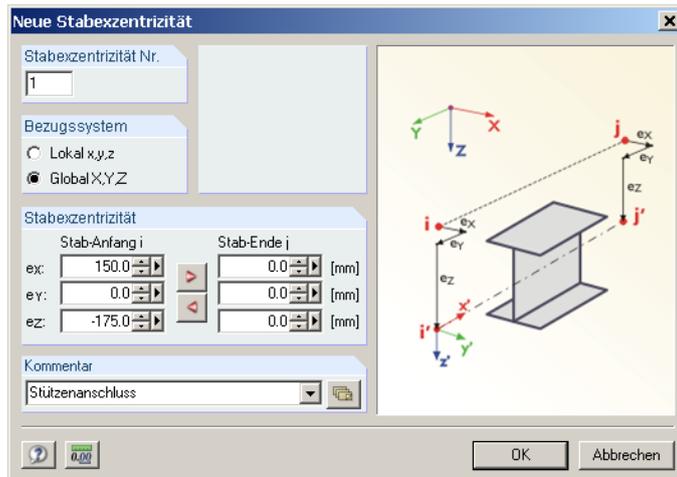


Bild 5.101: Dialog *Neue Stabexzentrizität*

Exzentr. Nr.	Bezugssystem	Stabanfang-Exzentrizität [mm]			Stabende-Exzentrizität [mm]			Kommentar
		$e_{i,X}$	$e_{i,Y}$	$e_{i,Z}$	$e_{j,X}$	$e_{j,Y}$	$e_{j,Z}$	
1	Global	150.0	0.0	-175.0	0.0	0.0	0.0	Stützenanschluss
2	Lokal	0.0	0.0	120.0	0.0	0.0	120.0	
3								
4								
5								
6								

Bild 5.102: Tabelle 1.15 *Stabexzentrizitäten*

Bezugssystem

Eine Stabexzentrizität kann auf eines der folgenden Achsensysteme bezogen werden:

- Lokales Stabachsensystem x,y,z
- Globales Koordinatensystem X,Y,Z

Die lokalen xyz-Stabachsen können über den *Zeigen-Navigator* oder das Stab-Kontextmenü eingeblendet werden (siehe Bild 5.109, Seite 159).

Exzentrizitäten Stabanfang / Stabende

Im Dialogabschnitt *Stabexzentrizität* oder der Tabelle werden die Exzentrizitäten für den Stabanfang und für das Stabende festgelegt.

Im Dialog können die Werte mit den Schaltflächen \blacktriangleright und \blacktriangleleft von einer Seite auf die andere übertragen werden.

Grafisches Setzen von Exzentrizitäten

Stabexzentrizitäten kann man auch in der Grafik direkt zuweisen. Wählen Sie hierzu Menü

- Einfügen** → **Strukturdaten** → **Exzentrizitäten** → **Stäben grafisch zuordnen** bzw.
- Bearbeiten** → **Strukturdaten** → **Exzentrizitäten** → **Stäben grafisch zuordnen**.

Zunächst werden das Bezugssystem festgelegt und die Ausmittigkeit definiert. Stellen Sie im Abschnitt *Status* sicher, dass das Auswahlfeld *Setzen* aktiv ist und bestätigen mit [OK].

Die Stäbe werden grafisch in den Drittelpunkten geteilt. Man kann nun mit dem Mauszeiger diejenigen Stabseiten anklicken, die die Exzentrizität erhalten sollen. Wird ein Stab im Mittelbereich angeklickt, wird der exzentrische Anschluss beiden Stabenden zugewiesen (vgl. Bild 5.100, Seite 152).



5.16 Stabteilungen

Allgemeine Beschreibung

Mit Stabteilungen können Punkte auf Stäben festgelegt werden, 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 hierfür intern eine feinere Teilung). In den meisten Fällen ist es deshalb nicht erforderlich, Stabteilungen einzuführen.



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 aufweisen (vgl. Kapitel 5.23, Seite 177).

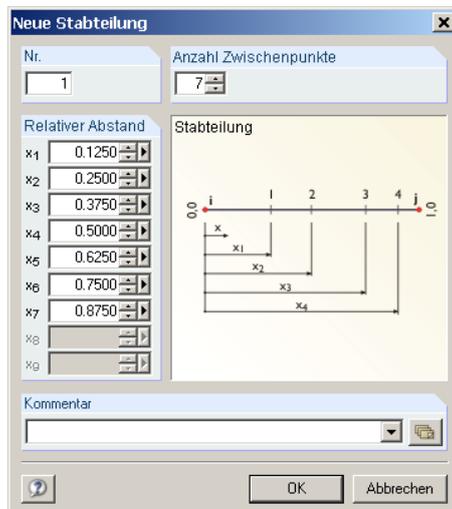


Bild 5.103: Dialog *Neue Stabteilung*

Teilung Nr.	Anzahl Punkte	Relativer Abstand des Teilungspunktes vom Stabanfang									Kommentar
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	
1	7	0.1250	0.2500	0.3750	0.5000	0.6250	0.7500	0.8750			
2	3	0.1000	0.5000	0.9000							Unregelmäßige Teilung
3											
4											
5											
6											
7											

Bild 5.104: Tabelle 1.16 *Stabteilungen*

Anzahl der Zwischenpunkte

Es können maximal 99 Zwischenpunkte vorgegeben werden. Ein Eintrag bewirkt zunächst eine gleichmäßige Unterteilung des Stabes in der gewünschten Anzahl der Punkte.

Relativer Abstand vom Stabanfang

RFEM zeigt die Abstände der ersten drei vorgeschlagenen Zwischenpunkte an. Es handelt sich hier um die relativen Koordinaten im Intervall von 0.0 (Stabanfang) bis 1.0 (Stabende).

Es lassen sich für die vorgegebenen Punkte auch unregelmäßige Teilungen erzeugen, indem man die relativen Abstände entsprechend frei abändert. Hierbei ist nur auf die Reihenfolge der Intervalle zu achten, denn es gilt: $x_1 < x_2 < x_3 \dots$

Da sich grafisch jede beliebige x-Stelle im Stab gezielt auswerten lässt, kann in den meisten Anwendungsfällen auf die mühsame Ermittlung der relativen Abstände verzichtet werden.

5.17 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.

Kreuzen sich Stäbe, ohne dass sie einen Knoten gemeinsam haben, wird dies nicht als Verbindung interpretiert. Damit werden an Kreuzungsstellen keine Schnittgrößen übertragen.

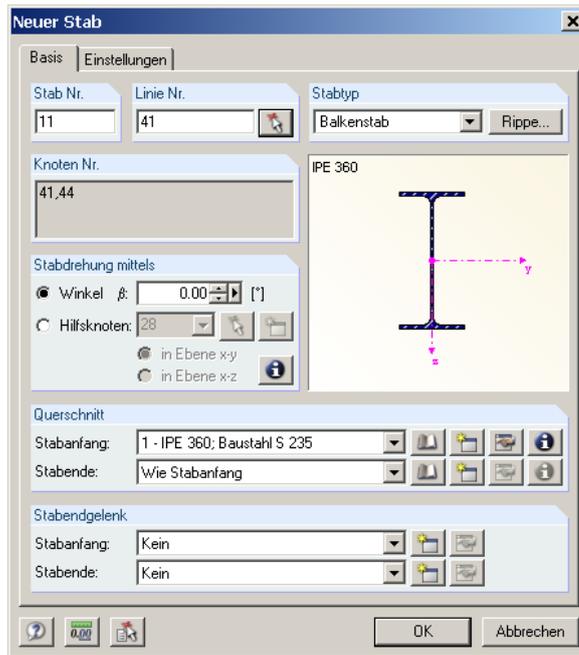
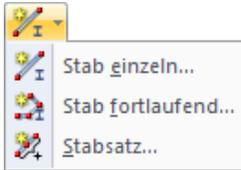


Bild 5.105: Dialog *Neuer Stab*, Register *Basis*

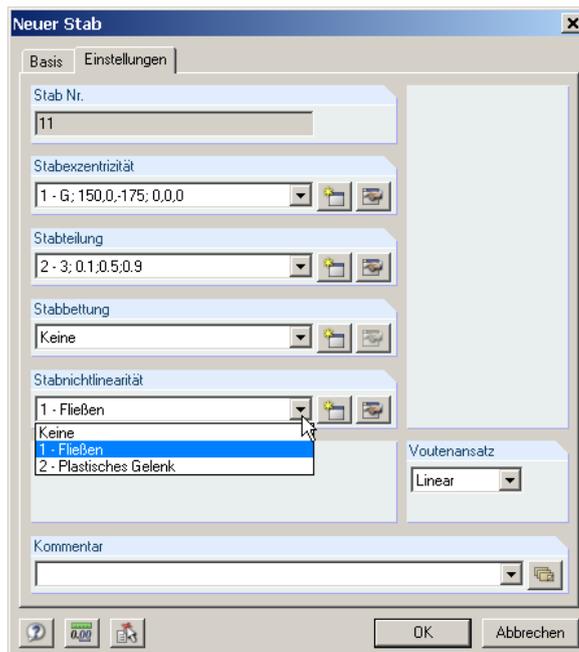


Bild 5.106: Dialog *Neuer Stab*, Register *Einstellungen*

Stab Nr.	Linie Nr.	Stabtyp	Querschnitt Nr.		Stabdrehung		Gelenk Nr.		Exzent. Nr.	Teilung Nr.	Vouten-Ansatz	Länge L [m]	M	N
			Anfang	Ende	Typ	β [°]	Anfang	Ende						
1	1	Balkenstab	1	1	Winkel	0.00	0	1	1	0		3.328	XZ	
2	2	Zugstab	4	4	Winkel	45.00						1.500	Z	
3	3	Balkenstab	1	1	Winkel	90.00	0	0	0	0		1.000	X	
4	4	Balkenstab	1	2	Winkel	0.00	0	0	0	2	Linear	1.530	XZ	
5														
6	6	Kopplung Fest-Fest	2	2								8.668	XZ	
7	7	Fachwerkstab	3	3	Winkel	0.00			0			1.530	XZ	
8	8	Druckstab	5	5	Winkel	0.00			0			1.000	X	
9	9	Balkenstab	1	1	Winkel	180.00	0	0	0	0		3.500	Z	
10	10	Balkenstab	1	1	Winkel	180.00	0	0	0	0		1.500	Z	

Bild 5.107: Tabelle 1.17 Stäbe

Linie Nr.



In diesem Eingabefeld bzw. dieser Tabellenspalte wird dem Stab eine Liniennummer zugewiesen. 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 lässt sich grafisch schnell ändern: Klicken Sie den Stab mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü *Staborientierung umkehren*.

Stabtyp

Über den Stabtyp wird festgelegt, in welcher Weise Schnittgrößen aufgenommen werden können oder welche Eigenschaften für den Stab vorausgesetzt werden.

In der *Stabtyp*-Liste stehen folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

- Balkenstab
- Balkenstab
- Rippe
- Fachwerkstab
- Fachwerkstab (nur N)
- Zugstab
- Druckstab
- Knickstab
- Seilstab
- Kopplung Fest-Fest
- Kopplung Fest-Gelenk
- Kopplung Gelenk-Gelenk
- Kopplung Gelenk-Fest
- Nullstab

Stabtyp	Kurzbeschreibung
Balkenstab	Biegesteifer Stab, der alle Schnittgrößen übertragen kann
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, der bei einer Druckkraft ausfällt
Druckstab	Fachwerkstab, der bei einer Zugkraft ausfällt
Knickstab	Fachwerkstab, der bei einer Druckkraft $> N_{Ki}$ ausfällt
Seilstab	Stab, der nur Zugkräfte überträgt. Die Berechnung erfolgt nach Theorie III. Ordnung mit großen Verformungen
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
Nullstab	Stab, der in der Berechnung nicht berücksichtigt wird

Tabelle 5.3: Stabtypen

Balkenstab

Ein Balkenstab besitzt keine Gelenke an den Enden. Schließen zwei Balken aneinander an, ohne dass explizit ein Gelenk am Verbindungsknoten definiert wurde, liegt ein biegesteifer Anschluss vor. Ein Balkenstab kann durch alle Lastarten belastet werden.

Rippe

Den Rippen ist das folgende Kapitel 5.18 ab Seite 163 gewidmet.

Fachwerkstab (nur N)

Dieser Typ von Fachwerkstäben nimmt Normalkräfte aus Zug und Druck auf. Fachwerkstäbe besitzen interne Momentengelenke an den Stabenden. Aus diesem Grund ist eine zusätzliche Gelenkdefinition unzulässig. Es werden nur die Knotenschnittgrößen ausgegeben und in das anschließende Stabwerk eingeleitet. Am Stab selbst gibt es einen linearen Schnittgrößenverlauf (Ausnahme: Einzellast am Stab). Dies 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 liegt darin, dass im üblichen Verständnis in der Tragwerksplanung ein Fachwerkstab eigentlich nur Normalkräfte übertragen kann. Die Momente sind nicht von Interesse. Sie werden somit bewusst nicht ausgewiesen und gehen auch nicht in die Bemessung ein. Sollen die Momente infolge Stablasten an den Fachwerkstäben dennoch erscheinen, so verwenden Sie den Stabtyp *Fachwerkstab*.

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 wieder in der Steifigkeitsmatrix berücksichtigt werden, wenn er in einem späteren Iterationsschritt infolge Umlagerungen im System wieder wirksam wird. Über Menü **Berechnung** → **Berechnungsparameter**, Register **Optionen** kann die *Besondere Behandlung* ausgefallener Stäbe geregelt werden. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im Kapitel 8.3 auf Seite 253.

Knickstab

Ein Knickstab nimmt unbegrenzt Zugkräfte auf, Druckkräfte jedoch nur bis zum Erreichen der kritischen Eulerlast.

$$N_{ki} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{s_k^2} \quad \text{mit } s_k = l$$

Gleichung 5.29

Mit diesem Stabtyp können auch Instabilitäten umgangen werden, die bei 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

Das Seil ist nur auf Zug beanspruchbar. Es ermöglicht durch iterative Berechnung und Berücksichtigung der Seiltheorie (Theorie III. Ordnung, vgl. Kapitel 8.3, Seite 251) 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 Menü **Extras** → **Struktur generieren - Stäbe** → **Bogen** erzeugen (Kapitel 12.5.1, Seite 437). 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. Im Falle einer einfachen geradlinigen Abspannung wie beispielsweise bei einem Vordach sind Zugstäbe völlig ausreichend.



Bei der Auswertung der Verformungsfigur von Seilstäben sollte der Skalierungsfaktor im Steuerpanel auf „1“ gesetzt werden, sodass die Straffungseffekte realistisch wirken.

Kopplung

Ein Kopplungsstab ist ein virtueller Stab mit definierbaren starren oder gelenkigen Eigenschaften. Es stehen vier Möglichkeiten zur Verfügung, die Freiheitsgrade der Anfangs- und Endknoten aneinander zu koppeln. Die Normal- und Querkräfte bzw. Torsions- und Biegemomente werden direkt von Knoten zu Knoten übertragen. Mit Kopplungen lassen sich spezielle Situation für Kraft- und Momentenübertragungen modellieren.

Nullstab

Ein Nullstab mitsamt Belastung wird in der Berechnung nicht berücksichtigt. Mit Nullstäben kann beispielsweise untersucht werden, wie sich das Tragverhalten der Struktur verändert, wenn bestimmte Stäbe nicht wirksam sind. Die Stäbe brauchen nicht gelöscht werden, die Belastungen bleiben ebenfalls erhalten.

Querschnitt am Stabanfang und 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 5.13, Seite 143).



Voutenstab

Wenn man unterschiedliche Nummern als Anfangs- und Endquerschnitt einträgt, so wird eine Voute gebildet. RFEM interpoliert die veränderlichen Steifigkeiten entlang des Stabes nach höhergradigen Polynomen. Dabei wird grundsätzlich jede, auch unsinnige Eingabe akzeptiert, wie beispielsweise die „Voute“ aus einem IPE-Profil und einem Rundstahl. Die Plausibilitätskontrolle, die der Berechnung vorgeschaltet ist, deckt jedoch derartige Eingabemängel auf.

Die interne Ermittlung der Vouten-Querschnittswerte wird über den *Voutenansatz* im Register **Optionen** bzw. der entsprechenden Spalte näher geregelt (siehe unten).

Stabdrehung

Das stabbezogene xyz -Koordinatensystem ist rechtwinklig und rechtsschraubig definiert. Die lokale Achse x fällt stets mit der Schwerachse des Stabes zusammen und verbindet den Anfangs- mit dem Endknoten der Linie (positive Richtung). Die Stabachsen y und z stellen die Hauptachsen des Stabes dar.

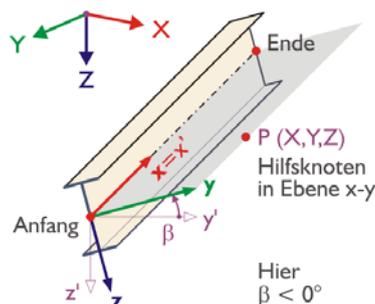
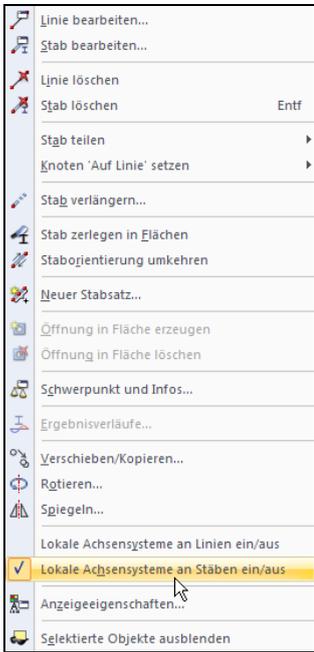


Bild 5.108: Stabdrehung und lokalen Stabachsen x, y, z (beliebige Lage im Raum)



Die Lage der lokalen Achsen y und z wird zunächst automatisch von RFEM festgelegt. Es liegt die Achse z so im Raum, dass die z' -Komponente immer in Richtung der positiven globalen Z -Achse zeigt. Die Lage der Achse y ergibt sich dann gemäß der Rechte-Hand-Regel.

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.



Stab-Kontextmenü

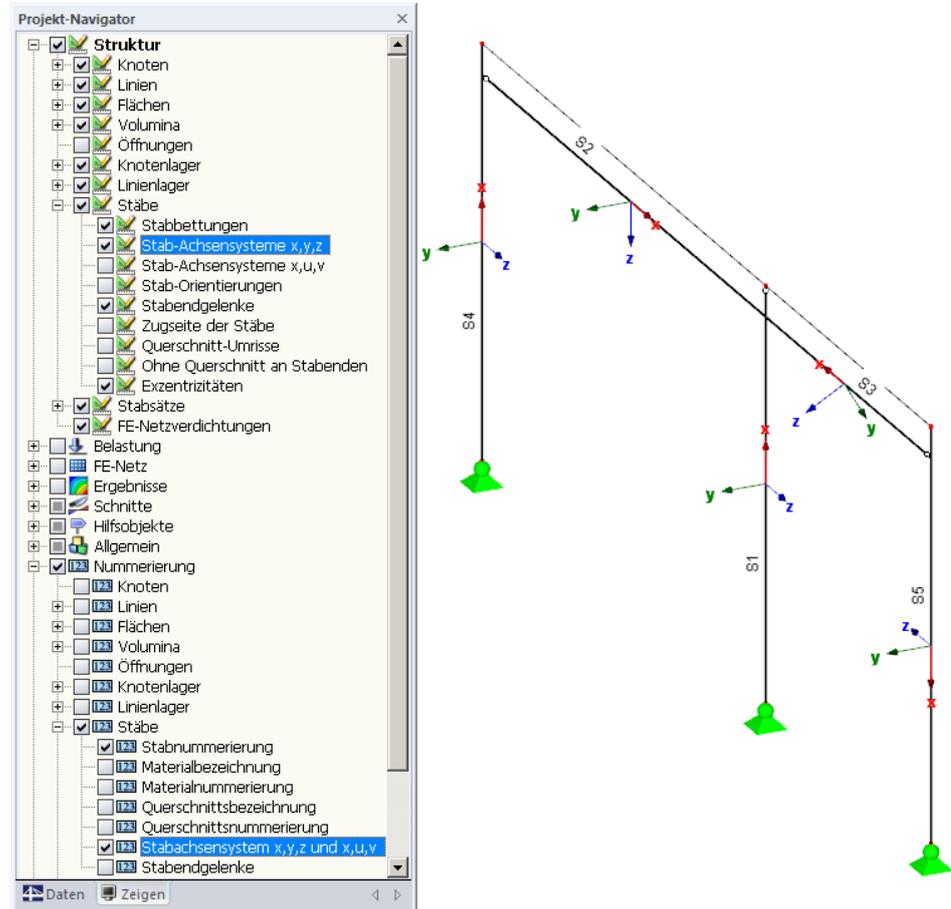


Bild 5.109: Aktivieren der lokalen Stabachsensysteme im Zeigen-Navigator

In der Spalte **M** der Tabelle kann man ablesen, zu welcher globalen Achse der Stab parallel ist oder in welcher Ebene er sich befindet, die von den globalen Achsen aufgespannt wird. Falls kein Eintrag vorhanden ist, befindet sich der Stab in einer beliebigen Lage im Raum.

Wenn ein Stab parallel zur globalen Z -Achse und damit vertikal ausgerichtet ist, weist dessen lokale Achse z natürlich keine Z -Komponente auf. 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.

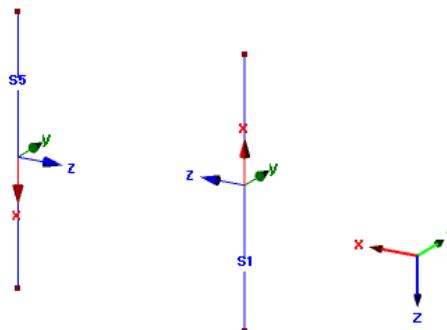


Bild 5.110: Vertikale Stablage bei Stäben mit unterschiedlichen Stabrichtungen ($\beta = 0^\circ$)

Befindet sich ein Stab innerhalb eines Stützen-Stabzuges nicht in exakt vertikaler Lage (beispielsweise wegen minimaler Abweichungen der X- oder Y-Knotenkoordinaten), können die Achsen des Stabes ihre Ausrichtung ändern. RFEM stuft die Lage des leicht geneigten Stabes als „allgemein“ ein. Über das Menü **Extras** → **Struktur regenerieren** ist es möglich, solche Stäbe dennoch als *vertikal* zu klassifizieren (siehe Kapitel 8.1.3, Seite 241).

Es gibt zwei Möglichkeiten, einen Stab zu drehen:

Stabdrehung über Winkel β

Man kann einen festen *Winkel* β definieren, um einen Stab zu drehen. Ein positiver Drehwinkel β dreht die Achsen y und z rechtsschraubig um die Stablängsachse x.



Beachten Sie bitte, dass der Stabdrehwinkel β und der Querschnittsdrehwinkel α' addiert werden.

Stabdrehung über Hilfsknoten

Es ist auch möglich, das Stabachsensystem auf einen festen Knoten auszurichten. Hierzu wird zunächst festgelegt, welche Achse (y oder z) durch den Hilfsknoten festgelegt werden soll. Der Hilfsknoten bestimmt folglich die Ebene xy oder xz des Stabes. Anschließend wird der infrage kommende Hilfsknoten eingegeben, grafisch ausgewählt oder neu definiert. 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.

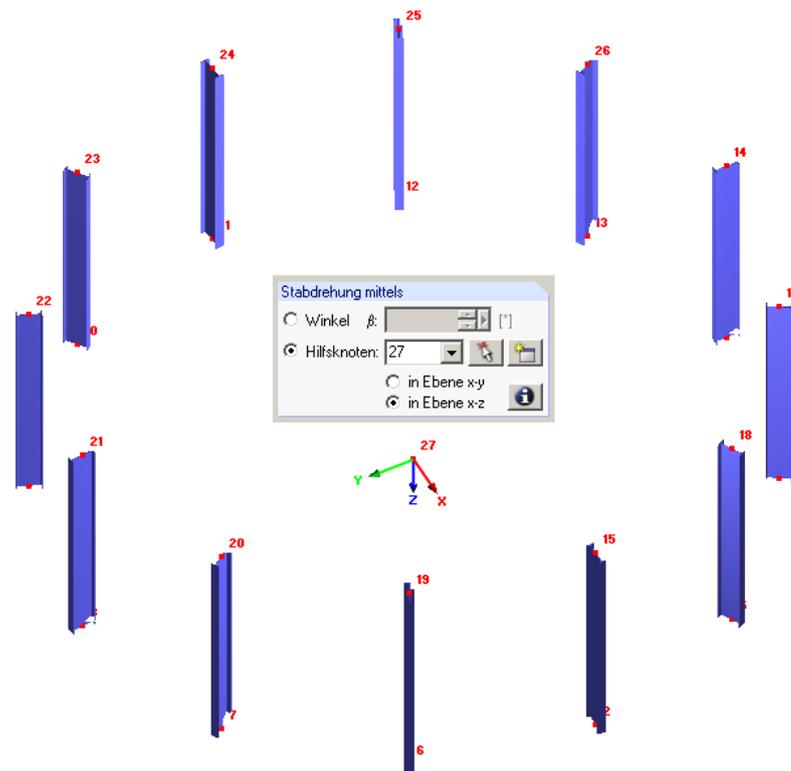


Bild 5.111: Stabdrehung über Hilfsknoten

Die Festlegung des lokalen Stabachsensystems beeinflusst auch die Vorzeichen der Schnittgrößen.

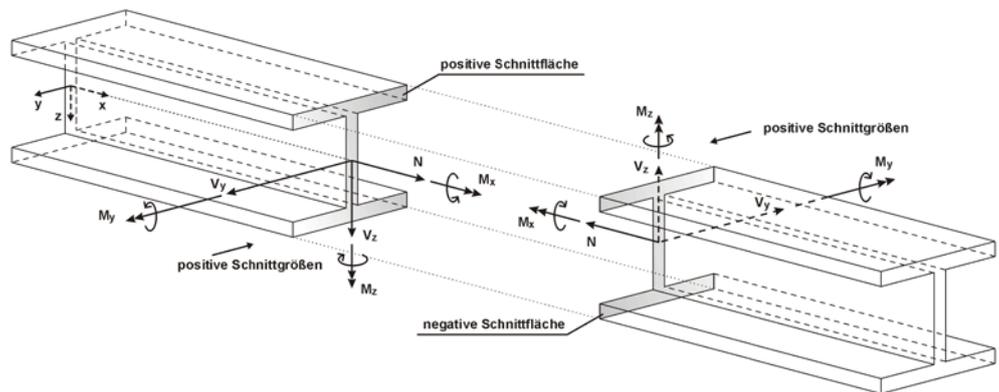


Bild 5.112: Positive Definition der Schnittgrößen



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 Schnitтуufer in positiver Richtung wirken.

Gelenk am Stabanfang und Stabende

In den beiden Eingabefeldern oder Spalten 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 5.14, Seite 151).

Für bestimmte Stabtypen sind keine Einträge möglich, da bereits interne Gelenke vorliegen.

Exzentrizität

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld des Registers **Einstellungen** kann dem Stab ein exzentrischer Anschluss zugewiesen werden. Die Nummern der Exzentrizitäten beziehen sich auf die Tabelle 1.15 *Stabexzentrizitäten* (siehe Kapitel 5.15, Seite 152). Ein Anschluss-Typ erfasst die Exzentrizitäten von sowohl Stabanfang als auch Stabende.

Teilung

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld des Registers **Einstellungen** kann eine Stabteilung zugewiesen werden, die die numerische Ausgabe der Schnittgrößen und Verformungen entlang des Stabes steuert. Die Nummern der Teilungen sind auf die Einträge in Tabelle 1.16 *Stabteilungen* bezogen (siehe Kapitel 5.16, Seite 154).

Diese Stabteilung hat weder einen Einfluss auf die Ermittlung der Extremwerte noch auf den grafischen Ergebnisverlauf, denn hierfür benutzt RFEM intern eine feinere Teilung. In den meisten Fällen ist deshalb die Voreinstellung ‚0‘ (keine Stabteilung) ausreichend.

Stabbettung

In diesem Eingabefeld des Registers **Einstellungen** kann dem Stab eine Bettung zugewiesen werden. Die Nummern der Bettungen werden in Tabelle 1.19 *Stabbettungen* verwaltet (siehe Kapitel 5.19, Seite 166).

Stabnichtlinearität

Über dieses Eingabefeld des Registers **Einstellungen** kann man dem Stab eine nichtlineare Eigenschaft zuweisen. Die Nummern der Nichtlinearitäten sind auf die Einträge in Tabelle 1.20 *Stabnichtlinearitäten* bezogen (siehe Kapitel 5.20, Seite 168).

Voutenansatz

Wenn unterschiedliche Querschnitte für Stabanfang und Stabende definiert wurden, kann in dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld des Registers **Einstellungen** zwischen *linearem* und *quadratischem* Voutenansatz gewählt werden. Damit kann die Voutengeometrie für die Ermittlung der interpolierten Querschnittswerte erfasst werden.

In den allermeisten Fällen wird ein linearer Verlauf der Voute vorliegen, d. h. der Stab verjüngt oder erweitert sich gleichmäßig vom Anfangsquerschnitt zum Endquerschnitt. Lässt sich jedoch die Querschnittsänderung im Stab durch eine quadratische Funktion beschreiben, so ist der quadratische Ansatz zur Interpolation der Querschnittswerte zu empfehlen.

Länge

Diese Tabellenspalte gibt die absolute Länge des Stabes als Distanz zwischen dem Anfangs- und dem Endknoten an.

Grafisch wird die Stablänge ebenfalls angezeigt, wenn man mit dem Mauszeiger einen Moment über dem Stab verweilt (QuickInfo).

Lage

Die Tabellenspalte **M** vermittelt Informationen zur Lage des Stabes im Raum. Man kann ablesen, zu welcher globalen Achse der Stab parallel ist oder in welcher Ebene, die von den globalen Achsen aufgespannt wird, der Stab liegt. Falls kein Eintrag vorhanden ist, befindet sich der Stab in einer beliebigen Lage im Raum.



Die Stablage wirkt sich auch auf die Orientierung der Stabachsen y und z aus. So können beispielsweise die Stabachsen in einem Stützen-Stabzug „umspringen“, falls sich ein vermeintlich vertikaler Stab wegen geringfügiger Abweichung der X - oder Y -Koordinaten in beliebiger Lage befindet. Über Menü **Extras** → **Struktur regenerieren** ist es möglich, solche Stäbe trotzdem als vertikal zu klassifizieren (siehe Kapitel 8.1.3, Seite 241).



Stab als Flächenmodell

Über die Funktion *Stab zerlegen in Flächen* ist es möglich, einen Stab (1D-Elemente) für Detailnachweise in adäquate Flächenelemente umzuwandeln (vgl. Kapitel 12.1.9, Seite 374).

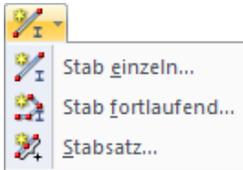
5.18 Rippen

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.

Die Verwendung von Rippen ist normalerweise nur im Stahlbetonbau sinnvoll. Im Zusatzmodul **RF-BETON Stäbe** können die Rippenschnittgrößen und -querschnitte deshalb auch der Bemessung zu Grunde gelegt werden. Ein Stahlblech mit aufgeschweißter „Rippe“ hingegen lässt sich einfach als Fläche mit exzentrisch angeschlossenen Stab modellieren.

Eine Rippe wird beim Anlegen ein neuen Stabes definiert, indem man den *Stabtyp Rippe* wählt (siehe Kapitel 5.17, Seite 156). Über die Dialog-Schaltfläche [Rippe] bzw. die Tabelle 1.18 *Rippen* können dann die Rippenparameter festgelegt werden.



Rippe...

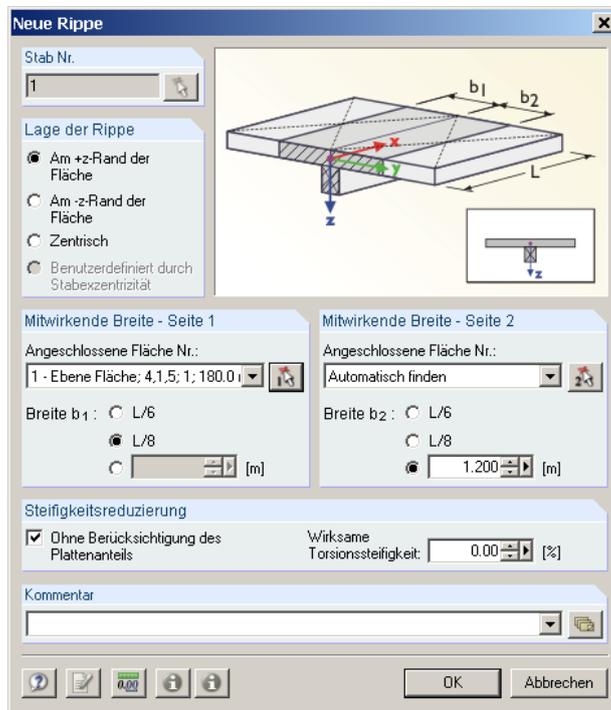


Bild 5.113: Dialog *Neue Rippe* (Strukturtyp: Platte XY)

1.18 Rippen

Stab Nr.	Lage der Rippe	Mitwirkende Breite - Seite 1 Fläche Nr.	b ₁ [m]	Mitwirkende Breite - Seite 2 Fläche Nr.	b ₂ [m]	Steifigkeitsreduzierung		Kommentar
						Ohne Plattenanteil	Akt. Torsionssteifigkeit [%]	
1	Am +z-Rand	1	0.500	4	0.500	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	
5	Am -z-Rand	3	0.250	4	0.250	<input checked="" type="checkbox"/>	50.00	
6	Am +z-Rand	1	0.375	2	0.375	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00	
7	Zentrisch	2	0.375	3	0.375			

Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Position (Anordnung) der Rippe

Bild 5.114: Tabelle 1.18 *Rippen*

Lage der Rippe

Eine Rippe ist zunächst erst einmal ein exzentrisch angeordneter Stab. Die Exzentrizität wird automatisch aus der halben Flächendicke und der halben Steghöhe ermittelt (die Tabelle 1.15 *Stabexzentrizitäten* wird hiervon nicht berührt) oder kann manuell definiert werden. Durch die Exzentrizität der Rippe wird die Steifigkeit entsprechend erhöht.

Es stehen folgende Anordnungsmöglichkeiten zur Verfügung:

Am +/- z-Rand der Fläche

Die Exzentrizität als Summe aus halber Flächendicke und halber Steghöhe wird automatisch in Richtung der positiven bzw. negativen Flächenachse z angesetzt. Zur Kontrolle kann man die xyz-Flächenachsen über den Zeigen-Navigator einblenden (vgl. Bild 5.84, Seite 140).

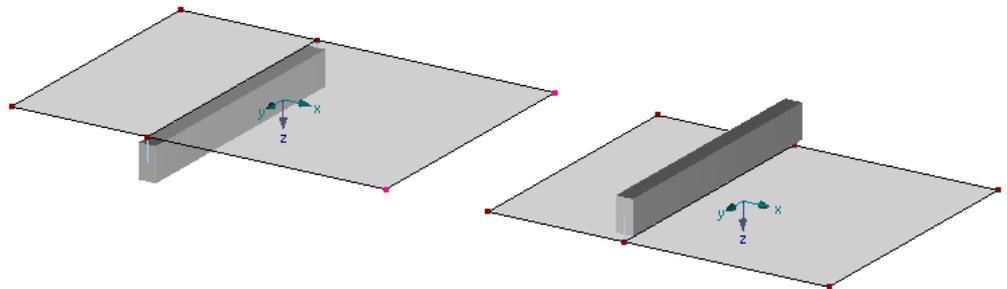


Bild 5.115: Rippe am positiven z-Rand (links) und am negativen z-Rand (rechts) der Flächen

Zentrisch

Die Rippe wird ohne Exzentrizität modelliert, die Schwerachse liegt in der Flächenmitte.

Benutzerdefiniert

Es kann eine Stabexzentrizität manuell eingegeben werden. Die erforderlichen Angaben erfolgen im Dialog *Neue Stabexzentrizität* bzw. Tabelle 1.15 (siehe Kapitel 5.15, Seite 152). Diese Exzentrizität wird dann dem Stab zugewiesen.

Bei allen vier Anordnungsmöglichkeiten ermöglicht das Rendering eine gute Kontrolle der Rippenlage, wenn man im *Zeigen-Navigator* die beiden Darstellungsmöglichkeiten *Stäbe* → *Querschnitte* sowie *Flächen* → *Gefüllt einschließlich Dicke* wählt.

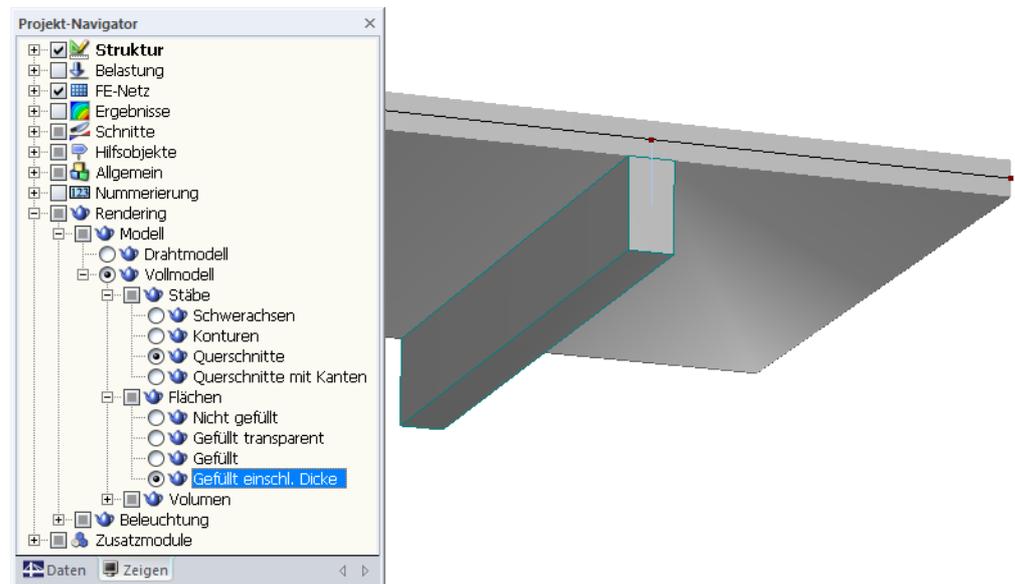


Bild 5.116: *Zeigen-Navigator*: Rendering → Vollmodell → Flächen → Gefüllt einschließlich Dicke

Mitwirkende Breite

Die mitwirkende Breite hat keinen Einfluss auf die Steifigkeit, denn die erhöhte Steifigkeit wird bereits durch den exzentrischen Stab berücksichtigt. Die mitwirkende Breite beeinflusst nur die Schnittgrößen.

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, muss das Biegemoment im Stab um das Produkt aus der Normalkraft in der Platte und der Exzentrizität vergrößert werden. Zur Bestimmung der Normalkraft in der Platte muss definiert sein, in welchem Bereich die Normalkräfte zu summieren sind. Dies geschieht durch die Angabe der mitwirkenden Breite und der mitwirkenden Flächen.



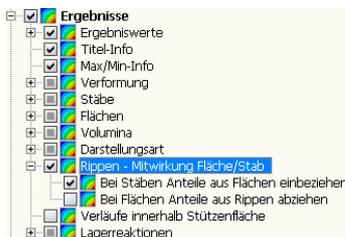
Bei der Definition der Rippe werden die mitwirkenden Breiten getrennt für die linke und die rechte Seite definiert. Im Dialog *Neue Rippe* kann in der Liste *Angeschlossene Fläche* die Voreinstellung *Automatisch finden* in den meisten Fällen beibehalten werden. Nur wenn an der Linie der Rippe mehr als zwei Flächen zusammentreffen, müssen die angeschlossenen Flächen explizit festgelegt werden.

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. Nach dem Schließen des Dialogs trägt RFEM die entsprechenden mitwirkenden Breiten in die Eingabefelder ein.



Achtung: Wenn die Stablänge im Nachhinein geändert wird, wird die mitwirkende Breite nicht automatisch angepasst.

Nach der Berechnung können die mitwirkenden Anteile der Flächen in die Ergebnisanzeige mit einbezogen werden (*Zeigen-Navigator: Ergebnisse* → *Rippen - Mitwirkung Fläche/Stab*). Auch die Stab-Ergebnisverläufe ermöglichen eine gezielte Auswertung der Rippenschnittgrößen (vgl. Kapitel 10.5, Seite 313).



Steifigkeitsreduzierung

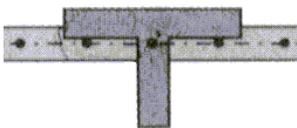
Dieser Abschnitt bzw. diese Tabellenspalten werden angezeigt, wenn bei den Basisangaben der Strukturtyp **Platte XY** eingestellt ist. Hier wird für Plattenbalken ein anderer Berechnungsansatz verwendet als bei räumlich definierten Strukturen, wo die Rippe ohnehin als exzentrisch angeordneter Stab in 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 wäre somit die Steifigkeit der Platte doppelt berücksichtigt, 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.



5.19 Stabbettungen

Allgemeine Beschreibung

Ein Stab kann mit einer elastischen Bettung versehen werden. Damit wird der Einfluss des Baugrundes in die Modellierung einbezogen. Auch nichtlineare Effekte können erfasst werden, falls die Bettung bei Zug- oder Druckkräften unwirksam wird.

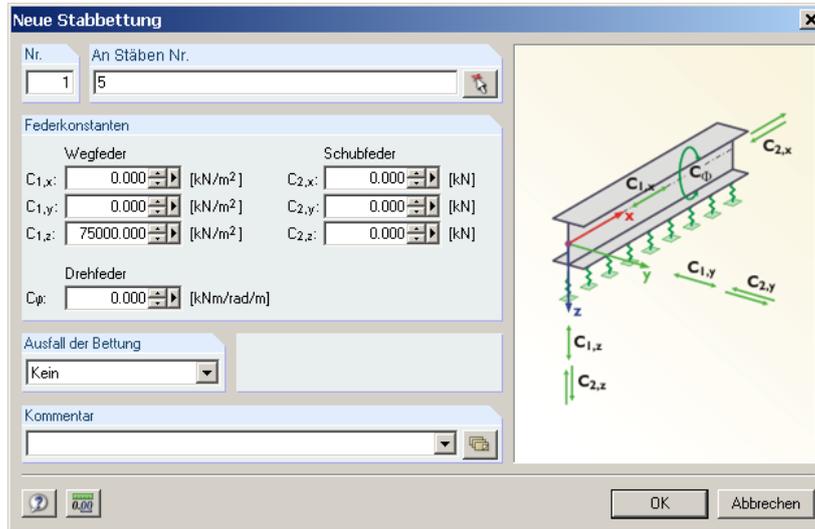


Bild 5.117: Dialog *Neue Stabbettung*

Bettung Nr.	An Stäben Nr.	C _{1,x} [kN/m ²]	C _{1,y} [kN/m ²]	C _{1,z} [kN/m ²]	C _{2,x} [kN]	C _{2,y} [kN]	C _{2,z} [kN]	C _φ [kNm/rad/m]	Ausfall der Bettung	Kommentar
1	5	0.000	0.000	75000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Kein	
2	1,6,7	0.000	0.000	50000.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Falls Kontaktspannung negativ	
3									Kein	
4									Falls Kontaktspannung negativ	
5									Falls Kontaktspannung positiv	
6										
7										
8										

Bild 5.118: Tabelle 1.19 *Stabbettungen*

An Stäben Nr.

Bettungen können nur für den Stabtyp *Balkenstab* definiert werden. Die Nummer des Sta-bes wird in diese Spalte bzw. dieses Eingabefeld eingetragen oder grafisch ausgewählt.

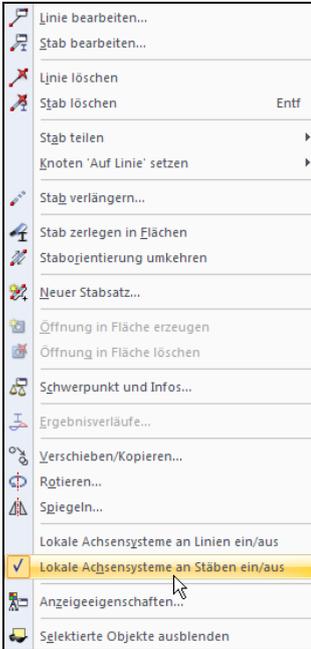
Federkoeffizienten

Wegfeder

Die Kennwerte der Wegfedern werden für die Bettungen in Richtung der lokalen Stabachsen x, y und z getrennt festgelegt.

Als Anhaltswerte dienen folgende Steifemoduli E_s für verschiedene Bodenarten.





Stab-Kontextmenü



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 5.4: Steifemoduli ausgewählter Bodenarten in $[N/mm^2]$

Bei den Werten der Tabelle 5.4 handelt es sich um flächenbezogene Kennwerte: Sie drücken aus, welche Flächenkraft benötigt wird, um den Boden um 1 m zusammenzudrücken. Die Einheit wäre somit eigentlich volumenbezogen als $[N/mm^3]$ zu interpretieren.

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 $[N/mm]$ benötigt wird, um den Boden um 1 m zusammenzudrücken – daher die Einheit $[N/mm^2]$ für die Eingabe. Das Ergebnis ist dann als Wegfeder $C_{1,z}$ einzutragen, denn bei Stäben in horizontaler Lage zeigt die lokale z-Achse in der Regel nach unten.

Die Federsteifigkeiten sind als Design-Werte zu verstehen.

Die lokalen Stabachsen lassen sich über den Zeigen-Navigator oder das Stab-Kontextmenü einblenden (vgl. Bild 5.109, Seite 159).

Schubfeder

Über Schubfedern kann die Schubtragfähigkeit des Baugrundes erfasst werden. Die Federkonstanten C_2 ermitteln sich aus dem Produkt $\nu * C_{1,z}$, wobei die Querdehnzahl ν für Sand- und Kiesböden zwischen 0.125 und 0.5 und für Tonböden zwischen 0.2 und 0.4 liegt.

Drehfeder

In diesem Eingabefeld bzw. dieser Spalte kann die Konstante einer Drehfeder angegeben werden, die die Rotation des Stabes um seine Längsachse behindert.

Ausfall der Bettung

Als nichtlineare Eigenschaft kann der Bettung ein Ausfallkriterium zugewiesen werden. Der Ausfall, falls die *Kontaktspannung in z negativ bzw. positiv* ist, bezieht sich ausschließlich auf die lokale Stabachse z. Die Nichtlinearitäten gelten nicht für die Wegfedern in Richtung der lokalen Achsen x oder y! Ein Ausfall bei negativer Kontaktspannung bedeutet somit: Die Bettung ist ohne Wirkung, falls sich ein Stabelement entgegen der lokalen z-Achse bewegt.

Wenn Ausfallkriterien verwendet werden, sollte man wie im Bild 5.109 auf Seite 159 dargestellt die Lage und Ausrichtung der lokalen z-Achse kontrollieren. Es kann erforderlich sein, den Stab zu drehen. Man sollte auch bedenken, dass ein zweiachsig wirkender Ausfall von Bettungsstäben nicht möglich ist.

Die interne Stabteilung von elastisch gebetteten Stäben kann im Register *Optionen* des Dialogs *Berechnungsparameter* angepasst werden (siehe Kapitel 8.3, Seite 253).

5.20 Stabnichtlinearitäten

Allgemeine Beschreibung

Mit Stabnichtlinearitäten werden nichtlineare Beziehungen zwischen Kraft (oder Moment) und Dehnung in den Stäben abgebildet.

Schon 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 Kraft erforderlich ist.

Stabnichtlinearitäten können prinzipiell jedem beliebigen Stabtyp zugewiesen werden. Natürlich ist dabei auf eine sinnvolle Kombination zu achten. Da z. B. ein Druckstab mit dem Kriterium „Ausfall bei Druck“ bei der Berechnung unweigerlich Probleme bereiten würde, wird die Plausibilitätskontrolle in diesem Fall eine entsprechende Meldung ausgeben. Stabnichtlinearitäten sind deshalb für folgende Stabtypen ungeeignet: Zug-, Druck-, Knick- und Seilstäbe sowie Stäbe mit *Dummy Rigid* Querschnitten (vgl. Seite 144).

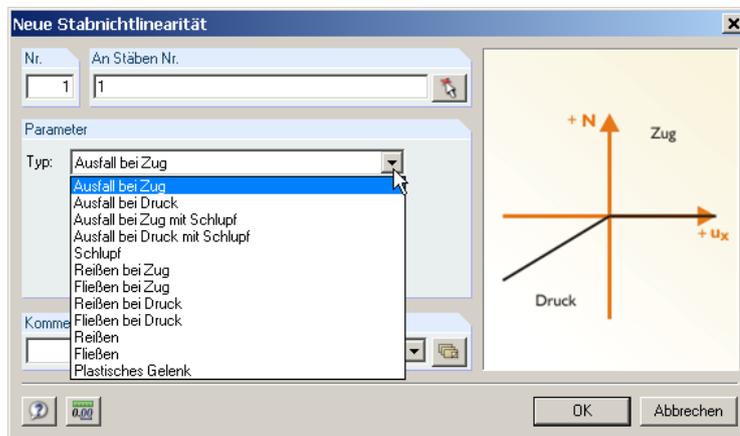


Bild 5.119: Dialog *Neue Stabnichtlinearität*

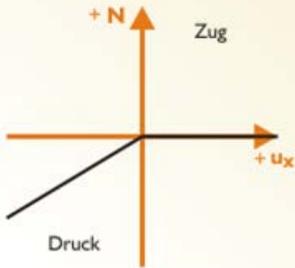
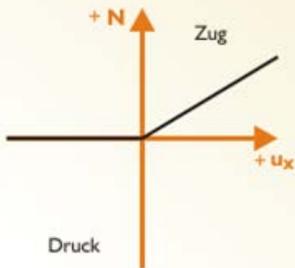
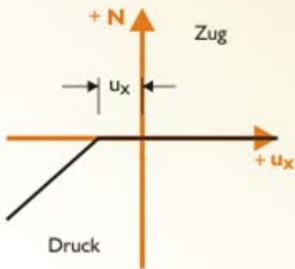
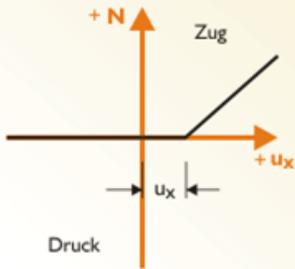
1.20 Stabnichtlinearitäten

Nichtlin. Nr.	A		Nichtlinearität-Parameter							Kommentar
	An Stäben Nr.	Typ der Nichtlinearität	N_{pl} [kN]	$V_{y,pl}$ [kN]	$V_{z,pl}$ [kN]	$M_{T,pl}$ [kNm]	$M_{y,pl}$ [kNm]	$M_{z,pl}$ [kNm]		
1	10	Ausfall bei Zug								
2	11	Ausfall bei Zug mit Schlupf	6.00							
3	5	Fließen bei Druck	68.50							
4	8	Plastisches Gelenk	9999.00	9999.00	9999.00	9999.00	150.00	9999.00		
5										
6										
7										
8										

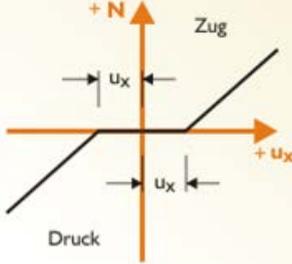
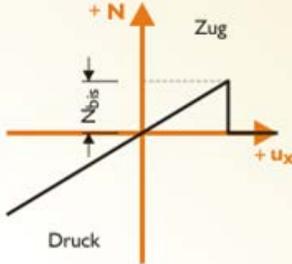
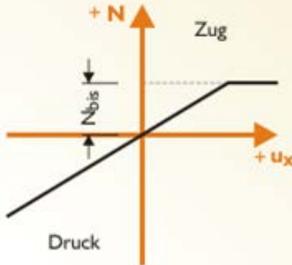
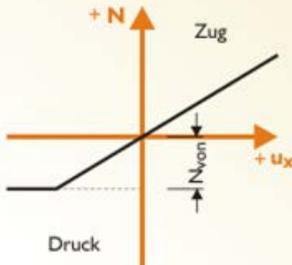
Querschnitte | Stabendgelenke | Stabexzentrizitäten | Stabteilungen | Stäbe | Rippen | Stabbettungen | Stabnichtlinearitäten | Stabsätze

Typ der Nichtlinearität (F7 zum Wählen)

Bild 5.120: 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.



<p>Schlupf</p>		<p>Der Stab kann erst nach einer Dehnung oder Stauchung um den Betrag u_x eine Normalkraft aufnehmen.</p> <p>Achtung: Eine Lini Verdichtung an einem Stab mit <i>Schlupf</i> bewirkt, dass der Stab intern in kleine Stäbe geteilt wird. An jedem dieser Teilstäbe wird dann das Schlupf-Kriterium separat angesetzt.</p>
<p>Reißen bei Zug</p>		<p>Der Stab nimmt Druckkräfte unbeschränkt auf, fällt jedoch bei einer Zugkraft größer N_{bis} aus.</p>
<p>Fließen bei Zug</p>		<p>Der Stab nimmt Druckkräfte unbeschränkt auf, aber nur eine maximale Zugkraft N_{bis}.</p> <p>Vergrößert sich die Dehnung, bleibt die Zugkraft im Stab gleich.</p>
<p>Reißen bei Druck</p>		<p>Der Stab nimmt Zugkräfte unbeschränkt auf, fällt jedoch bei einer Druckkraft größer N_{von} aus.</p>

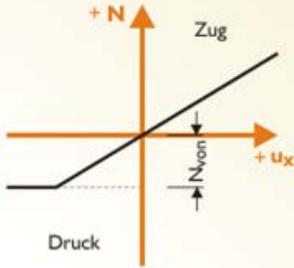
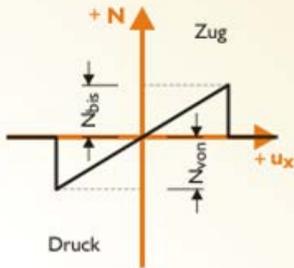
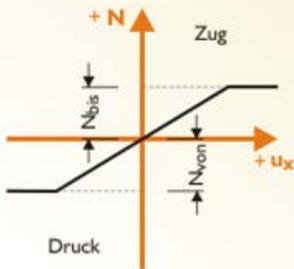
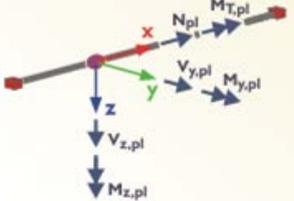
<p>Fließen bei Druck</p>		<p>Der Stab nimmt Zugkräfte unbeschränkt auf, aber nur eine maximale Druckkraft N_{von}.</p> <p>Vergrößert sich die Dehnung, bleibt die Druckkraft im Stab gleich.</p>
<p>Reißen</p>		<p>Der Stab fällt beim Erreichen der Druckkraft N_{von} oder beim Erreichen der Zugkraft N_{bis} aus.</p>
<p>Fließen</p>		<p>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.</p>
<p>Plastisches Gelenk</p>		<p>Wenn an einer Stelle des Stabes eine der plastischen Schnittgrößen erreicht wird, so bildet sich an dieser Stelle ein plastisches Gelenk für diese Schnittgröße aus.</p> <p>Die Schnittgrößen sind als Beträge positiv einzugeben.</p> <p>Für die Anteile der Schnittgrößen, die zu keinen Plastifizierungen führen, trägt man sehr hohe Werte ein.</p>

Tabelle 5.5: Stabnichtlinearitäten

5.21 Stabsätze

Allgemeine Beschreibung

Stabsätze sind Zusammenfassungen von Stäben. An bestimmten Stellen im Tragwerk kann es wünschenswert sein, dass sich mehrere Stäbe wie ein einziger Stab behandeln lassen, wie beispielsweise beim Biegedrillknicknachweis, bei der Bemessung von Durchlaufträgern oder auch für die Aufbringung von Lasten.

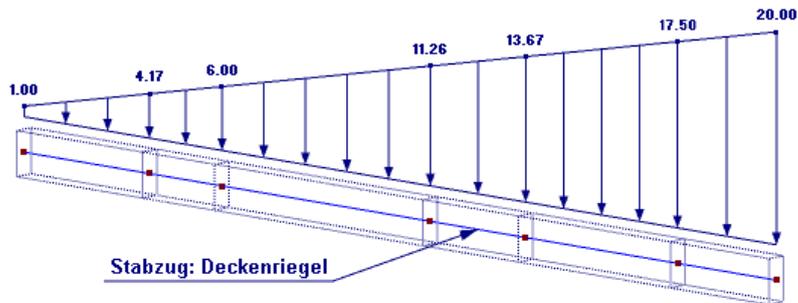
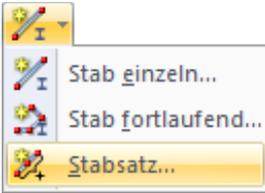


Bild 5.121: Stabsatz mit Trapezlast

Im oben dargestellten Beispiel ist ein Stabsatz des Typs *Stabzug* mit einer durchgehenden Trapezlast versehen. Die Zwischenwerte werden automatisch ermittelt.

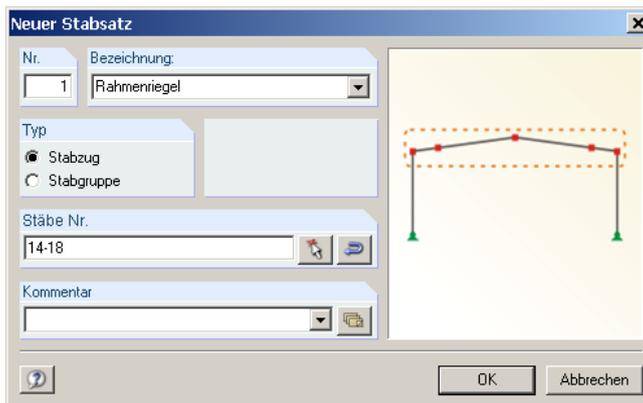


Bild 5.122: Dialog *Neuer Stabsatz*

Stabsatz Nr.	Stabsatz-Bezeichnung	Typ	Stab Nr.	Stabsatzlänge [m]	Kommentar
1	Rahmenriegel A-A	Stabzug	46,47	10,198	
2	Rahmenriegel B-B	Stabzug	86,87	10,198	
3	Stütze A-A	Stabgruppe	68-70	6,000	
4	Giebelrahmen	Stabgruppe	1-10	32,396	Rahmen für FE-Biegedrillknicknachweis
5					
6					
7					
8					

Bild 5.123: Tabelle 1.21 *Stabsätze*

Stabsatz-Bezeichnung

Hier kann ein beliebiger Name für den Stabsatz eingegeben oder aus der Liste ausgewählt werden. Manuell eingegebene Bezeichnungen werden in der Liste gespeichert und stehen ab sofort in der Auswahl zur Verfügung.

Typ

Es gibt es zwei unterschiedliche Typen von Stabsätzen:

- **Stabzüge**
- **Stabgruppen**

Stabzüge sind mehrere zusammenhängende Stäbe, die nicht verzweigen. Man könnte sie mit einem Stift zeichnen, ohne den Stift absetzen zu müssen.



Bild 5.124: Stabzug

Stabgruppen sind mehrere zusammenhängende Stäbe, die verzweigen können.

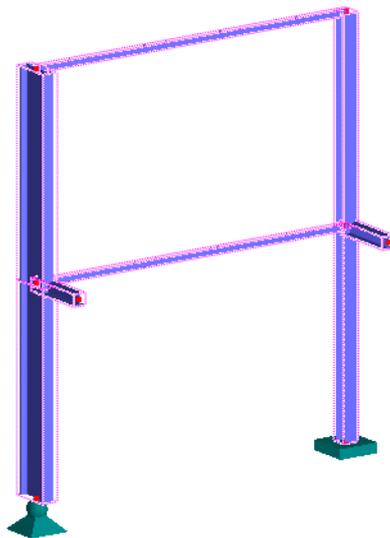


Bild 5.125: Stabgruppe

In einigen Nachlaufmodulen können auch Stabsätze zur Bemessung ausgewählt werden. Nicht immer ist jedoch der Nachweis von Stabgruppen möglich, wenn spezifische Eingangsparameter wie z. B. die Knicklänge nicht eindeutig definierbar sind.

Stäbe Nr.

In dieses Eingabefeld bzw. diese Spalte werden die Nummern der Stäbe eingetragen, die zum Stabsatz gehören sollen. Mit der Schaltfläche [Pick] können sie auch in der Grafik ausgewählt werden. Die Schaltfläche [Reihenfolge umkehren] verändert die Anordnung der Stabnummern.

Ein Stabsatz lässt sich am schnellsten wie folgt definieren: Zunächst werden alle Stäbe, die den Stabsatz bilden, grafisch selektiert. Dies kann durch Aufziehen eines Fensters über den



relevanten Stäben oder per Mehrfachselektion mit gedrückter [Strg]-Taste erfolgen. Wird nun einer dieser Stäbe mit der rechten Maustaste angeklickt, erscheint das Stab-Kontextmenü mit der Option **Neuer Stabsatz** bzw. **Stab** → **Neuer Stabsatz**. Im folgenden Dialog *Neuer Stabsatz* sind die Nummern der selektierten Stäbe voreingestellt.

Stabsatzlänge

Die Gesamtlänge des Stabsatzes ermittelt sich aus der Summe der einzelnen Stablängen.

5.22 Durchdringungen

Allgemeine Beschreibung

Wenn Flächen sich schneiden und Schnittgrößen an der gemeinsamen Linie übertragen werden sollen, muss eine Durchdringung erzeugt werden. Anderenfalls würden zwei unabhängige Teilsysteme vorliegen, zwischen denen keinerlei Verbindung besteht. In folgendem Beispiel ist dieser Effekt gegenübergestellt.

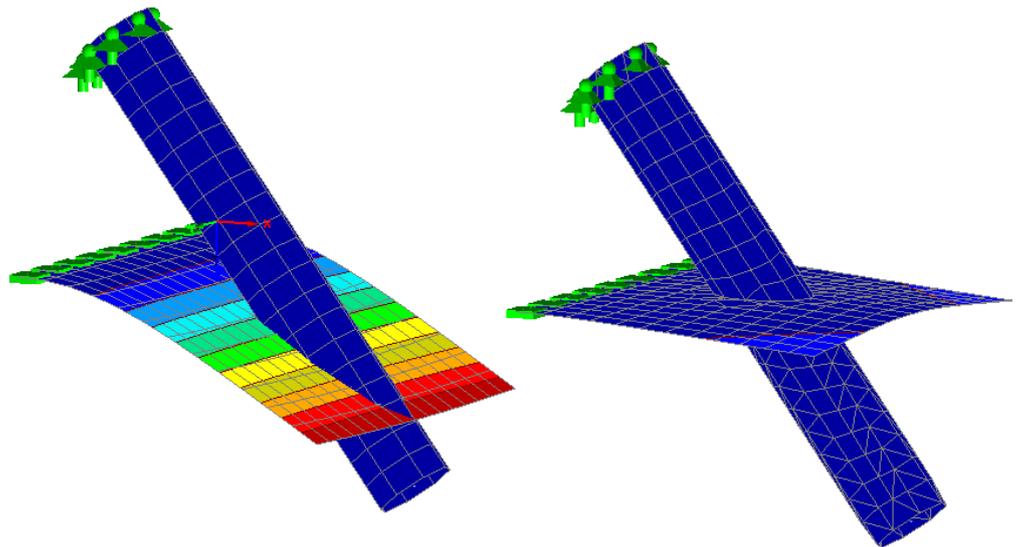


Bild 5.126: Verformungen aus Eigengewicht ohne Durchdringung (links) und mit Durchdringung (rechts)



Durchdringungen müssen bei jeder Änderung des Modells neu berechnet werden. Bei komplexen Strukturen ist dies mit einem erhöhten Zeitaufwand für den Aufbau der Grafik verbunden, wodurch die Eingabe merklich verlangsamt wird.

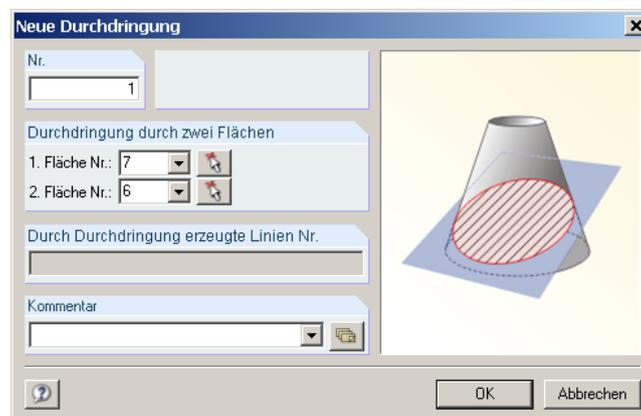


Bild 5.127: Dialog *Neue Durchdringung*

Durchdr. Nr.	A 1. Fläche Nr.	B 2. Fläche Nr.	C Durch Durchdringung erzeugte Linien Nr.	D Kommentar
1	6	7	37	Rohranschluss
2	7	8	38	
3	7	9	39	
4				
5				
6				
7				
8				

Bild 5.128: Tabelle 1.22 Durchdringungen

Durchdringung durch zwei Flächen



In diesen Eingabefeldern bzw. Tabellenspalten sind die Nummern der beiden Flächen anzugeben, die sich durchdringen. Im Dialog *Neue Durchdringung* können die Flächen aus der Liste oder mit [Pick] grafisch ausgewählt werden.

Durchdringungen (u. U. auch von mehr als zwei Flächen) lassen sich relativ bequem grafisch erzeugen: Zunächst werden die betreffenden Flächen mithilfe eines Selektionsfensters oder über die Mehrfachselektion mit der [Strg]-Taste markiert. Im Kontextmenü der Flächen, das mit einem Klick der rechten Maustaste auf eine der selektierten Flächen aufgerufen wird, ist der Befehl zum Erzeugen der Durchdringung enthalten.

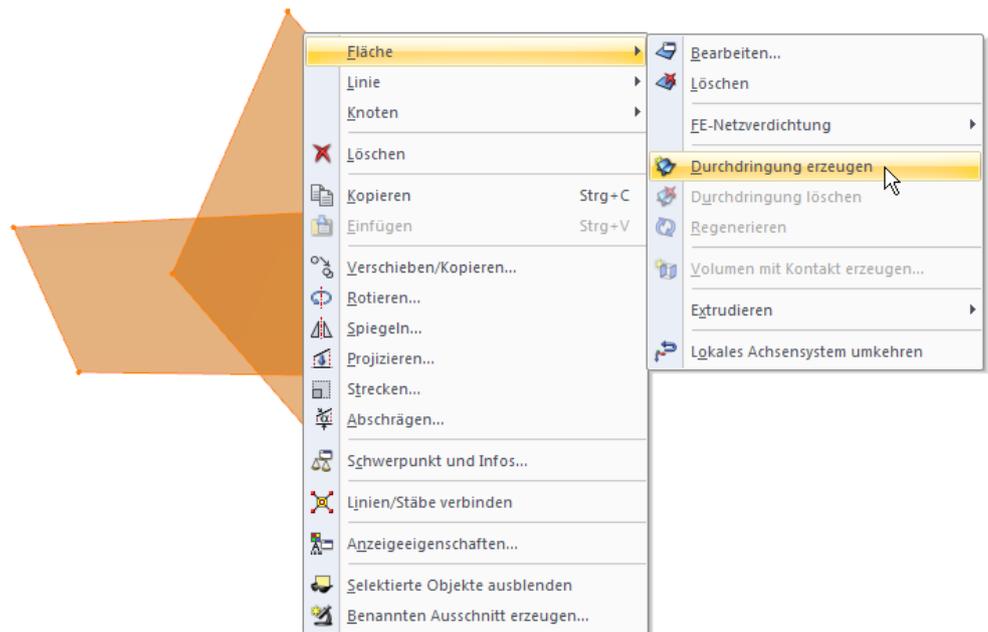


Bild 5.129: Kontextmenü Fläche → Durchdringung erzeugen

Durch Durchdringung erzeugte Linien

Bei der Generierung der Durchdringung wird eine Linie erzeugt, die beiden Flächen gemeinsam ist. Die Nummer der neuen Linie wird in dieser Tabellenspalte angegeben.

Bei gekrümmten Flächen wird diese Linie in Tabelle 1.2 *Linien* als Linientyp *Durchdringung* ausgewiesen und als *Generiert* gekennzeichnet. Für Durchdringungslinien steht ebenfalls der Dialog *Linie bearbeiten* zur Verfügung.

Aktive Teilflächen

Durch die Durchdringungslinien werden die Flächen in Teilflächen zerlegt. Es ist möglich, diese Teilflächen jeweils einzeln aktiv oder inaktiv zu setzen. Ist eine Teilfläche inaktiv, dann wird sie in der Grafik ausgeblendet. Es werden dort keine FE-Elemente erzeugt und natürlich auch keine Belastung angesetzt. Für den Rechenkern sind nur aktive Teilflächen existent.

Das Aktivieren und Deaktivieren von Teilflächen geschieht im Dialog *Fläche bearbeiten*.

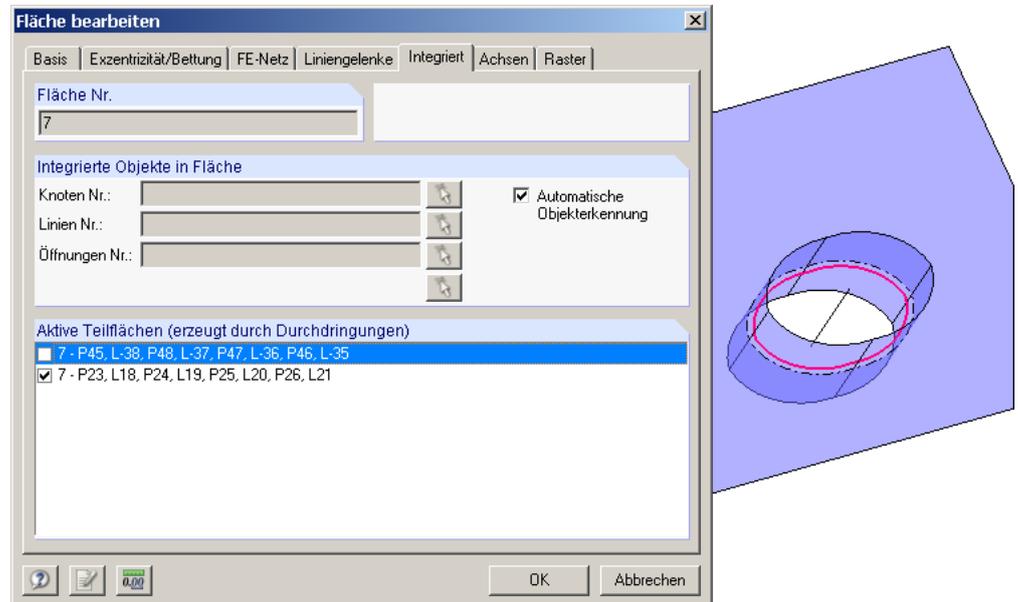


Bild 5.130: Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Integriert*

Der Dialog wird durch einen Doppelklick auf die Fläche oder auf den Navigatoreintrag der Fläche geöffnet. Im Abschnitt *Aktive Teilflächen* des Registers *Integriert* werden sämtliche Teilflächen aufgelistet, die im Zuge der Durchdringung erzeugt wurden.

Selektiert man in der Liste eine Teilfläche, so wird diese in der Grafik farbig hervorgehoben. Um die Teilfläche inaktiv zu setzen, ist das Häkchen beim Kontrollfeld zu entfernen. In der Grafik wird diese inaktive Teilfläche dann ohne Füllfarbe dargestellt (vgl. Bild 5.130).



Die Geometrieinformationen der Gesamtfläche bleiben programmintern erhalten, da sie für eventuelle Neuberechnungen der Durchdringungsfigur erforderlich sind. Inaktive Teilflächen können deshalb nicht gelöscht, sondern nur ausgeblendet werden.

5.23 FE-Netzverdichtungen

Allgemeine Beschreibung

Sind keine FE-Netzverdichtungen definiert, wird das FE-Netz mit der global anzustrebenden Maschenweite generiert. Die allgemeinen Einstellmöglichkeiten des FE-Netzes finden Sie im Kapitel 8.2.2 auf Seite 244 beschrieben.

Die Netzgestaltung kann in ausgewählten Bereichen durch FE-Netzverdichtungen beeinflusst werden. Damit lässt sich eine angepasste Diskretisierung erzielen, die beispielsweise in Eckbereichen, bei Anschlüssen von Stäben an Flächen oder zur dynamischen Analyse von Stäben erforderlich sein kann.

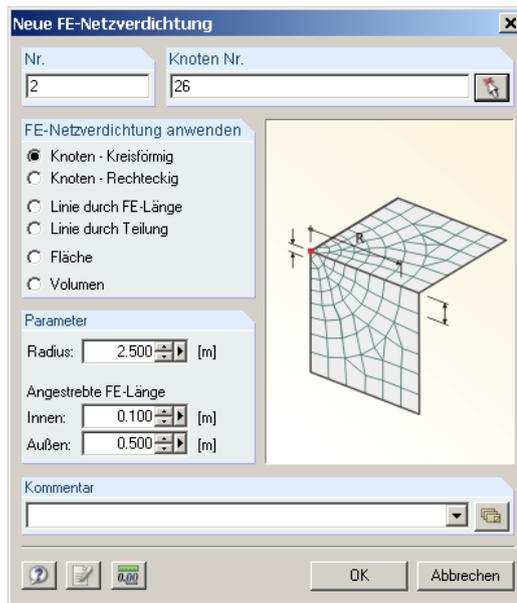


Bild 5.131: Dialog *Neue FE-Netzverdichtung*

1.23 FE-Netzverdichtungen							
Verdicht. Nr.	A FE-Netzverdichtung anwenden auf	B Knoten Nr.	C Anzahl Teilungen	D Umkreis Radius [m]	E Angestrebte FE-Länge [m]	F Innen Außen	G Kommentar
1	Knoten - Kreisförmig	5-8		2.500	0.100	0.500	
2	Flächen	7		0.100			
3	Linien durch FE-Länge	14		0.100			
4	Linien durch Teilung	2	10				
5	Volumina	6		0.300			
6							
7							
8							

Bild 5.132: Tabelle 1.23 *FE-Netzverdichtungen*

FE-Netzverdichtung anwenden auf

In diesem Dialogabschnitt bzw. dieser Tabellenspalte wird festgelegt, auf welche Objekte sich die FE-Netzverdichtung bezieht und in welcher Weise die Verdichtung vorgenommen wird. Es stehen sechs Verdichtungstypen zur Auswahl, die auf den folgenden Seiten im Einzelnen beschrieben sind.

- Knoten - Kreisförmig
- Knoten - Kreisförmig**
- Knoten - Rechteckig
- Linien durch FE-Länge
- Linien durch Teilung
- Flächen
- Volumina

Kreisförmige Verdichtung um einen Knoten

Es wird ein radialer Verdichtungsbereich in alle Richtungen um einen Knoten definiert.

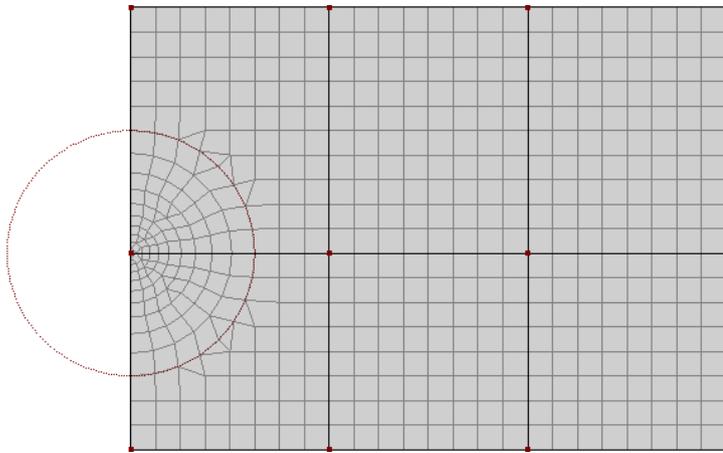


Bild 5.133: Kreisförmige Verdichtung um einen Knoten

Rechteckige Verdichtung um einen Knoten

Neben der kreisförmigen Verdichtung steht die Möglichkeit eines rechteckigen Verdichtungsbereichs zur Auswahl.

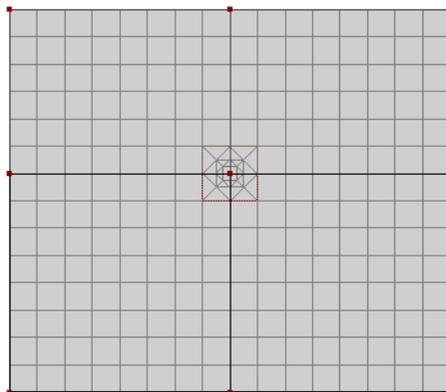


Bild 5.134: Rechteckige Verdichtung um einen Knoten

Verdichtung an einer Linie durch FE-Länge

Es können gleichmäßige Abstände der FE-Knoten auf einer Linie festgelegt werden.

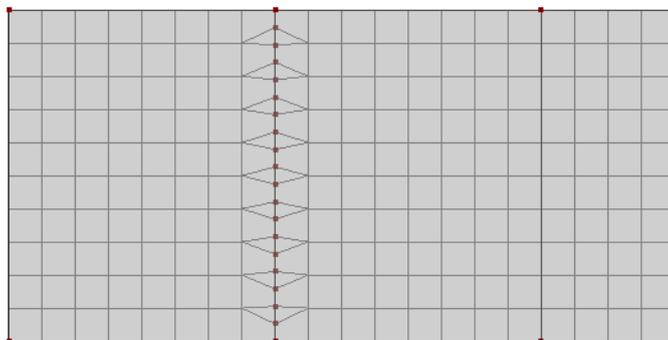


Bild 5.135: Verdichtung an einer Linie durch FE-Länge

Verdichtung an einer Linie durch Teilung

Alternativ kann eine Linie durch eine bestimmte Anzahl von regelmäßigen Unterteilungen verdichtet werden. Diese Art der Verdichtung eignet sich insbesondere für Linien mit Sta-beigenschaften.

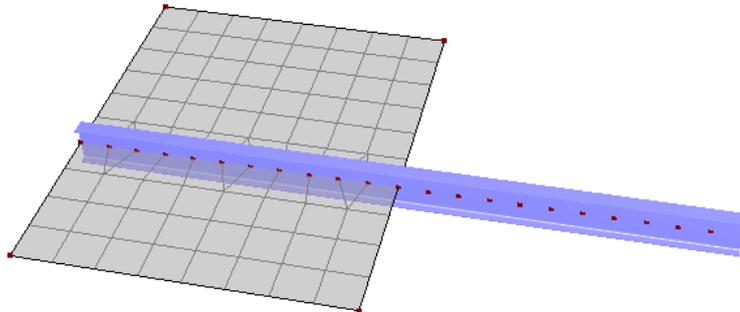


Bild 5.136: Verdichtung an einer Linie durch Teilung

Verdichtung an einer Fläche

Es wird eine Seitenlänge der finiten Elemente festgesetzt, die als Maschenweite für die ganze Fläche anzustreben ist.

Dieser Verdichtungstyp kann umgekehrt auch für solche Flächen benutzt werden, die für die Analyse weniger bedeutsam sind: Man gibt als „Verdichtung“ eine größere Maschenweite als die global angestrebte FE-Netzlänge vor.

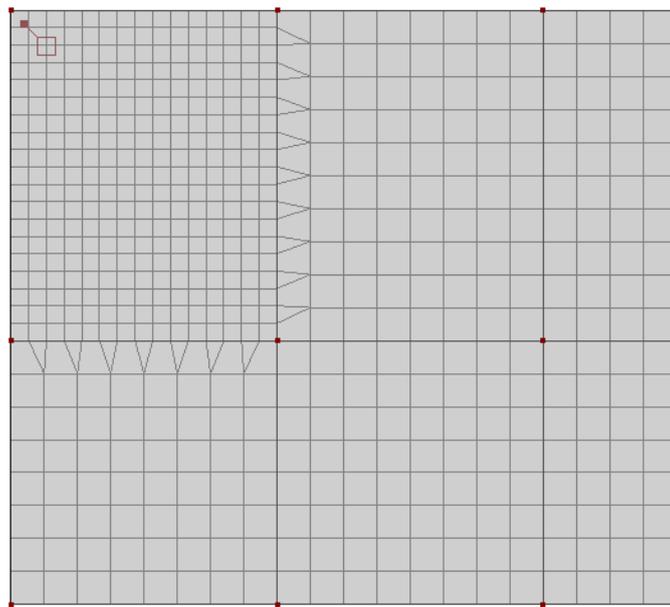


Bild 5.137: Verdichtung an einer Fläche

Verdichtung an einem Volumen

FE-Netzverdichtungen können auch für Volumina definiert werden.

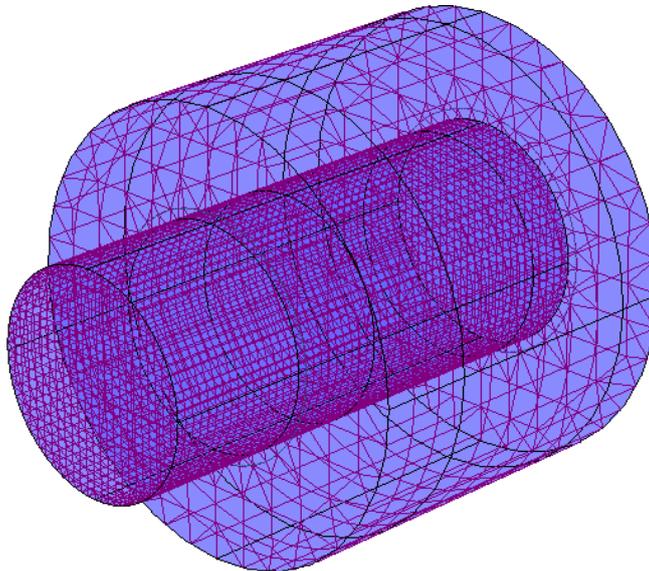


Bild 5.138: Verdichtung an einem Volumen

Knoten / Linien / Flächen / Volumina Nr.



Hier werden die Nummern der Objekte angegeben, auf die die FE-Netzverdichtung anzuwenden ist. Im Dialog *Neue FE-Netzverdichtung* lassen sich die Objekte mit [Pick] grafisch bestimmen.

Parameter

Radius

Wurde eine kreisförmige Verdichtung um einen Knoten gewählt, ist der Radius des Verdichtungsbereichs anzugeben. Zusätzlich muss die *Angestrebte FE-Länge* im Zentrum (*Innen*) und an der Peripherie (*Außen*) des Kreises angegeben werden. Da sich in der Regel die FE-Länge am Rande des Verdichtungsbereiches mit der globalen Maschenweite deckt, erfolgt bei der Netzgenerierung eine graduelle Verfeinerung des Netzes zum Zentrum hin.

Es empfiehlt sich, den Radius bei einer größeren Differenz zwischen innerer und äußerer FE-Länge nicht zu klein vorzugeben, da sonst u. U. im Verdichtungsbereich spitzwinklige Dreieckselemente generiert werden.

Seitenlänge

Im Falle einer rechteckigen Verdichtung um einen Knoten wird der Verdichtungsbereich durch dessen Seitenlänge festgelegt. Zusätzlich ist die *Angestrebte FE-Länge* im Zentrum (*Innen*) der Verdichtung anzugeben.

Anzahl Teilungsknoten

Bei einer Linienverdichtung durch Teilungsknoten ist die Anzahl der Unterteilungen festzulegen. Es wird dann die entsprechende Anzahl an FE-Knoten in gleichmäßigen Abständen auf der Linie generiert.

FE-Länge Linie / Fläche / Volumen

Wurde die Verdichtung an einer Linie, einer Fläche oder einem Volumen gewählt, so muss für das jeweilige Objekt die anzustrebende Maschenweite festgelegt werden.

6. Lastfälle und Kombination

Die auf die Struktur wirkenden Belastungen werden in verschiedenen Lastfällen verwaltet. Diese Lastfälle können nachfolgend in Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen überlagert werden.

Es muss ein Lastfall angelegt werden, ehe man Belastungen (vgl. Kapitel 7) definieren kann.



6.1 Lastfälle

Allgemeine Beschreibung

Alle Belastungen aus einer Einwirkung werden in einem Lastfall (LF) abgelegt. Lastfälle können beispielsweise Eigengewicht, Schnee oder Nutzlast sein.



Die Lasten sollten im Lastfall als Gebrauchslasten, d. h. **ohne Faktoren** definiert werden. Die Teilsicherheitsbeiwerte können später beim Überlagern der Lastfälle in Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen berücksichtigt werden.

Für jeden einzelnen Lastfall kann festgelegt werden, ob die Berechnung nach Theorie I., II. oder III. Ordnung erfolgen soll.

Anlegen eines neuen Lastfalls

Es gibt drei Möglichkeiten, den Dialog zum Anlegen eines neuen Lastfalls aufzurufen:

- Menü **Einfügen** → **Belastung** → **Neuer Lastfall**
- Schaltfläche [Neuer Lastfall] in der Symbolleiste



Bild 6.1: Schaltfläche *Neuer Lastfall* in der Symbolleiste

- Kontextmenü des Navigatoreintrags *Lastfälle*.

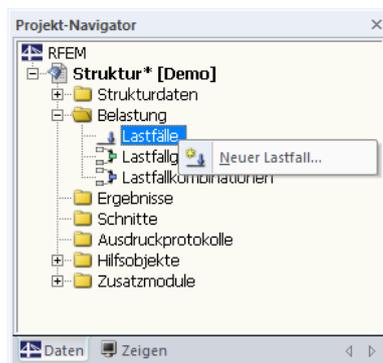
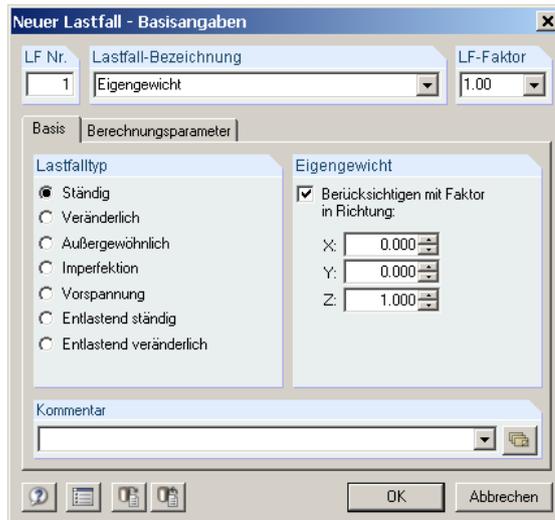


Bild 6.2: Kontextmenü *Lastfälle* im Daten-Navigator

Es erscheint der Dialog *Neuer Lastfall - Basisangaben*.

Bild 6.3: Dialog *Neuer Lastfall - Basisangaben*, Register *Basis*

Die Nummer des Lastfalls wird automatisch vergeben. Die im Eingabefeld *LF Nr.* vorgeschlagene Nummer kann durch eine andere Nummer ersetzt werden. Existiert diese bereits, wird eine Warnung ausgegeben und der Dialog kann nicht verlassen werden. Die Schaltfläche [Liste der existierenden Lastfälle] links unten im Dialog öffnet einen neuen Dialog mit einer Übersicht über alle vorhandenen Lastfälle.

Obwohl das nachträgliche Umnummerieren von Lastfällen möglich ist (vgl. Kapitel 12.2.18, Seite 404), sollte man beim Anlegen der Lastfälle planvoll vorgehen. Es sind auch Lücken in der Nummerierung möglich, die das Ergänzen von Lastfällen im Nachhinein erlauben.

Als *Lastfall-Bezeichnung* kann ein beliebiger Name für den Lastfall vergeben werden. Diese Bezeichnung kann manuell eingegeben oder aus der Liste ausgewählt werden.

Das Eingabefeld *LF-Faktor* legt den Faktor fest, mit dem alle im Lastfall enthaltenen Lasten multipliziert werden. Dieser Faktor kann ebenfalls manuell eingegeben oder aus der Liste ausgewählt werden. Es ist zu empfehlen, den Faktor hier auf 1.00 zu belassen und die Teilsicherheitsbeiwerte später bei der Überlagerung in den Lastfallgruppen oder Lastfallkombinationen anzusetzen. Der Lastfallfaktor wird auch bei den Lastvektoren und -werten in der Grafik realisiert. Es sind hier grundsätzlich auch negative Faktoren zulässig.

Register *Basis*

Im Abschnitt *Lastfalltyp* ist festzulegen, um welche Art von Einwirkung es sich handelt. Nach dieser Typisierung richtet sich die automatische Vergabe von Teilsicherheitsfaktoren bei der Bildung von Lastfallgruppen und -kombinationen.

Soll das Eigengewicht der Konstruktion als Last berücksichtigt werden, so ist im Abschnitt *Eigengewicht* das Kontrollfeld zu aktivieren. Dann kann die Wirkrichtung in einem der drei Eingabefelder über den Eigengewichtsfaktor festgelegt werden. Die Voreinstellung ist 1.00 in Richtung Z (bzw. -1.00, falls die globale Z-Achse nach oben zeigt).

Register *Berechnungsparameter*



Bild 6.4: Dialog *Neuer Lastfall - Basisangaben*, Register *Berechnungsparameter*

Im Abschnitt *Berechnungstheorie* kann ausgewählt werden, ob der Lastfall nach Theorie I., II. oder III. Ordnung berechnet werden soll. Mit der Option *Durchschlagproblem* wird die Stabilitätsanalyse im Hinblick auf das Durchschlagsversagen des Gesamttragwerks geführt. Die Voreinstellung für Lastfälle ist die lineare Berechnung nach I. Ordnung. Falls das Modell Seilstäbe enthält, wird III. Ordnung vorgeschlagen.

Falls keine Berechnung nach Theorie I. Ordnung erfolgt, so können im Abschnitt unterhalb *Optionen für Theorie II. bzw. III. Ordnung* weitere Einstellungen vorgenommen werden.

Entlastende Wirkung durch Zugkräfte berücksichtigen

Zugkräfte haben auf ein vorverformtes System eine entlastende Wirkung. Die Vorverformung wird dadurch verringert und das System stabilisiert.

Es gibt unterschiedliche Auffassungen über die Behandlung entlastend wirkender Zugkräfte. DIN 18800 und die Eurocodes enthalten Bestimmungen, wonach entlastende Wirkungen mit einem geringeren Teilsicherheitsfaktor als belastende Wirkungen berücksichtigt werden müssen.

Stabweise variierende Teilsicherheitsfaktoren sind mit vertretbarem Rechenaufwand kaum zu realisieren. RFEM bietet deshalb die Möglichkeit, Zugkräfte generell auf Null zu setzen. Dieser Ansatz liegt auf der sicheren Seite. Wenn diese Möglichkeit genutzt werden soll, so muss das Kontrollfeld deaktiviert werden.

Andererseits lässt sich argumentieren, dass in den Normen von Einwirkungen und nicht von inneren Kräften die Rede ist. Es sei deshalb nur für die gesamte Einwirkung zu entscheiden, ob sie be- oder entlastend wirkt. Wenn folglich eine belastende Einwirkung in gewissen Bereichen der Struktur eine entlastende Wirkung hat, könne sie durchaus berücksichtigt werden. Wenn die Normalkräfte nach diesem Ansatz unverändert in die Berechnung eingehen sollen, muss das Kontrollfeld aktiviert sein.

Ergebnisse durch LF-Faktor zurückdividieren

Einige Normen verlangen, dass die Einwirkungen global mit einem Faktor multipliziert werden müssen. Damit sollen für Stabilitätsnachweise die Effekte nach Theorie II. Ordnung vergrößert werden. Die Bemessung wiederum hat mit den Gebrauchslasten zu erfolgen. Diese beiden Forderungen können erfüllt werden, wenn ein Lastfallfaktor größer 1.00 eingegeben und dieses Kontrollfeld aktiviert wird.



Reduzierung der Steifigkeit durch Teilsicherheitsbeiwert γ_M

Ist dieses Kontrollfeld aktiviert, werden die Steifigkeiten $E \cdot I$ bzw. $E \cdot A$ durch γ_M geteilt. Der Material-Teilsicherheitsbeiwert γ_M kann für jedes Material getrennt festgelegt werden (siehe Kapitel 5.3, Seite 101).

Bearbeiten der Basisangaben eines vorhandenen Lastfalls

Es gibt vier Möglichkeiten, die Basisangaben eines bereits bestehenden Lastfalls zu ändern:

- Menü **Bearbeiten** → **Belastung** → **Lastfall-Basisangaben** (aktueller Lastfall)
- Menü **Bearbeiten** → **Belastung** → **Lastfälle** (Auswahl aus allen Lastfällen)



Hier wird ein Dialog aufgerufen, in dem man einen bestimmten Lastfall selektieren und dessen [Eigenschaften] bearbeiten kann:

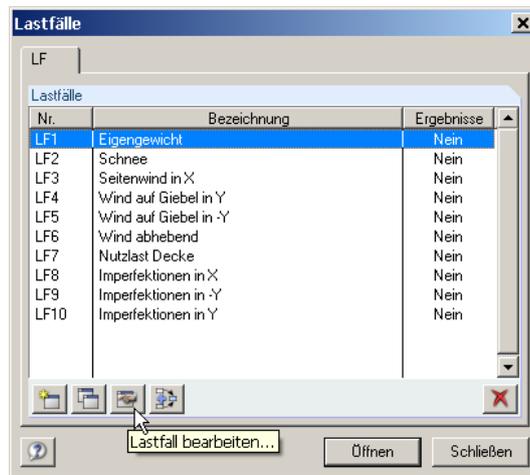


Bild 6.5: Dialog *Lastfälle*

- Kontextmenü oder Doppelklicken eines Lastfalls im *Daten-Navigator*

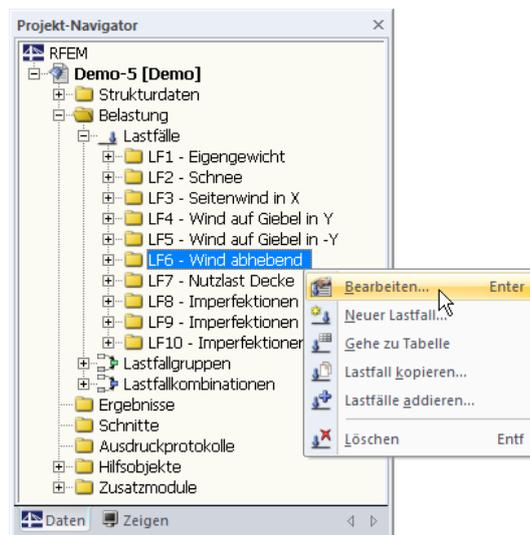


Bild 6.6: Kontextmenü *Lastfall*



- Schaltfläche [Basisangaben] in der Belastungstabellen-Symbolleiste (aktueller Lastfall)

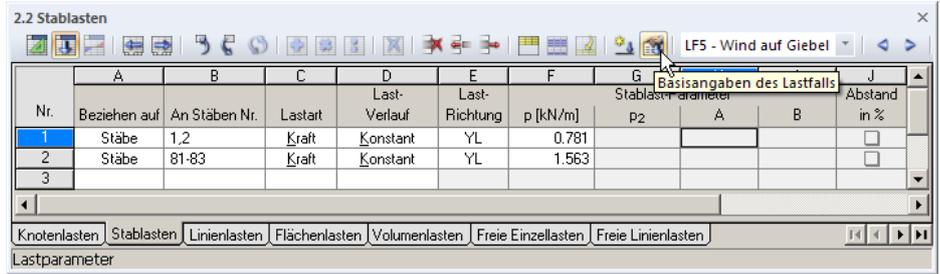


Bild 6.7: Schaltfläche [Basisangaben] in der Symbolleiste der Belastungstabellen

Kopieren und Addieren von Lastfällen

Wenn man auf bereits bestehende Lastfälle zurückgreifen kann, wird das Anlegen neuer Lastfälle erleichtert. Die Kopierfunktionen sind in einem Dialog zugänglich, der über Menü **Datei** → **Positionsdaten** aufgerufen wird.

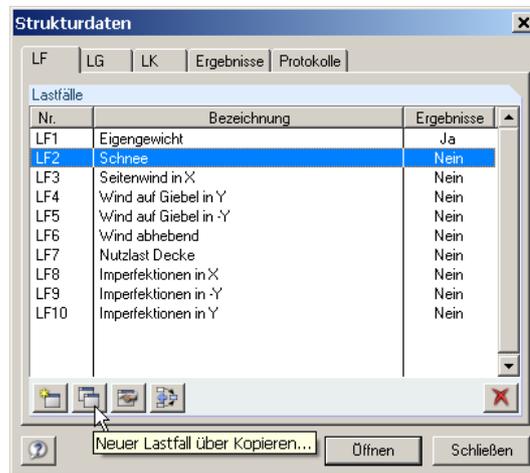


Bild 6.8: Dialog *Strukturdaten*, Schaltfläche [Lastfall kopieren]

Lastfall kopieren



Ist der relevante Lastfall festgelegt, wird über die Schaltfläche [Neuer Lastfall über Kopieren] ein weiterer Dialog aufgerufen. Dort sind die Nummer und ggf. die Bezeichnung des neuen Lastfalls anzugeben. Die Belastungen werden in den neuen Lastfall übertragen und können anschließend angepasst werden.



Bild 6.9: Dialog *Lastfall kopieren*

Belastungen addieren

Im Unterschied zum reinen Kopieren von Lastfällen können hier die Belastungen eines Lastfalls zu einem bereits bestehenden Lastfall addiert werden. Zudem ist es möglich, die Belastungen mehrerer Lastfälle in einem neuen Lastfall zu vereinen.



Es wird der Lastfall ausgewählt, dessen Lasten addieren werden sollen. Die Schaltfläche [Lasten der selektierten Lastfälle addieren] ruft einen neuen Dialog auf. Dort ist anzugeben, ob die Lasten als *Neuer Lastfall* behandelt oder zu einem *Vorhandenen Lastfall* hinzugefügt werden sollen. Bei der letztgenannten Option wird die Liste *Vorhandene Lastfälle* zugänglich, in der man den Ziel-Lastfall auswählen kann.

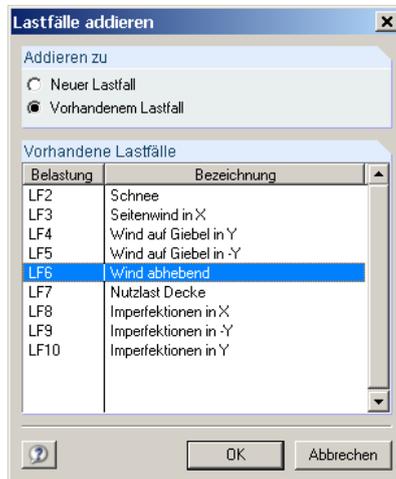


Bild 6.10: Dialog *Lastfälle addieren*

Über die Mehrfachselektion (z. B. mit gedrückter [Strg]-Taste) im Dialog *Strukturdaten* (vgl. Bild 6.8) können auch verschiedene Lastfälle ausgewählt werden, um deren Belastungen in einem neuen Lastfall zusammenzufassen. Diese können auch zu einem bestehenden Lastfall hinzugefügt werden, sofern dieser Lastfall nicht in der Mehrfachselektion enthalten ist.

6.2 Lastfallgruppen

Allgemeine Beschreibung

Die Bildung einer Lastfallgruppe (LG) ist eine der Möglichkeiten, Lastfälle zu kombinieren. Die zweite Möglichkeit ist die Überlagerung in einer Lastfallkombination (siehe folgendes Kapitel 6.3 ab Seite 192.)

Bei einer Lastfallgruppe werden die Belastungen der enthaltenen Lastfälle unter Berücksichtigung der jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte zu „einem großen Lastfall“ zusammengefasst, der dann berechnet wird.

Bei einer Lastfallkombination werden zunächst die enthaltenen Lastfälle berechnet. Deren Ergebnisse werden dann unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren überlagert.

Wenn die Überlagerung mehrerer Lastfälle nach Theorie II. oder III. Ordnung erfolgen soll, müssen grundsätzlich Lastfallgruppen gebildet werden. Dies gilt auch für Strukturen mit nichtlinearen Elementen. Folgendes Beispiel soll diese Notwendigkeit 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. Die Bettung der Platte ist bei Zug unwirksam, sodass keine abhebenden Kräfte aufgenommen werden. Das Eigengewicht der Platte bleibt jeweils unberücksichtigt.

Unterschied Lastfallgruppe und Lastfallkombination



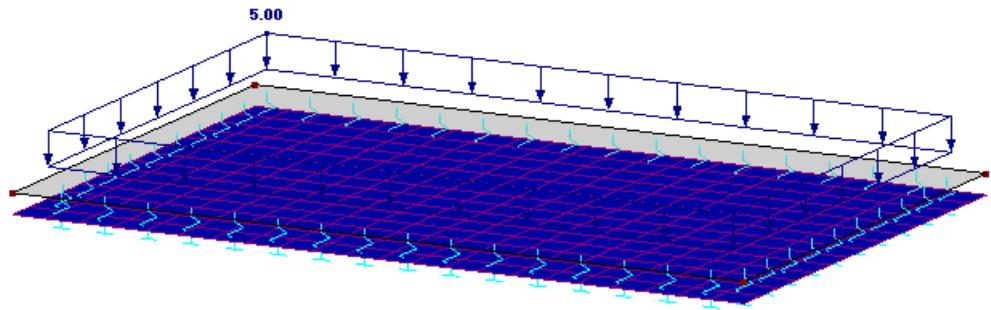


Bild 6.11: Last und Verformung im LF 1

Die Bettung ist im ersten Lastfall auf der gesamten Fläche wirksam.

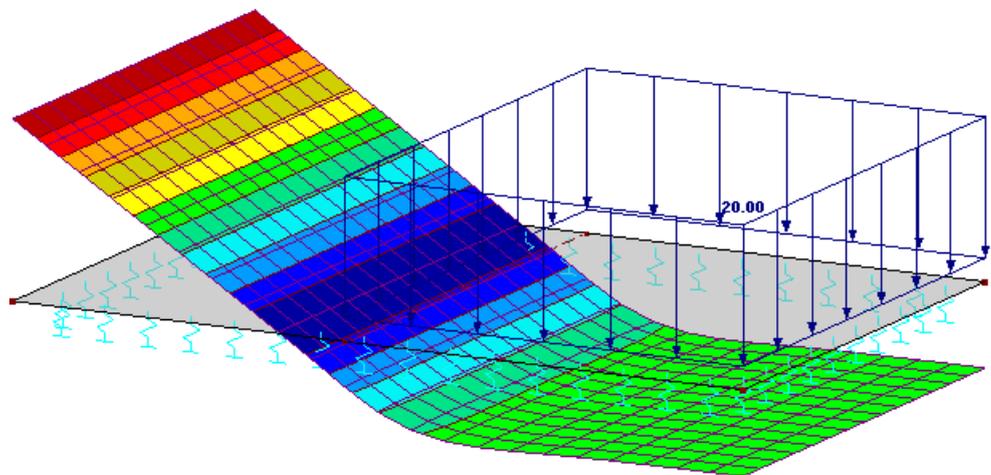


Bild 6.12: Last und Verformung im LF 2

Im zweiten Lastfall wirkt die Bettung nur im rechten Teil der Fläche, links hebt die Platte ab.

Überlagert man die beiden Lastfälle in einer Lastfallkombination, erscheint eine Warnung. Eine Addition der Ergebnisse ist wegen der nichtlinearen Effekte nicht zulässig, da den Verformungen in beiden Lastfällen zwei unterschiedliche statische Systeme zu Grunde liegen. Bei einer Lastfallkombination wäre das Abheben im linken Bereich aus dem LF 2 zu sehen.

Korrekt ist deshalb die Überlagerung in einer Lastfallgruppe.

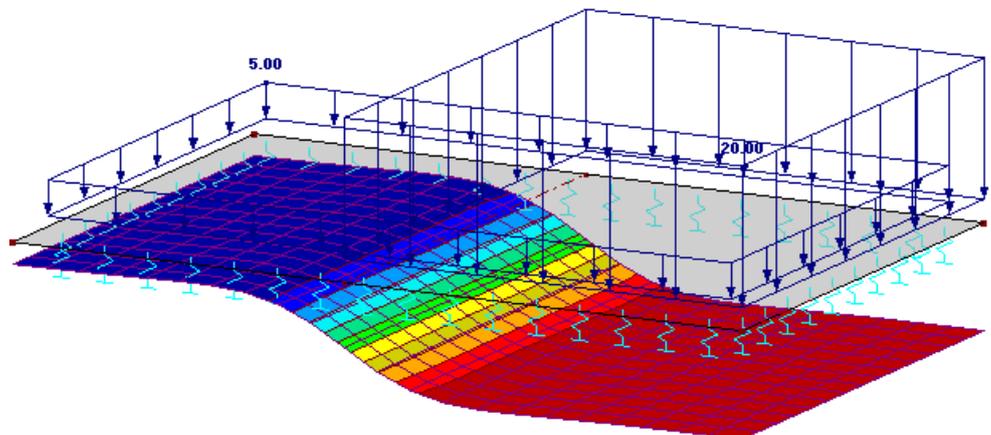


Bild 6.13: Last und Verformung der Lastfallgruppe

Die Grafik zeigt, dass die Bettung für die addierten Lasten ohne Ausfall wirksam ist.

Anlegen einer neuen Lastfallgruppe

Es gibt drei Möglichkeiten, den Dialog zum Anlegen einer neuen Lastfallgruppe aufzurufen:

- Menü **Einfügen** → **Lastfallgruppe**
- Schaltfläche [Neue Lastfallgruppe] in der Symbolleiste



Bild 6.14: Schaltfläche *Neue Lastfallgruppe* in der Symbolleiste

- Kontextmenü des Navigatoreintrags *Lastfallgruppen*.

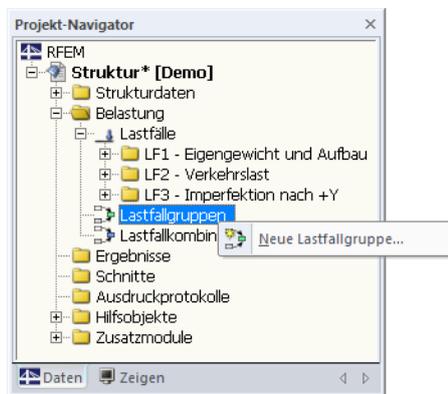


Bild 6.15: Kontextmenü *Lastfallgruppen* im Daten-Navigator

Es wird der Dialog *Neue Lastfallgruppe* angezeigt.

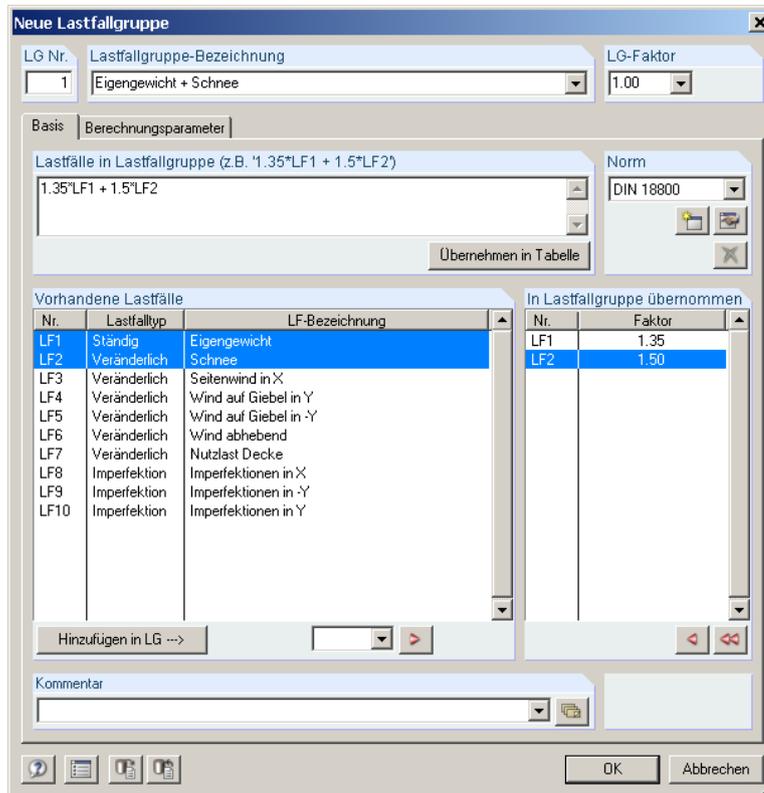


Bild 6.16: Dialog *Neue Lastfallgruppe*, Register *Basis*



Im Eingabefeld *LG Nr.* wird automatisch eine Nummer vergeben, die jederzeit geändert werden kann. Die Schaltfläche [Verzeichnis aller vorhandenen Lastfallgruppen] links unten im Dialog eröffnet eine Übersicht über die bereits angelegten Lastfallgruppen.

Als *Lastfallgruppe-Bezeichnung* kann ein beliebiger Name für die Lastfallgruppe festgelegt werden. Diese Bezeichnung lässt sich manuell eingeben oder auch aus der Liste wählen. Da manuelle Einträge in der Liste gespeichert werden, sind sie für andere Positionen verfügbar.

Das Listenfeld *LG-Faktor* gibt den Koeffizienten vor, mit dem alle in der Lastfallgruppe enthaltenen Belastungen pauschal multipliziert werden. Einige Normen fordern, dass die Einwirkungen global mit einem Faktor zu multiplizieren sind. Dadurch werden die Effekte nach Theorie II. Ordnung für Stabilitätsnachweise vergrößert.

Register Basis

Im Eingabefeld *Lastfälle in Lastfallgruppe* können die Lastfälle mit beliebigen Faktoren (Teilsicherheitsbeiwerten) addiert oder auch subtrahiert werden. Eine Schachtelung der Eingabe ist nicht zulässig.

Beispiel: $LF1 + 0.5 \cdot LF3$

Zur einfachen Belastung des Lastfalls 1 wird die halbe Last des Lastfalls 3 addiert.

Übernehmen in Tabelle

Mit der Schaltfläche [Übernehmen in Tabelle] werden die von Hand vorgenommenen Einträge in die Tabelle *In die Lastfallgruppe übernommen* rechts unterhalb übertragen.

Hinzufügen in LG -->

Die Zusammenstellung der Lastfälle kann auch mit der Maus erfolgen: Selektieren Sie zunächst die relevanten Belastungen in der Tabelle *Vorhandene Lastfälle*. Sollen mehrere Lastfälle markiert werden, halten Sie die [Strg]-Taste beim Klicken gedrückt. Mit der Schaltfläche [Hinzufügen in LG →] werden die Lastfälle automatisch mit den Teilsicherheitsfaktoren der gewählten Norm versehen und in die Tabelle *In die Lastfallgruppe übernommen* übergeben.



Die Faktoren der übernommenen Lastfälle lassen sich nachträglich ändern: Markieren Sie in der rechten Tabelle einen Lastfall, geben im Eingabefeld unterhalb in der Mitte den passenden Faktor ein bzw. wählen diesen aus der Liste und klicken dann auf die Schaltfläche [▶].

Die Teilsicherheitsfaktoren werden gemäß der Vorschrift gebildet, die im *Norm*-Listenfeld eingestellt ist. Neben den gängigen Normen gibt es dort auch die ‚Gebrauchstauglichkeit‘, bei der alle Teilsicherheitsfaktoren auf 1.00 gesetzt sind.



Über die Schaltfläche [Bearbeiten] können die Teilsicherheitsfaktoren der in der Liste eingestellten Norm geändert, über [Neu] die Beiwerte einer neuen, anwenderdefinierten Norm festgelegt werden.

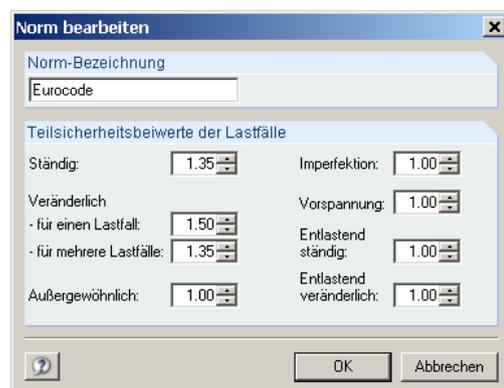
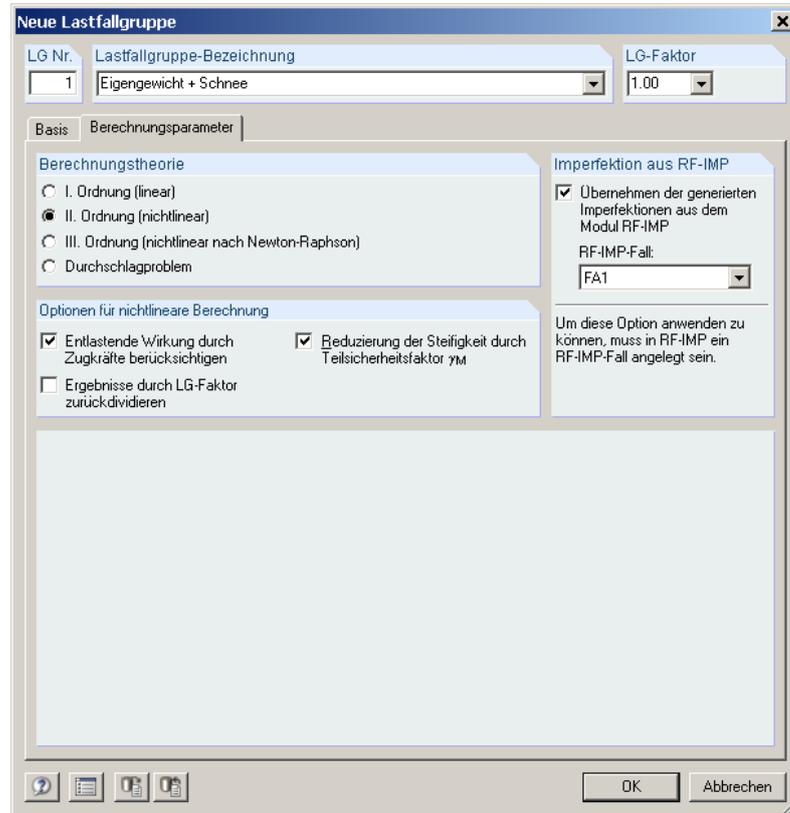


Bild 6.17: Dialog *Norm bearbeiten*

Register *Berechnungsparameter*Bild 6.18: Dialog *Neue Lastfallgruppe*, Register *Berechnungsparameter*

Es kann für jede Lastfallgruppe separat festgelegt werden, ob die Berechnung nach Theorie I., II. oder III. Ordnung erfolgen soll. Eine ausführliche Beschreibung dieses Registers finden Sie im Kapitel 6.1 ab Seite 183.

Imperfektion aus RF-IMP

Es besteht die Möglichkeit, Imperfektionen in Form von Ersatzstrukturen zu berücksichtigen, die über das Zusatzmodul **RF-IMP** generiert werden. Falls dieses Modul nicht lizenziert ist, können nur Ersatzimperfektionen für Stäbe angesetzt werden (vgl. Kapitel 7.13, Seite 232), d. h. keine Imperfektionen für Flächen.

Soll die Berechnung mit einer Ersatzstruktur erfolgen, muss diese zunächst in RF-IMP gebildet werden. Es können Imperfektionen aus Eigenwerten von RF-STABIL, RF-DYNAM oder aus den Verformungen von RFEM-Lastfällen skaliert und als Ersatzstruktur abgelegt werden. Die eigentlichen Strukturdaten bleiben davon unberührt. Erst in der Lastfallgruppe werden die Koordinaten der einzelnen FE-Knoten vor der Berechnung entsprechend der Ersatzstruktur geändert. Für jede Lastfallgruppe kann eine andere Ersatzstruktur verwendet werden.

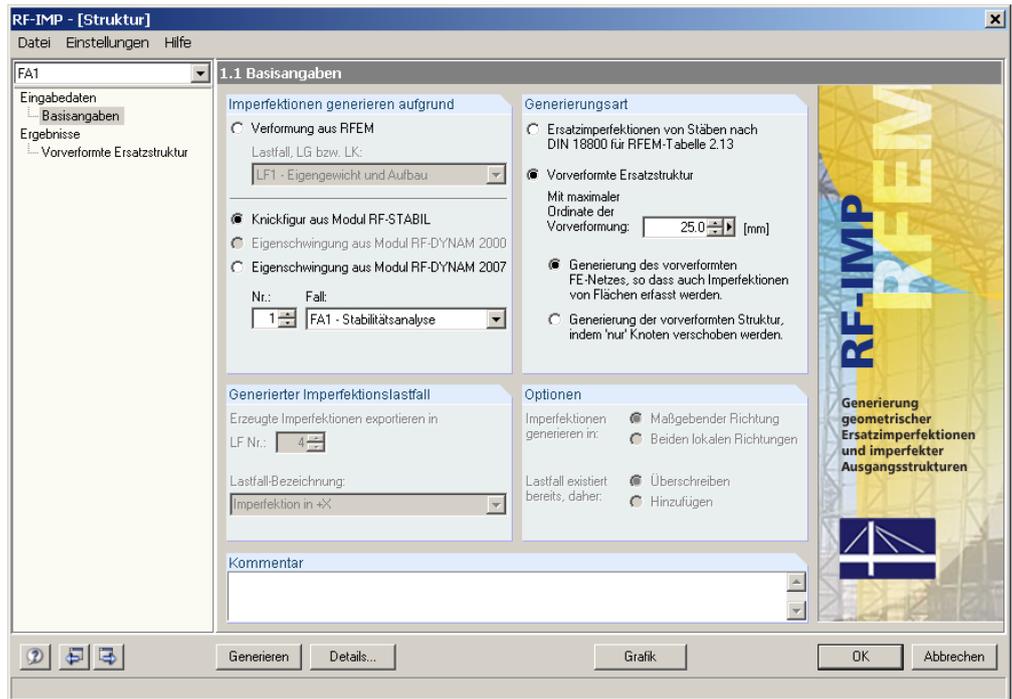


Bild 6.19: Zusatzmodul RF-IMP

Bearbeiten der Basisangaben vorhandener Lastfallgruppen

Es gibt folgende Möglichkeiten, die Basisangaben bestehender Lastfallgruppen zu ändern:

- Menü **Bearbeiten** → **Lastfallgruppen**



Es wird ein Dialog aufgerufen, in dem man eine bestimmte Lastfallgruppe selektieren und deren Eigenschaften [Bearbeiten] kann.

- Kontextmenü oder Doppelklicken einer Lastfallgruppe im *Daten*-Navigator

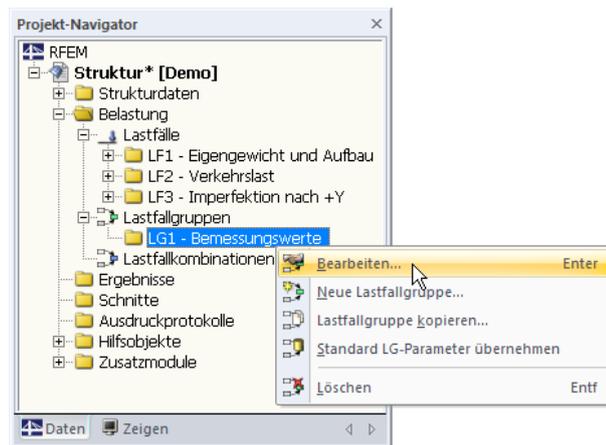


Bild 6.20: Kontextmenü Lastfallgruppe

6.3 Lastfallkombinationen

Allgemeine Beschreibung

Die Bildung einer Lastfallkombination (LK) ist eine der beiden Möglichkeiten, Lastfälle zu kombinieren. Die andere Möglichkeit ist die Überlagerung in einer Lastfallgruppe (siehe vorheriges Kapitel 6.2, Seite 186.)

Bei einer Lastfallkombination werden zunächst die enthaltenen Lastfälle berechnet. Die Ergebnisse werden dann unter Berücksichtigung der Teilsicherheitsfaktoren überlagert.

Bei einer Lastfallgruppe werden die Belastungen der enthaltenen Lastfälle unter Berücksichtigung der jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte zu „einem großen Lastfall“ zusammengefasst, der dann berechnet wird.

Lastfallkombinationen eignen sich nicht für nichtlineare Berechnungen, da sie zu falschen Ergebnissen führen. Meist erfolgt der Ausfall nichtlinearer Elemente unterschiedlich in den einzelnen Lastfällen, sodass die Schnittgrößen dieser Elemente nicht korrekt kombiniert werden können. Zudem stellen sich Umlagerungseffekte im Gesamtmodell ein.

In einer Lastfallkombination können die Ergebnisse von Lastfällen, Lastfallgruppen und auch von anderen Lastfallkombinationen überlagert werden.

Üblicherweise werden die Schnittgrößen addiert, jedoch sind prinzipiell auch Subtraktionen möglich. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich dann die Vorzeichen der Schnittgrößen umkehren, also beispielsweise Zugkräfte zu Druckkräften werden. Alternativ zur Subtraktion empfiehlt es sich deshalb, den Lastfall zu kopieren (siehe Kapitel 6.1, Seite 185) und in der Kopie des Lastfalls den Lastfallfaktor auf -1.00 zu setzen. Dieser Lastfall wird dann in der Lastfallkombination addiert.

Anlegen einer neuen Lastfallkombination

Folgende Optionen rufen den Dialog zum Anlegen einer neuen Lastfallkombination auf:

- Menü Einfügen → Lastfallkombination
- Schaltfläche [Neue Lastfallkombination] in der Symbolleiste

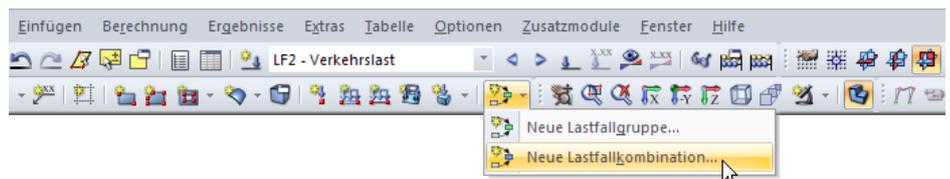


Bild 6.21: Schaltfläche *Neue Lastfallkombination* in der Symbolleiste

- Kontextmenü des Navigatoreintrags *Lastfallkombinationen*

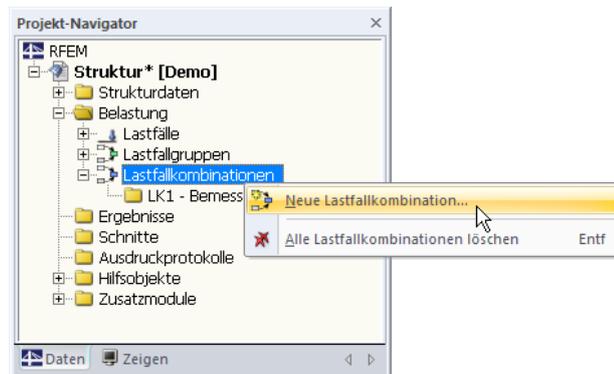


Bild 6.22: Kontextmenü *Lastfallkombinationen* im Daten-Navigator

Unterschied Lastfallkombination und Lastfallgruppe



Es wird der Dialog *Neue Lastfallkombination* angezeigt.

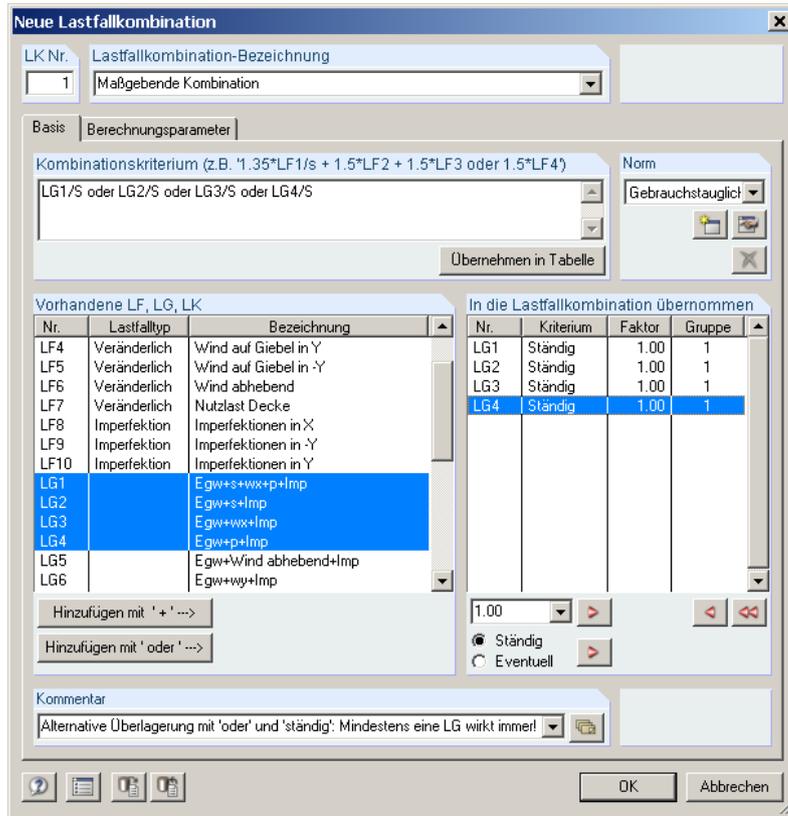


Bild 6.23: Dialog *Neue Lastfallkombination*, Register *Basis*



Im Eingabefeld *LK Nr.* ist eine Nummer vorgeschlagen, die ggf. angepasst werden kann. Die Schaltfläche [Verfügbare Lastfallkombinationen] links unten im Dialog öffnet einen weiteren Dialog mit einer Übersicht über alle bereits angelegten Lastfallkombinationen.

Im Eingabefeld *Lastfallkombination-Bezeichnung* kann ein beliebiger Name für die Lastfallkombination eingetragen oder aus der Liste gewählt werden. Da manuelle Einträge in der Liste gespeichert werden, sind sie auch für folgende Positionen verfügbar.

Register *Basis*

Die in der Lastfallkombination enthaltenen Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen können ihrer Wirkung entsprechend gekennzeichnet werden. Es sind folgende Überlagerungsarten möglich:



Ständige Überlagerung

Soll eine Einwirkung permanent oder unbedingt angesetzt werden, so ist sie im Abschnitt *Kombinationskriterium* mit dem Zusatz „/s“ oder „/ständig“ zu versehen. Bei der Auswahl mit der Maus geschieht dies automatisch durch Anklicken von *Ständig* und [▶].

Eventuelle Überlagerung

Eine Einwirkung ohne jeglichen Zusatz wird nur dann für die Überlagerung herangezogen, wenn deren Schnittgrößen einen ungünstigen Beitrag zum Ergebnis liefern.

Entweder-oder Überlagerung

Verknüpft man die Einwirkungen nicht additiv mit „+“, sondern durch „oder“ bzw. „o“, so werden diese als sich gegenseitig ausschließend behandelt. Ins Ergebnis fließen nur die Schnittgrößen derjenigen Einwirkung ein, die den größten ungünstigen Beitrag liefert. Die in einer Alternativüberlagerung betrachteten Einwirkungen müssen einheitlich als ‚ständig‘ oder ‚eventuell‘ gekennzeichnet sein (unzulässig wäre also beispielsweise „LF1/s oder LF2“).

Im Eingabefeld *Kombinationskriterium* können die Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen mit beliebigen Faktoren (Teilsicherheitsbeiwerten) addiert, subtrahiert bzw. mit „oder“ überlagert werden. Eine Schachtelung der Eingabe ist nicht zulässig.

Einige Beispiele für Lastfallüberlagerungen:

- **LF1/s + LF2/s + LF3**
Die Lastfälle 1 und 2 werden als ständig, der Lastfall 3 als eventuell überlagert.
- **LF1/s + LG + LF3 oder LF4 oder LF5**
Lastfall 1 fließt als ständig in die Überlagerung ein, Lastfallgruppe 2 als eventuell. Auch die ungünstigste Wirkung der Lastfälle 3, 4 oder 5 wird als eventuell überlagert, wobei nur einer davon wirksam ist.
- **1.2*LG1/s + 0.2*LK1 oder -0.2*LK1**
Das 1.2-fache der Lastfallgruppe 1 wird als ständig mit dem ungünstigeren Beitrag der positiven bzw. negativen 0,2-fachen Lastfallkombination 1 superponiert.
- **LK1/s oder LK2/s oder LK3/s oder LK4/s**
Die Lastfallkombinationen 1 bis 4 werden als ständig wirkend untereinander verglichen. Die Einhüllende wird als ungünstigstes Ergebnis ermittelt.

Mit der Schaltfläche [Übernehmen in Tabelle] werden manuell vorgenommene Einträge in die Tabelle *In die Lastfallkombination übernommen* rechts unterhalb übertragen.

Die Lastfallkombination kann auch mit der Maus zusammengestellt werden. Dazu müssen die zu überlagernden Objekte zunächst in der Tabelle *Vorhandene LF, LG, LK* markiert werden. Sollen mehrere Lastfälle markiert werden, ist die [Strg]-Taste beim Klicken gedrückt zu halten. Mit [Hinzufügen mit ‚+‘ →] werden die ausgewählten Elemente mit den relevanten Teilsicherheitsfaktoren versehen und in die Tabelle *In die Lastfallkombination übernommen* eingetragen. Mit [Hinzufügen mit ‚oder‘ →] werden die Lastfälle als einander ausschließend übertragen. In Spalte *Gruppe* sind sie dann als alternativ wirkend mit dem gleichen Symbol gekennzeichnet.

Die Faktoren der übernommenen Einwirkungen lassen sich jederzeit anpassen: Markieren Sie in der rechten Tabelle das Objekt, geben im Eingabefeld unterhalb den neuen Teilsicherheitsfaktor ein oder wählen ihn aus der Liste und klicken dann auf die Schaltfläche [►].

Die Teilsicherheitsfaktoren werden entsprechend der in der Liste *Norm* eingestellten Vorschrift gebildet. Neben den gängigen Normen gibt es dort auch die ‚Gebrauchstauglichkeit‘, bei der alle Teilsicherheitsfaktoren auf 1.00 gesetzt sind.

Über die Schaltfläche [Bearbeiten] können die Teilsicherheitsfaktoren der in der Liste eingestellten Norm geändert, über [Neu] die Beiwerte einer neuen, anwenderdefinierten Norm festgelegt werden.

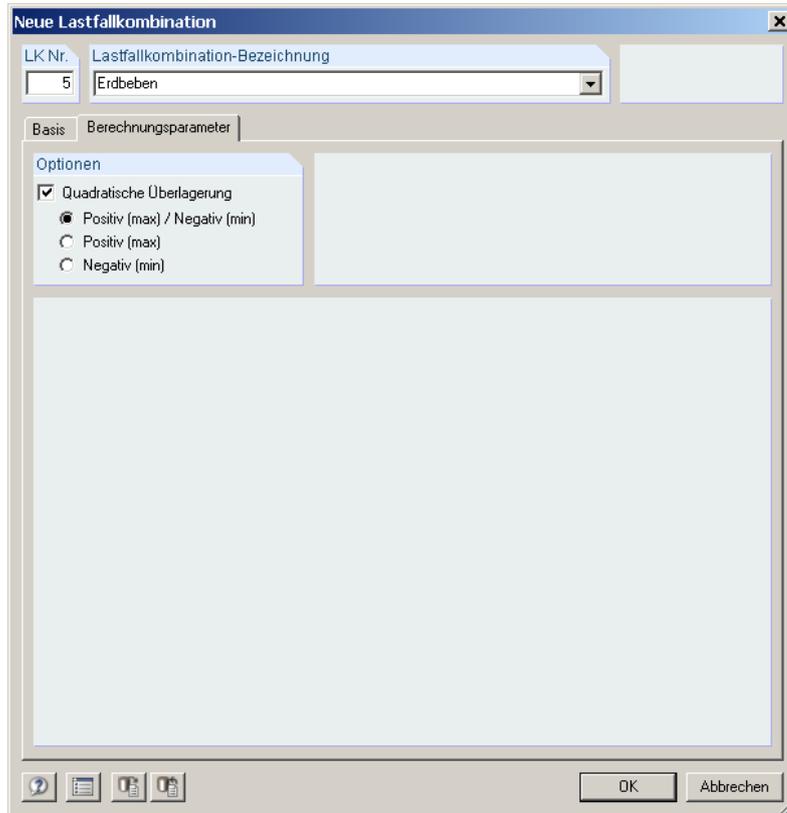
Übernehmen in Tabelle

Hinzufügen mit ‚+‘ →

Hinzufügen mit ‚oder‘ →



Bild 6.24: Dialog *Norm-Teilsicherheitsbeiwerte der Lastfälle* beim Anlegen einer neuen Norm

Register *Berechnungsparameter*Bild 6.25: Dialog *Neue Lastfallkombination*, Register *Berechnungsparameter*

In diesem Register kann die so genannte *Quadratische Überlagerung* aktiviert werden. Anstelle der üblichen additiven Überlagerung der Schnittgrößen gemäß

$$B = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Gleichung 6.1

wird bei der quadratischen Überlagerung die pythagoräische Summe gebildet:

$$B = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}$$

Gleichung 6.2



Die quadratische Überlagerung von Schnittgrößen wird bei dynamischen Untersuchungen relevant, beispielsweise bei Kombinationen von Lastfällen infolge von Zentrifugalkräften.

Ist die quadratische Überlagerung aktiviert, kann anhand der *Positiv/Negativ*-Kontrollfelder gesteuert werden, welche Extremwerte bei der Kombination berücksichtigt werden sollen.

Bearbeiten der Basisangaben von Lastfallkombinationen

Es bestehen folgende Möglichkeiten, die Basisangaben vorhandener Lastfallkombinationen zu ändern:



- Menü **Bearbeiten** → **Lastfallkombinationen**

Es wird ein Dialog aufgerufen, in dem man eine bestimmte Lastfallkombination auswählen und deren [Eigenschaften] bearbeiten kann.

- Kontextmenü oder Doppelklicken einer Lastfallkombination im *Daten*-Navigator

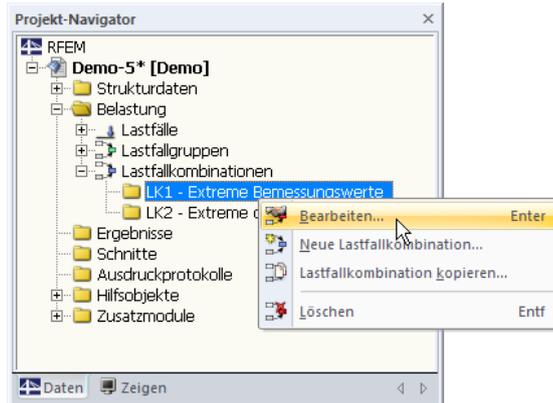


Bild 6.26: Kontextmenü *Lastfallkombination*

Verwenden von Kombinationsschemata

Lastfallkonstellationen lassen sich als *Kombinationsschema* erzeugen und für künftige Anwendungsfälle in einer Bibliothek abspeichern. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → **Kombinationsschema**.

Es erscheint folgender Dialog.

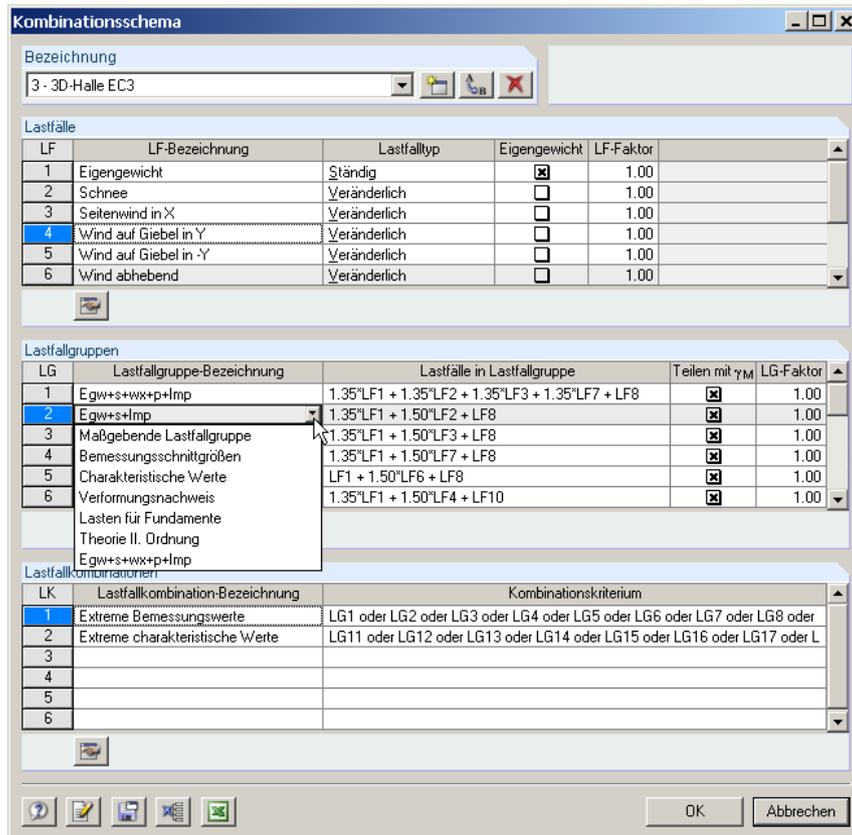


Bild 6.27: Dialog *Kombinationsschema*



Im Abschnitt *Bezeichnung* wird ein Kombinationsschema aus der Liste gewählt oder über die Schaltfläche [Neu] angelegt.



Die einzelnen Lastfälle werden im Abschnitt *Lastfälle* eingetragen. Über die Schaltfläche [▼] am Ende des Eingabefeldes sind auch vordefinierte Bezeichnungen zugänglich. Die Schaltfläche [Basisangaben] ruft den Dialog *Lastfall bearbeiten - Basisangaben* auf (vgl. Bild 6.3, Seite 182).



Achten Sie darauf, Lastfalltyp, Berücksichtigung des Eigengewichts und LF-Faktor korrekt zuzuweisen.

In den Abschnitten *Lastfallgruppen* und *Lastfallkombinationen* werden die Überlagerungsbedingungen eingegeben. Die Schaltfläche [Bearbeiten] erleichtert auch hier die Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte.



Das erstellte Kombinationsschema lässt sich mit der links dargestellten Schaltfläche sichern. Mit [OK] werden dann die Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen generiert.



Vergessen Sie nicht, in RFEM noch die Belastung einzugeben. Das Kombinationsschema stellt nur das Gerüst der vorhandenen Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen dar.

Bei weiteren Positionen, die auf dem gleichen Schema beruhen, können sämtlich Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen ohne weitere Eingaben generiert werden: Rufen Sie diesen Dialog erneut auf, wählen das Schema in der Liste aus und übernehmen es mit [OK].

7. Belastungen

Wie bei den Strukturdaten bietet RFEM mehrere Möglichkeiten der Dateneingabe an. Man kann die Lasten in einem **Dialog**, einer **Tabelle** und oft auch direkt **grafisch** definieren.

Die Dialoge und die grafische Eingabe werden aufgerufen über die

- Untereinträge im Menü **Einfügen** → **Belastung**
- Schaltflächen in der Symbolleiste **Einfügen**
- Kontextmenüs der Belastung-Objekte im **Daten-Navigator**.

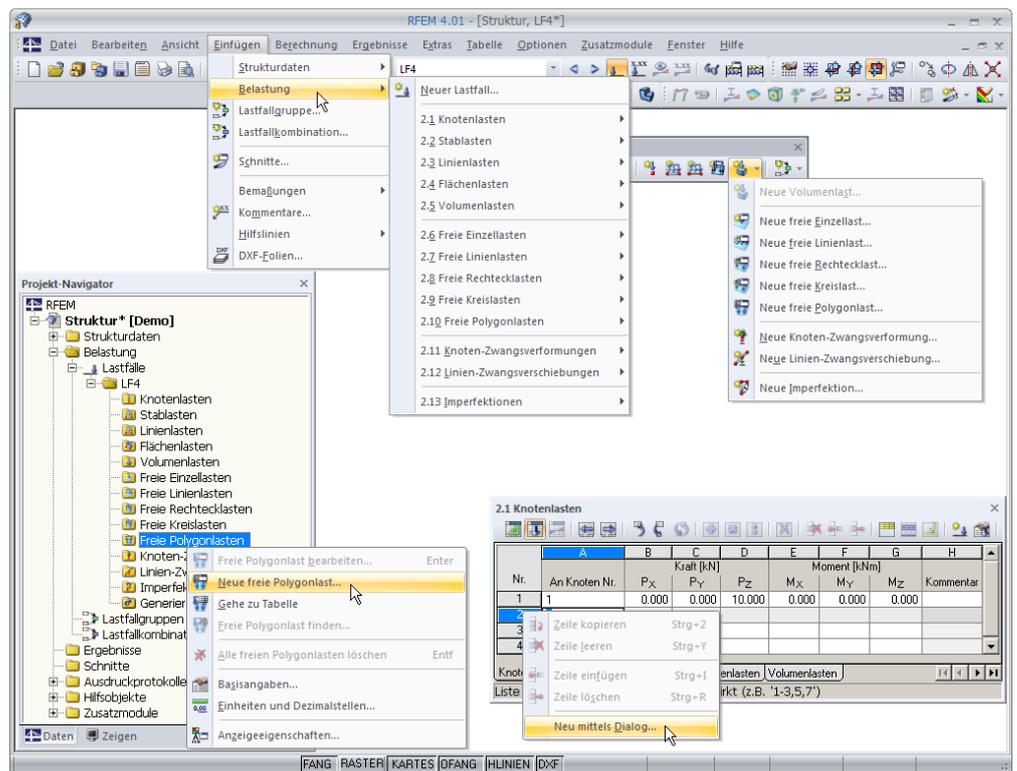


Bild 7.1: Aufruf von Eingabemöglichkeiten über Menü, Schaltfläche und Kontextmenüs

Soll eine bereits definierte Last geändert werden, kann dies ebenfalls in einem **Dialog** oder der **Tabelle** erfolgen.

Die Bearbeitungsdialoge werden aufgerufen über

- die Untereinträge im Menü **Bearbeiten** → **Belastung**
- die Kontextmenüs oder einen Doppelklick der Lasten in der Grafik
- die Kontextmenüs oder einen Doppelklick der Lasten im **Daten-Navigator**.

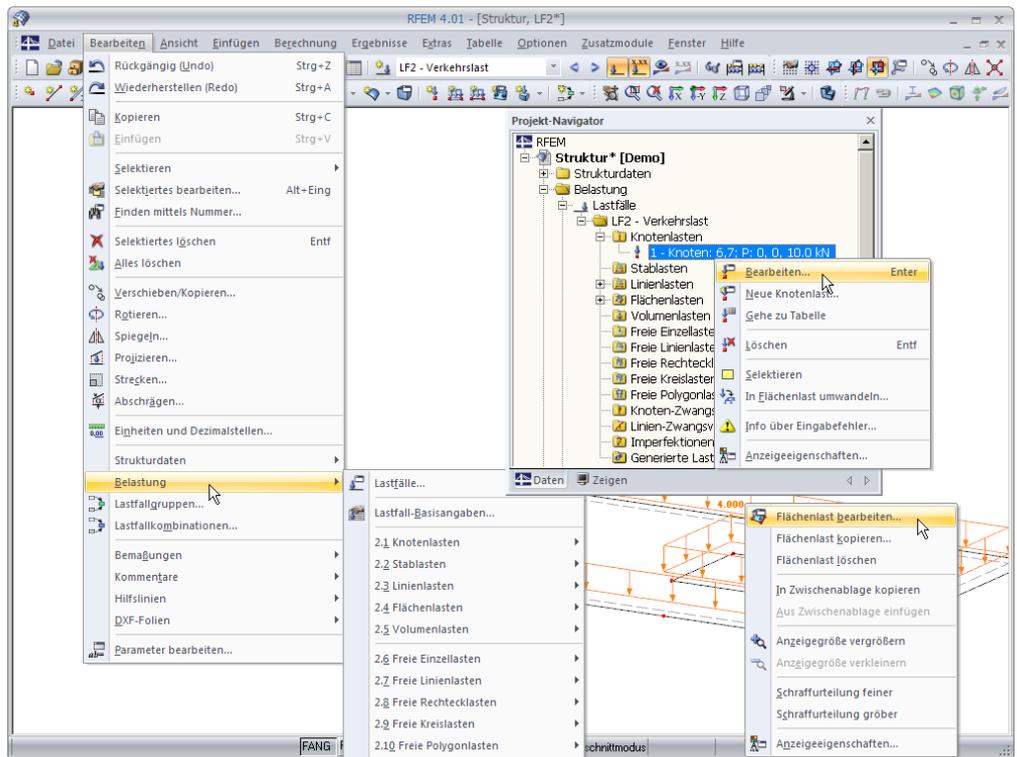


Bild 7.2: Aufruf von Bearbeitungsdialogen über Menü und Kontextmenüs



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

2.1 Knotenlasten

Nr.	An Knoten Nr.	P _x	P _z	Moment M _y [kNm]	Kommentar
1	3	0.000	7.500	0.000	
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Größe des Momentes um globale Achse

Bild 7.3: Schaltfläche [Tabelleneingabe Lastfalldaten]

Die Tabellen bieten einen guten Überblick über den Datensatz. Zudem lassen sich die Daten in tabellarischer Form schnell bearbeiten oder importieren.



Über Menü **Tabelle** → **Organisation Lastfalldaten** kann man steuern, ob die Lasten in der aktuellen bzw. in allen Tabellen zeilenweise gelistet oder zusammengefasst werden. Die Einstellung lässt sich auch in der Tabellen-Symbolleiste über die links gezeigten Schaltflächen vornehmen.

In allen Dialogen und in jeder Tabelle kann man einen *Kommentar* ergänzen, um die Last näher zu beschreiben. Es lassen sich auch vordefinierte Kommentare verwenden (siehe Kapitel 12.6.3, Seite 458).

7.1 Knotenlasten

Allgemeine Beschreibung



Knotenlasten sind Kräfte und Momente, die an Knoten (siehe Kapitel 5.1, Seite 86) wirken.

Die Voraussetzung für eine Knotenlast ist, dass bereits ein Knoten definiert ist.

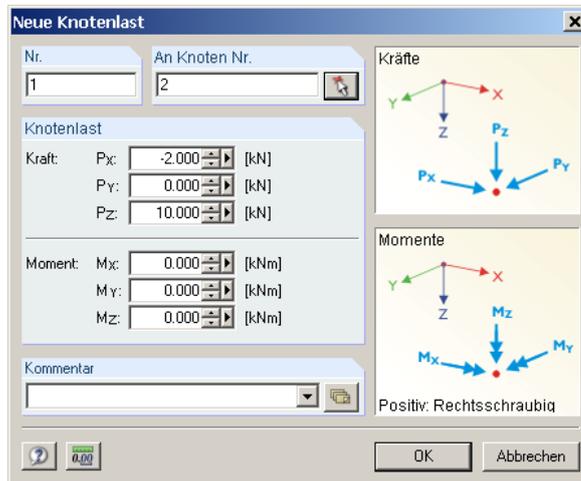


Bild 7.4: Dialog *Neue Knotenlast*

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft [kN]			Moment [kNm]			Kommentar
		P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z	
1	2	-2.000	0.000	10.000	0.000	0.000	0.000	
2	1,4	0.000	0.000	12.500	0.000	0.000	0.000	
3								
4								
5								
6								
7								

Bild 7.5: Tabelle 2.1 *Knotenlasten*

Die Nummer der Knotenlast wird im Dialog *Neue Knotenlast* automatisch vergeben, kann dort aber jederzeit geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

An Knoten Nr.



In diesem Eingabefeld werden die Knoten festgelegt, an denen die Last wirken soll. Die Auswahl kann im Dialog *Neue Knotenlast* auch grafisch über [Pick] erfolgen.



Wenn die grafische Eingabe gewählt wurde, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] kann man die relevanten Knoten nacheinander in der Grafik anklicken.

Kraft P_x / P_y / P_z

Knotenkräfte sind als Vektoren auf das globale Koordinatensystem bezogen. Wirkt eine Kraft nicht parallel zu einer der globalen Achsen, müssen deren X-, Y- und Z-Komponenten ermittelt werden, die man dann in die entsprechenden Eingabefelder eintragen kann.

Falls der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert wurde, sind nicht alle drei Eingabefelder oder Spalten zugänglich.

Moment $M_x / M_y / M_z$

Knotenmomente sind ebenfalls auf das globale XYZ-Koordinatensystem bezogen. Bei einem schief angreifenden Moment muss deshalb auch eine Zerlegung in die X-, Y- und Z-Anteile erfolgen, die man dann in die entsprechenden Eingabefelder eintragen kann.



Ein positives Moment wirkt rechtsschraubig um die entsprechende positive globale Achse. Die RFEM-Grafik verschafft Klarheit über die Eingabe. Anstelle der vektoriellen Anzeige ist auch eine Bogendarstellung möglich, die man aktivieren kann über Menü

Optionen → Anzeigeeigenschaften → Bearbeiten.

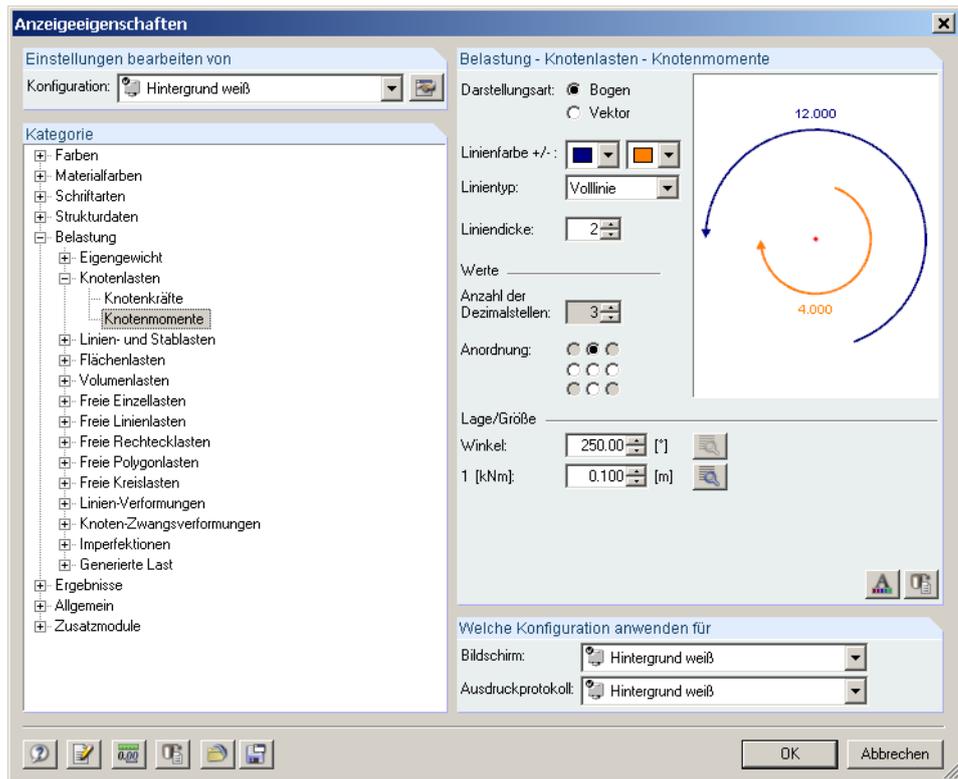


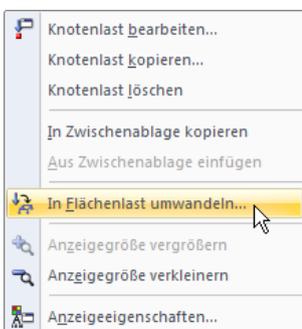
Bild 7.6: Dialog *Anzeigeeigenschaften*: Knotenmomente in Bogendarstellung

Stellen Sie im Dialog links die *Kategorie* Belastung → Knotenlasten → Knotenmomente ein und wählen dann rechts oben die Darstellungsart *Bogen*.

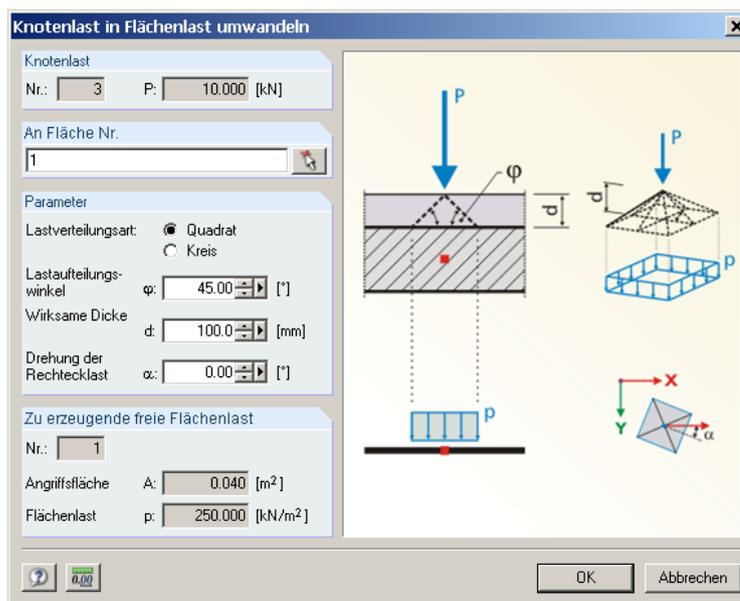


Knotenlasten lassen sich auch aus Excel-Tabellen übernehmen (vgl. Kapitel 13.5.2.5, S. 490).

In der Regel führen Knotenlasten wegen der konzentrierten Lasteinleitung in einem einzelnen FE-Knoten zu Singularitäten. Um diesen Effekt abzumindern, kann im Menü **Extras** die Option **Knoten-/Linienlast in Flächenlast umwandeln** genutzt werden. Der Dialog zum Konvertieren einer Knotenlast (siehe Bild 7.6) lässt sich auch über das links dargestellte Knotenlast-Kontextmenü aufrufen. Dieses wird durch einen Klick mit der rechten Maustaste auf die Last aktiviert.



Knotenlast-Kontextmenü

Bild 7.7: Dialog *Knotenlast in Flächenlast umwandeln*

In diesem Dialog können die Parameter zur Lastaufteilung festgelegt werden. Nach [OK] wird die entsprechende freie Rechteck- bzw. Kreislast erzeugt.

7.2 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.

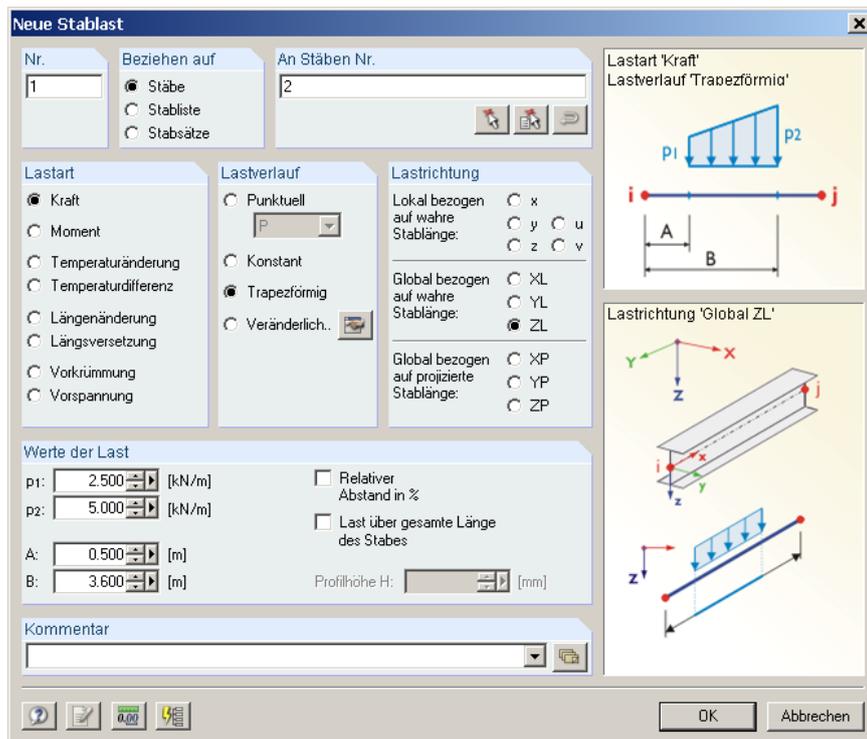


Bild 7.8: Dialog *Neue Stablast*

Nr.	Beziehen auf	An Stabsätzen Nr.	Lastart	Last-Verlauf	Last-Richtung	Stablast-Parameter	Abstand	Über ges. Länge	Profilhöhe	Kommentar
						p [kN/m]	in %	Länge	H	
1	Stäbe	3-8,13,14,61-64	Kraft	Konstant	ZL	0.750				
2	Stäbe	5	Kraft	Konstant	z	1.750				
3	Stablste	44-46	Kraft	Trapezförmig	ZP	2.000	5.000			
4	Stäbe	15-18,23-28	Vorspannung	Konstant	x	2.500				
5	Stabsätze	1	Kraft	Konstant	ZL	1.250				
6										
7										
8	Stäbe	2,18	I-Änderung	Punktuell	ZP	4.200	0.500			
9			T-Differenz							
10			L-Änderung							

Bild 7.9: Tabelle 2.2 *Stablasten*

Die Nummer der Stablast wird im Dialog *Neue Stablast* automatisch vergeben, kann dort aber jederzeit geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

Beziehen auf

In einem Auswahlfeld kann festgelegt werden, auf welche Strukturelemente die Stablast wirken soll. Es stehen die nachfolgend beschriebenen Möglichkeiten zur Auswahl.



Stäbe

Die Last wirkt auf einen Stab oder jeweils auf mehrere Stäbe.

Stabliste

Im Gegensatz zum Lastbezug auf jeden Einzelstab wirkt die Last auf die Gesamtheit der Stäbe, die in der Liste daneben festgelegt werden. Der Unterschied ist bei trapezförmigen Stablasten bedeutsam: Die Lastparameter werden nicht auf jeden einzelnen Stab angesetzt, sondern auf die Stabliste als Ganzes (Gesamtlänge). Die Lastbilder einer trapezförmigen Stablaster auf mehrere Einzelstäbe und auf eine Stablister sind im Bild 7.10 gegenübergestellt.

Durch die Möglichkeit einer Stablister braucht kein neuer Stabzug definiert werden, wenn man Lasten stabübergreifend aufbringen möchte. Zudem lässt sich in Tabelle 2.2 *Stablaster* der Lastbezug schnell auf Einzelstäbe umstellen.

Stabsätze

Die Last wirkt auf einen Stabsatz oder jeweils auf mehrere Stabsätze. Wie bei der oben beschriebenen Stablister werden die Lastparameter auf die Gesamtheit der im Stabsatz enthaltenen Stäbe angesetzt.

Stabsätze untergliedern sich in Stabzüge und Stabgruppen (siehe Kapitel 5.21, Seite 172). Während Stabsatzlasten uneingeschränkt auf Stabzüge aufgebracht werden können, ist bei Stabgruppen Vorsicht geboten: Bei trapezförmigen Lasten wäre der Bezug auf eine Stabgruppe problematisch.

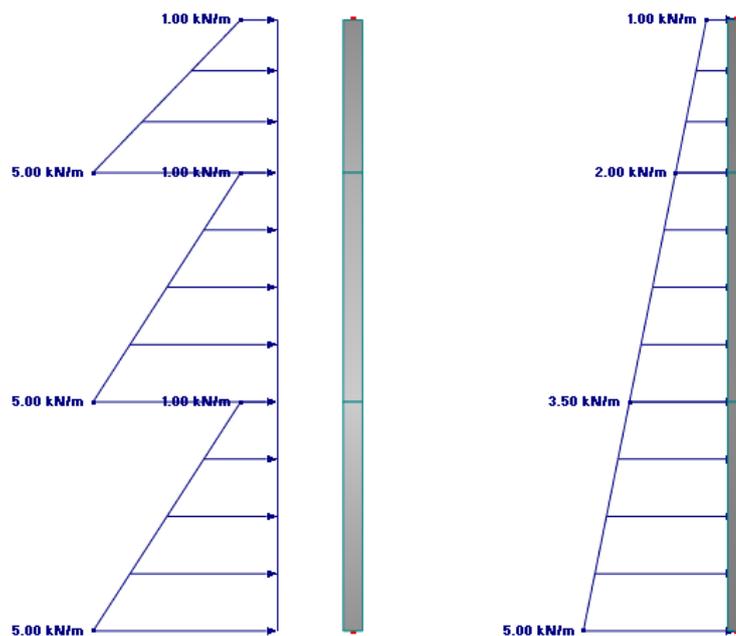


Bild 7.10: Trapezlast mit Bezug auf Stäbe (links) und mit Bezug auf Stablister (rechts)

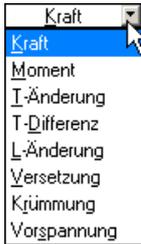
An Stäben Nr.

In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Stäbe bzw. Stabsätze angegeben, an denen die Last wirken soll. Im Dialog *Neue Stablaster* kann die Auswahl grafisch über [Pick] erfolgen.

Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, geben Sie zunächst alle Daten zur Last ein und klicken nach [OK] die relevanten Stäbe oder Stabsätze nacheinander in der Grafik an.

Bei Trapez- oder veränderlichen Lasten mit Lastbezug auf eine Stablister lassen sich die Stabnummern über die Dialog-Schaltfläche [Reihenfolge umkehren] passend anordnen.





Lastart

In diesem Abschnitt wird festgelegt, um welchen Lasttyp es sich handelt. Je nach Auswahl werden bestimmte Bereiche des Dialoges bzw. Spalten der Tabelle deaktiviert. Es stehen folgende Lastarten zur Auswahl:

Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Einzel-, Strecken- oder Trapezlast
Moment	Einzel-, Strecken- oder Trapezmoment
Temperaturänderung	Gleichmäßig über den Stabquerschnitt verteilte Temperaturlast Über die Stablänge kann die Last konstant oder trapezförmig angesetzt werden. Ein positiver Lastwert bedeutet, dass sich der Stab erwärmt.
Temperaturdifferenz	Temperaturunterschied zwischen Staboberseite und Stabunterseite Die Höhe des Stabes wird im Eingabefeld <i>Profilhöhe H</i> festgelegt. Ein positiver Lastwert bedeutet, dass sich die Oberseite erwärmt.
Längenänderung	Zwangsdehnung oder -stauchung ϵ des Stabes Ein positiver Lastwert bedeutet, dass der Stab gedehnt wird. Eine Vorspannung ist somit als Stabverkürzung negativ zu definieren. Das Schwindmaß lässt sich über die links dargestellte Schaltfläche ermitteln. Es wird ein Dialog aufgerufen, in dem die Parameter für Schrumpfen und Trocknungsschwinden definiert werden können (vgl. Bild 7.18 und Beschreibung auf Seite 215).
Längsversetzung	Zwangsdehnung oder -stauchung Δl des Stabes
Vorkrümmung	Zwangskrümmung des Stabes
Vorspannung	Vorspannkraft auf einen Stab Ein positiver Lastwert bedeutet, dass der Stab gedehnt wird.

Tabelle 7.1: Lastarten

Die Grafik im Dialog *Stablast* rechts oben hilft, die gewählte Lastart und auch die Wirkung der Vorzeichen von Kräften und Dehnungen zu veranschaulichen.

Lastverlauf

Der Abschnitt *Lastverlauf* bietet diverse Möglichkeiten, die Wirkung der Lasten abzubilden. Auch hier ist die Grafik der Laststellungen rechts im Dialog *Stablast* nützlich.



Mehrfachlasten

Lastverlauf	Diagramm	Beschreibung
Punktuell P	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Punktuell' 	Einzellast, Einzelmoment Als <i>Werte der Last</i> werden die Größe der Einzellast bzw. des Einzelmoments und der Abstand des Lastangriffspunkts vom Stab-anfang festgelegt.
Punktuell n x P	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'n x P' 	Mehrfach-Einzelasten bzw. -momente Die Liste enthält mehrere Anordnungsmöglichkeiten für Lastpaare oder Mehrfach-Einzelasten wie beispielsweise Achslasten. Die links dargestellte Option ist für gleich große Einzelkräfte geeignet, die in einem konstanten Abstand zueinander wirken. Als <i>Werte der Last</i> werden die Größe der Einzel-last, der Abstand der ersten Last vom Sta-banfang und der Abstand der Lasten unter-einander festgelegt.
Konstant	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Konstant' 	Gleichstreckenlast, Gleichstreckenmoment Im Abschnitt <i>Werte der Last</i> wird die Größe der gleichförmigen Stablast bzw. des gleichförmigen Stabmoments eingetragen.
Trapezförmig	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Trapezförmig' 	Trapezlast, Trapezmoment Für einen linear veränderlichen Lastverlauf werden als <i>Werte der Last</i> die beiden Lastgrößen und die Abstände gemäß nebenstehender Grafik festgelegt. Auch Dreiecks-lasten können erzeugt werden, indem man eine Lastgröße zu Null setzt. Die Abstände können auch relativ zur Stab-länge angegeben werden, sobald das Kon-trollfeld <i>Abstand in %</i> aktiviert ist.
Veränderlich	Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Veränderlich' 	Polygonförmige Streckenlast Es öffnet sich der im Bild 7.11 dargestellte Dialog, in dem die Parameter des Lastver-laufs eingetragen oder importiert werden können.

Tabelle 7.2: Lastverläufe

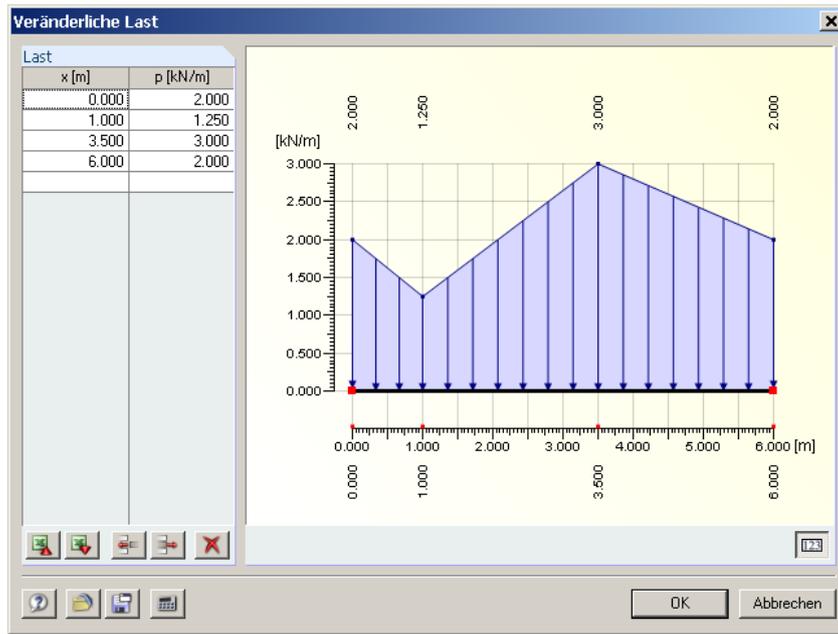


Bild 7.11: Dialog *Veränderliche Last*

Es können die Stellen x am Stab mit den zugeordneten Lastordinaten p frei definiert werden. Dabei ist lediglich auf eine aufsteigende Anordnung der x -Stellen zu achten. Die interaktive Grafik ermöglicht eine unmittelbare Kontrolle aller Eingaben.

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

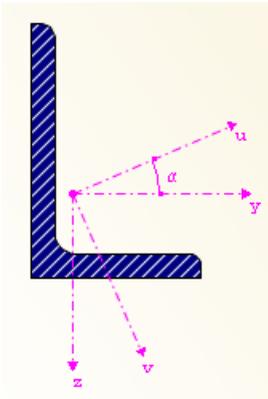
Tabelle 7.3: Schaltflächen im Dialog *Veränderliche Last*

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Stabachsen x, y, z bzw. u, v (vgl. Kapitel 5.13, Seite 145) wirksam sein. Für die Berechnung spielt es keine Rolle, ob eine Last lokal oder gleichwertig global definiert wird.

Falls der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert wurde, sind nicht alle Lastrichtungen zugänglich.

- ZL -
- 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



Lokal

Die Orientierung der Stabachsen ist im Kapitel 5.17, Abschnitt *Stabdrehung* beschrieben. Grundsätzlich stellt die lokale Achse x die Stablängsachse dar. Bei symmetrischen Profilen repräsentiert die Achse y die so genannte „starke“ Achse, die Achse z dementsprechend die „schwache“ Achse des Stabquerschnitts. Bei unsymmetrischen Profilen können die Lasten wahlweise auf die Hauptachsen u und v des Querschnitts oder 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 man sich um die Orientierung der lokalen Stabachsen nicht kümmern.

Beispiele für global definierte Lasten sind Aufbau- oder Schneelasten auf Dachkonstruktionen und Windlasten auf Wand- oder Giebelstützen.

Wenn die Last im globalen Achsensystem definiert ist und nicht rechtwinklig zum Stab verläuft, kann die Wirkung der Last auf unterschiedliche Eintragslängen bezogen werden.

Bezogen auf wahre Stablänge

Der Lasteintrag wird auf die gesamte, wahre Stablänge bezogen. Bei lokal definierten Lasten ist nur diese Option zugänglich.

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 Daches.

Stablast-Parameter

In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell zusätzliche Parameter angegeben. Die Eingabefelder sind je nach den vorher aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Last p_1 / p_2

Hier werden die Lastgrößen eingetragen. Die Vorzeichen orientieren sich an den globalen bzw. lokalen Achsenrichtungen. Bei Vorspannungen, Temperatur- und Längenänderungen bedeutet ein positiver Lastwert, dass der Stab gedehnt wird und eine Längung erfährt.

Bei einer trapezförmigen Last sind mehrere Lastwerte einzutragen. Die Grafik im Dialog *Stablast* rechts oben veranschaulicht die Lastparameter.

Abstand A / B

Bei punktuellen Lasten und Trapezlasten können in diesen Eingabefeldern die Abstände vom Stabanfang festgelegt werden. Die Abstände können auch relativ zur Stablänge angegeben werden, wenn rechts davon das Kontrollfeld *Abstand in %* aktiviert ist.

Auch hier ist die Grafik im Dialog *Stablast* rechts oben hilfreich.

Abstand in %

Ist dieses Kontrollfeld aktiviert, können die Abstände von Einzel- oder Trapezlasten relativ zur Stablänge definiert werden. Anderenfalls stellen die Angaben in oben beschriebenen Eingabefeldern *Abstand* absolute Strecken dar.

Über gesamte Länge

Dieses Kontrollfeld kann nur bei trapezförmigen Lasten aktiviert werden. In diesem Fall wird die linear veränderliche Last von Stabanfang bis Stabende angeordnet. Die Eingabefelder *Stablast-Parameter A / B* werden bedeutungslos und sind deshalb unzugänglich.

Profilhöhe

Die Höhe der Querschnitts ist für die Lastart *Temperaturdifferenz* von Bedeutung. In diesem Eingabefeld wird die wirksame Höhe des Profils festgelegt.

Beispiel zur Eingabe von Stablasten

Ein kleines Beispiel soll die Eingabe von Stablasten an einem Fachwerk verdeutlichen. Wie man sieht, brauchen die Stäbe nicht durch Zwischenknoten geteilt werden, um Einzellasten ansetzen zu können.

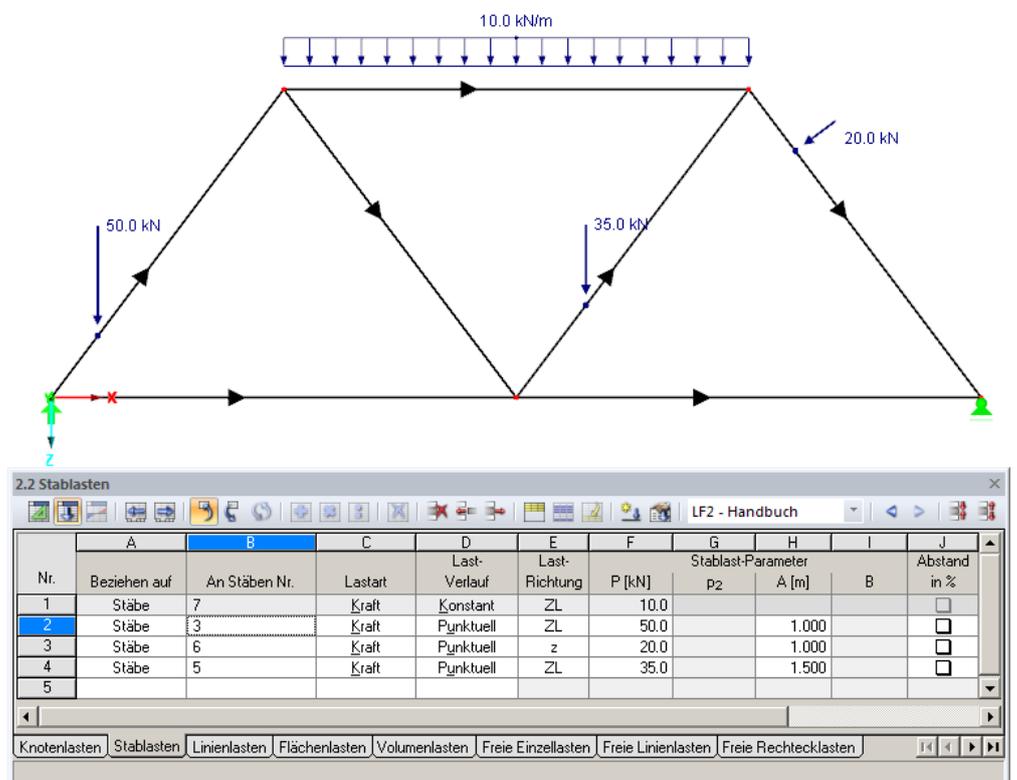


Bild 7.12: Fachwerk mit Streckenlast am Obergurt und Einzellasten an den Diagonalen

7.3 Linienlasten

Allgemeine Beschreibung

Linienlasten sind Kräfte und Momente, die an Linien (siehe Kapitel 5.2, Seite 92) 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 Stabstrukturen können somit nicht mit Linienlasten beaufschlagt werden.

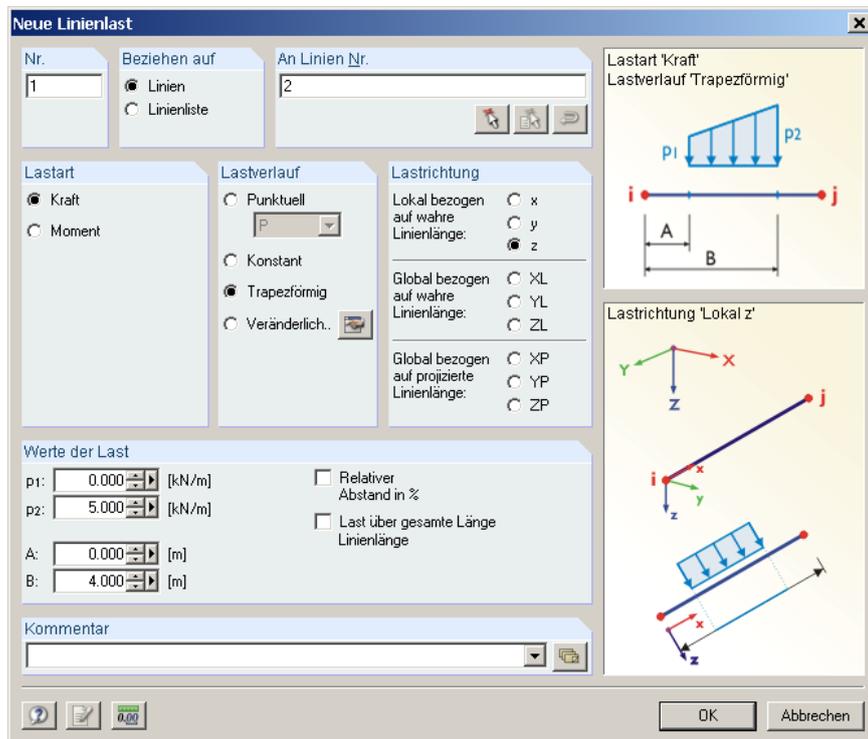


Bild 7.13: Dialog *Neue Linienlast*

Nr.	Beziehen auf	An Linien Nr.	Lastart	Last-Verlauf	Last-Richtung	p [kN/m]	p2	Linienlast-Parameter		Abstand in %	Über ges. Länge	Kommentar
								A	B			
1	Linien	5-8	Kraft	Konstant	ZL	2.000						
2	Linienliste	9,10	Kraft	Trapezförmig	z	1.000	50.000			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Linien	2	Kraft	Punktuell	XL	5.500		1.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Linien	2	Moment	Punktuell	XL	1.350		1.000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Linien	14	Kraft	Konstant	z	1.750				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6				Punktuell								
7				Konstant								

Bild 7.14: Tabelle 2.3 *Linienlasten*

Die Nummer der Linienlast wird im Dialog *Neue Linienlast* automatisch vergeben, kann dort aber jederzeit geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

Beziehen auf

In einem Auswahlfeld kann festgelegt werden, auf welche Strukturelemente die Linienlast wirken soll. Es stehen folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

Linien

Die Last wirkt auf eine Linie oder jeweils auf mehrere Linien.

Linienliste

Die Last wirkt auf alle Linien, die in der Liste rechts davon angegeben werden. Der Unterschied wirkt sich nur bei trapezförmigen Linienlasten aus, da die Lastparameter nicht auf jede einzelne Linie angesetzt werden, sondern auf die Gesamtlänge aller in der Linienliste enthaltenen Linien (vgl. Bild 7.10 auf Seite 204).

An Linien Nr.

In diesem Eingabefeld werden alle Linien aufgelistet, an denen die Last wirken soll. Im Dialog *Neue Linienlast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können Sie die relevanten Linien dann nacheinander in der Grafik anklicken.



Lastart

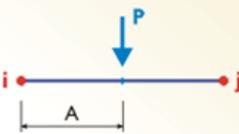
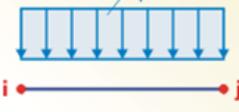
In diesem Abschnitt wird festgelegt, um welchen Einwirkungstyp es sich handelt. Je nach Auswahl werden bestimmte Bereiche des Dialoges bzw. Spalten der Tabelle deaktiviert. Es stehen folgende Lastarten zur Auswahl:

Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Einzel-, Strecken-, Trapezlast oder veränderliche Last
Moment	Einzel-, Strecken- oder Trapezmoment

Tabelle 7.4: Lastarten

Lastverlauf

Es stehen diverse Anordnungsmöglichkeiten der Lasten zur Verfügung. Auch hier ist die Grafik der Laststellungen rechts im Dialog *Linienlast* nützlich.

Lastverlauf	Diagramm	Beschreibung
Punktuell	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Punktuell'</p> 	<p>Einzellast, Einzelmoment</p> <p>Als <i>Werte der Last</i> werden die Größe der Einzellast bzw. des Einzelmoments und der Abstand des Lastangriffspunkts vom Linienanfang festgelegt</p>
Konstant	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Konstant'</p> 	<p>Gleichstreckenlast, Gleichstreckenmoment</p> <p>Im Abschnitt <i>Werte der Last</i> wird die Größe der Linienlast oder des Linienmoments eingetragen.</p>

<p>Trapezförmig</p>	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Trapezförmig'</p>	<p>Trapezlast, Trapezmoment</p> <p>Für einen linear veränderlichen Lastverlauf werden als <i>Werte der Last</i> die beiden Lastgrößen und Abstände gemäß nebenstehender Grafik festgelegt. Auch Dreieckslasten können erzeugt werden, indem man eine Lastgröße zu Null setzt.</p> <p>Die Abstände können auch relativ zur Liniengänge angegeben werden, sobald das Kontrollfeld <i>Relativer Abstand in %</i> aktiviert ist.</p>
<p>Veränderlich</p>	<p>Lastart 'Kraft' Lastverlauf 'Veränderlich'</p>	<p>Polygonförmige Streckenlast</p> <p>Es öffnet sich der im Bild 7.11 auf Seite 207 dargestellte Dialog, in dem die Parameter des Lastverlaufs eingetragen oder importiert werden können.</p>

Tabelle 7.5: Lastverläufe

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Linienachsen x, y, z wirksam sein. Für die Berechnung spielt es keine Rolle, ob eine Last lokal oder gleichwertig global definiert wird.

Lokal

Die Orientierung der Linienachsen ist im Bild 5.70 auf Seite 127 dargestellt. Grundsätzlich stellt die lokale Achse x die Liniengängsachse 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 man sich um die Orientierung der lokalen Linienachsen nicht kümmern.

Wenn die Last im globalen Achsensystem definiert ist und nicht rechtwinklig zur Linie verläuft, kann die Wirkung der Last auf unterschiedliche Eintragungslängen bezogen werden.

Wahre Liniengänge

Der Lasteintrag wird auf die gesamte, wahre Liniengänge bezogen. Bei lokal definierten Lasten ist nur diese Option zugänglich.

Projektion in X / Y / Z

Die Eintragungslänge der Last wird auf die Projektion der Linie in eine der Richtungen des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Im *Linienlast*-Dialog werden die Projektionslängen jeweils in der Grafik rechts veranschaulicht.

Linien-Parameter

In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell zusätzliche Parameter angegeben. Die Eingabefelder sind je nach den vorher aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Last P / p / p₂ / M / m / m₂

Hier werden die Lastgrößen eingetragen. Die Vorzeichen orientieren sich an den globalen bzw. lokalen Achsenrichtungen. Bei einer trapezförmigen Last sind mehrere Lastwerte einzutragen. Im Dialog *Linienlast* sind die Lastparameter rechts oben veranschaulicht.

ZL

- 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

Abstand A / B

Bei punktuellen Lasten und Trapezlasten können in diesen Eingabefeldern die Abstände vom Linienanfang festgelegt werden. Die Abstände lassen sich auch relativ zur Linienlänge definieren, sobald das Kontrollfeld rechts *Relativer Abstand in %* aktiviert ist.

Auch hier ist die Grafik im Dialog *Linienlast* rechts oben hilfreich.

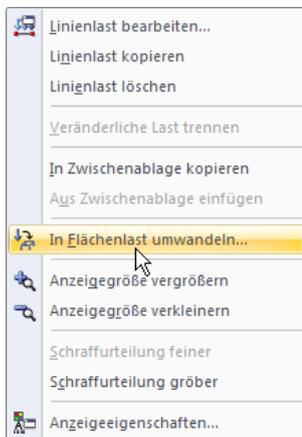
Abstand in %

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 Eingabefeldern *Abstand* absolute Strecken dar.

Über gesamte Länge

Dieses Kontrollfeld kann nur bei trapezförmigen Lasten aktiviert werden. In diesem Fall wird die linear veränderliche Last von Linienanfang bis Linienende angeordnet. Die Eingabefelder *Linienlast-Parameter A / B* werden bedeutungslos und sind deshalb unzugänglich.

Linienlasten führen wegen der konzentrierten Lastenleitung oft Singularitäten nach sich. Um diesen Effekt abzuschwächen, steht im Menü **Extras** die Option **Knoten-/Linienlast in Flächenlast umwandeln** zur Verfügung. Diese Option kann jedoch nur bei geraden Linien verwendet werden. Alternativ kann der Dialog zum Umwandeln der Linienlast über das links dargestellte Linienlast-Kontextmenü aufgerufen werden. Dieses wird mit einem Klick der rechten Maustaste auf die Last aktiviert.



Linienlast-Kontextmenü

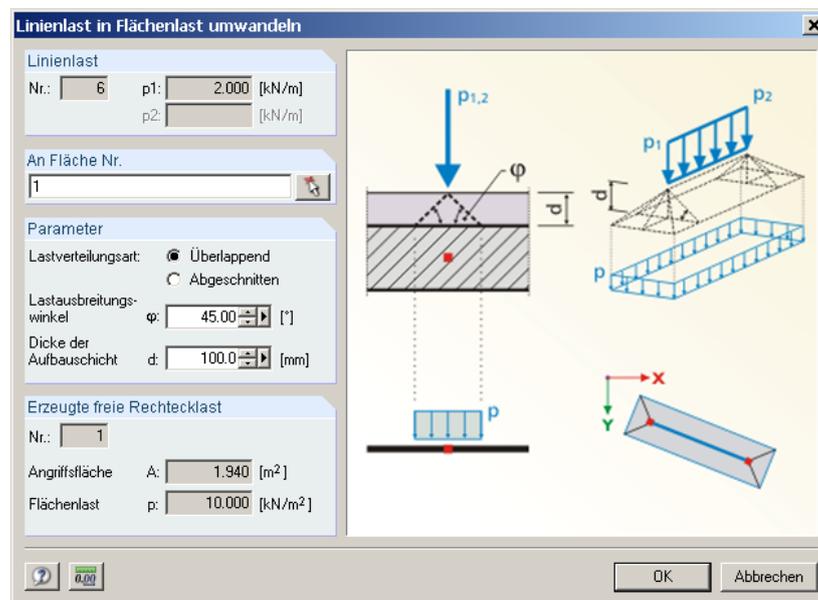


Bild 7.15: Dialog *Linienlast in Flächenlast umwandeln*

In diesem Dialog können die Parameter zur Lastaufteilung festgelegt werden. Nach [OK] wird die entsprechende freie Rechteck- bzw. Polygonlast erzeugt.

7.4 Flächenlasten

Allgemeine Beschreibung

Flächenlasten wirken auf alle 2D-Elemente einer Fläche (vgl. Kapitel 5.4, Seite 108).

Die Voraussetzung für eine Flächenlast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

Eine Fläche kann aufgrund einer Durchdringung in Teilflächen aufgegliedert sein (vgl. Kapitel 5.22, Seite 174). Eine Flächenlast wirkt nicht auf inaktiv gesetzte Teilflächen. In gleicher Weise werden Öffnungen von der Flächenlast ausgespart.

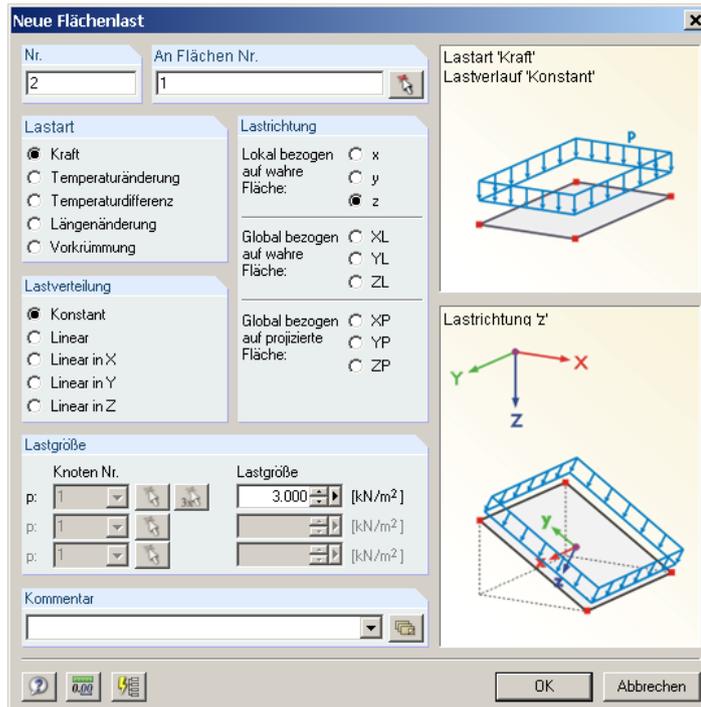


Bild 7.16: Dialog *Neue Flächenlast*

Nr.	An Flächen Nr.	Lastart	Last-Verlauf	Last-Richtung	1. Eckpunkt Nr.	1. Eckpunkt p [kN/m²]	2. Eckpunkt Nr.	2. Eckpunkt p2	3. Eckpunkt Nr.	3. Eckpunkt p3	Kommentar
1	1,2	Kraft	Konstant	ZL	3	2.000					
2	5	Kraft	Linear in Z	z		0.000	16	-64.000			
3	1,2	I-Änderung	Konstant			25.0					
4											
5											
6											
7											

Bild 7.17: Tabelle 2.4 *Flächenlasten*

Die Nummer der Flächenlast wird im Dialog *Neue Flächenlast* automatisch vergeben, kann dort aber jederzeit geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

An Flächen Nr.

In diesem Eingabefeld werden die Nummern der Flächen aufgelistet, auf die die Last wirken soll. Im Dialog *Neue Flächenlast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können Sie die relevanten Flächen dann nacheinander in der Grafik anklicken.





Lastart

In diesem Abschnitt wird festgelegt, um welche Last es sich handelt. Je nach Auswahl sind bestimmte Dialog- bzw. Tabellenfelder zugänglich. Folgende Lastarten stehen zur Auswahl:

Lastart	Kurzbeschreibung
Kraft	Gleichmäßige oder linear veränderliche Kraft auf der Fläche
Temperaturänderung	Gleichmäßig oder linear veränderlich über dem Flächenquerschnitt verteilte Temperaturzu- oder -abnahme: Ein positiver Lastwert bedeutet, dass sich die Fläche erwärmt.
Temperaturdifferenz	Temperaturunterschied zwischen Ober- und Unterseite der Fläche: Ein positiver Lastwert bedeutet, dass sich die Oberseite erwärmt.
Längenänderung	Zwangsdehnung oder -stauchung 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 7.18 gezeigte Dialog zur Eingabe der Parameter für Schrumpfen und Trocknungsschwinden aufgerufen.
Vorkrümmung	Zwangskrümmung der Fläche

Tabelle 7.6: Lastarten

Die Parameter für Flächen- und Stablasten infolge Schwindens können in einem separaten Dialog festgelegt werden. Hieraus wird das Schwindmaß bestimmt, das dann mit [OK] als Längenänderung ϵ in den Ausgangsdialog übernommen wird.

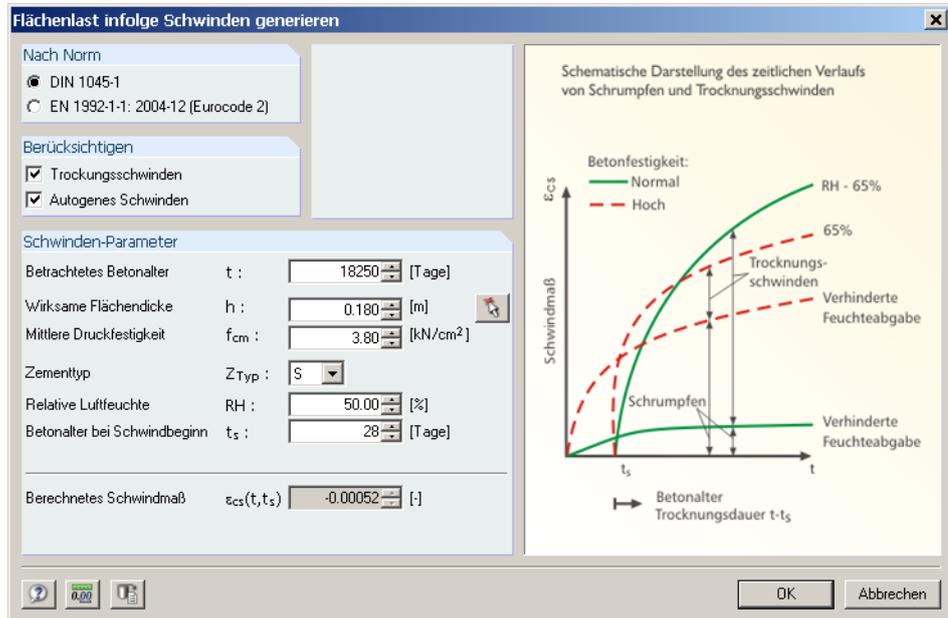


Bild 7.18: Dialog Flächenlast infolge Schwinden generieren

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 $\epsilon_{cs}(t, t_s)$ zum betrachteten Zeitpunkt t ermittelt.

Lastverteilung

Die Last kann *konstant* oder *linear* veränderlich auf der Fläche verteilt sein. Im Falle von linear veränderlichen Lasten stehen zwei Möglichkeiten zur Auswahl:

Linear

Die Lastgrößen müssen in drei Knoten definiert werden. Durch diese drei Knoten wird eine Ebene gelegt.

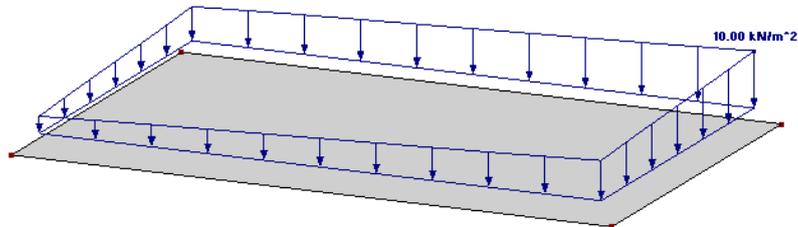


Bild 7.19: Linear veränderliche Flächenlast

Linear in X / Y / Z

Die Flächenlast kann veränderlich in Richtung einer Achse des globalen Koordinatensystems definiert werden. In diesem Fall sind die Lastgrößen nur in zwei Knoten anzugeben. Diese Knoten dürfen auch außerhalb der belasteten Fläche liegen, sofern dort FE-Knoten erzeugt werden (d. h. es darf sich nicht um freie Knoten handeln).

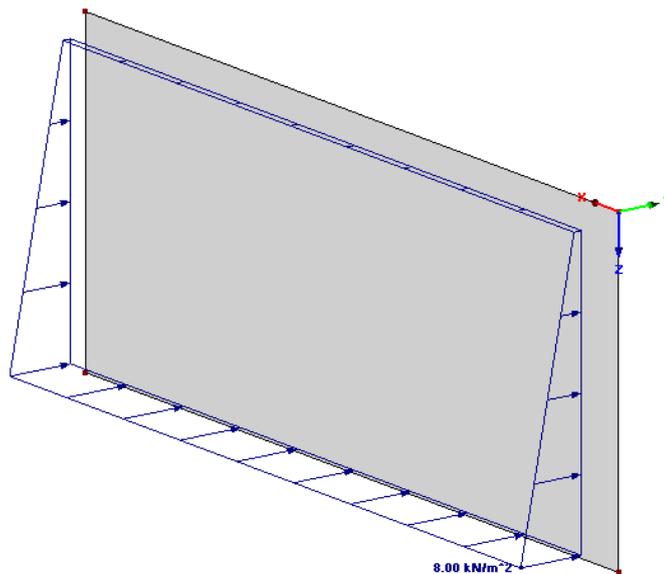


Bild 7.20: Linear in Z-Richtung veränderliche Flächenlast

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der lokalen Flächenachsen x, y, z oder der globalen Achsen X, Y, Z wirksam sein.

Lokal bezogen auf wahre Fläche

Rechtwinklig zur Fläche wirkende Lasten werden in der Regel lokal in Richtung z definiert. Praktische Anwendungsfälle sind beispielsweise Windlasten auf Dachflächen oder Innendruck auf Behälterschalen.

Die Anzeige der Flächenachsen kann über den *Zeigen*-Navigator aktiviert werden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x,y,z** anhakt. Alternativ benutzt man das Flächen-Kontextmenü (siehe Bild 5.84, Seite 140).

ZL	
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

Global bezogen auf wahre Fläche

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, braucht man sich um die Orientierung der lokalen Flächenachsen nicht kümmern. Die Last kann auf die wahre Fläche bezogen werden, wie es beispielsweise in der Einwirkung „Eigengewicht“ angebracht ist.

Global bezogen auf projizierte Fläche

Die Last wird auf die Projektion der Fläche in eine Richtung des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Ein praktischer Anwendungsfall hierfür ist beispielsweise die Schneelast. Im *Flächenlast*-Dialog werden die Projektionsflächen rechts in der Grafik veranschaulicht.

Lastparameter

In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell die zugeordneten Knoten angegeben. Die Eingabefelder sind je nach den vorher aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Last p / p_2 / p_3 / T / ΔT / ε / R

Hier werden die Lastgrößen eingetragen. Die Vorzeichen orientieren sich an den globalen bzw. lokalen Achsenrichtungen.

Bei einer linear veränderlichen Last sind mehrere Lastwerte einzutragen. Im Dialog *Flächenlast* sind die Lastparameter rechts oben veranschaulicht.

Knoten Nr.

Bei linear veränderlichen Lasten sind die Knoten anzugeben, denen die Lastgrößen zugeordnet sind. Durch diese Knoten wird eine Ebene gelegt.

7.5 Volumenlasten

Allgemeine Beschreibung

Volumenlasten wirken auf alle 3D-Elemente eines Volumens (siehe Kapitel 5.5, Seite 118).

Die Voraussetzung für eine Volumenlast ist, dass bereits ein Volumen definiert ist.

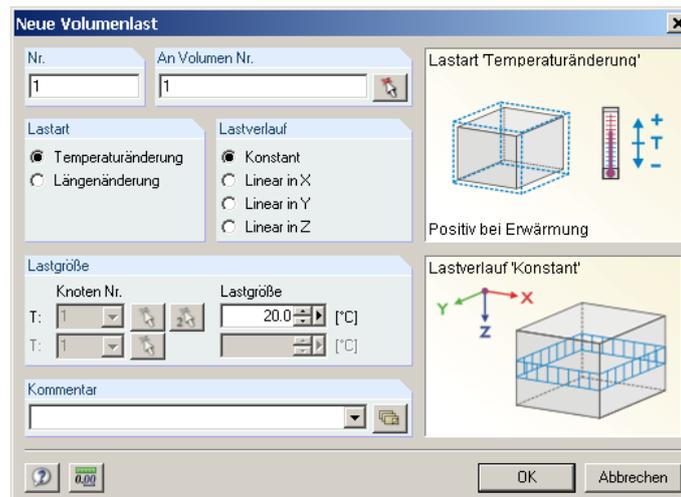


Bild 7.21: Dialog *Neue Volumenlast*

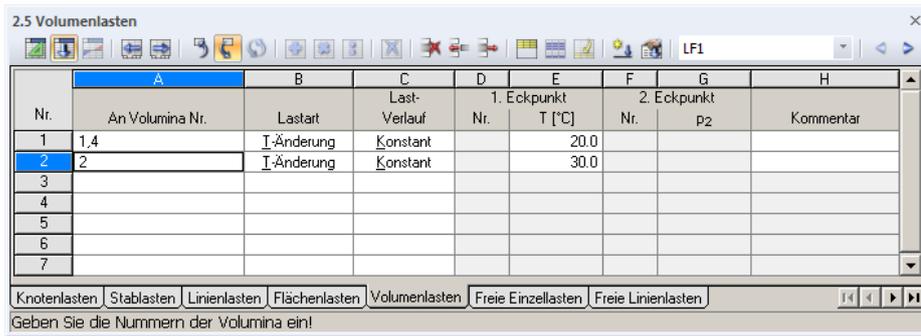


Bild 7.22: Tabelle 2.5 Volumenlasten

Die Nummer der Volumenlast wird im Dialog *Neue Volumenlast* automatisch vergeben, kann dort aber jederzeit geändert werden.

An Volumina Nr.



In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Volumina angegeben, an denen die Last wirken soll. Im Dialog *Neue Volumenlast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.



Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, sind zunächst die Lastdaten einzugeben. Nach [OK] können Sie die relevanten Volumina dann nacheinander in der Grafik anklicken.

Lastart

In diesem Abschnitt wird festgelegt, um welchen Einwirkungstyp es sich handelt. Es stehen die folgenden beiden Lastarten zur Auswahl:

Lastart	Kurzbeschreibung
Temperaturänderung	Gleichmäßige oder linear veränderliche Temperaturänderung im Volumen. Ein positiver Lastwert bedeutet eine Erwärmung.
Längenänderung	Gleichmäßige verteilte oder linear veränderliche Zwangsdehnung oder -stauchung des Volumens. Ein positiver Lastwert bedeutet, dass das Volumen gedehnt wird.

Tabelle 7.7: Lastarten

Lastverlauf

Die Last kann *konstant* oder *linear* veränderlich im Volumen verteilt sein.

Linear veränderliche Lasten sind auf die globalen Achsen X, Y oder Z bezogen. Dabei sind zwei Knoten anzugeben, denen Lastwerte zugeordnet werden. Diese Knoten dürfen auch außerhalb des belasteten Volumens liegen, jedoch müssen dort FE-Knoten erzeugt werden.

Lastgröße

In diesem Abschnitt bzw. diesen Spalten werden die Lastgrößen und eventuell die zugeordneten Knoten angegeben. Die Eingabefelder sind je nach den vorher aktivierten Auswahlfeldern zugänglich und entsprechend beschriftet.

Knoten Nr.

Bei linear veränderlichen Lasten sind die Knoten anzugeben, denen die Lastgrößen zugeordnet sind. Durch diese Knoten wird eine Ebene gelegt.

Lastgröße

Bei einem konstanten Lastverlauf ist nur ein Zahlenwert als Eingabe erforderlich, bei einer linear veränderlichen Last sind zwei Lastwerte für die Temperatur- oder Längenänderung im Volumen einzutragen.

Die Grafiken im Dialog *Flächenlast* sind hilfreich zur Veranschaulichung der Lastparameter.

7.6 Freie Einzellasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Einzellast wirkt als Kraft oder Moment an einer beliebigen Stelle einer Fläche. Am Lastangriffspunkt 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 einer anderen Position importiert wurden (vgl. Bild 9.9, Seite 267), werden als freie Einzellasten abgelegt.

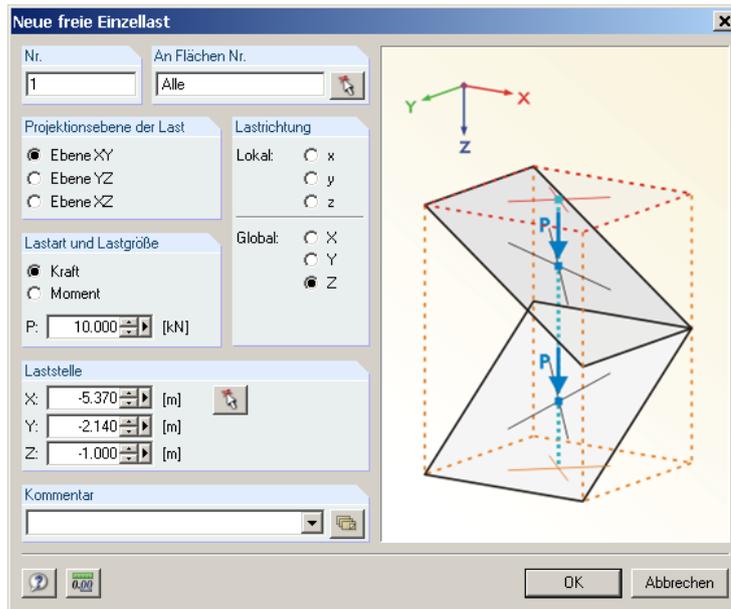


Bild 7.23: Dialog *Neue freie Einzellast*

2.6 Freie Einzellasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Last- Art	Last- Richtung	Position der Last		Lastgröße P [kN]	Kommentar
					X [m]	Y [m]		
1	Alle	XY	Kraft	Z	-5.370	-2.140	10.000	
2	2	XY	Kraft	z	3.250	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 | Volumenlasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten

Richtung der freien Einzellast (F7 zum Wählen).

Bild 7.24: Tabelle 2.6 *Freie Einzellasten*

An Flächen Nr.



In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Flächen angegeben, auf die die Last wirken soll. Im Dialog *Neue freie Einzellast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Ausgehend von dem Punkt, der im Abschnitt *Laststelle* bestimmt wird, wird senkrecht zur Lastprojektionsebene eine Gerade „konstruiert“. Schneidet diese Gerade eine Fläche, die in dieser Liste enthalten ist, wird die Einzellast am Schnittpunkt angesetzt. Auf diese Weise können gleichartige Lasten sehr einfach auf vielen Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene der Last

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie beschrieben wird von der Laststelle aus eine Gerade senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Last wird dann überall dort angesetzt, wo diese imaginäre Gerade eine Fläche schneidet.

Die Lastprojektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche stehen, auf die die Last wirken soll. In solchen Fällen kann kein eindeutiger Schnittpunkt mit der Fläche gefunden werden.

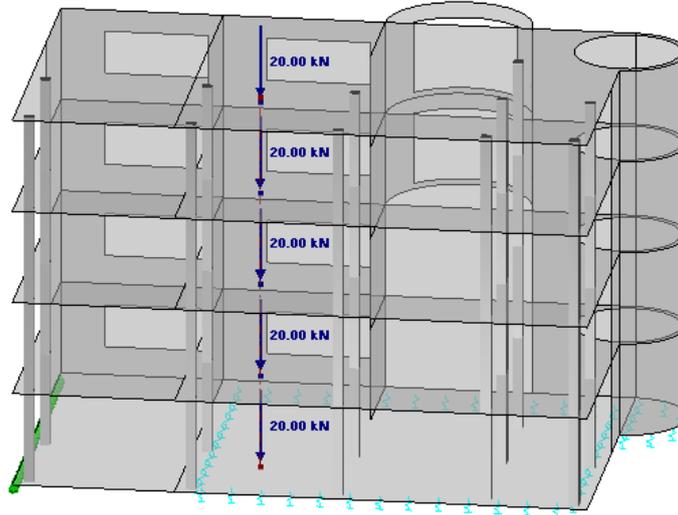


Bild 7.25: Freie Einzellast auf Bodenplatte: Lastprojektionsebene XY mit Wirkung auf allen Deckenflächen

Lastart

Hier ist anzugeben, ob es sich um eine Einzelkraft oder um ein Einzelmoment handelt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb wird der Zahlenwert der Belastung definiert.

Lastrichtung

Die Last kann in Richtung der globalen Achsen X, Y, Z oder der lokalen Flächenachsen x, y, z wirksam sein. Die Anzeige der Flächenachsen kann im *Zeigen*-Navigator aktiviert werden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x,y,z** anhakt. Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt (siehe Bild 5.84, Seite 140).

Position der Last



Die Laststelle kann durch die Eingabe der genauen Koordinaten oder im Dialog *Neue freie Einzellast* auch grafisch über [Pick] bestimmt werden. Ausgehend von diesem Punkt wird senkrecht zur Lastprojektionsebene eine Gerade „konstruiert“. Schneidet diese Gerade eine Fläche der Liste, wird die Einzellast am Schnittpunkt angesetzt.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld wird der Zahlenwert der Einzelkraft oder des Einzelmoments eingetragen.

7.7 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 einer anderen Position importiert wurden (vgl. Bild 9.9, Seite 267), werden als freie Linienlasten abgelegt.

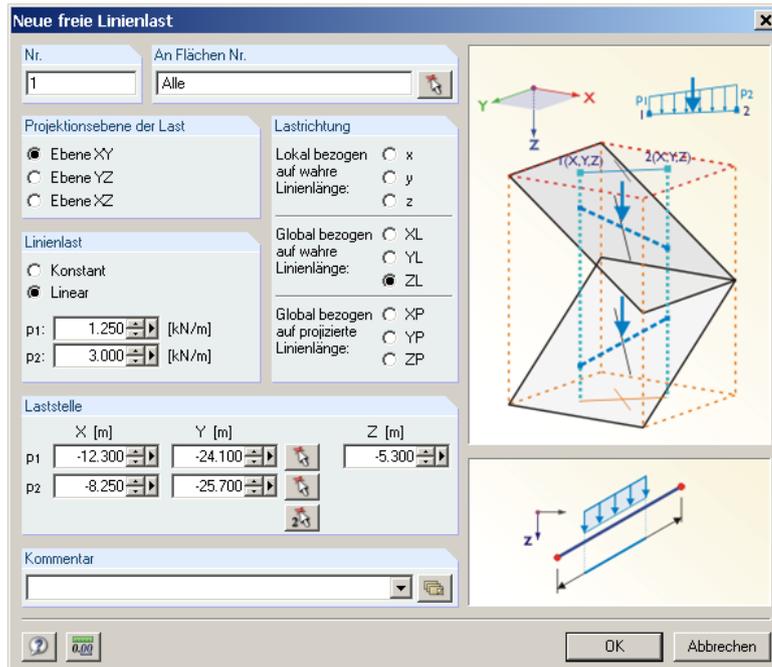


Bild 7.26: Dialog *Neue freie Linienlast*

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Last-Verlauf	Last-Richtung	Position der Last	Lastgröße [kN/m]	Kommentar
					X ₁ [m] Y ₁ [m] X ₂ [m] Y ₂ [m]	p ₁ p ₂	
1	Alle	XY	Linear	ZL	-12.300 -24.100 -8.250 -25.700	1.250 3.000	
2	3	XY	Konstant	z	4.260 2.940 3.780 4.150	4.000	
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Bild 7.27: Tabelle 2.7 *Freie Linienlasten*

An Flächen Nr.



In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Flächen angegeben, auf die die Last wirken soll. Im Dialog *Neue freie Linienlast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Ausgehend von den beiden Punkten, die im Abschnitt *Laststelle* bestimmt werden, werden senkrecht zur Lastprojektionsebene zwei Geraden „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche, die in dieser Liste enthalten ist, so wird die Last an der Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte angesetzt. Auf diese Weise lassen sich gleichartige Lasten schnell auf vielen Flächen anordnen.

Projektionsebene der Last

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie 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 Lastprojektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche stehen, auf die die Last wirken soll. Es können keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche gefunden werden.

Lastverlauf

Hier ist anzugeben, ob es sich um eine konstante oder linear veränderliche Kraft handelt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb sind dann ein oder zwei Zahlenwerte einzutragen.

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 werden meist als lokal in Richtung z definiert. Die Anzeige der Flächenachsen kann über den *Zeigen*-Navigator aktiviert werden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x,y,z** anhakt. Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt (siehe Bild 5.84, Seite 140).

Bei einer global wirkenden freien Linienlast, die nicht rechtwinklig zur Linie verläuft, kann die Wirkung der Last auf unterschiedliche Eintragslängen bezogen werden.

Wahre Linienlänge

Der Lasteintrag wird auf die gesamte, wahre Linienlänge bezogen.

Projizierte Länge in X / Y / Z

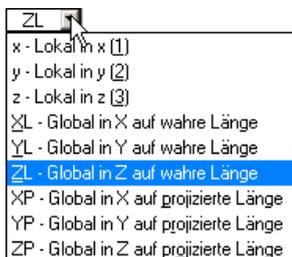
Die Eintragslänge der Last wird auf die Projektion der Linie in eine der Richtungen des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Im Dialog *Freie Linienlast* werden die Projektionslängen in der Grafik rechts unten veranschaulicht.

Position der Last

Die Laststelle kann durch die Eingabe der genauen Koordinaten oder im Dialog *Neue freie Linienlast* auch grafisch über [Pick] bestimmt werden. Ausgehend von den beiden Punkten werden senkrecht zur Lastprojektionsebene zwei Geraden „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche, so wird die Last an der Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte angesetzt.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld wird der Zahlenwert der Linienlast eingetragen.



7.8 Freie Rechtecklasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Rechtecklast wirkt als konstante oder linear veränderliche Flächenlast auf einem rechteckigen, frei definierbaren Teilbereich einer Fläche.

Die Voraussetzung für eine freie Rechtecklast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

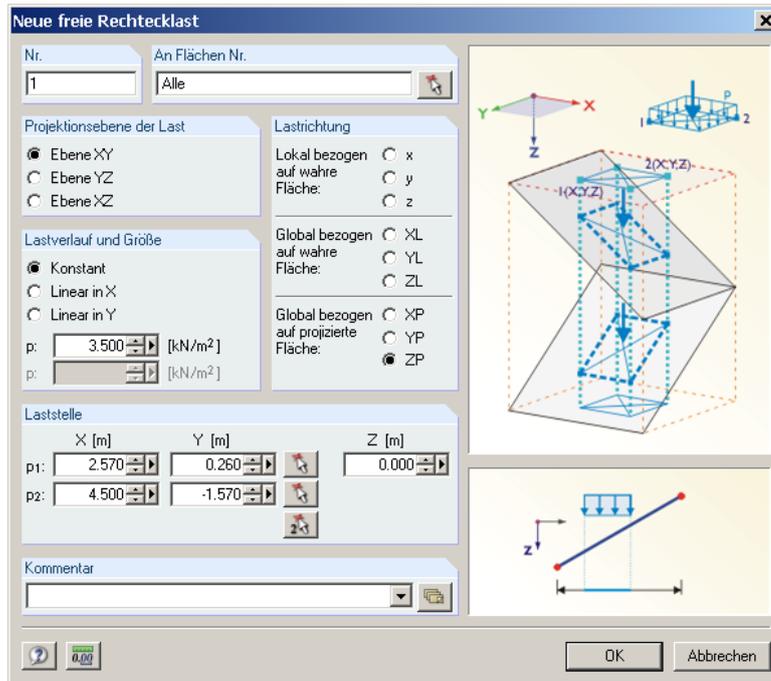


Bild 7.28: Dialog *Neue freie Rechtecklast*

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Last-Verlauf	Last-Richtung	Position der Last				Lastgröße [kN/m ²]		Kommentar
					X ₁ [m]	Y ₁ [m]	X ₂ [m]	Y ₂ [m]	p ₁	p ₂	
1	Alle	XY	Konstant	ZP	2.570	0.260	4.500	-1.570	3.500		
2	2	XY	Linear in X	z	-5.260	2.600	-10.860	5.370	2.250	5.500	
3											
4											
5											
6											
7											

Bild 7.29: Tabelle 2.8 *Freie Rechtecklasten*

An Flächen Nr.



In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Flächen angegeben, auf die die Last wirken soll. Im Dialog *Neue freie Rechtecklast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Ausgehend von den beiden Punkten, die im Abschnitt *Laststelle* festgelegt werden, werden senkrecht zur Lastprojektionsebene zwei Geraden „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche, die in dieser Liste enthalten ist, so wird die Last über die Verbindungsdiagonale der beiden Schnittpunkte angesetzt. Auf diese Weise können gleichartige Lasten schnell auf vielen Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene der Last

Die Last kann auf eine der globalen Ebenen XY, YZ oder XZ projiziert werden. Wie beschrieben werden von den beiden Lastpositionen zwei Geraden senkrecht zur Projektionsebene erstellt. Die Anfangs- und Endpunkte der Rechteck-Diagonalen werden dann überall dort angenommen, wo diese imaginären Geraden eine Fläche schneiden.

Die Lastprojektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche stehen, auf die die Last wirken soll. Es können keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche gefunden werden.

Lastverlauf

Hier ist anzugeben, ob es sich um eine konstante oder linear veränderliche Last handelt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb sind dann ein oder zwei Zahlenwerte einzutragen.

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 Richtung z definiert. Die Flächenachsen können über den *Zeigen*-Navigator eingeblendet werden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x,y,z** anhakt. Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt (siehe Bild 5.84, Seite 140).

Global bezogen auf wahre Fläche

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, braucht man sich um die Orientierung der lokalen Flächenachsen nicht kümmern. Die Last kann auf die wahre Fläche bezogen werden, wie es beispielsweise in der Einwirkung „Eigengewicht“ angebracht ist.

Global bezogen auf projizierte Fläche

Die Last wird auf die Projektion der Fläche in eine Richtung des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Ein praktischer Anwendungsfall hierfür ist beispielsweise die Schneelast. Im *Rechtecklast*-Dialog werden die Projektionsflächen rechts in der Grafik veranschaulicht.

Position der Last

Die Laststelle kann durch die Eingabe der genauen Koordinaten oder im Dialog *Neue freie Rechtecklast* auch grafisch über [Pick] bestimmt werden. Ausgehend von den beiden Punkten werden senkrecht zur Lastprojektionsebene zwei Geraden „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche, so wird die Rechtecklast über die Verbindungsdiagonale der beiden Schnittpunkte angesetzt.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld wird der Zahlenwert der Flächenlast eingetragen.



7.9 Freie Kreislasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Kreislast wirkt als konstante oder linear veränderliche Flächenlast auf einem kreisförmigen, frei definierbaren Teilbereich einer Fläche.

Die Voraussetzung für eine freie Kreislast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

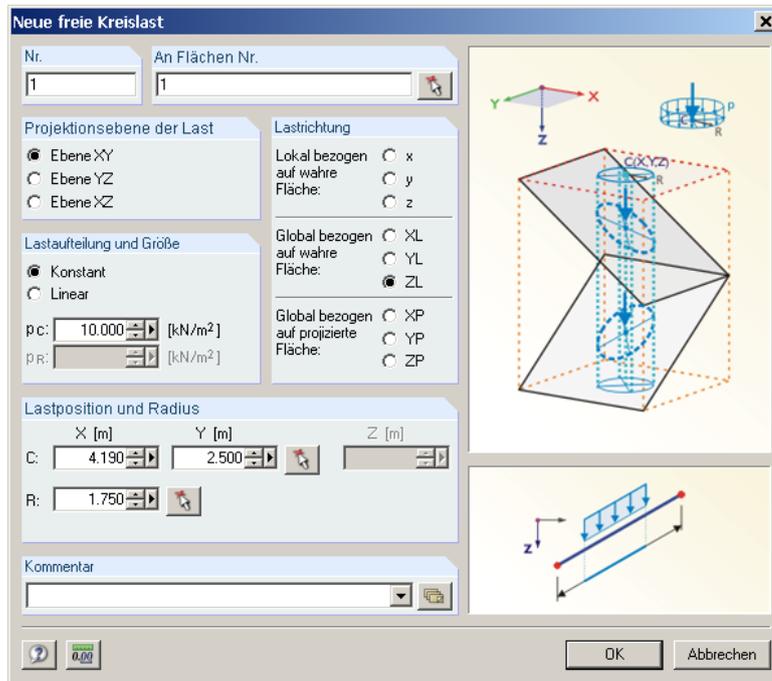


Bild 7.30: Dialog *Neue freie Kreislast*

2.9 Freie Kreislasten

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Last-Verlauf	Last-Richtung	Position der Last		Radius R [m]	Lastgröße [kN/m ²]		Kommentar
					X ₁ [m]	Y ₁ [m]		p _C	p _R	
1	1	XY	Konstant	ZL	4.190	2.500	1.750	10.000		
2	2-4	XY	Linear	ZL	2.500	1.250	1.500	5.000	2.000	
3										
4										
5										
6										
7										

Flächenlasten | Volumenlasten | Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten

Geben Sie die Flächennummer ein!

Bild 7.31: Tabelle 2.9 *Freie Kreislasten*

An Flächen Nr.



In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Flächen angegeben, auf die die Last wirken soll. Im Dialog *Neue freie Kreislast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Ausgehend von dem Punkt, der im folgenden Abschnitt *Position der Last* festgelegt wird, wird senkrecht zur Lastprojektionsebene eine Gerade „konstruiert“. Schneidet diese Gerade eine Fläche, die in dieser Liste enthalten ist, so kann mit dem Schnittpunkt als Zentrum und dem Radius die kreisförmige Last angesetzt werden. Auf diese Weise können gleichartige Lasten schnell auf vielen Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene der Last

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. Der Kreislastmittelpunkt wird dann überall dort angenommen, wo diese imaginäre Gerade eine Fläche schneidet.

Die Lastprojektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche stehen, auf die die Last wirken soll. Es können keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche gefunden werden.

Lastverlauf

Hier ist anzugeben, ob es sich um eine konstante oder linear veränderliche Kraft handelt. Im Dialog-Eingabefeld unterhalb sind dann ein oder zwei Zahlenwerte einzutragen.

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 Richtung z definiert. Die Flächenachsen können über den *Zeigen*-Navigator eingblendet werden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x,y,z** anhakt. Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt (siehe Bild 5.84, Seite 140).

Global bezogen auf wahre Fläche

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, braucht man sich um die Orientierung der lokalen Flächenachsen nicht kümmern. Die Last kann auf die wahre Fläche bezogen werden (z. B. Einwirkung „Eigengewicht“).

Global bezogen auf projizierte Fläche

Die Last wird auf die Projektion der Fläche in eine Richtung des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Im Dialog *Neue Kreislast* werden die Projektionsflächen rechts in der Grafik veranschaulicht.

Position der Last

Das Zentrum der kreisförmigen Last wird durch die Eingabe der genauen Koordinaten oder im Dialog *Neue freie Kreislast* auch grafisch über [Pick] bestimmt. Ausgehend von diesem Punkt wird senkrecht zur Lastprojektionsebene eine Gerade „konstruiert“. Schneidet diese Gerade eine Fläche, wird dort der Mittelpunkt der Kreislast angesetzt.

Radius

Hier wird der Radius der kreisförmigen Flächenlast eingetragen. Im Dialog *Freie Kreislast* kann dieser auch grafisch über [Pick] bestimmt werden.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld wird der Zahlenwert der Flächenlast eingetragen.



7.10 Freie Polygonlasten

Allgemeine Beschreibung



Eine freie Polygonlast wirkt als konstante oder linear veränderliche Flächenlast auf einem polygonförmig begrenzten, frei definierbaren Teilbereich einer Fläche.

Die Voraussetzung für eine freie Polygonlast ist, dass bereits eine Fläche definiert ist.

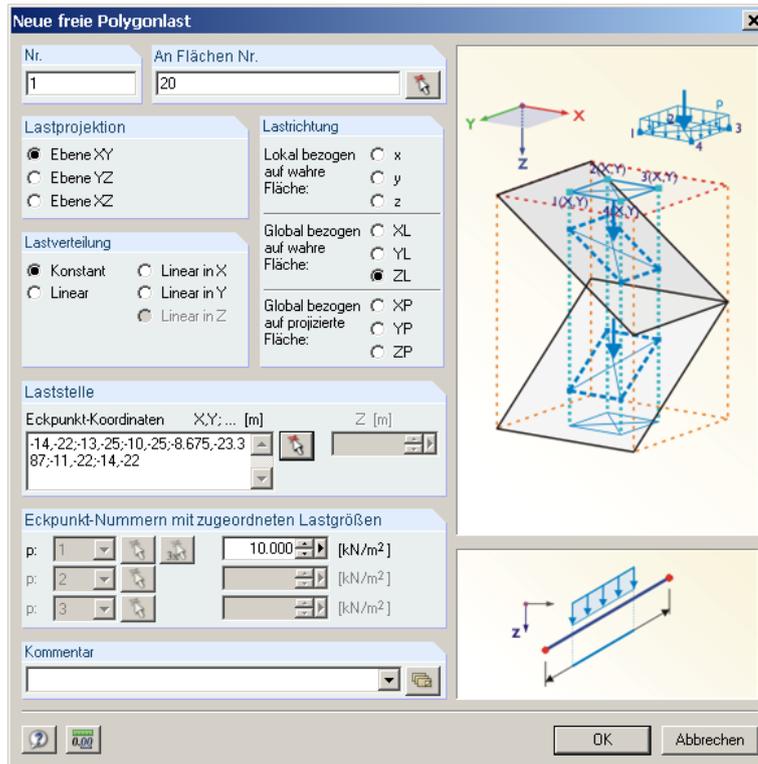


Bild 7.32: Dialog *Neue freie Polygonlast*

2.10 Freie Polygonlasten

LF2 - Verkehrslast

Nr.	An Flächen Nr.	Projektion	Last-Verlauf	Last-Richtung	Polygoneckpunkt-Koordinaten [m]	1. Eckpunkt Nr.	2. Eckpunkt Nr.	3. Eckpunkt Nr.	Kommentar
1	20	XY	Konstant	ZL	-14,-22;-13,-25;-10,-25;-8,67466;		10.000		
2									
3									
4									
5									
6									
7									

Freie Einzellasten | Freie Linienlasten | Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Knoten-Zwangsverformungen

Geben Sie die Flächennummer ein!

Bild 7.33: Tabelle 2.10 *Freie Polygonlasten*

An Flächen Nr.



In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Flächen angegeben, auf die die Last wirken soll. Im Dialog *Neue freie Polygonlast* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Ausgehend von den Eckpunkten, die im Abschnitt *Lastposition* festgelegt werden, werden senkrecht zur Lastprojektionsebene Geraden „konstruiert“. Schneiden diese Geraden eine Fläche, die in dieser Liste enthalten ist, dann bildet die Verbindung der Schnittpunkte die Begrenzung für die anzusetzende Flächenlast. Damit können gleichartige Lasten schnell auf vielen Flächen angeordnet werden.

Projektionsebene der Last

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 Lastprojektionsebene darf nicht senkrecht zu einer Fläche stehen, auf die die Last wirken soll, denn es können keine eindeutigen Schnittpunkte mit der Fläche gefunden werden.

Lastverlauf

Hier wird festgelegt, ob es sich um eine konstante oder linear veränderliche Flächenlast handelt. Im Dialogabschnitt *Eckpunkt-Nummern mit zugeordneten Lastgrößen* sind dann ein (*Konstant*), zwei (*Linear in X / Y / Z*) oder drei (*Linear*) Zahlenwerte einzutragen.

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 Richtung z definiert. Die Flächenachsen können über den *Zeigen*-Navigator eingeblendet werden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Flächen** → **Flächenachsensysteme x,y,z** anhakt. Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt (siehe Bild 5.84, Seite 140).

Global bezogen auf wahre Fläche

Wirkt die Last in Richtung einer Achse des globalen XYZ-Koordinatensystems, braucht man sich um die Orientierung der lokalen Flächenachsen nicht kümmern. Die Last kann auf die wahre Fläche bezogen werden (z. B. Einwirkung „Eigengewicht“).

Global bezogen auf projizierte Fläche

Die Last wird auf die Projektion der Fläche in eine Richtung des globalen Koordinatensystems umgerechnet. Ein praktischer Anwendungsfall hierfür ist beispielsweise die Schneelast. Im *Polygonlast*-Dialog werden die Projektionsflächen rechts in der Grafik veranschaulicht.

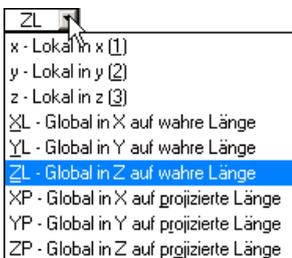
Polygoneckpunkt-Koordinaten

Die Laststelle wird durch die Eingabe der genauen Koordinaten oder im Dialog *Neue freie Polygonlast* auch grafisch über [Pick] bestimmt. Die Koordinaten der Polygon-Eckpunkte werden durch Kommata getrennt eingegeben, die Koordinatenpaare sind untereinander jeweils durch ein Semikolon getrennt.

Beispiel: Eckpunkt-Koordinaten X,Y [m] 2,3;1.6,4.7;5,45;6,25;3,2

Die dritte Koordinatenkomponente wird durch die Ebene der Lastprojektion automatisch festgelegt. Im obigen Beispiel ist dies die Z-Koordinate, die im *Polygonlast*-Dialog in einem separaten Eingabefeld manuell festgelegt werden kann. Bei der grafischen Auswahl spielt diese Komponente keine Rolle, da die aktuelle Arbeitsebene relevant ist.

Ausgehend von diesen Punkten werden senkrecht zur Lastprojektionsebene Geraden „konstruiert“. Die Eckpunkte der Polygonlast werden dann an allen Schnittpunkten der Geraden mit einer Fläche angenommen.





Eckpunkt Nr.

Wenn es sich um eine linear veränderliche Flächenlast handelt, sind zwei (*Linear in X / Y / Z*) bzw. drei (*Linear*) Eckpunkte anzugeben, denen bestimmte Lastwerte zugeordnet werden. Hier können nur diejenigen Eckpunkte angegeben bzw. grafisch ausgewählt werden, die im Abschnitt *Lastposition* zur Definition der Begrenzungslinien verwendet wurden, keine RFEM-Knoten. Die Nummern der Eckpunkte sind somit auf die Reihenfolge der *Polygoneckpunkt-Koordinaten* bezogen.

Lastgröße

In dieser Spalte bzw. diesem Eingabefeld wird der Zahlenwert der Flächenlast eingetragen. Bei einem linear veränderlichen Verlauf müssen zwei bzw. drei Werte angegeben werden.

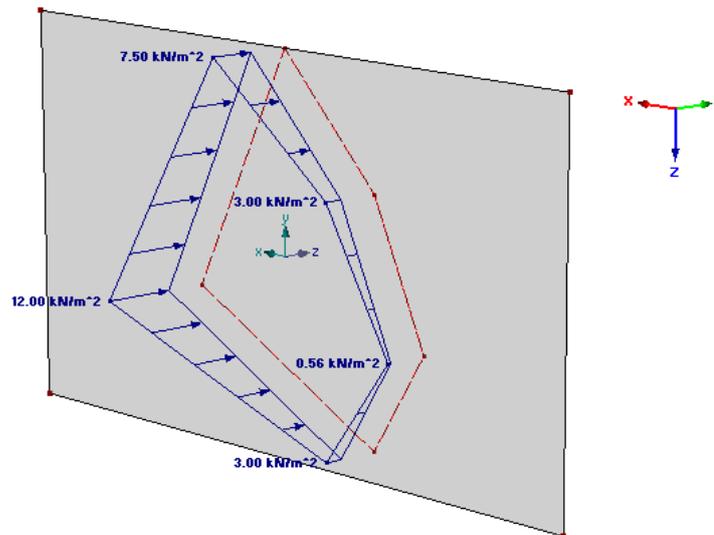


Bild 7.34: Linear in X veränderliche Polygonlast: Lastprojektionsebene XZ und Lastrichtung lokal in z

7.11 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 Richtung der Verschiebung eine feste Stützung aufweisen.

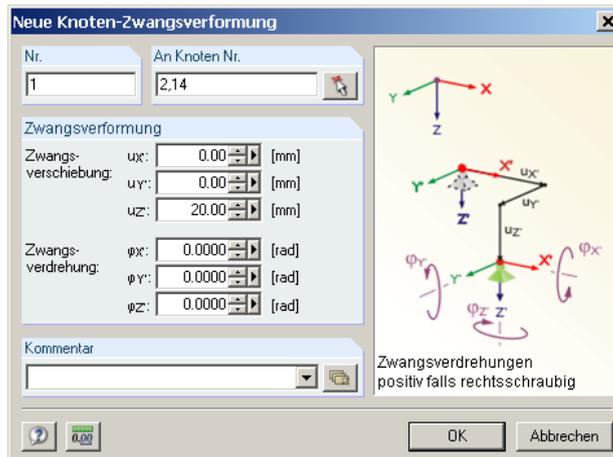


Bild 7.35: Dialog *Neue Knoten-Zwangsverformung*

Nr.	An Knoten Nr.	Zwangsverschiebung			Zwangsverdrehung			Kommentar
		u_x [mm]	u_y [mm]	u_z [mm]	φ_x [rad]	φ_y [rad]	φ_z [rad]	
1	2,14	0.00	0.00	20.00	0.0000	0.0000	0.0000	
2	3	0.00	0.00	35.00	0.0000	0.0000	0.0000	
3								
4								
5								
6								
7								

Bild 7.36: Tabelle 2.11 *Knoten-Zwangsverformungen*

Die Nummer der Last wird im Dialog *Neue Knoten-Zwangsverformung* automatisch vergeben, kann dort aber geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

An Knoten Nr.

In diesem Eingabefeld wird eine Liste derjenigen Knoten angegeben, an denen die Zwangsverformung wirken soll. Im Dialog *Neue Knoten-Zwangsverformung* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.



Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, sind zunächst die Verformungen einzugeben. Nach [OK] können Sie die relevanten Knoten nacheinander in der Grafik anklicken.



Zwangsverschiebung u_x / u_y / u_z

Zwangsverschiebungen sind auf das globale Koordinatensystem bezogen. Wirkt eine Verschiebung des gelagerten Knotens nicht parallel zu einer der globalen Achsen, müssen die X-, Y- und Z-Komponenten ermittelt werden, die man dann in die entsprechenden Eingabefelder eintragen kann.

Zwangsverdrehung $\phi_x / \phi_y / \phi_z$

Knotenverdrehungen sind ebenfalls auf das globale XYZ-Koordinatensystem bezogen. Eine schief wirkende Zwangsrotation erfordert deshalb auch eine Zerlegung in die X-, Y- und Z-Anteile.

Eine positive Zwangsverdrehung wirkt rechtsschraubig um die jeweilige positive globale Achse. Die kleine Grafik rechts im Dialog *Knoten-Zwangsverformung* ist hilfreich zur Definition der Vorzeichen.

7.12 Linien-Zwangsverschiebungen

Allgemeine Beschreibung

Eine Linien-Zwangsverschiebung ist die Verschiebung einer gelagerten Linie, wie sie beispielsweise bei einer Stützensenkung auftritt.

Zwangsverschiebungen können nur an Linien angesetzt werden, die in Richtung der Verschiebung eine feste Stützung aufweisen.

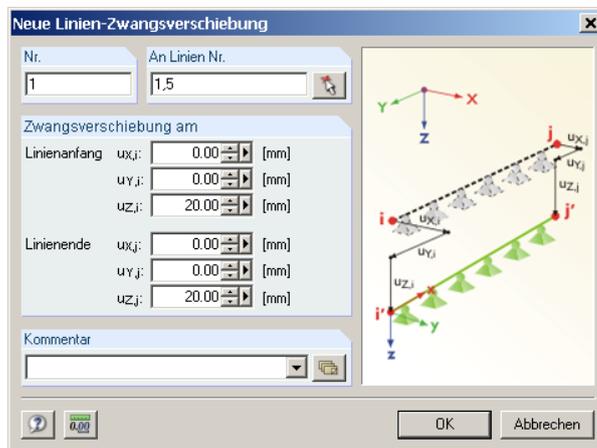


Bild 7.37: Dialog *Neue Linien-Zwangsverschiebung*

2.12 Linien-Zwangsverschiebungen

Nr.	An Linien Nr.	Zwangsverschiebung am Anfang [mm]			Zwangsverschiebung am Ende [mm]			Kommentar
		$u_{x,i}$	$u_{y,i}$	$u_{z,i}$	$u_{x,j}$	$u_{y,j}$	$u_{z,j}$	
1	1,5	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	20,00	
2	14	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	25,00	
3								
4								
5								
6								
7								

Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Knoten-Zwangsverformungen | **Linien-Zwangsverschiebungen** | Imperfektionen

Liste der gelagerten Linien mit der Zwangsverschiebung (z.B. '1-3,5,7').

Bild 7.38: Tabelle 2.12 *Linien-Zwangsverschiebungen*

Die Nummer der Last wird im Dialog *Neue Linien-Zwangsverschiebung* automatisch vergeben, kann dort aber geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

An Linien Nr.

In diesem Eingabefeld werden die Nummern der Linien festgelegt, an denen die Zwangsverschiebung wirken soll. Im Dialog *Neue Linien-Zwangsverschiebung* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, sind zunächst die Verschiebungen einzugeben. Nach [OK] können Sie die relevanten Linien dann nacheinander in der Grafik anklicken.



Zwangsverschiebung $u_x / u_y / u_z$

Linienanfang

Zwangsverschiebungen sind auf das globale XYZ-Koordinatensystem bezogen. Wirkt eine Verschiebung der gelagerten Linie nicht parallel zu einer der globalen Achsen, müssen die X-, Y- und Z-Komponenten ermittelt werden.

In diese Eingabefelder wird die Verschiebung am Anfangsknoten der gelagerten Linie eingetragen.

Linienende

In diesen Eingabefeldern bzw. Tabellenspalten wird die Verschiebung am Endknoten der gelagerten Linie angegeben.

Die Linienrichtungen lassen sich über den *Zeigen*-Navigator einblenden, indem man dort den Eintrag **Struktur** → **Linien** → **Linien-Orientierungen** anhakt (siehe Bild 5.20, Seite 93).

7.13 Imperfektionen

Allgemeine Beschreibung



In RFEM lassen sich Imperfektionen auf zwei Arten erfassen: Es werden entweder für die Stäbe *Ersatzimperfektionen* angesetzt oder es wird eine imperfekte *Ersatzstruktur* benutzt. Dieses Kapitel beschreibt die Verwendung von Ersatzlasten. Nähere Informationen zur Generierung von Ersatzstrukturen mit dem Modul **RF-IMP** finden Sie auf Seite 190.

Die Voraussetzung für eine Ersatzimperfektion ist, dass bereits ein Stab definiert ist.

Imperfektionen bilden fertigungstechnische Abweichungen in der Strukturgeometrie und in den Materialeigenschaften ab. In DIN 18800 Teil 2 Abschnitt 2 ist der Ansatz von Imperfektionen als Vorkrümmungen (Durchbiegungen) und Vorverdrehungen (Schiefstellungen) geregelt. Dabei werden die Imperfektionen durch gleichwertige Ersatzlasten berücksichtigt.

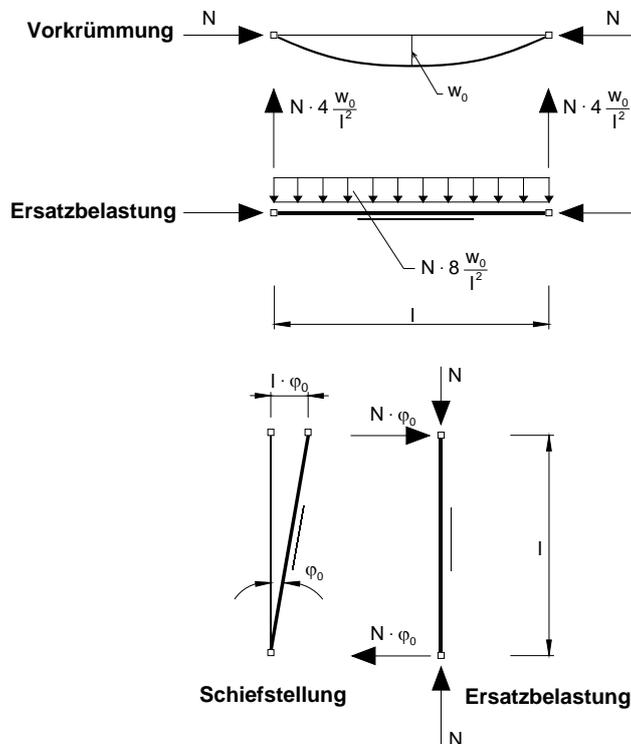


Bild 7.39: Ersatzbelastungen nach DIN 18800 Teil 2



RFEM erfasst auch die Ersatzbelastungen, wenn nach Theorie I. Ordnung gerechnet wird. Dabei ist allerdings zu beachten, dass ein reiner Imperfektionslastfall keine Schnittgrößen liefert. Die Struktur 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 dann in Lastfallgruppen in geeigneter Weise kombiniert werden. Lastfälle mit reinen Imperfektionslasten sollten zudem bei den Basisangaben des Lastfalls (vgl. Bild 6.3, Seite 182) als Lastfalltyp **Imperfektion** klassifiziert werden, um Fehlermeldungen bei der Plausibilitätskontrolle vorzubeugen.

Die Ersatzimperfektionen sind affin zum niedrigsten Knick eigenwert in ungünstigster Richtung anzusetzen.

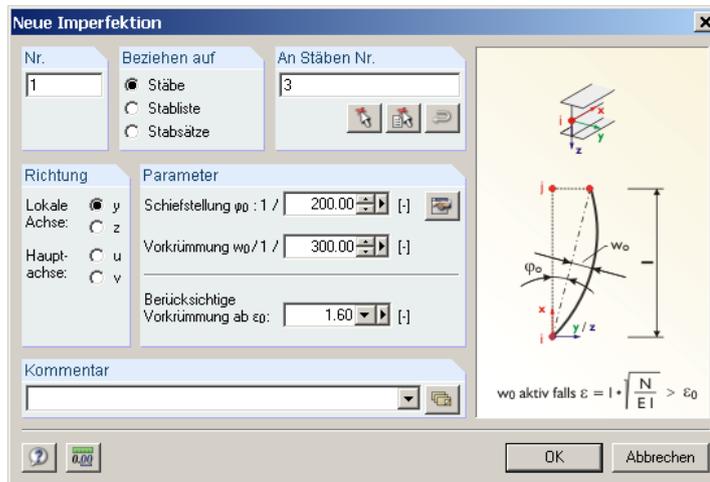


Bild 7.40: Dialog *Neue Imperfektion*

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Richtung	Schiefstellung $1/\varphi_0$ [-]	Vorkrümmung l/w_0 [-]	w_0 berücksichtigen ab ϵ_0 [-]	Kommentar
1	Stäbe 51		z	300.00	-375.00	1.60	
2	Stäbe 52		z	300.00	-375.00	1.60	
3	Stäbe 53		y	300.00	-300.00	1.60	
4	Stäbe 55		y	300.00	-300.00	1.60	
5	Stäbe 57		y	300.00	-300.00	1.60	
6	Stabliste 59,60		z	300.00	-375.00	1.60	
7	Stabliste 54,58		z	300.00	-375.00	1.60	

Bild 7.41: Tabelle 2.13 *Imperfektionen*

Die Nummer der Imperfektion wird im Dialog *Neue Imperfektion* automatisch vergeben, kann aber jederzeit geändert werden. Die Reihenfolge der Nummerierung spielt keine Rolle.

Beziehen auf

In einem Auswahlfeld kann man festlegen, auf welche Strukturelemente die Imperfektion wirken soll. Folgende Möglichkeiten stehen zur Auswahl:

Stäbe

Die Imperfektion wirkt auf einen Stab oder jeweils auf mehrere Stäbe.

Stabliste

Im Gegensatz zum Bezug auf jeden Einzelstab wirkt die Imperfektion auf die Gesamtheit der Stäbe, die in der Liste rechts festgelegt werden. Damit werden die Vorverformungen

und Schiefstellungen auf die Gesamtlänge der in der Liste angegebenen Stäbe bezogen. Die unterschiedliche Wirkung ist im Bild 7.42 dargestellt.

Durch die Möglichkeit einer Stabliste braucht kein neuer Stabzug definiert werden, um Imperfektionen stabübergreifend aufzubringen. Zudem ist so eine schnelle Änderung der Wirkung auf Einzelstäbe möglich.

Stabsätze

Die Last wirkt auf einen Stabsatz oder jeweils auf mehrere Stabsätze. Wie bei der oben beschriebenen Stabliste werden die Lastparameter auf die Gesamtheit der im Stabsatz enthaltenen Stäbe angesetzt.

Stabsätze untergliedern sich in Stabzüge und Stabgruppen (siehe Kapitel 5.21, Seite 172). Während Stabsatzlasten uneingeschränkt auf Stabzüge aufgebracht werden können, sind sie für Stabgruppen nicht verwendbar.

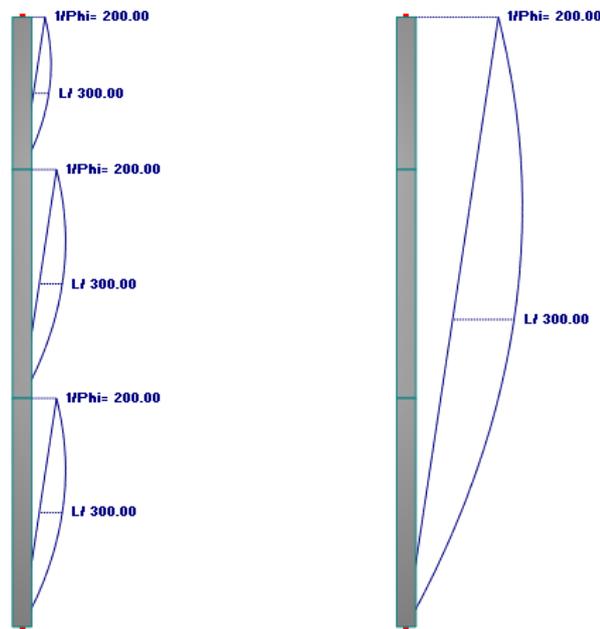


Bild 7.42: Imperfektion mit Bezug auf *Stäbe* (links) und mit Bezug auf *Stabliste* (rechts)

An Stäben Nr.

In diesem Eingabefeld wird eine Liste der Stäbe bzw. Stabsätze angegeben, an denen die Imperfektion wirken soll. Im Dialog *Neue Imperfektion* kann die Auswahl auch grafisch über [Pick] erfolgen.

Wenn Sie die grafische Eingabe gewählt haben, sind zunächst alle Daten zur Imperfektion einzugeben. Nach [OK] können Sie die relevanten Stäbe oder Stabsätze dann nacheinander in der Grafik anklicken.

Bei Imperfektionen mit Bezug auf eine Stabliste können die Stabnummern über die Schaltfläche [Reihenfolge umkehren] im Dialog passend sortiert werden, um die Schiefstellung für die Grafikanzeige umzukehren. Für die Berechnung ist die Sortierung wegen der identischen Ersatzlasten irrelevant.



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 (vgl. Kapitel 5.13, Seite 145). Global wirkende Schiefstellungen oder Vorkrümmungen sind nicht möglich.

Die Orientierung der Stabachsen ist im Kapitel 5.17, Abschnitt *Stabdrehung* beschrieben. Grundsätzlich stellt die Achse y die so genannte „starke“ Achse dar, die Achse z dementsprechend die „schwache“ Achse des Stabquerschnitts.

Falls der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert wurde, ist nur die Richtung z zugänglich.

Schiefstellung $1/\varphi_0$

φ_0 gibt das Maß der Schiefstellung an, vgl. DIN 18800 Teil 2 El. (205). In dieses Eingabefeld bzw. diese Spalte ist der Kehrwert von φ_0 einzutragen.



Im Dialog wird neben dem Eingabefeld die Schaltfläche [Neigung berechnen] angeboten, die eine Ermittlung der Imperfektionswerte nach verschiedenen Normen ermöglicht. Es wird folgender Dialog aufgerufen:

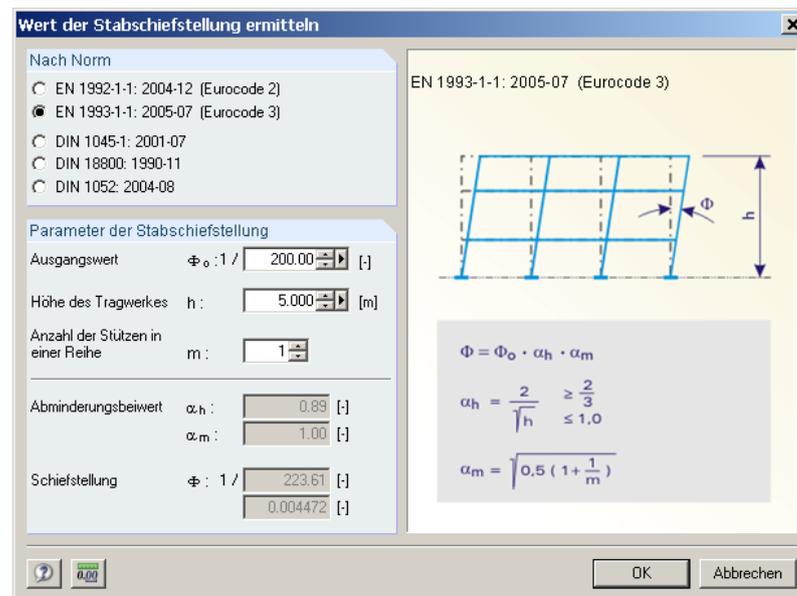


Bild 7.43: Dialog Wert der Stabschiefstellung ermitteln

Die Auswahl im Abschnitt *Nach Norm* steuert die Eingabefelder, die unterhalb im Abschnitt *Parameter der Stabschiefstellung* angezeigt werden. Aus den dort getroffenen Vorgaben werden die Abminderungsfaktoren und Schiefstellungen normkonform ermittelt. Die Schiefstellungen werden dann mit [OK] in den Ausgangsdialog übernommen.

Vorkrümmung l/w_0

Die Vorkrümmung w_0 legt das Maß der Durchbiegung fest, die je nach Norm anzusetzen ist (z. B. DIN 18800 Teil 2 El. (204) oder EN 1993-1-1: 2005 Abschnitt 5.3). Die Vorkrümmung ist abhängig von der Knickspannungslinie des Profils und wird auf die Stablänge l bezogen eingegeben.

w_0 berücksichtigen ab ε_0

Eine Vorkrümmung wird nur dann berücksichtigt, wenn die Stabkennzahl ε größer ist als der hier festgelegte Wert. DIN 18800 Teil 2 El. (207) gibt für die meisten Fälle $\varepsilon > 1.6$ vor, ab der die Vorkrümmung zusätzlich zur Schiefstellung berücksichtigt werden muss.

Beispiel

Die linke Stütze ist mit einer Schiefstellung und einer Vorkrümmung, die rechte nur mit einer Schiefstellung versehen.

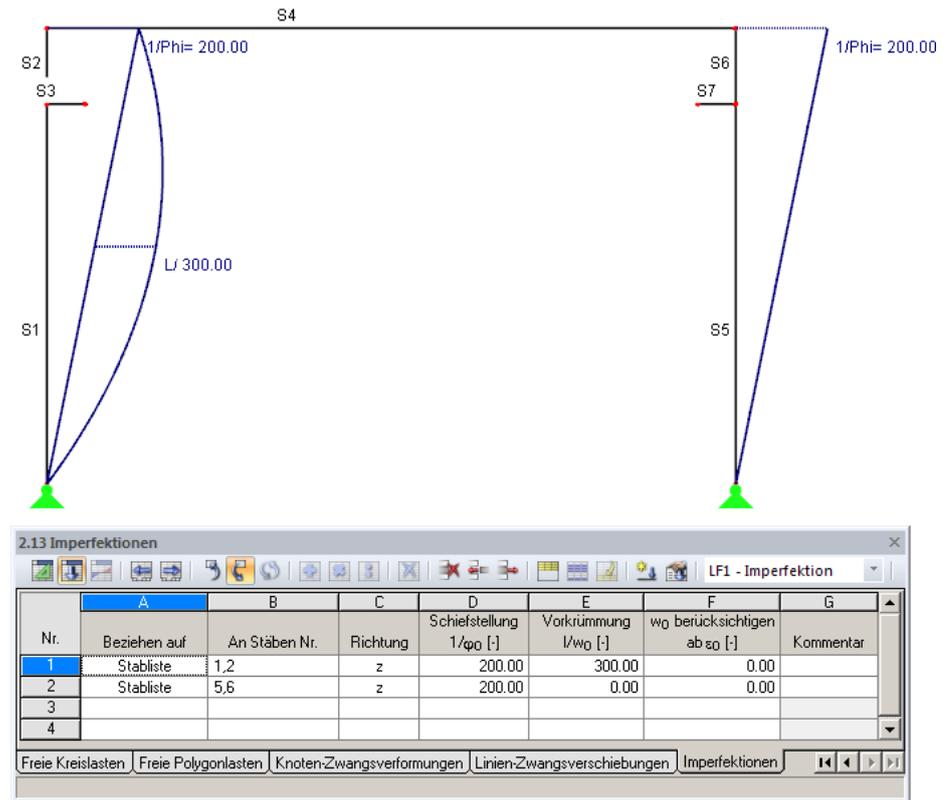


Bild 7.44: Ebener Rahmen mit Schiefstellungen und Vorkrümmung

7.14 Generierte Lasten

RFEM bietet eine Reihe von Generierern an, mit denen sich Belastungen komfortabel erzeugen lassen (siehe Kapitel 12.5.2 ab Seite 441). Die generierten Lasten werden dabei den geeigneten Belastungstabellen bzw. Navigatoreinträgen zugewiesen. Im *Daten-Navigator* erscheint in diesen Fällen der zusätzliche Eintrag *Generierte Lasten*.

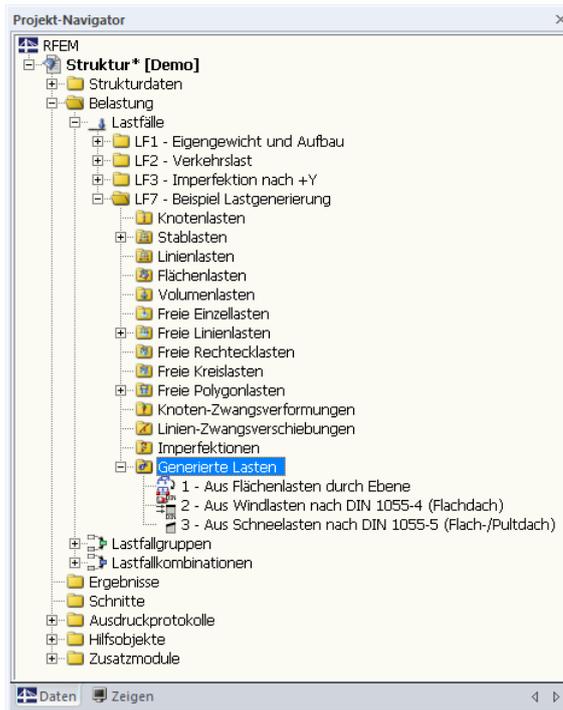


Bild 7.45: Daten-Navigator für *Generierte Lasten*

Über diesen Eintrag sind die ursprünglichen Generierdialoge als spezifische Belastungsobjekte für Änderungen zugänglich. Per Doppelklick auf einen Eintrag wird der Ausgangsdialog aufgerufen, in dem dann die Parameter modifiziert werden können.

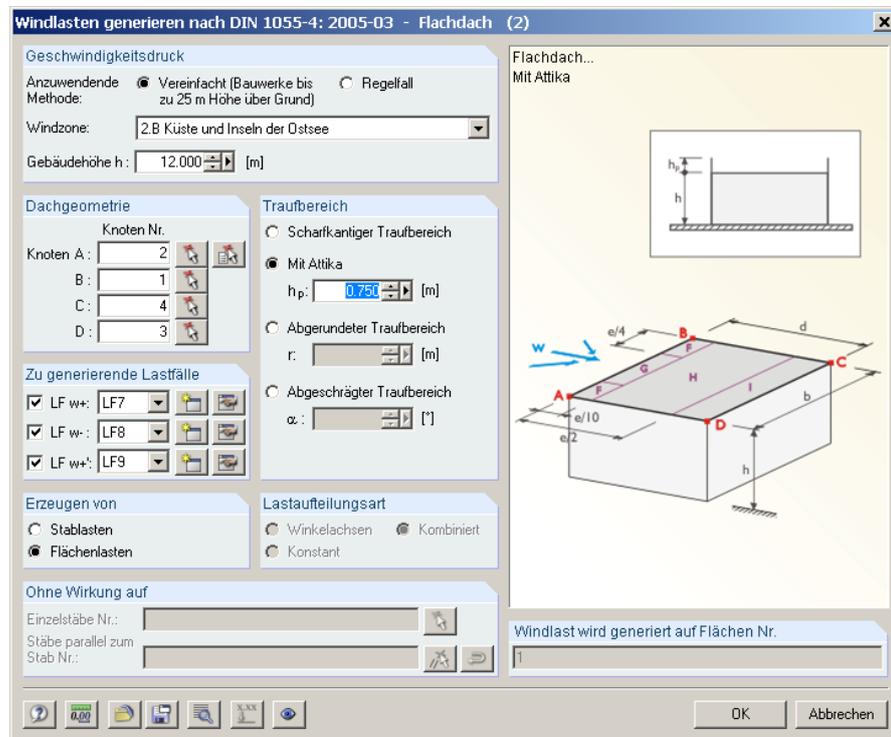


Bild 7.46: Anpassungen im Dialog *Windlasten generieren*

Nach dem Schließen des Dialogs mit [OK] werden die Belastungen in RFEM entsprechend angepasst. Über die Option *Generierte Lasten* ist somit die Lasteingabe jederzeit nachvollziehbar und auch für Änderungen zugänglich.

8. Berechnung

8.1 Kontrolle der Eingabedaten

Vor der Berechnung ist es empfehlenswert, eine Überprüfung der Struktur- und Belastungsdaten sowie der Modellierung vorzunehmen. Dabei wird kontrolliert, ob die erforderlichen Angaben für die einzelnen Struktur- und Belastungselemente vollständig vorliegen, die Bezüge der Datensätze untereinander sinnvoll definiert sind und die Modellierung stimmig ist.

Festgestellte Eingabefehler lassen sich schnell korrigieren, da die Tabellenzeile mit dem vorliegenden Problem direkt angesteuert werden kann (vgl. Bild 8.2).

8.1.1 Plausibilitätskontrolle



In RFEM können sowohl die Struktur- als auch die Belastungsdaten auf die Stimmigkeit der Eingabe hin überprüft werden. Die Plausibilitätskontrolle wird aufgerufen über Menü

Extras → Plausibilitätskontrolle

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste. Es wird folgender Dialog geöffnet:



Bild 8.1: Dialog *Plausibilitätskontrolle*

In diesem Dialog wird festgelegt, welche Eingabedaten überprüft werden sollen.

Im Abschnitt *Kontrollart* stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl.

- **Normal**

Dies ist die Standardkontrolle, die die Vollständigkeit der Eingabeparameter und die korrekten Bezüge überprüft.

- **Mit Warnungen**

Hier wird eine ausführliche Kontrolle der Eingabedaten durchgeführt, die auch nach Knoten mit identischen Koordinaten oder Gelenken mit uneingeschränkten Freiheitsgraden sucht.

Bei einer Unstimmigkeit erscheint eine entsprechende Meldung mit genauen Angaben. Es besteht die Möglichkeit, die Kontrolle abzubrechen und das Problem zu bereinigen.

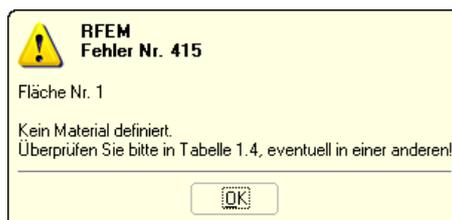


Bild 8.2: Plausibilitätskontrolle mit Warnungen

- **Keine, nur Statistik**

Mit dieser Funktion wird lediglich die Bilanz der Eingabedaten ermittelt, beispielsweise die Strukturabmessungen und das Gesamtgewicht sowie die Anzahl der definierten Knoten, Linien, Lager, Flächen, Flächen- und Stablasten etc.

Nach einer erfolgreichen Plausibilitätskontrolle erscheint die Bilanz der Eingabedaten.

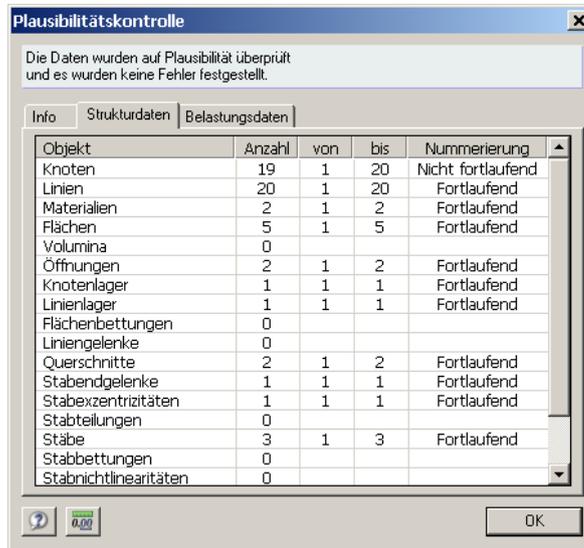


Bild 8.3: Ergebnis der Plausibilitätskontrolle, Register *Strukturdaten*

Das Kontrollfeld *FE-Netz generieren* ermöglicht es, im Zuge der Plausibilitätskontrolle auch das FE-Netz zu erzeugen. Dieses Thema ist in Kapitel 8.2 ab Seite 242 beschrieben.

8.1.2 Modellkontrolle

Ergänzend zur oben beschriebenen allgemeinen Plausibilitätskontrolle kann mit der Modellkontrolle gezielt nach typischen Modellierungsfehlern gesucht werden. Über Menü

Extras → Modellkontrolle

sind fünf Kontrolloptionen wählbar.

Identische Knoten

Es werden alle Knoten gefiltert, die identische Koordinaten aufweisen. Diese Knoten werden in Gruppen zusammengefasst aufgelistet.

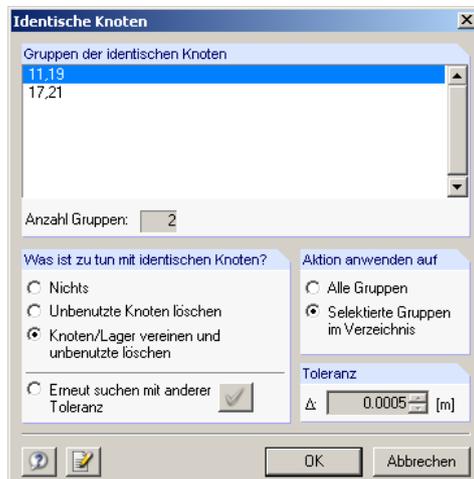


Bild 8.4: Ergebnis der Modellkontrolle hinsichtlich identischer Knoten

Im Abschnitt *Was ist zu tun mit identischen Knoten?* kann entschieden werden, wie mit den doppelten Knoten zu verfahren ist. Der Abschnitt *Aktion anwenden auf* steuert, ob sich diese Maßnahme auf alle oben gelisteten Gruppen oder nur auf die selektierte Zeile erstrecken soll.

Der Abschnitt *Toleranz* ermöglicht eine Feinabstimmung des Bereiches, in dem die Koordinaten als identisch bewertet werden. Diese Funktion ist vor allem für importierte Strukturen aus CAD-Anwendungen nützlich, die oft sehr kurze Linien wegen nahe beieinander liegender Knoten aufweisen. Wenn man solche Knoten mit einer passenden Toleranz filtert und vereinigt, lassen sich numerische Probleme aufgrund kurzer Stäbe oder Linien vermeiden.

Überlappende Stäbe



Mit dieser Option werden alle Stäbe gefiltert, die in ihrer Länge ganz oder teilweise übereinander liegen.

Wird die Kontrolle fündig, werden diese Stäbe nach Gruppen geordnet aufgelistet. Nach [OK] wird die selektierte Gruppe in der Grafik gekennzeichnet und kann korrigiert werden.

Kreuzende, nicht verbundene Stäbe



Die Kontrolle sucht nach Stäben, die sich kreuzen, aber keinen gemeinsamen Knoten im Schnittpunkt aufweisen.

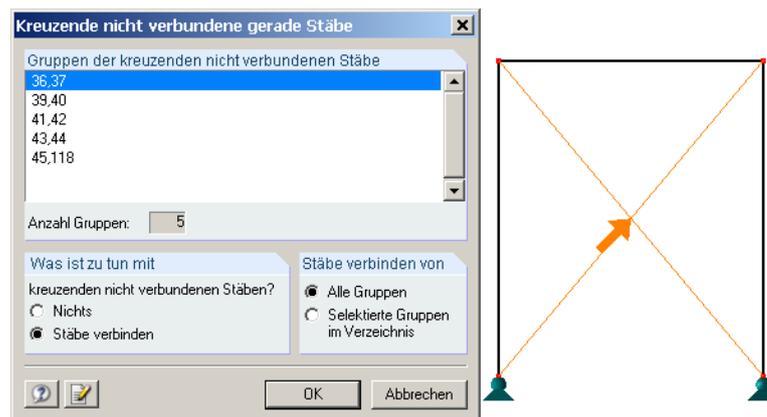


Bild 8.5: Ergebnis der Modellkontrolle hinsichtlich kreuzender Stäbe

Im Abschnitt *Gruppen der kreuzenden nicht verbundenen Stäbe* wird das Ergebnis der Kontrolle ausgewiesen. Die kreuzenden Stäbe sind gruppenweise gelistet, die aktuelle Gruppe wird in der Grafik durch einen Pfeil markiert.

Im Abschnitt *Was ist zu tun* wird festgelegt, wie die kreuzenden Stäbe weiter zu behandeln sind. Die Option *Stäbe verbinden* ist geeignet, falls Übertragungsmöglichkeiten für Schnittgrößen bestehen, nicht jedoch z. B. für die üblichen Diagonalauskreuzungen mit Zugstäben.

Überlappende Linien



Es werden alle Linien gefiltert, die in ihrer Länge ganz oder teilweise übereinander liegen.

Wird die Kontrolle fündig, werden diese Linien nach Gruppen geordnet aufgelistet. Nach [OK] wird die selektierte Gruppe in der Grafik gekennzeichnet und kann korrigiert werden.

Kreuzende, nicht verbundene Linien



Die Kontrolle sucht nach Linien, die sich ohne Knoten im Schnittpunkt kreuzen. Das Ergebnis wird im Abschnitt *Gruppen der kreuzenden nicht verbundenen Linien* ausgewiesen (vgl. Bild 8.5). Die kreuzenden Linien sind gruppenweise gelistet, die aktuelle Gruppe wird in der Grafik durch einen Pfeil markiert.

Der Abschnitt *Was ist zu tun* steuert, wie die kreuzenden Linien weiter zu behandeln sind.

8.1.3 Struktur regenerieren



RFEM kann kleine Unstimmigkeiten im Modell automatisch bereinigen, die sich durch den Datenimport aus einem CAD-Programm oder im Verlauf der Modellierung ergeben haben. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → Struktur regenerieren.

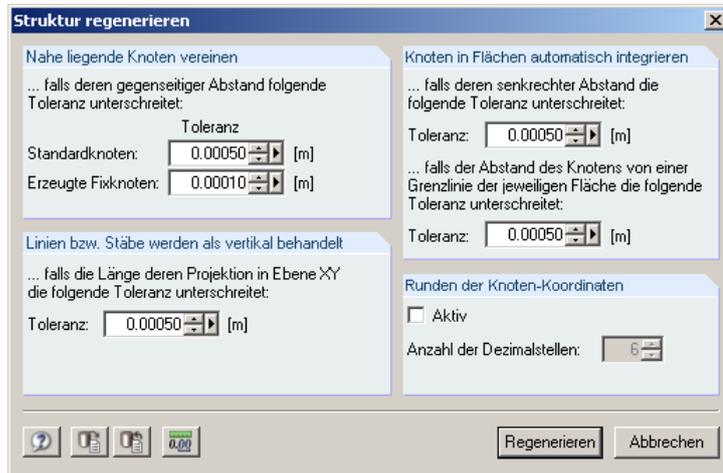


Bild 8.6: Dialog *Struktur regenerieren*

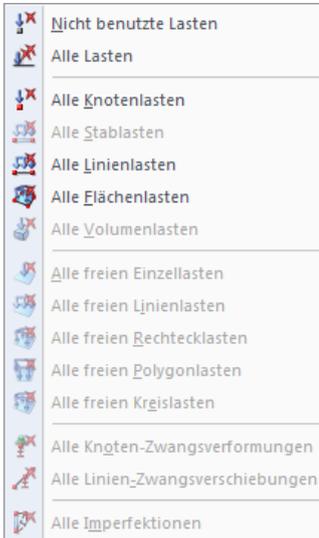
Im Abschnitt *Nahe liegende Knoten vereinen* wird eine Schranke für die Knotenabstände bestimmt. Wird diese *Toleranz* unterschritten, werden Knoten als identisch angesehen und zu einem einzigen Knoten zusammengefasst. Überflüssige Knoten werden gelöscht, was mit einer Umnummerierung verbunden ist.

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“ (windschiefer) Lage (siehe Kapitel 5.17, Seite 159). Für letztere lässt sich über die hier angebotene *Toleranz* eine vertikale Lage erzwingen. Damit wird das „Umspringen“ der Stabachsen unterbunden. Dies wirkt sich auch auf die Belastungseingabe und Schnittgrößenausgabe vorteilhaft aus.

Über die beiden Optionen des Abschnitts *Knoten in Flächen automatisch integrieren* können Knoten, die einen sehr geringen Abstand von einer Fläche bzw. Begrenzungslinie aufweisen, automatisch in die Liste der integrierten Objekte der Fläche aufgenommen werden (vgl. Seite 115). Auf diese Weise bleibt die aufwändige manuelle Integration der Knoten erspart. Dabei ist zu beachten, dass vor Berechnung noch eine interne Kontrolle erfolgt. Sollten sich die integrierten Knoten in einem zu großen Abstand von der Fläche befinden, werden sie als nicht zur Fläche gehörig bewertet.

Ist ein automatisches *Runden der Knoten-Koordinaten* erwünscht, so kann dies im entsprechenden Abschnitt mit Angabe der geeigneten Anzahl der Dezimalstellen aktiviert werden.

8.1.4 Unbenutzte Lasten löschen



Extras → Belastung löschen

Lasten können nur an Objekten definiert werden, die bereits in der Struktur existieren. Im Zuge der Modellierung kann es vorkommen, dass Stäbe oder Flächen aus dem System entfernt werden, denen gleichzeitig Lasten zugewiesen sind. In der Regel werden deren Lasten automatisch mit gelöscht. Sollte die Plausibilitätskontrolle aber trotzdem einen Mangel entdecken, lassen sich Lasten an nicht mehr vorhandenen Objekten über Menü

Extras → Belastung löschen → Unbenutzte Lasten löschen

auf einfache Weise entfernen.

In diesem Menü besteht zudem die Möglichkeit, die zu löschenden Belastungsobjekte gezielt auszuwählen.

8.2 FE-Netz

Mit RFEM lassen sich Stabelemente, Platten, Scheiben, Schalen und Volumina berechnen. Bevor die eigentliche Berechnung beginnen kann, muss das FE-Netz generiert werden. Erst an dieser Stelle werden die entsprechenden 1D-, 2D- und 3D-Elemente erzeugt.

Das Tragwerk für die FE-Analyse wird in kleine Teilsysteme (finite Elemente) zerlegt. 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 erforderliche Rechenzeit aufgrund der zu bewältigenden Datenmenge enorm an, 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.

8.2.1 Grundlagen der verwendeten Finiten Elemente

1D-Elemente

Für die Stabelemente wird angenommen, dass der Querschnitt bei der Verformung eben bleibt. Zur Modellierung von Balken, Fachwerkstäben, Rippen, Seilen und starren Kopplungen werden 1D-Stabelemente eingesetzt. Ein 1D-Stabelement hat insgesamt zwölf Freiheitsgrade, jeweils sechs am Anfang und am Ende des Elementes. Dabei handelt es sich um die Verschiebungen (u, v, w) und um die Verdrehungen ($\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$). Zug, Druck und Torsion werden bei der linearen Berechnung als lineare Funktionen der Stabachse x ausgedrückt, unabhängig von Biegung und Querkraft. Diese werden angenähert durch ein Polynom 3. Ordnung in x , einschließlich des Einflusses der Schubbeanspruchungen, die aus den Querkraften Q_y und Q_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 sind in [19] und [20] zu entnehmen.

Für die Berechnung nach Theorie III. Ordnung ist eine FE-Netzverdichtung der Linien (siehe Kapitel 5.23, Seite 179) zu empfehlen, damit die Ergebnisse exakt ermittelt werden können.

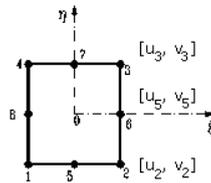
2D-Elemente

Als 2D-Elemente werden in der Regel Viereckselemente verwendet. Wo es notwendig ist, werden vom Netzgenerierer Dreieckselemente eingefügt.

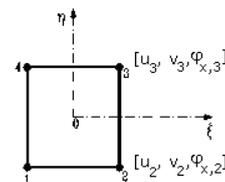
Die Freiheitsgrade der Vierecks- bzw. Dreieckselemente sind in den Knotenpunkten die gleichen wie beim 1D-Element: Verschiebungsfreiheitsgrade (u_x, u_y, u_z) und Verdrehungsfreiheitsgrade ($\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$). Dadurch wird die Verträglichkeit zwischen 1D- und 2D-Elementen in den Knoten garantiert. Die Parameter sind im ebenen lokalen Element-Koordinatensystem

definiert und werden beim Zusammenstellen der globalen Steifigkeitsmatrix in das globale Koordinatensystem umgerechnet.

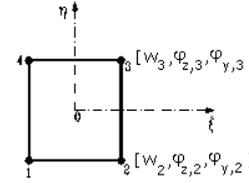
Membrananteil
(Serendipity Ansätze)



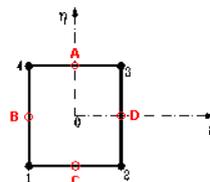
Elimination der Zwischenknoten



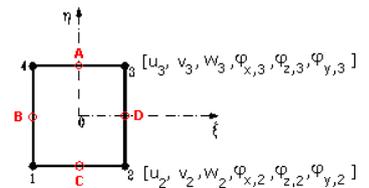
Biegeanteil (schubweich)
(MITC4 nach Bathe)



Anbindung der transversalen Schubverzerrungen in den Punkten A, B, C, D



Zusammengesetztes Schalenelement



Schubverzerrungen:
 γ_{xz} γ_{yz}

Bild 8.7: Verwendete Schalenelemente

Die Basis der ebenen Schalenelemente bilden die MINDLIN/REISSNER-Theorie. In der obigen Abbildung sind die Ansätze der Elemente grafisch dargestellt. Um eine direkte Kopplung mit Stabelementen zu gewährleisten, wird ein quadratischer Ansatz in der Schalenebene gewählt (u_x, u_y). Über eine Elimination der Randknoten 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 [25] vorgestellten MITC4-Elemente (Mixed Interpolation of Tensorial Components) 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 [21], [22], [23] zu Grunde. Die Basisfunktionen werden z. B. bei Dreieckselementen in drei Starre-Körper-Verformungen, drei konstante Dehnungszustände und drei spezielle lineare Verläufe von Spannungen/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 sogenannte „MINDLIN-Platten“ angesetzt. Das bedeutet, dass Platten, bei denen die Schubverzerrung eine Rolle spielt, nach TIMOSHENKO berechnet werden. RFEM kann sowohl dicke als auch dünne Platten (NAVIER-Platten) richtig lösen.

Bei geometrisch nichtlinearen Problemen ist die oben erläuterte Zerlegung des Spannungs-Dehnungs-Zustandes in einen ebenen Zustand und in Biegung/Schub nicht möglich. Die gegenseitige Beeinflussung dieser Zustände ist in der Matrix K_{NL} berücksichtigt. In RFEM wird eine verhältnismäßig einfache, aber effektive Form der Matrix K_{NL} verwendet. Diese basiert auf den Konzepten von ZIENKIEWICZ [24]. Es wird die quadratische Komponente e_2 des GREEN-LAGRANGE-Dehnungstensors $e = e_1 + e_2$ herangezogen. Dabei werden ein linearer Verlauf von $u_x(x, y)$ 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. In numerischen Untersuchungen wurde die Richtigkeit dieses Verfahrens erwiesen.

Bei Schalenelementen gilt die Voraussetzung, dass die Dicke wesentlich kleiner sein muss als die Ausdehnung. Ist dies nicht der Fall, empfiehlt sich die Modellierung als Volumen.

3D-Elemente

Auf eine ausführliche Darstellung der verwendeten Elemente wird hier verzichtet. Genauere Informationen sind in [48] zu finden. Diese Dokumentation kann bei der Firma Dlubal angefordert werden.

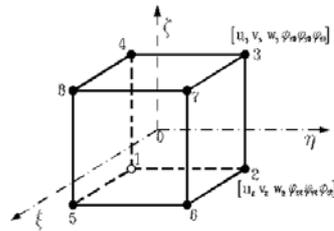


Bild 8.8: Volumenelement

8.2.2 Parameter für das FE-Netz

Der Dialog zur Einstellung der FE-Netzparameter wird aufgerufen über Menü **Berechnung** → **FE-Netz-Einstellungen**.

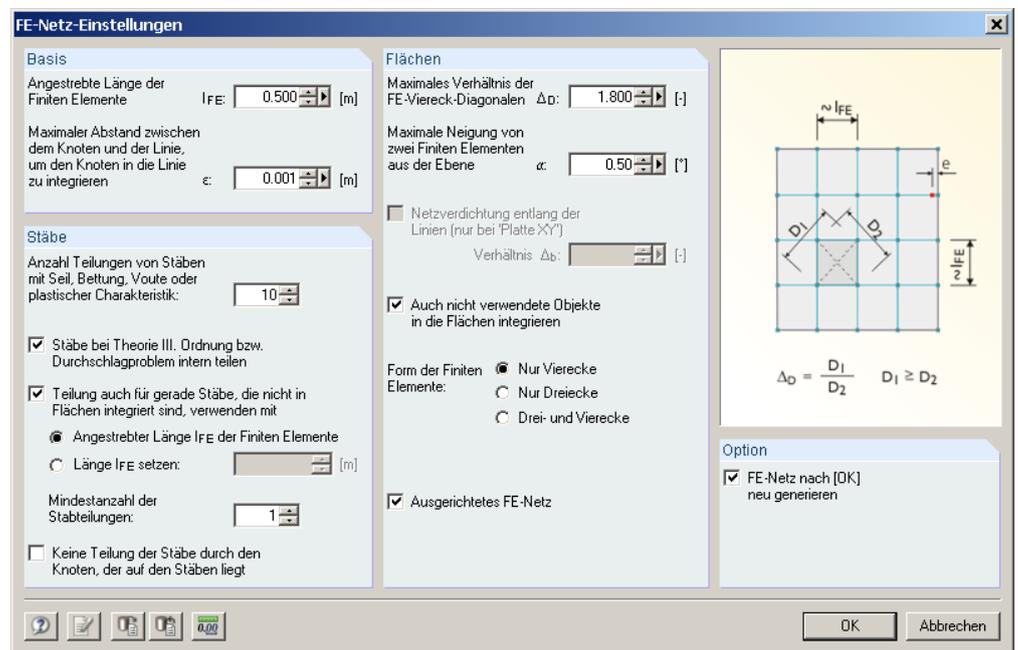


Bild 8.9: Dialog FE-Netz-Einstellungen

Basis

In diesem Abschnitt wird als *Angestrebte Länge der Finiten Elemente* die globale Maschenweite des Netzes festgelegt. Je feiner diese Maschenweite, desto präziser fallen in der Regel die Ergebnisse aus. Es erhöht sich aber auch die zu bewältigende Datenmenge, denn für jeden weiteren FE-Knoten sind zusätzliche Gleichungen zu lösen. Dies wirkt sich spürbar auf die Rechenzeit aus. Zudem treten Singularitätseffekte bei einem feinmaschigen Netz in verstärktem Maße hervor.



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. Mit einer zu groben Maschenweite werden die Randbedingungen in ungenügender Weise erfasst. Als grobe Orientierung für die angestrebte Länge der finiten Elemente ist zu empfehlen, dass mit der vorgegebenen Kantenlänge 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 wird die zulässige Entfernung eines FE-Netz-Knotens von einer Linie festgelegt. Ist der Abstand eines Knotens größer, so wird für diesen ein neuer FE-Knoten erzeugt.

Flächen

Für die Genauigkeit der Ergebnisse ist ein Element am günstigsten, das einem Quadrat möglichst nahekommt. Bei einem Quadrat ist das Verhältnis der Diagonalen $D_1/D_2=1$. Im Eingabefeld *Maximales Verhältnis der FE-Viereck-Diagonalen* wird der Grenzwert Δ_D dieses Diagonalenverhältnisses angegeben. Bei einem zu großen Verhältnis besteht die Gefahr, dass sehr spitze oder überstumpfe Winkel in den Elementen generiert werden. Dies kann numerische Probleme nach sich ziehen.

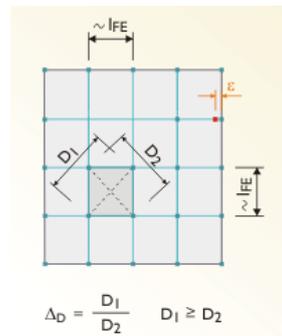


Bild 8.10: Element mit den Diagonalen D_1 und D_2

Eine gekrümmte Fläche wird bei der Bildung des FE-Netzes in ebene Elemente zerlegt. Im Eingabefeld *Maximale Neigung von zwei Finiten Elementen aus der Ebene* wird der maximal zulässige Neigungswinkel α festgelegt. Sollte dieser überschritten werden, so wird an dieser Stelle automatisch das Netz verfeinert.

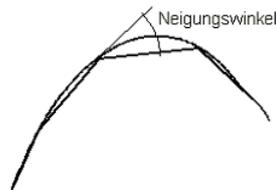


Bild 8.11: Neigungswinkel α zwischen zwei Elementen

Falls die Struktur im 2D-System als ebene Platte angelegt wurde, können entlang aller Linien kleinere FE-Elemente gebildet werden. Das Verhältnis Δb ist auf die globale Maschenweite bezogen und beschreibt den Randabstand zu den Linien. Diese Verfeinerung des FE-Netzes ermöglicht eine bessere Annäherung der Ergebnisse entlang gelagerter Linien.

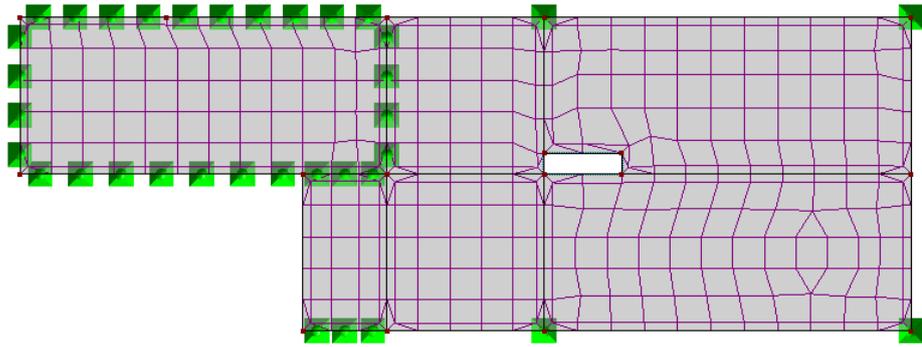


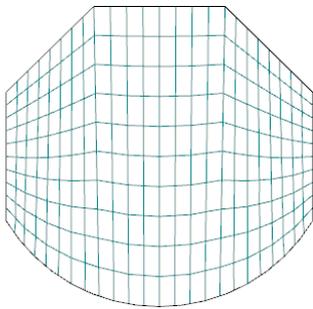
Bild 8.12: FE-Netzverdichtung entlang der Randlinien einer 2D-Platte

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, sodass diese statisch bedeutungslosen Objekte keine Störung des FE-Netzes zur Folge haben.

Die *Form der Finiten Elemente* kann über folgende drei Auswahlfelder beeinflusst werden:

- Drei- und Vierecke: Standardeinstellung
- Nur Dreiecke: falls Vierecke zu einem sehr verzerrten Netz führen
- Nur Vierecke: höhere Ergebnisgenauigkeit

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 separat festgelegt werden (Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *FE-Netz*).



Ausgerichtetes FE-Netz

Stäbe

Für Seil-, Bettungs-, Voutenstäbe oder Stäbe mit plastischer Charakteristik kann die Anzahl der internen Teilungen gezielt festgelegt werden. Dies führt zu einer echten Teilung des Stabes durch Zwischenknoten. Wenn der Stab jedoch an der Begrenzungslinie einer Fläche angeordnet ist oder für die Definitionslinie eine FE-Netzverdichtung besteht, hat diese Angabe keine Auswirkung.

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*, so 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.

Die Option *Keine Teilung durch den Knoten, der auf den Stäben liegt* verhindert, dass FE-Knoten auf Stäben erzeugt werden, die zwar von anderen Stäben berührt werden, jedoch keinen gemeinsamen Knoten besitzen (z. B. Diagonalauskreuzung mit Zugstäben).

Option

Wenn im Abschnitt *Option* das Kontrollfeld *FE-Netz nach [OK] neu generieren* aktiviert ist, wird nach dem Bestätigen des Dialogs ein neues FE-Netz erzeugt.

8.2.3 FE-Netzverdichtungen

Das FE-Netz kann durch FE-Netzverdichtungen in seiner Gestalt beeinflusst werden. Damit besteht die Möglichkeit, das Netz an bedeutsamen Stellen wie beispielsweise Anschlussbereichen zu verfeinern. Durch die FE-Netzverdichtungen wird auch ein guter Kompromiss geschaffen zwischen Ergebnisgenauigkeit und Rechenzeit.

Grundsätzlich existieren vier Typen von FE-Netzverdichtungen:

- Verdichtung um einen Knoten
- Verdichtung an einer Linie
- Verdichtung an einer Fläche
- Verdichtung an einem Volumen

Die Anwendung der FE-Netzverdichtungen im Kapitel 5.23 auf Seite 177 beschrieben.

8.2.4 FE-Netzgenerierung

Die FE-Netzgenerierung wird gestartet über Menü

Berechnung → FE-Netz generieren.

Das FE-Netz wird auch automatisch generiert, sobald die Berechnung eines Lastfalls gestartet wird. Es ist jedoch dringend zu empfehlen, das generierte Netz vor der Berechnung genau zu überprüfen. Damit lässt sich kontrollieren, ob ein „harmonisches“ und ausreichend fein ausgebildetes Netz vorliegt oder ob noch Verdichtungsgebiete erforderlich sind.

Umgekehrt können auch Bereiche, die für die Ergebnisauswertung weniger bedeutsam sind, mit einem grobmaschigeren FE-Netz versehen werden. Dies kann beispielsweise als Flächen-FE-„Netzverdichtung“ mit einer größeren Maschenweite als der angestrebten Länge l_{FE} erfolgen. Damit können sowohl Berechnung als auch Auswertung beschleunigt werden.

Nach der erfolgreichen FE-Netzgenerierung kann mit dem Menübefehl

Berechnung → FE-Netz-Statistik

eine Übersicht mit Informationen zum generierten FE-Netz aufgerufen werden.



Bild 8.13: Dialog *FE-Netz-Statistik*

In dieser Zusammenstellung werden Art und Anzahl der generierten finiten Elemente angezeigt, die wiederum Rückschlüsse auf die Wahl der Gleichungslösermethode und die zu erwartende Berechnungszeit erlauben (siehe Kapitel 8.3, Seite 254).

Bei Änderungen der Strukturdaten wird das FE-Netz automatisch gelöscht. Es besteht zudem die Möglichkeit, das Netz mit folgendem Menübefehl gezielt zu löschen:

Berechnung → FE-Netz löschen.

Damit werden auch alle eventuell vorhandenen Ergebnisse gelöscht.

8.3 Berechnungsparameter



Die Berechnungsparameter können jedem Lastfall, jeder Lastfallgruppe oder -kombination einzeln zugewiesen werden. Dies erfolgt im Register *Berechnungsparameter* des jeweiligen Lastfalls bzw. der jeweiligen Lastfallgruppe (siehe Bild 6.4, Seite 183).

Zudem besteht in einer Gesamtübersicht Zugriff auf die Berechnungsparameter sämtlicher Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen. Dieser Dialog wird aufgerufen über Menü

Berechnung → Berechnungsparameter

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 8.14: Schaltfläche [Berechnungsparameter]

Der Dialog ist in vier Register unterteilt. In den ersten drei Registern können die Parameter für jeden einzelnen Lastfall bzw. jede einzelne Lastfallgruppe oder -kombination eingestellt werden. Die gemeinsamen Parameter werden im vierten Register *Optionen* festgelegt.

8.3.1 Lastfälle

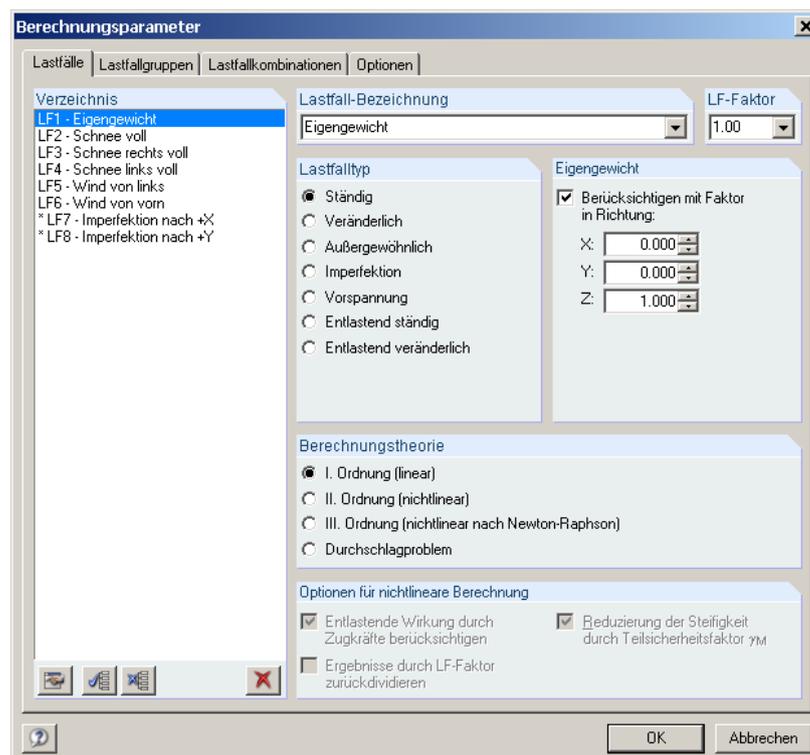


Bild 8.15: Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Lastfälle*

Auf der linken Seite befindet sich im Abschnitt *Verzeichnis* eine Liste aller existierenden Lastfälle. Die Eigenschaften der in der Liste selektierten Lastfälle können in den rechts davon befindlichen Abschnitten bearbeitet werden. Wenn ein Lastfall mit einem Sternchen gekennzeichnet ist, so enthält dieser keine Lasten oder ausschließlich Imperfektionen.

Mithilfe der gedrückten [Strg]-Taste ist eine Mehrfachselektion in der Liste möglich. Die unterhalb der Liste befindlichen Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Die Basisangaben des selektierten Lastfalls können bearbeitet werden.
	Alle Lastfälle werden selektiert. Die Eigenschaften lassen sich einheitlich festlegen.
	Die Selektion in der Liste wird aufgehoben.
	Die selektierten Lastfälle werden gelöscht.

Tabelle 8.1: Schaltflächen im Register *Lastfälle*

Die Abschnitte *Lastfall-Bezeichnung*, *LF-Faktor*, *Lastfalltyp* und *Eigengewicht* sind im Kapitel 6.1 auf Seite 182 erläutert.

Berechnungstheorie

In diesem Abschnitt wird festgelegt, ob der Lastfall nach Theorie I., II. oder III. Ordnung berechnet werden soll. Mit der Option *Durchschlagproblem* wird die Stabilitätsanalyse nach Theorie III. Ordnung im Hinblick auf das Durchschlagversagen der Gesamtstruktur geführt.



Die Voreinstellung für Lastfälle ist die lineare Berechnung nach Theorie I. Ordnung. Falls das Modell Seilstäbe enthält, wird Theorie III. Ordnung vorgeschlagen. Seilstäbe werden immer nach III. Ordnung berechnet, die übrigen Stäbe nach der gewählten Berechnungstheorie.

Falls keine Berechnung nach Theorie I. Ordnung erfolgt, so können im Abschnitt unterhalb *Optionen für nichtlineare Berechnung* weitere Einstellungen getroffen werden.

Optionen für nichtlineare Berechnung

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 die entlastend wirkenden Zugkräfte zu berücksichtigen sind. DIN 18800 und die Eurocodes 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, Zugkräfte generell auf Null zu setzen. Dieser Ansatz liegt auf der sicheren Seite. Wenn diese Möglichkeit genutzt werden soll, so muss das Häkchen aus dem Kontrollfeld entfernt werden.

Andererseits kann man argumentieren, dass in den Normen von Einwirkungen und nicht von inneren Kräften die Rede ist. Es wäre deshalb für die Einwirkung als Ganzes zu entscheiden, ob sie be- oder entlastend wirkt. Wenn folglich eine belastende Einwirkung in gewissen Bereichen der Struktur eine entlastende Wirkung hat, kann sie durchaus berücksichtigt werden. Sollen die Normalkräfte nach diesem Ansatz unverändert in die Berechnung eingehen, muss das Kontrollfeld aktiviert sein.

Ergebnisse durch LF-Faktor zurückdividieren

Einige Normen verlangen, dass die Einwirkungen global mit einem Faktor multipliziert werden müssen. Damit sollen die Effekte nach Theorie II. Ordnung für Stabilitätsnachweise vergrößert werden. Die Bemessung wiederum hat mit den Gebrauchslasten zu erfolgen. Diese beiden Forderungen können erfüllt werden, wenn ein Lastfallfaktor größer 1,00 eingegeben und dieses Kontrollfeld aktiviert wird.

Reduzierung der Steifigkeit durch Teilsicherheitsfaktor γ_M

Ist das Kontrollfeld aktiviert, werden die Steifigkeiten (E^I) bzw. (E^A) durch γ_M geteilt. Der Material-Teilsicherheitsbeiwert γ_M wird für jedes Material separat festgelegt (vgl. Kapitel 5.3, Seite 101).

8.3.2 Lastfallgruppen

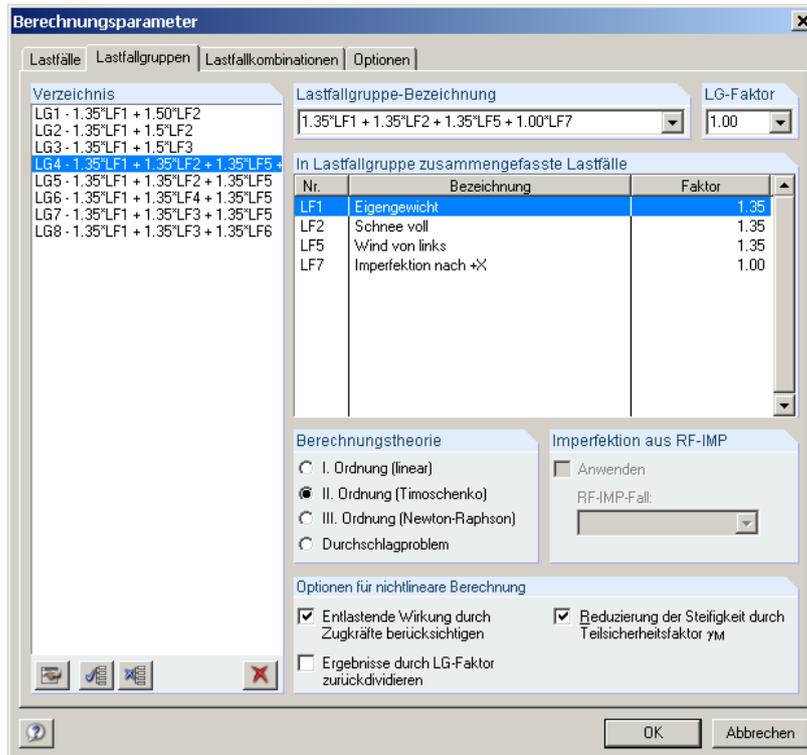


Bild 8.16: Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Lastfallgruppen*

Grundsätzliche Informationen zur Überlagerung von Lastfällen in Lastfallgruppen finden Sie im Kapitel 6.2 ab Seite 186.

Links im Abschnitt *Verzeichnis* befindet sich eine Liste aller existierenden Lastfallgruppen. Die Eigenschaften der hier selektierten Lastfallgruppen können in den rechts davon befindlichen Abschnitten bearbeitet werden. Mit der gedrückten [Strg]-Taste ist eine Mehrfachselektion möglich.

Die Abschnitte *Lastfallgruppe-Bezeichnung*, *LG-Faktor* und *In Lastfallgruppe zusammengefasste Lastfälle* sind im Kapitel 6.2 auf Seite 188 erläutert.

Berechnungstheorie

Dieser Abschnitt steuert, ob die Lastfallgruppe nach Theorie *I.*, *II.* oder *III. Ordnung* berechnet werden soll. Die Voreinstellung für Lastfallgruppen ist die nichtlineare Berechnung nach Theorie *II. Ordnung* (Timoschenko). Enthält das Modell Seilstäbe, wird Theorie *III. Ordnung* vorgeschlagen. Seile werden stets nach *III. Ordnung* berechnet, die übrigen Stäbe nach der gewählten Berechnungstheorie. Mit der Option *Durchschlagproblem* wird die Stabilitätsanalyse im Hinblick auf das Durchschlagversagen geführt.

Theorie II. Ordnung

Bei der „baustatischen“ Theorie *II. Ordnung* wird das Gleichgewicht am verformten System ermittelt, wobei die Verformungen als klein angenommen werden. Sind Normalkräfte im System vorhanden, wirken sich diese auf einen Zuwachs der Biegemomente aus. Die Berechnung nach Theorie *II. Ordnung* kommt also nur in solchen Fällen zum Tragen, in denen die Normalkräfte wesentlich größer sind als die Querkräfte. Das zusätzliche Biegemoment ΔM ergibt sich aus der Längskraft N und dem elastischen Hebelarm e_{el} .

$$\Delta M = N \cdot e_{el}$$

Gleichung 8.1

Bei druckbelasteten Systemen kommt es zu einem überlinearen Zusammenhang zwischen Beanspruchung und Schnittgrößen. Daher muss in der Regel mit γ -fachen Einwirkungen gerechnet werden.

Als Abbruchkriterium wird bei der Berechnung nach Theorie II. Ordnung die Normalkraftdifferenz in den einzelnen Iterationen verwendet. Bei Stabelementen wird die für Theorie II. Ordnung maßgebende, steifigkeitsändernde Normalkraft als konstant über den gesamten Stab angenommen. Sobald eine bestimmte Schranke der Normalkraftdifferenz unterschritten wird, endet die Berechnung. Diese Abbruchschranke kann im Register *Optionen* über die *Genauigkeit der Konvergenzschranke für nichtlineare Berechnung* beeinflusst werden.

Es 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 wird zur Ermittlung der Stabkennzahl ε der ungünstigste Wert für die Normalkraft N angesetzt.

Bei der Berechnung nach Theorie II. und III. Ordnung werden die Schnittgrößen auf das gedrehte Koordinatensystem des verformten Systems bezogen.

Theorie III. Ordnung (Newton-Raphson)

Die Theorie III. Ordnung, auch als ‚Theorie großer Verformungen‘ bezeichnet, berücksichtigt in der Analyse der Schnittkräfte Longitudinal- und Transversalkräfte. Wird die Berechnung nach Theorie III. Ordnung gewählt, unterliegen alle Flächen und Stäbe diesem Berechnungsansatz.

Es wird das Verfahren nach NEWTON-RAPHSON verwendet, wobei das nichtlineare Gleichungssystem numerisch über iterative Näherungen mit Tangenten gelöst wird. Das Konvergenzverhalten kann im Register *Optionen* über die Anzahl der Laststeigerungen beeinflusst werden.



Bei der Berechnung nach Theorie III. Ordnung wird die Steifigkeitsmatrix nach jedem Iterationsschritt für das verformte System gebildet. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass hier erhebliche Unterschiede zwischen lokal und global definierten Lasten bestehen: Man stelle sich eine horizontale Fläche vor, die durch eine Flächenlast gleichmäßig belastet wird. Wird die Last global in Z definiert, so behält die Last ihre Richtung bei, wenn sich die FE-Elemente verdrehen. Falls die Last jedoch in Richtung der lokalen Flächenachse z angesetzt wird, verdreht sich die Last auf dem Element entsprechend der Verdrehung des Elements.

Durchschlagproblem

Mit dieser Berechnungsoption wird die Stabilitätsanalyse im Hinblick auf das Durchschlagversagen geführt. Bei dieser Berechnungsvariante nach Theorie III. Ordnung wird der Einfluss der Normalkräfte für die Änderungen der Schub- und Biegesteifigkeit berücksichtigt. Dabei wird die tangentielle Steifigkeitsmatrix in jedem Iterationsschritt mit abgespeichert. Im Falle von Singularitäten (d. h. einer Instabilität) wird die Steifigkeitsmatrix des vorherigen Iterationsschrittes für neue geometrische, inkrementelle Iterationen verwendet, bis die tangentielle Steifigkeitsmatrix der aktuellen Anordnung regulär (stabil) wird.

Optionen für nichtlineare Berechnung

Die Optionen *Entlastende Wirkung durch Zugkräfte berücksichtigen*, *Ergebnisse durch LG-Faktor zurückdividieren* und *Reduzierung der Steifigkeit durch Teilsicherheitsfaktor γ_M* sind bei der Beschreibung des Registers *Lastfälle* auf Seite 249 erläutert.

8.3.3 Lastfallkombinationen

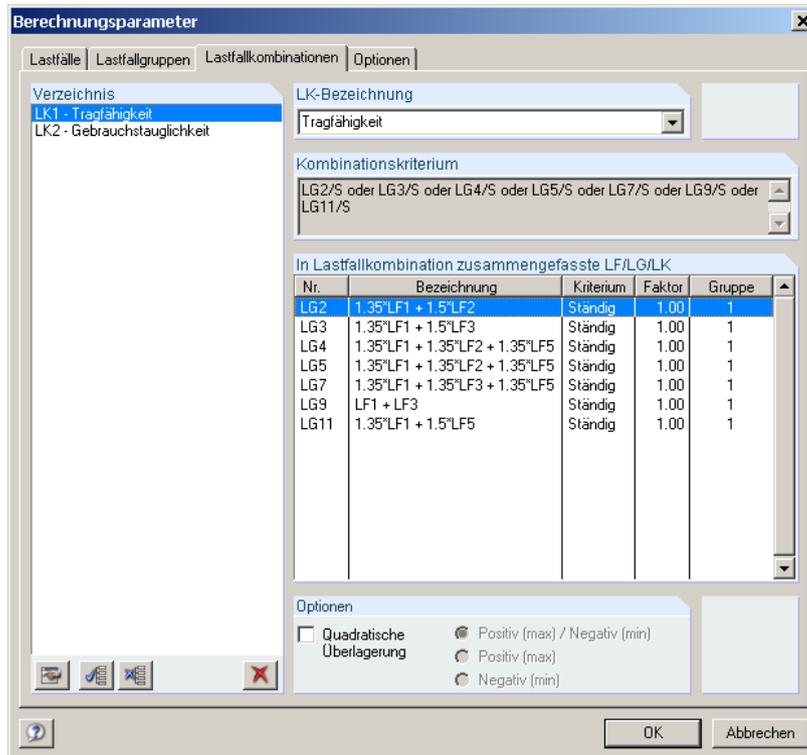


Bild 8.17: Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Lastfallkombinationen*

Grundsätzliche Informationen zur Überlagerung von Lastfällen in Lastfallkombinationen finden Sie im Kapitel 6.3 ab Seite 192.

Links im Abschnitt *Verzeichnis* befindet sich eine Liste aller existierenden Lastfallkombinationen. Die Eigenschaften der selektierten Lastfallkombination können in den rechts davon befindlichen Abschnitten bearbeitet werden. Eine Mehrfachselektion ist mithilfe der [Strg]-Taste möglich.

Die Abschnitte *LK-Bezeichnung*, *Kombinationskriterium* und *In Lastfallkombination zusammengefasste LF/LG/LK* sind im Kapitel 6.3 *Lastfallkombinationen* auf Seite 193 erläutert.

Optionen

Es kann die so genannte *Quadratische Überlagerung* aktiviert werden. Anstelle der üblichen additiven Überlagerung der Schnittgrößen gemäß

$$B = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Gleichung 8.2

wird bei der quadratischen Überlagerung die pythagoräische Summe gebildet:

$$B = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}$$

Gleichung 8.3

Die quadratische Überlagerung von Schnittgrößen wird bei dynamischen Untersuchungen relevant, beispielsweise bei Kombinationen von Lastfällen infolge von Zentrifugalkräften.

Ist die quadratische Überlagerung aktiviert, kann anhand der *Positiv/Negativ*-Kontrollfelder gesteuert werden, welche Extremwerte bei der Kombination berücksichtigt werden sollen.

8.3.4 Optionen

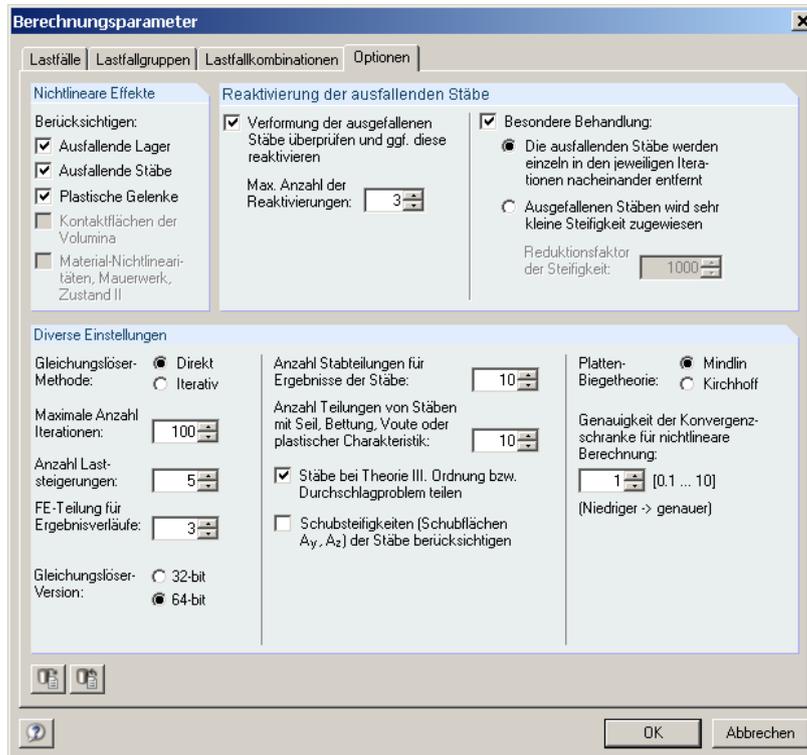


Bild 8.18: Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Optionen*

Nichtlineare Effekte

Wenn nichtlineare Elemente verwendet werden (z. B. Lager mit Ausfallkriterium, Zugstäbe, Materialien mit physikalischen Nichtlinearitäten), dann kann hier deren Wirkung deaktiviert werden. Dies sollte allerdings nur zu Testzwecken erfolgen. Falsch definierte ausfallende Elemente sind nicht selten die Ursache für Instabilitäten. Die Optionen in diesem Abschnitt helfen bei der Fehlersuche.

Reaktivierung der ausfallenden Stäbe

Diese Einstellungen sind für Stabelemente der Struktur bedeutsam, die ausfallen können (beispielsweise Zug- und Druckstäbe oder elastische Bettungen). Mit den hier angebotenen Möglichkeiten lassen sich häufig Instabilitätsprobleme lösen, die durch ausfallende Stäbe verursacht werden: Eine Struktur ist beispielsweise durch Zugstäbe stabilisiert. Diese erhalten im ersten Berechnungsdurchgang allesamt kleine Druckkräfte. Daher werden sie aus dem System entfernt. Im zweiten Rechengang wird die Struktur dann ohne diese Zugstäbe instabil.

Verformung der ausgefallenen Stäbe überprüfen und ggf. diese reaktivieren

Ist dieses Kontrollfeld aktiviert, wird in jeder Iteration untersucht, wie sich die Stabenden bewegen. Falls sich die Stabenden eines Zugstabes voneinander entfernen, wird dieser wieder eingeführt.

Maximale Anzahl der Reaktivierungen

In manchen Fällen kann sich das Wiedereinführen unvorteilhaft auswirken: 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 wird unterbunden, indem man in diesem Eingabefeld festlegt, wie oft ein Stabelement wieder eingeführt werden darf, ehe es endgültig aus der Steifigkeitsmatrix genommen wird.

Besondere Behandlung

Wenn das Kontrollfeld *Besondere Behandlung* aktiviert ist, stehen zwei weitere Methoden zum Umgang mit ausfallenden Elementen zur Verfügung. Diese können mit den oben beschriebenen Methoden der Reaktivierung kombiniert werden.

Ausfallende Stäbe werden einzeln in den Iterationen nacheinander entfernt

Ist dieses Auswahlfeld aktiviert, werden nach der ersten Iteration z. B. nicht alle Zugstäbe mit einer Druckkraft auf einmal entfernt, sondern nur derjenige Zugstab mit der größten Druckkraft. In der zweiten Iteration fehlt dann nur ein Stab in der Steifigkeit. Danach wird wieder der Zugstab mit der größten Druckkraft entfernt. Auf diese Weise zeigt das System in der Regel ein besseres Konvergenzverhalten, da sich auch Umlagerungseffekte einstellen.



Diese Berechnungsvariante ist zeitaufwändiger, da eine größere Anzahl von Iterationen durchlaufen werden muss. Es muss zudem sichergestellt sein, dass unterhalb im Abschnitt *Diverse Einstellungen* eine ausreichende Anzahl möglicher Iterationen zugelassen ist.

Ausgefallenen Stäben wird sehr kleine Steifigkeit zugewiesen

Wenn dieses Auswahlfeld aktiviert ist, werden die ausgefallenen Elemente nicht aus der Steifigkeitsmatrix entfernt. Es wird ihnen vielmehr eine sehr kleine Steifigkeit zugewiesen, die man im Eingabefeld *Reduktionsfaktor der Steifigkeit* festlegen kann. Der Faktor 1000 bedeutet beispielsweise, dass die Steifigkeit auf 1/1000 reduziert wird.

Bei dieser Berechnungsoption muss man sich bewusst sein, dass z. B. kleine Schnittgrößen an Stäben ausgewiesen werden, die der Stab durch seine Definition eigentlich gar nicht aufnehmen kann.

Diverse Einstellungen

Gleichungslösermethode

Mit dem Auswahlfeld *Gleichungslösermethode* kann festgelegt werden, welche Methode für die Berechnung verwendet werden soll: *Direkt* oder *Iterativ*. Um Missverständnissen vorzubeugen: Auch bei der direkten Gleichungslösermethode erfolgt eine iterative Berechnung, falls Nichtlinearitäten definiert sind oder nach Theorie II. und III. Ordnung gerechnet wird. „Direkt“ und „iterativ“ beziehen sich auf die Datenverwaltung während der Berechnung, qualitativ sollte kein Unterschied in den Ergebnissen bestehen.

Welche Gleichungslösermethode schneller zu Ergebnisse führt, hängt von der Größe des Systems sowie von der Größe des zur Verfügung stehenden Hauptspeichers (RAM) ab:

- Bei kleinen und mittelgroßen Systemen ist die *direkte* Methode effektiver.
- Bei sehr großen Systemen führt die *iterative* Methode schneller zu Ergebnissen.

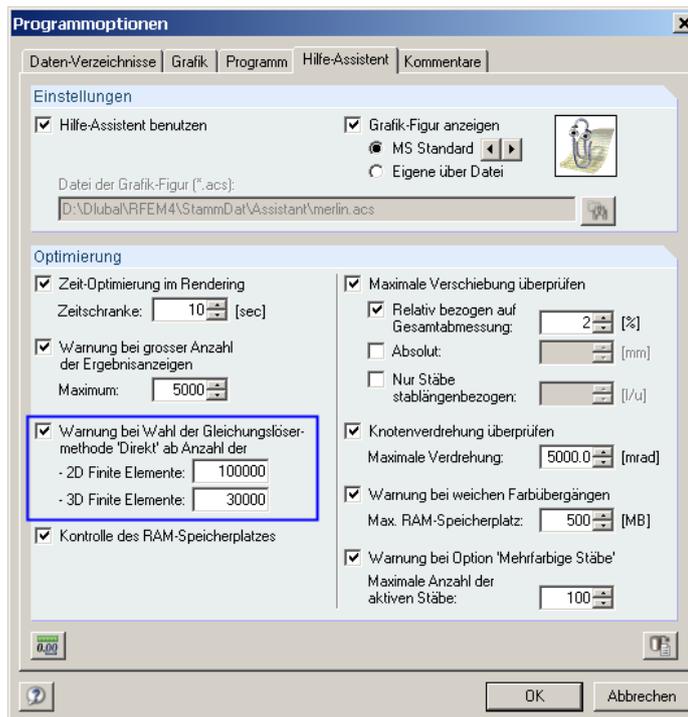
Sobald bei der direkten Methode die Matrizen nicht mehr im Hauptspeicher untergebracht werden können, beginnt Windows, Teile des Hauptspeichers auf die Festplatte auszulagern. Dies erkennt man an starken Festplattenaktivitäten und an einer geringen Prozessorauslastung im Windows Task-Manager. Durch eine Umstellung auf die iterative ICG (*Incomplete Conjugate Gradient*) Berechnungsmethode lässt sich dieses Speicherproblem vermeiden.

RFEM 4 nutzt einen neuen Rechenkern für die direkte Berechnungsmethode, wodurch bei einem 64-Bit-Betriebssystem mehr RAM-Speicher genutzt werden kann. Damit lassen sich auch bei großen Systemen alle Lastfälle und Lastfallgruppen, die keine nichtlinearen Elemente aufweisen, direkt berechnen, was mit einem erheblichen Zeitvorteil verbunden ist.

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Auslagerungsdatei ausreichend groß ist bzw. dass die Größe von Windows automatisch festgelegt werden kann. Eine zu kleine Auslagerungsdatei kann es in Extremfällen zu Programmabstürzen führen.



Über Menü **Optionen** → **Programmoptionen** oder die links dargestellte Schaltfläche wird der Dialog *Programmoptionen* aufgerufen. In dessen Register *Hilfe-Assistent* ist es möglich, eine benutzerdefinierte Anzahl von 2D- und 3D-Elementen festzulegen, ab der RFEM im Fall der direkten Berechnungsmethode eine Warnung vor der Berechnung anzeigt.

Bild 8.19: Dialog *Programmoptionen*, Register *Hilfe-Assistent*

Maximale Anzahl Iterationen

Wenn die Analyse nach Theorie II. oder III. Ordnung erfolgt oder das Modell nichtlineare Elemente enthält, muss iterativ gerechnet werden. In diesem Eingabefeld wird die maximal mögliche Anzahl an Rechendurchläufen festgelegt. Diese Vorgabe hat nichts mit der oben beschriebenen iterativen Berechnungsmethode zu tun.

Falls die Obergrenze erreicht wird, ohne dass sich ein Gleichgewicht einstellen konnte, wird am Ende der Berechnung eine entsprechende Meldung ausgegeben. Die Ergebnisse werden dann trotzdem angezeigt.

Anzahl Laststeigerungen

Die Vorgaben dieses Eingabefeldes sind nur wirksam, wenn Berechnungen nach Theorie II. oder III. Ordnung durchgeführt werden. 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 in diesem Eingabefeld zwei Laststeigerungen vorgesehen sind, wird zunächst im ersten Schritt die Hälfte der Last aufgebracht. Es wird so lange iteriert, bis das Gleichgewicht gefunden ist. Dann wird in einem zweiten Schritt auf das bereits verformte System der Rest der Belastung aufgebracht und wieder bis zum Gleichgewicht iteriert.

Damit wird deutlich, dass die Verwendung von Laststeigerungsstufen die Rechenzeit erheblich verlängert. Aus diesem Grund ist in diesem Eingabefeld eine 1 (also keine stufenweise Laststeigerung) voreingestellt.

FE-Teilung für Ergebnisverläufe

Der Wert in diesem Eingabefeld beeinflusst die Genauigkeit der grafischen Verläufe innerhalb der FE-Elemente.

Im folgenden Beispiel ist die Teilung 0 gewählt:

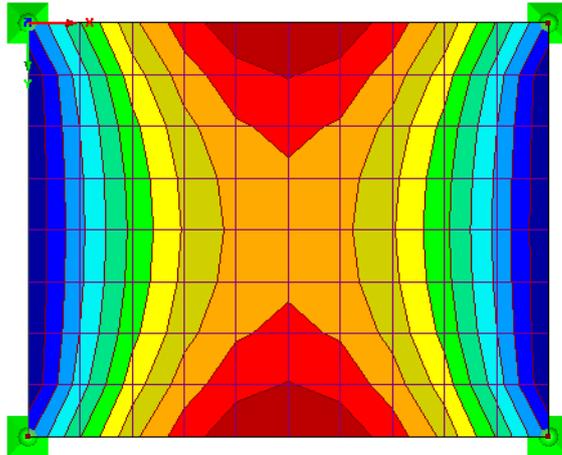


Bild 8.20: Grafischer Ergebnisverlauf m-x mit Teilung 0

Mit der Teilung 3 ist der Verlauf genauer:

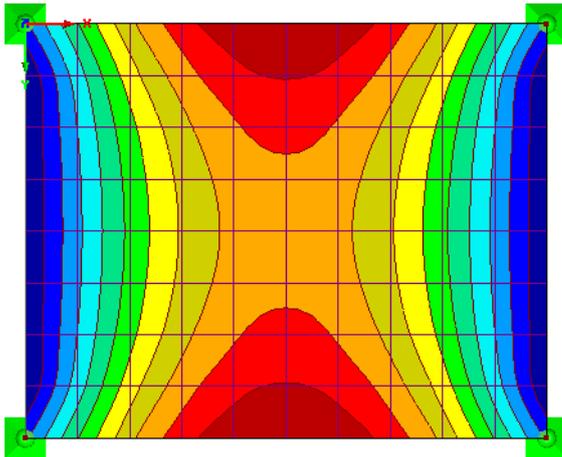


Bild 8.21: Grafischer Ergebnisverlauf m-x mit Teilung 3

Anzahl Stabteilungen für Ergebnisse der Stäbe

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 Stabes 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 ebenfalls eine Möglichkeit zur Teilung von Stäben (vgl. Bild 8.9, Seite 244). Diese Teilung fließt jedoch bereits in die Berechnung ein, sofern FE-Knoten an freien Stäben erzeugt werden. Diese führen zu den jeweiligen Schnittgrößen in den FE-Knoten der Stäbe.

Anzahl Teilungen von Stäben mit Seil, Bettung, Voute oder plastischer Charakteristik

Im Gegensatz zur vorherigen Teilungsoption wird hier eine echte Teilung des Stabes durch interne Zwischenknoten vorgenommen. Diese Angabe wirkt sich auf Seile, Bettungsstäbe (Sohlspannungen), Voutenstäbe (Interpolation der Querschnittswerte) und Stäbe mit plastischen Eigenschaften (Fließbereiche) aus, sofern diese Stäbe nicht schon anderweitig in FE-Elemente geteilt sind. Wenn ein Stab also an der Begrenzungslinie einer Fläche angeordnet ist oder für die Definitionslinie eine FE-Netzverdichtung besteht, ist diese Angabe irrelevant.

Stäbe bei Theorie III. Ordnung bzw. Durchschlagproblem teilen

Mit dieser Option lassen sich Balkenstäbe für die Berechnung nach Theorie III. Ordnung durch Zwischenknoten teilen, um so diese Stäbe mit einer höheren Genauigkeit zu erfassen. Die Anzahl der Stabteilungen wird vom Eingabefeld oberhalb übernommen.

Schubsteifigkeiten (Schubflächen A_1 , A_2) der Stäbe berücksichtigen

Werden die Schubsteifigkeiten berücksichtigt, wirken sich diese als Verformungszuwachs infolge Schub aus. In der Regel spielt dieser bei Walz- und Schweißprofilen kaum eine Rolle, weshalb das Kontrollfeld inaktiv voreingestellt ist. Bei massiven Querschnitten empfiehlt es sich jedoch, die Schubsteifigkeiten zu berücksichtigen.

Platten-Biegetheorie

Die Flächen können gemäß der Biegetheorie nach MINDLIN oder nach 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 zu empfehlen (z. B. Bleche im Stahlbau).

Genauigkeit der Konvergenzschranke für nichtlineare Berechnung

Über die *Konvergenzschranke* kann Einfluss auf die Berechnung genommen werden, falls nichtlineare Effekte auftreten oder die Analyse nach Theorie II. bzw. III. Ordnung erfolgt.

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.

Voreingestellt ist der Faktor 1,0. Als minimaler Wert für diesen Faktor ist 0,1 zulässig, als maximaler Wert 10,0. Je größer der Wert, desto unempfindlicher ist die Abbruchschranke.

Dieser Faktor beeinflusst auch das Konvergenzkriterium für Verformungsänderungen bei der Berechnung nach Theorie III. Ordnung, die geometrische Nichtlinearitäten berücksichtigt.

8.4 Starten der Berechnung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Berechnung zu starten. Vorher ist jedoch eine kurze Plausibilitätskontrolle der Eingabedaten zu empfehlen (vgl. Kapitel 8.1.1, Seite 238).

Alles berechnen

Diese Funktion wird gestartet über Menü

Berechnung → **Alles berechnen**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 8.22: Schaltfläche [Alles berechnen]

Dieser Befehl startet die Berechnung aller Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen sowie sämtlicher Zusatzmodule, für die Eingabedaten vorliegen.

Mit dieser Funktion sollte vorsichtig umgegangen werden. Viele Lastfälle können nicht isoliert auftreten. Windlasten beispielsweise wirken immer zusammen mit dem Eigengewicht. Bei Systemen, die auf Zug ausfallende Lagerungen haben, wären dann bei der sukzessiven Berechnung aller Einzellastfälle häufig Instabilitäten die Folge.

Die unbedachte Verwendung der Funktion *Alles berechnen* kann zudem zu unnötig langen Rechenzeiten führen.

Ausgewählte Lastfälle berechnen

Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Berechnung → **Zu berechnen.**

Es erscheint der folgende Dialog:

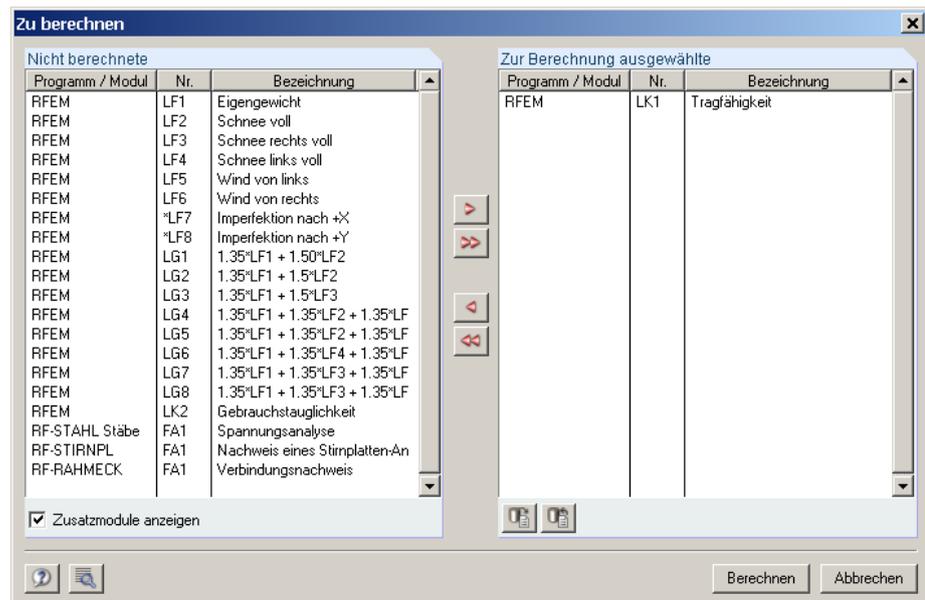


Bild 8.23: Dialog *Zu berechnen*



Links sind alle Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen sowie Berechnungsfälle der Zusatzmodule aufgelistet, für die noch keine Ergebnisse vorliegen. Mit der Schaltfläche [▶] werden die selektierten Einträge zur Liste *Zur Berechnung ausgewählte* rechts hinzugefügt. Die Auswahl kann auch per Doppelklick erfolgen. Die Schaltfläche [▶▶] übergibt die komplette Liste nach rechts.

Werden Lastfallkombinationen oder Berechnungsfälle von Zusatzmodulen ausgewählt, die Ergebnisse aus Lastfällen erfordern, so werden diese Lastfälle automatisch berechnet.

Falls Lastfälle mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet sind wie beispielsweise die Lastfälle 7 und 8 in Bild 8.23, so können diese nicht berechnet werden. Dies ist der Fall, wenn keine Lasten definiert sind oder wenn es sich wie im Beispiel um Imperfektionslastfälle handelt.

Sollten die Berechnungsfälle der Zusatzmodule in der Liste *Nicht berechnete* fehlen, muss das Kontrollfeld *Zusatzmodule anzeigen* aktiviert werden.



Diese Schaltfläche ruft den Dialog *Berechnungsparameter* auf (siehe Kapitel 8.3, Seite 248).

Aktuellen Lastfall berechnen



Wenn nur die Ergebnisse eines bestimmten Lastfalls oder einer bestimmten Lastfallgruppe von Interesse sind, kann deren Berechnung direkt gestartet werden. Stellen Sie den Lastfall in der Liste der Symbolleiste ein und klicken dann auf die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus].



Bild 8.24: Lastfall direkt berechnen über Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus]

Nach der Meldung, dass keine Ergebnisse vorliegen, kann die Berechnung erfolgen.



Bild 8.25: Abfrage vor der Berechnung

Der Berechnungsablauf wird in in einem Fenster angezeigt. Die grünen bzw. roten Vertikalbalken rechts im Fenster visualisieren das Konvergenzverhalten während der Berechnung.

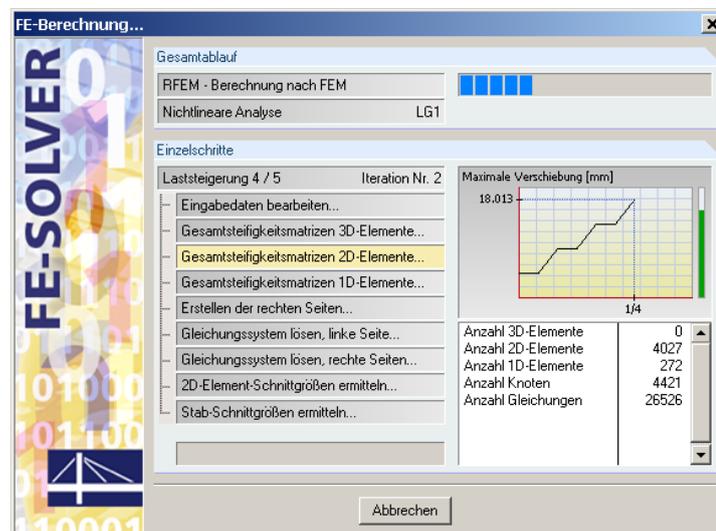


Bild 8.26: Ablauf der Berechnung

9. Ergebnisse



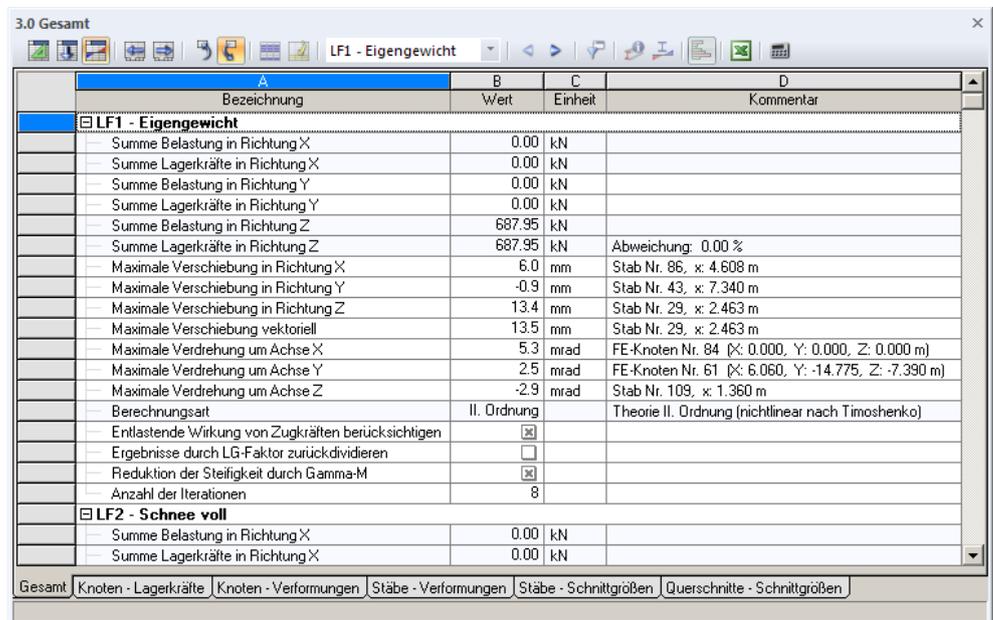
Nach der Berechnung werden der *Ergebnisse*-Navigator (siehe Kapitel 4.4.3, Seite 74) und die Tabellen mit den numerischen Ergebnissen (siehe Kapitel 4.4.4, Seite 75) angezeigt.

Es ist zu beachten, dass es sich bei der FEM-Analyse um ein Näherungsverfahren handelt. Die Ergebnisse müssen stets mit Ingenieurverstand kritisch auf ihre Plausibilität hin überprüft und interpretiert werden.

Die Nummerierung dieses Handbuchkapitels ist an die der Ergebnistabellen angeglichen, sodass die Beschreibungen der einzelnen Register schnell gefunden werden können.

9.0 Zusammenfassung

Die Tabelle 3.0 *Zusammenfassung* liefert eine nach Lastfällen und Lastfallgruppen geordnete Bilanz des Berechnungsverlaufes.



A	B	C	D
Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
LF1 - Eigengewicht			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	687.95	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	687.95	kN	Abweichung: 0.00 %
Maximale Verschiebung in Richtung X	6.0	mm	Stab Nr. 86, x: 4.608 m
Maximale Verschiebung in Richtung Y	-0.9	mm	Stab Nr. 43, x: 7.340 m
Maximale Verschiebung in Richtung Z	13.4	mm	Stab Nr. 29, x: 2.463 m
Maximale Verschiebung vektoriell	13.5	mm	Stab Nr. 29, x: 2.463 m
Maximale Verdrehung um Achse X	5.3	mrad	FE-Knoten Nr. 84 (x: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um Achse Y	2.5	mrad	FE-Knoten Nr. 61 (x: 6.060, Y: -14.775, Z: -7.390 m)
Maximale Verdrehung um Achse Z	-2.9	mrad	Stab Nr. 109, x: 1.360 m
Berechnungsart	II. Ordnung		Theorie II. Ordnung (nichtlinear nach Timoshenko)
Entlastende Wirkung von Zugkräften berücksichtigen	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ergebnisse durch LG-Faktor zurückdividieren	<input type="checkbox"/>		
Reduktion der Steifigkeit durch Gamma-M	<input checked="" type="checkbox"/>		
Anzahl der Iterationen	8		
LF2 - Schnee voll			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0.00	kN	

Bild 9.1: Tabelle 3.0 *Zusammenfassung*

In dieser Übersicht sind die Kontrollsummen von Belastung und Lagerkräften gegenübergestellt. Die prozentuale Abweichung sollte in jede Richtung weniger als 1 % betragen. Ist dies nicht der Fall, liegen numerische Probleme infolge großer Steifigkeitsunterschiede vor. Es ist auch möglich, dass die Struktur über eine unzureichende Stabilität verfügt oder dass die Berechnung die maximale Anzahl der Iterationen erreicht hat, ohne zu konvergieren.

Weiterhin werden in dieser 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 auf einen Blick einschätzen.

Die lastfallweise Zusammenfassung wird jeweils durch die angesetzten Berechnungsparameter vervollständigt. Von Bedeutung ist hier die ausgewiesene *Anzahl der Iterationen*, die zur Ermittlung des jeweiligen Ergebnisses benötigt wurde.

Die Tabelle wird abgeschlossen durch die *Gesamt*-Bilanz mit ausgewählten Parametern des Rechenkerns sowie den global gültigen Berechnungsvorgaben (vgl. Register *Optionen* im Dialog *Berechnungsparameter*: Bild 8.18, Seite 253).

9.1 Knoten - Lagerkräfte

Die grafische Anzeige der Reaktionen an allen gelagerten Knoten wird über den Eintrag *Lagerreaktionen* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. In numerischer Form werden die Lagerkräfte und -momente in der Tabelle 3.1 ausgegeben.

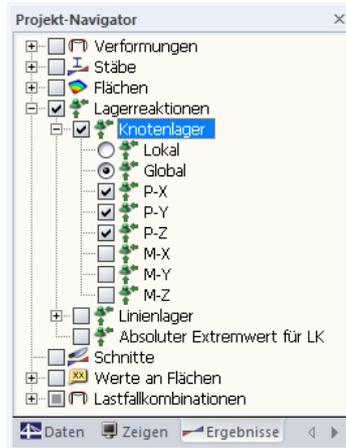


Bild 9.2: *Ergebnisse*-Navigator: Lagerreaktionen → Knotenlager

Knoten Nr.	Lagerkräfte [kN]			Lagermomente [kNm]			G
	P _X	P _Y	P _Z	M _X	M _Y	M _Z	
1	-18.51	2.14	96.08	0.00	0.00	0.01	
2*	18.73	1.12	63.82	0.03	-0.01	0.03	φ _X = 15.00°, φ _Y = 45.00°
14	-27.20	-0.17	145.02	0.00	0.00	-0.01	
15	26.99	-0.01	94.37	0.00	0.00	0.01	
40	-24.78	-0.01	128.98	0.00	0.00	-0.01	
41	24.78	0.01	84.98	0.00	0.00	0.01	
53	-27.41	0.14	145.26	0.00	0.00	-0.01	
54	27.41	0.09	95.12	0.00	0.00	0.01	
79	-18.47	-2.21	96.16	0.00	0.00	-0.03	
80	18.47	-1.10	63.31	0.00	0.00	0.02	
Σ Lager	0.00	0.00	1013.10				
Σ Lasten	0.00	0.00	1013.10				

Bild 9.3: Tabelle 3.1 *Knoten - Lagerkräfte*



Der Lastfall, dessen Lagerreaktionen angezeigt werden sollen, wird in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt.

Lagerkräfte P_X / P_Y / P_Z

In diesen drei Tabellenspalten werden die Auflagerkräfte knotenweise aufgelistet. Die Kräfte sind im Regelfall auf die Achsen X, Y und Z des globalen Koordinatensystems bezogen. Zur Tabellenanzeige der auf die lokalen Lagerachsen X', Y' und Z' bezogenen Kräfte ist die Umstellung im *Ergebnisse*-Navigator vorzunehmen.

Bei Lagerdrehungen sind die Knoten wie im Bild oben gezeigt mit einem Sternchen (*) markiert. Die Kräfte werden dennoch auf das gewählte Achsensystem bezogen ausgegeben. In der letzten Tabellenspalte wird der Drehwinkel des Lagers angezeigt.



In der Tabelle werden die Kräfte ausgegeben, die in das Auflager eingeleitet werden. Hier handelt es sich also vorzeichenmäßig nicht um die Reaktionskräfte vonseiten des Lagers. 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 somit sozusagen die Fundamentlasten dar.

Die grünen Vektoren in der Grafik hingegen stellen die Reaktionskräfte vonseiten der Lager dar. Die Komponenten der Lagerreaktionen werden durch die Größe und Richtung der Vektoren repräsentiert.

Die Vorzeichen der Lagerreaktionen können in der Ergebnisgrafik mit angezeigt werden. Diese Option ist im *Zeigen*-Navigator unter dem Eintrag *Ergebnisse* zugänglich.

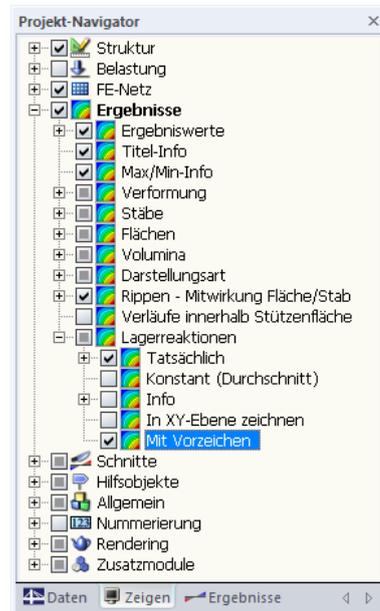


Bild 9.4: *Zeigen*-Navigator: Ergebnisse → Lagerreaktionen → Mit Vorzeichen

Diese Vorzeichen in der Grafik sind auf das globale XYZ- bzw. das gedrehte lokale X'Y'Z'-Achsensystem bezogen. Eine positive Lagerreaktion erfolgt in Richtung der jeweiligen positiven Achse. Eine Windlast entgegen der globalen X-Achse hat beispielsweise eine positive Lagerreaktion P_x zur Folge

Es empfiehlt sich, diese Vorzeichen nur zu Kontrollzwecken einzublenden. Sie könnten zu missverständlichen Interpretationen führen, da die Vektoren bereits mit Vorzeichen behaftet sind. Die Vorzeichen in der Grafik sind als eine Ergänzung zur Vektordarstellung gedacht: Sie geben bei den Werten die Richtungen im Bezug auf die globalen Achsen an.

Lagermomente M_x / M_y / M_z

In diesen drei Spalten werden die Auflagermomente knotenweise aufgelistet. Die Momente sind im Regelfall auf die Achsen X, Y und Z des globalen Koordinatensystems bezogen. Zur Tabellenanzeige der auf die lokalen Lagerachsen X', Y' und Z' bezogenen Momente ist die Umstellung im *Ergebnisse*-Navigator vorzunehmen.

In der Tabelle werden die Momente ausgegeben, die in das Knotenlager eingeleitet werden. Hier handelt es 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 somit die Fundamentlasten dar.

In der Grafik werden Reaktionsmomente vonseiten der Auflager dargestellt. Die Komponenten der Lagerreaktionen können *global* auf das XYZ-Achsensystem oder *lokal* auf das X'Y'Z'-Achsensystem gedrehter Knotenlager bezogen werden.

Auch für die Auflagermomente können die Vorzeichen in der Grafik mit angezeigt werden (siehe Bild 9.4). Ein positives Lagermoment wirkt rechtsschraubig um die jeweilige positive globale Achse. Hier gilt ebenso wie bei den Lagerkräften, dass die Vektoren bereits vorzeichenbehaftet sind und die Werteangaben deshalb unabhängig davon zu betrachten sind: Die Vorzeichen geben die Richtungen der Momente im Bezug auf die globalen Achsen an.

Anstelle der vektoriellen Anzeige ist auch eine Bogendarstellung möglich. Die Einstellung erfolgt über Menü

Optionen → Anzeigeeigenschaften → Bearbeiten.

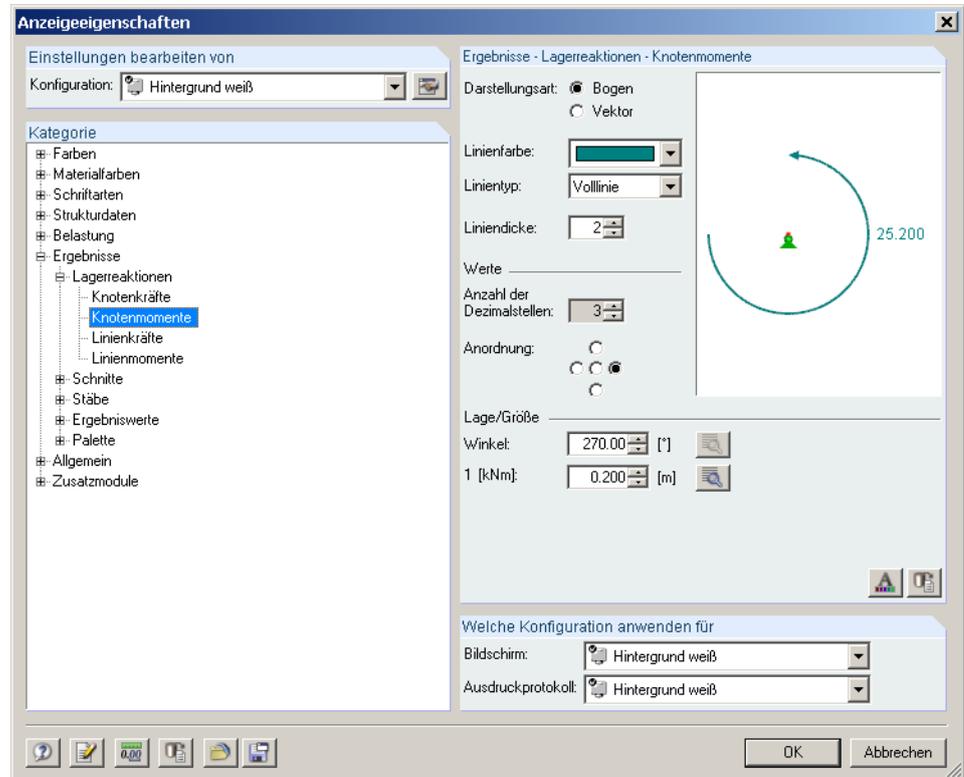


Bild 9.5: Dialog *Anzeigeeigenschaften*: Knotenmomente in Bogendarstellung

Stellen Sie im Dialog links die *Kategorie* Ergebnisse → Lagerreaktionen → Knotenmomente ein und wählen dann rechts oben die Darstellungsart *Bogen*.

Die Ergebnisspalten der Lagerkräfte und -momente sind teilweise rot oder blau hinterlegt. Diese Balken repräsentieren grafisch die jeweiligen Ergebniswerte. Sie sind auf die Extremwerte aller Knotenlager skaliert. Negative Kräfte und Momente werden durch einen roten Balken, positive durch einen blauen Balken symbolisiert.

Die farbigen Balken können ein- und ausgeschaltet werden über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

Wurde der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert, so werden nur die relevanten Spalten der Lagerkräfte und -momente angezeigt.

Gedrehte Knotenlager und Kontrollsummen

In der letzten Tabellenspalte werden die Drehwinkel gedrehter Knotenlager angegeben (vgl. Bild 9.3). Diese Knoten sind mit einem Sternchen (*) gekennzeichnet.

Bei Lastfällen und Lastfallgruppen werden ganz am Ende der Tabelle die Kontrollsummen von Lasten und Lagerreaktionen ausgewiesen. Sind auch Linienlager und elastisch gebettete Stäbe oder Flächen im Modell vorhanden, so werden hier Differenzen bestehen. Für die Gesamtbilanz sind auch die Lagersummen der übrigen Ergebnistabellen zu berücksichtigen.





Lagerkräfte als Last übernehmen

Die Knotenlagerkräfte und -momente können in einer weiteren RFEM-Position als Lasten angesetzt werden. Damit besteht die Möglichkeit einer stockwerksweisen Lastübernahme für die statische Untersuchung von 2D-Deckenplatten. Eine ausführliche Beschreibung dieser Funktion finden Sie im folgenden Kapitel 9.2 auf Seite 267.

In der Zielposition werden die Knotenlagerkräfte als freie Einzellasten angesetzt.

9.2 Linien - Lagerkräfte

Die grafische Anzeige der Reaktionen an allen gelagerten Linien wird über den Eintrag *Lagerreaktionen* im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. In numerischer Form werden die Lagerkräfte und -momente in der Tabelle 3.2 ausgegeben.

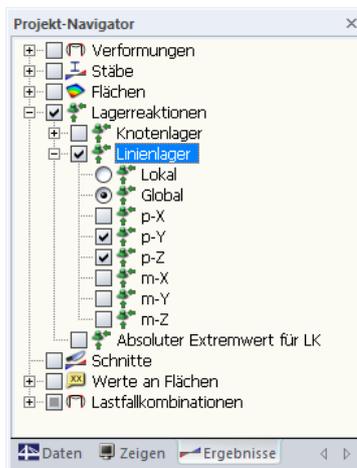


Bild 9.6: *Ergebnisse*-Navigator: Lagerreaktionen → Linienlager

3.2 Linien - Lagerkräfte

LG1 - Bemessungswert

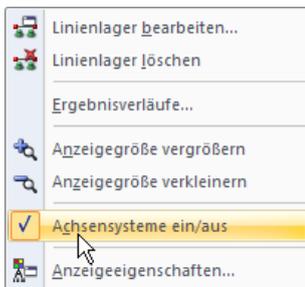
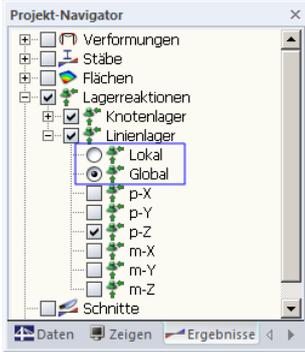
Linie Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Lagerkräfte [kN/m]			Lagermomente [kNm/m]			
			p _X	p _Y	p _Z	m _X	m _Y	m _Z	
16	17	0.000	-104.29	-26.07	117.82	0.00	0.00	11.86	
		0.478	-126.13	-46.19	0.00	0.00	0.00	5.19	
		0.956	-110.84	-47.67	0.00	0.00	0.00	3.17	
		1.433	-85.73	-42.77	0.00	0.00	0.00	0.82	
		1.911	-59.79	-29.63	0.00	0.00	0.00	-0.78	
		2.389	-40.04	-13.14	0.00	0.00	0.00	-1.57	
		2.867	-28.74	0.88	0.00	0.00	0.00	-1.72	
		3.344	-24.37	8.89	0.00	0.00	0.00	-1.42	
		18	3.822	-23.29	9.81	6.96	0.00	0.00	-0.80
			4.300	-22.29	4.44	21.72	0.00	0.00	0.06
		4.778	-22.09	-0.53	23.83	0.00	0.00	1.20	
		5.255	-28.89	5.93	10.36	0.00	0.00	2.67	
		5.733	-51.51	28.05	1.29	0.00	0.00	4.38	
		6.211	-97.72	59.92	0.00	0.00	0.00	6.02	
		6.689	-142.69	76.97	22.39	0.00	0.00	7.43	
		7.166	-154.34	68.16	67.15	0.00	0.00	8.40	
		7.644	-647.23	238.60	960.53	0.00	0.00	4.72	
		Σ Lager		-1036.80	1.09	1422.10			
Σ Lasten		-1036.80	0.00	1637.90					

Gesamt | Knoten - Lagerkräfte | Linien - Lagerkräfte | Knoten - Verformungen | Stäbe - Verformungen | Stäbe - Schnittgrößen

Bild 9.7: Tabelle 3.2 *Linien - Lagerkräfte*

LF4 - Schnee links voll

Der Lastfall, dessen Lagerreaktionen angezeigt werden sollen, wird in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt.



Linienlager-Kontextmenü

Stelle x

Sämtliche Lagerkräfte werden nach Linien geordnet aufgelistet. Die einzelnen x-Stellen in dieser Spalte basieren auf den Abständen der FE-Knoten entlang der Linie. Sie sind auf den Anfangsknoten der Linie bezogen. Das Flächenraster ist für die Linienlagerkräfte irrelevant.

Lagerkräfte p_x / p_y / p_z

In diesen drei Spalten werden die Lagerkräfte nach Linien geordnet aufgelistet. Die Kräfte können entweder auf die globalen Achsen X, Y und Z oder die lokalen Linienachsen x, y und z bezogen werden. Bei lokalem Bezug werden die Lagerkräfte als p_x , p_y und p_z bezeichnet. Der Achsenbezug in der Tabelle wird über den *Ergebnisse*-Navigator gesteuert.

In der Tabelle werden die Kräfte ausgegeben, die in das Auflager eingeleitet werden. Hier handelt es sich also vorzeichenmäßig nicht um die Reaktionskräfte vonseiten des Lagers. Werden die Lagerkräfte global bezogen angezeigt, ergeben sich die Vorzeichen aus den Richtungen 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 somit sozusagen die Fundamentlasten dar.

Werden die lokalen Lagerkräfte p_x , p_y und p_z angezeigt, so sind die Kräfte auf die Linienachsen x, y und z bezogen. Die Vorzeichen in der Tabelle für die eingeleiteten Kräfte ergeben sich demzufolge aus den Richtungen der lokalen Linienachsen. Diese können über das Linienlager-Kontextmenü oder den *Zeigen*-Navigator einblendend werden.

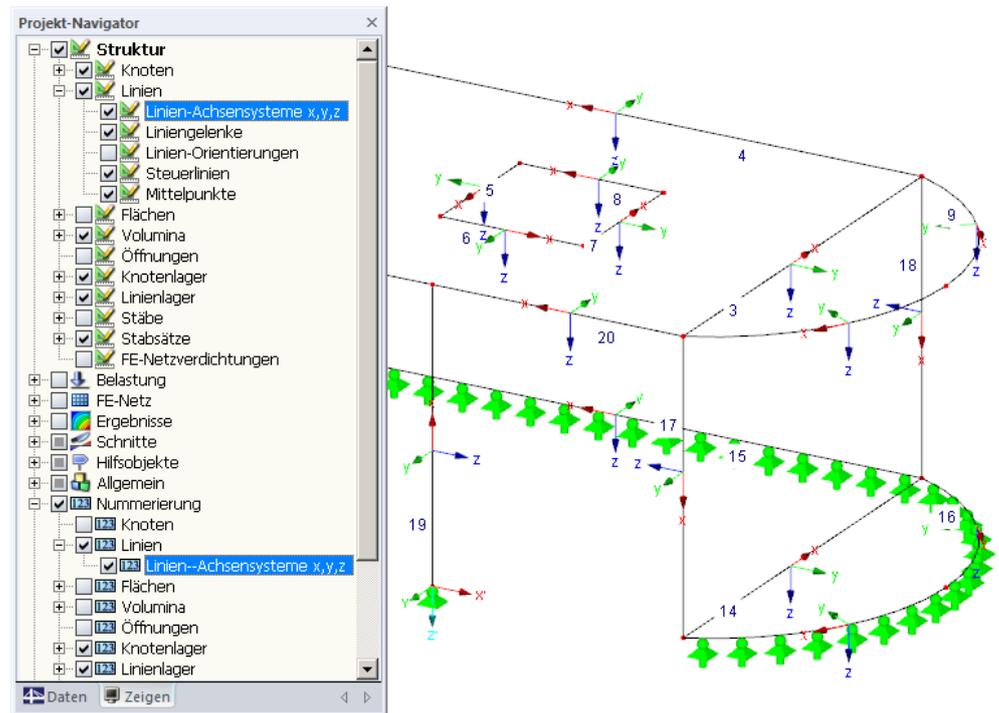


Bild 9.8: Aktivieren der lokalen Linienachsensysteme im *Zeigen*-Navigator

Die grünen Vektoren in der Grafik hingegen stellen die Reaktionskräfte vonseiten der Lager dar. Die Komponenten der Lagerreaktionen werden durch die Größe und Richtung der Vektoren repräsentiert.

Lagermomente $m_x / m_y / m_z$

In diesen drei Spalten werden die Auflagermomente jeder gelagerten Linie aufgelistet. Die Momente sind ebenfalls auf das globale XYZ-Achsensystem oder das lokale xyz-Linienachsensystem 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 Linienlager eingeleitet werden. Hier handelt es sich wie bei den Lagerkräften vorzeichenmäßig nicht um die Reaktionen vonseiten des Lagers.

In der Grafik hingegen werden die Reaktionsmomente vonseiten der Linienlager dargestellt. Diese werden als Vektoren angezeigt, eine Bogendarstellung ist nicht möglich.

Die Ergebnisspalten der Lagerkräfte und -momente sind teilweise rot oder blau hinterlegt. Diese Balken repräsentieren grafisch die jeweiligen Ergebniswerte. Sie sind auf die Extremwerte aller Linienlager skaliert. Negative Kräfte und Momente werden durch einen roten Balken, positive durch einen blauen Balken symbolisiert.



Die farbigen Balken können ein- und ausgeschaltet werden über Menü

Tabelle → **Ansicht** → **Farb-Relationsbalken**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

Wurde der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert, so werden nur die relevanten Spalten der Lagerkräfte und -momente angezeigt.

Bei Lastfällen und Lastfallgruppen werden ganz am Ende dieser Tabelle die Kontrollsummen der Lasten und Lagerreaktionen ausgewiesen. Diese sind stets auf das globale Achsensystem bezogen. Sind auch Knotenlager und elastisch gebettete Stäbe oder Flächen im Modell vorhanden, werden hier Differenzen bestehen. Für die Gesamtbilanz sind auch die Lagersummen der übrigen Ergebnistabellen zu berücksichtigen.

Ergebnisverläufe

Die Ergebnisverläufe eines oder mehrerer ausgewählter Linienlager können in einem separaten Fenster ausgewertet werden. Dieses wird zugänglich, wenn man das Linienlager mit der rechten Maustaste anklickt und dann im erscheinenden Kontextmenü (siehe oben neben Bild 9.8) den Eintrag *Ergebnisverläufe* aktiviert.

Das Fenster *Ergebnisverläufe* ist im Kapitel 10.5 auf Seite 312 beschrieben.

Im RFEM-Arbeitsfenster sind zudem für jedes Linienlager folgende zusätzliche Informationen verfügbar:

- Σ : Summe als resultierende Kraft
- Φ : Durchschnittswert
- x : Abstand des Linienschwerpunkts vom Linienanfang
- e : Exzentrizität der Resultierenden bezogen auf den Linienanfang
- M : Moment aus Exzentrizität der Resultierenden

Diese können im *Zeigen*-Navigator über den Eintrag *Ergebnisse* → *Lagerreaktionen* → *Info* eingeblendet werden.

Lagerkräfte als Last übernehmen



Die Z-Komponenten der Knoten- und Linienlagerkräfte können in einer weiteren RFEM-Position als Lasten angesetzt werden. Damit besteht beispielsweise die Möglichkeit einer stockwerksweisen Lastübernahme für die statische Untersuchung von 2D-Deckenplatten.

Die Lagerkräfte werden in den aktuellen Lastfall importiert. Es kann sich als günstig erweisen, zunächst einen Lastfall für die zu übernehmenden Lasten anzulegen.

Σ : 419.30 kN
 Φ : 44.14 kN/m
 x : 4.75 m
 e : 0.26 m
 M : 110.97 kNm

Die Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → Lagerkräfte als Last übernehmen.

Es öffnet sich folgender Dialog:

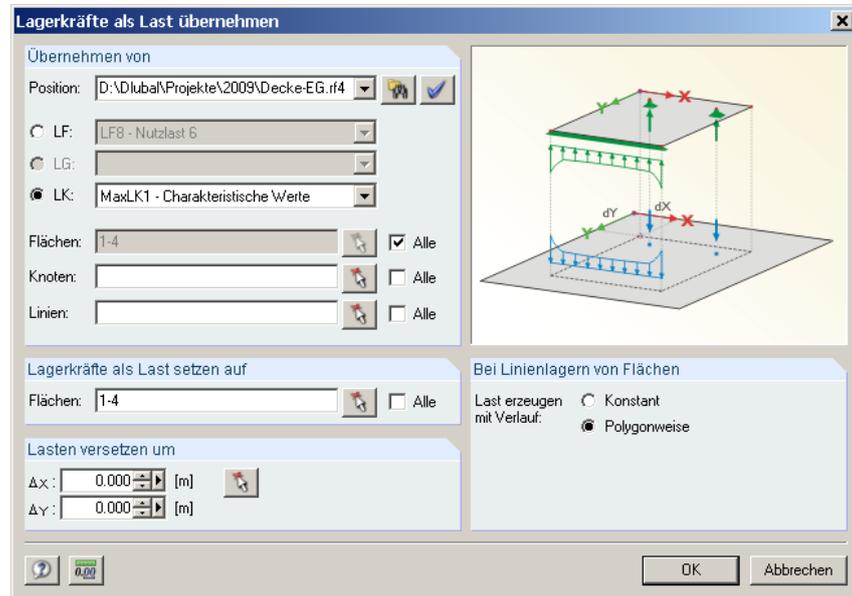


Bild 9.9: Dialog *Lagerkräfte als Last übernehmen*

Im Abschnitt *Übernehmen von* wird ausgewählt, von welcher Position und von welchem Lastfall bzw. welcher Lastfallgruppe oder -kombination die Lagerkräfte importiert werden sollen. Bei einer *LK* ist zu entscheiden, ob die maximalen oder minimalen Ergebnisse verwendet werden sollen. Zudem müssen die Flächen, Knoten und Linien angegeben werden, deren Lagerkräfte infrage kommen.



Im Abschnitt *Lagerkräfte als Last setzen auf* werden die Nummern der Flächen eingetragen oder grafisch bestimmt, auf die die Lasten generiert werden sollen.

Wenn die Ausgangs- und Zielflächen genau übereinander liegen, so ist im Abschnitt *Last versetzen um* kein Eintrag erforderlich. Anderenfalls können dort Versatzmaße ΔX und ΔY festgelegt werden, die sich auf die globalen Achsen beziehen.

Bei Linienlagern von Flächen kann zudem festgelegt werden, ob die Lagerkräfte als freie Linienlasten mit konstantem oder polygonalem Lastverlauf erzeugt werden.

9.3 Knoten - Verformungen

Die Verformungen sind grafisch über den Eintrag *Verformungen* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich. In Tabelle 3.3 werden die Verformungen der Knoten numerisch ausgegeben.



Bild 9.10: *Ergebnisse*-Navigator: Verformungen

Knoten Nr.	Verschiebungen [mm]				Verdrehungen [mrad]		
	u	u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.0
3	0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.8	0.2	-0.2
4	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.6	0.2	0.0
5	6.4	-0.1	0.0	6.4	3.2	-0.5	0.0
6	8.2	-0.1	0.0	8.2	-2.2	-0.9	0.1
7	7.1	-0.1	0.1	7.1	-2.2	1.8	-0.1
8	5.8	-0.1	0.0	5.8	2.8	1.1	0.0
9	0.2	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0
10	0.8	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.7	0.0
13	0.5	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
14	0.5	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
16	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.1	0.4	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.6	-0.1	0.1	0.6	-4.5	0.5	0.0
Max	8.2	0.0	0.1	8.2	3.2	1.8	0.4
Min	0.0	-0.8	0.0	0.0	-4.5	-1.0	-0.2

Bild 9.11: Tabelle 3.3 *Knoten - Verformungen*

Die Auflistung der Verschiebungen und Verdrehungen erfolgt nach Knoten geordnet.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Verformungen bedeuten im Einzelnen:

u	Gesamtverschiebung
u _x	Verschiebung in Richtung der globalen X-Achse
u _y	Verschiebung in Richtung der globalen Y-Achse
u _z	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 9.1: *Knotenverformungen*



Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte aller Knoten skaliert sind. Sie stellen die jeweiligen Ergebniswerte grafisch dar. Negative Verformungen werden durch einen roten, positive durch einen blauen Balken symbolisiert.

Wurde der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert, werden nur die relevanten Spalten der Verformungen angezeigt.

9.4 Stäbe - Verformungen

Die Verformungen der Stäbe sind grafisch über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich. In der Tabelle 3.4 werden die Verschiebungen und Verdrehungen in numerischer Form ausgegeben.

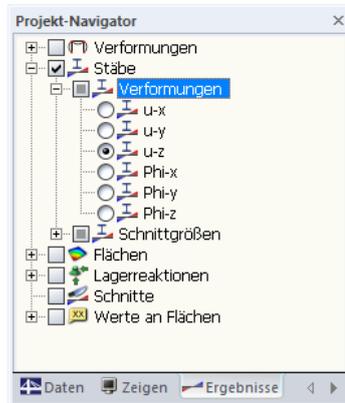


Bild 9.12: *Ergebnisse*-Navigator: Stäbe → Verformungen

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	u	Verschiebungen [mm]			Verdrehungen [mrad]			Querschnitt
				u_x	u_y	u_z	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z	
1	Max ϕ_z	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1 - RD 323.9
	Min ϕ_z	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	2	0.000	0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.2	2 - IPE 400
	20	6.000	1.5	0.0	1.4	0.6	-4.5	0.5	0.0	
	Max u_x	5.000	1.8	0.0	1.3	1.2	-4.1	0.7	0.2	
	Min u_x	0.000	0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.2	
	Max u_y	6.000	1.5	0.0	1.4	0.6	-4.5	0.5	0.0	
	Min u_y	0.000	0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.2	
	Max u_z	3.000	2.2	-0.1	0.7	2.1	-2.5	0.0	0.2	
	Min u_z	0.000	0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.2	
	Max ϕ_x	0.000	0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.2	
	Min ϕ_x	6.000	1.5	0.0	1.4	0.6	-4.5	0.5	0.0	
	Max ϕ_y	5.000	1.8	0.0	1.3	1.2	-4.1	0.7	0.2	
	Min ϕ_y	0.000	0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	-1.0	0.2	
	Max ϕ_z	4.059	2.1	0.0	1.0	1.8	-3.4	0.5	0.3	
	Min ϕ_z	6.000	1.5	0.0	1.4	0.6	-4.5	0.5	0.0	
3	3	0.000	0.3	0.1	-0.3	0.0	0.8	-0.2	-0.7	2 - IPE 400
	20	3.500	1.5	0.0	-1.4	0.6	4.5	-0.5	0.0	
	Max u_x	2.117	1.2	0.1	-1.1	0.3	3.6	-0.1	-0.3	
	Min u_x	3.500	1.5	0.0	-1.4	0.6	4.5	-0.5	0.0	
	Max u_y	0.000	0.3	0.1	-0.3	0.0	0.8	-0.2	-0.7	

Bild 9.13: Tabelle 3.4 *Stäbe - Verformungen*

Der Lastfall, dessen Verformungen angezeigt werden sollen, wird in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt.

Knoten Nr.

In dieser Spalte werden für jeden Stab die Nummern der Anfangs- und Endknoten aufgelistet. Es folgt jeweils die Angabe, um welche Art von Verformungsmaximum oder -minimum es sich handelt.

Stelle x

In dieser Übersicht werden die Schnittgrößen jedes Stabes der Reihe nach an folgenden Stellen aufgelistet:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (vgl. Kapitel 5.16, Seite 154)
- Extremwerte (*Max/Min*) der Verschiebungen und Verdrehungen



Diese Voreinstellung kann angepasst werden über Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste. Es wird folgender Dialog aufgerufen:



Bild 9.14: Dialog *Ergebnisfilter - Stäbe*

Art und Umfang der numerischen Ausgabe lassen sich durch Anhaken der entsprechenden Kontrollfelder beeinflussen.

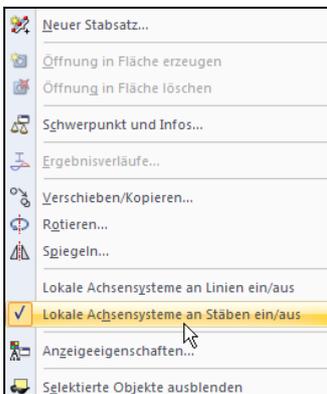
Verschiebungen / Verdrehungen

Die Stabverformungen bedeuten im Einzelnen:

$ u $	Absolute Gesamtverschiebung (nicht bei Lastfallkombinationen)
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	Verdrehung des Stabes um die y-Achse
φ_z	Verdrehung des Stabes um die z-Achse

Tabelle 9.2: Stabverformungen

Die Lage der lokalen Stabachsen kann über den *Zeigen*-Navigator überprüft werden, indem man dort unter *Struktur* und *Nummerierung* jeweils die *Stabachsensysteme x,y,z* aktiviert (vgl. Bild 9.18, Seite 273). Alternativ wird das links dargestellte Stab-Kontextmenü benutzt.



Stab-Kontextmenü

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.

Querschnitt

Zur Information werden in der letzten Spalte jeweils die Stabquerschnitte angegeben.

Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte aller Stabverformungen skaliert sind. Sie stellen die jeweiligen Ergebniswerte in grafischer Form dar. Negative Verformungen werden durch einen roten, positive durch einen blauen Balken dargestellt.



Die farbigen Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.



Die Stabverformungen können auch als animierte Grafik des gesamten Verformungsablaufs visualisiert werden (siehe Kapitel 10.10, Seite 328). Darüber hinaus lassen sich die Verformungen von Stäben im Renderingmodus darstellen (siehe Kapitel 10.3, Seite 306).

9.5 Stäbe - Schnittgrößen

Die Schnittgrößen der Stäbe sind grafisch über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich. In Tabelle 3.5 werden die Schnittkräfte und Momente numerisch ausgegeben.

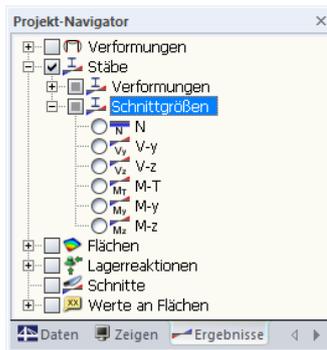


Bild 9.15: *Ergebnisse*-Navigator: Stäbe → Schnittgrößen

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]		Kräfte [kN]			Momente [kNm]			Zugehörige Lastfälle
				N	V _y	V _z	M _T	M _y	M _z	
1	19	0.000	max N	-120.66	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			min N	-216.29	18.60	36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			max V _z	-216.29	18.60	36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			min V _z	-120.66	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			max M _y	-120.66	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			min M _y	-120.66	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
	20	4.000	max N	-117.29	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			min N	-212.92	-18.60	-36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			max V _z	-117.29	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			min V _z	-212.92	-18.60	-36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			max M _y	-117.29	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			min M _y	-117.29	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
	19	0.000	Max N	-117.29	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
			Min N	-216.29	18.60	36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			Max V _z	-216.29	18.60	36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			Min V _z	-212.92	-18.60	-36.90	0.11	0.00	0.00	LF1 LF2
			Max M _y	-214.84	2.66	5.27	0.11	36.15	-18.22	LF1 LF2
			Min M _y	-120.66	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	LF1
2	2	0.000	max N	-6.13	-1.09	7.59	-0.01	2.23	-1.06	LF1
			min N	-8.18	-1.78	11.64	-0.02	3.39	-1.88	LF1 LF2

Bild 9.16: Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen*

LF4 - Schnee links voll

Der Lastfall, dessen Schnittgrößen angezeigt werden sollen, kann in der Liste der Symbolleiste oder der Tabellen-Symbolleiste eingestellt werden.

Stelle x

In dieser Übersicht werden die Schnittgrößen jedes Stabes der Reihe nach an folgenden Stellen aufgelistet:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (vgl. Kapitel 5.16, Seite 154)
- Extremwerte (*Max/Min*) der Schnittgrößen N , V_z und M_y



Diese Voreinstellung kann angepasst werden über Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste. Es wird folgender Dialog aufgerufen:



Bild 9.17: Dialog *Ergebnisfilter - Stäbe*

Art und Umfang der numerischen Ausgabe lassen sich durch Anhaken der entsprechenden Kontrollfelder beeinflussen.

Für den grafischen Ergebnisverlauf werden die Ergebniswerte in den FE-Netzknoten bzw. die Stabteilungen benutzt, die im Register *Optionen* des Dialogs *Berechnungsparameter* festgelegt wurden (siehe Kapitel 8.3, Seite 256).

Kräfte / Momente

Die Stabschnittgrößen bedeuten im Einzelnen:

N	Normalkraft im Stab
V_y / V_u	Querkraft in Richtung der lokalen Stabachse y bzw. u (vgl. Seite 144)
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

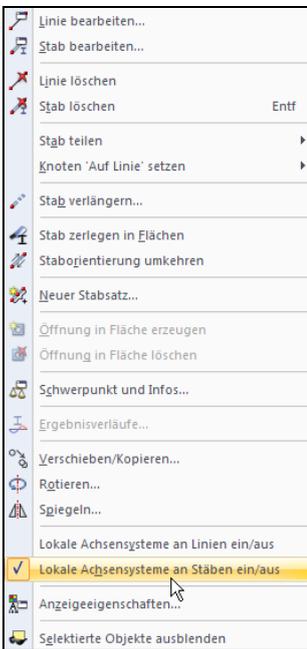
Tabelle 9.3: Stabschnittgrößen

Die lokalen Stabachsen y und z bzw. u und v stellen die Hauptachsen des Querschnitts dar. Die y - bzw. u -Achse repräsentiert dabei die so genannte „starke“ Achse, die z - bzw. v -Achse die „schwache“ Achse (vgl. Kapitel 5.17, Seite 158). Bei unsymmetrischen Profilen kann die Ausgabe auf die Hauptachsen u und v (vgl. Grafik auf Seite 144) oder die Standard-Eingebachsen y und z bezogen erfolgen. Die Auswahl erfolgt wie links dargestellt im *Ergebnisse*-Navigator. Dieser steuert sowohl die grafische als auch die tabellarische Ergebnisausgabe.





Die Stablage lässt sich über das 3D-Rendering oder den Zeigen-Navigator kontrollieren, indem man dort unter *Struktur* und *Nummerierung* die *Stab-Achsensysteme x,y,z* aktiviert.



Stab-Kontextmenü

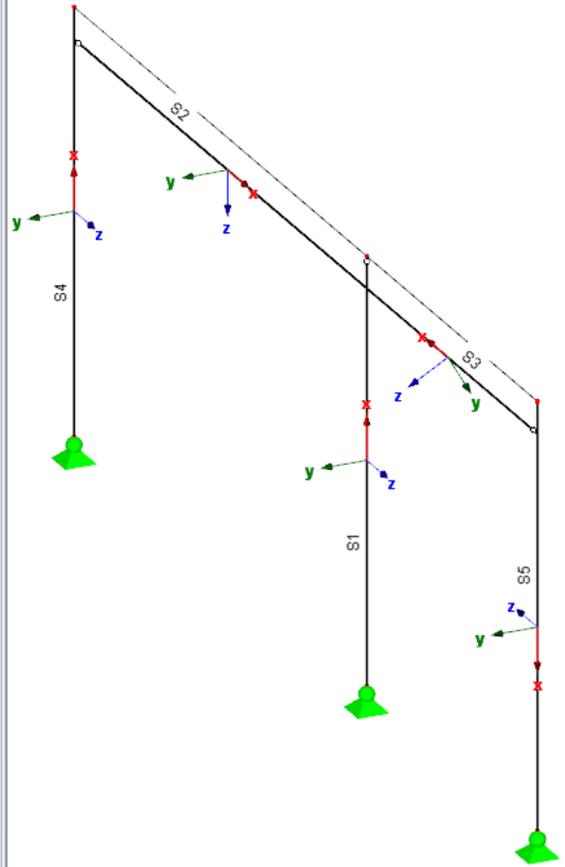


Bild 9.18: Aktivieren der lokalen Stabachsensysteme im Zeigen-Navigator

Alternativ wird das Stab-Kontextmenü benutzt.

Das lokale Stabachsensystem beeinflusst auch die Vorzeichen der Schnittgrößen.

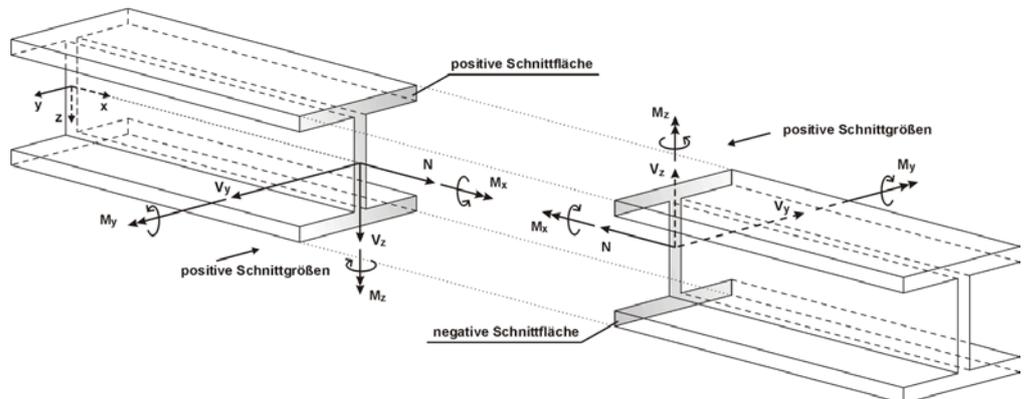


Bild 9.19: Positive Definition der Schnittgrößen



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.

Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte der jeweiligen Stabschnittgrößen skaliert sind. Negative Schnittgrößen werden durch einen roten, positive durch einen blauen Balken dargestellt. Auf diese Weise ist auch in der Tabelle eine visuelle Bewertung der Ergebnisse möglich.



Die farbigen Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

Die erste Spalte beinhaltet am Ende der Auflistung für jeden Stab die größte positive (*Max*) und kleinste negative (*Min*) Schnittgröße jeder Art, die jeweils am Stab auftritt. Bei den fett dargestellten Werten handelt es sich somit um die Extremwerte. Die Werte in den übrigen Spalten der Zeile stellen die zum jeweiligen Extremwert zugehörigen Schnittgrößen dar.

Wurde der Strukturtyp bei den Basisangaben auf ein ebenes System reduziert, so werden nur die relevanten Spalten der Schnittgrößen angezeigt.

Zugehörige Lastfälle

Diese letzte Spalte wird nur bei Ergebnissen von Lastfallkombinationen angezeigt. Gleichzeitig wird eine neue dritte Spalte hinzugefügt (vgl. Bild 9.16).

In der letzten Spalte werden die Lastfälle oder Lastfallgruppen aufgelistet, die in den maximalen oder minimalen Schnittgrößen der jeweiligen Zeile berücksichtigt sind. Als *ständig* klassifizierte Lastfälle tauchen hier immer auf, *eventuell* wirkende Lastfälle nur, wenn deren Schnittgrößen einen ungünstigen Beitrag zum Ergebnis liefern (vgl. Kapitel 6.3, Seite 193).

Die dritte Spalte beinhaltet am Ende der Auflistung für jeden Stab die größte positive (*Max*) und kleinste negative (*Min*) Schnittgröße jeder Art, die jeweils am Stab auftritt.



Über eine separate Filterfunktion für Lastfallkombinationen im Dialog *Filtereinstellungen* ist es möglich, den Datenumfang der LK-Ergebnistabellen zu reduzieren. Der im Bild 9.17 gezeigte Dialog wird aufgerufen über Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

9.6 Stäbe - Kontaktkräfte

Enthält das Modell elastisch gebettete Stäbe (siehe Kapitel 5.19, Seite 166), werden deren Kontaktkräfte und -momente in Tabelle 3.6 aufgelistet. Grafisch sind die Ergebnisse über den Eintrag *Stäbe* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich.

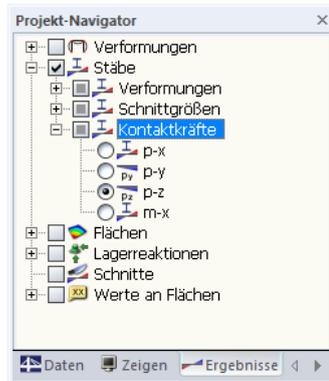


Bild 9.20: *Ergebnisse*-Navigator: Stäbe → Kontaktkräfte

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]	C	Kontaktkräfte [kN/m]			Momente m_x [kNm/m]	H
				p_x	p_y	p_z		
4	16	0.000	max	0.00	-62.47	281.70	0.044	3 - Rechteck 50/80
			min	0.00	-63.52	251.19	0.042	
	17	6.000	max	0.00	0.08	1.21	0.000	
			min	0.00	0.08	1.19	0.000	
	17	6.000	Max p_y	0.00	0.08	1.21	0.000	
	16	0.000	Min p_y	0.00	-63.52	251.19	0.042	
16	0.000	Max p_z	0.00	-62.47	281.70	0.044		
5	11	0.000	max	0.00	-0.01	0.03	0.003	3 - Rechteck 50/80
			min	0.00	-0.01	0.02	0.003	
	12	6.000	max	0.00	10.92	81.95	0.000	
			min	0.00	10.05	42.46	0.000	
	12	6.000	Max p_y	0.00	10.92	81.95	0.000	
	11	0.000	Min p_y	0.00	-0.01	0.02	0.003	
12	6.000	Max p_z	0.00	10.92	81.95	0.000		
11	0.000	Min p_z	0.00	-0.01	0.02	0.003		

Bild 9.21: Tabelle 3.6 *Stäbe - Kontaktkräfte*

Knoten Nr.

In dieser Spalte werden für jeden Bettungsstab die Nummern der Anfangs- und Endknoten aufgelistet. Es folgt jeweils die Angabe, um welche Art von Extremwert es sich bei den Kontaktkräften und -momenten handelt.



Die Voreinstellungen der Extremwertausgabe können modifiziert werden über Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

Stelle x

Es werden die Ergebnisse jeden Stabes der Reihe nach an folgenden Stellen aufgelistet:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (vgl. Kapitel 5.16, Seite 154)
- Extremwerte (*Max/Min*) der Kontaktkräfte und -momente



Kontaktkräfte $p_x / p_y / p_z$

Die Kontaktkräfte in Richtung der lokalen Stabachsen x , y und z werden auf eine Einheitslänge bezogen ausgegeben. Bei unsymmetrischen Profilen kann die Ausgabe auf die Hauptachsen u und v (vgl. Grafik auf Seite 144) oder die Standard-Eingabeachsen y und z bezogen erfolgen. Die Auswahl erfolgt wie links dargestellt im *Ergebnisse*-Navigator.

Die Lage der lokalen Achsen lässt sich über den *Zeigen*-Navigator kontrollieren, indem man dort unter *Struktur* und *Nummerierung* die *Stab-Achsensysteme x,y,z* aktiviert (Bild 9.18). Die Vorzeichen entsprechen den üblichen Regelungen, die im Kapitel 9.5 auf Seite 273 bei den Stabschnittgrößen erläutert sind.

Um aus den hier angegebenen Werten die Sohlpressungen zu ermitteln, sind die Ergebnisse noch durch die jeweiligen Fundamentbreiten 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

Zur Information werden in der letzten Spalte die einzelnen Stabquerschnitte angegeben.



Ganz am Ende der Tabelle werden bei Lastfällen und Lastfallgruppen die Kontrollsummen der Lasten und Lagerreaktionen ausgewiesen. Für die Gesamtbilanz sind allerdings auch die Lagersummen der Knoten- und Linienlager sowie der Flächenbettungen zu berücksichtigen.

9.7 Stabsätze - Schnittgrößen

In dieser Ergebnistabelle werden die Schnittgrößen nach Stabsätzen (vgl. Kapitel 5.21, Seite 172) geordnet aufgelistet.

Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]		Kräfte [kN]			Momente [kNm]			Zugehörige Lastfälle			
				N	V_y	V_z	M_T	M_y	M_z				
Stabsatz Nr. 1: Pfette A-A													
33	11	4.925	max N	7.29	-0.35	-15.22	-0.03	8.36	-0.14	LG6			
			min N	0.49	-0.01	-3.53	-0.01	1.93	0.00	LG1			
			max V_z	3.90	0.33	-3.00	0.00	1.71	0.23	LG11			
			min V_z	3.14	-0.08	-16.18	-0.03	8.76	0.05	LG2			
			max M_y	3.14	-0.08	-16.18	-0.03	8.76	0.05	LG2			
			min M_y	3.90	0.33	-3.00	0.00	1.71	0.23	LG11			
126	89	0.000	max N	7.23	0.43	18.47	0.02	-2.17	0.01	LG6			
			min N	0.40	0.01	4.25	0.01	-0.47	0.00	LG1			
			max V_z	2.70	0.13	19.64	0.03	-2.40	0.02	LG2			
			min V_z	3.99	-0.38	3.61	0.00	-0.31	0.00	LG11			
			max M_y	3.99	-0.38	3.61	0.00	-0.31	0.00	LG11			
			min M_y	2.41	0.11	19.63	0.03	-2.41	0.01	LG3			
64		0.684	MAX N	7.86	0.39	18.12	0.00	-5.14	-0.03	LG6			
95	63	0.000	MIN N	-6.25	-10.47	32.20	0.04	-27.84	0.69	LG2			
95	63	0.000	MAX V_z	-5.96	-10.49	32.22	0.05	-27.90	0.65	LG3			
126	63	4.925	MIN V_z	2.08	-0.25	-30.35	0.06	-28.69	0.24	LG3			
33		3.283	MAX M_y	2.76	0.05	1.21	-0.04	20.09	0.13	LG2			
126	63	4.925	MIN M_y	2.08	-0.25	-30.35	0.06	-28.69	0.24	LG3			
Stabsatz Nr. 2: Pfette B-B													
31	9	4.925	max N	8.64	0.33	-14.34	-0.03	7.54	0.33	LG5			
			min N	1.73	-0.01	-3.58	-0.01	1.86	0.00	LG1			
Gesamt				Knoten - Lagerkräfte		Knoten - Verformungen		Stäbe - Verformungen		Stäbe - Schnittgrößen		Stabsätze - Schnittgrößen	

Bild 9.22: Tabelle 3.7 Stabsätze - Schnittgrößen

Das Konzept dieser Tabelle entspricht der im Kapitel 9.5 beschriebenen Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen*. Die Ergebnisse sind hier zusätzlich nach Stabzügen oder Stabgruppen geordnet. Die Bezeichnungen bleiben stets in der obersten Tabellenzeile hervorgehoben, wodurch die Übersichtlichkeit beim Scrollen gewährleistet wird.

Die Tabelle beinhaltet die stabweisen Ergebnisse aller im Stabsatz enthaltenen Stäbe. Die Auflistung für jeden Stabsatz endet durch farbig abgesetzte Zeilen. Diese geben Aufschluss über die Gesamttextrema **MAX** und **MIN** jeder Schnittgrößenart im jeweiligen Stabsatz. Die Extremwerte sind fett dargestellt, bei den Werten in den übrigen Spalten der Zeile handelt es sich um die zugehörigen Schnittgrößen.

9.8 Querschnitte - Schnittgrößen

Diese Ergebnistabelle listet die Schnittgrößen nach Querschnitten geordnet auf.

Stab Nr.	A Knoten Nr.	B Stelle x [m]	C N	D Kräfte [kN]		E V _z	F M _T	G Momente [kNm]		H M _y	I M _z
				V _y	V _z			M _y	M _z		
Querschnitt Nr. 1: RD 323.9x8 (Stütze)											
1	19	0.000	-218.65	-1.10	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0.000	-218.65	0.00	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		4.000	-215.28	-0.01	-60.93	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	20	4.000	-215.28	-1.11	-60.93	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Max N	4.000	-215.28	-0.01	-60.93	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Min N	0.000	-218.65	-1.10	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Max V _z	0.000	-218.65	-1.10	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Min V _z	4.000	-215.28	-0.01	-60.93	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Max M _y	1.714	-217.46	0.00	8.77	0.31	59.92	0.00	0.00	0.00	0.00
	Min M _y	0.000	-218.65	-1.10	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	0.000	4.73	-9.38	1.95	17.89	-1.46	3.39	3.39	3.39	3.39
	20	3.500	-175.75	-8.30	-52.87	5.38	-15.73	4.42	4.42	4.42	4.42
	Max N	1.000	34.84	-8.39	-8.64	15.06	4.02	1.05	1.05	1.05	1.05
	Min N	3.500	-175.75	-8.30	-52.87	5.38	-15.73	4.42	4.42	4.42	4.42
	Max V _z	0.000	4.73	-9.38	1.95	17.89	-1.46	3.39	3.39	3.39	3.39
	Min V _z	2.883	-100.42	-4.51	-53.55	7.95	-3.11	1.97	1.97	1.97	1.97
	Max M _y	1.559	27.90	-5.01	-19.41	13.32	4.16	0.97	0.97	0.97	0.97
	Min M _y	3.500	-175.75	-8.30	-52.87	5.38	-15.73	4.42	4.42	4.42	4.42
3	MAX N	1.000	34.84	-8.39	-8.64	15.06	4.02	1.05	1.05	1.05	1.05
1	MIN N	0.000	-218.65	-1.10	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	MAX V _z	0.000	-218.65	-1.10	60.94	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	MIN V _z	4.000	-215.28	-0.01	-60.93	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	MAX M _y	1.714	-217.46	0.00	8.77	0.31	59.92	0.00	0.00	0.00	0.00
3	MIN M _y	3.500	-175.75	-8.30	-52.87	5.38	-15.73	4.42	4.42	4.42	4.42
Querschnitt Nr. 2: IPE 400											
2	2	0.000	-9.11	-1.85	10.62	-0.02	3.35	-1.74	-1.74	-1.74	-1.74
	20	6.000	-125.09	5.34	-82.36	0.00	-31.98	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16

Bild 9.23: Tabelle 3.8 Querschnitte – Schnittgrößen

Das Konzept der Tabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen* liegt auch dieser Tabelle zugrunde (vgl. Seite 271). Die Ergebnisse sind hier zusätzlich nach Querschnitten sortiert, die stets in der ersten Tabellenzeile sichtbar bleiben. Damit bleibt der Überblick beim Scrollen erhalten.

Es werden die Ergebnisse aller Stäbe aufgelistet, die den jeweiligen Querschnitt verwenden. Die querschnittsweise Auflistung endet jeweils in einem farblich abgesetzten Block. Dieser gibt Aufschluss über die Gesamttextrema **MAX** und **MIN** jeder Schnittgrößenart im jeweiligen Querschnitt. Die Extremwerte sind fett dargestellt, bei den Werten in den übrigen Spalten der Zeile handelt es sich um die zugehörigen Schnittgrößen.

9.9 Flächen - Verformungen



Die Verformungen der Flächen sind grafisch über den Eintrag *Verformungen* im *Ergebnisse-Navigator* zugänglich. In Tabelle 3.9 werden die Verformungen der Flächen numerisch ausgegeben.

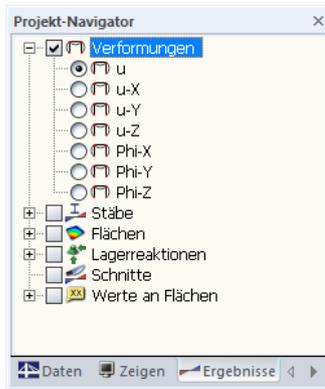


Bild 9.24: *Ergebnisse-Navigator*: Verformungen

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Verschiebungen [mm]				Verdrehungen [mrad]		
		X	Y	Z	u	u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z
161	0.000	4.000	0.000	0.000	0.1	-0.1	-0.0	0.0	-0.0	-1.5	0.0
162	0.500	4.000	0.000	0.000	0.9	-0.1	-0.0	0.9	-0.1	-2.0	0.0
163	1.000	4.000	0.000	0.000	2.0	-0.1	-0.0	2.0	-0.2	-2.2	0.1
164	1.500	4.000	0.000	0.000	3.1	-0.1	-0.0	3.1	-0.3	-2.2	0.1
165	2.000	4.000	0.000	0.000	4.1	-0.1	-0.0	4.1	-0.5	-2.0	0.1
166	2.500	4.000	0.000	0.000	5.1	-0.1	-0.0	5.1	-0.6	-1.7	0.1
167	3.000	4.000	0.000	0.000	5.9	-0.1	0.0	5.9	-0.8	-1.5	0.1
168	3.500	4.000	0.000	0.000	6.6	-0.1	0.0	6.6	-1.0	-1.3	0.1
169	4.000	4.000	0.000	0.000	7.2	-0.1	0.0	7.2	-1.2	-1.1	0.1
170	4.500	4.000	0.000	0.000	7.7	-0.1	0.0	7.7	-1.6	-1.0	0.1
171	5.000	4.000	0.000	0.000	8.2	-0.1	0.0	8.2	-2.2	-0.9	0.1
172	5.500	4.000	0.000	0.000	8.5	-0.1	0.1	8.5	-3.3	-0.0	0.0
173	6.000	4.000	0.000	0.000	8.4	-0.1	0.1	8.4	-3.5	0.6	-0.0
174	6.500	4.000	0.000	0.000	7.9	-0.1	0.1	7.9	-3.2	1.2	-0.1
175	7.000	4.000	0.000	0.000	7.1	-0.1	0.1	7.1	-2.2	1.8	-0.1
176	7.500	4.000	0.000	0.000	6.1	-0.1	0.1	6.1	-1.6	1.8	-0.1
177	8.000	4.000	0.000	0.000	5.2	-0.1	0.1	5.2	-1.3	1.8	-0.1
178	8.500	4.000	0.000	0.000	4.3	-0.1	0.0	4.3	-1.2	1.9	-0.1
179	9.000	4.000	0.000	0.000	3.3	-0.1	0.0	3.3	-1.0	1.9	-0.1

Bild 9.25: Tabelle 3.9 *Flächen - Verformungen*

Die Auflistung der Verschiebungen und Verdrehungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten geordnet.

Rasterpunkt

In dieser Spalte werden für jede Fläche die Nummern der Rasterpunkte aufgelistet. Die Rasterpunkte stellen eine Eigenschaft der jeweiligen Fläche dar. Deren Anzahl und Anordnung kann im Register *Raster* des Dialogs *Fläche bearbeiten* angepasst werden:

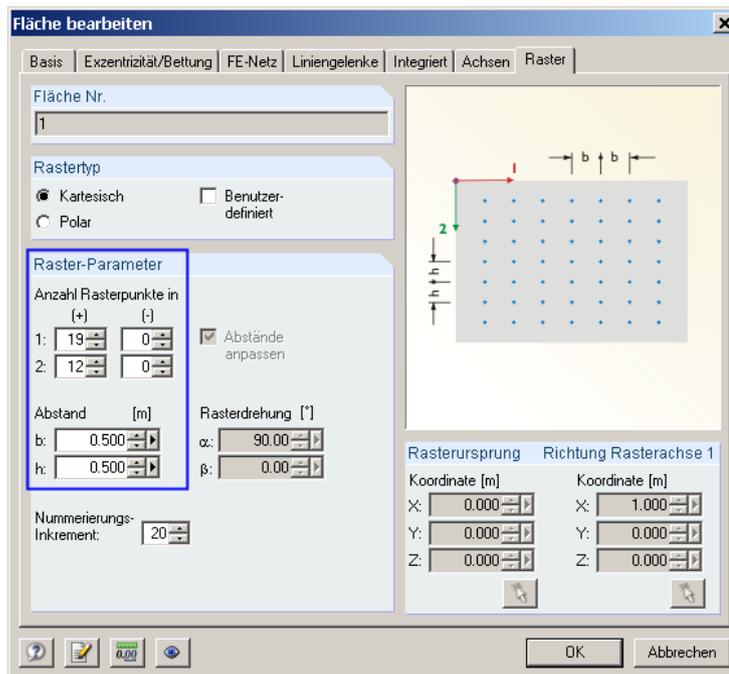


Bild 9.26: Dialog *Fläche bearbeiten*, Register *Raster*

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 jeweils 50 cm in beide Richtungen.



Das Raster bietet eine vom FE-Netz unabhängige Ausgabemöglichkeit in regelmäßigen Ergebnispunkten, die der Benutzer frei anpassen kann. Bei kleinen Flächen kann die Standardmaschenweite des Ergebnisrasters von 50 cm dazu führen, dass nur wenige oder sogar nur ein Ergebnisrasterpunkt im Rasterursprung existieren. Die *Anzahl* oder der *Abstand* der Rasterpunkte sollte 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.

Der tabellarischen Ausgabe liegt das oben beschriebene Flächen-Ergebnisraster zugrunde. In der Grafik hingegen lassen sich sowohl die Werte der FE-Knoten als auch die Rasterwerte anzeigen. Die Steuerung erfolgt im *Ergebnisse*-Navigator:

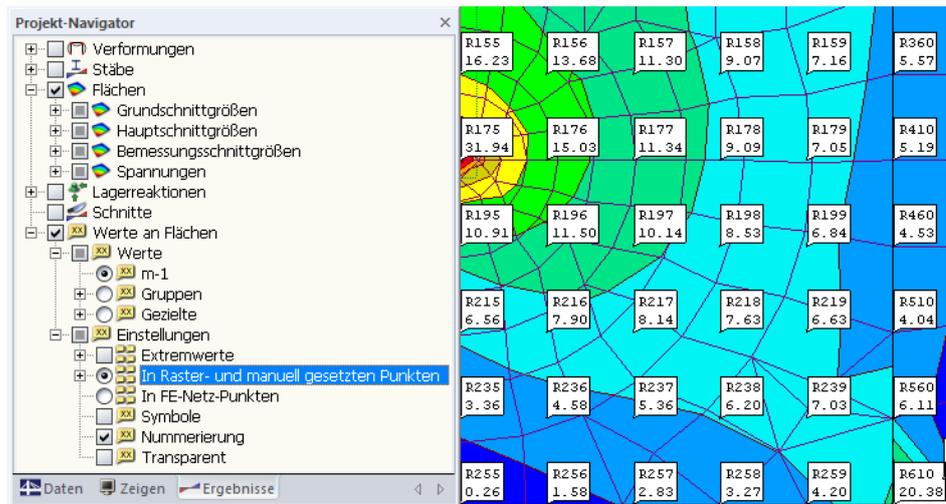


Bild 9.27: Ergebnisse-Navigator: Werte an Flächen → Einstellungen → In Raster- bzw. FE-Netz-Punkten

Die Nummerierung der Rasterpunkte wird vom Programm automatisch vorgenommen. In der Ergebnisgrafik können die Nummern der Rasterpunkte eingeblendet werden, indem man im *Ergebnisse*-Navigator wie im Bild oben dargestellt die *Nummerierung* aktiviert.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben. Bei einem Klick in eine Tabellenzeile wird dieser Rasterpunkt in der Grafik in der Selektionsfarbe gekennzeichnet.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Verformungen bedeuten im Einzelnen:

$ u $	Absolute Gesamtverschiebung (nicht bei Lastfallkombinationen)
u_x	Verschiebung der Fläche in Richtung der globalen X-Achse
u_y	Verschiebung der Fläche in Richtung der globalen Y-Achse
u_z	Verschiebung der Fläche in Richtung der globalen Z-Achse
φ_x	Verdrehung der Fläche um die globale X-Achse
φ_y	Verdrehung der Fläche um die globale Y-Achse
φ_z	Verdrehung der Fläche um die globale Z-Achse

Tabelle 9.4: Flächenverformungen

Die Ergebnisspalten sind mit blauen oder roten Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte der jeweiligen Verformungen skaliert sind. Positive Verformungen (d. h. in Richtung der bzw. rechtsschraubig um die jeweilige globale Achse) werden durch einen blauen, negative Verformungen durch einen roten Balken dargestellt. Auf diese Weise ist auch in der Tabelle eine visuelle Bewertung der Ergebnisse möglich.



Die farbigen Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

Bei 2D-Systemen werden nur die relevanten Spalten der Verformungen angezeigt.

9.10 Flächen - Grundschnittgrößen

Die Grundschnittgrößen sind grafisch über den Eintrag *Flächen* → *Grundschnittgrößen* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich. In Tabelle 3.10 werden die Grundschnittgrößen aller Flächen numerisch ausgegeben.

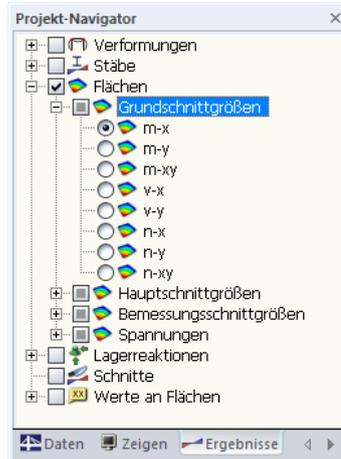


Bild 9.28: *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Grundschnittgrößen

3.10 Flächen - Grundschnittgrößen

LG1 - Bemessungswert

Fläche Nr.	A Raster Punkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			E Momente [kNm/m]			G Querkräfte [kN/m]		K Normalkräfte [kN/m]		
		X	Y	Z	m_x	m_y	m_{xy}	V_x	V_y	n_x	n_y	n_{xy}
1	0.000	0.000	0.000	3.20	3.35	0.06	-33.13	-34.42	-38.91	-39.96	25.11	
2	0.500	0.000	0.000	-0.82	-6.92	-6.21	-51.17	8.41	-24.60	-21.43	-1.34	
3	1.000	0.000	0.000	-3.33	-12.58	-7.28	-63.03	17.07	-14.61	-13.90	-5.45	
4	1.500	0.000	0.000	-4.78	-17.96	-7.49	-64.63	26.94	-9.97	-9.77	-8.36	
5	2.000	0.000	0.000	-6.31	-23.76	-7.20	-59.49	38.00	-10.66	-9.23	-13.09	
6	2.500	0.000	0.000	-6.10	-26.57	-7.62	-60.38	48.64	-11.47	-5.29	-11.53	
7	3.000	0.000	0.000	-5.00	-30.18	-5.93	-41.04	45.39	-17.54	-1.06	-11.11	
8	3.500	0.000	0.000	-7.37	-33.54	-5.42	-34.61	46.31	-17.11	-16.23	-12.39	
9	4.000	0.000	0.000	-8.94	-36.99	-3.89	-24.31	52.03	-21.38	-2.50	-22.04	
10	4.500	0.000	0.000	-9.18	-39.29	-2.98	-17.45	48.55	-27.53	-10.32	-19.44	
11	5.000	0.000	0.000	-8.23	-39.86	-0.35	-6.30	56.42	-30.65	-20.03	-24.37	
12	5.500	0.000	0.000	-8.13	-41.77	1.50	4.50	45.77	-28.57	-0.92	-28.51	
13	6.000	0.000	0.000	-8.54	-43.48	1.51	13.89	60.32	-32.57	-12.19	-29.26	
14	6.500	0.000	0.000	-7.90	-38.11	2.13	21.49	41.81	-34.77	-10.45	-29.33	
15	7.000	0.000	0.000	-7.78	-36.14	3.82	36.12	51.67	-35.82	-9.25	-35.21	
16	7.500	0.000	0.000	-9.96	-35.06	6.20	43.09	41.20	-44.00	-7.03	-33.07	
17	8.000	0.000	0.000	-9.21	-33.83	6.42	47.36	53.99	-52.34	-5.55	-45.16	
18	8.500	0.000	0.000	-5.50	-27.74	8.09	69.90	33.00	-67.96	-11.36	-56.19	
19	9.000	0.000	0.000	-2.21	-23.78	9.43	60.21	36.54	-117.50	-35.03	-60.41	

Flächen - Verformungen | Flächen - Grundschnittgrößen | Flächen - Hauptschnittgrößen | Flächen - Bemessungsschnittgrößen

Bild 9.29: Tabelle 3.10 *Flächen - Grundschnittgrößen*

Die Auflistung der Grundschnittgrößen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten geordnet.

Rasterpunkt

In dieser Spalte werden für jede Fläche die Nummern der Rasterpunkte aufgelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im vorherigen Kapitel auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben. Bei einem Klick in eine Tabellenzeile wird dieser Rasterpunkt in der Grafik durch einen dicken Pfeil gekennzeichnet.

Momente / Querkräfte / Normalkräfte

Die Flächenschnittgrößen werden – im Unterschied zu den 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 zur Anzeige bringen (vgl. Bild 5.84, Seite 140).

Bei gekrümmten Flächen sind die Schnittgrößen auf die lokalen Achsen der einzelnen FE-Elemente bezogen. Diese können über den Zeigen-Navigator eingblendet werden:

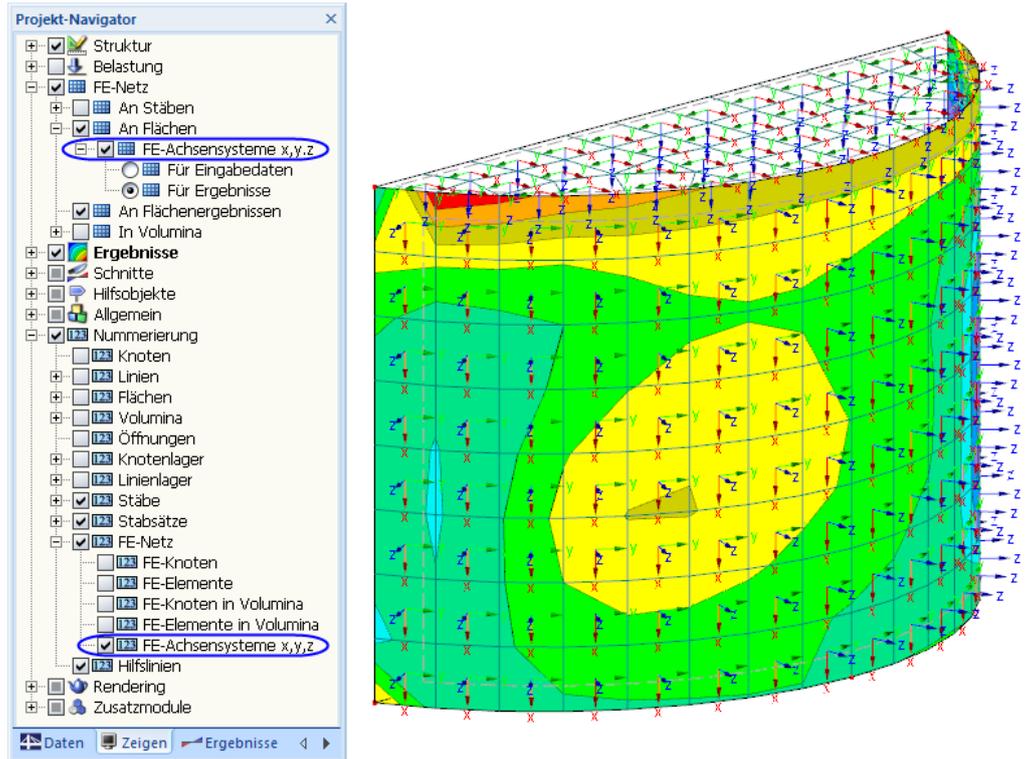


Bild 9.30: Zeigen-Navigator: FE-Achsensysteme x,y,z

Es besteht demzufolge ein grundsätzlicher Unterschied zum allgemeinen Verständnis der 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. Folgendes Bild verdeutlicht die Definition der Flächen-Grundschnittgrößen:

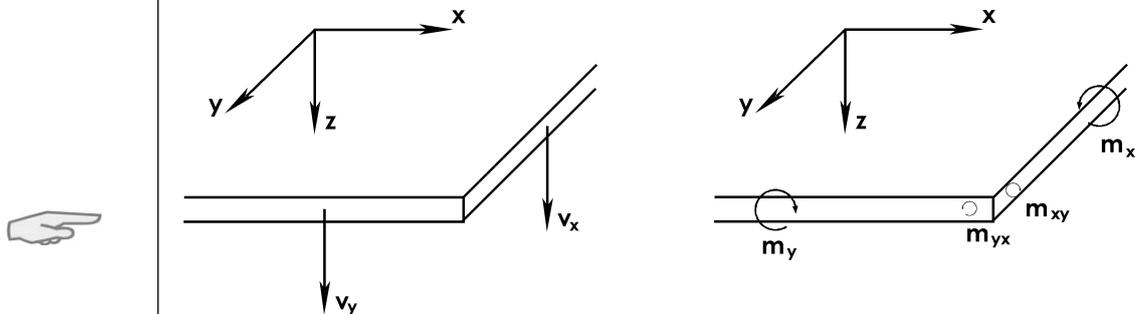


Bild 9.31: Definition der Flächenschnittgrößen

Die Grundschnittgrößen bedeuten im Einzelnen:

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 9.5: Grundschnittgrößen

Die Ergebnisspalten sind mit blauen oder roten Balken hinterlegt, die auf die Maximal- bzw. Minimalwerte der jeweiligen Schnittgrößen aller Flächen skaliert sind. Positive Schnittgrößen erzeugen Zugspannungen auf der positiven Flächenseite (in Richtung der positiven Flächenachse z) und werden durch einen blauen Balken visualisiert. Negative Schnittgrößen, die zu Druckspannungen auf der positiven Flächenseite führen, sind dementsprechend durch einen roten Balken symbolisiert.



Die farbigen Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

9.11 Flächen - Hauptschnittgrößen

Die Hauptschnittgrößen sind grafisch über den Eintrag *Flächen* → *Hauptschnittgrößen* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich. In der Tabelle 3.11 werden die Hauptschnittgrößen der Flächen numerisch ausgegeben.

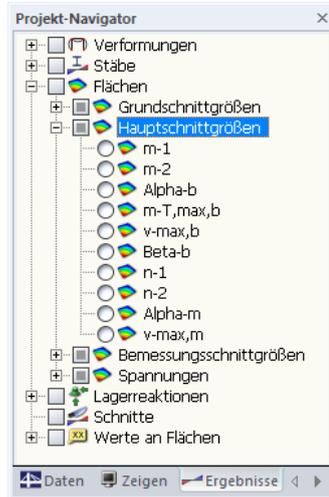


Bild 9.32: *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Hauptschnittgrößen

3.11 Flächen - Hauptschnittgrößen

LG1 - Bemessungswert

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Momente [kNm/m]				Querkräfte [kN/m]		Normalkräfte [kN/m]			
		X	Y	Z	m ₁	m ₂	α _b [°]	m _{T,max,b}	γ _{max,b}	β _b [°]	n ₁	n ₂	α _m [°]	γ _{max,m}
1	1	0.000	0.000	0.000	3.37	3.18	70.84	0.09	47.77	33.91	-14.32	-64.55	44.40	25.11
2	2	0.500	0.000	0.000	3.05	-10.79	-31.92	6.92	51.86	170.66	-20.94	-25.09	-69.88	2.07
3	3	1.000	0.000	0.000	0.67	-16.58	-28.77	8.62	65.30	164.85	-8.80	-19.71	-46.88	5.46
4	4	1.500	0.000	0.000	-1.39	-21.35	-24.33	9.98	70.02	157.37	-1.51	-18.24	-45.33	8.36
5	5	2.000	0.000	0.000	-3.72	-26.34	-19.76	11.31	70.59	147.43	3.16	-23.05	-46.56	13.11
6	6	2.500	0.000	0.000	-3.58	-29.09	-18.33	12.76	77.54	141.15	3.55	-20.32	-52.51	11.93
7	7	3.000	0.000	0.000	-3.68	-31.50	-12.61	13.91	61.19	132.12	4.54	-23.13	-63.28	13.84
8	8	3.500	0.000	0.000	-6.29	-34.62	-11.25	14.16	57.82	126.77	4.27	-29.07	-46.03	12.40
9	9	4.000	0.000	0.000	-8.40	-37.53	-7.75	14.56	57.57	115.03	12.13	-36.01	-56.04	24.07
10	10	4.500	0.000	0.000	-8.88	-39.59	-5.63	15.35	51.63	109.65	2.34	-40.18	-56.93	21.26
11	11	5.000	0.000	0.000	-8.22	-39.87	-0.64	15.82	56.77	96.37	-0.40	-50.28	-51.14	24.94
12	12	5.500	0.000	0.000	-8.06	-41.83	2.52	16.88	45.99	84.21	17.09	-46.57	-58.30	31.83
13	13	6.000	0.000	0.000	-8.47	-43.55	2.44	17.54	62.92	73.99	9.53	-54.29	-56.00	31.91
14	14	6.500	0.000	0.000	-7.74	-38.28	4.07	15.27	47.01	62.80	9.67	-54.88	-56.83	32.28
15	15	7.000	0.000	0.000	-7.28	-36.65	7.54	14.68	63.05	55.04	15.10	-60.16	-55.34	37.63
16	16	7.500	0.000	0.000	-8.51	-36.50	13.15	14.00	59.81	43.27	12.38	-63.41	-59.68	37.89
17	17	8.000	0.000	0.000	-7.62	-35.42	13.77	13.90	72.57	48.92	21.92	-79.81	-58.70	50.86
18	18	8.500	0.000	0.000	-2.87	-30.37	18.02	13.75	77.30	25.27	23.25	-102.58	-58.37	62.91
19	19	9.000	0.000	0.000	1.34	-27.32	20.58	14.33	70.43	31.26	-3.12	-149.40	-62.16	73.14

Bild 9.33: Tabelle 3.11 *Flächen - Hauptschnittgrößen*

Die Auflistung der Hauptschnittgrößen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten geordnet.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Momente / Querkräfte / Normalkräfte

Die im vorherigen Kapitel beschriebenen Grundschnittgrößen beziehen sich auf das mehr oder weniger frei angelegte xyz-Koordinatensystem der Fläche. Die Hauptschnittgrößen hingegen stellen die Extremwerte der Schnittgrößen eines jeden Flächenelements dar. Die Grundschnittgrößen werden in die Richtungen der jeweiligen Hauptachsen transformiert. Die beiden Hauptachsen 1 (Maximalwert) und 2 (Minimalwert) sind orthogonal angeordnet.

Die Hauptachsenrichtungen **Alpha-b** (Biegemomente), **Beta-b** (Querkräfte) und **Alpha-m** (Normalkräfte) lassen sich grafisch als Trajektorien anzeigen:

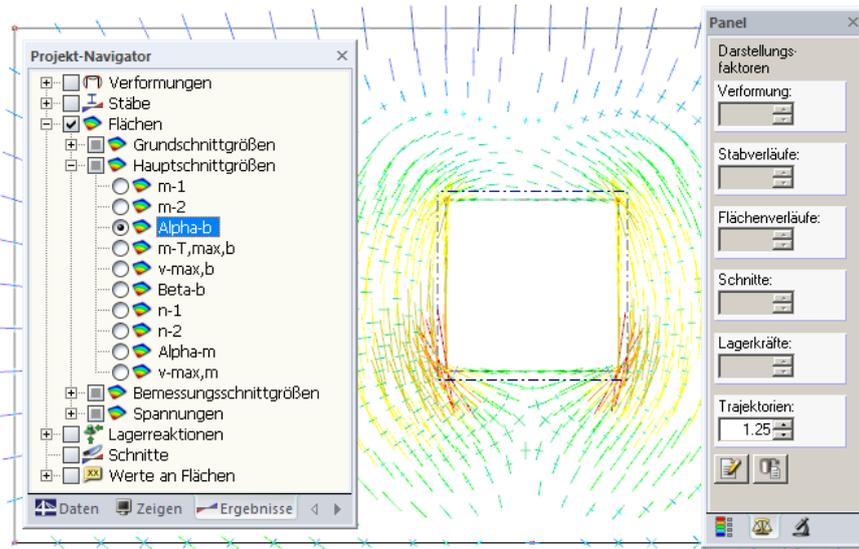


Bild 9.34: Trajektorien der Hauptachsen

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.

Die Hauptschnittgrößen bedeuten im Einzelnen:

m_1	Biegemoment in Richtung der Hauptachse 1 $\frac{1}{2} \left(m_x + m_y + \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4 \cdot m_{xy}^2} \right)$
m_2	Biegemoment in Richtung der Hauptachse 2 $\frac{1}{2} \left(m_x + m_y - \sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4 \cdot m_{xy}^2} \right)$
α_b	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) $\frac{1}{2} \left[\arctan \left(\frac{2 \cdot m_{xy}}{m_x - m_y} \right) \right]$
$m_{T,max,b}$	Maximales Torsionsmoment $\frac{\sqrt{(m_x - m_y)^2 + 4 \cdot m_{xy}^2}}{2}$
$V_{max,b}$	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	Normalkraft in Richtung der Hauptachse 1 $\frac{1}{2} \left(n_x + n_y + \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4 \cdot n_{xy}^2} \right)$
n_2	Normalkraft in Richtung der Hauptachse 2 $\frac{1}{2} \left(n_x + n_y - \sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4 \cdot n_{xy}^2} \right)$
α_m	Winkel zwischen der Achse x und der Hauptachse 1 (für Normalkraft n_1) $\frac{1}{2} \left[\arctan \left(\frac{2 \cdot n_{xy}}{n_x - n_y} \right) \right]$
$v_{\max,m}$	Maximale Querkraft aus Membrananteilen $\frac{\sqrt{(n_x - n_y)^2 + 4 \cdot n_{xy}^2}}{2}$

Tabelle 9.6: Hauptschnittgrößen



Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte der jeweiligen Schnittgröße oder des Winkels skaliert sind. Diese Balken können ein- und ausgeblendet werden über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

9.12 Flächen - Bemessungsschnittgrößen

Grafisch sind die Bemessungsschnittgrößen im *Ergebnisse*-Navigator über den Eintrag *Flächen → Bemessungsschnittgrößen* zugänglich. In Tabelle 3.12 werden die Bemessungsschnittgrößen der Flächen numerisch ausgegeben.

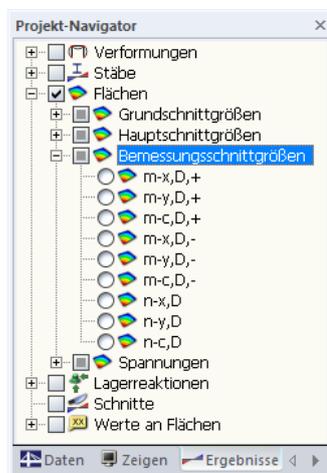


Bild 9.35: *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Bemessungsschnittgrößen

3.12 Flächen - Bemessungsschnittgrößen

LG1 - Bemessungswert

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Momente [kNm/m]						Normalkräfte [kN/m]		
		X	Y	Z	$m_{x,D+}$	$m_{y,D+}$	$m_{e,D+}$	$m_{x,D-}$	$m_{y,D-}$	$m_{e,D-}$	$n_{x,D}$	$n_{y,D}$	$n_{e,D}$
1	1	0.000	0.000	0.000	3.26	3.40	-0.12	-3.20	0.00	-3.35	-23.13	0.00	-55.73
	2	0.500	0.000	0.000	4.75	0.00	-12.50	7.03	13.14	-12.43	0.00	-21.36	-24.67
	3	1.000	0.000	0.000	0.88	0.00	-16.79	10.60	19.86	-14.55	0.00	-11.87	-16.64
	4	1.500	0.000	0.000	-1.65	0.00	-21.09	12.27	25.46	-14.99	0.00	-2.76	-16.99
	5	2.000	0.000	0.000	-4.13	0.00	-25.94	13.51	30.96	-14.40	2.43	3.85	-26.17
	6	2.500	0.000	0.000	-3.92	0.00	-28.75	13.71	34.18	-15.23	0.05	6.24	-23.05
	7	3.000	0.000	0.000	-3.84	0.00	-31.34	10.93	36.11	-11.86	0.00	5.99	-24.58
	8	3.500	0.000	0.000	-6.49	0.00	-34.42	12.79	38.96	-10.84	0.00	-7.25	-26.08
	9	4.000	0.000	0.000	-8.52	0.00	-37.41	12.82	40.87	-7.77	1.16	19.19	-44.22
	10	4.500	0.000	0.000	-8.95	0.00	-39.52	12.17	42.28	-5.97	0.27	3.81	-41.93
	11	5.000	0.000	0.000	-8.23	0.00	-39.87	8.58	40.21	-0.70	0.00	-0.65	-50.03
	12	5.500	0.000	0.000	-8.07	0.00	-41.82	9.62	43.26	-2.99	2.50	25.80	-57.79
	13	6.000	0.000	0.000	-8.49	0.00	-43.53	10.05	44.99	-3.02	1.20	13.93	-59.89
	14	6.500	0.000	0.000	-7.77	0.00	-38.24	10.03	40.24	-4.26	0.69	14.28	-60.17
	15	7.000	0.000	0.000	-7.38	0.00	-36.55	11.60	39.96	-7.64	0.00	25.36	-70.43
	16	7.500	0.000	0.000	-8.86	0.00	-36.15	16.16	41.26	-12.40	0.00	18.02	-69.05
	17	8.000	0.000	0.000	-7.96	0.00	-35.08	15.63	40.24	-12.83	0.00	33.43	-91.32
	18	8.500	0.000	0.000	-3.15	0.00	-30.09	13.59	35.82	-16.17	0.00	35.09	-114.42
	19	9.000	0.000	0.000	1.53	0.00	-27.52	11.64	33.21	-18.87	0.00	-3.97	-148.55

Flächen - Grundschnittgrößen | Flächen - Hauptschnittgrößen | Flächen - Bemessungsschnittgrößen | Flächen - Grundspannungen

Bild 9.36: Tabelle 3.12 Flächen - Bemessungsschnittgrößen

Die Auflistung der Bemessungsschnittgrößen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Momente / Normalkräfte

Die in dieser Tabelle ausgewiesenen Bemessungsmomente und -normalkräfte fußen auf den in DIN V ENV 1992-1-1, Anhang 2, A 2.8 und A 2.9 vorgestellten Verfahren. Dadurch soll Anwendern, denen das Bemessungsmodul RF-BETON nicht zur Verfügung steht, ein Hilfsmittel zur manuellen Stahlbetonbemessung an die Hand gegeben werden. Da RF-BETON das Verfahren nach BAUMANN verwendet, finden diese Schnittgrößen dort keine Anwendung.



Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass die Bemessungsmomente und -normalkräfte nicht kombiniert werden dürfen. Die Momente sind wie in DIN V ENV 1992-1-1, Anhang 2.8 dargelegt ausschließlich auf Plattenbewehrungen bezogen, den Normalkräften hingegen 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} \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_x \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_y \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_x < - m_{xy} $ $m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_y < - m_{xy} $
$m_{y,D+}$	<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} \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_x \geq - m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_y \geq - m_{xy} $ $m_y + \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_x < - m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x < - m_{xy} $
$m_{c,D+}$	<p>Bemessungsmoment zum Nachweis der Betonspannung auf der positiven Flächenseite</p> $-2 \cdot m_{xy} \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_x \geq - m_{xy} $ $m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_y \geq - m_{xy} $ $m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_x < - m_{xy} $ $m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x < - m_{xy} $
$m_{x,D-}$	<p>Bemessungsmoment in Richtung der x-Achse auf der negativen Flächenseite</p> $-m_x + m_{xy} \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_y \leq m_{xy} $ $-m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x \leq m_{xy} $ $-m_x + \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_y > m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x > m_{xy} $

$m_{y,D-}$	<p>Bemessungsmoment in Richtung der y-Achse auf der negativen Flächenseite</p> $-m_y + m_{xy} \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_y \leq m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x \leq m_{xy} $ $0 \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_y > m_{xy} $ $-m_y + \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x > m_{xy} $
$m_{c,D-}$	<p>Bemessungsmoment zum Nachweis der Betonspannung auf der negativen Flächenseite</p> $-2 \cdot m_{xy} \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_y \leq m_{xy} $ $-m_y - \frac{m_{xy}^2}{ m_y } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x \leq m_{xy} $ $-m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{für } m_x \leq m_y \text{ und } m_y > m_{xy} $ $-m_x - \frac{m_{xy}^2}{ m_x } \quad \text{für } m_x > m_y \text{ und } m_x > m_{xy} $
$n_{x,D}$	<p>Bemessungskraft in Richtung der lokalen x-Achse</p> $n_x + n_{xy} \quad \text{für } n_x \leq n_y \text{ und } n_x \geq - n_{xy} $ $0 \quad \text{für } n_x > n_y \text{ und } n_y \geq - n_{xy} $ $0 \quad \text{für } n_x \leq n_y \text{ und } n_x < - n_{xy} $ $n_x + \frac{n_{xy}^2}{ n_y } \quad \text{für } n_x > n_y \text{ und } n_y < - n_{xy} $
$n_{y,D}$	<p>Bemessungskraft in Richtung der lokalen y-Achse</p> $n_y + n_{xy} \quad \text{für } n_x \leq n_y \text{ und } n_x \geq - n_{xy} $ $0 \quad \text{für } n_x > n_y \text{ und } n_y \geq - n_{xy} $ $n_y + \frac{n_{xy}^2}{ n_x } \quad \text{für } n_x \leq n_y \text{ und } n_x < - n_{xy} $ $0 \quad \text{für } n_x > n_y \text{ und } n_y < - n_{xy} $
$n_{c,D}$	<p>Bemessungskraft zum Nachweis der Betonspannung</p> $-2 \cdot n_{xy} \quad \text{für } n_x \leq n_y \text{ und } n_x \geq - n_{xy} $ $- n_x - \frac{n_{xy}^2}{ n_x } \quad \text{für } n_x > n_y \text{ und } n_y \geq - n_{xy} $ $- n_x - \frac{n_{xy}^2}{ n_x } \quad \text{für } n_x \leq n_y \text{ und } n_x < - n_{xy} $ $- n_y - \frac{n_{xy}^2}{ n_y } \quad \text{für } n_x > n_y \text{ und } n_y < - n_{xy} $

Tabelle 9.7: Bemessungsschnittgrößen

9.13 Flächen - Grundspannungen

Grafisch sind die Grundspannungen im *Ergebnisse*-Navigator über *Flächen* → *Spannungen* zugänglich. In Tabelle 3.13 werden die Grundspannungen der Flächen in numerischer Form ausgegeben.



Die Spannungen der Flächen stehen zur Verfügung, wenn das Modul RF-STAHL lizenziert ist.

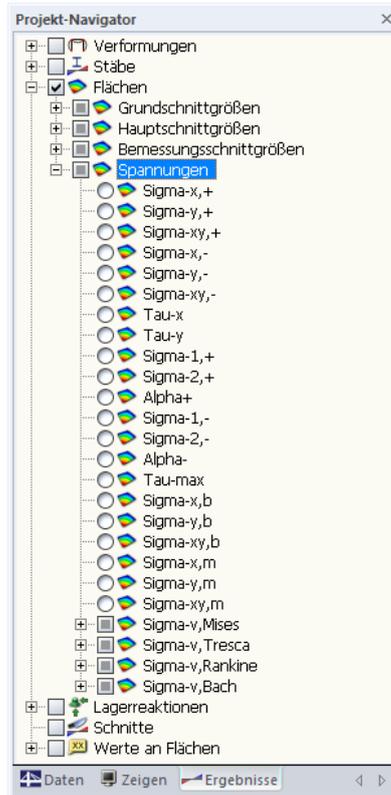


Bild 9.37: *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Spannungen

3.13 Flächen - Grundspannungen

LG1 - Bemessungswert

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Normalspannungen [N/mm ²]						Schubspannungen [N/mm ²]		
		X	Y	Z	$\sigma_{x,+}$	$\sigma_{y,+}$	$\sigma_{xy,+}$	$\sigma_{x,-}$	$\sigma_{y,-}$	$\sigma_{xy,-}$	τ_{xc}	τ_{yc}	
1	1	0.000	0.000	0.000	-0.73	-0.86	1.42	0.42	0.28	0.04	-1.21	0.02	0.02
	2	0.500	0.000	0.000	-0.70	-3.76	-0.17	0.61	3.38	0.04	-0.28	-0.10	-0.10
	3	1.000	0.000	0.000	-2.80	-13.40	-0.43	2.83	13.11	0.18	-0.48	0.18	0.18
	4	1.500	0.000	0.000	-5.46	-24.90	-0.56	5.47	24.66	0.27	-0.52	0.50	0.50
	5	2.000	0.000	0.000	-7.11	-35.59	-0.10	7.07	35.26	-0.36	-0.58	0.43	0.43
	6	2.500	0.000	0.000	-9.42	-47.86	-1.82	9.09	48.01	1.56	-0.64	1.06	1.06
	7	3.000	0.000	0.000	-10.06	-51.59	0.17	9.32	51.74	-0.29	-0.55	0.69	0.69
	8	3.500	0.000	0.000	-12.17	-59.71	-0.47	12.11	58.84	0.43	-0.10	0.92	0.92
	9	4.000	0.000	0.000	-12.43	-63.31	-0.59	12.62	63.57	0.18	-0.22	0.85	0.85
	10	4.500	0.000	0.000	-15.23	-70.04	-1.52	14.79	69.59	0.98	-0.16	1.09	1.09
	11	5.000	0.000	0.000	-14.37	-68.74	-0.42	13.94	68.18	-0.34	0.03	1.05	1.05
	12	5.500	0.000	0.000	-12.87	-65.81	0.77	12.59	65.69	-1.59	0.22	0.85	0.85
	13	6.000	0.000	0.000	-13.17	-66.16	-0.41	12.88	65.82	-0.44	0.15	0.96	0.96
	14	6.500	0.000	0.000	-12.44	-59.05	-1.55	12.05	58.61	0.64	0.24	0.78	0.78
	15	7.000	0.000	0.000	-10.96	-51.48	-0.36	10.67	51.38	-0.63	0.47	1.04	1.04
	16	7.500	0.000	0.000	-11.04	-43.29	1.13	10.60	42.93	-2.11	0.57	0.75	0.75
	17	8.000	0.000	0.000	-7.06	-31.11	-0.18	6.73	31.14	-1.29	0.60	0.58	0.58
	18	8.500	0.000	0.000	-3.61	-18.05	-0.72	3.19	17.94	-1.10	0.47	0.42	0.42

Bild 9.38: Tabelle 3.13 *Flächen* - Grundspannungen

Die Auflistung der Grundspannungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Grundspannungen

Die Spannungen sind auf die Richtungen der lokalen Flächenachsen bezogen. Bei gekrümmten Flächen beziehen sie sich auf die Achsen der FE-Elemente (vgl. Bild 9.30, Seite 282).

Die Grundspannungen bedeuten im Einzelnen:

$\sigma_{x,+}$	Spannung in Richtung der lokalen x-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{x,+} = \frac{n_x}{h} + \frac{6 \cdot m_x}{h^2}$ mit h: Dicke der Fläche
$\sigma_{y,+}$	Spannung in Richtung der lokalen y-Achse auf der positiven Seite der Fläche (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{y,+} = \frac{n_y}{h} + \frac{6 \cdot m_y}{h^2}$
$\sigma_{xy,+}$	Drillspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{xy,+} = \frac{n_{xy}}{h} + \frac{6 \cdot m_{xy}}{h^2}$
$\sigma_{x,-}$	Spannung in Richtung der x-Achse auf der negativen Flächenseite $\sigma_{x,-} = \frac{n_x}{h} - \frac{6 \cdot m_x}{h^2}$
$\sigma_{y,-}$	Spannung in Richtung der y-Achse auf der negativen Flächenseite $\sigma_{y,-} = \frac{n_y}{h} - \frac{6 \cdot m_y}{h^2}$
$\sigma_{xy,-}$	Drillspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{xy,-} = \frac{n_{xy}}{h} - \frac{6 \cdot m_{xy}}{h^2}$
τ_x	Schubspannung rechtwinklig zur Fläche in Richtung der x-Achse $\frac{3 \cdot v_x}{2 \cdot h}$ mit h: Dicke der Fläche
τ_y	Schubspannung rechtwinklig zur Fläche in Richtung der y-Achse $\frac{3 \cdot v_y}{2 \cdot h}$

Tabelle 9.8: Grundspannungen



Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte der jeweiligen Spannung skaliert sind. Die Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

9.14 Flächen - Hauptspannungen

Grafisch sind die Hauptspannungen im *Ergebnisse*-Navigator über *Flächen* → *Spannungen* zugänglich (siehe Bild 9.37, Seite 290). In Tabelle 3.14 werden die Hauptspannungen der Flächen numerisch ausgegeben.



Die Hauptspannungen der Flächen stehen nur dann zur Verfügung, wenn das Zusatzmodul RF-STAHL lizenziert ist.

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Hauptspannungen [N/mm ²]						
		X	Y	Z	$\sigma_{1,+}$	$\sigma_{2,+}$	α_+ [°]	$\sigma_{1,-}$	$\sigma_{2,-}$	α_- [°]	τ_{max}
1	1	0.000	0.000	0.000	0.62	-2.22	43.74	1.56	-0.87	-43.34	0.03
	2	0.500	0.000	0.000	-0.69	-3.77	-3.15	3.38	0.61	89.25	0.30
	3	1.000	0.000	0.000	-2.79	-13.42	-2.29	13.11	2.83	89.01	0.51
	4	1.500	0.000	0.000	-5.44	-24.92	-1.65	24.66	5.46	89.18	0.72
	5	2.000	0.000	0.000	-7.11	-35.59	-0.20	35.26	7.06	89.26	0.72
	6	2.500	0.000	0.000	-9.33	-47.94	-2.70	48.07	9.03	87.70	1.24
	7	3.000	0.000	0.000	-10.06	-51.59	0.24	51.74	9.32	89.61	0.88
	8	3.500	0.000	0.000	-12.17	-59.71	-0.57	58.85	12.10	89.47	0.92
	9	4.000	0.000	0.000	-12.42	-63.32	-0.67	63.57	12.62	89.79	0.88
	10	4.500	0.000	0.000	-15.19	-70.09	-1.57	69.61	14.77	88.99	1.10
	11	5.000	0.000	0.000	-14.37	-68.75	-0.44	68.19	13.94	89.64	1.05
	12	5.500	0.000	0.000	-12.86	-65.82	0.83	65.73	12.55	88.29	0.88
	13	6.000	0.000	0.000	-13.13	-66.20	-0.43	65.85	12.85	89.52	0.98
	14	6.500	0.000	0.000	-12.39	-59.10	-1.91	58.61	12.04	89.22	0.83
	15	7.000	0.000	0.000	-10.96	-51.48	-0.50	51.39	10.66	89.12	1.14
	16	7.500	0.000	0.000	-11.00	-43.34	1.88	43.07	10.46	86.33	0.95
	17	8.000	0.000	0.000	-7.05	-31.11	-0.53	31.21	6.66	86.93	0.84
	18	8.500	0.000	0.000	-3.57	-18.09	-2.85	18.02	3.11	85.74	0.64

Bild 9.39: Tabelle 3.14 Flächen - Hauptspannungen

Die Auflistung der Hauptspannungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Hauptspannungen

Die im Kapitel 9.13 vorgestellten Grundspannungen beziehen sich auf das xyz-Koordinatensystem der Flächen. Die Hauptspannungen hingegen stellen die Extremwerte der Spannungen in jedem Flächenelement dar. Die Hauptachsen 1 (Maximalwert) und 2 (Minimalwert) sind orthogonal angeordnet.

Grafisch lassen sich die Hauptachsenrichtungen **Alpha** in Form von Trajektorien zur Anzeige bringen (vgl. Bild 9.34, Seite 285).

Die Hauptspannungen bedeuten im Einzelnen:

$\sigma_{1,+}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{1,+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} + \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \right)$
$\sigma_{2,+}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 an der positiven Flächenseite (d. h. der Seite in Richtung der positiven Flächenachse z) $\sigma_{2,+} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+} - \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2} \right)$
α_+	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der positiven Flächenseite $\alpha_+ = \frac{1}{2} \left(\arctan \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,+}}{\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+}} \right) \right)$
$\sigma_{1,-}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 1 an der negativen Flächenseite $\sigma_{1,-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} + \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \right)$
$\sigma_{2,-}$	Spannung in Richtung der Hauptachse 2 an der negativen Flächenseite $\sigma_{2,-} = \frac{1}{2} \left(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-} - \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2} \right)$
α_-	Winkel zwischen der lokalen Achse x (bzw. y) und der Hauptachse 1 (bzw. 2) für die Spannungen an der negativen Flächenseite $\alpha_- = \frac{1}{2} \left(\arctan \left(\frac{2 \cdot \sigma_{xy,+}}{\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-}} \right) \right)$
τ_{\max}	Maximale Schubspannung senkrecht zur Fläche $\tau_{\max} = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$

Tabelle 9.9: Hauptspannungen

9.15 Flächen - Vergleichsspannungen

Grafisch können die diversen Vergleichsspannungen im *Ergebnisse*-Navigator über den Eintrag *Flächen* → *Spannungen* zur Anzeige gebracht werden (vgl. Bild 9.37, Seite 290). In der Tabelle 3.15 werden die Vergleichsspannungen der Flächen numerisch ausgegeben.



Die Spannungen der Flächen stehen zur Verfügung, wenn das Modul RF-STAHL lizenziert ist.

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Vergleichsspannungen von Mises [N/mm ²]		
		X	Y	Z	$\sigma_{v,+}$	$\sigma_{v,-}$	$\sigma_{v,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	2.58	2.14	0.31
	2	0.500	0.000	0.000	3.47	3.13	0.20
	3	1.000	0.000	0.000	12.27	11.95	0.26
	4	1.500	0.000	0.000	22.69	22.43	0.28
	5	2.000	0.000	0.000	32.63	32.31	0.43
	6	2.500	0.000	0.000	44.03	44.25	0.31
	7	3.000	0.000	0.000	47.37	47.77	0.42
	8	3.500	0.000	0.000	54.65	53.83	0.42
	9	4.000	0.000	0.000	58.11	58.30	0.43
	10	4.500	0.000	0.000	63.87	63.53	0.55
	11	5.000	0.000	0.000	62.81	62.39	0.71
	12	5.500	0.000	0.000	60.42	60.45	0.72
	13	6.000	0.000	0.000	60.71	60.46	0.78
	14	6.500	0.000	0.000	53.98	53.62	0.83
	15	7.000	0.000	0.000	46.97	46.97	0.86
	16	7.500	0.000	0.000	39.03	38.91	0.88
	17	8.000	0.000	0.000	28.25	28.47	1.28
	18	8.500	0.000	0.000	16.59	16.69	1.59

Bild 9.40: Tabelle 3.15 *Flächen - Vergleichsspannungen*

Die Auflistung der Vergleichsspannungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Vergleichsspannungen

Die Vergleichsspannungen nach von Mises für den ebenen Spannungszustand bedeuten:

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

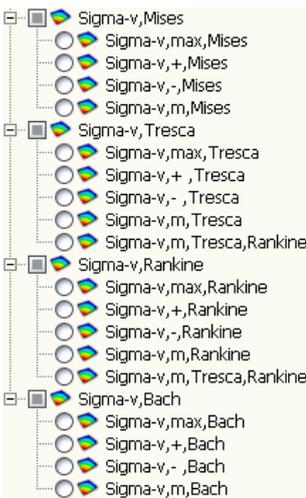
$\sigma_{v,m}$	Membran-Vergleichsspannung als der größte Absolutbetrag von
	$\sigma_{v,m} = \frac{\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m}}{2}\right)^2 + \sigma_{xy,m}^2} \text{ oder}$
	$\sigma_{v,m} = \frac{\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,m}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

Tabelle 9.10: Vergleichsspannungen nach von MISES

Im *Ergebnisse*-Navigator stehen weitere Vergleichsspannungshypothesen zur Auswahl:

- TRESCA
- RANKINE
- BACH

Diese Vergleichsspannungen werden nach folgenden Gleichungen ermittelt.



Vergleichsspannungshypothesen

$\sigma_{v,max,Tresca}$	Maximum der Vergleichsspannung an positiver und negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+,Tresca}$	Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$
$\sigma_{v,-,Tresca}$	Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$
$\sigma_{v,m,Tresca}$	Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$
$\sigma_{v,m,Tresca,Rankine}$	Maximum der Membran-Vergleichsspannung nach TRESCA oder RANKINE

$\sigma_{v,max,Rankine}$	Maximum der Vergleichsspannung an positiver und negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+,Rankine}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$
$\sigma_{v,-,Rankine}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$

$\sigma_{v,m,Rankine}$	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung $\sigma_m = \frac{1}{2}(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$
$\sigma_{v,m,Tresca,Rankine}$	Maximum der Membran-Vergleichsspannung nach TRESCA oder RANKINE

$\sigma_{v,max,Bach}$	Maximum der Vergleichsspannung an positiver und negativer Flächenseite
$\sigma_{v,+,Bach}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der positiven Flächenseite $\sigma_{v,+} = \frac{1-\mu}{2}(\sigma_{x,+} + \sigma_{y,+}) \pm \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,+} - \sigma_{y,+})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,+}^2}$ mit μ : Querdehnzahl (vgl. Kapitel 5.3, Seite 102)
$\sigma_{v,-,Bach}$	Größter Absolutwert der Vergleichsspannung an der negativen Flächenseite $\sigma_{v,-} = \frac{1-\mu}{2}(\sigma_{x,-} + \sigma_{y,-}) \pm \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,-} - \sigma_{y,-})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,-}^2}$
$\sigma_{v,m,Bach}$	Größter Absolutwert der Membran-Vergleichsspannung $\sigma_{v,m} = \frac{1-\mu}{2}(\sigma_{x,m} + \sigma_{y,m}) \pm \frac{1+\mu}{2}\sqrt{(\sigma_{x,m} - \sigma_{y,m})^2 + 4 \cdot \sigma_{xy,m}^2}$

Tabelle 9.11: Vergleichsspannungen nach TRESCA, RANKINE und BACH

9.16 Flächen - Weitere Spannungen

Grafisch können die Spannungsanteile infolge der Biegemomente und Membrankräfte im *Ergebnisse-Navigator* über den Eintrag *Flächen* → *Spannungen* angezeigt werden (siehe Bild 9.37, Seite 290). In der Tabelle 3.16 werden diese Spannungen numerisch ausgegeben.



Die Spannungen der Flächen stehen zur Verfügung, wenn das Modul RF-STAHL lizenziert ist.

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Spannungen inf. Biegemomente [N/mm ²]			Spannungen inf. Normalkräfte [N/mm ²]		
		X	Y	Z	$\sigma_{x,b}$	$\sigma_{y,b}$	$\sigma_{xy,b}$	$\sigma_{x,m}$	$\sigma_{y,m}$	$\sigma_{xy,m}$
1	1	0.000	0.000	0.000	-0.58	-0.57	1.32	-0.16	-0.29	0.10
2	0.500	0.000	0.000	0.000	-0.65	-3.57	-0.10	-0.05	-0.19	-0.07
3	1.000	0.000	0.000	0.000	-2.82	-13.26	-0.30	0.01	-0.15	-0.12
4	1.500	0.000	0.000	0.000	-5.46	-24.78	-0.42	0.00	-0.12	-0.14
5	2.000	0.000	0.000	0.000	-7.09	-35.42	0.13	-0.02	-0.17	-0.23
6	2.500	0.000	0.000	0.000	-9.26	-47.93	-1.69	-0.17	0.07	-0.13
7	3.000	0.000	0.000	0.000	-9.69	-51.67	0.23	-0.37	0.08	-0.06
8	3.500	0.000	0.000	0.000	-12.14	-59.28	-0.45	-0.03	-0.43	-0.02
9	4.000	0.000	0.000	0.000	-12.52	-63.44	-0.39	0.10	0.13	-0.21
10	4.500	0.000	0.000	0.000	-15.01	-69.82	-1.25	-0.22	-0.22	-0.27
11	5.000	0.000	0.000	0.000	-14.16	-68.46	-0.04	-0.21	-0.28	-0.38
12	5.500	0.000	0.000	0.000	-12.73	-65.75	1.18	-0.14	-0.06	-0.41
13	6.000	0.000	0.000	0.000	-13.03	-65.99	0.01	-0.14	-0.17	-0.42
14	6.500	0.000	0.000	0.000	-12.25	-58.83	-1.09	-0.20	-0.22	-0.46
15	7.000	0.000	0.000	0.000	-10.82	-51.43	0.14	-0.14	-0.05	-0.49
16	7.500	0.000	0.000	0.000	-10.82	-43.11	1.62	-0.22	-0.18	-0.49
17	8.000	0.000	0.000	0.000	-6.89	-31.12	0.56	-0.17	0.01	-0.73
18	8.500	0.000	0.000	0.000	-3.40	-18.00	0.19	-0.21	-0.06	-0.91

Bild 9.41: Tabelle 3.16 Flächen - Weitere Spannungen

Die Auflistung der Spannungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten geordnet.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts 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 FE-Elemente (vgl. Bild 9.30, Seite 282).

Die Spannungen bedeuten im Einzelnen:

$\sigma_{x,b}$	Spannung infolge Biegemoment m_x $\sigma_{x,b} = \frac{6 \cdot m_x}{h^2}$ mit h: Dicke der Fläche
$\sigma_{y,b}$	Spannung infolge Biegemoment m_y $\sigma_{y,b} = \frac{6 \cdot m_y}{h^2}$
$\alpha_{xy,b}$	Spannung infolge Drillmoment m_{xy} $\sigma_{xy,b} = \frac{6 \cdot m_{xy}}{h^2}$
$\sigma_{x,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_x $\sigma_{x,m} = \frac{n_x}{h}$ mit h: Dicke der Fläche
$\sigma_{y,m}$	Membranspannung infolge Normalkraft n_y $\sigma_{y,m} = \frac{n_y}{h}$
$\alpha_{xy,m}$	Membranspannung infolge Schubfluss n_{xy} $\sigma_{xy,m} = \frac{n_{xy}}{h}$

Tabelle 9.12: Weitere Spannungen

9.17 Flächen - Kontaktspannungen

Sind Flächenbettungen im Modell vorhanden (siehe Kapitel 5.9, Seite 130), so werden die Kontaktspannungen („Sohlpressungen“) der Flächen in Tabelle 3.17 numerisch ausgegeben. Grafisch sind diese im *Ergebnisse*-Navigator über die Option *Flächen* → *Kontaktspannungen* zugänglich.

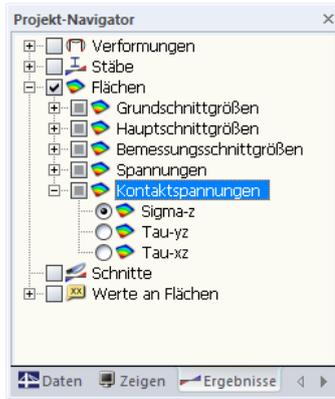


Bild 9.42: *Ergebnisse*-Navigator: Flächen → Kontaktspannungen

Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten [m]			Kontaktspannungen [kN/m ²]		
		X	Y	Z	σ_z	τ_{yz}	τ_{xz}
28	1	-0.850	-1.000	3.300	86.75	-1.58	-0.31
	2	-0.350	-1.000	3.300	82.62	-1.60	-0.31
	3	0.150	-1.000	3.300	77.97	-1.61	-0.31
	4	0.650	-1.000	3.300	73.72	-1.63	-0.31
	5	1.150	-1.000	3.300	69.51	-1.64	-0.31
	6	1.650	-1.000	3.300	66.19	-1.65	-0.31
	7	2.150	-1.000	3.300	64.06	-1.67	-0.31
	8	2.650	-1.000	3.300	63.22	-1.68	-0.31
	9	3.150	-1.000	3.300	63.63	-1.70	-0.31
	10	3.650	-1.000	3.300	65.12	-1.71	-0.31
	11	4.150	-1.000	3.300	67.11	-1.73	-0.31
	12	4.650	-1.000	3.300	69.02	-1.75	-0.31
	13	5.150	-1.000	3.300	70.11	-1.76	-0.31
	14	5.650	-1.000	3.300	69.58	-1.78	-0.31
	15	6.150	-1.000	3.300	68.15	-1.79	-0.31
	16	6.650	-1.000	3.300	65.35	-1.80	-0.31

Bild 9.43: Tabelle 3.17 *Flächen - Kontaktspannungen*

Die Auflistung der Spannungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten geordnet.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben. Bei einem Klick in eine Tabellenzeile wird dieser Rasterpunkt in der Grafik durch einen dicken Pfeil gekennzeichnet.

Kontaktspannungen

Die Spannungen sind auf die Richtungen der lokalen Flächenachsen bezogen. Bei gekrümmten Flächen beziehen sie sich auf die Achsen der FE-Elemente (vgl. Bild 9.30, Seite 282).

Liegt eine 2D-Platte vor, so wird nur die Ergebnisspalte σ_z angezeigt.

Die Kontaktspannungen bedeuten im Einzelnen:

σ_z	Kontaktspannung („Sohlpressung“) in Richtung der Flächenachse z $\sigma_z = \mu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$
τ_{xz}	Schubspannung aus der Flächenbettung $\tau_{xz} = \frac{3 \cdot v_x}{2 \cdot h}$ mit h: Dicke der Fläche
τ_{yz}	Schubspannung aus der Flächenbettung $\tau_{yz} = \frac{3 \cdot v_y}{2 \cdot h}$

Tabelle 9.13: Kontaktspannungen



Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Maximalwerte der jeweiligen Spannung skaliert sind. Die Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

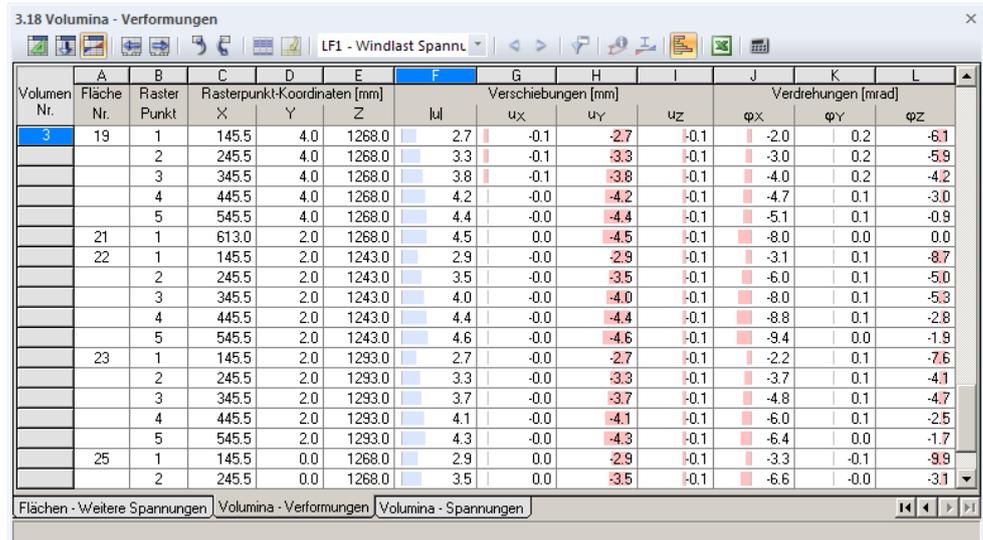
oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.



Positive Kontaktspannungen sind blau gekennzeichnet, negative Spannungen rot. 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, hat eine Last in Richtung der Achse z eine positive Spannung σ_z zur Folge. Die Vorzeichen ergeben sich demzufolge aus der Richtung der Flächenachse z (vgl. Bild 5.55, Seite 116). Die Ausrichtung dieser z-Achse lässt sich bei 3D-Strukturen schnell ändern: Klicken Sie die Fläche mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü *Lokales Achsensystem umkehren*. Beachten Sie dabei, dass ein eventuelles Ausfallkriterium die Wirkrichtung wechselt.

9.18 Volumina - Verformungen

Die Volumenverformungen sind grafisch über den Eintrag *Verformungen* im *Ergebnisse*-Navigator zugänglich (vgl. Bild 9.24, Seite 278). In Tabelle 3.18 werden die Verformungen der Begrenzungsflächen numerisch ausgegeben.



Volumen Nr.	A Fläche Nr.	B Raster Punkt	C Rasterpunkt-Koordinaten [mm]			G Verschiebungen [mm]				K Verdrehungen [mrad]		
			X	Y	Z	u	u _x	u _y	u _z	φ _x	φ _y	φ _z
3	19	1	145.5	4.0	1268.0	2.7	-0.1	-2.7	+0.1	-2.0	0.2	-6.1
		2	245.5	4.0	1268.0	3.3	-0.1	-3.3	+0.1	-3.0	0.2	-5.9
		3	345.5	4.0	1268.0	3.8	-0.1	-3.8	+0.1	-4.0	0.2	-4.2
		4	445.5	4.0	1268.0	4.2	-0.0	-4.2	+0.1	-4.7	0.1	-3.0
		5	545.5	4.0	1268.0	4.4	-0.0	-4.4	+0.1	-5.1	0.1	-0.9
	21	1	613.0	2.0	1268.0	4.5	0.0	-4.5	+0.1	-8.0	0.0	0.0
22	1	1	145.5	2.0	1243.0	2.9	-0.0	-2.9	+0.1	-3.1	0.1	-8.7
		2	245.5	2.0	1243.0	3.5	-0.0	-3.5	+0.1	-6.0	0.1	-5.0
		3	345.5	2.0	1243.0	4.0	-0.0	-4.0	+0.1	-8.0	0.1	-5.3
		4	445.5	2.0	1243.0	4.4	-0.0	-4.4	+0.1	-8.8	0.1	-2.8
		5	545.5	2.0	1243.0	4.6	-0.0	-4.6	+0.1	-9.4	0.0	-1.9
23	1	1	145.5	2.0	1293.0	2.7	-0.0	-2.7	+0.1	-2.2	0.1	-7.6
		2	245.5	2.0	1293.0	3.3	-0.0	-3.3	+0.1	-3.7	0.1	-4.1
		3	345.5	2.0	1293.0	3.7	-0.0	-3.7	+0.1	-4.8	0.1	-4.7
		4	445.5	2.0	1293.0	4.1	-0.0	-4.1	+0.1	-6.0	0.1	-2.5
		5	545.5	2.0	1293.0	4.3	-0.0	-4.3	+0.1	-6.4	0.0	-1.7
25	1	1	145.5	0.0	1268.0	2.9	0.0	-2.9	+0.1	-3.3	-0.1	-9.9
		2	245.5	0.0	1268.0	3.5	0.0	-3.5	+0.1	-6.6	-0.0	-3.1

Bild 9.44: Tabelle 3.18 Volumina - Verformungen

Die Auflistung der Verschiebungen und Verdrehungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten geordnet.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Verschiebungen / Verdrehungen

Die Verformungen bedeuten im Einzelnen:

u	Absolute Gesamtverschiebung (nicht bei Lastfallkombinationen)
u _x	Verschiebung des Volumens in Richtung der globalen X-Achse
u _y	Verschiebung des Volumens in Richtung der globalen Y-Achse
u _z	Verschiebung des Volumens in Richtung der globalen Z-Achse
φ _x	Verdrehung des Volumens um die globale X-Achse
φ _y	Verdrehung des Volumens um die globale Y-Achse
φ _z	Verdrehung des Volumens um die globale Z-Achse

Tabelle 9.14: Volumenverformungen

Die Ergebnisspalten sind mit blauen oder roten Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte der jeweiligen Verformungen skaliert sind. Positive Verformungen (d. h. in Richtung der bzw. rechtsschraubig um die jeweilige globale Achse) werden durch einen blauen, negative Verformungen durch einen roten Balken dargestellt.



Die farbigen Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü **Tabelle** → **Ansicht** → **Farb-Relationsbalken** oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

9.19 Volumina - Spannungen

Die Volumenspannungen sind grafisch im *Ergebnisse*-Navigator über den Eintrag *Volumina* zugänglich. In Tabelle 3.19 werden die Spannungen der Volumina numerisch ausgegeben.

Die tabellarischen Ergebniswerte sind auf die Rasterpunkte der Begrenzungsflächen bezogen. Hier werden keine Spannungen im Inneren des Volumens ausgegeben. Bei der grafischen Auswertung der Ergebnisse an den FE-Netzpunkten jedoch können die Spannungen im Volumen abgelesen werden – vorausgesetzt, es wurden dort FE-Knoten generiert.

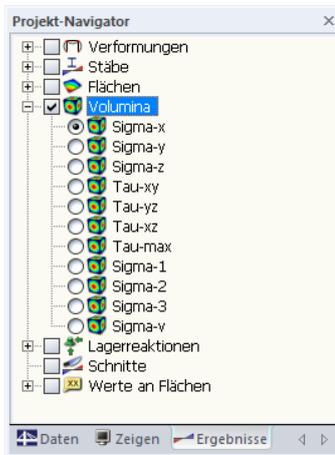


Bild 9.45: *Ergebnisse*-Navigator: Volumina

3.19 Volumina - Spannungen

Volumen Nr.	Fläche Nr.	Raster Punkt	Rasterpunkt-Koordinaten			Grundspannungen [N/mm ²]			Schubspannungen [N/mm ²]				Hauptspannungen [N/mm ²]			V-Spannung σ_v [N/mm ²]
			X	Y	Z	σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}	τ_{max}	σ_1	σ_2	σ_3	
1	5	1	5.0	22.0	0.0	1.8	15.1	1.5	-9.4	-0.4	-1.2	14.2	22.6	1.6	-5.7	25.8
	6	1	0.0	22.0	-5.0	12.0	1.6	-9.0	-7.5	-1.9	-0.9	11.8	8.5	-2.8	-15.1	20.8
	9	1	0.0	21.0	0.0	1.8	-6.4	-2.9	-8.7	-1.8	-1.9	10.0	7.4	-2.3	-12.6	17.3
	18	1	7.1	22.0	-7.1	-7.7	53.4	20.5	-5.5	0.4	-0.4	32.7	55.6	20.5	-9.8	57.0
2	19	1	0.0	23.0	0.0	-12.8	8.4	-3.6	-8.8	3.6	-1.4	14.2	12.4	-4.6	-16.0	24.8
	1	1	-7.1	22.0	-7.1	-15.1	-43.2	-13.7	-2.4	-0.3	-0.2	15.5	-13.1	-14.6	-44.2	30.4
	6	1	0.0	22.0	-5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	10	1	0.0	21.0	0.0	-6.9	5.2	-1.7	-6.7	0.2	-1.5	9.1	8.2	-1.5	-10.1	15.8
3	16	1	-5.0	22.0	0.0	-15.5	-14.8	-9.5	-6.8	-0.6	-0.3	11.9	-2.7	-10.7	-26.4	21.4
	20	1	0.0	23.0	0.0	-6.8	-6.5	-3.3	-11.7	1.3	-1.3	11.9	5.4	-3.7	-18.4	20.8
	11	1	0.0	21.0	0.0	-6.9	5.2	-1.7	-6.7	-0.2	-1.5	9.1	8.2	-1.5	-10.1	15.8
	15	1	0.0	22.0	5.0	-6.1	-0.2	0.0	-7.2	-0.7	1.4	10.1	7.9	-1.9	-12.3	17.6
4	16	1	-5.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	17	1	-7.1	22.0	7.1	-15.1	-43.2	-13.7	-2.4	0.3	0.2	15.5	-13.1	-14.6	-44.2	30.4
	21	1	0.0	23.0	0.0	-6.8	-6.5	-3.3	-11.7	-1.3	1.3	11.9	5.4	-3.7	-18.4	20.8
	2	1	7.1	22.0	7.1	-7.7	53.4	20.5	-5.5	-0.4	0.4	32.7	55.6	20.5	-9.8	57.0
5	1	5.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	12	1	0.0	21.0	0.0	1.8	-6.4	-2.9	-8.7	1.8	-1.9	10.0	7.4	-2.3	-12.6	17.3

Bild 9.46: Tabelle 3.19 *Volumina - Spannungen*

Die Auflistung der Volumenspannungen erfolgt flächenweise nach Rasterpunkten.

Rasterpunkt

Für jede Fläche werden die Nummern der Rasterpunkte in aufsteigender Reihenfolge gelistet. Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Rasterpunkt-Koordinaten

In diesen drei Spalten werden die Koordinaten eines jeden Rasterpunkts im globalen XYZ-Koordinatensystem angegeben.

Normalspannungen / Schubspannungen / Vergleichsspannung

Volumenspannungen lassen sich nicht wie Flächenspannungen mit einfachen Formeln 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 zerlegt werden in Normal- und Schubspannungen. Unter Vernachlässigung der Raumkraft und auch der Spannungsunterschiede an parallelen Flächen lässt sich im lokalen Koordinatensystem des Würfels der Spannungszustand durch neun Spannungskomponenten beschreiben.

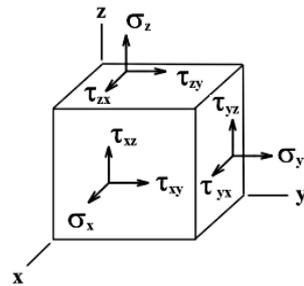


Bild 9.47: Volumenelement mit Spannungskomponenten

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 9.1: Matrix des Spannungstensors

Aus den Eigenwerten des Tensors ergeben sich die *Hauptspannungen* σ_1 , σ_2 und σ_3 gemäß folgender Formel:

$$\det(S - \sigma E) = 0$$

mit E: 3x3-Einheitsmatrix

Gleichung 9.2: Hauptspannungen

Die *Vergleichsspannung* σ_v gemäß VON MISES lässt sich durch zwei gleichwertige Formeln ausdrücken:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$$

Gleichung 9.3: Vergleichsspannung aus Hauptspannungen

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_y - \sigma_x \sigma_z - \sigma_y \sigma_z + 3 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)}$$

Gleichung 9.4: Vergleichsspannung aus Grundspannungen



Die Ergebnisspalten sind mit roten oder blauen Balken hinterlegt, die auf die Extremwerte der jeweiligen Spannung skaliert sind. Die Balken werden ein- und ausgeblendet über Menü

Tabelle → Ansicht → Farb-Relationsbalken

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Tabellensymbolleiste.

10. Ergebnisauswertung

10.1 Vorhandene Ergebnisse

Nach der Berechnung können die Ergebnisse in verschiedener Weise ausgewertet werden. Die Menüfunktion

Ergebnisse → **Vorhandene Ergebnisse**

ruff einen Dialog mit der Zusammenstellung aller berechneten Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen auf.

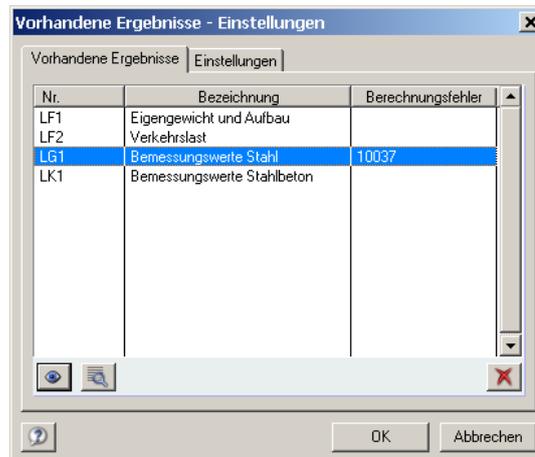


Bild 10.1: Dialog *Vorhandene Ergebnisse*



Anhand dieser Liste kann überprüft werden, ob alle vorgegebenen Lastkonstellationen berechnet wurden. Die Spalte *Berechnungsfehler* weist etwaige Ursachen für Berechnungsabbrüche aus, die über die Schaltfläche [Details] des selektierten Lastfalls eingesehen werden können.



Ein bestimmtes Ergebnis kann in diesem Dialog selektiert und dann über die Schaltfläche [Anzeigen] oder einen Doppelklick grafisch dargestellt werden. Nicht benötigte Ergebnisse lassen sich mit der Schaltfläche [X] löschen.



Das zweite Register *Einstellungen* dieses Dialogs steuert, ob die Ergebnisse orthotroper Flächen der Typen *Starr* oder *Kopplung* angezeigt oder unterdrückt werden.

LF2 - Verkehrslast

In der Lastfallliste der Symbolleiste und der Ergebnistabellen-Symbolleiste kann der Lastfall oder die Lastfallgruppe bzw. -kombination für die Ergebnisanzeige ebenfalls ausgewählt werden. Wenn die Synchronisation der Selektion aktiv ist, werden Grafik und Tabellen automatisch aktualisiert (vgl. Kapitel 12.3.4, Seite 415).

10.2 Ergebnisauswahl



Über den *Ergebnisse*-Navigator wird gesteuert, ob Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen oder/und Lagerreaktionen sowie Schnitte angezeigt werden.

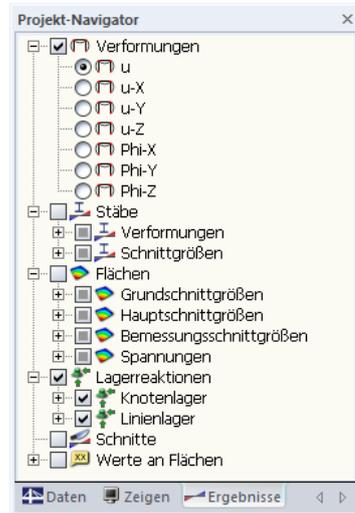


Bild 10.2: *Ergebnisse*-Navigator

Alternativ kann die Auswahl über die *Ergebnisse*-Symbolleiste erfolgen.



Bild 10.3: *Ergebnisse*-Schaltflächen in der Symbolleiste



Die Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] schaltet die Darstellung der Ergebnisgrafik an oder ab, die Schaltfläche [Ergebnisse mit Werten anzeigen] rechts davon steuert die Anzeige der Ergebniswerte.

Werden die Ergebnisse einer Lastfallkombination angezeigt, bietet der *Ergebnisse*-Navigator den zusätzlichen Eintrag *Lastfallkombinationen* an.



Bild 10.4: *Ergebnisse*-Navigator bei einer Lastfallkombination

Hier stehen drei Möglichkeiten zur Auswahl, die sich auf die Grafik der Verformungen, Schnittgrößen und Lagerkräfte in gleicher Weise auswirken. Die *Maximal-* und *Minimalwerte* lassen sich getrennt anzeigen. Mit der Option *Max- und Min-Werte* werden beide Einhüllenden aus allen Extremwerten gleichzeitig dargestellt.

10.3 Ergebnisdarstellung

Die Präsentation der Ergebnisse wird über den *Zeigen*-Navigator gesteuert.

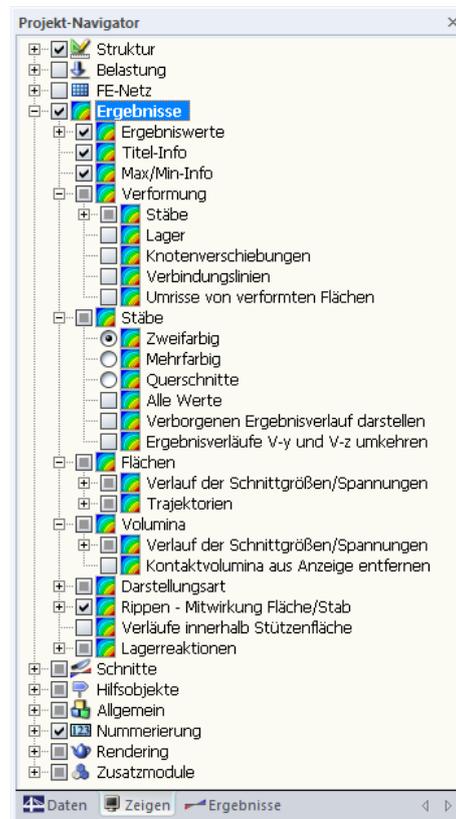


Bild 10.5: *Zeigen*-Navigator: Ergebnisse

Stabergebnisse

Als Standard werden die Stabschnittgrößen *zweifarbige* dargestellt. Damit werden positive Schnittgrößen in cyan bzw. blau, negative Schnittgrößen in rot angetragen. Die Stabverformungen werden standardmäßig als einfarbige *Linien* dargestellt.



Das Eingabefeld *Anzahl Stabteilungen für Ergebnisse der Stäbe* im Register *Optionen* des Dialogs *Berechnungsparameter* (vgl. Bild 8.18, Seite 253) steuert den grafischen Ergebnisverlauf. Ist dort eine Teilung von *10* vorgegeben, wird die Länge des längsten Stabes im Modell durch *10* geteilt. Mit dieser Teilungslänge werden dann in jedem Stab die Ergebnisverläufe an den Zwischenpunkten ermittelt.



Werden die Stabschnittgrößen *mehrfarbige* dargestellt, erfolgt die Farbzusweisung der Linien gemäß der im Steuerpanel gezeigten Skala. Im Kapitel 4.4.6 auf Seite 77 finden Sie Hinweise zur Anpassung dieser Farbskala.

Die Schnittgrößen können auch an den *Querschnitten* gezeigt werden. Dabei erscheint eine fotorealistische Darstellung der Stäbe mit farblich abgestimmten Schnittgrößenverläufen an den gerenderten Stäben.

In gleicher Weise kann die Verformung der *Querschnitte* (3D-Rendering der Verformungsfigur) oder der *Querschnitte farbige* (farbig abgestuftes Rendering der Verformungsfigur) angezeigt werden (siehe Bild 10.6).

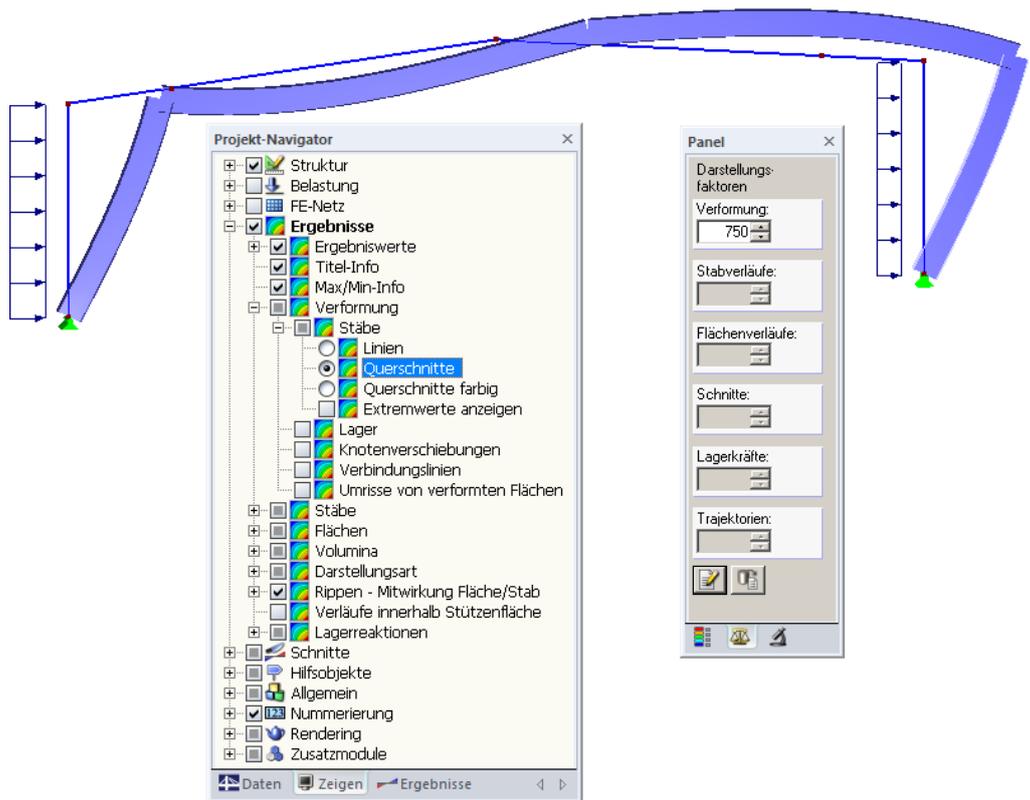


Bild 10.6: Überhöhte Darstellung der Stabverformungen im 3D-Rendering

Flächen- und Volumenergebnisse

Die Ergebnisse der Flächen und Volumina werden standardmäßig als *Isoflächen* angezeigt. Die Farbuweisung wird im Steuerpanel gesteuert (siehe Kapitel 4.4.6, Seite 77).

Der Eintrag *Ergebnisse* → *Darstellungart* des *Zeigen-Navigators* bietet diverse Anzeigemöglichkeiten für die Flächen- und Volumenergebnisse an.



Bild 10.7: *Zeigen-Navigator*: Ergebnisse → Darstellungart

Die Ergebnisse von Flächen und Volumina lassen sich als *Isoflächen* oder *Isolinien* darstellen. Letztere können für die Druckausgabe vorteilhaft sein. Die Option *Ohne* (grafische Ergebnisverläufe) ermöglicht eine Ausgabe der reinen Ergebniswerte: Die Isoflächen oder Isolinien werden ausgeblendet, sodass eine reine Werteanzeige in den Raster- oder FE-Netzpunkten erreicht wird. Diese Einstellung eignet sich ebenfalls für die Druckausgabe.

Die Anzeigoption *Differenzen* steht zur Verfügung, wenn Spannungen angezeigt werden. Es werden die Spannungsänderungen in den FE-Elementen ersichtlich, wodurch eine Kontrolle des FE-Netzes möglich ist. Falls große Unterschiede in benachbarten FE-Elementen bestehen, sollte an diesen Stellen eine FE-Netzverdichtung erwogen werden.

Die Darstellung der Ergebnisse in den *Volumen-FE-Knoten* ermöglicht eine Auswertung der Spannungen im Inneren eines Volumens. Ein ausreichend feines FE-Netz wird hierfür vorausgesetzt. Die Farbzweisung der FE-Knoten erfolgt gemäß der im Steuerpanel gezeigten Skala. Werden zudem im *Ergebnisse*-Navigator die *Werte* in den FE-Netzpunkten aktiviert, lassen sich die Spannungen gezielt auswerten.

Über das Steuerpanel-Register *Faktoren* kann die Skalierung der Verformungs- und Schnittgrößendarstellung beeinflusst werden. Das Register *Filter* im Panel ermöglicht eine gezielte Auswahl derjenigen Stäbe, Flächen oder Volumina, deren Ergebnisse zur Anzeige kommen sollen. Die Beschreibung dieser Funktionen finden Sie im Kapitel 4.4.6 ab Seite 80.



Spannungen in Volumina



10.4 Werteanzeige

Die Anzeige der Werte wird im *Ergebnisse*-Navigator gesteuert. Dort kann in der Kategorie *Werte* die numerische Darstellung der Ergebnisse in der Grafik beeinflusst werden.

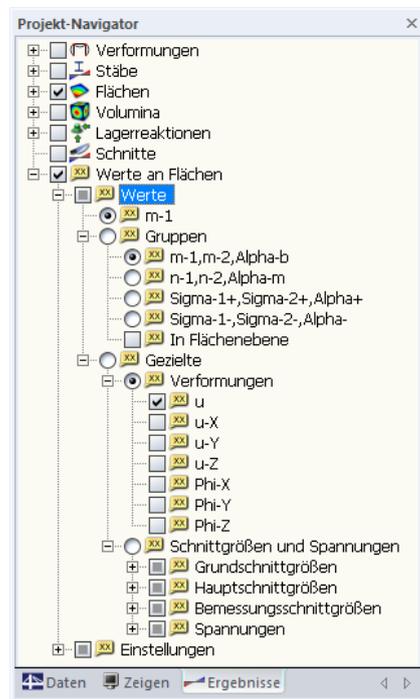


Bild 10.8: *Ergebnisse*-Navigator: Werte an Flächen → Werte

Die ersten beiden Auswahlfelder (im Bild oben: *m-1* und *Gruppen*) steuern, welche Verformungen, Schnittgrößen oder Spannungen angezeigt werden. Ist das oberste Auswahlfeld aktiv, werden die Ergebniswerte der in der Grafik eingestellten Verformung, Schnittgröße oder Spannung angezeigt.

Für Flächenergebnisse können mit dem Auswahlfeld *Gruppen* zwei Ergebniswerte pro Stelle angezeigt werden. Vier Gruppen sind bereits vordefiniert. Wird beispielsweise die erste Gruppe ausgewählt, kommen die Hauptmomente m_1 und m_2 gleichzeitig zur Anzeige. Die Ergebniswerte werden um den Winkel α_b gedreht angeordnet.

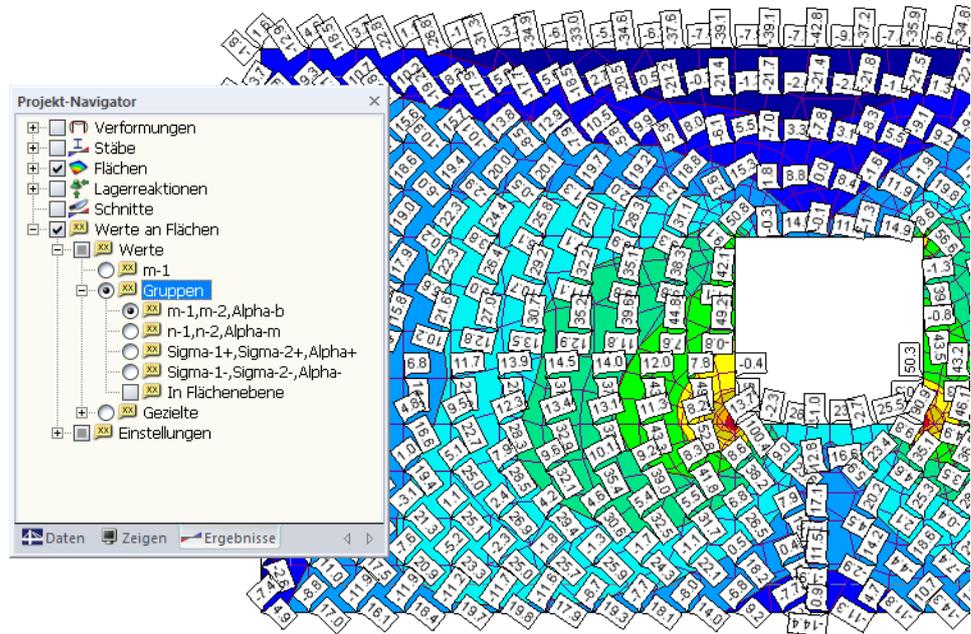


Bild 10.9: Gruppe *Hauptmomente* in der Grafik



Es können auch eigene Gruppen definiert werden. Mit einem Klick der rechten Maustaste auf den Navigatoreintrag *Gruppen* öffnet sich das links gezeigte Kontextmenü. Die Option *Neue Werte-Gruppe* ruft dann folgenden Dialog auf:

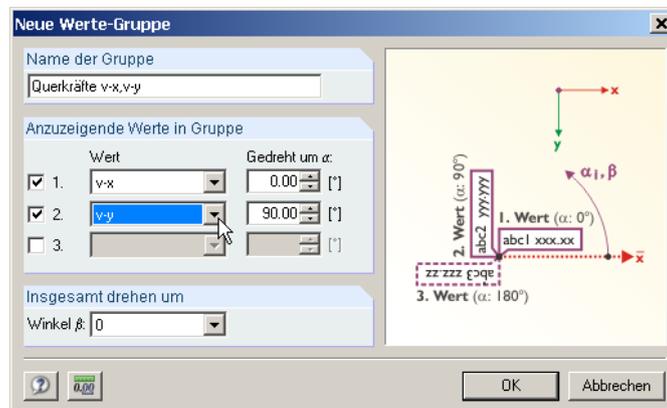
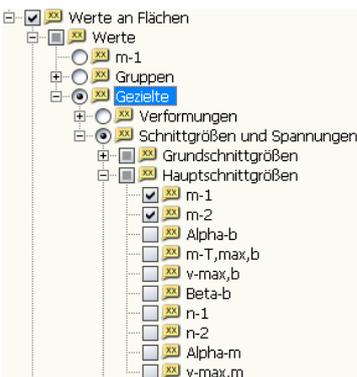


Bild 10.10: Dialog *Neue Werte-Gruppe*



Zunächst wird der *Name der Gruppe* festgelegt, der später als Navigatoreintrag erscheint. Im Abschnitt *Anzuzeigende Werte in Gruppe* werden die relevanten Ergebnisarten in den Listen *1. Wert*, *2. Wert* und *3. Wert* ausgewählt. Die Drehung der angezeigten Werte wird jeweils in den Eingabefeldern *Gedreht um α* festgelegt.

Das Kontrollfeld *In Flächenebene* ermöglicht bei isometrischen Ansichten die Beschriftung direkt auf der Fläche. Anderenfalls werden die Gruppen-Ergebniswerte in der Bildschirmenebene gezeichnet, was möglicherweise eine verzerrte Darstellung zur Folge haben kann.

Das Auswahlfeld *Gezielte* steuert, welche Ergebniswerte (Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen) dargestellt werden – unabhängig von der in der Grafik aktiven Ergebnisart. Es

können damit beispielsweise die Verformungen der Fläche grafisch hinterlegt und gleichzeitig wie links eingestellt die Werte der Hauptschnittgrößen m_1 und m_2 eingeblendet werden.

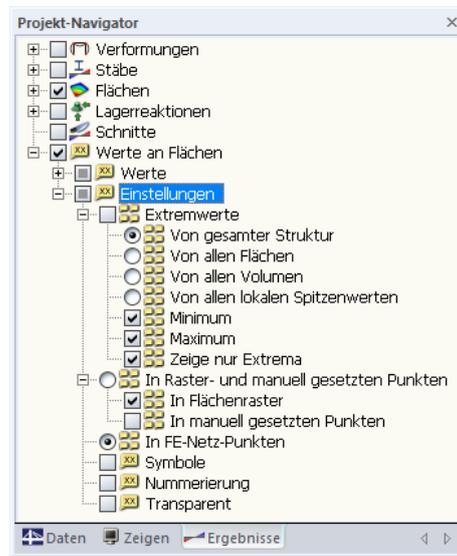


Bild 10.11: Ergebnisse-Navigator: Werte an Flächen → Einstellungen

Die unter dem Auswahlfeld *Einstellungen* angeordneten Anzeigemöglichkeiten beeinflussen die Ausgabestellen der Ergebniswerte sowie deren Darstellung. Ist die Option *Extremwerte* aktiv, so werden je nach Einstellung nur die jeweiligen Minima bzw. Maxima angezeigt.

Die Ergebniswerte können zudem entweder in den *Raster- und manuell gesetzten Punkten* oder in den *FE-Netzpunkten* angezeigt werden. Die letztgenannte Option sollte mit Bedacht angewandt werden, denn bei größeren Strukturen kann das Einlesen aller FE-Ergebniswerte etwas Zeit beanspruchen.

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 Raster- bzw. FE-Netzpunkte ($R1$, $N1$ etc.) wird mit ausgegeben.
- Die Werte werden *Transparent* – ohne Rahmen und ohne Hintergrund – dargestellt.

$m-x$	77.3
$R1$	$N1$
32.4	-23.7
$N617$	
$m-1$	31.2
$m-2$	12.9

Benutzerdefinierte Ergebniswerte

Rasterwerte

Da die Rasterpunkte eine Eigenschaft der jeweiligen Fläche darstellen, kann deren Anzahl und Anordnung im Register *Raster* des Dialogs *Fläche bearbeiten* angepasst werden. Das Flächen-Ergebnisraster liegt der tabellarischen Ausgabe zu Grunde. Grafisch können sowohl die Rasterwerte als auch die Werte an den FE-Knoten angezeigt werden.

Nähere Informationen zu den Rasterpunkten finden Sie im Kapitel 9.9 auf Seite 279.

Grafikwerte

Die Funktion zum Setzen von Ergebniswerten an benutzerdefinierter Stellen in der Ergebnisgrafik wird aufgerufen über Menü

Ergebnisse → Ergebniswerte manuell setzen

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste (siehe Bild 10.12).



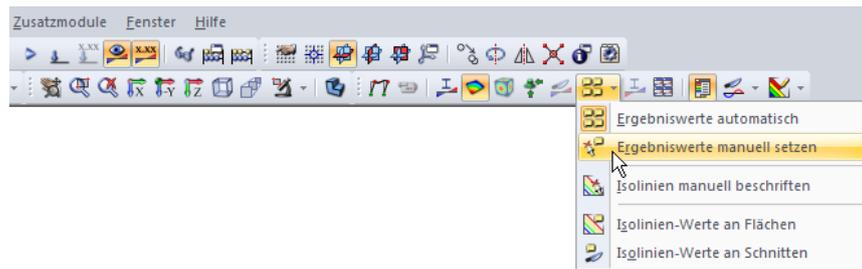


Bild 10.12: Funktion *Ergebniswerte manuell setzen* in der Symbolleiste *Ergebnisse*

Bewegt man die Maus über eine Fläche, werden die Ergebniswerte an der aktuellen Position des Mauszeigers angezeigt. Mit Mausklicks können die Ergebniswerte dann an beliebigen Stellen der Fläche gesetzt werden.

Manuell gesetzte Ergebniswerte lassen sich wieder löschen, indem man diese per Mausklick selektiert und dann die [Entf]-Taste drückt. Eine Mehrfachselektion ist wie gewohnt mit der gedrückten [Strg]-Taste oder grafisch durch Aufziehen eines Fensters möglich.

Das Kontextmenü der Ergebniswerte wird durch Anklicken eines dieser Werte mit der rechten Maustaste aufgerufen. Es enthält spezielle Anzeigefunktionen:

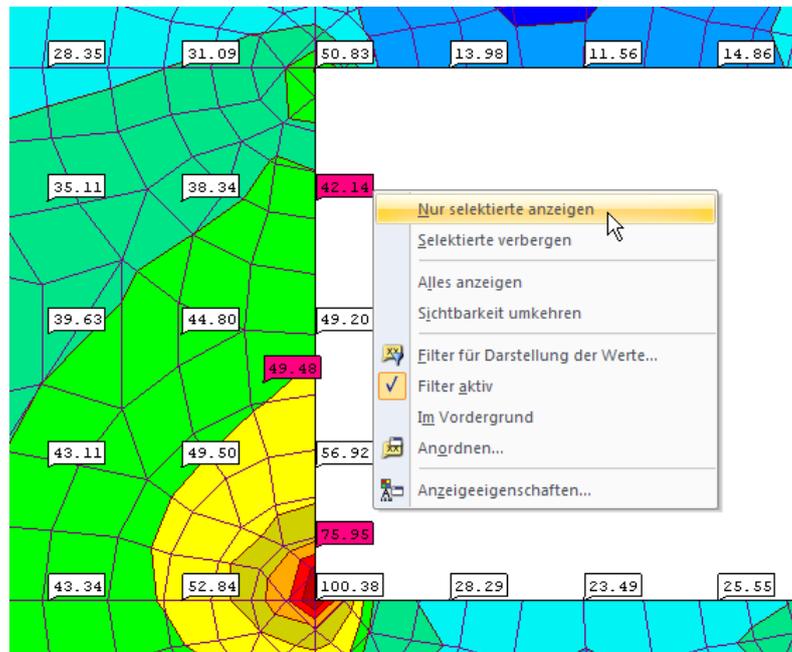


Bild 10.13: Kontextmenü *Ergebniswerte*

In diesem Kontextmenü stehen diverse Filterfunktionen zur Verfügung. Damit kann schnell festgelegt werden, welche Ergebniswerte für die grafische Auswertung bedeutsam sind.



Mit der Funktion *Filter für Darstellung der Werte* kann eine gezielte Steuerung der Ergebniswerte vorgenommen werden. Es öffnet sich ein Dialog zur Definition der Filterparameter.



Bild 10.14: Dialog *Filter für Darstellung der Werte*

Im Abschnitt *Werte anzeigen nach deren Größe* können in den Spalten *von* und *bis* Grenzwerte für die Ergebniswerte vorgegeben werden. Außerhalb dieses Bereichs liegende Werte werden dann in der Grafik ausgeblendet.

Objektinfo



Für Stab- und Flächenergebnisse steht eine spezielle Ablesefunktion zur Verfügung. Diese wird aufgerufen über Menü

Extras → Info über Objekt

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste. Es erscheint folgender Dialog.

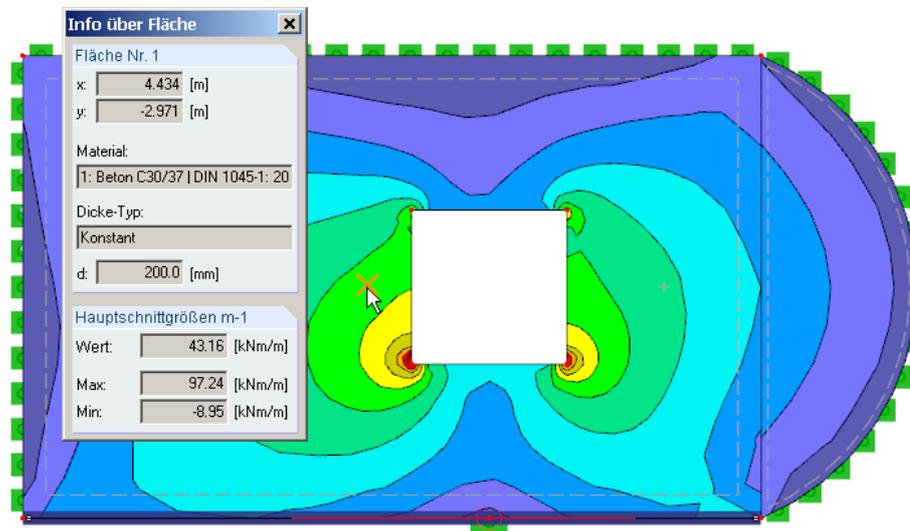


Bild 10.15: Dialog *Info über Fläche*

Bewegt man den Mauszeiger über eine Fläche oder einen Stab, so werden im *Info*-Fenster neben den Objektdaten (wie Material, Dicke, Querschnitt etc.) auch die Verformungswerte, Schnittgrößen oder Spannungen an der aktuellen Mauszeigerposition angezeigt.



Zur Auswertung der Flächenergebnisse sollte die gefüllte Darstellung der Flächen aktiviert werden.

10.5 Ergebnisverläufe

Möchte man für ein bestimmtes Objekt (*Schnitt, Stab, Stabsatz, Linie, Linienlager*) den Ergebnisverlauf im Detail ablesen, so bietet sich das Ergebnisdiagramm an. Das oder die Objekte (Mehrfachselektion) werden zunächst in der Grafik selektiert. Die Funktion wird dann aufgerufen über Menü

Ergebnisse → **Ergebnisverläufe an selektierten Schnitten / Stäben / Linien / Linienlagern** 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, das die Ergebnisverläufe am gewählten Objekt anzeigt.

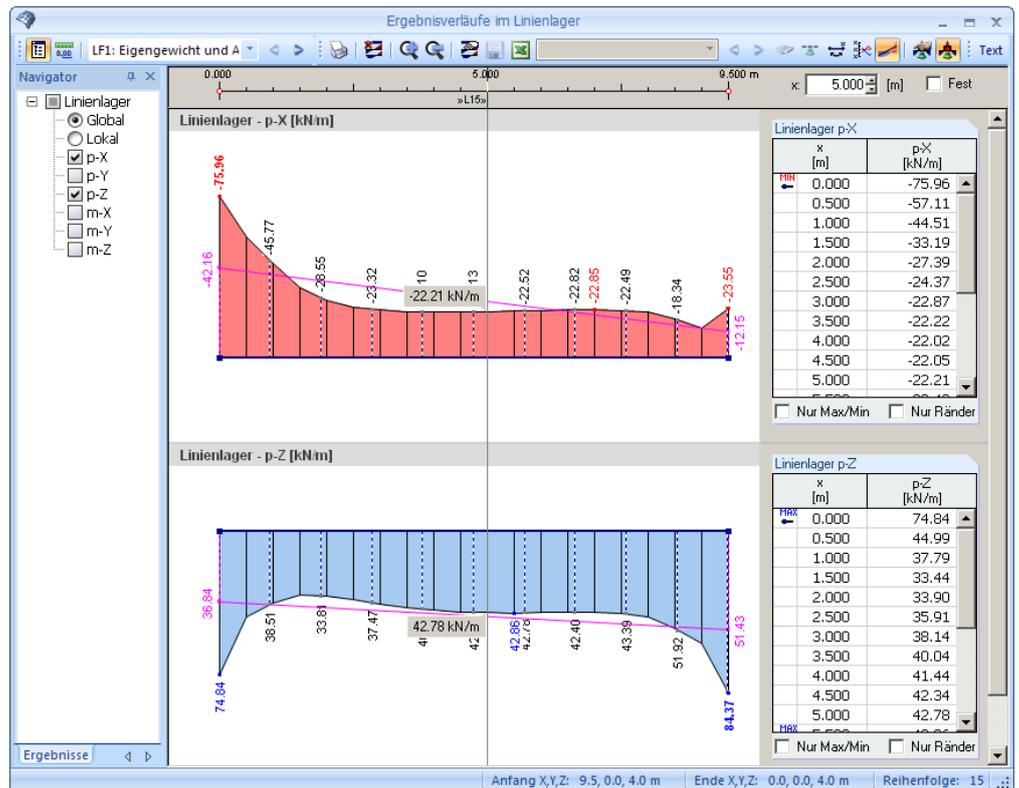


Bild 10.16: Dialog *Ergebnisverläufe im Linienlager*



LF2: Verkehrslast

Stäbe Nr.: 2

Im *Ergebnisse*-Navigator links wird die Verformung, Schnittgröße, Spannung oder Lagerkraft festgelegt, die im Ergebnisdiagramm angezeigt wird. Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den Lastfällen, Lastfallgruppen und -kombinationen gewechselt werden.

Bei Stäben werden rechts oben in einer Liste die Nummern der selektierten Stäbe angezeigt. Im Eingabefeld *Stäbe Nr.* sind auch manuelle Einträge möglich, wodurch die Auswahl hier erweitert, reduziert oder völlig neu gestaltet werden kann.

Wird die Maus im Ergebnisdiagramm entlang der Linie bzw. des Stabes bewegt, werden die „wandernden“ Ergebniswerte der aktuellen x-Stelle angezeigt. Die Stelle x ist auf den Linien- bzw. Stabanfang bezogen und kann rechts oben abgelesen werden. In dieses Eingabefeld kann eine bestimmte Stelle manuell eingetragen werden. Das Kontrollfeld *Fest* arretiert den Mauszeiger an der angegebenen Stelle x.

Im rechten Abschnitt des Fensters werden die Ergebniswerte in numerischer Form gelistet. Es handelt sich hier um die Ergebnisse an den Randknoten sowie an den Stellen der Extremwerte und der Teilungspunkte. Letztere entsprechen den FE-Netzknoten oder Stabteilungen gemäß der Vorgabe im Dialog *Berechnungsparameter*, Register *Optionen*. Bei Linien, die zwei Flächen voneinander abgrenzen, werden die beidseitigen Flächenergebnisse angezeigt.

Die *Aktionen*-Schaltflächen der Symbolleiste ermöglichen eine detaillierte und ingenieurmäßige Ergebnisauswertung. Die Glättungsoptionen erweisen sich insbesondere für Linienlager oder Schnitte als sehr nützlich.



Bild 10.17: 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 10.18 gezeigten Steuerungsparameter werden aufgerufen.
	Geglättete Ergebnisverläufe werden gespeichert.
	Der Dialog <i>Tabelle exportieren</i> wird aufgerufen (vgl. Bild 12.103, Seite 418).
	Die Stabergebnisse werden mit oder ohne Rippenanteile dargestellt.
	Ergebnisverlauf über Stützenbereich
	Die Stabrichtung x wird umgekehrt.
	Es werden die Ordinaten mit den Maximalwerten ein- und ausgeblendet.
	Die Anzeige der Durchschnittswerte wird an- und ausgeschaltet.
	Ein Dialog zur Definition der Glättungsbereiche wird geöffnet (→ Bild 10.29).
	Die Darstellung der Glättungsbereiche wird ein- und ausgeschaltet.

Tabelle 10.1: Schaltflächen der Symbolleiste *Aktionen*



Die Schaltfläche [Einstellungen Ergebnisverläufe] ruft einen Dialog auf, der diverse Optionen zur Anpassung des *Ergebnisverläufe*-Dialogs bietet.



Bild 10.18: Dialog *Einstellungen der Ergebnisverläufe*

10.6 Schnitte



Es können beliebige Schnitte im Modell angelegt werden, die eine gezielte Auswertung der Ergebnisse gestatten. Ein neuer Schnitt wird erstellt über Menü

Einfügen → Schnitte

oder das entsprechende Kontextmenü im *Daten-Navigator*.

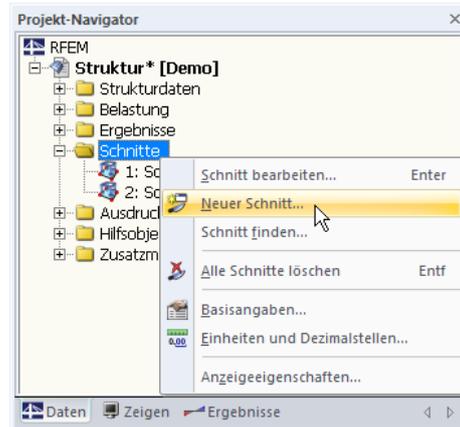


Bild 10.19: *Daten-Navigator*: Kontextmenü *Schnitte*

Es öffnet sich ein Dialog, in dem die Parameter des Schnitts festgelegt werden.

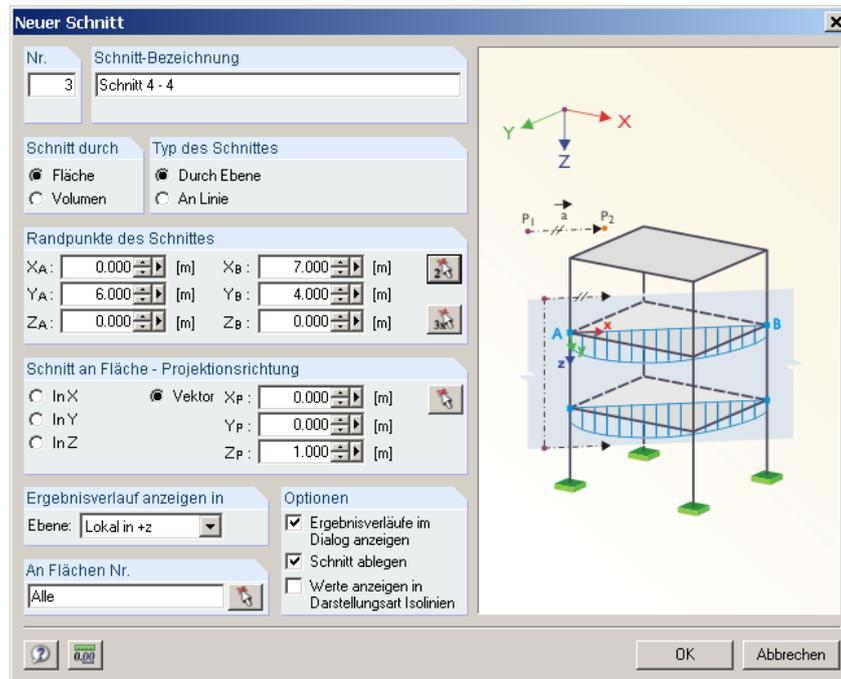


Bild 10.20: Dialog *Neuer Schnitt*

Neben der *Nummer* ist die *Bezeichnung* des Schnitts anzugeben, die eine schnelle Zuordnung während der Auswertung gewährleistet. Alle benutzerdefinierten Schnitte werden im *Daten-Navigator* unter dem Eintrag *Schnitte* abgelegt und können dort nachträglich angepasst werden.

Der Abschnitt *Schnitt durch* steuert, ob der Schnitt durch eine *Fläche* oder ein *Volumen* geführt wird. Je nach Auswahl ändern sich die Abschnitte *Typ des Schnittes* und *Projektionsrichtung* mit den zugehörigen Grafiken.

Der *Typ des Schnittes* kann beim Schnitt durch eine Fläche als *Ebene* angelegt werden, die in die Struktur gelegt wird. Alternativ wird der Schnitt an einer bestimmten *Linie* im Modell geführt. Erfolgt der Schnitt durch ein Volumen, kann eine *Schnittlinie* durch das Volumen gelegt werden. Alternativ werden die Ergebnisse an den geschnittenen *Begrenzungsflächen* des Volumens als Abwicklung ausgewiesen. Die Eingabemöglichkeiten der folgenden Abschnitte sind abhängig von der jeweiligen Auswahl.



Die *Randpunkte des Schnittes* werden durch die globalen XYZ-Koordinaten der beiden Punkte A und B festgelegt. Alternativ lassen sich diese grafisch mit [Pick] bestimmen. Für die Auswahl freier Punkte muss die aktuelle Arbeitsebene ggf. angepasst werden.

Von den Punkten A und B ausgehend werden in *Projektionsrichtung* zwei Geraden „konstruiert“. Wenn diese Geraden eine Fläche bzw. ein Volumen schneiden, die/das in der Liste *An Flächen* bzw. *An Volumina* enthalten ist, wird der Ergebnisverlauf an der Verbindungslinie der beiden Schnittpunkte dargestellt. Werden mehrere Flächen von der Projektionsebene geschnitten, erfolgt die Darstellung der Ergebnisverläufe an jeder einzelnen Fläche.



Neben den drei globalen Projektionsrichtungen X, Y und Z ist die Angabe eines Vektors möglich. Mit [Pick] werden zwei Punkte in der Grafik ausgewählt, die den Vektor festlegen.

Der Abschnitt *Ergebnisverlauf anzeigen in Ebene* steuert, in welcher Flächenebene der Ergebnisverlauf des Schnitts dargestellt wird. Diese Vorgabe wirkt sich nur auf die Schnittdarstellung in der RFEM-Ergebnisgrafik aus (vgl. Bild 10.22, Seite 316), sie hat keinerlei Einfluss auf den im Bild 10.21 dargestellten Ergebnisdiallog.



Im Abschnitt *An Flächen* bzw. *An Volumina Nr.* können die Flächen bzw. Volumina ausgewählt werden, deren Ergebnisverläufe in der Schnittgrafik zu Anzeige kommen sollen. Diese Option kann hilfreich sein, falls die Schnittebene mehrere Flächen erfasst.

Die Kontrollfelder im Abschnitt *Optionen* steuern, ob die Ergebnisverläufe als *Dialog* angezeigt werden (Bild 10.21) und ob man den *Schnitt ablegen* und somit speichern möchte. Die Option *Werte anzeigen in Darstellungsart Isolinien* wirkt sich nur auf die Schnittdarstellung in der RFEM-Ergebnisgrafik aus: Die Isolinien können automatisch beschriftet werden.

Sind die Angaben vollständig, erscheint mit [OK] üblicherweise der *Ergebnisverläufe*-Dialog (siehe folgendes Bild).

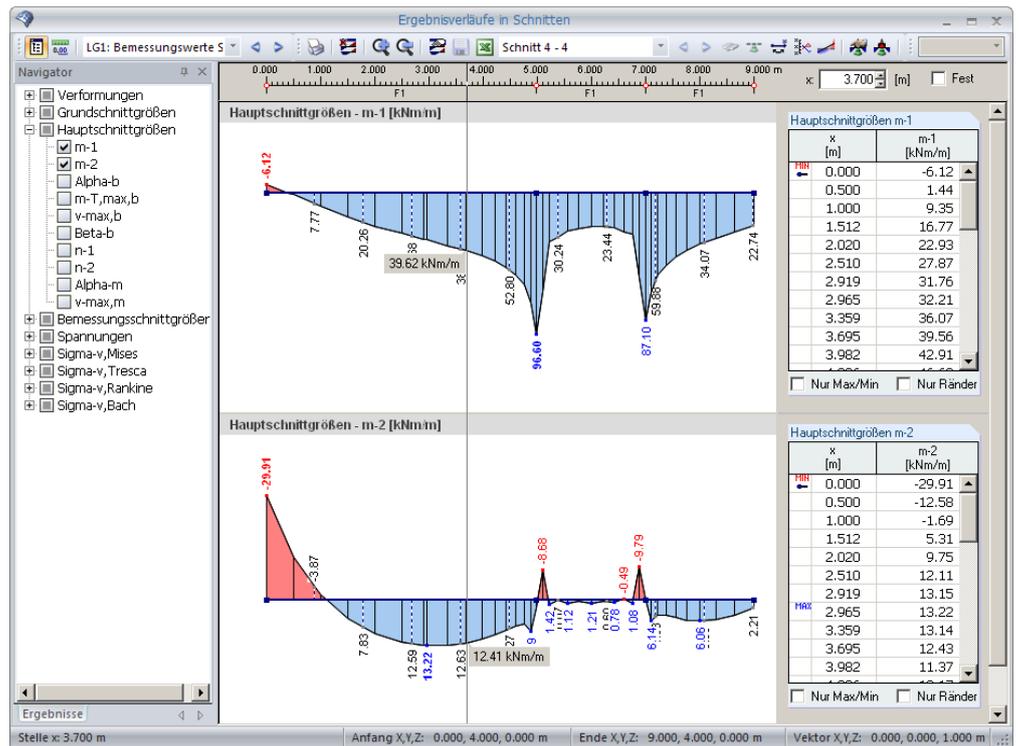


Bild 10.21: Dialog *Ergebnisverläufe in Schnitten*

Wird die Maus entlang des Schnittdiagramms bewegt, werden die „wandernden“ Ergebniswerte der aktuellen x-Stelle angezeigt. Die Stelle x ist auf den Schnittanfang A bezogen und kann rechts oben abgelesen werden. In dieses Eingabefeld kann eine bestimmte Stelle manuell eingetragen werden. Das Kontrollfeld *Fest* arretiert den Mauszeiger an der gegebenen Stelle x. Über die Liste in der Symbolleiste kann zwischen den Schnitten gewechselt werden.

Die Funktionen und Schaltflächen sind im vorherigen Kapitel 10.5 ausführlich beschrieben.



In der RFEM-Grafik werden die Schnitte über den *Zeigen-Navigator* bzw. die links dargestellte Schaltfläche ein- und ausgeblendet. Folgendes 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 Schnitte-Option *Ergebnisverläufe gefüllt* aktiviert.

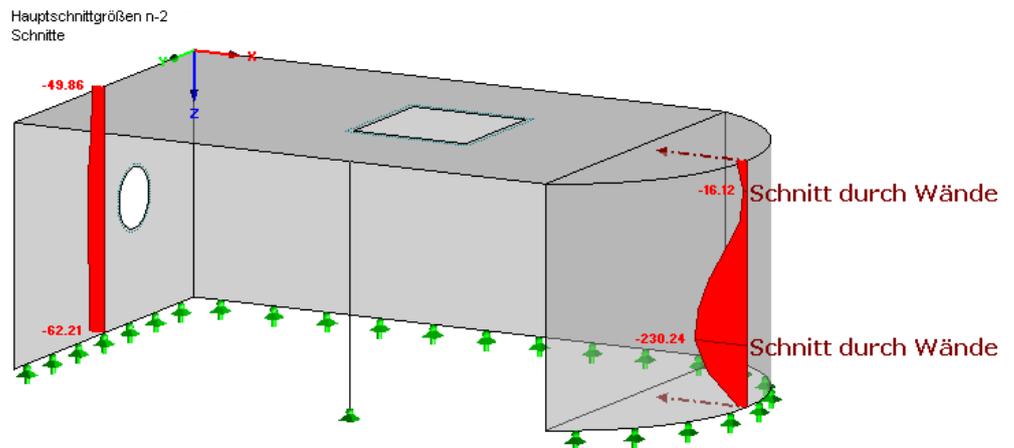


Bild 10.22: Schnittdarstellung in RFEM-Grafik

10.7 Glätten der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden für jeden FE-Netzknoten ermittelt. Meist soll jedoch in der Grafik ein stetiger Verlauf der Schnittgröße oder Spannung angezeigt werden. Dazu ist es notwendig, die Ergebnisse zu glätten.

Es stehen folgende Glättungsmöglichkeiten für Flächen und Volumina zur Verfügung:

- Konstant in Elementen
- Nicht durchlaufend
- Durchlaufend innerhalb Flächen/Volumina
- Durchlaufend gesamt

Zudem besteht die Möglichkeit, Glättungsbereiche für Ergebnisverläufe festzulegen.

Die Art der Ergebnisglättung kann im *Zeigen*-Navigator eingestellt werden.

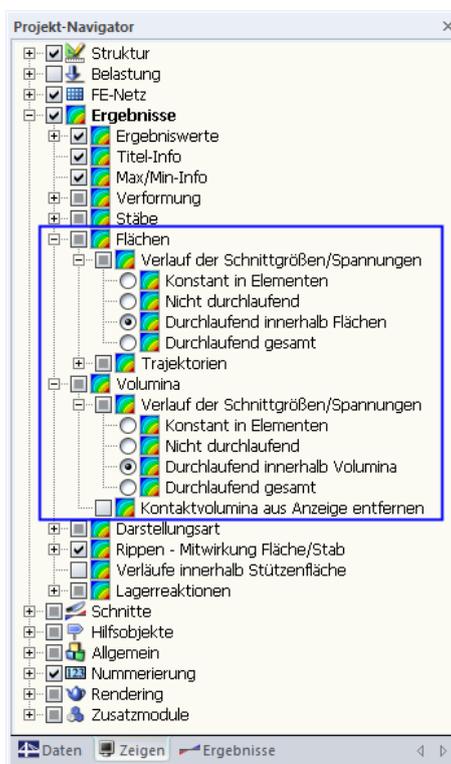


Bild 10.23: *Zeigen*-Navigator: *Ergebnisse* → *Flächen* bzw. *Volumina* → *Verlauf der Schnittgrößen/Spannungen*

Beispiel

Anhand eines Beispiels soll die Auswirkung der einzelnen Glättungsarten erläutert werden. Eine Stahlfläche mit den Abmessungen 3.00 m x 3.00 m und der Dicke 3 cm ist an zwei gegenüberliegenden Linien gelenkig gelagert. Die Stahlfläche ist durch zwei Flächen definiert, die die gleichen Eigenschaften aufweisen. Die lokalen z-Achsen der beiden Flächen sind jedoch entgegengesetzt ausgerichtet.

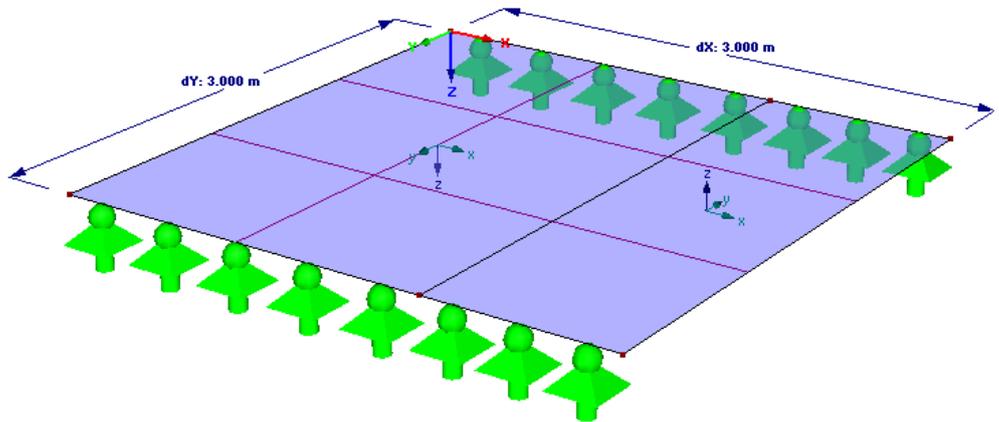


Bild 10.24: Struktur – modelliert durch zwei Flächen

Die FE-Länge beträgt 1.00 m. Diese Elementgröße kann sicher keine präzisen Ergebnisse liefern. Es sollen lediglich die verschiedenen Ergebnisdarstellungen verdeutlicht werden.

Die Stahlfläche wird durch das Eigengewicht belastet.

Schnittgrößenverlauf *Konstant in Elementen*

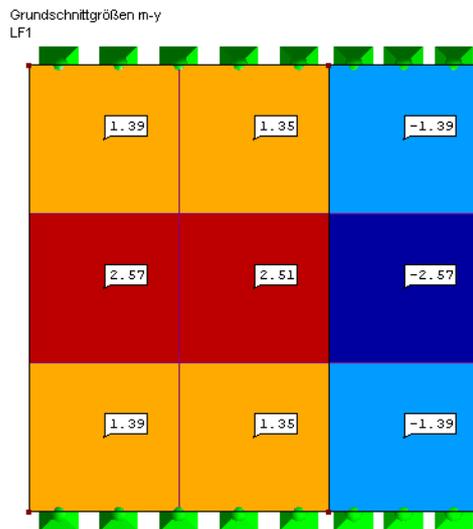


Bild 10.25: Schnittgrößenverlauf *Konstant in Elementen*, Werte In FE-Netzpunkten

Die Werte der FE-Knoten werden gemittelt, der Verlauf in jedem Element ist konstant. Diese Art der Ergebnisdarstellung ist für plastische Materialmodelle zu empfehlen (vgl. Kapitel 5.3, Seite 104).

Schnittgrößenverlauf Nicht durchlaufend

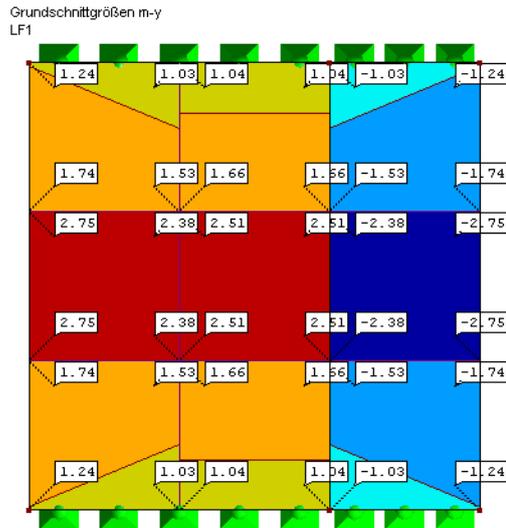


Bild 10.26: Schnittgrößenverlauf Nicht durchlaufend, Werte In FE-Netzpunkten

Es werden die Werte der FE-Knoten angezeigt, die sich aus den Verschiebungen und Verdrehungen jedes einzelnen Elements ermitteln. Deshalb werden pro FE-Knoten mehrere unterschiedliche Werte ausgegeben. Die Elementzugehörigkeit wird durch eine punktierte Linie am Knotenwert angedeutet.

Zur grafischen Darstellung wird durch die Eckwerte eines jeden Elements eine Fläche gelegt. Die Ergebnisse aus den Nachbarelementen werden nicht berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein unstetiger Verlauf.

Schnittgrößenverlauf Durchlaufend innerhalb Flächen

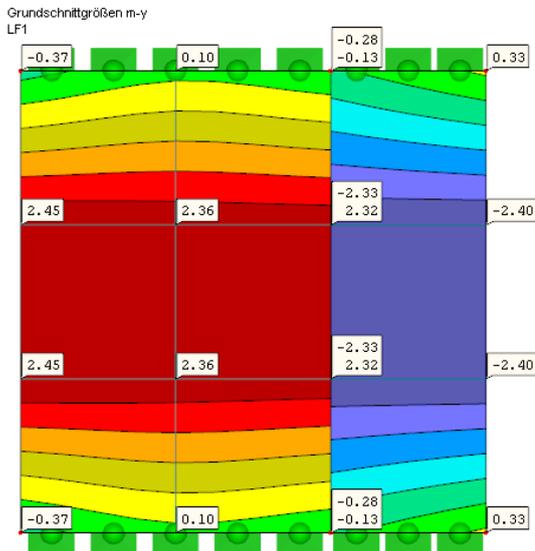


Bild 10.27: Schnittgrößenverlauf Durchlaufend innerhalb Flächen, Werte In FE-Netzpunkten

Bei dieser Ergebnisdarstellung werden die Werte 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.

Da diese Glättung in den meisten Fällen die besten Ergebnisse liefert, ist sie voreingestellt.

Schnittgrößenverlauf *Durchlaufend gesamt*

Grundschnittgrößen m-y
 LF1

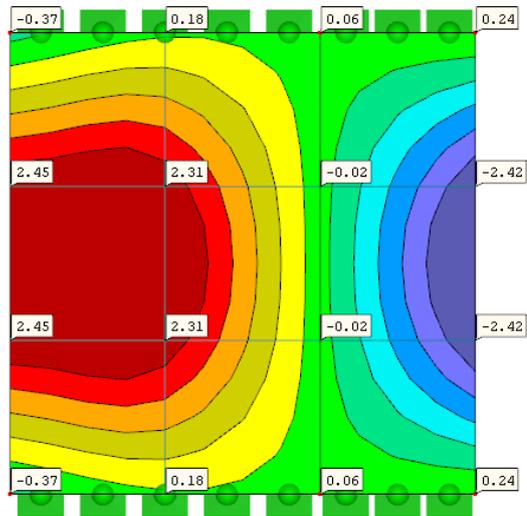


Bild 10.28: Schnittgrößenverlauf *Durchlaufend gesamt*, Werte In FE-Netzpunkten

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-Achsen systeme 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.

Glättungsbereiche im Dialog *Ergebnisverläufe*



Zur ingenieurmäßigen Aufbereitung der Ergebnisverläufe können Glättungsbereiche angelegt werden. Diese Funktion zur Integration der Ergebnisse ist über die links dargestellte Schaltfläche zugänglich. Es öffnet sich der auf der folgenden Seite dargestellte Dialog.

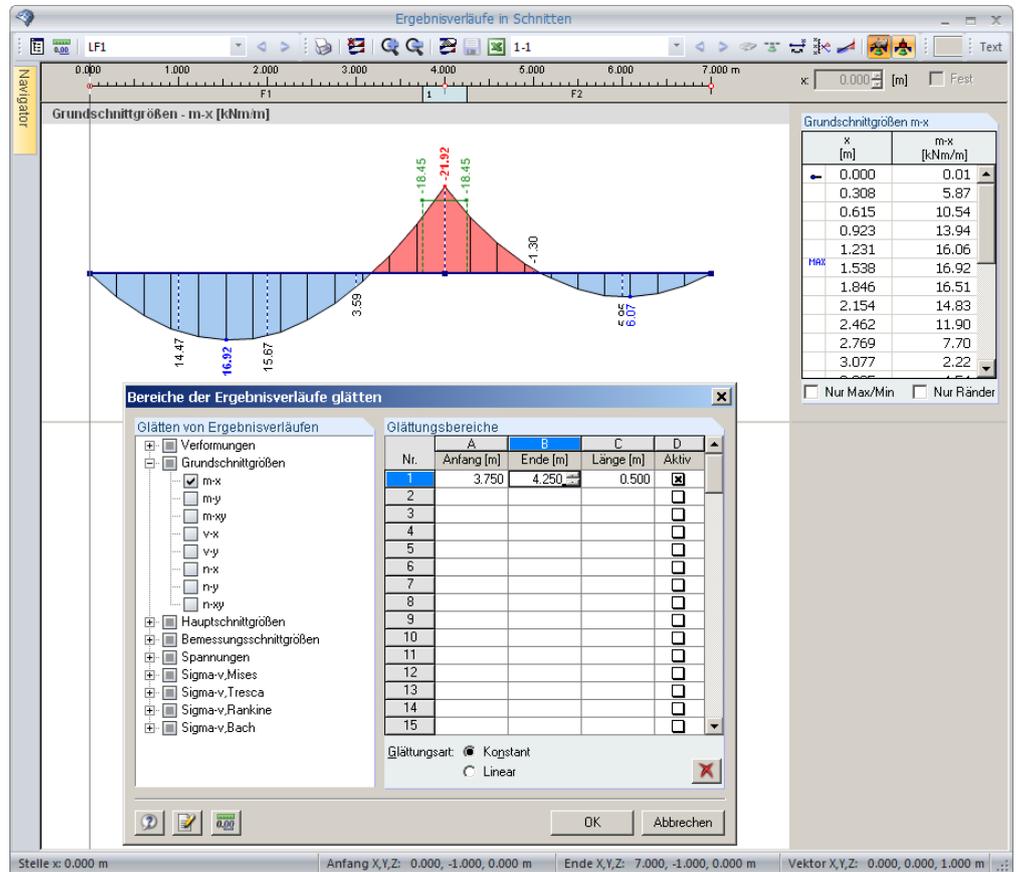


Bild 10.29: Dialog *Bereiche der Ergebnisverläufe glätten*

Der Abschnitt *Glätten von Ergebnisverläufen* steuert, für welche Verformungen, Schnittgrößen oder Spannungen eine Glättung anzuwenden ist. Die einzelnen *Glättungsbereiche* werden im Abschnitt rechts festgelegt. Die Eingaben erfolgen in die interaktiv wirkenden Felder *Anfang*, *Ende* und *Länge*. Jeder Glättungsbereich kann separat *Aktiv* gesetzt werden. Die Integration verläuft *Konstant* (wie im Bild oben) oder *Linear* für alle Glättungsbereiche.

10.8 Mehrfensterdarstellung



Auf dem Bildschirm können mehrere Fenster mit verschiedenen Verformungen oder Schnittgrößen gleichzeitig angezeigt werden. Diese Option wird aufgerufen über Menü

Ergebnisse → Ergebnisfenster anordnen

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.

Es wird ein Dialog mit einem Navigatorbaum geöffnet, in dem die gewünschten Ergebnisarten zur Auswahl angehakt werden können.

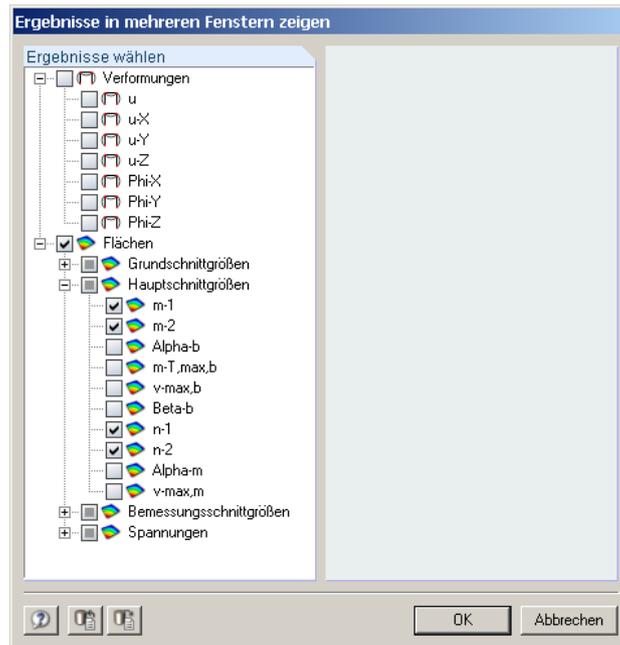


Bild 10.30: Dialog *Ergebnisse in mehreren Fenstern anzeigen*

Die Mehrfensterdarstellung lässt sich auch für den Ausdruck verwenden (siehe Kapitel 11.2, Seite 357).

10.9 Filtern der Ergebnisse

Es stehen eine Reihe von Filterfunktionen zur Verfügung, die bei der Ergebnisauswertung komplexer Systeme zur Übersichtlichkeit beitragen. Diese Funktionen bieten sich auch für die nachfolgende Dokumentation der Ergebnisse an.

Ausschnitte

Das Modell kann mit Ausschnitten in Teilbereiche strukturiert werden. So lassen sich beispielsweise alle Flächen einer Ebene oder alle Stützen in einem Stockwerk zu einem Ausschnitt zusammenfassen.

Die diversen Ausschnittfunktionen werden aufgerufen über Menü

Ansicht → Ausschnitt

oder die zugeordneten Schaltflächen in der Symbolleiste.



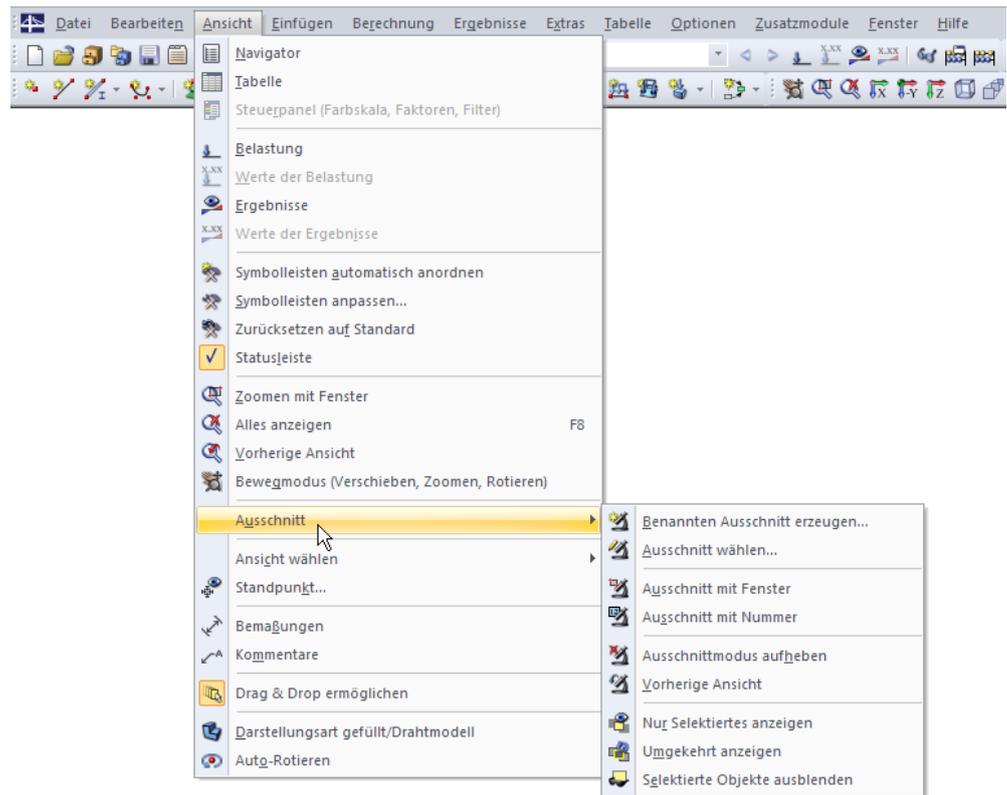


Bild 10.31: Menü *Ansicht* → *Ausschnitt*

Benannten Ausschnitt erzeugen

Wurden Objekte in der Grafik selektiert, können sie als *Ausschnitt* abgelegt werden.

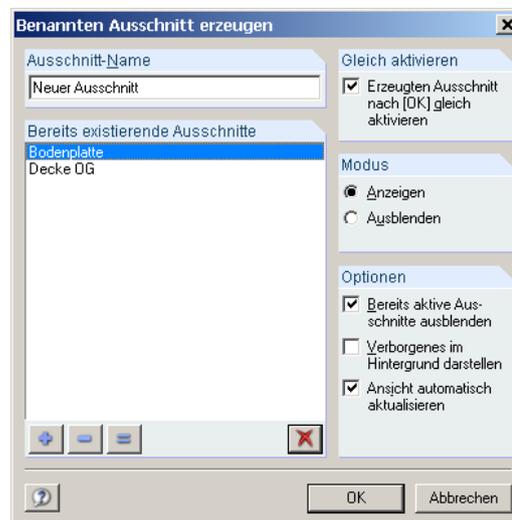


Bild 10.32: Dialog *Benannten Ausschnitt erzeugen*

Im oben dargestellten Dialog ist der *Ausschnitt-Name* festzulegen. [OK] speichert diese Gruppierung von Objekten dann für weitere Verwendungen ab.

Die benutzerdefinierten Ausschnitte werden im *Zeigen-Navigator* verwaltet und können dort gezielt ein- und ausgeblendet werden.

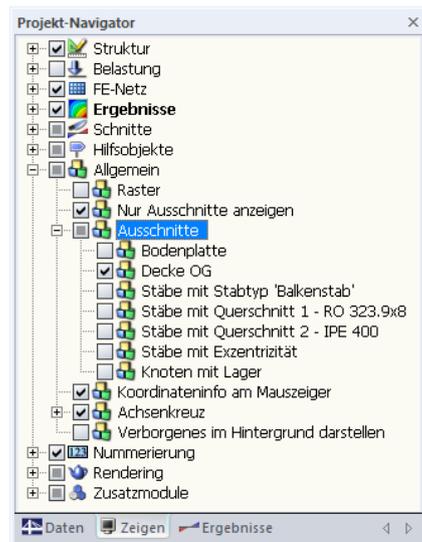


Bild 10.33: Zeigen-Navigator: Allgemein → Ausschnitte

Für die Selektion der Objekte ist die Menüfunktion **Bearbeiten → Selektieren → Speziell** sehr nützlich. In einem separaten Dialog können die Auswahlkriterien im Detail festgelegt werden (vgl. Kapitel 12.1.2, Seite 364).

Objekte zu bestehenden Ausschnitten hinzufügen

Sollen nachträglich Objekte in Ausschnitte aufgenommen werden, ist folgendes Vorgehen zu empfehlen: Beenden Sie den Ausschnittmodus und selektieren die Objekte, die Sie hinzufügen möchten. Rufen Sie dann wie oben beschrieben den Dialog *Benannten Ausschnitt erzeugen* erneut auf.



Im Dialogabschnitt *Bereits existierende Ausschnitte* wählen Sie den gewünschten Ausschnitt aus. Mit einem Klick auf die [+]-Schaltfläche wird die Selektion dann dem existierenden Ausschnitt hinzugefügt. Die Änderung wird sofort aktualisiert, wenn die Option *Erzeugten Ausschnitt nach [OK] gleich aktivieren* angehakt ist.



Analog lassen sich mit der[-]-Schaltfläche Objekte aus Ausschnitten wieder entfernen.



Ausschnitt wählen

Es werden alle definierten Ausschnitte aufgelistet. RFEM legt automatisch Ausschnitte geordnet nach Querschnitten, Stabtypen, Stabsätzen und gelagerten Knoten an.

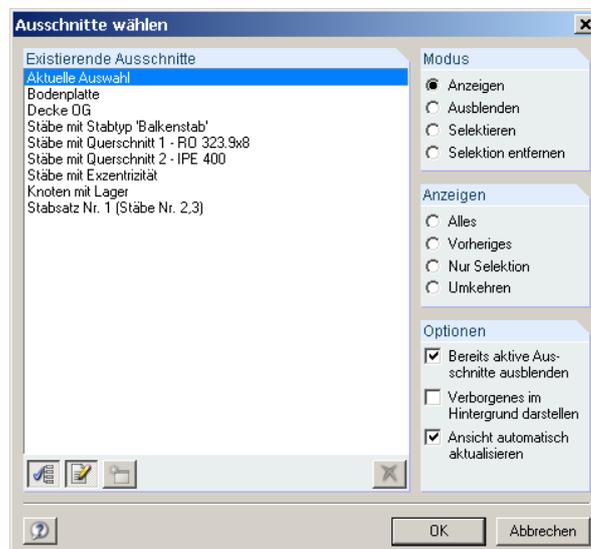


Bild 10.34: Dialog *Ausschnitte wählen*

Ausschnitt mit Fenster



Ausschnitte können auch mit der Maus durch Aufziehen eines Fensters 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 den Ausschnitt aufgenommen, die vom Fenster geschnitten werden.

Ausschnitt mit Nummer



In einem Dialog werden die Nummern der für den Ausschnitt gewünschten *Knoten, Linien, Stäbe, Flächen* oder *Volumina* festgelegt.



Bild 10.35: Dialog *Ausschneiden mit Nummer*

Ausschnittmodus aufheben



Mit dieser Funktion wird die Ansicht aller Objekte wieder hergestellt.

Bei allen beschriebenen Ausschnittarten ist es möglich, die ausgeblendeten Objekte im Hintergrund mit einer reduzierten Intensität darzustellen. Die Intensität wird im Register *Grafik* des *Programmooptionen*-Dialogs geregelt (vgl. Bild 10.40, Seite 328). Diese Darstellungsmöglichkeit ist nicht nur in den beschriebenen Ausschnitt-Dialogen zugänglich (vgl. Bild 10.32 und Bild 10.34), sondern kann auch über den *Zeigen*-Navigator gesteuert werden. Dort lassen sich die schwach gezeichneten Hintergrundobjekte an- und abschalten.

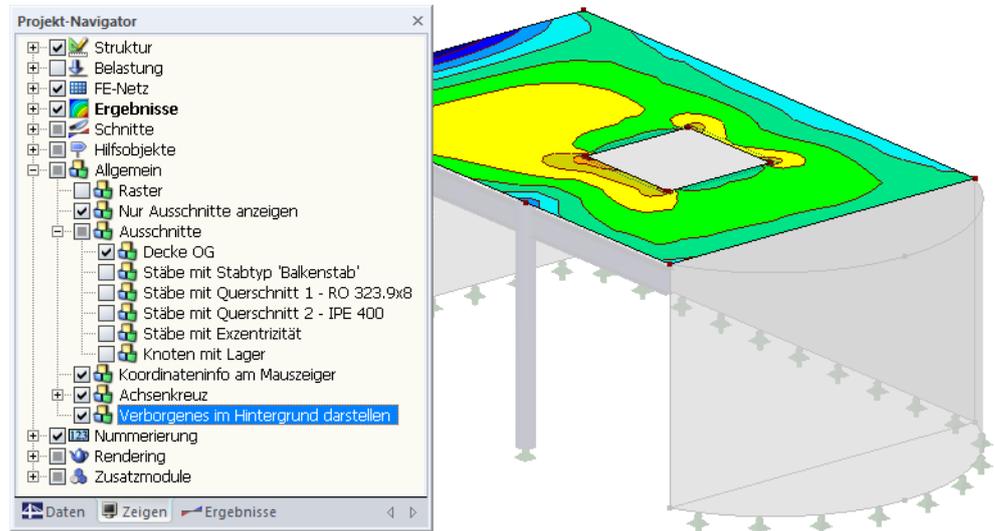
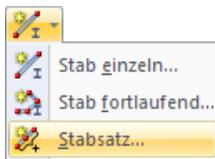


Bild 10.36: *Zeigen*-Navigator: Option *Allgemein* → *Verborgenes im Hintergrund darstellen*

Stabsätze



Stabsätze untergliedern sich in Stabzüge und Stabgruppen. Der Unterschied und deren Definition sind im Kapitel 5.21 ab Seite 172 ausführlich erläutert.

Auch die stabzug- oder stabgruppenweise Darstellung erleichtert die Ergebnisauswertung. Stabsätze entsprechen in ihrem Sinne einem oben beschriebenen „Ausschnitt“. Die Stabzüge und Stabgruppen sind deshalb wie im Bild 10.34 auf Seite 324 gezeigt auch in der Liste der Ausschnitte zugänglich.

Filterfunktionen

Die oben vorgestellten Gruppierungsoptionen beziehen sich auf die Objekte der Struktur. Es ist zusätzlich möglich, die Schnittgrößen, Verformungen und Spannungen als Filterkriterium anzusetzen.

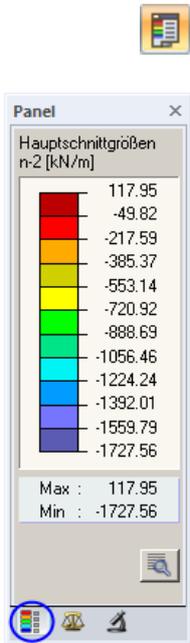
Filtern von Ergebnissen

Um Schnittgrößen, Verformungen oder Spannungen zu filtern, muss das Steuerpanel angezeigt werden. Sollte es nicht aktiv sein, kann es einblendet werden über Menü

Ansicht → Steuerpanel

oder die entsprechende Schaltfläche in der *Ergebnisse*-Symbolleiste.

Das Steuerpanel ist im Kapitel 4.4.6 ab Seite 77 erläutert. Die Filtereinstellungen für die Ergebnisse werden im Register *Farbskala* vorgenommen, das bei den Isoflächen- und Isolinen-Ergebnisse der Flächen und Volumina zur Verfügung steht. Da dieses Register bei der zweifarbigen Schnittgrößenanzeige von Stäben fehlt, muss im *Zeigen*-Navigator auf die Darstellungsarten *Mehrfarbig* oder *Querschnitte* umgeschaltet werden.



Panel-Register *Farbskala*

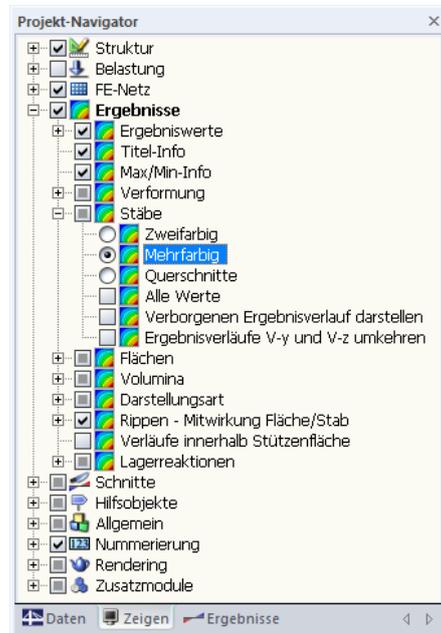


Bild 10.37: *Zeigen*-Navigator: Ergebnisse → Stäbe → Mehrfarbig

Bei einer mehrfarbigen Ergebnisanzeige kann im Panel beispielsweise eingestellt werden, dass Stabmomente nur ab einem bestimmten Wert oder Grundschnittgrößen von Flächen im Bereich von ±15 kNm fein abgestuft angezeigt werden (siehe Bild 4.17 auf Seite 79).

Im folgenden Beispiel werden nur Kontaktspannungen zwischen 100 kN/m² und 170 kN/m² angezeigt. Da in dieser Struktur auch Stabergebnisse vorliegen, ist im Steuerpanel das Auswahlfeld *Flächen* aktiv gesetzt. Die Farbskala wurde so bearbeitet, dass ein Farbbereich jeweils 10 kN/m² abdeckt. Damit werden keine Ergebnisse an elastisch gebetteten Flächenelementen ausgewiesen, die diese Bedingungen nicht erfüllen.

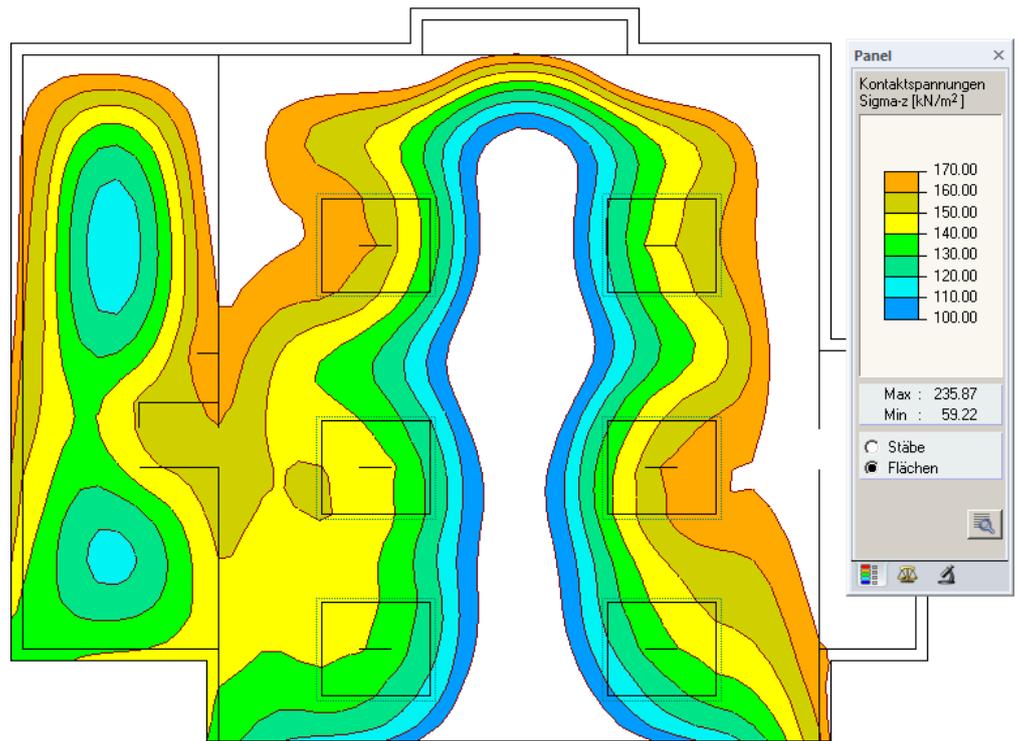


Bild 10.38: Filtern der Kontaktspannungen mit angepasster Farbskala

Filtern von Stäben/Flächen/Volumina



Im Register *Filter* des Steuerpanels können die Nummern der Stäbe, Flächen oder Volumina bestimmt werden, deren Ergebnisverläufe in der Grafik gefiltert zur Anzeige kommen sollen. Die Beschreibung dieser Funktion finden Sie im Kapitel 4.4.6 auf Seite 80.

Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird die Struktur vollständig mit angezeigt. Das folgende Bild zeigt die Biegemomente in den Deckenflächen einer Struktur. Die Wände werden im Modell dargestellt, sind in der Anzeige jedoch ohne Schnittgrößen.

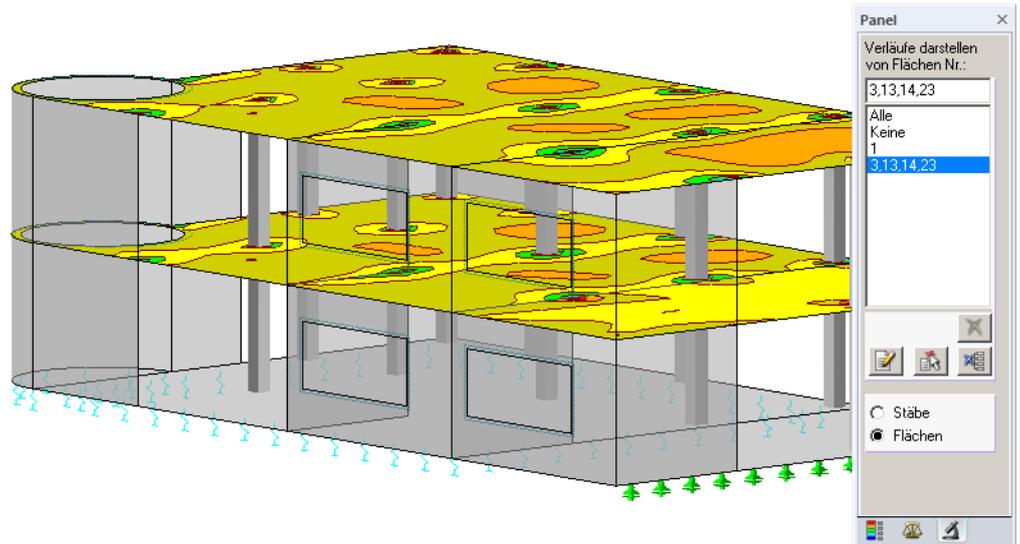


Bild 10.39: Filtern von Flächen: Biegemomente der Decken

10.10 Animation der Verformungen



Die Verformungen können nicht nur in ihrem Endzustand angezeigt werden. Es ist auch möglich, den gesamten Verformungsvorgang als Bewegungsablauf darzustellen.



Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Ergebnisse → Animation

oder die zugeordnete 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 → Programmooptionen** im Dialogregister *Grafik* vorgenommen werden.

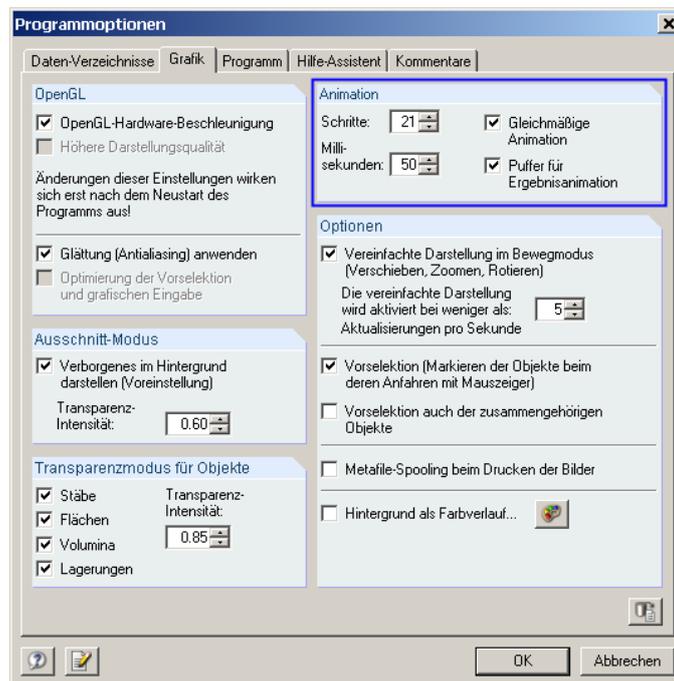


Bild 10.40: Dialog *Programmooptionen*, Register *Grafik*



Die Animation der Verformungsfigur lässt sich auch als Videodatei ablegen. Arrangieren Sie die animierte Grafik passend auf dem Bildschirm und wählen anschließend Menü

Extras → Videodatei erzeugen.

Nach einem möglichen Hinweis zu den OpenGL-Einstellungen erscheint folgender Dialog.



Bild 10.41: Dialog *Videodatei erzeugen*

Hier können diverse Einstellungen für das Erstellen der Videodatei vorgenommen werden.

Mit der roten Schaltfläche [Start] wird die Aufnahme begonnen, die blaue Schaltfläche [Stop] beendet die Aufzeichnung. Anschließend kann die Videodatei gespeichert werden.



11. Ausdruck

11.1 Ausdruckprotokoll

Die Eingabe- und Ergebnisdaten von RFEM werden in Normalfall nicht direkt zum Drucker geschickt. Stattdessen wird zunächst aus den Daten ein so genanntes „Ausdruckprotokoll“ generiert, das mit Grafiken, Erläuterungen, Skizzenscans etc. ergänzt werden kann. In diesem Ausdruckprotokoll wird auch ausgewählt, welche Daten aus der Berechnung letztendlich im Ausdruck erscheinen.

In jeder Position können mehrere Ausdruckprotokolle angelegt werden. Bei sehr großen Strukturen ist es ratsam, anstelle eines einzigen, umfangreichen Protokolls die Daten auf mehrere kleine Protokolle aufzuteilen. So kann z. B. ein Protokoll nur für die Eingabedaten, eines nur für die Lagerkräfte und ein weiteres nur mit den Flächenergebnissen erzeugt werden. Durch die Aufteilung der Daten werden längere Wartezeiten vermieden.

Prinzipiell ist es auch möglich, in einer RFEM-Position unterschiedliche Ausdruckprotokolle zu erstellen. Je nachdem, welche Daten benötigt werden, könnte für den Prüflingenieur ein anderes Protokoll zusammengestellt werden als für den Konstrukteur.

Ein Ausdruckprotokoll kann nur geöffnet werden, wenn unter Windows ein Standarddrucker installiert ist. Die Vorschau im Ausdruckprotokoll verwendet diesen Druckertreiber.

11.1.1 Ausdruckprotokoll anlegen oder öffnen

Ein neues Ausdruckprotokoll kann angelegt werden über Menü

Datei → **Ausdruckprotokoll öffnen**,

die Schaltfläche in der Symbolleiste oder das Kontextmenü im *Daten*-Navigator.

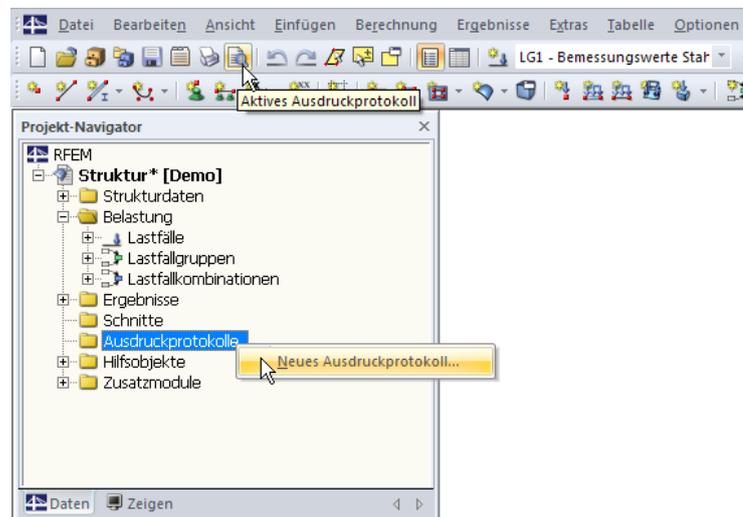


Bild 11.1: Schaltfläche und Kontextmenü *Neues Ausdruckprotokoll*

Es wird folgender Dialog angezeigt.



Bild 11.2: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*

Die Nummer des Protokolls wird automatisch festgelegt, kann aber im Eingabefeld *Nr.* geändert werden. Für das Protokoll kann eine *Bezeichnung* angegeben werden, die die Auswahl in den Listen erleichtert. Die Bezeichnung erscheint nicht im Ausdruck.

In der Liste *Voreinstellung übernehmen von Muster* kann ein bestimmtes Musterprotokoll als Vorlage ausgewählt werden. Die Beschreibung der Musterprotokolle finden Sie im Kapitel 11.1.7 ab Seite 346.

Die Schaltflächen in diesem Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Ein neues Musterprotokoll wird angelegt.
	Die Selektion des Protokolls kann geändert werden (→ Kapitel 11.1.3, Seite 333).

Tabelle 11.1: Schaltflächen im Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*

Ist bereits ein Ausdruckprotokoll vorhanden, so wird nach dem Aktivieren des Menüs **Datei** → **Ausdruckprotokoll öffnen** folgender Dialog angezeigt.



Bild 11.3: Dialog *Ausdruckprotokoll öffnen*

Das gewünschte Protokoll kann in der Liste ausgewählt werden. Die Schaltflächen dieses Dialogs sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Ein neues Ausdruckprotokoll wird angelegt.
	Die Selektion des Protokolls kann geändert werden (→ Kapitel 11.1.3, Seite 333).

Tabelle 11.2: Schaltflächen im Dialog *Ausdruckprotokoll öffnen*



Bild 11.5: Dialog *Eigenschaften*

Hier kann man die *Überschrift* des Kapitels ändern und eine *Zusatzerläuterung* eingeben, die dann im Protokoll am linken Seitenrand erscheint. Dieser *Zusatztext* kann ebenso wie die dem Kapitel zugehörigen *Info-Bilder* (Querschnittsskizzen, Lastrichtungen etc.) ein- oder ausgeblendet werden.

Navigation im Ausdruckprotokoll

Am einfachsten wird eine bestimmte Seite des Ausdruckprotokolls angesteuert, indem man das betreffende Kapitel im Navigator anklickt.

Im Menü **Ansicht** stehen weitere Funktionen zur Verfügung, die auch über die nachfolgend dargestellten Schaltflächen zugänglich sind.

	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 gibt man die Seite an, die dann in der Vorschau angezeigt wird.
	Es wird zwischen ein- und zweiseitiger Darstellung in der Vorschau umgeschaltet.
	Die Darstellung in der Vorschau wird vergrößert.
	Die Darstellung in der Vorschau wird verkleinert.
	Selektion-Modus: Per Mausklick können Kapitel selektiert und bearbeitet werden.
	Zoom-Modus: Ein Mausklick vergrößert die Darstellung des angeklickten Kapitels.
	Das Ausdruckprotokoll wird neu gezeichnet.

Tabelle 11.3: Navigations-Schaltflächen in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls

11.1.3 Inhalt des Ausdruckprotokolls festlegen



In der globalen Selektion werden die Kapitel ausgewählt, die in das Ausdruckprotokoll aufgenommen werden sollen. Diese Funktion kann aufgerufen werden über Menü

Bearbeiten → **Globale Selektion**,

die links dargestellte Schaltfläche in der Symbolleiste oder das *Inhalt*-Kontextmenü.

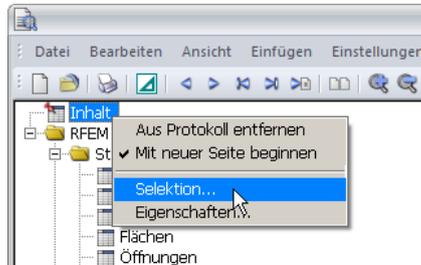


Bild 11.6: Aufruf der globalen Selektion über das Inhalt-Kontextmenü

Es erscheint folgender Dialog.

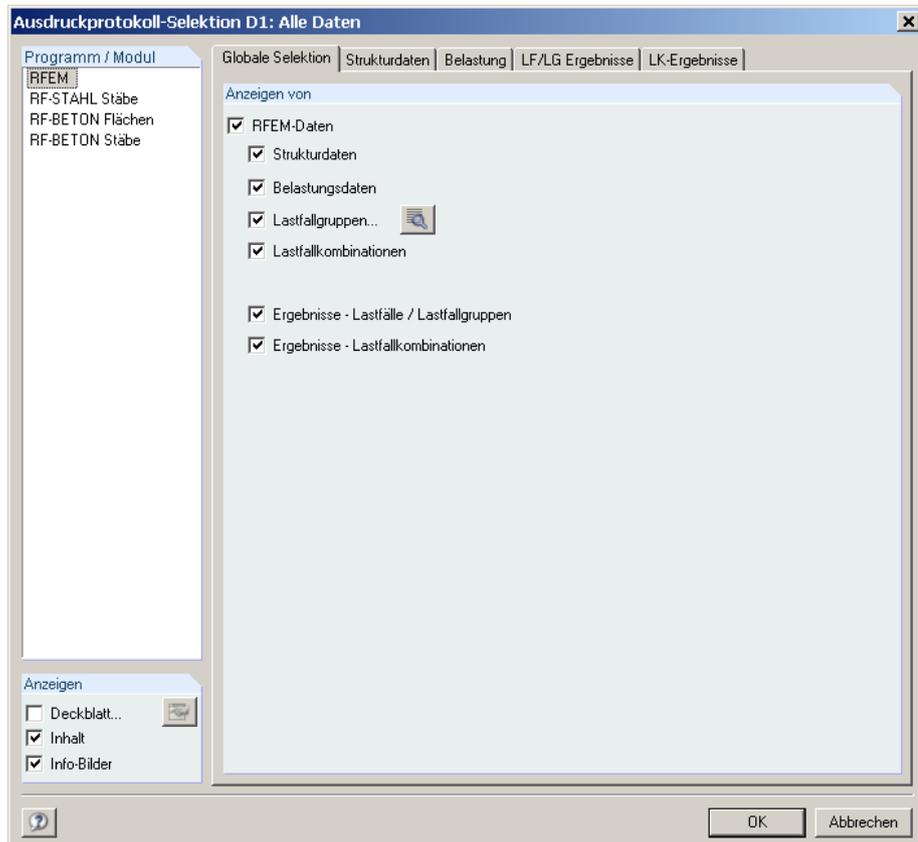


Bild 11.7: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Globale Selektion*

Die Liste im Abschnitt *Programm / Modul* führt alle Module auf, in denen Eingaben vorgenommen wurden. Wird ein Programm in dieser Liste markiert, können die zu druckenden Kapitel in den Registern rechts ausgewählt werden.

Im Register *Globale Selektion* werden die Oberkapitel des Protokolls festgelegt. Wenn hier ein Eintrag deaktiviert wird, verschwindet auch das zugehörige Detailregister.

11.1.3.1 Selektion der Strukturdaten

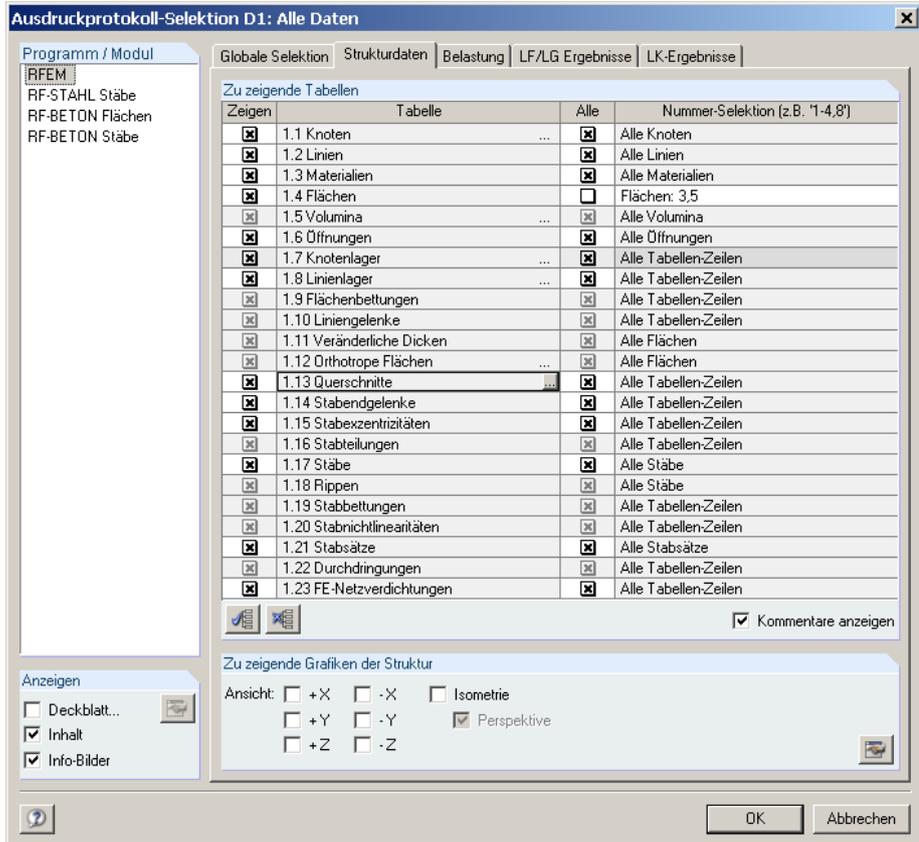


Bild 11.8: Dialog Ausdruckprotokoll-Selektion, Register Strukturdaten

Die Spalte *Zeigen* im Abschnitt *Zu zeigende Tabellen* steuert, ob ein Kapitel im Ausdruckprotokoll erscheint. Bei einigen 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 die Querschnittsdetails im Ausdruckprotokoll erscheinen. Art und Umfang der Querschnittsdetails wiederum werden im Einzelnen über die Schaltfläche [Details] in diesem Dialog festgelegt.

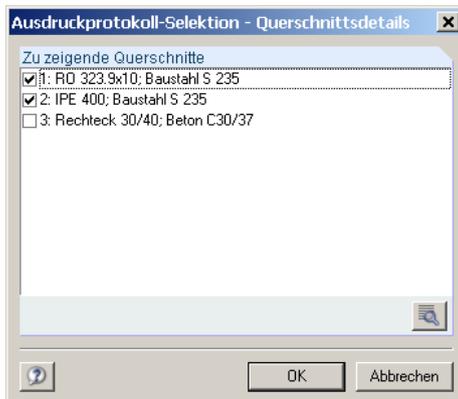


Bild 11.9: Dialog Ausdruckprotokoll Selektion - Querschnittsdetails

Dem Ausdruckprotokoll liegen die in Kapitel 5 vorgestellten Eingabetabellen zu Grunde. Die dritte Spalte *Alle* steuert, ob alle Tabellenzeilen in den Ausdruck übernommen werden. Wird ein Kontrollfeld deaktiviert, können in der letzten Spalte *Nummer-Selektion* die Nummern bestimmter Tabellenzeilen eingegeben werden.



Für die Auswahl in Spalte *Nummer-Selektion* ist ebenfalls die Schaltfläche [...] am Ende des Eingabefeldes zu empfehlen, denn damit können Knoten, Linien, Flächen, Stäbe, Stabsätze, Öffnungen und Volumina in der RFEM-Grafik ausgewählt werden. Bei den übrigen Objekten wird eine Liste aller Tabellenzeilen zur Auswahl angezeigt.



Im unteren Abschnitt *Zu zeigende Grafiken der Struktur* ist es möglich, Standardgrafiken in das Ausdruckprotokoll aufzunehmen. Es stehen sieben Ansichten zur Verfügung. Für jede davon kann zusätzlich die räumliche *Perspektive* aktiviert werden. Über die Schaltfläche [Bearbeiten] kann die Größe dieser Grafiken global voreingestellt werden.

Die Möglichkeit, Grafiken manuell in das Ausdruckprotokoll zu drucken (vgl. Kapitel 11.1.5, Seite 342), besteht unabhängig von den hier getroffenen Einstellungen.

11.1.3.2 Selektion der Belastungsdaten

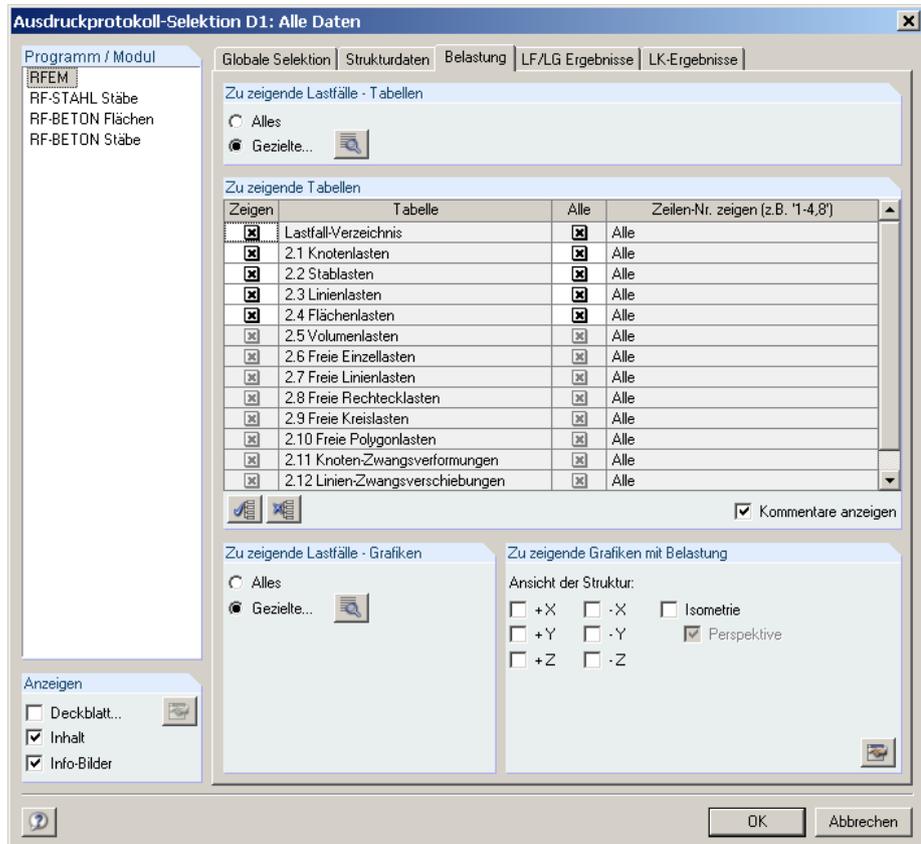


Bild 11.10: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Belastung*

Die Auswahl der Tabellen erfolgt wie bei der Selektion der Strukturdaten beschrieben.



In diesem Register stehen zwei zusätzliche Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung. Im Abschnitt *Zu zeigende Lastfälle - Tabellen* kann gesteuert werden, ob die Eingabedaten aller oder nur bestimmte Lastfälle im Ausdruck erscheinen. Wird das Auswahlfeld *Gezielte* aktiviert, kann man über die daneben befindliche Schaltfläche die relevanten Lastfälle festlegen. Es öffnet sich folgender Dialog.

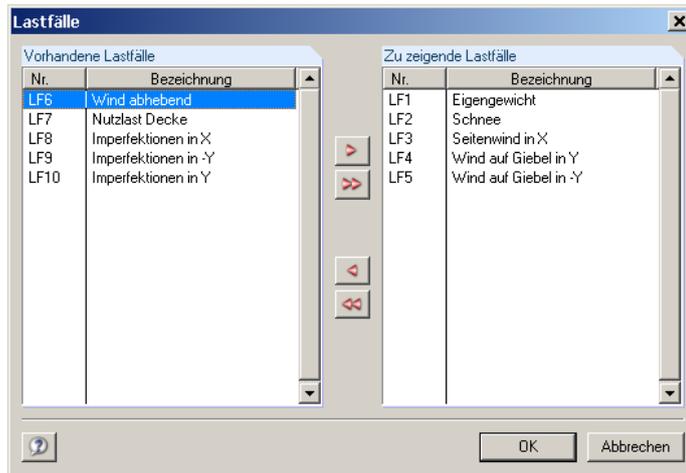


Bild 11.11: Auswahl der Lastfälle

Diese Auswahlmöglichkeit von Lastfällen steht auch für die Standardgrafiken links unten im Abschnitt *Zu zeigende Lastfälle - Grafiken zur Verfügung*.

11.1.3.3 Selektion der Ergebnisse

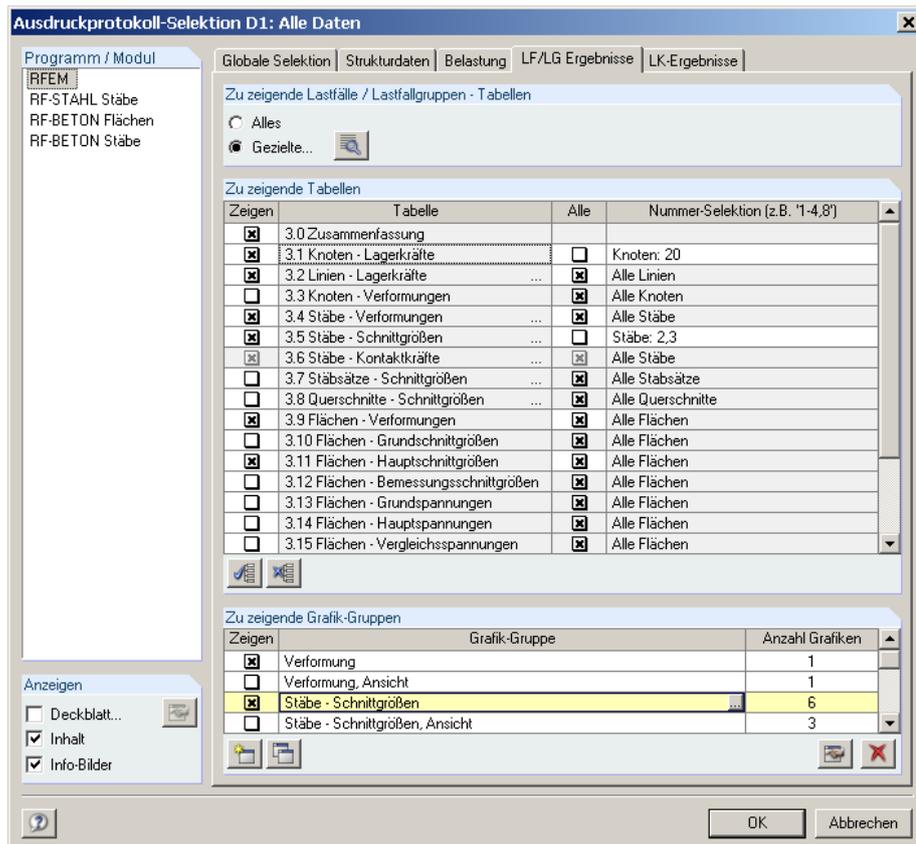


Bild 11.12: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *LF-/LG-Ergebnisse*

Die Selektion der etwas umfangreicheren Ergebnisdaten ist in zwei Register aufgeteilt. Das Register *LF-/LG-Ergebnisse* steuert die Auswahl der Resultate von Lastfällen und Lastfallgruppen, das Register *LK-Ergebnisse* regelt die Druckausgabe für die Ergebnisse der Lastfallkombinationen.



Die Selektion der Ergebnisdaten ähnelt der der Belastungsdaten (vgl. vorheriges Kapitel). Über das Auswahlfeld *Gezielte* kann der Ausdruck auf die Ergebnisse bestimmter Lastfälle oder Lastfallgruppen eingeschränkt werden. Im Abschnitt *Zu zeigende Tabellen* werden die Tabellen und Tabellenzeilen wie in Kapitel 11.1.3.1 beschrieben ausgewählt. In der Spalte *Nummer-Selektion* besteht über die Schaltflächen [...] die Möglichkeit, die Objekte 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 aktivierbar wird und den Zugang zu weiteren Auswahlkriterien z. B. für die Stabschnittgrößen eröffnet.



Bild 11.13: Dialog *Details, Schnittgrößen stabweise*

Die Ergebnisse können für jeden Stab an folgenden Stellen aufgelistet werden:

- Anfangs- und Endknoten
- Teilungspunkte gemäß vorgegebener Stabteilung (vgl. Kapitel 5.16, Seite 154)
- Extremwerte (*Max/Min*) der Ergebnisse (vgl. Kapitel 9.5, Seite 274)



Der Umfang des Ausdruckprotokolls lässt sich erheblich reduzieren, indem man im Register *LF-/LG-Ergebnisse* (Bild 11.12) eine Beschränkung auf diejenigen Resultate vornimmt, die für die Dokumentation unverzichtbar sind.

Wie bei der Selektion der Strukturdaten und der Belastung können Standardgrafiken in das Ausdruckprotokoll eingebunden werden. Die Auswahl ist hier allerdings etwas komplexer. Im Abschnitt *Zu Zeigende Grafik-Gruppen* wird eine Liste der hinterlegten Standardgrafiken angegeben. Über die Kontrollfelder in der Spalte *Zeigen* wird geregelt, ob die in der Liste enthaltenen Grafikgruppen jeweils im Ausdruck erscheinen.

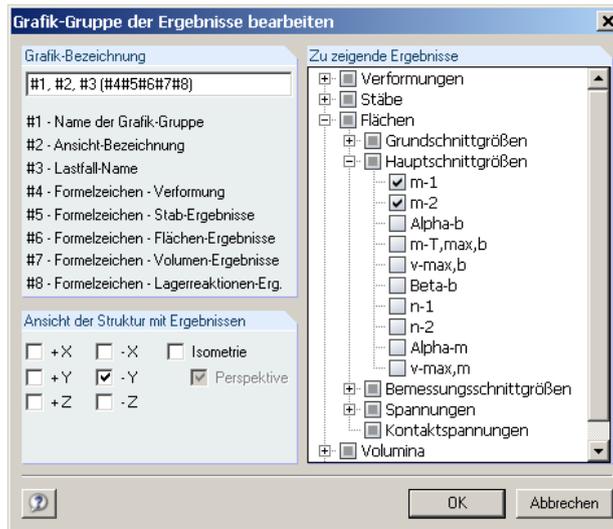
Einige Grafikgruppen sind bereits vordefiniert, eigene Gruppen können ergänzt werden. Die Schaltflächen im Abschnitt *Zu zeigende Grafik-Gruppen* bedeuten im Einzelnen:

	Eine neue Grafikgruppe wird angelegt, die sofort am Ende der Liste erscheint. Sie kann umbenannt und über [...] in ihren Eigenschaften bearbeitet werden.
	Die in der Liste selektierte Grafikgruppe wird kopiert.
	Die in der Liste selektierte Grafikgruppe wird gelöscht.

Tabelle 11.4: Schaltflächen des Abschnitts *Zu zeigende Grafik-Gruppe*



Über die Schaltfläche [...] in der Spalte *Grafik-Gruppe* kann die Definition der ausgewählten Gruppe bearbeitet werden. Diese Schaltfläche erscheint, sobald der Cursor in ein Feld dieser Spalte gesetzt wird (vgl. Bild 11.12, Seite 336). Es öffnet sich folgender Dialog.

Bild 11.14: Dialog *Grafik-Gruppe der Ergebnisse bearbeiten*

Im Eingabefeld *Grafik-Bezeichnung* wird die Überschrift der Grafik im Ausdruck festgelegt. Neben einem beliebigen festen Text darf die Überschrift auch einige dynamische Elemente haben. Das Element #3 fügt beispielsweise den Lastfallnamen in die Überschrift ein.

Im Abschnitt *Ansicht der Struktur mit Ergebnissen* wird die Ansicht der Grafiken festgelegt.

In der Liste *Zu zeigende Ergebnisse* können die relevanten Verformungen, Schnittgrößen oder Lagerreaktionen in der Baumstruktur ausgewählt werden.



Werden Grafikgruppen verwendet, sollte im Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion* immer die letzte Spalte *Anzahl Grafiken* überprüft werden. Ein kleiner Fehler bei der Auswahl kann zu einer Vielzahl von Grafiken führen, die den Aufbau des Protokolls erheblich verzögern.

Grafikgruppen werden positionsübergreifend angelegt. Dies bedeutet, dass eine benutzerdefinierte Grafikgruppe sofort für alle anderen RFEM-Positionen zur Verfügung steht.

11.1.3.4 Selektion der Zusatzmodul-Daten

Die Daten der Zusatzmodule werden ebenfalls im RFEM-Ausdruckprotokoll für den Druck verwaltet. Diese können in einem einzigen Protokoll mit den RFEM-Daten zusammengefasst oder in separaten Ausdruckprotokollen organisiert werden. Bei größeren Systemen mit einer Vielzahl von Bemessungsfällen ermöglicht die Aufteilung in mehrere Ausdruckprotokolle ein übersichtlicheres und schnelleres Arbeiten.

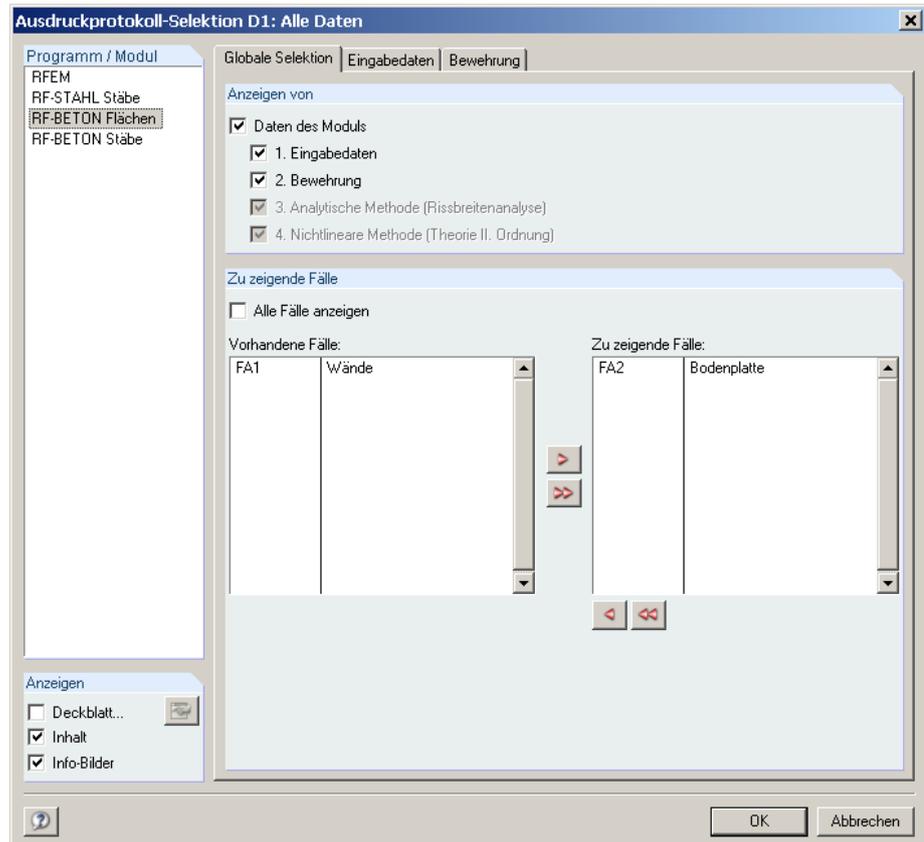


Bild 11.15: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion*, Register *Globale Selektion* des Moduls **RF-BETON Flächen**

Die Liste im Abschnitt *Programm / Modul* beinhaltet alle Zusatzmodule, in denen Eingaben vorgenommen wurden. Wird hier ein Modul markiert, können in den Registern rechts die zu druckenden Kapitel ausgewählt werden.

Im Register *Globale Selektion* werden die Oberkapitel der Zusatzmodul-Daten festgelegt. Wird 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 in diesem Kontrollfeld entfernt werden. Dann können die nicht benötigten Fälle von der Liste *Zu zeigende Fälle* in die Liste *Vorhandene Fälle* verschoben werden.

Die Auswahl in den Detailregistern der Eingabedaten und Ergebnisse erfolgt wie bereits in den Kapiteln 11.1.3.1 *Selektion der Strukturdaten* und 11.1.3.3 *Selektion der Ergebnisse* beschrieben.



11.1.4 Druckkopf anpassen



Im Zuge der Installation wird bereits ein Druckkopf aus den Kundendaten voreingestellt. Diese Angaben können im Ausdruckprotokoll geändert werden über Menü

Einstellungen → Druckkopf

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

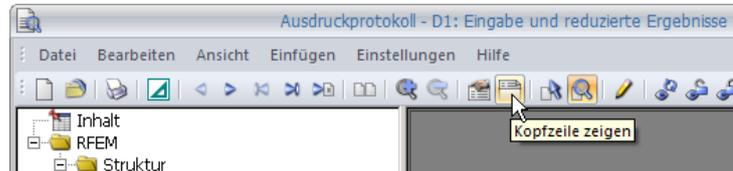


Bild 11.16: Schaltfläche *Kopfzeile zeigen*

Im folgenden Dialog können die Einstellungen für den Druckkopf vorgenommen werden.

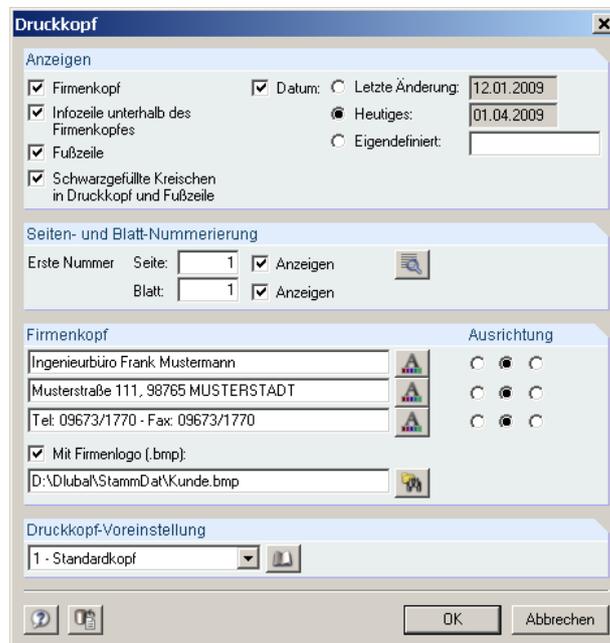


Bild 11.17: Dialog *Druckkopf*

Der Abschnitt *Anzeigen* steuert, welche Elemente des Druckkopfs bzw. des Seitenlayouts generell dargestellt und welches *Datum* angezeigt werden soll.

Die Option *Infozeile unterhalb des Firmenkopfes* umfasst die Projekt- und Positionsangaben mitsamt Datum. Die Projektbezeichnung wird im Projektmanager bei den Basisangaben des Projekts verwaltet und kann dort angepasst werden (siehe Kapitel 13.1.6, Seite 468). Die angezeigte Positionsbezeichnung lässt sich über die Basisangaben der Position ändern (siehe Kapitel 13.2, Seite 475).

Die *Fußzeile* lässt sich ebenso ein- und ausblenden wie die schwarzgefüllten *Kreischen* im Schnittpunkt von Randlinie mit Kopf- und Fußzeilenlinie.



Die Nummerierung wird im Abschnitt *Seiten- und Blatt-Nummerierung* verwaltet. Wenn für *Seite* und *Blatt* jeweils die gleiche Anfangsnummer angegeben und *Anzeigen* angehakt ist, besteht kein Unterschied in der Nummerierung. Möchte man aber beispielsweise alle Seiten einem Blatt zuordnen, so ist dies über die Schaltfläche [Weitere Einstellungen] möglich. Es erscheint ein Dialog, in dem detaillierte Nummerierungsvorgaben getroffen werden können.

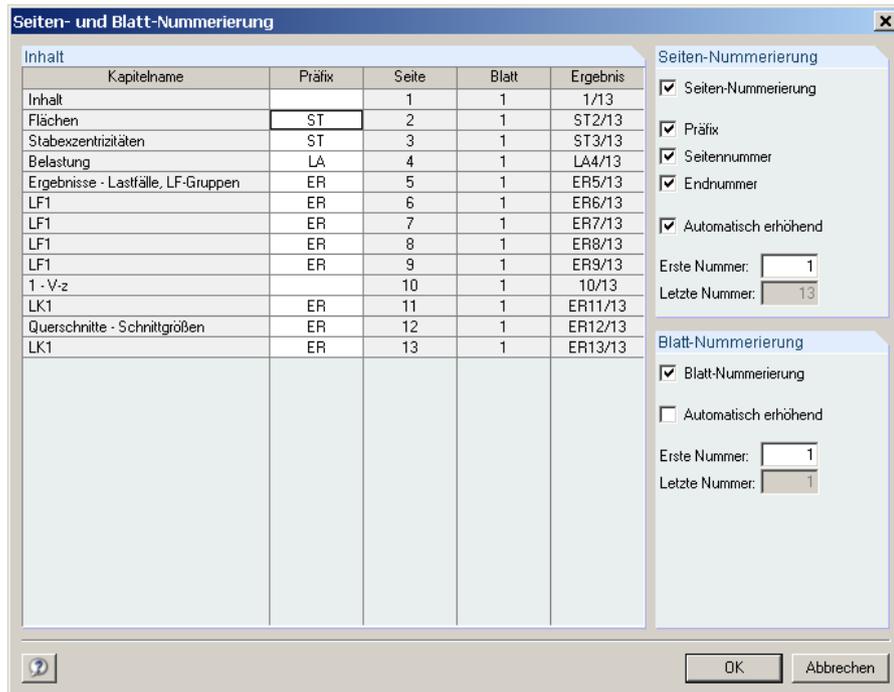


Bild 11.18: Dialog *Seiten- und Blattnummerierung*

In diesem Dialog lässt sich steuern, ob die *Seiten-Nummerierung* mit einem *Präfix* versehen wird. Dies kann ein Kürzel sein, das kapitelweise festgelegt wird und z. B. alle Strukturdaten in der Nummerierung mit einem vorangestellten „ST“ kennzeichnet. In diesem Dialog wird zudem geregelt, ob die *Endnummer* mit angezeigt wird (beispielsweise „Seite: ST3/20“).

Die beiden Kontrollfelder *Automatisch Erhöhend* legen fest, ob die Nummerierung jeweils fortlaufend erfolgt. Es kann zudem die *Erste Nummer* für die Seiten- und Blattnummerierung angegeben werden. In der Spalte *Ergebnis* wird das Resultat der Nummerierungsvorgaben dynamisch angezeigt.



Der Abschnitt *Firmenkopf* im *Druckkopf*-Dialog (siehe Bild 11.17) enthält die Angaben aus den Kundendaten, die hier angepasst werden können. Es stehen drei Eingabefelder zur Verfügung, die den drei Druckkopfzeilen entsprechen. Für jede Zeile können die Schriftart und der Schriftgrad über die Schaltfläche [A] geändert werden. Auch die *Ausrichtung* der Zeilen lässt sich separat steuern.



Im linken Bereich der Kopfzeile kann ein Firmenlogo als Grafik integriert werden. Die Grafik muss als Bitmap vorliegen. Mit MS Paint beispielsweise kann jede Grafik als *.bmp-Datei gespeichert werden.



Um den geänderten Druckkopf abzuspeichern, klicken Sie unten im Dialog auf die Schaltfläche [Druckkopf als Standard setzen]. Es erscheint der Dialog *Name des Druckkopfes*, in dem eine Bezeichnung festzulegen ist. Dieser Druckkopf wird dann in der Liste voreingestellt.



Über die Schaltfläche [Druckkopf-Bibliothek] lassen sich verschiedene Druckköpfe ablegen oder verwalten. Es wird der nachfolgend dargestellte Dialog aufgerufen.



Bild 11.19: Dialog *Druckkopf-Bibliothek*

In diesem Dialog können Druckkopfmuster erstellt, geändert und gelöscht werden. Die Schaltflächen bedeuten im Einzelnen:

	Ein neuer Druckkopf wird erstellt. In einem weiteren Dialog erfolgen die Angaben.
	Die Eigenschaften des markierten Druckkopfes können bearbeitet werden.
	Der in der Liste selektierte Druckkopf wird gelöscht.

Tabelle 11.5: Schaltflächen im Dialog *Druckkopf-Bibliothek*



Sind mehrere Druckköpfe vorhanden, kann einer davon im *Druckkopf*-Dialog aus der Liste *Druckkopf-Voreinstellung* ausgewählt und mit der Schaltfläche [Als Standard setzen] auch für alle übrigen RFEM-Positionen voreingestellt werden.



Die Druckköpfe werden in der Datei **DlubalProtocolConfig.cfg** im Stammdatenordner der Dlubal-Anwendungen (z. B. *C:\Dokumente und Einstellungen\All Users\Anwendungsdaten\Dlubal\Stammdat*) gespeichert. Obwohl diese Datei bei der Installation nicht überschrieben wird, ist eine Sicherungskopie ratsam.

11.1.5 RFEM-Grafiken einfügen



Jedes Bild, das im RFEM-Grafikfenster angezeigt wird, kann in das Ausdruckprotokoll integriert werden. Auch die Ergebnisverläufe der Schnitte, Stäbe und Linienlager sowie die Querschnittsdetails lassen sich mit den [Drucken]-Schaltflächen in diesen Fenstern in das Protokoll übergeben.

Die aktuelle RFEM-Grafik kann gedruckt werden über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 11.20: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Hauptfensters



Bild 11.21: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

Es wird folgender Dialog angezeigt:

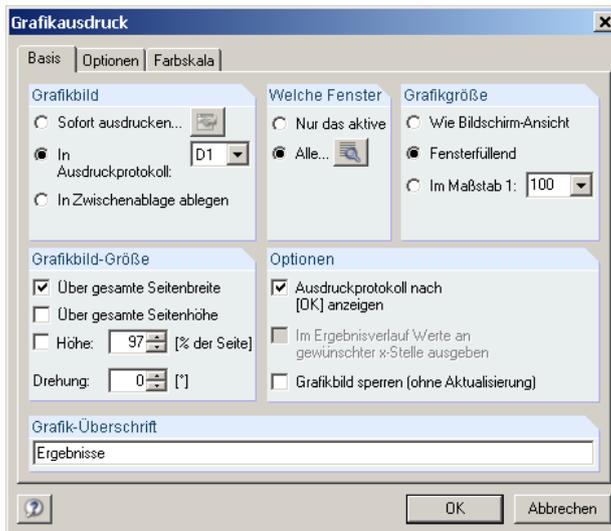


Bild 11.22: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Im Abschnitt *Grafikbild* muss die Option *In Ausdruckprotokoll* gewählt sein. Falls mehrere Ausdruckprotokolle existieren, kann in der Liste neben dem Auswahlfeld die Nummer des Ziel-Protokolls ausgewählt werden.

Wird der Dialog mit [OK] geschlossen, öffnet sich normalerweise das Ausdruckprotokoll. Dies kann in manchen Fällen hinderlich sein, beispielsweise wenn man mehrere Grafiken hintereinander in das Protokoll drucken möchte. Der Aufbau des Ausdruckprotokolls wird unterdrückt, wenn das Kontrollfeld *Ausdruckprotokoll nach [OK] anzeigen* im Abschnitt *Optionen* deaktiviert wird.

Es werden in der Regel dynamische Grafiken erzeugt. Dies bedeutet, dass bei einer Änderung der Struktur oder der Ergebnisse die Grafiken im Ausdruckprotokoll automatisch angepasst werden. Treten jedoch Performanceprobleme wegen sehr vieler Grafiken im Protokoll auf, kann die dynamische Aktualisierung durch das Kontrollfeld *Grafikbild sperren* im Abschnitt *Optionen* unterbunden werden.

Die Sperrung einer Grafik kann nachträglich im Ausdruckprotokoll wieder aufgehoben werden, indem man im Protokoll-Navigator den entsprechenden Grafikeintrag mit der rechten Maustaste anklickt, um dessen Kontextmenü zu aktivieren (vgl. Bild 11.4, Seite 331). Über den Eintrag *Eigenschaften* wird der Dialog *Grafikausdruck* wieder zugänglich. Alternativ selektiert man die Grafik im Protokoll-Navigator und wählt Menü

Bearbeiten → Abschnitt-Eigenschaften.

Eine weitere Alternative zur Erzeugung von statischen bzw. dynamischen Grafiken stellen die Schloss-Schaltflächen im Ausdruckprotokoll dar. Diese 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 11.6: Grafik-Schaltflächen im Ausdruckprotokoll

Die übrigen Funktionen im *Grafikausdruck*-Dialog werden im Kapitel 11.2 ab Seite 355 ausführlich erläutert.

11.1.6 Grafiken und Texte einfügen

Es sind verschiedene Möglichkeiten verfügbar, um beliebige Grafiken und Texte in das RFEM-Ausdruckprotokoll zu integrieren.

11.1.6.1 Grafiken einfügen

Soll ein Bild ergänzt werden, das keine RFEM-Grafik ist, muss diese Grafikdatei zunächst in einem Bildbearbeitungsprogramm geöffnet werden (z. B. MS Paint). Dort wird die Grafik mit [Strg]+[C] in die Zwischenablage kopiert.

Diese Grafik kann in das Ausdruckprotokoll eingefügt werden über Menü

Einfügen → **Grafik aus Zwischenablage**.

Vorher ist noch ein Kapitelname anzugeben.



Bild 11.23: Dialog *Grafik aus Zwischenablage einfügen*

Die Grafik erscheint dann als eigenständiges Kapitel im Ausdruckprotokoll.

11.1.6.2 Texte einfügen

Das Ausdruckprotokoll auch durch eigene, kurze Anmerkungen ergänzt werden. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Einfügen → **Text**.

Es erscheint folgender Dialog.

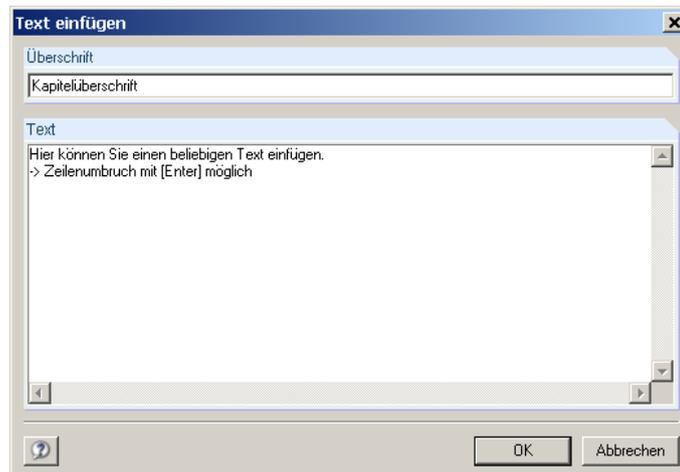


Bild 11.24: Dialog *Text einfügen*

Geben Sie dort eine *Überschrift* und den *Text* ein. Nach [OK] wird das Kapitel am Ende des Ausdruckprotokolls eingefügt. Mit Drag & Drop lässt es sich dann an die gewünschte Stelle verschieben.



Der Text kann im Selektionsmodus (vgl. Tabelle 11.3, Seite 332) über einen Doppelklick nachträglich angepasst werden. Alternativ klickt man im Navigator die *Überschrift* mit der rechten Maustaste an und wählt den Kontextmenü-Eintrag *Eigenschaften*.

11.1.6.3 Texte aus Text-Dateien einfügen

Durch die Möglichkeit, beliebige Textdateien in das Ausdruckprotokoll einzufügen, können wiederkehrende Texte in einer Datei abgelegt und so für das Protokoll genutzt werden.

Mit dieser Funktion lassen sich auch die Nachweise anderer Bemessungsprogramme in das Ausdruckprotokoll integrieren, sofern die Ergebnisse als ASCII-Textdateien vorliegen.

Textdateien werden eingefügt über Ausdruckprotokoll-Menü

Einfügen → **ASCII-Datei**.

Im Windows-Dialog *Öffnen* wird zunächst die Datei ausgewählt. Bevor der Dateiinhalt in das Ausdruckprotokoll übernommen wird, wird folgender Dialog zwischengeschaltet.

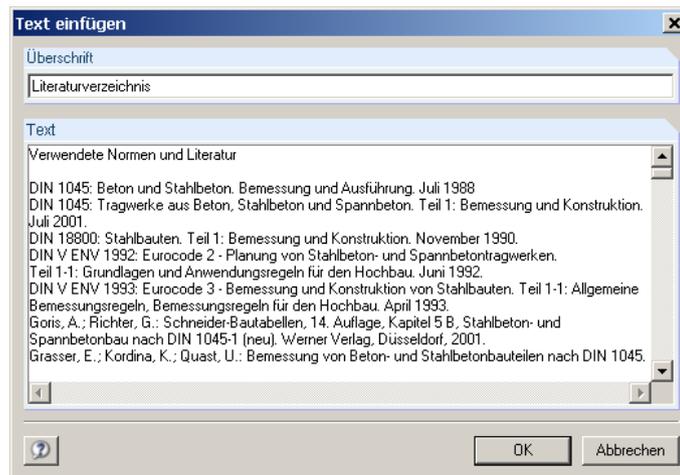


Bild 11.25: Dialog *Text einfügen*

Der Text kann hier noch angepasst und mit einer Kapitelüberschrift versehen werden.

Nach [OK] wird das Kapitel am Ende des Ausdruckprotokolls eingefügt. Mit Drag & Drop kann es dann an die gewünschte Stelle verschoben werden.



Der Text lässt sich im Bearbeitungsmodus (vgl. Tabelle 11.3) über einen Doppelklick ändern.

11.1.6.4 Texte aus RTF-Dateien einfügen

Die im Kapitel 11.1.6.3 beschriebene Möglichkeit eignet sich, wiederkehrende Texte in das Ausdruckprotokoll einzufügen. ASCII-Dateien stellen allerdings unformatierte Texte dar.

Der Import von RTF-Dateien gestattet es, formatierte Texte einschließlich eingebetteter Grafiken in das Protokoll zu integrieren. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Einfügen → **RTF-Datei**.

Im Windows-Dialog *Öffnen* wird zunächst die Datei ausgewählt. Ehe diese in das Ausdruckprotokoll übernommen wird, ist noch ein Kapitelname anzugeben.

Nach [OK] wird das Kapitel am Ende des Ausdruckprotokolls eingefügt. Mit Drag & Drop kann es dann an die gewünschte Stelle verschoben werden.



Ingenieurbüro Anton Mustermann
 Musterstraße 1, 98765 MUSTERSTADT
 Tel: 0367 654-0 - Fax: 0367 654-33

Seite: ST2/85
 Blatt: 1
STRUKTUR
 Datum: 26.10.2006

Projekt: Demo

Position: Demo-6

Das Eden Project in Cornwall/England

Das Eden Project gehört zu den Millennium-Bauten in England. Als „größtes Gewächshaus dieses Planeten“ stellt es heute eine der touristischen Hauptattraktionen Cornwalls dar. Ein 50 m tiefer und mit Kuppeln überdachter Krater wurde zum Zuhause für Tausende bedauernder Pflanzen. Drei globale Vegetationszonen wurden ausgewählt, die die lebenswichtigen wechselseitigen Beziehungen zwischen Pflanzen, Menschen und den Ressourcen repräsentieren.

Das „achte Weltwunder“ wurde im März 2001 eröffnet, an Erweiterungen wird gearbeitet. Bekannt ist dieses bemerkenswerte Bauwerk auch durch einen James Bond Film.

Konstruktion

Die architektonische Umsetzung der Vision von Tim Smit erfolgte nach einigen Vorberechnungen vonseiten MERO-TSK durch Nicholas Grimshaw and Partners in London. Der Gewächshauskomplex besteht aus vier jeweils miteinander verschnittenen Buckminster-Fuller-Kuppeln. Doppelwandige ETFE-Kissen bilden die Eindeckung dieser Kuppeln.

Die Tragkonstruktion besteht aus standardisierten, sechseckigen Rohrelementen aus Stahl. Es wird eine Fläche von insgesamt 23000 m² überdeckt. Die maximale Höhe der Kuppeln beträgt 50 m, der maximale Durchmesser 125 m.



Eden Project in Cornwall: Tropisches und mediterranes Gewächshaus

Modellierung

Das Bauwerk wurde über ein CAD-Modell erzeugt und anschließend in RFEM eingelesen. Das Modell beinhaltet 2525 Knoten und 7545 Stäbe zweier Materialien und insgesamt 49 Querschnitte. Das Gesamtgewicht der Struktur beträgt 340 t.

Die Zusammenstellung der Lastfälle und deren Überlagerung erfolgte nach der britischen Vorschrift BS 5950. Es erfolgte eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung in verschiedenen Lastfallgruppen inklusive anschließender Bemessung in den Zusatzmodulen.

1.1 KNOTEN

Knoten-Nr.	Koordinatensystem	Bezugs-Koordinate	X [m]	Y [m]	Z [m]	Kommentar
1	Kartesisch	-	0,000	0,000	0,000	Geleitet
2	Kartesisch	-	25,000	0,000	0,000	Geleitet
3	Kartesisch	-	0,000	0,000	-6,000	
4	Kartesisch	-	3,000	0,000	-6,261	

Bild 11.26: Eingelegte RTF-Datei im Ausdruckprotokoll

11.1.7 Ausdruckprotokoll-Muster

Die im Kapitel 11.1.3 beschriebene Selektion ist relativ zeitaufwändig. Es ist jedoch möglich, die getroffene Auswahl einschließlich Grafiken als Muster abzulegen und in anderen Positionen wieder zu verwenden. Mit der Verwendung dieser Vorlagen kann das Erstellen der Ausdruckprotokolle wesentlich rationeller erfolgen.

Auch ein bestehendes Ausdruckprotokoll kann im Nachhinein auf Grundlage eines Musters umgestaltet werden.

11.1.7.1 Muster neu anlegen

Neue Vorlagen werden über diese Ausdruckprotokoll-Menüs definiert:

Einstellungen → Ausdruckprotokoll-Muster → Neu

Einstellungen → Ausdruckprotokoll-Muster → Neu aus aktuellem Protokoll.

Neu

Zunächst erscheint der im Kapitel 11.1.3 ab Seite 333 beschriebene Selektionsdialog.

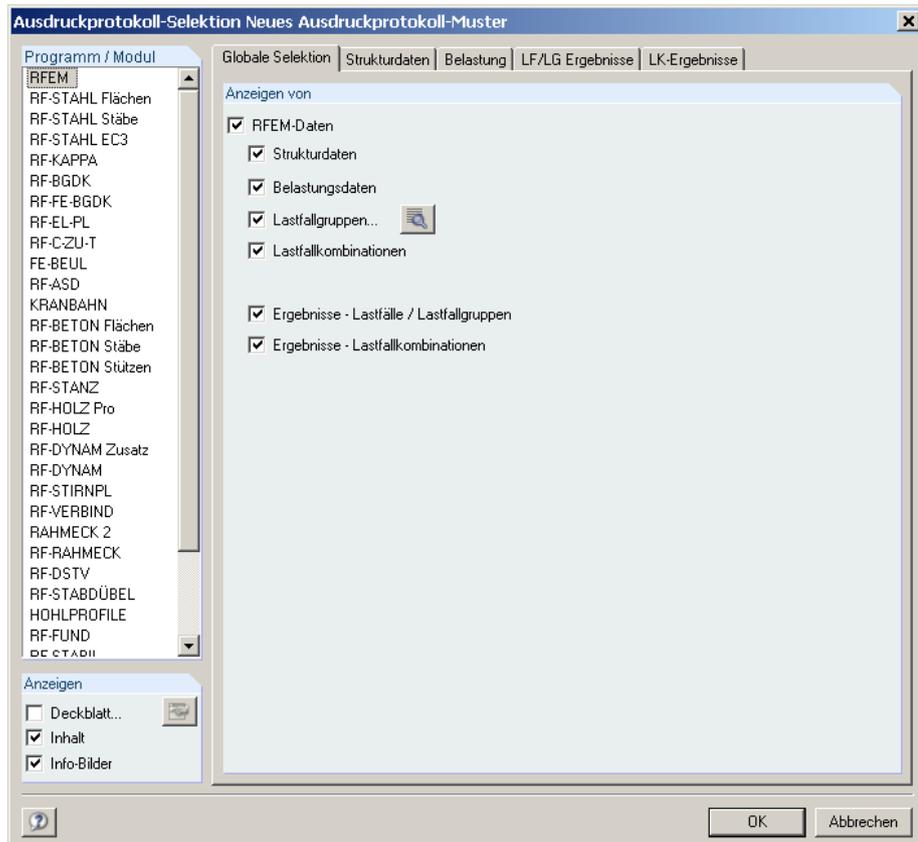


Bild 11.27: Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion: Neues Ausdruckprotokoll-Muster*

In den Registern werden die zu druckenden Kapitel ausgewählt. Wird die Selektion mit [OK] abgeschlossen, ist die *Bezeichnung* für das neue Musterprotokoll festzulegen.



Bild 11.28: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll-Muster*

Neu aus aktuellem Protokoll

Für die neue Vorlage wird die Selektion des aktuellen Ausdruckprotokolls verwendet. Es ist im Dialog (vgl. Bild 11.28) nur die *Bezeichnung* des neuen Musterprotokolls anzugeben.

11.1.7.2 Muster anwenden

Ist bereits ein Ausdruckprotokoll geöffnet, kann die Selektion eines bestimmten Musters auf das aktuelle Protokoll übertragen werden. Dies erfolgt über Menü

Einstellungen → Ausdruckprotokoll-Muster → Wählen.

Im folgenden Dialog wird die Vorlage in der Liste *Vorhandene Ausdruckprotokoll-Muster* ausgewählt.



Bild 11.29: Dialog *Ausdruckprotokoll-Muster*

Nach einer Sicherheitsabfrage wird die aktuelle Selektion durch das Muster überschrieben. Wird ein neues Ausdruckprotokoll angelegt, kann in der Liste *Voreinstellung übernehmen von Muster* eine Vorlage ausgewählt werden, nach der der Inhalt zusammengestellt wird.

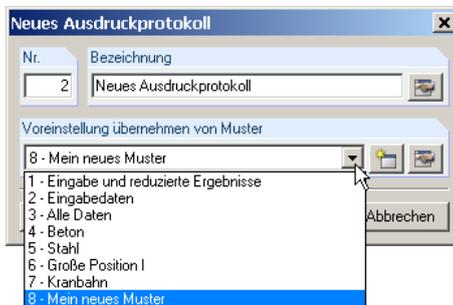


Bild 11.30: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll* mit Liste der Muster

Die Schaltflächen dieses Dialogs sind weiter unten in Tabelle 11.7 erläutert.

11.1.7.3 Muster verwalten

Die Verwaltung der Vorlagen erfolgt im Dialog *Ausdruckprotokoll-Muster*. Dieser Dialog wird aufgerufen über Menü

Einstellungen → Ausdruckprotokoll-Muster → Wählen.

Es erscheint der im Bild 11.29 gezeigte Dialog. Die Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt, die jedoch nur auf benutzerdefinierte Muster angewandt werden können.

	Das ausgewählte Muster kann umbenannt werden.
	Das selektierte Muster wird gelöscht.

Tabelle 11.7: Schaltflächen im Dialog *Ausdruckprotokoll-Muster*



Vor der Installation eines Updates ist es ratsam, die Ausdruckprotokoll-Muster zu sichern. Diese Vorlagen werden in der Datei **RfemProtocolConfig.cfg** im Stammdatenordner für RFEM 4 abgelegt (standardmäßig *C:\Dokumente und Einstellungen\All Users\Anwendungsdaten\Dlubal\RFEM4\Stammdat*).

11.1.8 Layout anpassen

Das Layout eines Ausdruckprotokolls kann hinsichtlich der Schriftarten und -farben, der Randeinstellungen und des Tabellendesigns angepasst werden.

Der Dialog *Seitenlayout* wird aufgerufen über Menü

Bearbeiten → **Seite einrichten**.



Bild 11.31: Dialog *Seite einrichten*



Es sind relativ kleine Standardfonts für Normal- und Spaltenüberschriften vorgesehen. Dennoch sollte man vorsichtig sein, die Voreinstellung **Arial 8** 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.

11.1.9 Deckblatt erzeugen

Um dem Ausdruckprotokoll ein Deckblatt voranzustellen, wird der Dialog zur Eingabe der Deckblattdaten aufgerufen über Menü

Bearbeiten → **Deckblatt anzeigen**.



Bild 11.32: Dialog *Deckblatt*

Sind alle Daten eingetragen, wird nach [OK] das Deckblatt im Ausdruckprotokoll erstellt.

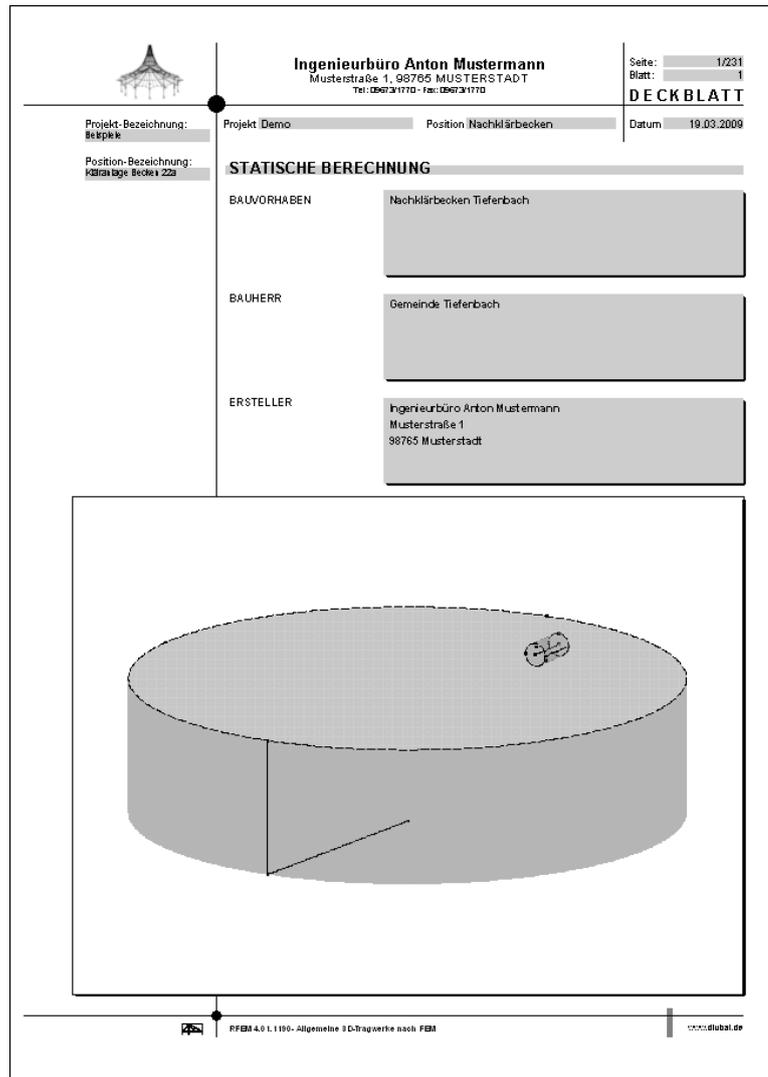


Bild 11.33: Deckblatt im Ausdruckprotokoll



Der Inhalt des Deckblatts kann im Bearbeitungsmodus (vgl. Tabelle 11.3, Seite 332) über einen Doppelklick nachträglich angepasst werden. Alternativ klickt man im Navigator das Deckblatt mit der rechten Maustaste an und wählt den Kontextmenü-Eintrag *Eigenschaften*.

11.1.10 Ausdruckprotokoll drucken



Der eigentliche Druckvorgang wird gestartet mit dem Menübefehl

Datei → Drucken

oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.



Bild 11.34: Schaltfläche *Ausdruckprotokoll drucken*

Es wird der Standard-Druckerdialog von Windows aufgerufen, in dem der Drucker für die Ausgabe ausgewählt und die zu druckenden Seiten festlegt werden.

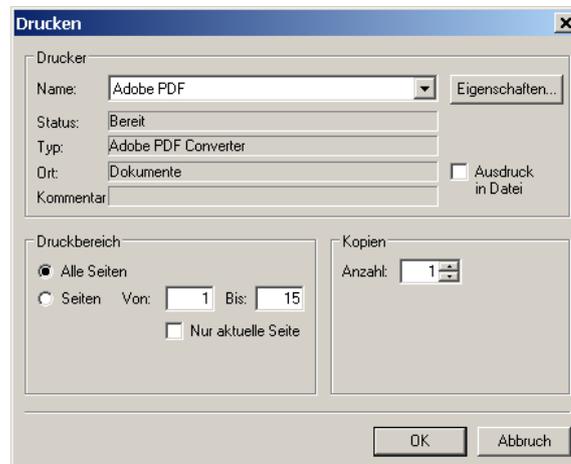


Bild 11.35: Dialog *Drucken*

Falls hier 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, die man mit dem **copy**-Befehl auf einen Drucker leiten kann.

11.1.11 Ausdruckprotokoll exportieren

Das Ausdruckprotokoll kann als RTF-Datei und direkt nach *BauText* exportiert werden.



Der direkte Export in eine ASCII-Datei ist in RFEM nicht vorgesehen. Als Alternative kann die Funktion *Export zu MS Excel* in den Ein- und Ausgabetafeln benutzt werden (siehe Kapitel 12.3.6, Seite 418).

RTF-Export

Das RTF-Format kann von allen gängigen Textverarbeitungsprogrammen gelesen werden. Das Ausdruckprotokoll wird einschließlich der Grafiken exportiert.

Der Export in ein RTF-Dokument wird gestartet über Menü

Datei → **Export in RTF-Datei bzw. BauText**.

Es erscheint folgender Dialog.



Bild 11.36: Dialog *Ausdruckprotokoll im RTF-Format exportieren*

Der Pfad und der Dateiname für die RTF-Datei sind hier festzulegen. Wenn das Kontrollfeld *Export nur der selektierten Daten* aktiviert ist, wird nicht das gesamte Protokoll exportiert, sondern nur das bzw. die Kapitel, die im Navigator selektiert wurden.

BauText-Export

BauText aus dem Hause VEIT CHRISTOPH ist ein Textverarbeitungsprogramm mit speziellen Erweiterungen für statische Berechnungen.



Der direkte Export nach *BauText* wird gestartet über Menü

Datei → **Export in RTF-Datei bzw. BauText**

oder die Schaltfläche [BauText] in der Symbolleiste des Ausdruckprotokolls.

Es erscheint der im Bild 11.36 dargestellte Dialog, in dem das Kontrollfeld *Direkter Export in das Programm BauText* aktiviert werden muss.

Es ist nicht erforderlich, einen Dateinamen anzugeben, allerdings sollte *BauText* bereits im Hintergrund laufen. Nach [OK] wird das Importmodul von *BauText* gestartet.

PDF-Export

Ein direkter Export des Ausdruckprotokolls in ein PDF-Dokument ist nicht möglich. Wenn jedoch Adobe Acrobat® oder ein ähnliches Produkt installiert ist, steht im Dialog *Drucken* ein virtueller Drucker zur Verfügung, mit dem ein PDF-Dokument erzeugt werden kann.

Zum Erstellen von PDF-Dateien gibt es auch im Internet verschiedene kostenlose Tools wie beispielsweise *Ghostscript* oder *Win2PDF*. Es muss zusätzlich ein Drucker installiert sein, der PostScript drucken kann, z. B. HP Color LaserJet 5/5M PS. Ist dieser Drucker so eingestellt, dass er in eine Datei druckt, lässt sich aus jedem Ausdrucksprotokoll eine PostScript-Datei erstellen, die dann mit *Ghostscript* in eine PDF-Datei umgewandelt werden kann.

11.1.12 Sprache einstellen

Die Spracheinstellung im Ausdruckprotokoll ist unabhängig von der Sprache der RFEM-Benutzeroberfläche. Mit der deutschen RFEM-Version kann also ein englisches Ausdruckprotokoll erzeugt werden.

Ändern der Sprache für den Ausdruck

Die im Ausdruckprotokoll benutzte Sprache kann geändert werden über Menü

Einstellungen → **Sprache**.

Im folgenden Dialog wird die gewünschte Sprache aus der Liste ausgewählt.



Bild 11.37: Dialog *Sprachen*

Zurzeit stehen folgende Sprachen zur Verfügung:

- Deutsch
- Englisch
- Französisch
- Italienisch
- Spanisch
- Russisch
- Tschechisch
- Polnisch
- Ungarisch
- Slowakisch

Erweitern der vorhandenen Sprachen

Die im Ausdruckprotokoll verwendeten Begriffe sind als Strings (Zeichenketten) abgelegt. Es ist relativ einfach möglich, dort weitere Sprachen einzubinden.

Rufen Sie zunächst den Dialog *Sprachen* auf über Menü

Einstellungen → **Sprache**.

Es werden die nachfolgend dargestellten Schaltflächen zugänglich.



Neue Sprache erzeugen

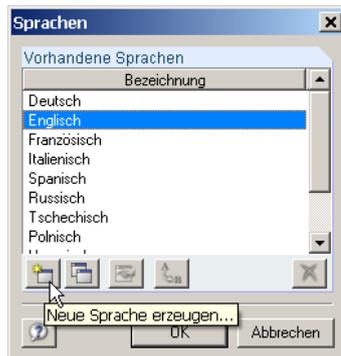


Bild 11.38: Dialog *Sprachen*, Schaltfläche *Neue Sprache erzeugen*

Im folgenden Dialog muss für die neue Sprache ein *Name* angegeben werden. Zudem ist eine *Sprachgruppe* aus der Liste auszuwählen, damit der Zeichensatz für die Darstellung richtig interpretiert wird.



Bild 11.39: Dialog *Neue Sprache anlegen*

Nach [OK] steht die neue Sprache in der Liste *Vorhandene Sprachen* zur Verfügung.



Bild 11.40: Dialog *Sprachen*, Schaltfläche *Selektierte Sprache bearbeiten*



Mit [Bearbeiten] können die Strings für die neue Sprache in einem Dialog definiert werden.

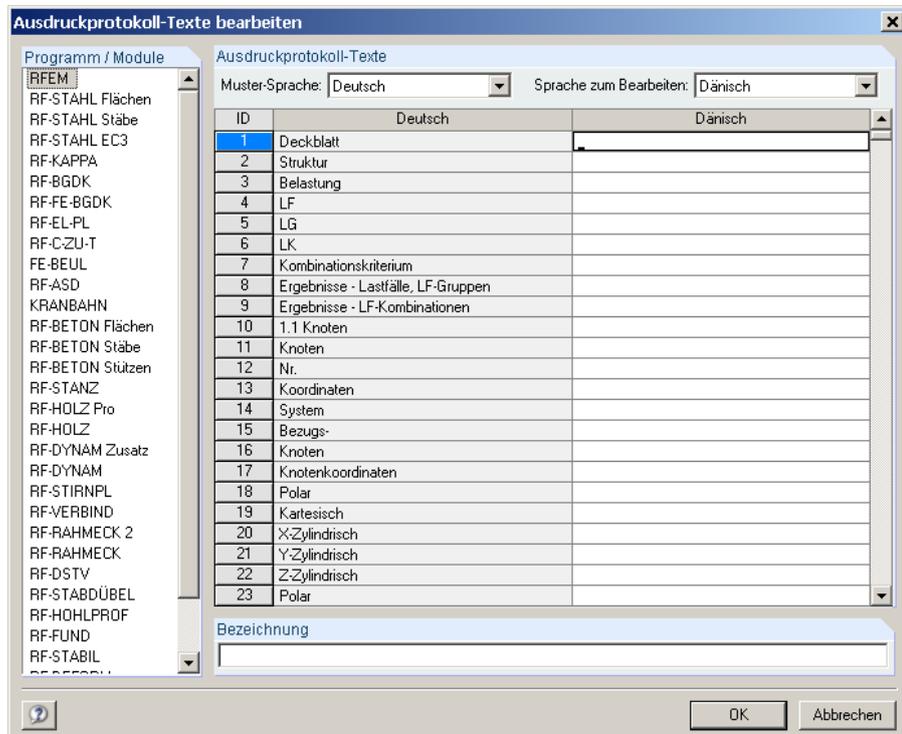


Bild 11.41: Dialog *Ausdruckprotokoll-Texte bearbeiten*

Es können nur benutzerdefinierte Sprachen bearbeitet werden.



Sprache kopieren



Bild 11.42: Dialog *Sprachen*, Schaltfläche *Neue Sprache erzeugen mit Kopieren*

Diese Funktion ähnelt dem Anlegen einer neuen Sprache. Der einzige Unterschied besteht darin, dass keine „leere“ Sprache angelegt wird (vgl. Bild 11.41, Spalte *Dänisch*), sondern die Begriffe der gewählten Sprache voreingestellt sind.

Sprache umbenennen oder löschen

Mit den verbleibenden beiden Schaltflächen des Dialogs *Sprachen* können Sprachen umbenannt oder gelöscht werden. Diese Funktionen sind nur für benutzerdefinierte Sprachen zugänglich, nicht jedoch für die programmseitigen Standardsprachen.



11.2 Direkter Grafikausdruck

Jedes Bild, das im RFEM-Grafikfenster angezeigt wird, lässt sich sofort ausdrucken. Man braucht es nicht vorher in das Ausdruckprotokoll einbinden (vgl. Kapitel 11.1.5, Seite 342), um es zu drucken. Auch die Ergebnisverläufe von Schnitten, Stäben, Linien und Linienlagern sowie die Querschnittsdetails können mit den [Drucken]-Schaltflächen in diesen Fenstern direkt auf den Drucker geleitet werden.



Die aktuelle Grafik kann direkt gedruckt werden über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 11.43: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Hauptfensters

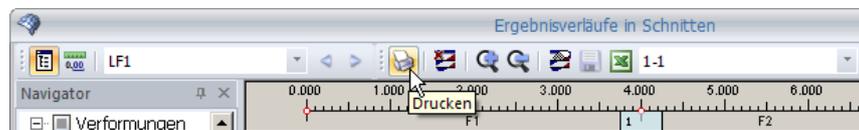


Bild 11.44: Schaltfläche *Drucken* in der Symbolleiste des Ergebnisverläufe-Fensters

Es erscheint ein Dialog, der in zwei oder drei Register unterteilt ist. Diese werden in den folgenden Kapiteln einzeln beschrieben.

11.2.1 Register *Basis*

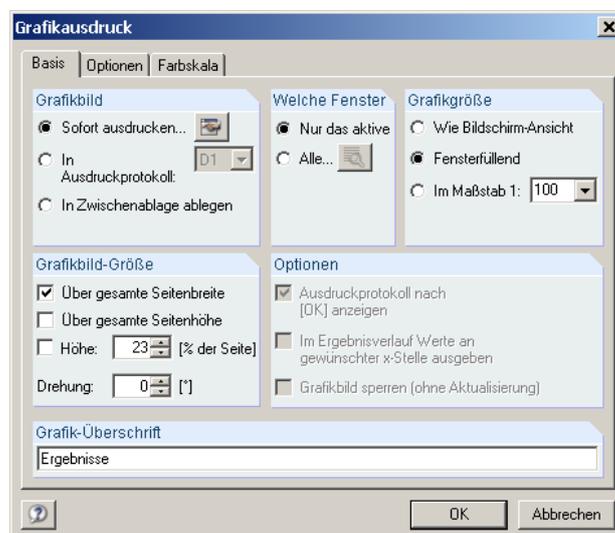


Bild 11.45: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Basis*

Grafikbild

Hier kann zwischen drei Möglichkeiten der Grafikausgabe gewählt werden:

- Sofort ausdrucken
- In Ausdruckprotokoll (siehe Kapitel 11.1.5, Seite 342)
- In Zwischenablage ablegen

Beim Drucken in die *Zwischenablage* wird die Grafik anderen Programmen zur Verfügung gestellt. Dort kann die Grafik dann in der Regel über das Menü **Bearbeiten** → **Einfügen** übernommen werden.



Für die direkte Druckausgabe ist die erste Option *Sofort ausdrucken* zu wählen. Der Druckkopf kann dabei über die Schaltfläche [Bearbeiten] angepasst werden, die den *Druckkopf*-Dialog aufruft. Dieser Dialog ist im Kapitel 11.1.4 auf Seite 340 ausführlich erläutert.

Welche Fenster

In RFEM können mehrere Grafikfenster gleichzeitig dargestellt werden (vgl. Kapitel 10.8, Seite 322). Beim Ausdruck einer Mehrfensterdarstellung ist zu beachten, dass nur Grafiken ein und derselben Position gleichzeitig zu Papier gebracht werden können. Ein positionsübergreifender Ausdruck ist nicht möglich.

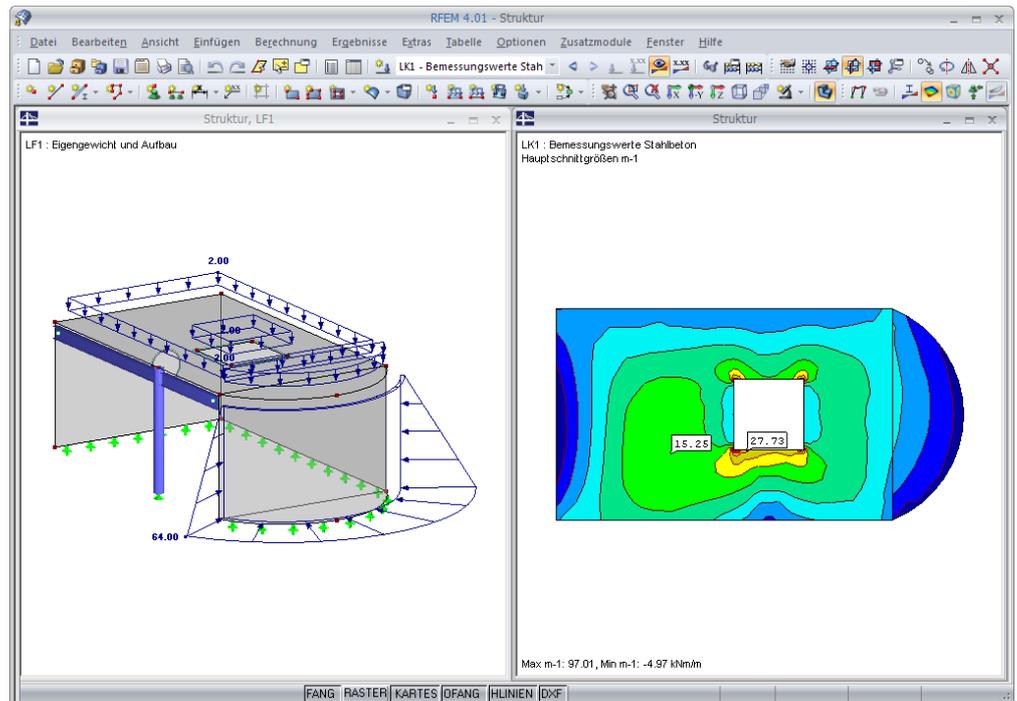
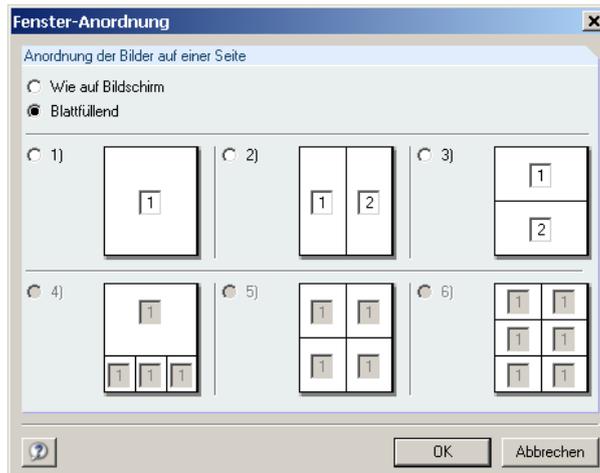


Bild 11.46: Darstellung von zwei Unterfenstern

In diesem Abschnitt wird eingestellt, wie eine Mehrfensterdarstellung im Ausdruck behandelt werden soll. Mit der Option *Nur das aktive* Fenster wird die Grafik desjenigen Fensters gedruckt, das gerade fokussiert ist (beispielsweise im Bild 11.46 das rechte Fenster).



Mit Aktivierung der Option *Alle* Fenster wird die [Details]-Schaltfläche zugänglich, über die die Anordnung der Grafiken auf dem Papier festgelegt werden kann. Diese Schaltfläche ruft folgenden Dialog auf, der diverse Einstellmöglichkeiten bietet.

Bild 11.47: Dialog *Fensteranordnung*

Wie auf Bildschirm arrangiert die Fenster so auf dem Blatt, wie sie den Größenverhältnissen auf dem Monitor entsprechen. In der Regel wird das Gesamtbild auf der Seite damit wie auf dem Bildschirm breiter als hoch. Bei der Option *Blattfüllend* wird die gesamte Seitengröße für die Darstellung der Fenster ausgenutzt.

Grafikgröße

In diesem Abschnitt wird der Abbildungsmaßstab der Grafik auf dem Papier festgelegt.

Soll der gleiche Darstellungsmaßstab wie auf dem Monitor verwendet werden, dann muss die Option *Wie Bildschirmansicht* gewählt werden. Damit lassen sich gezoomte Bereiche oder spezielle Ansichten ausdrucken.

Mit der Option *Fensterfüllend* wird die Gesamtgrafik auf dem Papier dargestellt. Es wird der eingestellte Blickwinkel verwendet, um die ganze Struktur in der vorgegebenen Grafikkbild-Größe (siehe nächster Abschnitt) abzubilden.

Die dritte Option *Im Maßstab* druckt die Grafik in einem beliebigen Maßstab. Auch hier wird der aktuelle Blickwinkel verwendet. Eine perspektivische Ansicht eignet sich nicht für den maßstäblichen Ausdruck.

Grafikkbild-Größe

In diesem Abschnitt wird über die Größe der Grafik auf dem Papier entschieden.

Falls das Kontrollfeld *Über gesamte Seitenbreite* aktiviert ist, wird wie im folgenden Bild dargestellt auch der linke Rand neben der vertikalen Trennlinie für die Grafik genutzt.

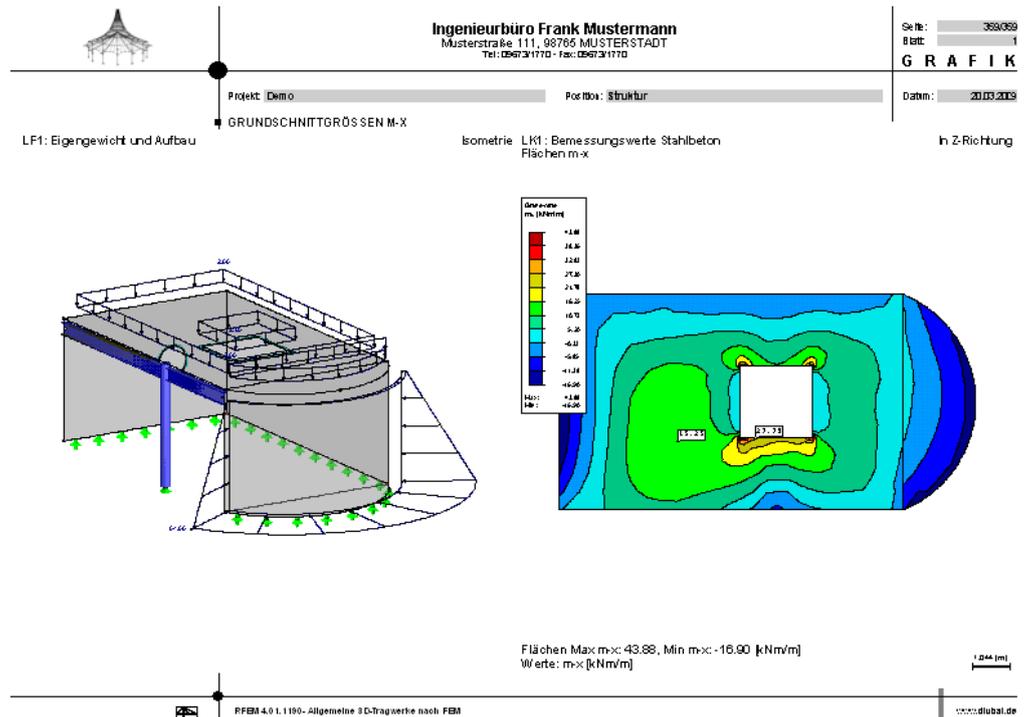


Bild 11.48: Grafikausdruck im Querformat: Ergebnis der Optionen *Alle Fenster* und *Über gesamte Seitenbreite*

Wird nicht der gesamte Platz in vertikaler Richtung für die Grafik genutzt, kann die *Höhe* des Grafikbereichs als prozentualer Anteil der Seite festgelegt werden.

Im Eingabefeld *Drehung* kann man einen Drehwinkel angeben, um den die Grafik beim Drucken rotiert wird.

Optionen

In diesem Abschnitt ist beim direkten Ausdruck von Ergebnisverläufen das Kontrollfeld *Im Ergebnisverlauf Werte an gewünschter x-Stelle ausgeben* zugänglich. Damit lässt sich die Ausgabe der Werte steuern, die an der Position des Mauszeigers angezeigt werden.

Grafik-Überschrift

Beim Aufruf des Druckdialogs ist in diesem Eingabefeld ein Titel für die Grafik voreingestellt, der hier geändert werden kann.

11.2.2 Register *Optionen*

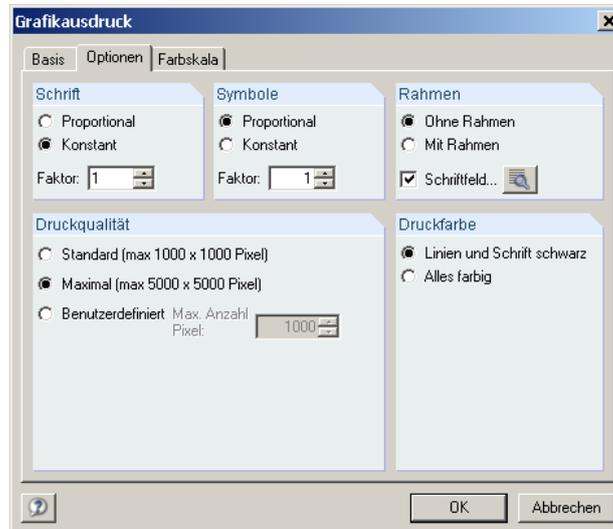


Bild 11.49: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

Schrift / Symbole

Es ist nur selten – beispielsweise beim großformatigen Plotten – notwendig, in diesen beiden Abschnitten Veränderungen an den Voreinstellungen vorzunehmen.

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

Optional kann die Grafik im Ausdruck mit einem Rahmen versehen werden.



Zusätzlich ist es möglich, den Ausdruck durch ein Zeichnungsschriftfeld zu ergänzen. Die Schaltfläche [Details] öffnet einen Dialog, in dem das Aussehen und der Inhalt des Schriftfeldes festgelegt werden (siehe folgendes Bild).

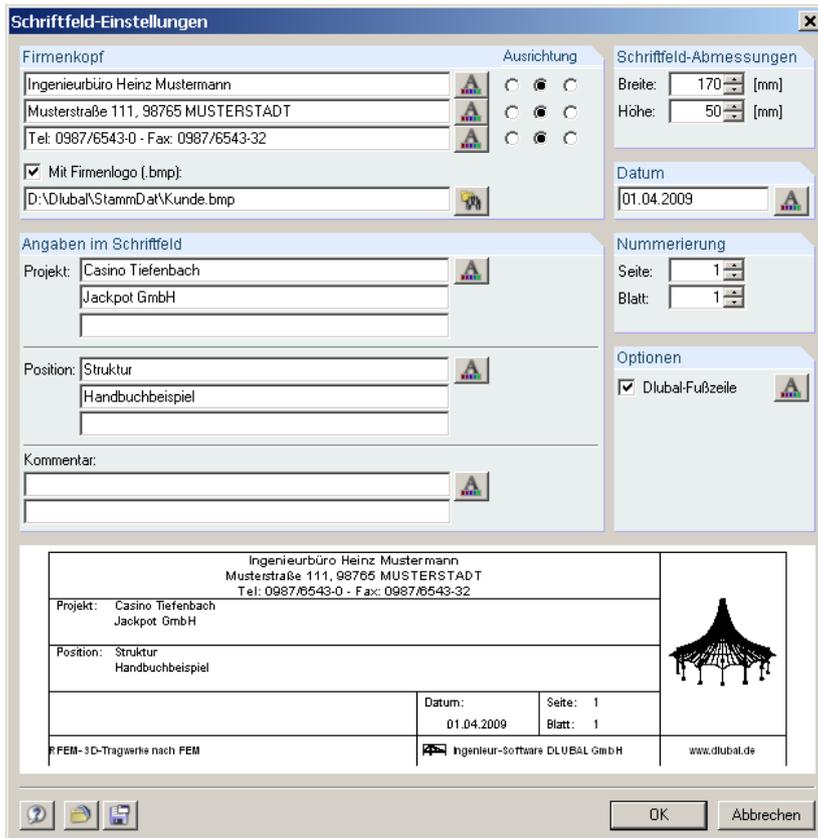


Bild 11.50: Dialog *Schriftfeld-Einstellungen*

Im unteren Bereich des Dialogs wird eine Vorschau des Schriftfeldes angezeigt.

Druckqualität

Auch in diesem Abschnitt sind nur im Ausnahmefall Änderungen erforderlich. Als *Standard* wird die Grafik als Bitmap mit einer Größe von 1000 x 1000 Pixel ausgegeben. Die Maximalgröße von 5000 x 5000 Pixel führt bei einer 32 Bit-Farbtiefe zu einer Datenmenge von etwa 100 MB. Da dies bei einigen Druckertreibern Probleme verursacht, sollte die hohe Auflösung mit Bedacht gewählt werden.

Druckfarbe

Wenn die Druckausgabe auf einem Schwarz-Weiß-Drucker erfolgen soll, können zur besseren Lesbarkeit *Linien und Schrift schwarz* anstatt in Graustufen gedruckt werden. Dabei ist zu beachten, dass z. B. Isoflächen oder Lagersymbole von dieser Einstellung nicht beeinflusst werden und somit farbig im Ausdruck erscheinen.



Die Umsetzung farbiger Ergebnisverläufe in Graustufen wird stets vom Druckertreiber vorgenommen. In RFEM ist keine Einstellmöglichkeit gegeben.

11.2.3 Register *Farbskala*



Bild 11.51: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Farbskala*

Dieses Register wird nur dann angezeigt, wenn die Ergebnisse mehrfarbig dargestellt werden (siehe Kapitel 10.3, Seite 305).

Lage

Die Farbskala des Steuerpanels wird standardmäßig mit ausgedruckt. Ist dies nicht erwünscht, muss das Kontrollfeld *Keine Farbskala* angehakt werden.

Wenn das Auswahlfeld *Innerhalb* gewählt wird, dann überlappt die Farbskala einen Teil des Bildes. Mit der Option *Außerhalb des Grafikbildes* wird ein Streifen des Grafikfensters abgetrennt und nur für die Farbskala verwendet. In diesem Fall kann man weiter unten im gleichen Abschnitt die *Breite der Skala* angeben.

Liegt die Farbskala innerhalb des Grafikbildes, lässt sich deren Position genau festlegen: Man kann die Skala in einer der vier Ecken anordnen oder *Benutzerdefiniert* arrangieren.

Größe

Die Größe der Farbskala kann in diesem Abschnitt entweder in absoluten Maßen oder relativ zur Seitengröße vorgegeben werden.

Mehrere Farbskalen

In der Grafik lassen sich Stab- und Flächenergebnisse gleichzeitig darstellen, wobei die für den Bildschirm relevante Farbskala im Steuerpanel eingestellt werden kann (vgl. Bild 10.38, Seite 327). Auf dem Papier jedoch werden in diesem Fall zwei Farbskalen dargestellt, deren Anordnung in diesem Abschnitt festgelegt wird.

Optionen

Die Farben-Werte-Zuweisung kann für die RFEM-Grafik benutzerdefiniert festgelegt werden (siehe Kapitel 4.4.6, Seite 78).

Dieser Abschnitt regelt, 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.

12. Programmfunktionen

Dieses Kapitel präsentiert verschiedene Funktionen zur grafischen und tabellarischen Eingabe. Sie umfassen die Bearbeitungsmöglichkeiten ausgewählter Objekte, die CAD-Funktionen zum Konstruieren neuer Strukturelemente, die Tabellenoperationen und die Möglichkeiten einer parametrisierten Eingabe. Abgerundet wird das Kapitel durch eine kurze Auflistung der programminternen Struktur- und Belastungsgenerierer.

12.1 Objekte bearbeiten

Mit den grafischen Bearbeitungsfunktionen können Objekte verändert werden, die zuvor in der Grafik selektiert wurden. Die selektierten Objekte kann man

- verschieben,
- kopieren,
- rotieren,
- spiegeln,
- projizieren,
- strecken,
- extrudieren,
- abschrägen.

Im Gegensatz dazu ist für die in Kapitel 12.2 vorgestellten CAD-Funktionen keine Selektion erforderlich. Diese Funktionen unterstützen beim Konstruieren neuer Elemente.

12.1.1 Grafische Selektion

Mit dem **Selektieren** werden diejenigen Objekte bestimmt, die man später bearbeiten will. Als Objekte kommen beispielsweise Knoten, Linien, Flächen, Volumina, Stäbe, Lager oder FE-Netzverdichtungen infrage. Es können jedoch auch Lasten und Hilfsobjekte (Maßlinien, Kommentare) grafisch selektiert werden.

Das Objekt wird durch einfaches Anklicken mit der Maus selektiert. In der Grafik wird das selektierte Objekt dann in einer anderen Farbe markiert. Es bleibt stets nur das zuletzt angeklickte Objekt selektiert. Sollen mehrere Objekte durch Anklicken selektiert werden, so muss die [Strg]-Taste während des Klickens gedrückt werden.

Selektieren mit Fenster

Mit der Fenster-Selektion können viele Objekte in einem einzigen Schritt ausgewählt werden, indem man mit der gedrückten linken Maustaste ein Fenster über den relevanten Objekten aufzieht. Wird das Fenster von links nach rechts aufgezogen, werden alle Objekte selektiert, die vollständig in diesem Bereich liegen. Zieht man das Fenster von rechts nach links auf, werden auch alle Objekte selektiert, die sich nur teilweise in diesem Bereich befinden.

Werden beim Fenster-Selektieren von Linien oder Knoten ungewollt die zugehörigen Flächen verschoben, so lässt sich dies mit der gedrückten [Alt]-Taste unterbinden.

Selektieren mit Rhomboid

In der isometrischen Ansicht ist das Selektieren mit einem rechteckigen Fenster oft nicht einfach. Hier bietet sich die Funktion *Selektion mit Rhomboid* an, die mit dem Menü

Bearbeiten → **Selektieren** → **Rhomboid**

oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste aufgerufen wird.

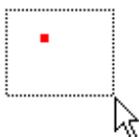




Bild 12.1: Schaltfläche *Selektion mit Rhomboid*

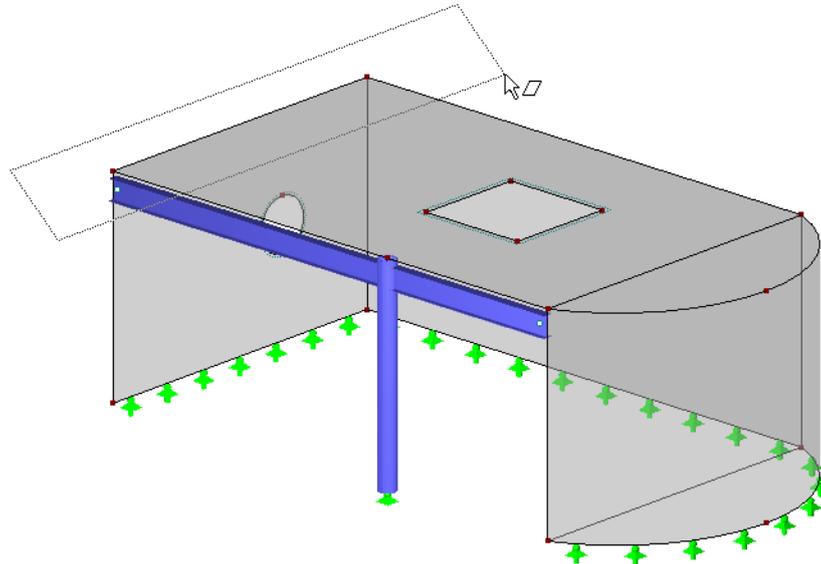


Bild 12.2: Selektieren mit Rhomboid

Selektieren in Ebene



Zur Selektion von Objekten, die in einer Ebene liegen (z. B. Dachflächen) eignet sich die Funktion *Selektion in Ebene* an. Diese wird aufgerufen mit dem Menü

Bearbeiten → Selektieren → In Ebene.

Im folgenden Dialog können detaillierte Vorgaben zur Selektion getroffen werden.

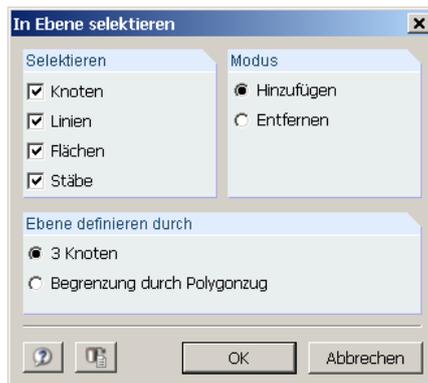


Bild 12.3: Dialog *In Ebene selektieren*

Nach [OK] wird die Ebene in der RFEM-Grafik festgelegt, indem man *3 Knoten* anklickt oder einen *Polygonzug* frei in der Arbeitsebene bzw. über Knoten setzt.

12.1.2 Spezielle Selektion

Mit dieser Funktion lassen sich Objekte nach bestimmten Kriterien selektieren. Zudem können ausgewählte Objekte zu einer vorhandenen Selektion hinzugefügt oder aus einer Selektion entfernt werden.



Die spezielle Selektion wird aufgerufen über Menü

Bearbeiten → **Selektieren** → **Speziell**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Es erscheint folgender Dialog.

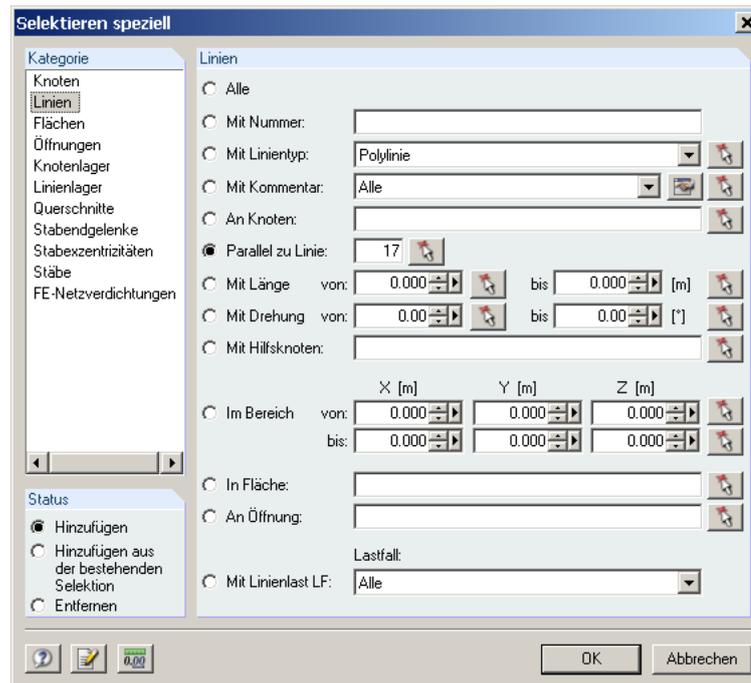


Bild 12.4: Dialog *Selektieren speziell*

In der linken Spalte *Kategorie* sind alle Objekte aufgelistet. In Abhängigkeit von dem hier gewählten Objekt ändert sich der rechte Teil des Dialogs. Dort kann ein Selektionskriterium bestimmt werden, das in der Regel mit weiteren Angaben ergänzt wird.

Beispiel

Alle Flächen sollen selektiert werden, die parallel zur Bodenplatte sind.

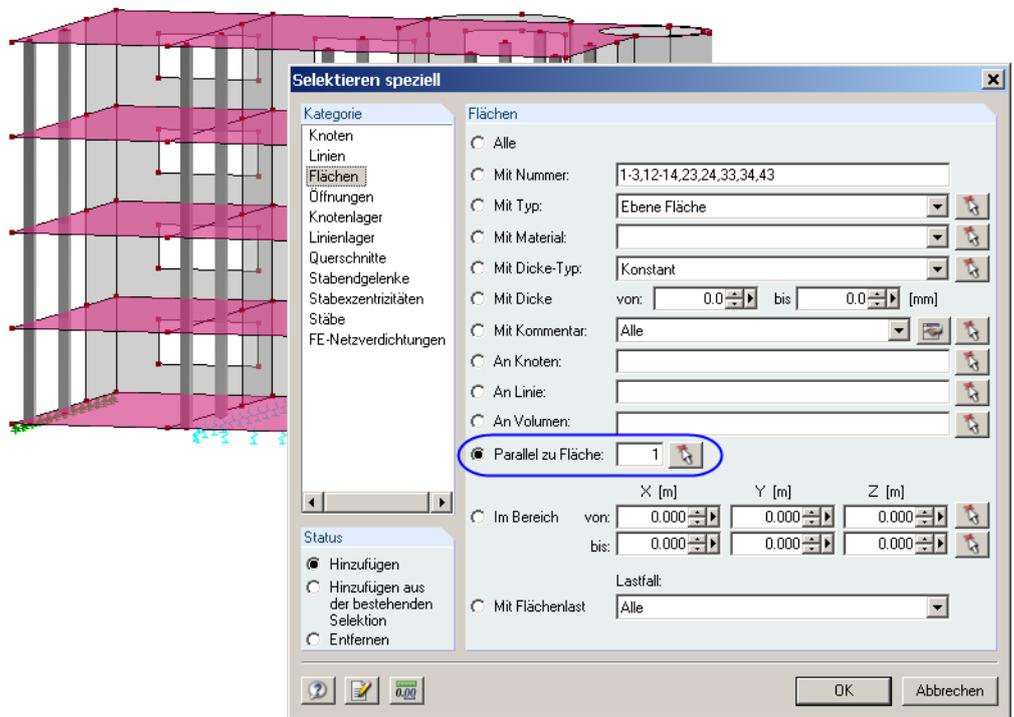


Bild 12.5: Dialog *Selektieren speziell*: Selektieren paralleler Flächen

Im Dialog kann die Musterfläche auch grafisch mit [Pick] bestimmt werden. Nach [OK] sind im Beispiel die Bodenplatte und alle Deckenflächen selektiert.

12.1.3 Verschieben und Kopieren

Selektierte Objekte können verschoben und kopiert werden über den Menübefehl **Bearbeiten → Verschieben/Kopieren**, das Objekt-Kontextmenü oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.

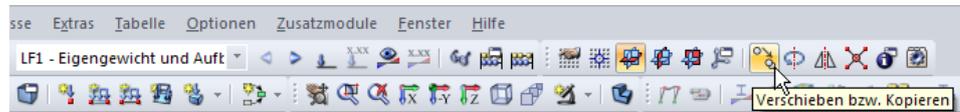
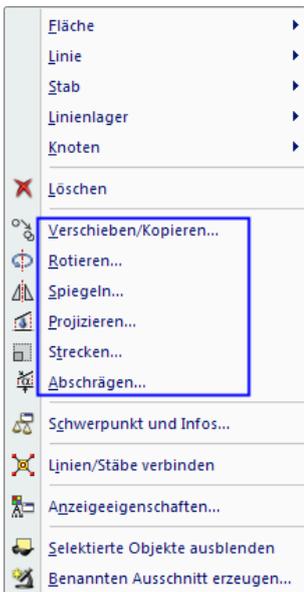


Bild 12.6: Schaltfläche *Verschieben bzw. Kopieren*

Es erscheint der im folgenden Bild dargestellte Dialog.



Kontextmenü selektierter Objekte

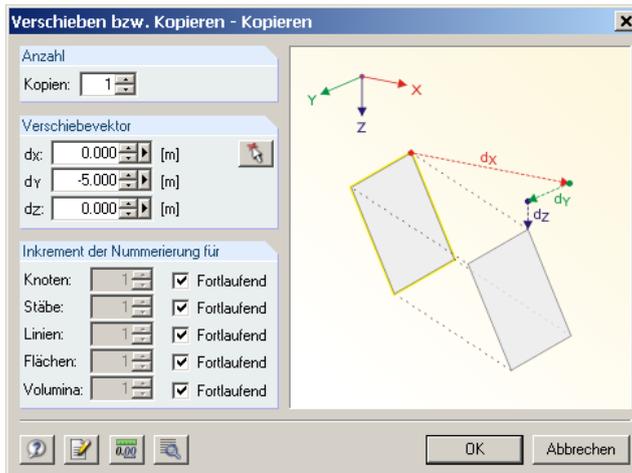


Bild 12.7: Dialog *Verschieben bzw. Kopieren - Kopieren*

Wird als *Anzahl* der Kopien 0 eingestellt, dann werden die selektierten Objekte verschoben. Ansonsten wird die entsprechende Anzahl an Kopien erzeugt.



Der *Verschiebevektor* kann numerisch über die Koordinaten d_x , d_y und d_z bestimmt werden. Alternativ wird dieser mit der [Pick]-Funktion in der Grafik festgelegt, indem man dort nacheinander zwei Rasterpunkte oder Knoten anklickt. Der Vektor wird in den Dialog übernommen und kann bei Bedarf noch angepasst werden.

Werden Kopien erzeugt, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Knoten, Stäbe, Linien, Flächen und Volumina genommen werden.



Die Schaltfläche [Details] ruft einen weiteren Dialog mit nützlichen Optionen auf.

Details

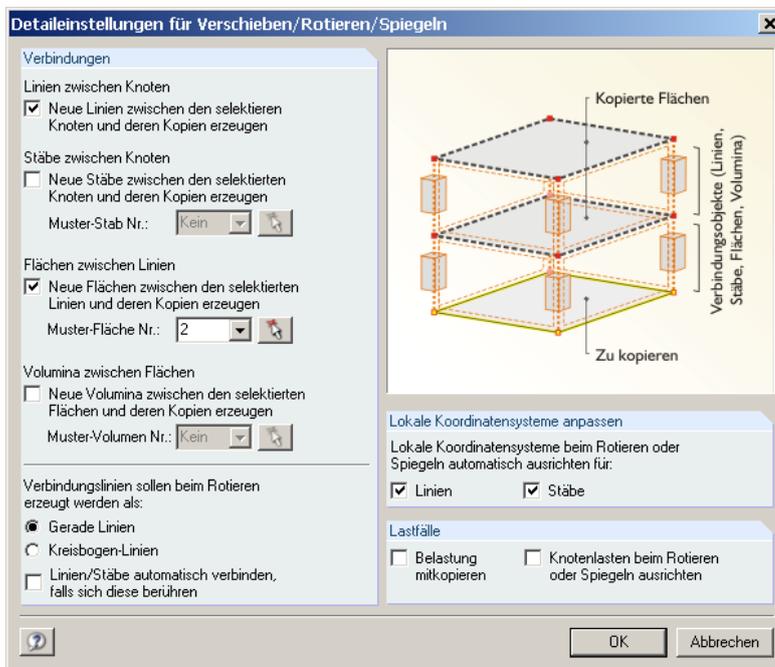


Bild 12.8: Dialog *Detaileinstellungen für Verschieben/Rotieren/Spiegeln*

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 mit erzeugen zu lassen.

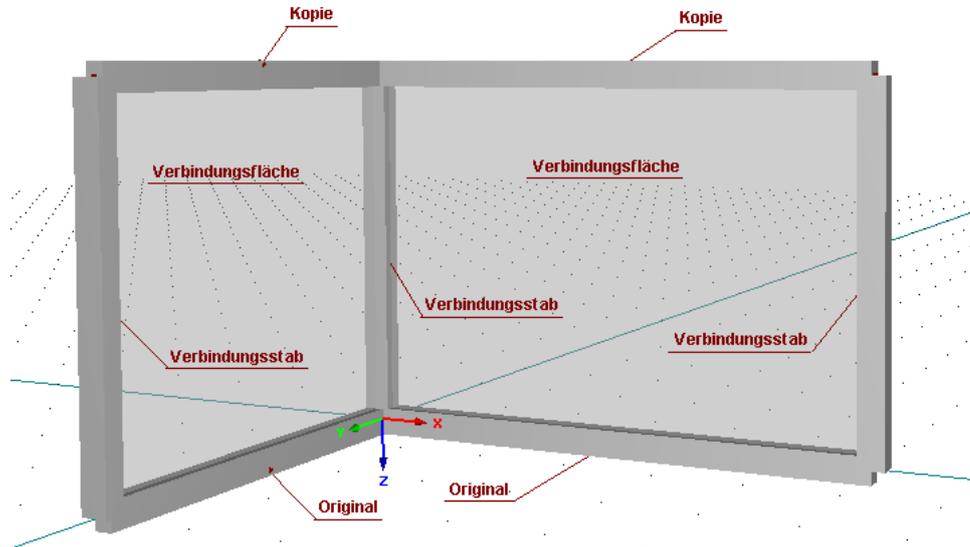


Bild 12.9: Kopie mit Verbindungsstäben und Verbindungsflächen



Wenn ein *Musterstab*, eine *Musterfläche* oder *Mustervolumen* angegeben wird, werden dessen Eigenschaften für die Verbindungsobjekte verwendet.

Der Dialog *Detaileinstellungen* steht auch beim Rotieren und Spiegeln zur Verfügung.

Lokale Koordinatensysteme anpassen

In diesem Abschnitt können die lokalen Linien- und Stabkoordinatensysteme beim Rotieren und Spiegeln beeinflusst werden.



Die automatische Anpassung der lokalen Achsen ist meist beim Spiegeln von Bedeutung. Beim Rotieren eines vertikalen Stabes erweist sich diese Funktion ebenfalls als nützlich, da dessen Achse *y* parallel zur globalen *Y*-Achse ausgerichtet ist (vgl. Kapitel 5.17, Seite 159).

In gleicher Weise können mit dieser Funktion exzentrische Anschlüsse angepasst werden, die in Richtung der globalen Achsen *X*, *Y* und *Z* definiert sind.

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.

Knotenlasten können nur in Richtung der globalen *XYZ*-Achsen definiert werden. Mit dem Kontrollfeld *Knotenlasten beim Rotieren oder Spiegeln ausrichten* kann man die Lastrichtung beim Bearbeiten der Flächen oder Stäbe steuern. Ist das Häkchen gesetzt, rechnet RFEM die Lasten wie lokale Einzellasten auf die neue Lage um (vgl. Bild 12.10). Dabei ist zu beachten, dass diese Knotenlasten vor dem Rotieren oder Spiegeln mitselektiert werden müssen. Ist das Kontrollfeld hingegen deaktiviert, wird die globale Lastrichtung beibehalten.

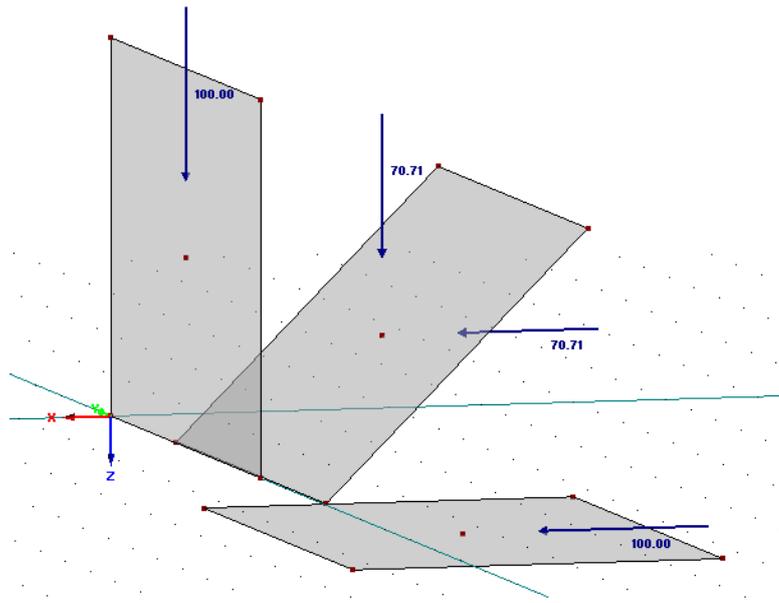


Bild 12.10: Ausgerichtete Knotenlasten beim zweifachen Rotieren um 45°

12.1.4 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

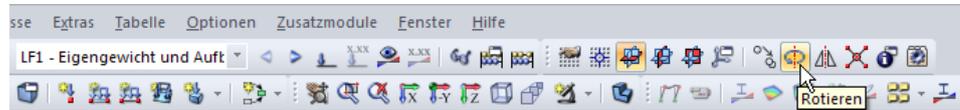


Bild 12.11: Schaltfläche *Rotieren*

Es wird folgender Dialog angezeigt.

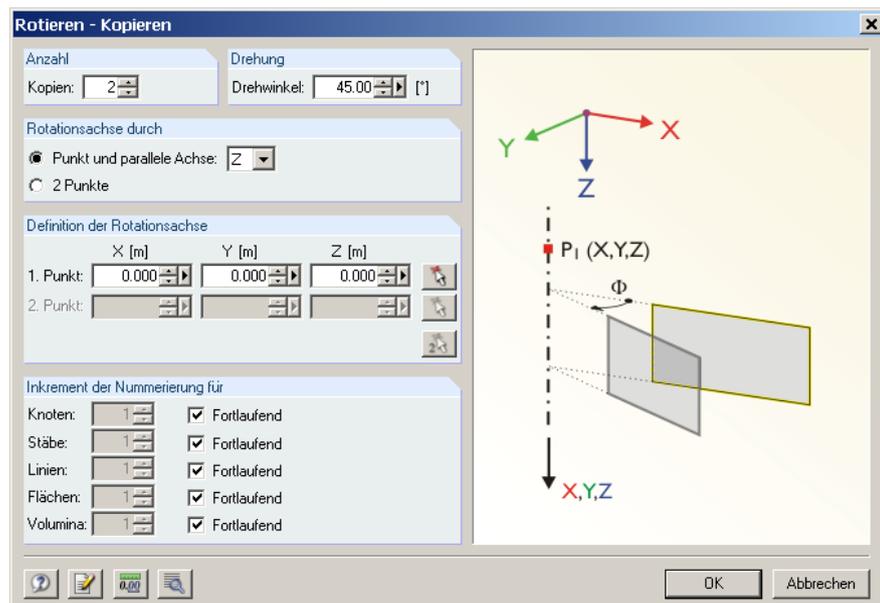


Bild 12.12: Dialog *Rotieren*

Wenn die *Anzahl* von 0 Kopien eingestellt ist, so werden die selektierten Objekte gedreht. Ansonsten wird die entsprechende Anzahl von Kopien erzeugt.

Im Abschnitt *Drehung* wird der Drehwinkel festgelegt. Dieser ist auf ein rechtsdrehendes Koordinatensystem bezogen.

Es gibt zwei Möglichkeiten, die *Rotationsachse* zu definieren:



- 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* wird noch ein Punkt festgelegt, durch den die Drehachse verläuft.
- Die Rotationsachse liegt beliebig im Raum. In diesem Fall ist das zweite Auswahlfeld zu aktivieren. Im Abschnitt *Definition der Rotationsachse* werden dann zwei Punkte angegeben, die auf der Drehachse liegen.

Werden Kopien erzeugt, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.



Mit der Schaltfläche [Details] wird ein weiterer Dialog mit nützlichen Optionen aufgerufen. Dieser Dialog ist in Kapitel 12.1.3 auf Seite 366 beschrieben.

12.1.5 Spiegeln



Selektierte Objekte können bezüglich einer Ebene gespiegelt werden über Menü

Bearbeiten → **Spiegeln**,

das Objekt-Kontextmenü oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.



Kontextmenü selektierter Objekte



Bild 12.13: Schaltfläche *Spiegeln*

Es erscheint folgender Dialog.

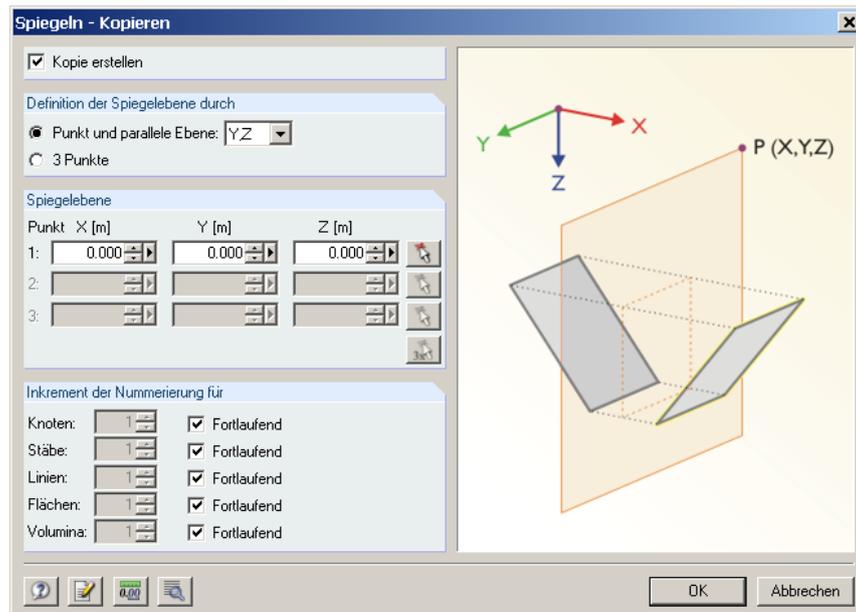


Bild 12.14: Dialog *Spiegeln - Kopieren*

Soll das Original erhalten bleiben, muss das Kontrollfeld *Kopie erstellen* aktiviert werden.

Es gibt zwei Möglichkeiten, die *Spiegelebene* zu definieren:

- Die Spiegelebene verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsenystems aufgespannt wird. In diesem Fall ist das erste Auswahlfeld zu aktivieren und in der Liste die relevante Ebene auszuwählen. Im Abschnitt *Spiegelebene* wird noch ein Punkt festgelegt, der in dieser Ebene liegt.
- Die Spiegelebene liegt beliebig im Raum. In diesem Fall muss das zweite Auswahlfeld aktiviert werden. Die Ebene wird im Abschnitt *Spiegelebene* dann durch drei Punkte definiert.



Wird eine Kopie erzeugt, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.

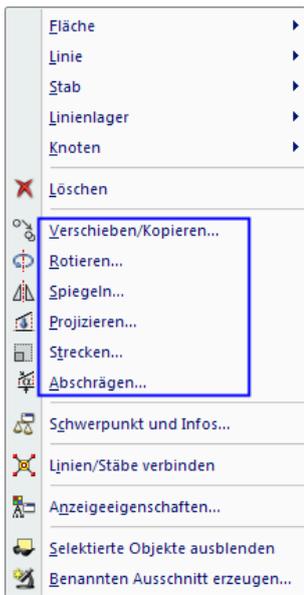


Mit der Schaltfläche [Details] wird ein weiterer Dialog mit nützlichen Optionen aufgerufen. Dieser Dialog ist im Kapitel 12.1.3 auf Seite 366 beschrieben.

12.1.6 Projizieren

Mit dieser Funktion ist es möglich, selektierte Objekte auf eine Ebene zu projizieren.

Beispiel: Ein Stab soll in X-Richtung auf die YZ-Ebene projiziert werden.



Kontextmenü selektierter Objekte

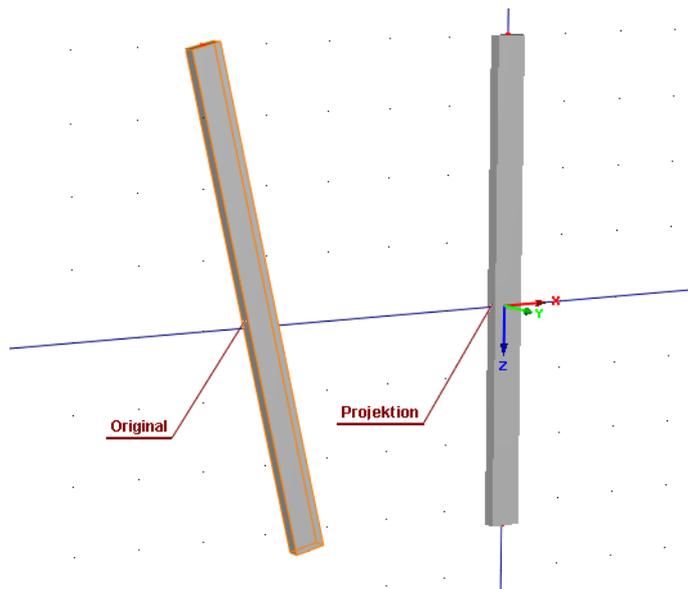


Bild 12.15: Originalstab und projizierte Kopie auf die YZ-Ebene

Der Dialog zur Eingabe der Projektionsparameter wird aufgerufen über Menü

Bearbeiten → Projizieren

oder das Kontextmenü der selektierten Objekte.

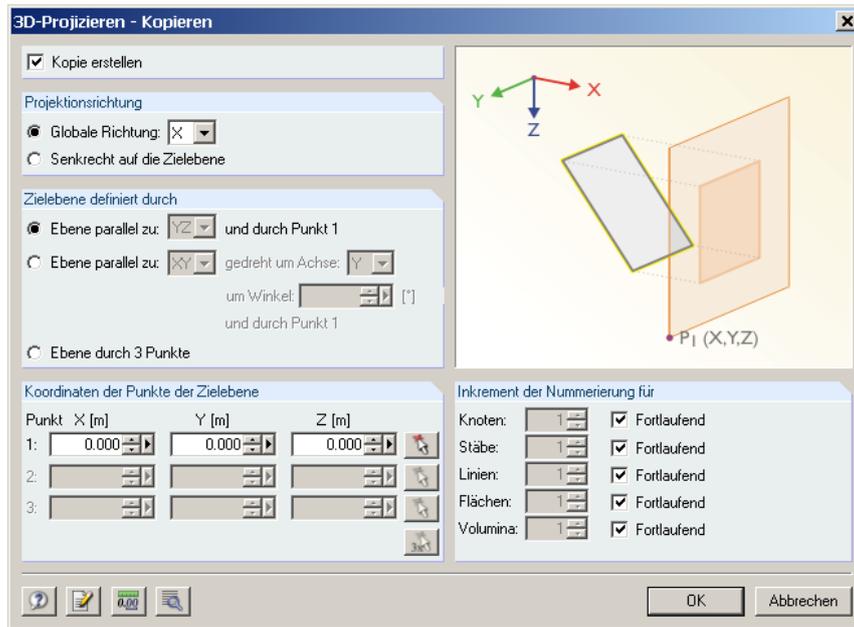


Bild 12.16: Dialog 3D-Projizieren - Kopieren

Soll das Original erhalten bleiben, so muss das Kontrollfeld *Kopie erstellen* aktiviert werden. 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.

Es gibt drei Möglichkeiten, die *Zielebene* zu definieren:



- Die Zielebene verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsensystems aufgespannt wird. In diesem Fall kann das erste Auswahlfeld aktiviert und in der Liste die relevante Ebene ausgewählt werden. Im Abschnitt *Koordinaten der Punkte in Zielebene* wird noch ein Punkt festgelegt, 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 muss das zweite Auswahlfeld aktiviert werden. In der Liste wird die relevante Ebene ausgewählt, dann die Drehachse und der Drehwinkel festgelegt. Im Abschnitt *Koordinaten der Punkte in Zielebene* wird noch ein Punkt festgelegt, der in dieser Ebene liegt.
- Die Zielebene liegt frei im Raum. In diesem Fall muss das dritte Auswahlfeld aktiviert werden. Die Ebene wird im Abschnitt *Koordinaten der Punkte in Zielebene* dann durch drei Punkte definiert.

Wird eine Kopie erzeugt, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.



Mit der Schaltfläche [Details] wird ein weiterer Dialog mit nützlichen Optionen aufgerufen. Dieser Dialog ist im Kapitel 12.1.3 auf Seite 366 beschrieben.

12.1.7 Strecken

Mit dieser Funktion ist es möglich, selektierte Objekte von einem Punkt aus zu strecken.

Beispiel: Eine Quadranglefläche soll vom Ursprung ausgehend gleichmäßig in alle drei Richtungen um den Faktor 2 gestreckt werden.

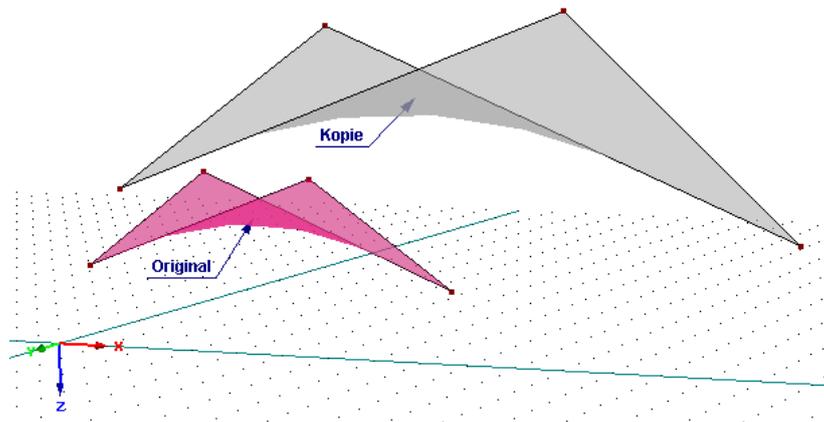


Bild 12.17: Originalfläche und gestreckte Kopie

Der Dialog zur Eingabe der Streckparameter wird aufgerufen über Menü **Bearbeiten** → **Strecken**

oder das Kontextmenü der selektierten Objekte.



Kontextmenü selektierter Objekte

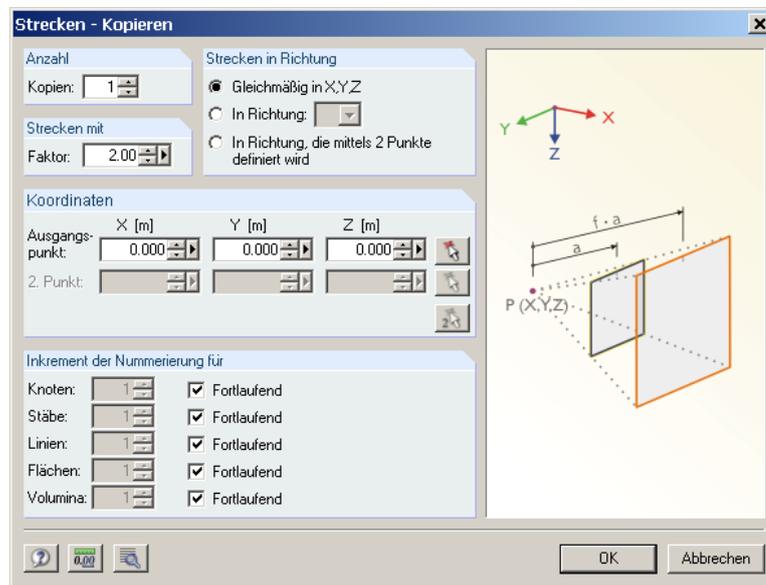


Bild 12.18: Dialog *Strecken - Kopieren*

Wenn die *Anzahl* von 0 Kopien eingestellt ist, werden die selektierten Objekte gestreckt. Ansonsten wird die entsprechende Anzahl von Kopien erzeugt.

Im Abschnitt *Strecken mit* wird der Skalierungsfaktor *f* festgelegt (vgl. Grafik im Dialog).

Die Skalierungsrichtung ist im Abschnitt *Strecken in Richtung* anzugeben. Folgende drei Möglichkeiten stehen zur Auswahl:



Gleichmäßig in X,Y,Z	Es werden <u>alle</u> Koordinaten (X, Y und Z) der selektierten Objekte auf den im Abschnitt <i>Koordinaten</i> angegebenen Ausgangspunkt bezogen skaliert.
In Richtung: X / Y / Z	Eine der globalen Achsen muss gewählt werden. Es werden <u>nur diese</u> Koordinaten der Objekte auf den im Abschnitt <i>Koordinaten</i> angegebenen Ausgangspunkt bezogen skaliert.
In Richtung, die durch zwei Punkte definiert wird	Im Abschnitt <i>Koordinaten</i> wird ein Vektor durch zwei Punkte festgelegt, in dessen Richtung skaliert wird.

Tabelle 12.1: Abschnitt *Strecken in Richtung*

Wird eine Kopie erzeugt, so kann im Abschnitt *Inkrement der Nummerierung* Einfluss auf die Nummerierung der neuen Objekte genommen werden.



Mit der Schaltfläche [Details] wird ein weiterer Dialog mit nützlichen Optionen aufgerufen. Dieser Dialog ist im Kapitel 12.1.3 auf Seite 366 beschrieben.

12.1.8 Abschrägen

Mit dieser Funktion lassen sich Objekte um eine Achse rotieren, wobei nur die Koordinaten einer Richtung angepasst werden. Äußerst praktisch erweist sich das Abschrägen für Dachkonstruktionen, deren Neigung nachträglich geändert werden soll.

Beispiel

Die Neigung eines in XZ-Ebene liegenden Fachwertgurtes soll um 15° steiler ausgeführt werden. Es erfolgt ein Abschrägen um die Y-Achse und in Richtung Z. Damit werden nur die Z-Koordinaten der Gurtnoten angepasst, nicht aber die X-Koordinaten (wie beim Rotieren).



Kontextmenü selektierter Objekte

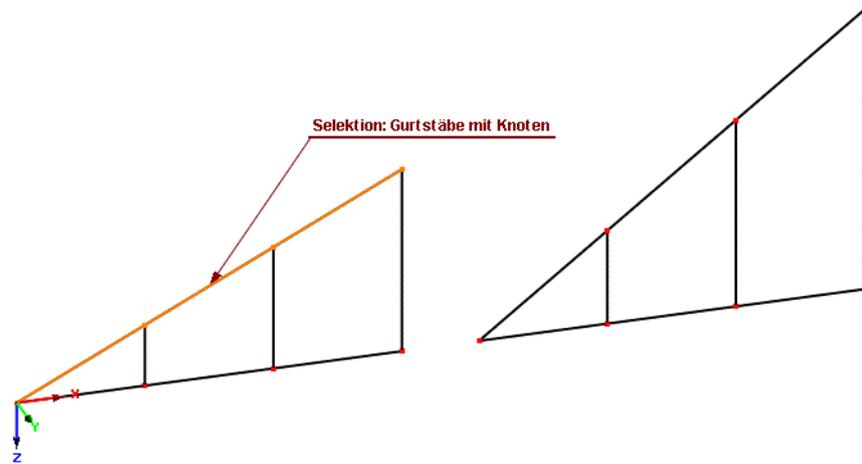


Bild 12.19: Original (links) und abgeschrägtes Ergebnis (rechts)

Es ist in diesem Beispiel zu beachten, dass neben den Stäben auch die zugehörigen Knoten selektiert werden. Das folgende Bild zeigt den entsprechenden Eingabedialog.

Der Dialog zur Parametereingabe für das Abschrägen wird aufgerufen über Menü

Bearbeiten → Abschrägen

oder das Kontextmenü der selektierten Objekte.

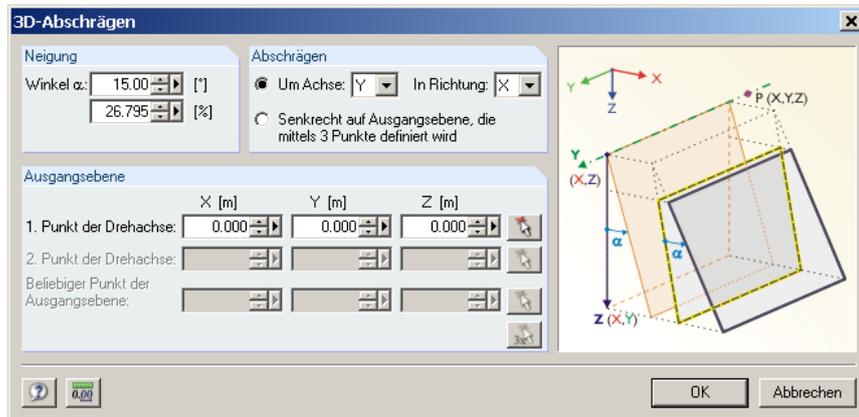


Bild 12.20: Dialog 3D-Abschrägen

Zunächst wird im Abschnitt *Neigung* der Drehwinkel in [°] oder [%] festgelegt.

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Parameter im Abschnitt *Abschrägen* zu definieren:



- Die Drehachse verläuft parallel zu einer Ebene, die durch die Achsen des globalen XYZ-Achsensystems aufgespannt wird. In diesem Fall kann das Auswahlfeld *Um Achse* aktiviert und in der Liste daneben die relevante Drehachse ausgewählt werden. In der Liste *In Richtung* wird anschließend die globale Achse festgelegt, die für die Anpassung der Knotenkoordinaten maßgebend ist. Im Abschnitt *Ausgangsebene* muss noch der Drehpunkt angegeben werden.
- Die Drehachse liegt beliebig im Raum. In diesem Fall wird das zweite Auswahlfeld benutzt. Im Abschnitt *Ausgangsebene* sind dann die beiden Punkte der Drehachse und ein weiterer Punkt zur Bestimmung der Ebene anzugeben. Die Auswahl der Punkte kann auch grafisch über [Pick] erfolgen.

12.1.9 Stab zerlegen in Flächen

Es kann erforderlich sein, 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 wäre durchaus möglich, ist aber relativ aufwändig. Für solche Anwendungsfälle bietet sich eine Funktion an, mit der ein 1D-Stabelement in 2D-Flächenelemente zerlegt werden kann.



Diese Funktion steht nur dann zur Verfügung, wenn der Typ der Struktur als 3D definiert ist (vgl. Bild 13.23, Seite 475).



Ist der Stab selektiert, kann die Zerlegung ausgeführt werden über Menü

Extras → Stab zerlegen in Flächen → Generieren.

Diese Funktion wird auch im Stab-Kontextmenü angeboten, das durch Anklicken des Stabes mit der rechten Maustaste aufgerufen wird.

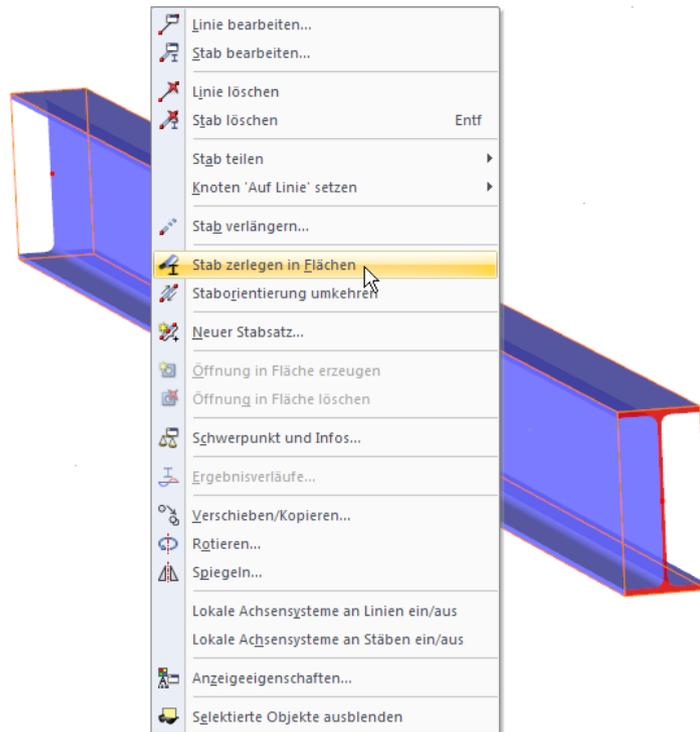


Bild 12.21: Stab-Kontextmenü

Die Informationen zum Stab gehen nicht verloren: Neben den Flächen wird in der Schwereachse ein Nullstab angelegt. Dieser enthält alle Stabdaten, wird aber nicht bei der Berechnung berücksichtigt.

Die Funktion *Stab zerlegen in Flächen* bietet noch eine Reihe weiterer Optionen. Diese sind zugänglich über Menü

Extras → Stab zerlegen in Flächen → [E]instellungen.



Bild 12.22: 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* bzw. die *Teilungslänge* verkleinert werden.

Die Einstellungen im Abschnitt *Teilung von Profilrundungen* 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* wird die FE-Netzverdichtung für die generierten Flächen festgelegt (vgl. Kapitel 5.23, Seite 179).

Im Zuge der Umwandlung lassen sich zusätzlich *Stirnplatten* an den Stabenden erzeugen. Falls *starre* Stirnplattendicken generiert werden, können deren Eigenschaften durch Bearbeiten der Flächen nachträglich angepasst werden (vgl. Kapitel 5.12, Seite 138).

12.2 CAD-Funktionen

Die CAD-Tools unterstützen bei der grafischen Eingabe von Objekten, beispielsweise in Form von Arbeitsebenen, Fangoptionen, Hilfslinien und eigendefinierten Koordinatensystemen. In diesem Kapitel ist außerdem beschrieben, wie man Linien teilt, Kommentare setzt oder die Nummerierung ändert.

12.2.1 Arbeitsebenen

Eine räumlich angelegte Struktur kann auf dem Bildschirm nur in zwei Dimensionen dargestellt werden. Eine Koordinate muss immer „festgehalten“ werden. Die Arbeitsebene gibt vor, in welcher Ebene Knoten beim Klicken in das Grafikfenster abgelegt werden.

Das Achsenkreuz der aktuellen Arbeitsebene wird durch zwei orthogonale, grüne Linien abgebildet. Der Schnittpunkt dieser Linien wird als „Ursprung der Arbeitsebene“ bezeichnet.

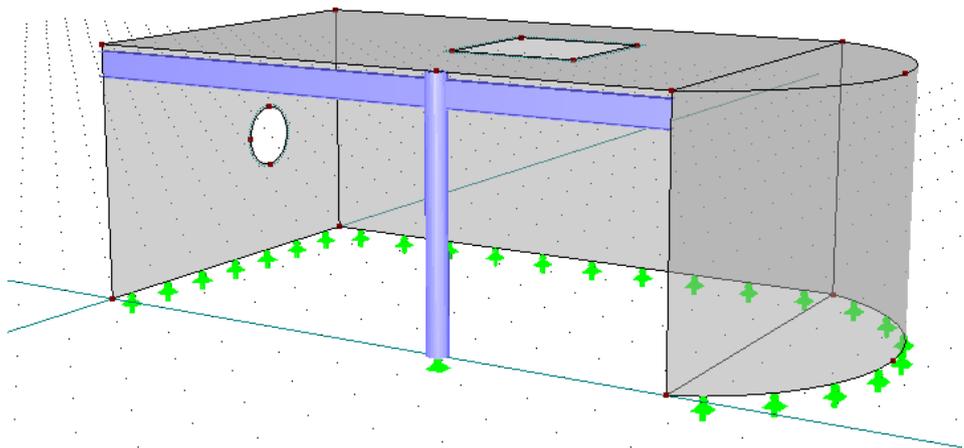


Bild 12.23: Darstellung der Arbeitsebene in der Grafik

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. Falls eine windschiefe Ebene verwendet werden soll, muss vorher ein eigenes Koordinatensystem angelegt werden (siehe Kapitel 12.2.4, Seite 383).



Die Arbeitsebene wird im Dialog *Arbeitsebene* definiert, der aufgerufen wird über Menü **Extras** → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien** oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.

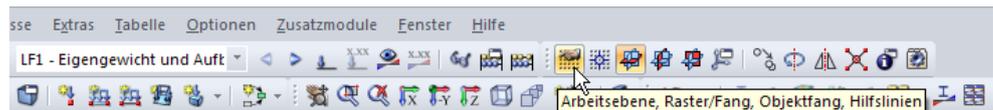


Bild 12.24: Schaltfläche *Arbeitsebene*

Es erscheint der im Bild 12.27 auf Seite 378 gezeigte Dialog.

Die Arbeitsebene kann zu einer der folgenden globalen Ebenen parallel sein.

Ebene	Auswahl im Dialog <i>Arbeitsebene</i>	Auswahl in der Symbolleiste
XY		
YZ		
XZ		

Tabelle 12.2: Auswahl der Arbeitsebene



Im Dialog *Arbeitsebene* (Bild 12.27) kann zudem der Ursprung der Arbeitsebene festgelegt werden. Mit [Pick] kann man einen Knoten in der Grafik auswählen, mit [Neu] einen neuen Knoten definieren.

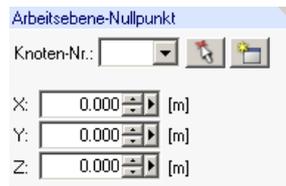


Bild 12.25: Dialog *Arbeitsebene*, Abschnitt *Arbeitsebene-Nullpunkt*



Der Ursprung lässt sich über eine Schaltfläche in der Symbolleiste auch grafisch festlegen.

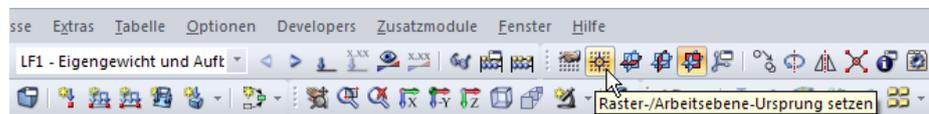


Bild 12.26: Schaltfläche *Raster-/Arbeitsebene-Ursprung setzen*

12.2.2 Raster

In der Arbeitsebene werden Rasterpunkte als Eingabehilfe angezeigt. Setzt man Knoten grafisch, werden sie an diesen Rasterpunkten gefangen.



Die Eigenschaften der Rasterpunkte werden ebenfalls im Dialog *Arbeitsebene* definiert, der aufgerufen wird über Menü

Extras → **Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste (siehe Bild 12.24, Seite 376).

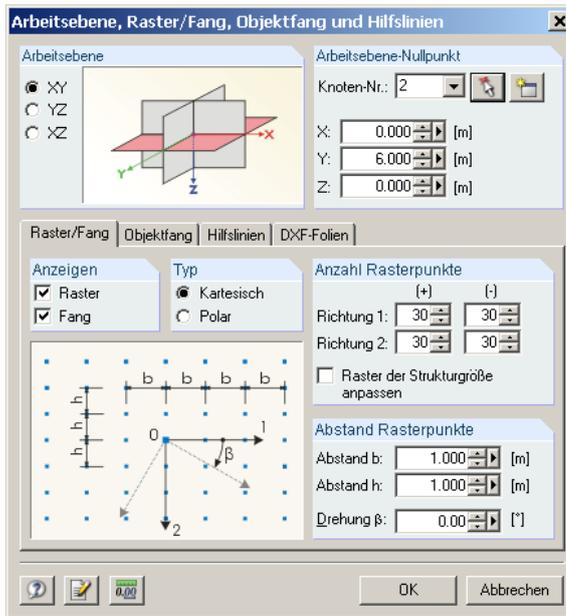


Bild 12.27: Dialog *Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang und Hilfslinien*

Die für das Raster relevanten Einstellmöglichkeiten befinden sich im Register *Raster/Fang*.

Anzeigen

Das Kontrollfeld *Raster* steuert die Anzeige des Rasters in der Grafik. Unabhängig davon kann die Fangfunktion mit dem Kontrollfeld *Fang* ein- und ausgeschaltet werden. Bei einem unsichtbaren Raster kann also trotzdem die Fangfunktion an den Rasterpunkten wirken.



Die beiden Funktionen lassen sich auch 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.



Alternativ erfolgt die Auswahl über [KARTES], [POLAR] oder [ORTHO] in der Statusleiste.

Anzahl Rasterpunkte

Bei einem kartesischen Raster kann hier die Anzahl der Rasterpunkte getrennt für beide Richtungen festgelegt werden.

Bei einem polaren Raster wird die Anzahl der konzentrischen Rasterkreise angegeben.

Ist die Option *Raster der Strukturgröße anpassen* aktiv, wird das Raster automatisch an die Abmessungen der Struktur angeglichen. Somit sind um die Struktur herum immer ausreichend Rasterpunkte vorhanden. Allerdings werden nach jeder Eingabe die erforderlichen Rasterpunkte neu berechnet, was bei größeren Strukturen zu einem verzögerten Aufbau der Grafik führen kann.

Abstand Rasterpunkte

Für das kartesische Raster kann der Abstand der Rasterpunkte in den Richtungen 1 und 2 getrennt festgelegt werden.

Bei einem polar angeordneten Raster wird hier der radiale Abstand R der konzentrischen Rasterkreise definiert. Der Winkel α legt den Abstand der Rasterpunkte auf den Kreisen fest.

Optional können kartesische und auch polare Raster um einen Drehwinkel β rotiert werden.

12.2.3 Objektfang

Der Objektfang erleichtert das CAD-mäßige Konstruieren beim Setzen von Linien. Neben den beiden Endknoten können eine Reihe von Fangpunkten auf der Linie aktiviert werden.



Die Einstellungen erfolgen im Dialog *Arbeitsebene*. Dieser wird aufgerufen über Menü

Extras → **A** *Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang, Hilfslinien*

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste (siehe Bild 12.24, Seite 376).

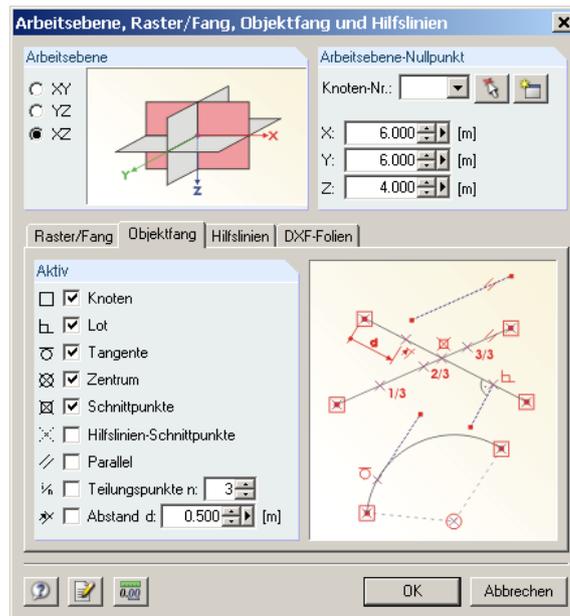


Bild 12.28: Dialog *Arbeitsebene, Raster/Fang, Objektfang und Hilfslinien*

Die diversen Fangfunktionen können im Register *Objektfang* eingestellt werden.

OFANG

In der Statusleiste muss die Schaltfläche [OFANG] aktiviert sein, damit die Funktionen des Objektfangs wirksam sind.

Knoten

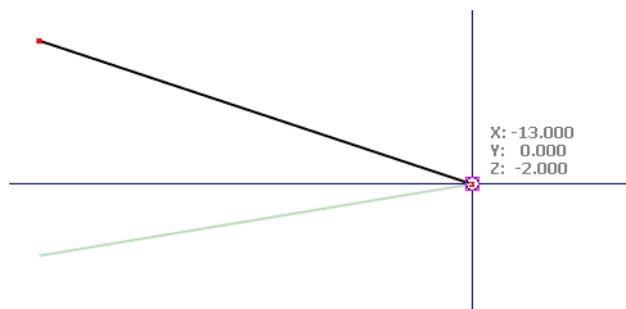


Bild 12.29: Knoten fangen



Beim Setzen einer neuen Linie werden die vorhandenen Knoten gefangen. Die Fangpunkte werden durch Quadrate symbolisiert.

Lot

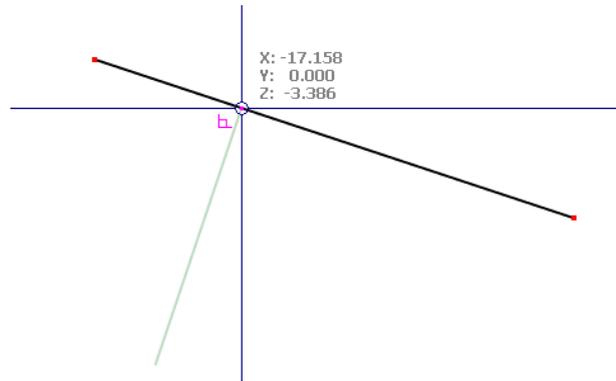


Bild 12.30: Linie lotrecht anschließen



Wird der Mauszeiger beim Zeichnen einer Linie in die Nähe des Lotpunkts geführt, so rastet er ein. Der Fangpunkt wird mit einem Lotsymbol gekennzeichnet.

Tangente

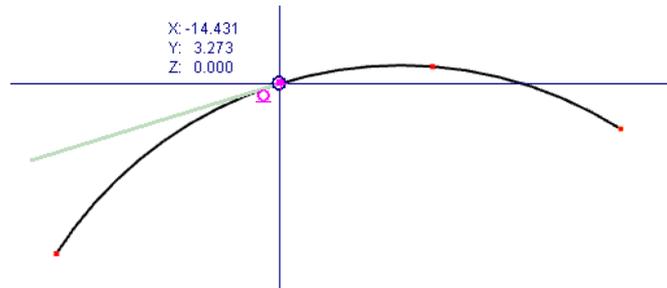


Bild 12.31: Tangente an Kreisbogen anschließen



Mit dieser Funktion lässt sich die Tangente an einen Kreisbogen konstruieren. Wird der Mauszeiger beim Zeichnen einer Linie in die Nähe des Tangentenpunkts geführt, rastet er dort ein. Der Fangpunkt wird mit einem Tangentensymbol gekennzeichnet.

Zentrum

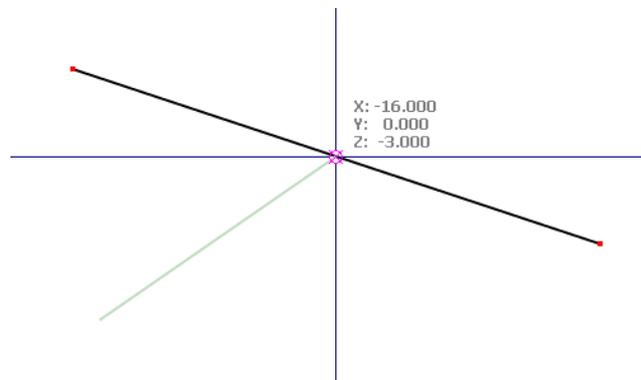


Bild 12.32: Linie mittig anschließen



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

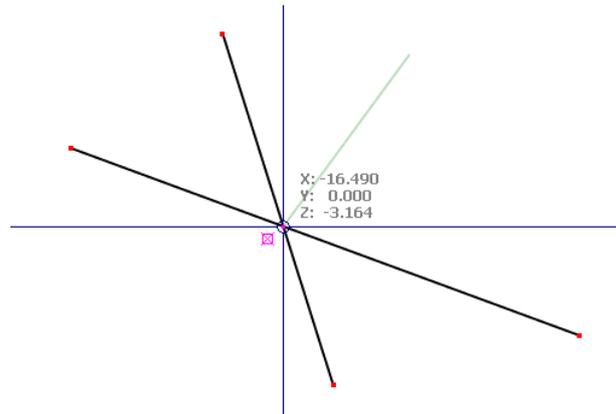


Bild 12.33: Linien am Schnittpunkt fangen



Der Mauszeiger rastet am Schnittpunkt von zwei sich kreuzenden Linien ein, die keinen gemeinsamen Knoten haben. Am Fangpunkt erscheint das Symbol für den Schnittpunkt.

Hilfslinien-Schnittpunkte

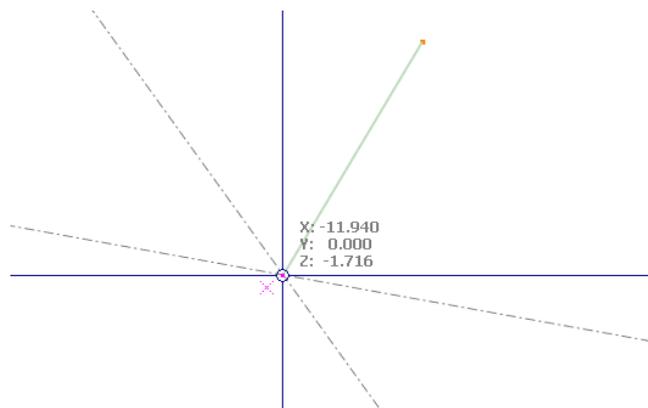


Bild 12.34: Hilfslinien am Schnittpunkt fangen



Wird der Mauszeiger in die Nähe des Schnittpunktes zweier Hilfslinien (vgl. Kapitel 12.2.16, Seite 397) geführt, so rastet er dort ein. Am Fangpunkt erscheint das Schnittpunktsymbol.

Parallel

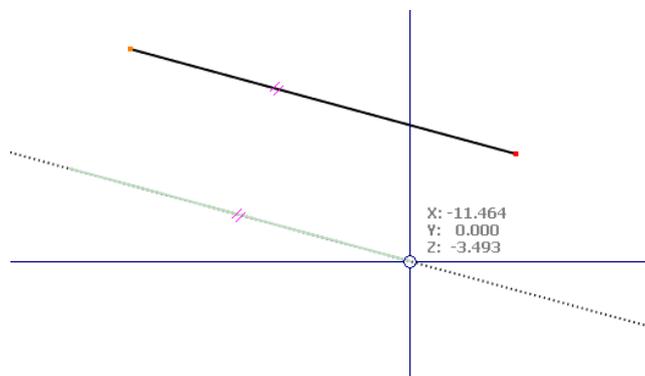


Bild 12.35: Parallele Linie fangen



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

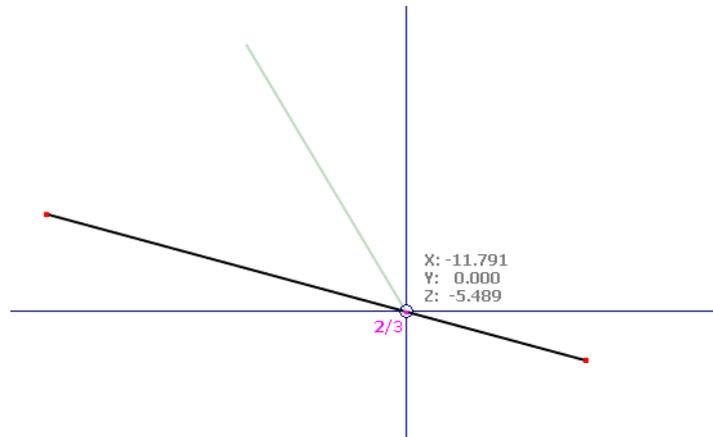


Bild 12.36: Linie am Teilungspunkt fangen (hier: 2/3-Punkt)



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

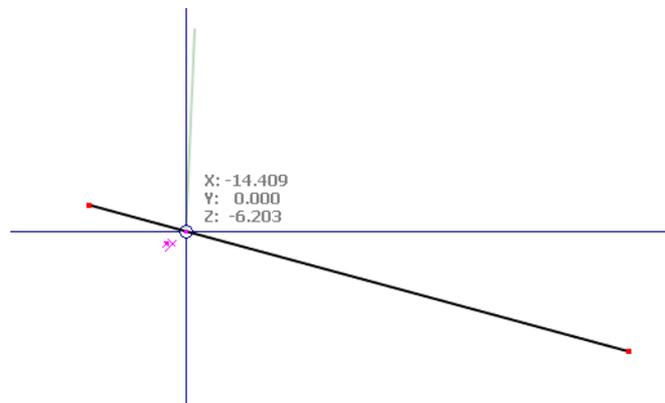


Bild 12.37: Linie in einem definierten Abstand anschließen



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.

12.2.4 Koordinatensysteme

Die im Folgenden beschriebenen Koordinatensysteme erleichtern die Eingabe von geneigten Teilen der Struktur. Sie haben nichts mit den Achsensystemen der Linien, Flächen, Stäbe etc. zu tun.



Der Dialog zur Auswahl oder Definition eines Koordinatensystems ist zugänglich über Menü **Extras** → **Koordinatensystem** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 12.38: Schaltfläche *Koordinatensystem*

Es erscheint der folgende Dialog.

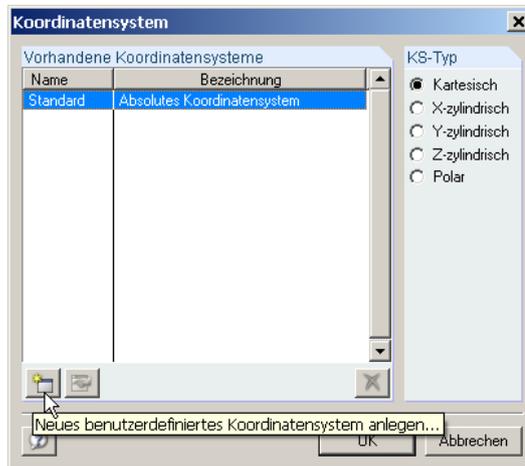


Bild 12.39: Dialog *Koordinatensystem*

Das auf die globalen XYZ-Achsen und den Ursprung bezogene *Standard*-Koordinatensystem ist vordefiniert.

Neues Koordinatensystem anlegen



Klicken Sie auf die im Bild 12.39 gezeigte Schaltfläche [Neues Koordinatensystem anlegen], um folgenden Dialog aufzurufen.

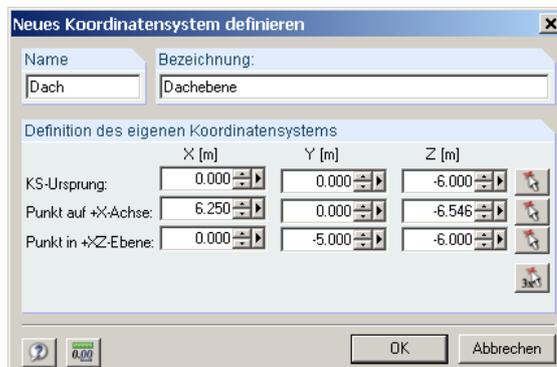


Bild 12.40: Dialog *Neues Koordinatensystem definieren*



Sind der *Name* und die *Bezeichnung* des neuen Koordinatensystems festgelegt, erfolgt im Abschnitt *Definition des eigenen Koordinatensystems* die Angabe einer beliebigen Ebene über drei Punkte. Diese können direkt eingegeben oder grafisch ausgewählt werden.

Der *KS-Ursprung* stellt den Ursprung des neuen Koordinatensystems dar. Zusammen mit dem *Punkt auf der +X-Achse* wird die erste Achse festgelegt, die im eigenen Koordinatensystem als Achse *U* bezeichnet wird. Die Ebene wird dann mit einem *Punkt in XZ-Ebene* aufgespannt, der die Lage der Achsen *V* und *W* bestimmt.

Koordinatensystem bearbeiten oder löschen

Nur benutzerdefinierte Koordinatensysteme können bearbeitet oder gelöscht werden. Hierfür stehen zwei Schaltflächen im Dialog *Koordinatensystem* zur Verfügung.

	Das ausgewählte Koordinatensystem kann geändert werden.
	Das selektierte Koordinatensystem wird gelöscht.

Tabelle 12.3: Schaltflächen im Dialog *Koordinatensystem*

Beispiel: Es soll ein neues Koordinatensystem in einer Rahmenecke definiert werden, das auf die Diagonale in der Dachebene ausgerichtet ist. Der Ursprung wird in den Eckknoten 1 gelegt. Als Punkt auf der +X-Achse wird der Endknoten 8 des Diagonalstabs, als Punkt in +XZ-Ebene der Stützenfußknoten 2 gewählt.

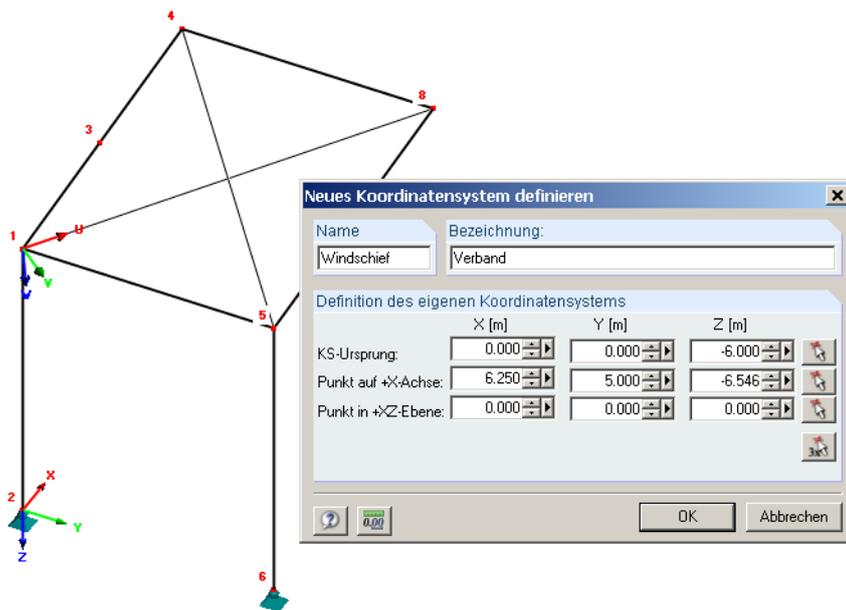


Bild 12.41: Benutzerdefiniertes Koordinatensystem *UVW* in einer Rahmenecke

Das Raster bezieht sich dann auf die Arbeitsebenen *UV*, *VW* und *UW*, in denen man neue Objekte definieren kann (vgl. Kapitel 12.2.1, Seite 376).

12.2.5 Linien und Stäbe teilen

Linien und Stäbe können relativ einfach geteilt werden, indem man sie mit der rechten Maustaste anklickt und im Kontextmenü den Befehl *Linie teilen* bzw. *Stab teilen* wählt.

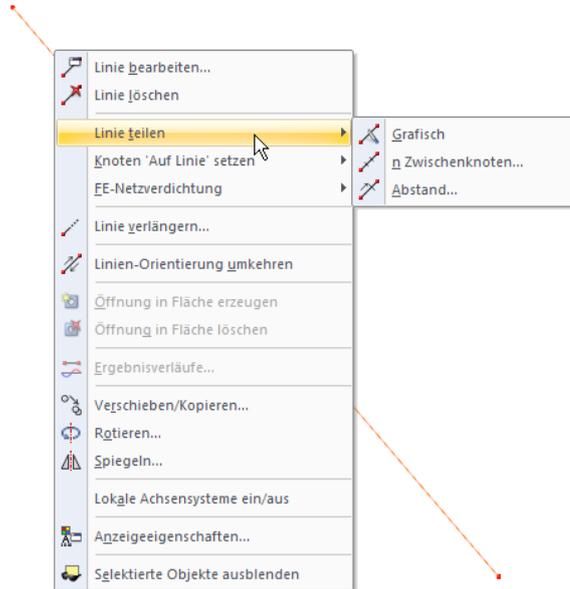


Bild 12.42: Kontextmenü *Linie teilen*

In diesem Kontextmenü werden drei Teilungsmöglichkeiten angeboten.

Grafisch

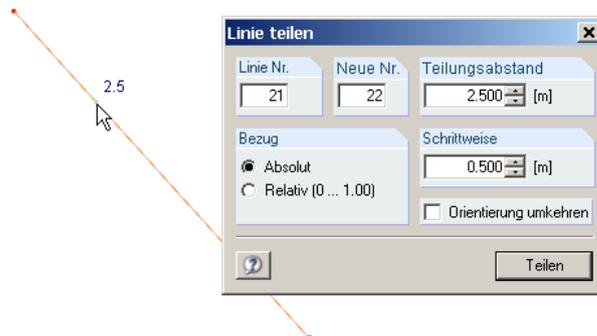


Bild 12.43: Dialog *Linie teilen*

Es erscheint der Dialog *Linie teilen*. Wird der Mauszeiger entlang der Linie bewegt, wird er in den Abständen der eingestellten Schrittweite gefangen. Der Teilungspunkt wird dann in der Grafik per Mausklick festgelegt. Den *Bezug* der Teilungsabstände kann man in absoluten Strecken oder relativ zur Gesamtlänge vorgeben.

Im Dialog lässt sich der *Teilungsabstand* auch direkt eingeben. Zunächst sind die zu teilende Linie im Feld *Linie-Nr.* und die Nummer der neuen Linie im Feld *Neue Nr.* festzulegen. Soll der Teilungsabstand auf das Linienende bezogen werden, kann die Linienrichtung mit dem Kontrollfeld *Orientierung umkehren* schnell geändert werden.

n Zwischenknoten

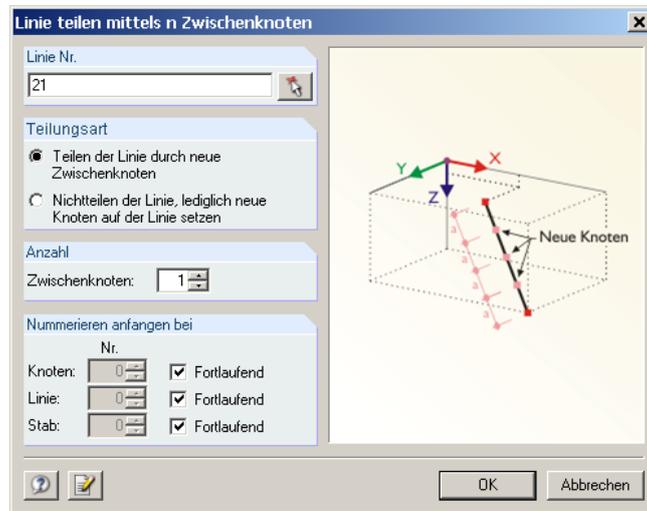


Bild 12.44: Dialog *Linie teilen mittels n Zwischenknoten*

Mit dieser Funktion wird die Linie gleichmäßig in mehrere Teilstücke aufgeteilt. Im Abschnitt *Anzahl* kann die Anzahl der *Zwischenknoten* für die Teilung festgelegt werden.

Die Linie kann entweder durch *neue Zwischenknoten* in „echte“ Linien aufgeteilt werden, 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 beim Teilen einer B-Spline-Linie der Linienvorlauf verändert wird, ist die zweite Option die bessere Wahl.

Im Abschnitt *Numerieren anfangen bei* lässt sich die Nummerierung der neuen Knoten, Linien und Stäbe beeinflussen.

Abstand

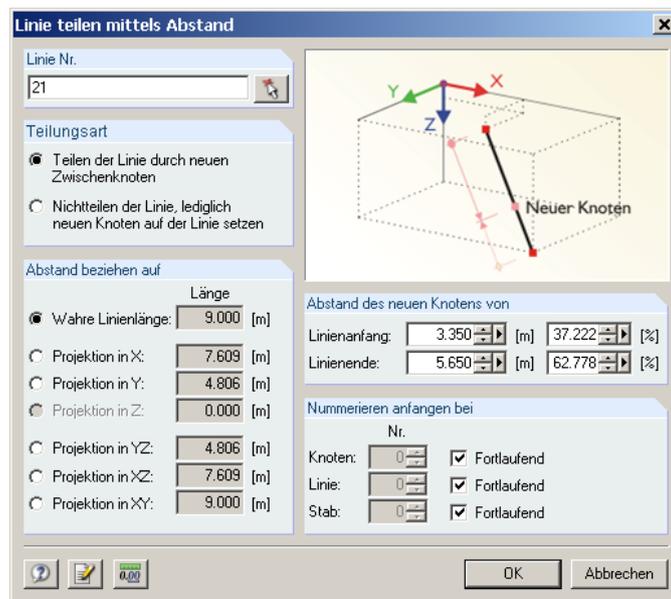


Bild 12.45: Dialog *Linie teilen mittels Abstand*

Mit dieser Funktion wird ein Teilungsknoten an einer bestimmten Stelle des Stabes erzeugt. Die Linie kann entweder durch einen *neuen Zwischenknoten* in „echte“ Linien aufgeteilt werden, oder die Linie bleibt erhalten, wobei ein *Knoten auf der Linie* erzeugt wird.



Im Abschnitt *Abstand beziehen auf* wird der Bezug der angegebenen Distanz festgelegt. Diese kann sich auf die wahre Linienlänge (Regelfall) oder auf eine Projektion beziehen.

Der definierte *Abstand des neuen Knotens* kann auf den Anfangs- oder Endknoten der Linie bezogen werden. Es ist auch die relative Eingabe in [%] möglich. Die vier Eingabefelder in diesem Abschnitt wirken interaktiv.

Für die Eingabe des Abstandes ist es wichtig, die Linien- bzw. Stabrichtung zu kennen. Die Orientierungen oder Achsensysteme von Linien und Stäben lassen sich über das Kontextmenü oder im *Zeigen-Navigator* einblenden (vgl. Bild 5.20, Seite 93 und Bild 5.109, Seite 159).

Im Abschnitt *Nummerieren anfangen bei* kann die Nummerierung der neuen Knoten, Linien und Stäbe beeinflusst werden.

12.2.6 Linien und Stäbe verbinden

Mit dieser Funktion werden Linien und Stäbe verbunden, die sich kreuzen, jedoch keinen gemeinsamen Knoten besitzen.

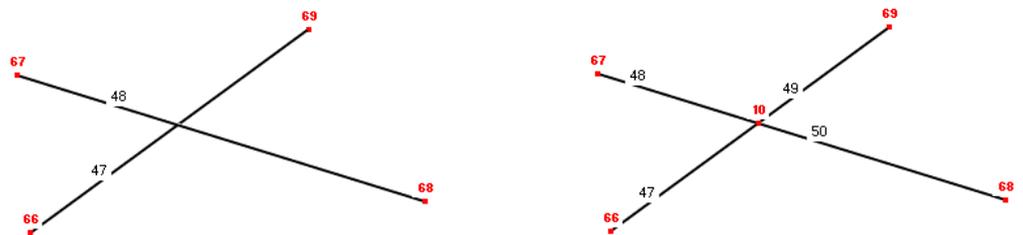


Bild 12.46: Original (links: kreuzende, unverbundene Linien) und Ergebnis (rechts: verbundene Linien)



Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → **Linien/Stäbe verbinden**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

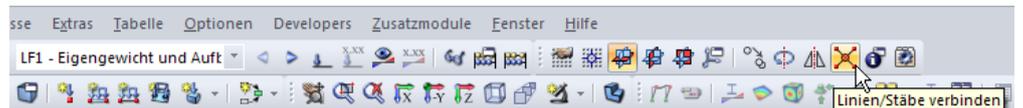


Bild 12.47: Schaltfläche *Linien/Stäbe verbinden*

Im Grafikfenster zieht man dann einfach ein Fenster über dem Bereich auf, in dem die Linien oder Stäbe zu verbinden sind.

Mit dieser Funktion kann auch der Durchdringungspunkt einer Linie mit einer Fläche gefunden werden.

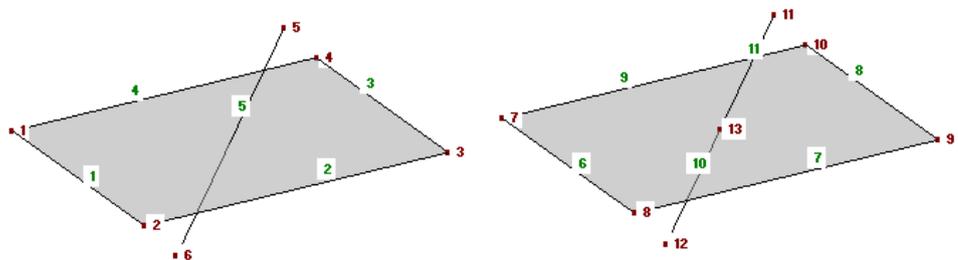


Bild 12.48: Schnittpunkt zwischen Linie und Fläche erzeugen: Original (links) und Kopie mit Ergebnis (rechts)

Beim Setzen von Linien oder Stäben ist diese Funktion automatisch aktiv. Verbindungsknoten werden allerdings nur erzeugt, wenn Linien/Stäbe an andere Linien/Stäbe angeschlossen werden, d. h. dort enden. Beim Setzen eines Diagonalverbandes wird somit kein Kreuzungsknoten generiert.

Im Dialog *Neue Linie* bzw. *Neuer Stab* kann über die Schaltfläche *Details* festgelegt werden, ob die Linien bzw. Stäbe beim Setzen automatisch verbunden werden.

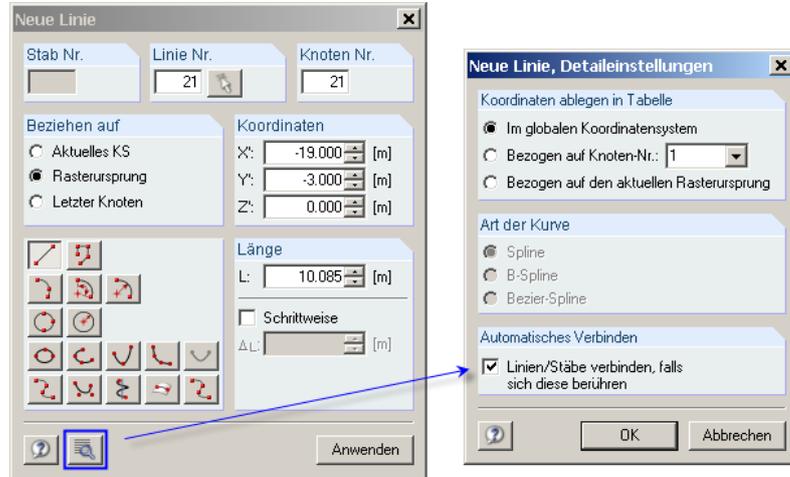


Bild 12.49: Dialog *Neue Linie, Detailsinstellungen*

12.2.7 Linien und Stäbe verschmelzen

Geteilte Linien bzw. Stäbe lassen sich wieder zu einer einzigen Linie bzw. einem einzigen Stab vereinen. Diese Funktion steht nur im Knoten-Kontextmenü zur Verfügung, das durch einen Klick mit der rechten Maustaste auf den Teilungsknoten aufgerufen wird.

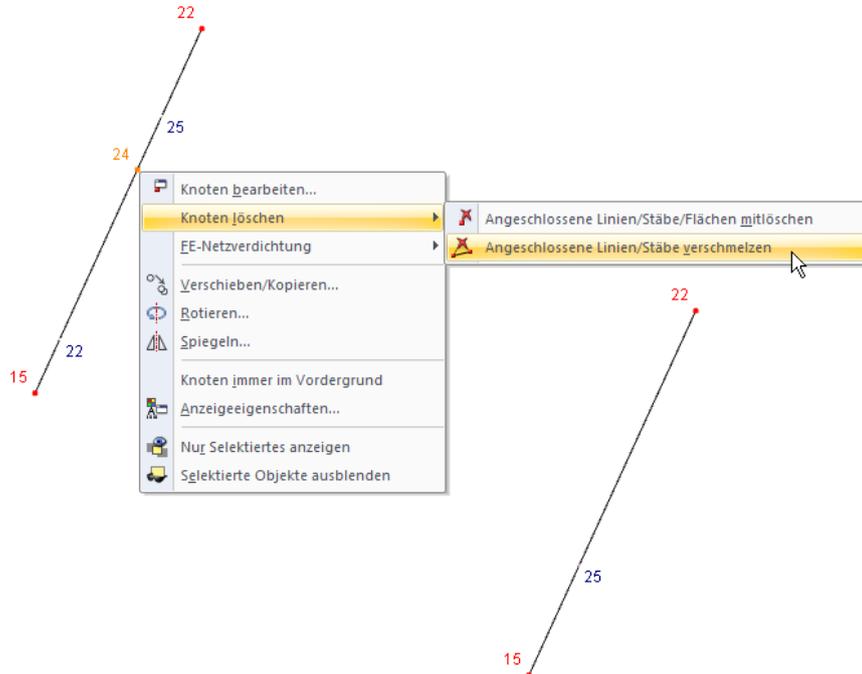


Bild 12.50: Kontextmenü *Knoten löschen* → *Angeschlossene Linien/Stäbe verschmelzen* mit Ergebnis (unten)

Während die [Entf]-Taste den selektierten Knoten und damit die angeschlossenen Linien, Stäbe und Flächen löscht, besteht im Kontextmenü eine Wahlmöglichkeit. Diese ist nur für Knoten gegeben, an die genau zwei Linien oder Stäbe angeschlossen sind.

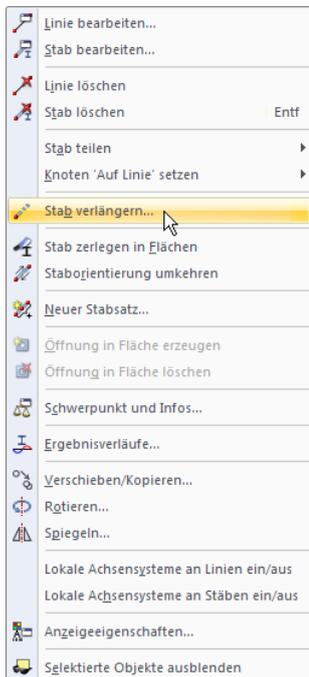
Liegen die Linien oder Stäbe nicht auf einer Geraden, bildet RFEM nach dem Verschmelzen eine neue Linie bzw. einen neuen Stab zwischen den beiden Randknoten.

12.2.8 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.

Die Bearbeitungsfunktion wird über das Linien-Kontextmenü (Bild 12.42, Seite 385) bzw. das links dargestellte Stab-Kontextmenü aufgerufen.

Es erscheint der Dialog *Linie verlängern* bzw. *Stab verlängern*.



Stab-Kontextmenü

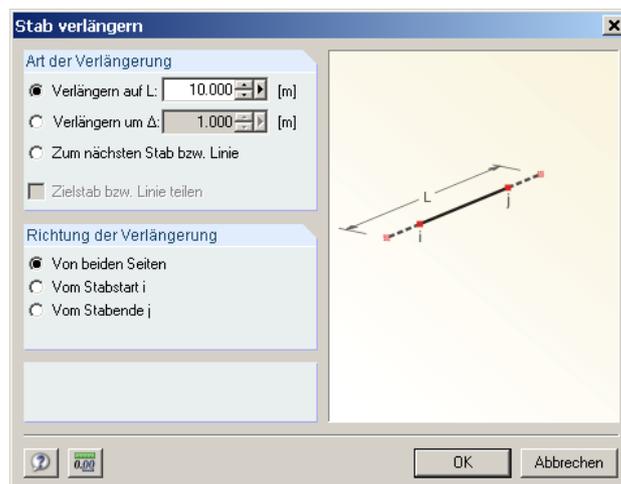


Bild 12.51: Dialog *Stab verlängern*

Der Abschnitt *Art der Verlängerung* beinhaltet drei Auswahlfelder. *Verlängern auf L* ändert die Gesamtlänge des Stabes auf ein festzulegendes Maß, *Verlängern um Δ* verlängert eine oder beide Stabseiten um einen bestimmten Betrag (oder verkürzt diese, falls der Wert im Eingabefeld negativ ist). *Zum nächsten Stab bzw. Linie* bewirkt eine Verlängerung zur nächstliegenden Linie, die einen Schnittpunkt mit der Geraden des Stabes bildet. Wenn das Kontrollfeld *Zielstab bzw. Linie teilen* aktiviert ist, erfolgt eine automatische Verbindung.

Im Abschnitt *Richtung der Verlängerung* wird der Ausgangspunkt der Verlängerung festgelegt. Das Auswahlfeld *Von beiden Enden* bewirkt eine beidseitige Anpassung: Die Gesamtlänge wird auf die Stabmitte bezogen, oder es wird die Linie auf beiden Seiten um einen Betrag bzw. bis zu den angrenzenden Linien verlängert. Alternativ stehen die Auswahlfelder *Vom Stabanfang i* und *Vom Stabende j* für eine einseitige Anpassung zur Verfügung.

Die Linien- bzw. Staborientierungen lassen sich über den *Zeigen-Navigator* anzeigen (siehe Bild 5.20 auf Seite 93).

12.2.9 Stäbe anschließen

Bei dieser Funktion ist es – anders als beim Verbinden von Stäben - nicht erforderlich, dass ein gemeinsamer Schnittpunkt vorliegt. Es können freie Stäbe, die sich in einem bestimmten Abstand von einem Stab befinden, an die Knoten dieses Stabes angeschlossen werden. Falls der Anschluss in Verlängerung der Stäbe erfolgen soll, so empfiehlt sich jeweils die Funktion *Stab verlängern* (siehe vorheriges Kapitel 12.2.8, Seite 389).

Die Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → Stäbe anschließen.

Es erscheint folgender Dialog.





Bild 12.52: Dialog *Stäbe anschließen*



Im Abschnitt *Einstellungen* wird die Nummer des Stabes angegeben oder auch grafisch ausgewählt, an dessen Knoten die freien Stäbe anzuschließen sind. Im Eingabefeld unterhalb wird der *Umkreis* festgelegt, in dem freie Stabenden gesucht werden sollen. Ist das Kontrollfeld *Zusammenhängende Stäbe selektieren* aktiviert, werden alle Stäbe, die mit einem bereits selektierten Stab verbunden sind, in die Auswahl aufgenommen.

Der Abschnitt *Behandlung der freien Stabenden* steuert, wie die freien Stabenden mit den selektierten Stäben verbunden werden: Entweder werden sie an die Knoten der selektierten Stäbe verschoben oder durch exzentrische Anschlüsse mit ihnen verbunden.

12.2.10 Abrunden



Ecken und Kanten im Modell können zu Singularitätseffekten führen. Die Funktion, Ecken realitätsnah mit Ausrundungsradien zu modellieren, wird aufgerufen über Menü

Extras → Ecke abrunden oder abwinkeln.

Die beiden Linien brauchen vorher nicht selektieren werden. Es erscheint folgender Dialog.

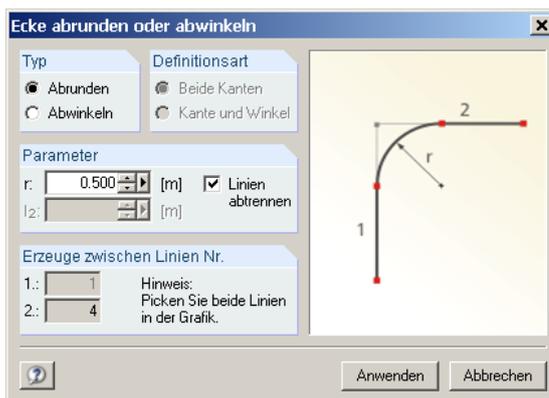


Bild 12.53: Dialog *Ecke abrunden oder abwinkeln*

Im Abschnitt *Typ* wird bestimmt, ob man die Ecke *abrunden* oder *abwinkeln* möchte. Je nach Vorgabe ist dann im Abschnitt *Parameter* entweder der Ausrundungsradius r oder die Verkürzung um die Längen l_1 und l_2 anzugeben.

Die beiden Linien sind dann in der Grafik per Mausklick auszuwählen. Im Abschnitt *Erzeuge zwischen Linien* können die Nummern der Linien überprüft werden.

Ist das Kontrollfeld *Linien abtrennen* aktiv, wird ein neuer Bogen bzw. eine neue Gerade im Eckbereich erzeugt. Der ursprüngliche Eckknoten wird gelöscht.

12.2.11 Linien und Stäbe parallel versetzen

Selektierte Linien oder Stäbe lassen sich auf einfache Weise grafisch kopieren, indem man diese mit gedrückter [Strg]-Taste an die gewünschte Stelle verschiebt. Diese Funktion entspricht dem üblichen Windows-Standard.



In einem speziellen Dialog bestehen erweiterte Möglichkeiten, parallele Linien bzw. Stäbe zu erzeugen. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → **Linie parallel versetzen** bzw.

Extras → **Stab parallel versetzen**

oder das Linie- bzw. Stab-Kontextmenü.

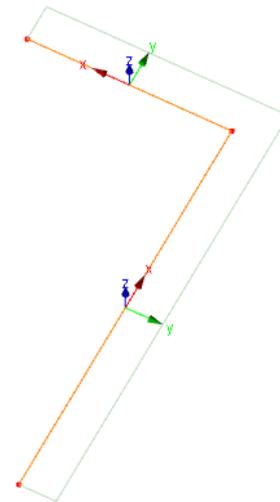


Bild 12.54: Dialog *Neue parallele Linie mit Versatz*

Die selektierte Linie erscheint in der *Liste der Linien*. Falls erforderlich, können weitere Linien durch Anklicken in der Grafik ergänzt werden. Dabei ist zu beachten, dass alle Linien der Liste in einer Ebene liegen müssen.

Im Abschnitt *Versatzabstand* wird die Distanz der Kopie zum Original festgelegt.

Werden mehrere Linien parallel versetzt, so bestehen im Abschnitt *Äußere Ecken* verschiedene Möglichkeiten zur Anpassung der Kopien. Im Bild oben werden die kopierten Linien bis zum gemeinsamen Schnittpunkt verlängert. Zudem werden die beiden Enden mit den Originallinien verbunden.

Der Abschnitt *Versatzrichtung* steuert, auf welche Seite die Linien kopiert werden. Die Richtung *y* wird in der Grafik angezeigt. Diese wird speziell für diesen Dialog benutzt und ist unabhängig von der aktuellen Arbeitsebene. Sie spiegelt nicht unbedingt die Linienachsen wider. Über das Eingabefeld unterhalb *Drehung um x* ist das Kopieren aus der Ebene heraus möglich.

12.2.12 Linien und Stäbe extrudieren

Durch Extrusionen lassen sich auf einfache Weise Flächen, Gitter oder Trägerroste aus Linien bzw. Stäben erzeugen. Möchte man ein unregelmäßiges Raster mit erweiterten Detailvorgaben generieren, empfiehlt sich der Dialog *Raster generieren* (vgl. Kapitel 12.5.1, Seite 429).

Die Funktion wird aufgerufen über die Linien- bzw. Stab-Einträge im Menü

Extras → Extrudieren.

Alternativ wird das Linien- bzw. Stab-Kontextmenü benutzt.



Menü Extras → Extrudieren

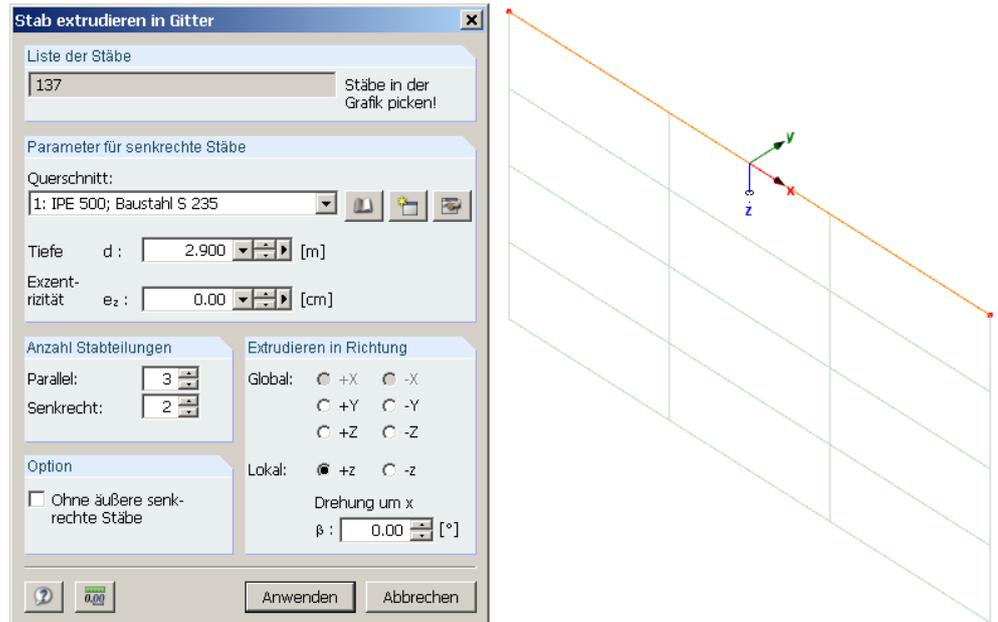


Bild 12.55: Dialog *Stab extrudieren in Gitter*

Der selektierte Stab erscheint in der *Liste der Stäbe*. Falls erforderlich, können weitere Stäbe durch Anklicken in der Grafik ergänzt werden. Dabei ist zu beachten, dass alle Stäbe der Liste in einer Ebene liegen müssen.

Als *Parameter für senkrechte Stäbe* sind der Querschnitt der Vertikalstäbe und die Tiefe als Gesamthöhe des Gitters anzugeben. Der Abschnitt *Anzahl Stabteilungen* steuert die Einteilung in ein gleichmäßiges Gitterraster von parallelen und senkrechten Stäben.

Im Abschnitt *Extrudieren in Richtung* wird die globale bzw. lokale Richtung festgelegt, in die Gitterstäbe erzeugt werden. Die lokale Richtung *z* wird in der Grafik angezeigt. Diese wird speziell für diesen Dialog benutzt und ist unabhängig von der aktuellen Arbeitsebene. Sie spiegelt nicht unbedingt die Stabachsen wider. Über das Eingabefeld *Drehung um x* ist ein Extrudieren aus der Ebene heraus möglich.

12.2.13 Flächen extrudieren

Über Extrusionen können auf einfache Weise räumliche Körper aus linearen Flächen erzeugt werden.

Diese Funktion wird aufgerufen über die Flächen-Einträge im Menü **Extras** → **Extrudieren**.

Alternativ wird das Flächen-Kontextmenü benutzt.



Menü Extras → Extrudieren

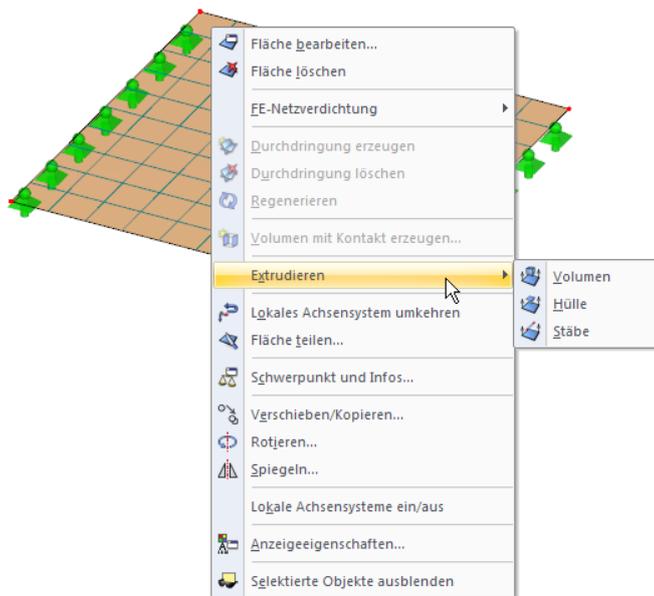


Bild 12.56: Fläche-Kontextmenü

Die drei Optionen steuern, welche Objekte durch das Parallelverschieben der Fläche im Raum entstehen:

- **Volumen:** Es wird ein 3D-Volumen erzeugt (siehe Kapitel 5.5, Seite 118).
- **Hülle:** Es werden nur Oberflächen generiert, die den räumlichen Körper begrenzen.
- **Stäbe:** An den Verbindungslinien zwischen den Knoten und ihren Kopien werden Stäbe erzeugt. Optional wird die Basisfläche mitkopiert.

Die von der getroffenen Auswahl abhängigen Parameter werden in einem Dialog festgelegt. Der *Abstand h* kann direkt eingetragen oder in der Grafik mit der Maus bestimmt werden.

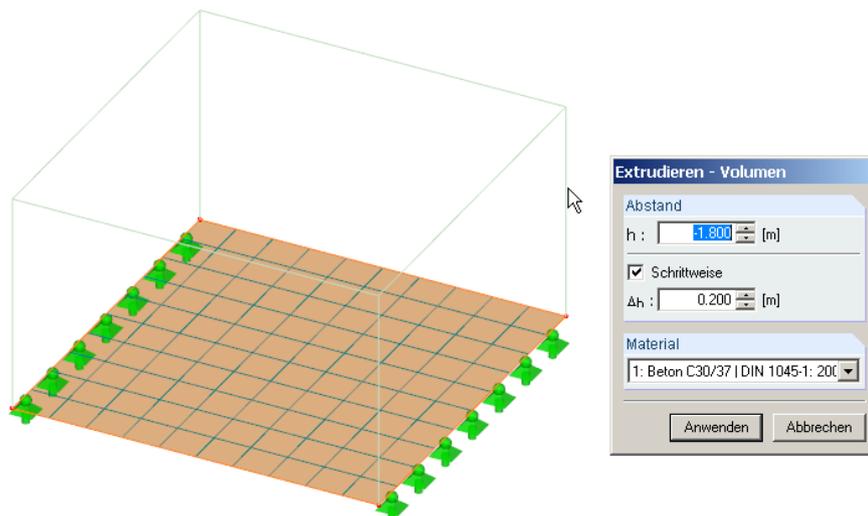


Bild 12.57: Dialog Extrudieren - Volumen

12.2.14 Bemaßungen

Die Struktur kann durch benutzerdefinierte Maßlinien ergänzt werden.

Die Bemaßungsfunktionen werden aufgerufen über Menü

Einfügen → Bemaßungen

oder die zugeordneten Schaltflächen in der Symbolleiste.

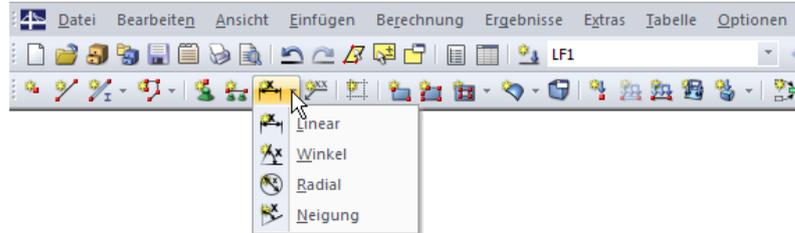


Bild 12.58: Schaltflächen *Neue Bemaßung*

Folgende Bemaßungsmöglichkeiten stehen zur Auswahl.

Bemaßung	Bemaßte Objekte
Linear	Längen zwischen Knoten
Winkel	Winkel zwischen drei Knoten oder zwischen zwei Linien
Radial	Kreis- und Bogendurchmesser oder -radien
Neigung	Neigungswinkel zwischen einer Linie und einer Ebene

Tabelle 12.4: Bemaßungsoptionen

Der Dialog *Neue Bemaßung* erscheint. Dieser ist abhängig von der getroffenen Auswahl.

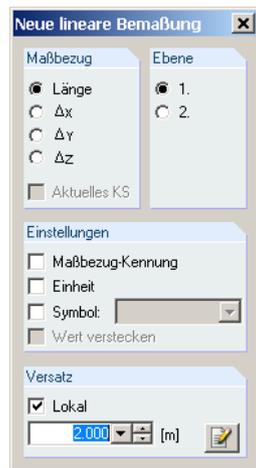


Bild 12.59: Dialog *Neue lineare Bemaßung*

Mit dem Auswahl-Mauszeiger werden nacheinander die beiden Knoten angeklickt, die die Referenzpunkte der Maßlinie darstellen. Im Dialog kann als *Maßbezug* die wahre Länge oder die Projektion in eine der globalen Achsenrichtungen gewählt werden.

Im Abschnitt *Ebene* wird festgelegt, in welcher Ansicht die Vermaßung erscheinen soll. Wird der Mauszeiger in der Grafik bewegt, ist die Wirkung der beiden Auswahlfelder erkennbar.

Die vier Kontrollfelder im Abschnitt unterhalb regeln, welche Angaben bei den Werten mit angezeigt werden. Wird die Option *Symbol* aktiviert, kann ein Bemaßungssymbol direkt angegeben oder aus der Liste ausgewählt werden. Mit *Wert verstecken* lässt sich zudem die Maßzahl ausblenden, sodass nur das Symbol erscheint.



Der *Versatz* bestimmt den Abstand der Maßlinie vom ersten gewählten Knoten. Es ist auch möglich, den *Versatz* grafisch mit dem Mauszeiger zu bestimmen. Die Maßlinie wird dann endgültig mit der Schaltfläche [Bemaßung setzen] oder per Mausklick gesetzt.



Eine Maßkette kann mit gleichmäßigem Abstand gesetzt werden, indem man die einzelnen Knoten einfach nacheinander anklickt. Anschließend wird der *Versatz* festgelegt.

Die Anzeige der Maßlinien wird über den *Zeigen*-Navigator oder das allgemeine Kontextmenü im Arbeitsfenster gesteuert.

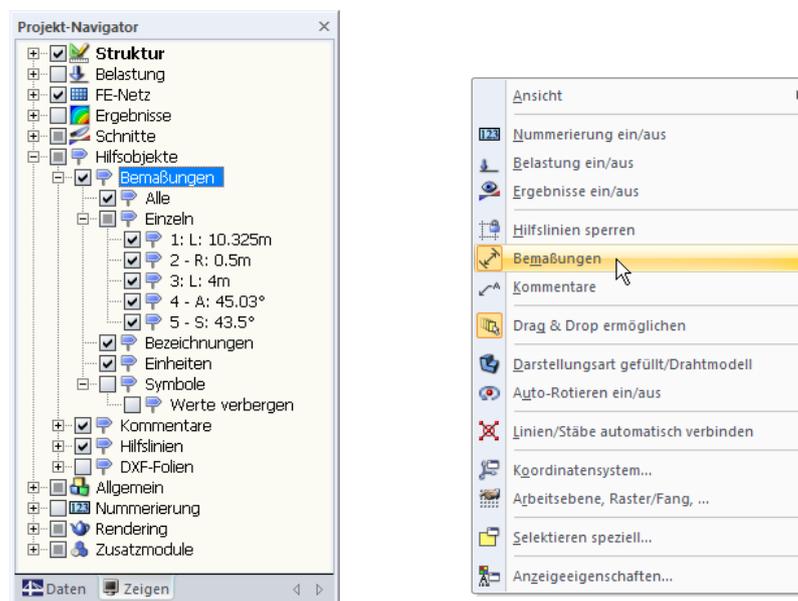


Bild 12.60: *Zeigen*-Navigator (Hilfsobjekte → Bemaßungen) und allgemeines Kontextmenü



Bei Änderungen in der Strukturgeometrie 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.

12.2.15 Kommentare

Es gibt zwei verschiedene Arten von Kommentaren: Textliche Anmerkungen können in der Grafik und in den Kommentarfeldern der Dialoge und Tabellen (Kapitel 12.6.3, Seite 458) eingefügt werden. Dieses Kapitel behandelt die Kommentare im grafischen Arbeitsfenster.

Kommentare können über die Fangfunktion auf Knoten, Linien- und Stabmitten bezogen angeordnet oder beliebig in der aktuellen Arbeitsebene platziert werden.



Die Funktion zum Setzen von Kommentaren wird aufgerufen über Menü

Einfügen → **Kommentare**

oder die zugeordnete Schaltfläche in der Symbolleiste.



Bild 12.61: Schaltfläche *Neuer Kommentar*

Es wird der Dialog *Neuer Kommentar* angezeigt.



Bild 12.62: Dialog *Neuer Kommentar*



Im Abschnitt *Text* wird der Kommentartext eingetragen. Das Erscheinungsbild kann im Abschnitt *Optionen* hinsichtlich der Farbe sowie der Schriftart und -größe beeinflusst werden. Der Kommentar kann auch mit einem *Rahmen* versehen werden.

Ist das Kontrollfeld im Abschnitt *Versatz* aktiviert, wird der Kommentar in einem bestimmten Abstand vom gewählten Objekt angeordnet. Dieser Abstand kann auch im grafischen Arbeitsfenster bestimmt werden: Zunächst klickt man das Objekt an, das mit dem Kommentar versehen werden soll, und legt mit einem weiteren Mausklick den Abstand fest.

Die Anzeige der Kommentare wird über den *Zeigen*-Navigator oder das allgemeine Kontextmenü im Arbeitsfenster gesteuert.

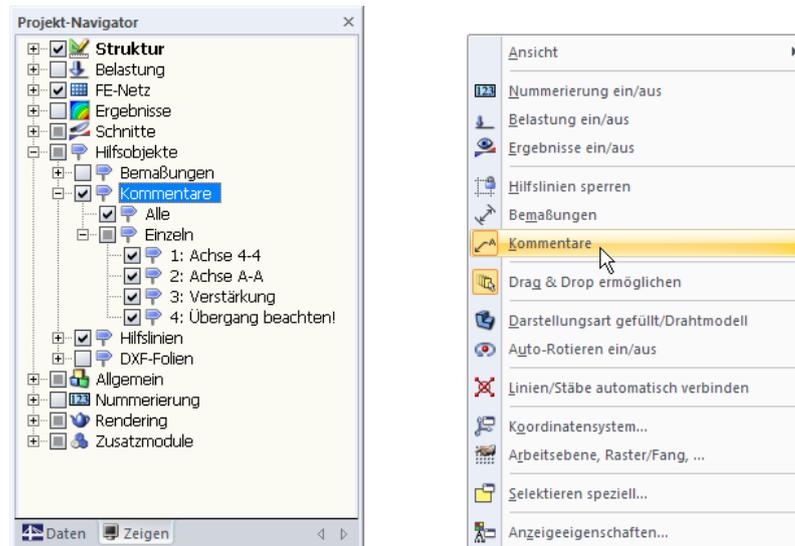


Bild 12.63: *Zeigen*-Navigator (Hilfsobjekte → Kommentare) und allgemeines Kontextmenü



Bei Änderungen in der Strukturgeometrie werden die Kommentare mit angepasst.

Kommentartexte mitsamt Versatz lassen sich nachträglich bearbeiten, indem man den Kommentar in der Grafik oder den Eintrag im *Daten*-Navigator doppelklickt.

12.2.16 Hilfslinien

Hilfslinien gestatten es, in der grafischen Arbeitsfläche ein Raster aus Achsen und Reihen zu hinterlegen. Die Kreuzungspunkte von Hilfslinien stellen Fangpunkte für die grafische Eingabe dar. Im Objektfang muss hierzu die Fangfunktion für *Hilfslinien-Schnittpunkte* aktiviert sein (siehe Kapitel 12.2.3, Seite 381).

Hilfslinien brauchen nicht parallel zu den Achsen des globalen XYZ-Koordinatensystems ausgerichtet sein, es sind beliebige Winkel und auch eine polare Anordnung möglich. Die Abstände der Hilfslinien untereinander können beliebig sein.

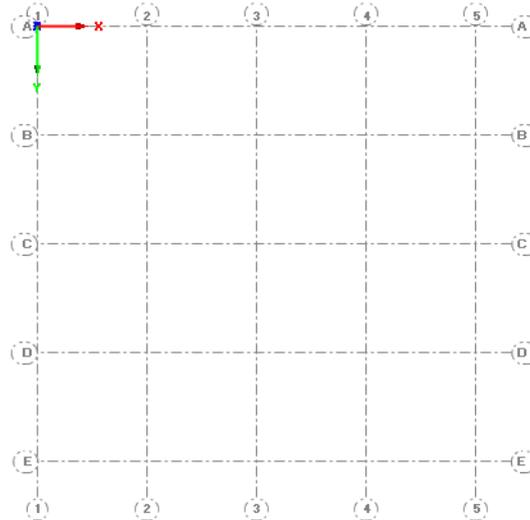


Bild 12.64: Raster aus Hilfslinien

Hilfslinien erzeugen

Dialogeingabe

Der Dialog zum Erzeugen einer neuen Hilfslinie wird aufgerufen über Menü

Einfügen → **Hilfslinien** → **Dialog**

oder das Kontextmenü im *Daten*-Navigator.

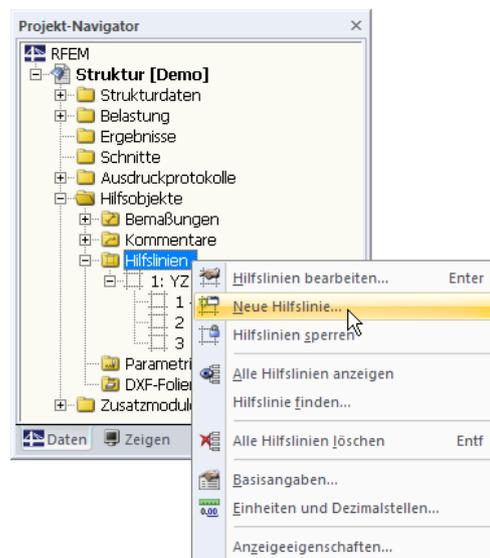


Bild 12.65: Kontextmenü *Hilfslinien* im *Daten*-Navigator

Es wird der folgende Dialog angezeigt.

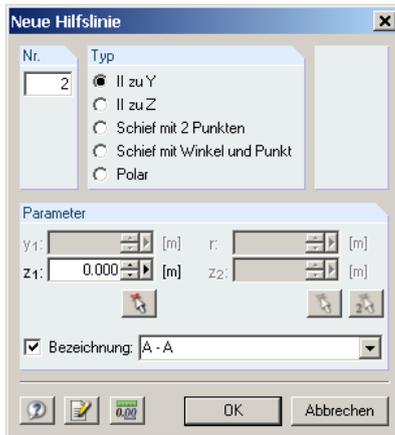


Bild 12.66: Dialog *Neue Hilfslinie*

Die *Nr.* der Hilfslinie wird automatisch vergeben. Die Hilfslinie kann auf verschiedene Art definiert werden. Dies wird im Abschnitt *Typ* festgelegt.

Typ	Erläuterung
II zu x bzw. y („Parallel zu Achse der Arbeitsebene“)	Der Abstand y_1 zur Achse y bzw. x_1 zur Achse x wird im Abschnitt <i>Parameter</i> angegeben.
Schief mit 2 Punkten	Im Abschnitt <i>Parameter</i> müssen die Koordinaten von zwei Punkten angegeben werden, die die Hilfslinie festlegen.
Schief mit Winkel und Punkt	Im Abschnitt <i>Parameter</i> sind zur Definition der Hilfslinie die Koordinaten eines Punktes und ein Drehwinkel anzugeben.
Polar	Im Abschnitt <i>Parameter</i> müssen der Mittelpunkt und der Radius für die kreisförmige Hilfslinie festgelegt werden.

Tabelle 12.5: Hilfslinientypen

Wenn das Kontrollfeld *Mit Bezeichnung* aktiviert ist, kann die Beschreibung der Hilfslinie im Eingabefeld eingegeben oder aus der Liste gewählt werden.

Grafische Eingabe

Grafisch kann eine Hilfslinie definiert werden



- über Menü **Einfügen** → **Hilfslinien** → **Grafisch**,
- mit der links dargestellten Schaltfläche [Neue Hilfslinie grafisch] oder
- durch Parallelverschieben einer Achse der Arbeitsebene mit der Maus.

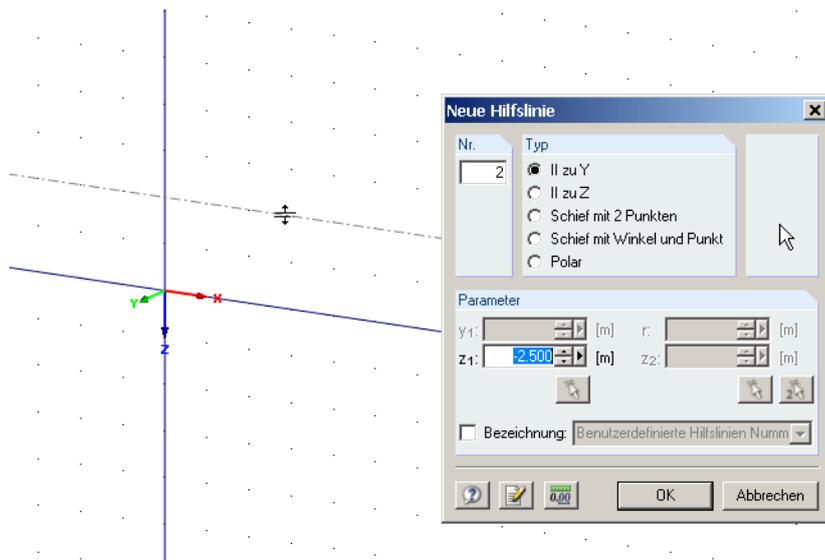


Bild 12.67: Grafisches Erzeugen einer Hilfslinie

Dieser Dialog 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). Um die Sperrung schnell aufzuheben, klickt man mit der rechten Maustaste in einen leeren Bereich des Arbeitsfensters und deaktiviert dann im allgemeinen Kontextmenü den Schalter *Hilfslinien sperren* per Mausklick.

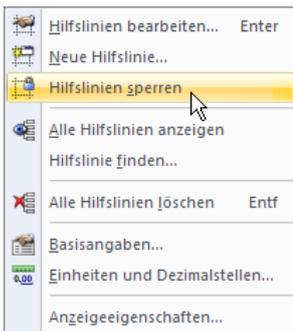
Eine Hilfslinie kann in der Grafik und im *Daten*-Navigator gelöscht werden, indem man sie mit der rechten Maustaste anklickt und im Kontextmenü dann den Befehl *Löschen* wählt.

Hilfslinien sperren

Wenn Hilfslinien gesperrt sind, können sie nicht selektiert, bearbeitet oder verschoben werden. Damit stellen die Hilfslinien keine Beeinträchtigung bei der grafischen Eingabe von Objekten dar. Die Fangfunktion an den Schnittpunkten ist aber dennoch aktiv.

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 stellen normale grafische Objekte dar, sodass die üblichen Bearbeitungsfunktionen benutzt werden können.

Um eine Hilfslinie zu verschieben oder zu kopieren, ist sie zunächst zu selektieren. Dann kann die im Kapitel 12.1.3 auf Seite 365 beschriebene Funktion angewandt werden.

Anzeige der Hilfslinien

Die Steuerung der Hilfsliniendarstellung wird über den *Zeigen*-Navigator vorgenommen.

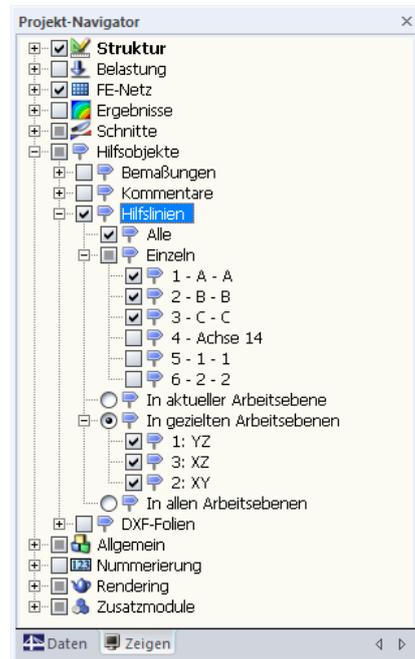


Bild 12.68: Steuerung der Hilfslinien im *Zeigen*-Navigator

12.2.17 DXF-Folien

Die Modellierung wird durch die DXF-Folien erleichtert, die im Arbeitsfenster zur grafischen Objekteingabe hinterlegt werden können. Im Unterschied zum DXF-Import (siehe Kapitel 13.5.2.2, Seite 487), der das komplette Modell bereits in Knoten und Linien umgewandelt präsentiert, stellen die DXF-Folien eine Art Layer für die gezielte Modellierung dar.

In einer Struktur können mehrere DXF-Folien verwendet werden.

DXF-Folie erzeugen

Der Dialog zum Erzeugen einer neuen DXF-Folie wird aufgerufen über Menü



Einfügen → **DXF-Folie**

oder das Kontextmenü im *Daten*-Navigator.

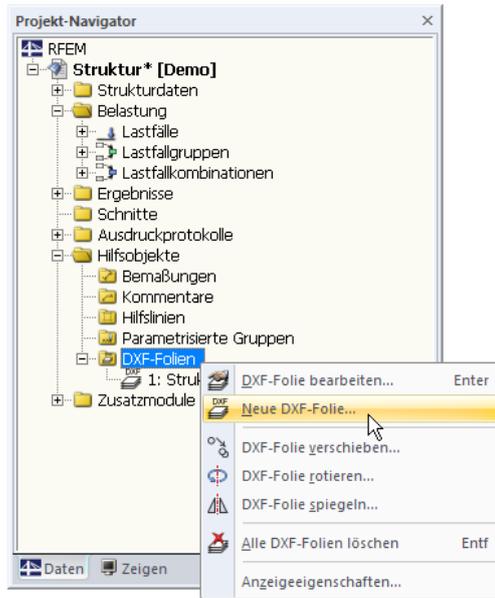


Bild 12.69: Kontextmenu *DXF-Folien* im *Daten-Navigator*

Es erscheint der *Öffnen*-Dialog von Windows, in dem Name und Verzeichnis der DXF-Datei angegeben werden.

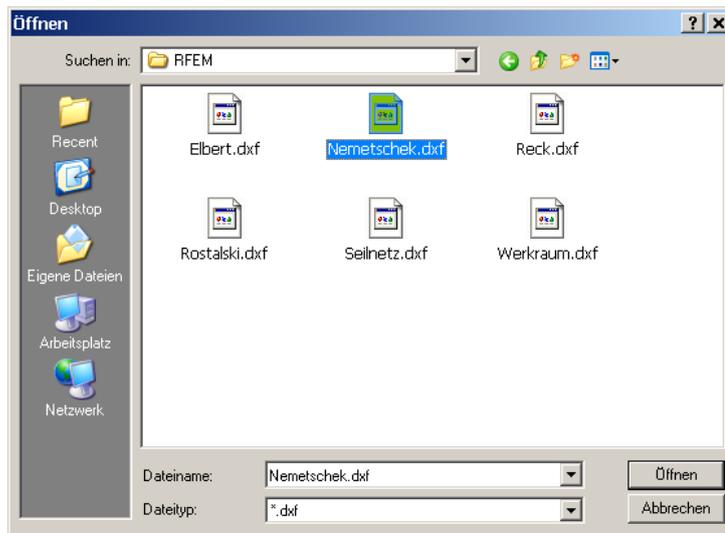


Bild 12.70: Dialog *Öffnen*

Ist die Auswahl getroffen, wird mit [Öffnen] der Dialog *DXF-Folie* aufgerufen.



Bild 12.71: Dialog *DXF-Folie*

Die *Nr.* der DXF-Folie wird automatisch vergeben. Im Abschnitt *Bezeichnung der DXF-Folie* kann ein beliebiger Name eingetragen werden, der die Zuordnung erleichtert.

Über die Schaltfläche [Details] sind weitere Einstellmöglichkeiten zum DXF-Import gegeben. Dieser Dialog ist im Bild 13.43 auf Seite 488 dargestellt und erläutert.



Nach [OK] wird die DXF-Folie importiert und in der grafischen Arbeitsfläche grau hinterlegt. In diesem Drahtmodell können nun Knoten und Linien bzw. Stäbe gesetzt werden.

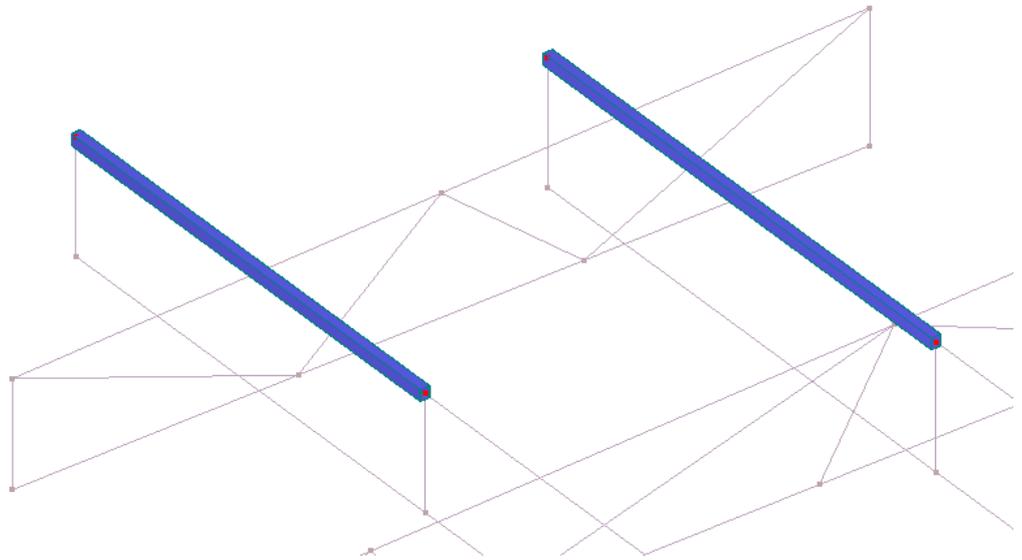


Bild 12.72: Setzen von Stäben mit hinterlegter DXF-Folie



Der Objektfang muss für DXF-Folien aktiviert sein, damit Objekte an den Punkten der DXF-Folie angeordnet werden können. Der Objektfang für die DXF-Punkte lässt sich über die Schaltfläche [DXF] im mittleren Bereich der Statusleiste einschalten.

DXF-Folie bearbeiten und löschen

Der Bearbeitungsdialog einer DXF-Folie wird aufgerufen, indem man den entsprechenden Eintrag im *Daten-Navigator* (siehe Bild 12.69, Seite 401) doppelklickt. In diesem Dialog kann die *Bezeichnung der DXF-Folie* dann geändert werden. Alternativ benutzt man das Register *DXF-Folien* im Arbeitsebene-Dialog (vgl. Kapitel 12.2.1, Seite 378).

Das Löschen einer DXF-Folie ist ebenfalls über den *Daten-Navigator* möglich.

Um eine DXF-Folie zu verschieben, kopieren oder spiegeln, ist sie zunächst zu selektieren. Dann kann die im Kapitel 12.1.3 auf Seite 365 beschriebene Funktion angewandt werden.

Anzeige der DXF-Folien

Die Darstellung der DXF-Folien wird über den *Zeigen-Navigator* gesteuert.

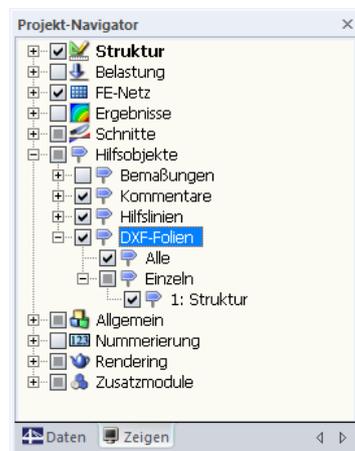


Bild 12.73: Steuerung der DXF-Folien im *Zeigen-Navigator*

12.2.18 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 wieder anzupassen. Diese Funktionen sind enthalten im Menü

Extras → Nummerierung ändern.

Bei einer Umnummerierung braucht man sich um die Belastungen nicht kümmern. Die zugewiesenen Lasten werden auf die neuen Nummern der Objekte übertragen.

Einzel

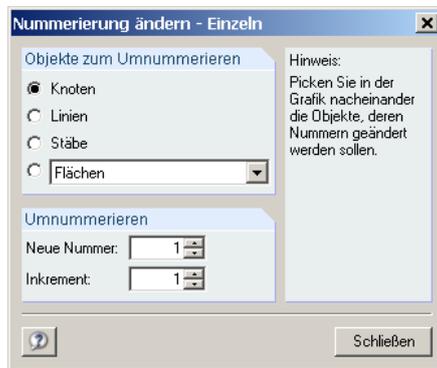


Bild 12.74: Dialog *Nummerierung ändern - Einzel*

Im Abschnitt *Objekt zum Umnummerieren* wird festgelegt, ob Knoten, Linien, Stäbe oder andere Strukturobjekte der Liste umnummeriert werden sollen. Die Startnummer der neuen Nummerierung sowie das Inkrement werden im Abschnitt *Umnummerierung* festgelegt.

Nach dem [Schließen] des Dialogs werden die relevanten Objekte nacheinander in der Grafik angeklickt. Es ist zu beachten, dass nur freie, noch nicht belegte Nummern für die einzelnen Objekte neu vergeben werden können.

Automatisch

Es sind zunächst die Knoten, Linien und Stäbe zu selektieren (vgl. Kapitel 12.1.1, Seite 362), deren Nummerierung anzupassen ist. Anschließend wird mit dieser Funktion folgender Dialog aufgerufen:



Bild 12.75: Dialog *Nummerierung ändern - Knoten/Stäbe automatisch*

Es ist festzulegen, welche *Priorität* die einzelnen globalen Richtungen X, Y oder Z für die Neu Nummerierung erhalten. Zudem ist zu entscheiden, ob die aufsteigende Nummerierung in *Richtung* der jeweiligen positiven oder negativen Achse erfolgen soll.

Im Beispiel oben (Bild 12.75) erhalten zunächst die Knoten (sowie Linien und Stäbe) mit den kleinsten X-Koordinaten neue Nummern. Die Knoten werden in positiver X-Richtung abgearbeitet. Sobald 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.

In den Abschnitten *Knoten-Nummerierung*, *Linien-Nummerierung* und *Stab-Nummerierung* wird festgelegt, welche Objekte umnummeriert und welche Startnummern und Inkremente für die neue Nummerierung verwendet werden sollen. Bereits besetzte Nummern dürfen nicht vergeben werden. RFEM erlaubt jedoch die Verwendung von Nummern, die vor der Neu Nummerierung zwar belegt sind, durch das Umnummerieren aber frei werden.

Verschieben

Es sind zunächst die Objekte zu selektieren, deren Nummerierung angepasst werden soll. Anschließend wird über die Menüfunktion folgender Dialog aufgerufen:

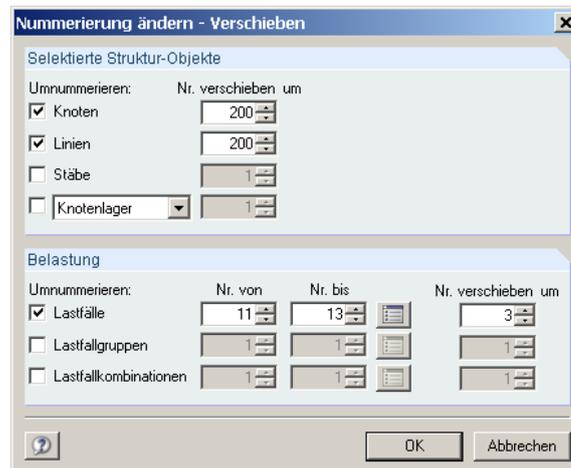


Bild 12.76: Dialog *Numerierung ändern - Verschieben*

Im Abschnitt *Selektierte Strukturobjekte* wird festgelegt, ob man Knoten, Linien, Stäbe oder andere Objekte der Liste umnummerieren möchte. In der Spalte *Nr. verschieben um* wird angegeben, um welchen Wert die Nummern der jeweiligen Objekte höher gesetzt werden sollen. Man kann die Nummerierung mit negativen Inkrementen auch herabsetzen. Dabei ist darauf zu achten, dass keine Nummern kleiner als 1 entstehen.

Die Nummerierung von Lastfällen, Lastfallgruppen und -kombinationen kann im Abschnitt *Lastobjekte* angepasst werden. Hier sind die Nummern der relevanten Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen als Liste in den Spalten *Nr. von* und *Nr. bis* anzugeben. Die Spalte *Nr. verschieben um* legt fest, um welchen Wert die Nummern der Lastobjekte jeweils höher gesetzt werden.

Nach [OK] erfolgt die Umsetzung. Es ist wieder zu beachten, dass nur freie, noch nicht belegte Nummern für die einzelnen Struktur- und Lastobjekte neu vergeben werden können.

12.3 Funktionen für die Tabelleneingabe

12.3.1 Bearbeitungsfunktionen



Die Bearbeitungsfunktionen sind Werkzeuge, die die Eingabe in den Tabellen erleichtern (vgl. Kapitel 4.4.4, Seite 75). Im Gegensatz zu den im folgenden Kapitel 12.3.2 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.

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 12.77: Schaltflächen für einige Bearbeitungsfunktionen in der Tabellen-Symbolleiste

Alternativ können die Funktionen über das Kontextmenü in der Tabelle aufgerufen werden.

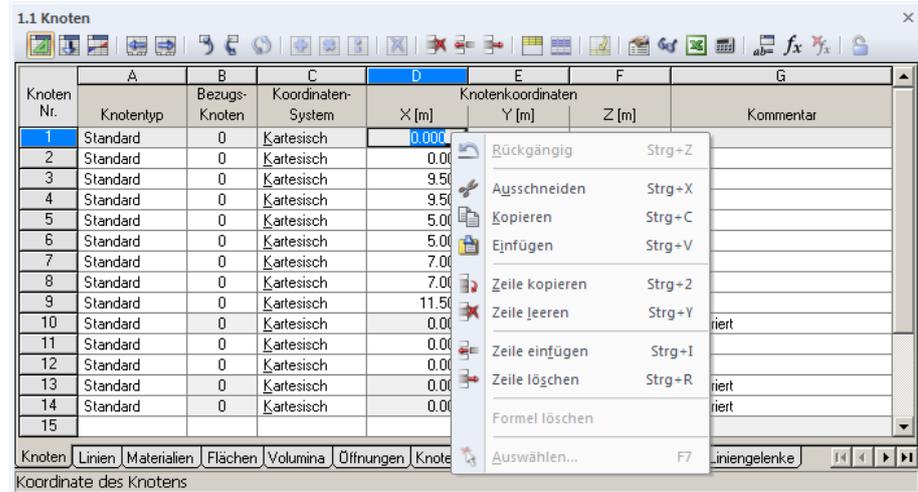


Bild 12.78: Bearbeitungsfunktionen im Kontextmenü

Funktionen und Steuerbefehle

Funktion	Wirkung
Ausschneiden [Strg+X]	Der Inhalt der Zelle wird entfernt und in der Zwischenablage gespeichert.
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 wird jedoch eine Warnung ausgegeben.
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 komplett 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 12.6: Bearbeitungsfunktionen

Beispiele

Zeile kopieren

Die Funktion wird über das Kontextmenü der Zeile 2 aufgerufen.

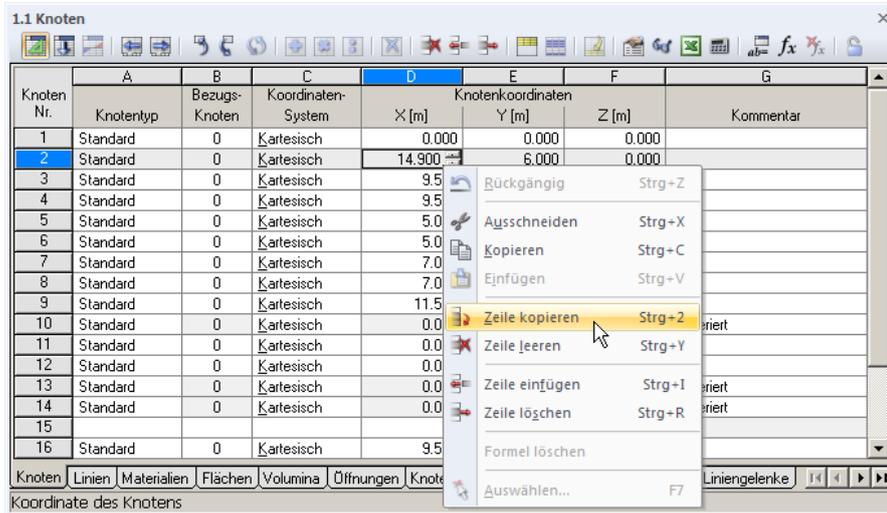


Bild 12.79: Zeile 2 kopieren mit dem Kontextmenü

Die Zeile 3 wird überschrieben.

2	Standard	0	Kartesisch	14.900	6.000	0.000	
3	Standard	0	Kartesisch	14.900	6.000	0.000	

Bild 12.80: Ergebnis

Zeile einfügen

Die Funktion wird über das Kontextmenü in der Zeile 2 aufgerufen.

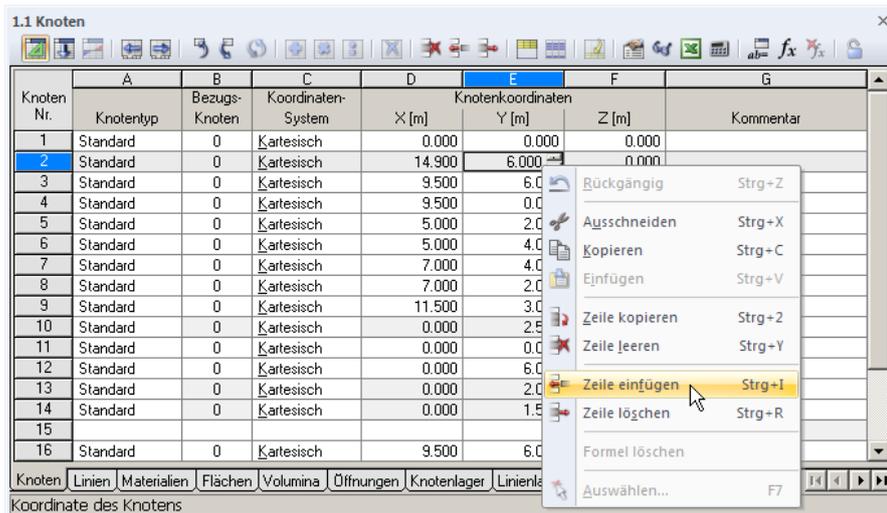


Bild 12.81: Zeile einfügen mit dem Kontextmenü

In Zeile 2 wird eine neue, leere Zeile eingefügt. Alle nachfolgenden Zeilen verschieben sich nach unten.

1.1 Knoten

Knoten Nr.	Knotentyp	Bezugs-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				
3	Standard	0	Kartesisch	14.900	6.000	0.000	
4	Standard	0	Kartesisch	9.500	6.000	0.000	
5	Standard	0	Kartesisch	9.500	0.000	0.000	
6	Standard	0	Kartesisch	5.000	2.000	0.000	
7	Standard	0	Kartesisch	5.000	4.000	0.000	
8	Standard	0	Kartesisch	7.000	4.000	0.000	
9	Standard	0	Kartesisch	7.000	2.000	0.000	
10	Standard	0	Kartesisch	11.500	3.000	0.000	
11	Standard	0	Kartesisch	0.000	2.500	2.000	Generiert
12	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	4.000	
13	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	4.000	
14	Standard	0	Kartesisch	0.000	2.000	2.500	Generiert
15	Standard	0	Kartesisch	0.000	1.500	2.000	Generiert
16							

Knoten | Linien | Materialien | Flächen | Volumina | Öffnungen | Knotenlager | Linienlager | Flächenbettungen | Liniengelenke

Koordinate des Knotens

Bild 12.82: Ergebnis

Ersetzen

Die Funktion wird mit [Strg]+[H] in Zeile 1 aufgerufen. Es erscheint folgender Dialog.

1.1 Knoten

Knoten Nr.	Knotentyp	Bezugs-Knoten	Koordinaten-System	Knotenkoordinaten			Kommentar
				X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	0	Kartesisch	0.000	0.000	0.000	
2							
3	Standard	0	Kartesisch				
4	Standard	0	Kartesisch				
5	Standard	0	Kartesisch				
6	Standard	0	Kartesisch				
7	Standard	0	Kartesisch				
8	Standard	0	Kartesisch				
9	Standard	0	Kartesisch				
10	Standard	0	Kartesisch				
11	Standard	0	Kartesisch				
12	Standard	0	Kartesisch				
13	Standard	0	Kartesisch				
14	Standard	0	Kartesisch				
15	Standard	0	Kartesisch				
16							

Suchen und Ersetzen

Suchen nach: Weitersuchen

Ersetzen durch: Ersetzen

Einstellungen

Nur innerhalb der Selektion

Ganzes Feld vergleichen

Schließen

Knoten | Linien | Materialien | Flächen | Volumina | Öffnungen | Knotenlager | Linienlager | Flächenbettungen | Liniengelenke

Koordinate des Knotens

Bild 12.83: Dialog Suchen und Ersetzen

Der Inhalt der aktuellen Zelle (0.000 im Beispiel) wird in das Eingabefeld *Suchen nach* übernommen, kann dort aber abgeändert werden. Im zweiten Eingabefeld *Ersetzen durch* ist anzugeben, wodurch der Suchbegriff 0.000 in der Tabelle ersetzt werden soll.

Mit der Schaltfläche [Ersetzen] wird der Wert dieser Zelle geändert. [Weitersuchen] zeigt die nächste Zelle mit dem Suchbegriff an.

12.3.2 Selektionsfunktionen



Die Selektionsfunktionen sind Werkzeuge, die die Eingabe in den Tabellen erleichtern. Im Gegensatz zu den im vorherigen Kapitel 12.3.1 beschriebenen Bearbeitungsfunktionen sind zunächst mehrere zusammenhängende Zellen als so genannte *Selektion* zu markieren.

Koordinaten-System	Knotenkoordinaten		
	X [m]	Y [m]	Z [m]
Kartesisch	0.000	0.000	0.000
Kartesisch	25.000	0.000	0.000
Kartesisch	0.000	0.000	-6.000
Kartesisch	3.000	0.000	-6.261
Kartesisch	6.250	0.000	-6.546
Kartesisch	12.500	0.000	-7.094
Kartesisch	18.750	0.000	-6.546
Kartesisch	22.000	0.000	-6.261
Kartesisch	25.000	0.000	-6.000
Kartesisch	0.000	-5.000	0.000

Bild 12.84: 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 wird zunächst eine Selektion als zusammenhängender Block gekennzeichnet. Dies geschieht 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.

Einige Selektionsfunktionen sind in der Symbolleiste der Tabelle zu finden.



Bild 12.85: Schaltflächen für einige Selektionsfunktionen in der Tabellen-Symbolleiste

Alternativ können die Funktionen über das Kontextmenü in der Tabelle aufgerufen werden.

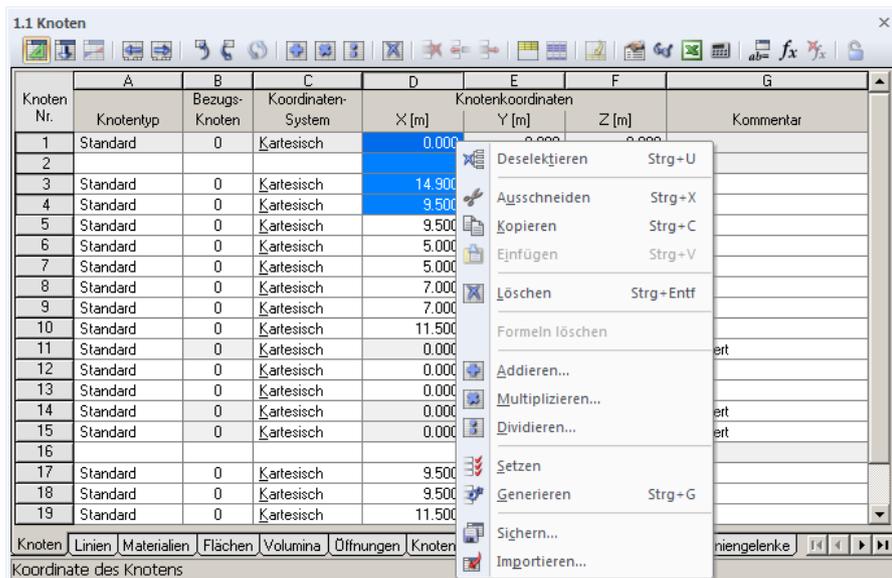


Bild 12.86: Selektionsfunktionen im Kontextmenü

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 in der Selektion erhalten den Wert der zuoberst selektierten Zelle.
Generieren [Strg+G]	Bei Zellen mit Zahlenwerten werden die Zellen zwischen der ersten und der letzten Zeile in der Selektion durch die lineare Interpolation der Werte zwischen erster und letzter Zelle generiert.
Sichern	Die Selektion wird als Datei abgespeichert.
Einlesen	Eine Selektion, die als Datei abgespeichert wurde, wird geladen.

Tabelle 12.7: Selektionsfunktionen

Beispiele

Addieren

Ein Block mit Zahlenwerten wurde selektiert.

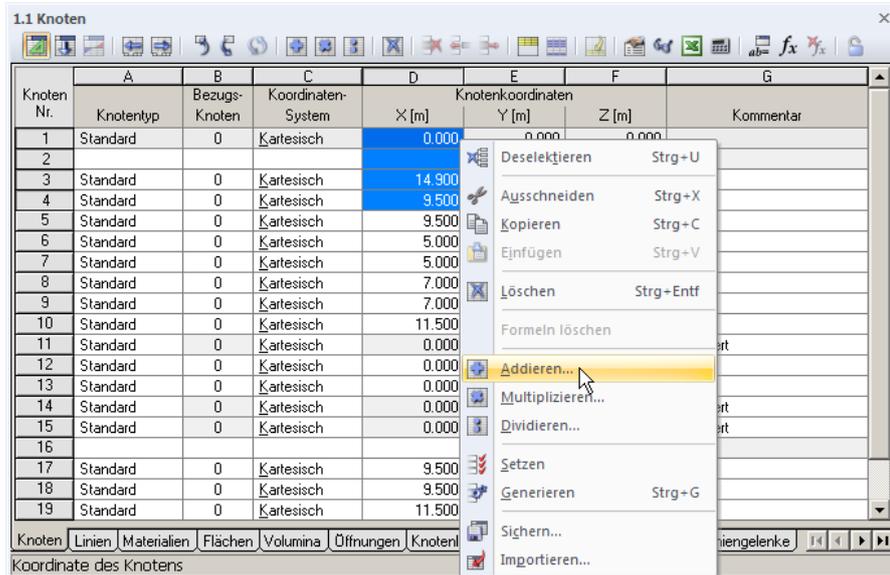


Bild 12.87: Kontextmenü der Selektion

Der Wert, der zu den Zellen addiert werden soll, wird abgefragt.



Bild 12.88: Dialog *Bearbeitungsoperation - Addieren*

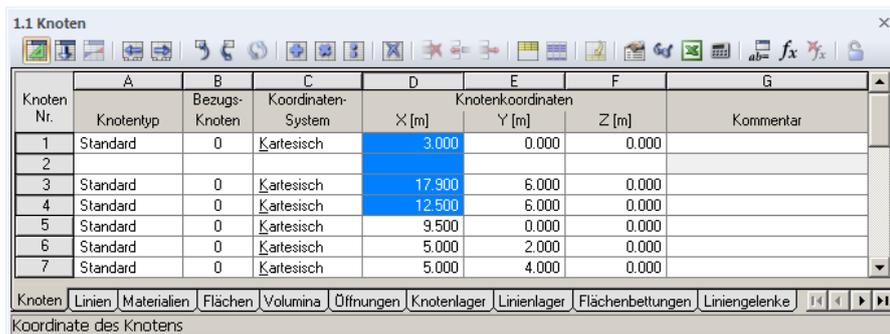


Bild 12.89: Ergebnis

Die Werte aller selektierten Zellen wurden jeweils um 3 erhöht. Die leere Zelle ist nach wie vor leer.

Setzen

Mit dieser Funktion kann sehr schnell eine große Anzahl von Zellen mit gleichen Werten ausgefüllt werden. Die Selektion muss einen Anfangswert enthalten, z. B. 3.000.

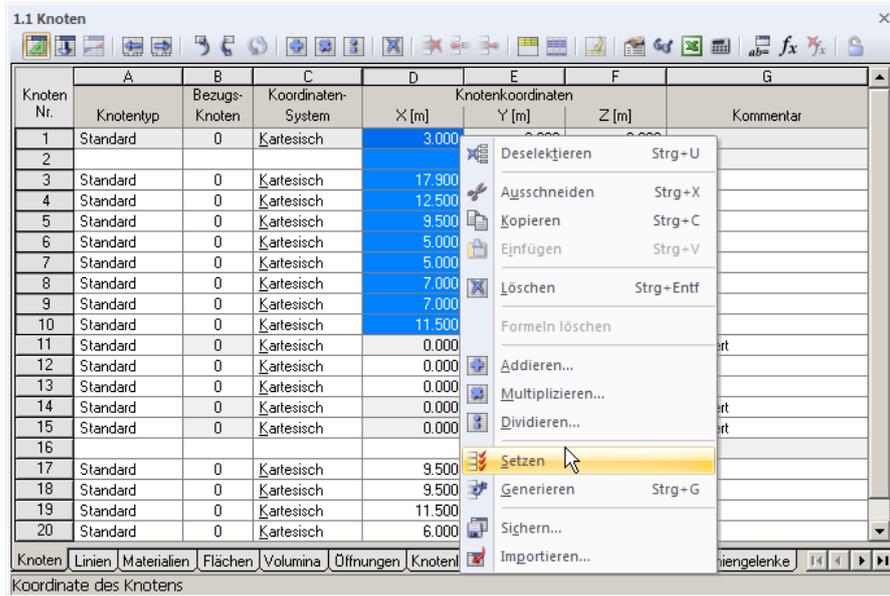


Bild 12.90: Kontextmenü der Selektion

Nach dem *Setzen* haben alle selektierten Zellen den Wert der ersten Zelle.

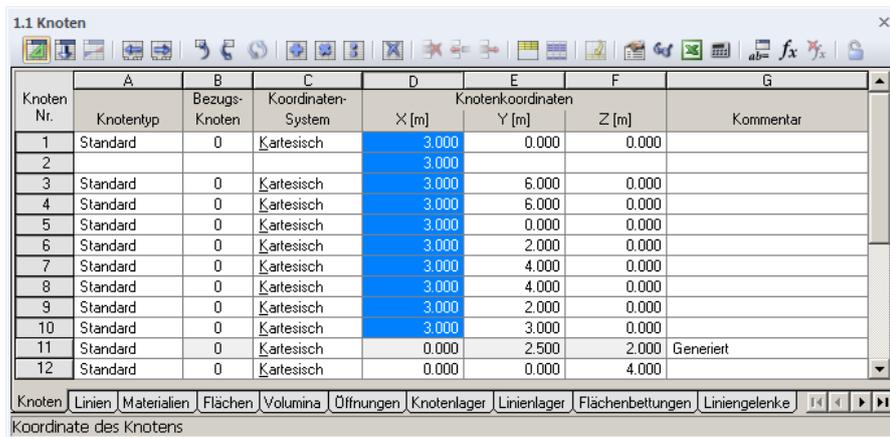


Bild 12.91: Ergebnis

Diese Selektionsfunktion ist nicht auf Zellen mit Zahlenwerten beschränkt.

Generieren

Mit dieser Funktion können schnell 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.

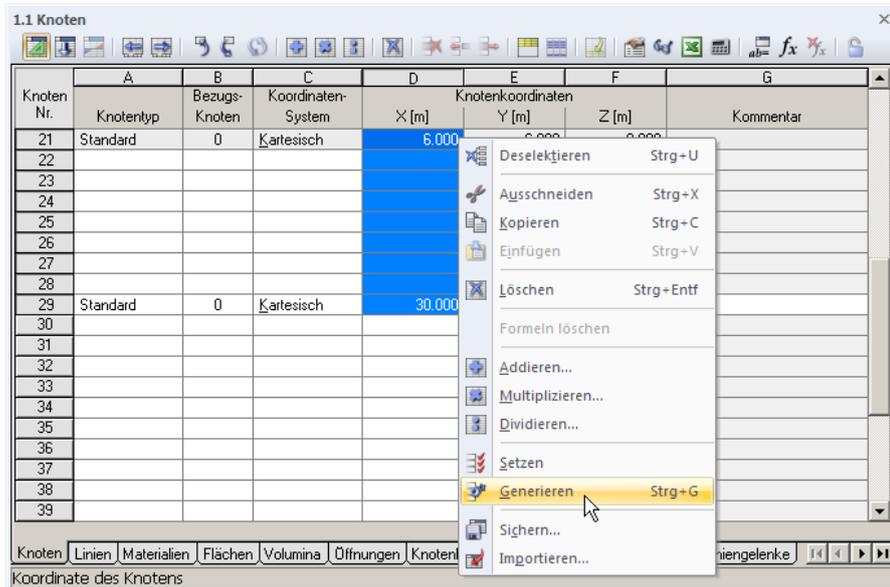


Bild 12.92: Kontextmenü der Selektion

Nach dem *Generieren* sind die Zellen dazwischen mit den interpolierten Werten ausgefüllt.

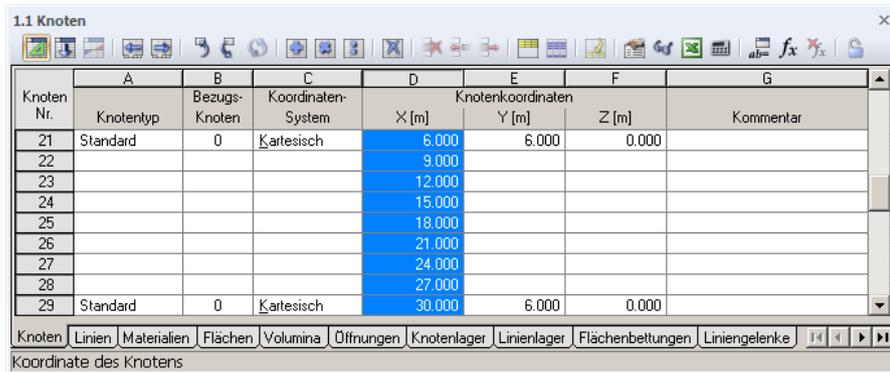


Bild 12.93: Ergebnis

12.3.3 Ansichtsfunktionen

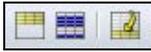


Mit den Ansichtsfunktionen kann die Darstellung in der Tabelle beeinflusst werden. Diese tragen zur Übersichtlichkeit bei.

Ansichtsfunktionen aufrufen

Alle Ansichtsfunktionen sind zugänglich im Menü

Tabelle → Ansicht.



Einige Ansichtsfunktionen sind in der Symbolleiste der Tabelle zu finden.



Bild 12.94: Schaltflächen für einige Ansichtsfunktionen in der Tabellen-Symbolleiste

Funktionen

Funktion	Wirkung
Nur verwendete 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 Strukturobjekte (Knoten, Flächen, Stäbe etc.) selektiert.
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 (vgl. Kapitel 12.3.5, Seite 416).
Info über Querschnitt 	Die Kennwerte des aktuellen Profils werden angezeigt.
Ergebnisverläufe 	Die Ergebnisse des selektierten Stabes werden in einem neuen Fenster grafisch angezeigt (vgl. Kapitel 10.5, Seite 312).
Farb-Relationsbalken 	Die Anzeige der roten und blauen Balken in der Tabelle wird ein- und ausgeblendet.
Titelleiste	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.

Tabelle 12.8: Ansichtsfunktionen

Beispiel

Nur verwendete Zeilen

Eine Tabelle enthält Leerzeilen, die unter Umständen die Übersichtlichkeit beeinträchtigen.

Knoten Nr.	Knotentyp	Bezugs-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							
4	Standard	0	Kartesisch	9.500	0.000	0.000	
5							
6							
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	4.000	0.000	
8	Standard	0	Kartesisch	7.000	2.000	0.000	
9							
10	Standard	0	Kartesisch	0.000	2.500	2.000	Generiert
11							
12	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	4.000	
13	Standard	0	Kartesisch	0.000	2.000	2.500	Generiert

Bild 12.95: Tabelle mit Leerzeilen



Mit der Funktion *Nur verwendete Zeilen* werden alle Leerzeilen ausgeblendet.

Knoten Nr.	Knotentyp	Bezugs-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	
4	Standard	0	Kartesisch	9.500	0.000	0.000	
7	Standard	0	Kartesisch	7.000	4.000	0.000	
8	Standard	0	Kartesisch	7.000	2.000	0.000	
10	Standard	0	Kartesisch	0.000	2.500	2.000	Generiert
12	Standard	0	Kartesisch	0.000	6.000	4.000	
13	Standard	0	Kartesisch	0.000	2.000	2.500	Generiert
14	Standard	0	Kartesisch	0.000	1.500	2.000	Generiert
18	Standard	0	Kartesisch	11.500	3.000	4.000	
20	Standard	0	Kartesisch	6.000	6.000	0.000	

Bild 12.96: Tabelle ohne Leerzeilen

12.3.4 Tabelleneinstellungen

Mit diesen Einstellungen werden die Schrift- und Farbeinstellungen der Tabellen geändert. Zudem kann die Selektion in der Grafik mit der in der Tabelle abgeglichen werden.

Tabelleneinstellungen aufrufen

Alle Einstellmöglichkeiten sind zugänglich im Menü

Tabelle → Einstellungen.

Für einige Einstellungen gibt es Schaltflächen in der Tabellen-Symbolleiste.



Bild 12.97: Schaltflächen *Synchronisation der Selektion*

Funktionen

Funktion	Wirkung
Farben	Der Dialog <i>Farben</i> wird aufgerufen, in dem die Farbeinstellungen für alle Elemente der Tabelle einzeln angepasst werden können.
Schriftarten	Der Dialog <i>Schriftart</i> wird aufgerufen. Dort können die Schriftart, der Stil und die Schriftgröße für die Tabellen geändert werden.
Aktuelles Objekt in Grafik selektieren 	Wenn diese Funktion aktiviert ist (Voreinstellung), werden die Objekte, die man gerade in der Tabelle bearbeitet, auch in der Grafik selektiert.
Selektiertes Objekt in Tabellen zeigen 	Wenn diese Funktion aktiviert ist (Voreinstellung), werden die in der Grafik selektierten Objekte auch in der Tabelle farblich hervorgehoben.

Tabelle 12.9: Tabelleneinstellungen

12.3.5 Filterfunktionen

In den Stab-Ergebnistabellen von Schnittgrößen, Kontaktkräften und Verformungen stehen diverse Filtermöglichkeiten zur Verfügung, die eine gezielte Auswertung ermöglichen.

Filterfunktionen aufrufen

Die Ergebnisfilter sind zugänglich über Menü

Tabelle → Ansicht → Ergebnisfilter

oder die entsprechende Schaltfläche in der Tabellen-Symbolleiste.

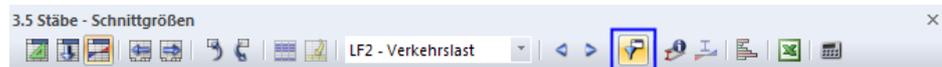


Bild 12.98: Schaltfläche *Ergebnisfilter*

Es wird folgender Dialog aufgerufen.

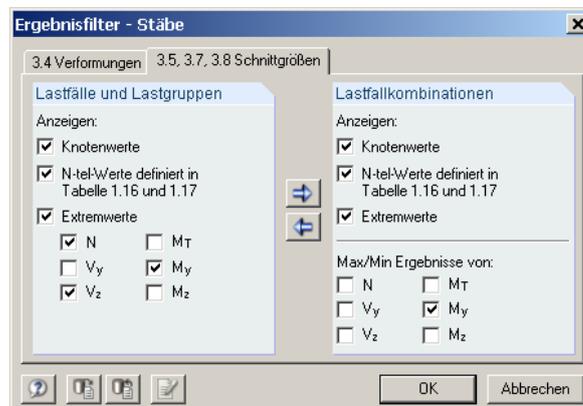


Bild 12.99: Dialog *Ergebnisfilter – Stäbe*

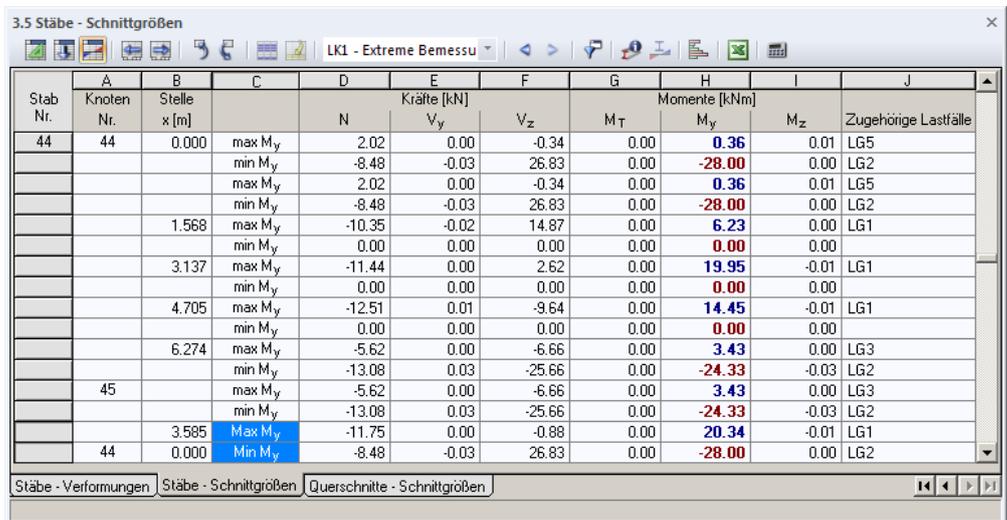
Die beiden Register steuern, welche Werte in den angegebenen Ergebnistabellen numerisch ausgewiesen werden.

Es wird für *Lastfälle und Lastfallgruppen* und *Lastfallkombinationen* getrennt festgelegt, ob die *Knotenwerte* (am Stabanfang und Stabende), die *N-tel-Werte* (an den Zwischenpunkten der benutzerdefinierten Stabteilung, vgl. Kapitel 5.16) sowie die *Extremwerte* stabweise in den Tabellen erscheinen sollen.

Es stehen sechs Kontrollfelder für die Schnittgrößen zur Verfügung, von denen mindestens eines aktiviert sein muss. Die Ergebnisse der gewählten Schnittgrößen werden an den oben festgelegten Stabstellen aufgelistet. Bei Lastfallkombinationen werden an diesen Stellen die minimalen und maximalen Schnittgrößen mit den zugehörigen Schnittgrößen ausgegeben.

Beispiel

Für den Stab 44 wurde manuell eine Stabteilung mit drei Zwischenpunkten definiert. Mit den im obigen Bild 12.99 dargestellten Filtereinstellungen für Lastfallkombinationen ergibt sich folgende Ergebnistabelle 3.5 *Stäbe - Schnittgrößen*.



Stab Nr.	Knoten Nr.	Stelle x [m]		N	Kräfte [kN]		M _T	Momente [kNm]			Zugehörige Lastfälle
					V _y	V _z		M _y	M _z		
44	44	0.000	max M _y	2.02	0.00	-0.34	0.00	0.36	0.01	LG5	
			min M _y	-8.48	-0.03	26.83	0.00	-28.00	0.00	LG2	
		max M _y	2.02	0.00	-0.34	0.00	0.36	0.01	LG5		
		min M _y	-8.48	-0.03	26.83	0.00	-28.00	0.00	LG2		
		1.568	max M _y	-10.35	-0.02	14.87	0.00	6.23	0.00	LG1	
		min M _y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
	3.137	max M _y	-11.44	0.00	2.62	0.00	19.95	-0.01	LG1		
	min M _y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
	4.705	max M _y	-12.51	0.01	-9.64	0.00	14.45	-0.01	LG1		
	min M _y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
	6.274	max M _y	-5.62	0.00	-6.66	0.00	3.43	0.00	LG3		
	min M _y	-13.08	0.03	-25.66	0.00	-24.33	-0.03	LG2			
45			max M _y	-5.62	0.00	-6.66	0.00	3.43	0.00	LG3	
			min M _y	-13.08	0.03	-25.66	0.00	-24.33	-0.03	LG2	
			max M _y	-11.75	0.00	-0.88	0.00	20.34	-0.01	LG1	
44	0.000	Min M _y	-8.48	-0.03	26.83	0.00	-28.00	0.00	LG2		

Bild 12.100: Ergebnisse gefiltert nach Knotenwerten, Teilungspunkten und Extremwerten M_y

Die maximalen und minimalen Biegemomente M_y werden in Fettschrift an den Knoten, den Teilungspunkten und an den Stellen der absoluten Extremwerte ausgewiesen. Letztere erscheinen in Großbuchstaben als *Max M_y* und *Min M_y* am Ende der Liste (vgl. Markierung im obigen Bild). Bei den Werten in den übrigen Spalten handelt es sich um die zugehörigen Schnittgrößen der jeweiligen Maximal- und Minimalwerte.

12.3.6 Tabellen importieren und exportieren

Eine Tabelle aus MS Excel oder Open Office.org Calc kann direkt in die aktuelle Eingabetabelle von RFEM importiert werden. Die Programme müssen im Hintergrund geöffnet sein. Umgekehrt lässt sich die aktuelle RFEM-Tabelle auch ganz oder teilweise an Excel oder Open Office.org Calc übergeben.

Import- und Exportfunktion aufrufen

Die Funktion wird über die [Excel]-Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen aufgerufen.



Bild 12.101: Schaltfläche *Import/Export der Tabelle* in der Tabellen-Symbolleiste

Damit sind die beiden Dialoge *Tabelle importieren* und *Tabelle exportieren* zugänglich.

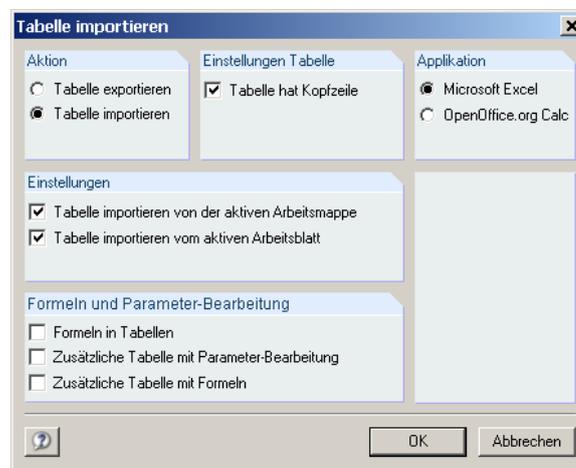


Bild 12.102: Dialog *Tabelle importieren*

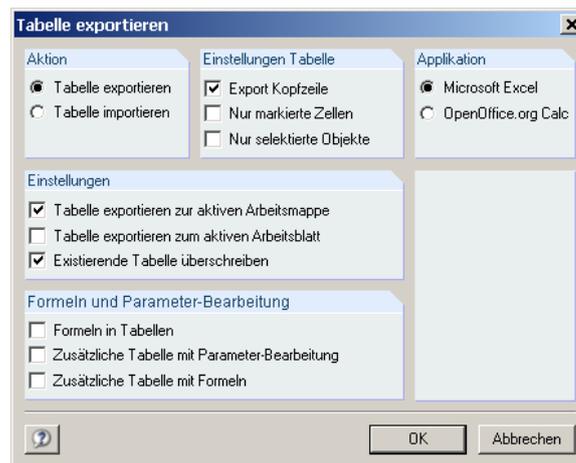


Bild 12.103: Dialog *Tabelle exportieren*

Tabelle importieren

Die Excel- oder OpenOffice-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* stehen die Tabellenkalkulationsprogramme MS Excel und OpenOffice.org Calc zur Auswahl.

Der Abschnitt *Einstellungen* steuert, ob die aktive Arbeitsmappe oder nur das aktive Arbeitsblatt eingelesen werden. 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 ggf. hinterlegte Formeln übergeben werden.

[OK] startet dann den Importvorgang.



Sollen nur bestimmte Teile des Arbeitsblattes übertragen werden, ist die Kopierfunktion zu empfehlen: Markieren Sie den 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 den Inhalt der Zwischenablage dort mit [Strg]+[V] ein.

Tabelle exportieren

Für den Export von RFEM-Tabellen brauchen MS Excel oder Open Office.org Calc nicht im Hintergrund laufen.

Im Abschnitt *Einstellungen Tabelle* wird festgelegt, ob die Kopfzeilen ebenfalls exportiert werden. Ist das Kontrollfeld aktiv, sieht das Ergebnis in Excel so aus:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Knoten	Bezugs-	Koordinaten-	Knotenkoordinaten			
2	Nr.	Knoten	System	X [m]	Y [m]	Z [m]	Kommentar
3	1	0	Kartesisch	0,000	0,000	0,000	Gelagert
4	2	0	Kartesisch	25,000	0,000	0,000	Gelagert
5	3	0	Kartesisch	0,000	0,000	-6,000	
6	4	0	Kartesisch	3,000	0,000	-6,261	
7	5	0	Kartesisch	6,250	0,000	-6,546	
8	6	0	Kartesisch	12,500	0,000	-7,094	
9	7	0	Kartesisch	18,750	0,000	-6,546	
10	8	0	Kartesisch	22,000	0,000	-6,261	
11	9	0	Kartesisch	25,000	0,000	-6,000	

Bild 12.104: Excel-Tabelle mit exportierten Kopfzeilen

Ist das Kontrollfeld nicht aktiv, wird nur der Tabelleninhalt an Excel übergeben.

	A	B	C	D	E	F	G
1	1	0	Kartesisch	0,000	0,000	0,000	Gelagert
2	2	0	Kartesisch	25,000	0,000	0,000	Gelagert
3	3	0	Kartesisch	0,000	0,000	-6,000	
4	4	0	Kartesisch	3,000	0,000	-6,261	
5	5	0	Kartesisch	6,250	0,000	-6,546	
6	6	0	Kartesisch	12,500	0,000	-7,094	
7	7	0	Kartesisch	18,750	0,000	-6,546	
8	8	0	Kartesisch	22,000	0,000	-6,261	
9	9	0	Kartesisch	25,000	0,000	-6,000	

Bild 12.105: Excel-Tabelle ohne Kopfzeilen

Das Kontrollfeld *Nur markierte Zellen* ist nur dann zugänglich, wenn zuvor eine Selektion in der Tabelle vorgenommen wurde (vgl. Kapitel 12.3.2, Seite 409). Dieses Kontrollfeld steuert, ob diese Selektion oder die ganze Tabelle exportiert wird. Die Option *Nur selektierte Objekte* ermöglicht die Übergabe ausgewählter Zeilennummern.

Als *Applikation* stehen die Tabellenkalkulationsprogramme MS Excel und OpenOffice.org Calc zur Auswahl.

Der Abschnitt *Einstellungen* steuert, ob die aktuelle Arbeitsmappe des geöffneten Tabellenkalkulationsprogramms verwendet wird. Wenn dieses Kontrollfeld deaktiviert ist, wird eine neue Arbeitsmappe angelegt. Gleiches gilt für die Option *Tabelle exportieren zum aktiven Arbeitsblatt*. Falls dieses Kontrollfeld aktiviert ist, wird das aktuelle Arbeitsblatt benutzt und ggf. überschrieben.

Ist das Kontrollfeld *Existierende Tabelle überschreiben* aktiviert, wird in der Arbeitsmappe eine Tabelle mit dem gleichen Namen wie in RFEM gesucht und dann überschrieben.



Der Exportvorgang der aktuellen RFEM-Tabelle wird mit [OK] gestartet. Wenn man mehrere Tabellen auf einmal an Excel übergeben möchte, ist die Menüfunktion **Datei** → **Exportieren** zu empfehlen (siehe Kapitel 13.5.2.5, Seite 490). Dort können die Tabellen für den Export gezielt ausgewählt werden.

12.4 Parametrisierte Eingabe

12.4.1 Konzept

Die parametrisierte Eingabe gestattet es, die Struktur- 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 einer Parameterliste abgelegt.

Die Parameter können in Formeln benutzt werden, um einen Zahlenwert zu ermitteln. Diese Formeln werden mit dem Formeleditor bearbeitet.

Wenn in der Parameterliste ein Parameter geändert wird, so werden die Ergebnisse aller Formeln, die diesen Parameter benutzen, angepasst.

Die parametrisierte Eingabe empfiehlt sich für Projekte, in denen viele Änderungen zu erwarten sind. Die hinterlegten Formeln sind gut nachvollziehbar, sie tragen auch zu einer verbesserten Übersicht bei größeren Strukturen bei. Natürlich bietet sich die parametrisierte Eingabe auch für die wiederkehrende Bearbeitung ähnlicher Strukturen an. Man lädt dann einfach eine Musterposition und passt die Parameter an.

12.4.2 Parameterliste

In der Parameterliste werden alle Parameter gespeichert.

Parameterliste aufrufen

Die Parameterliste ist zugänglich über die Schaltfläche [Parameter bearbeiten]

- in der Symbolleiste der Tabellen oder



Bild 12.106: Schaltfläche *Parameter bearbeiten* in der Tabellen-Symbolleiste

- im Formeleditor.

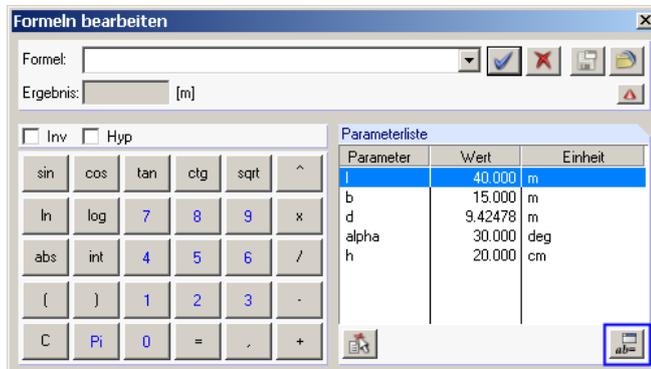


Bild 12.107: Schaltfläche *Parameter bearbeiten* im Formeleditor



Beschreibung

Es wird der folgende Dialog aufgerufen.

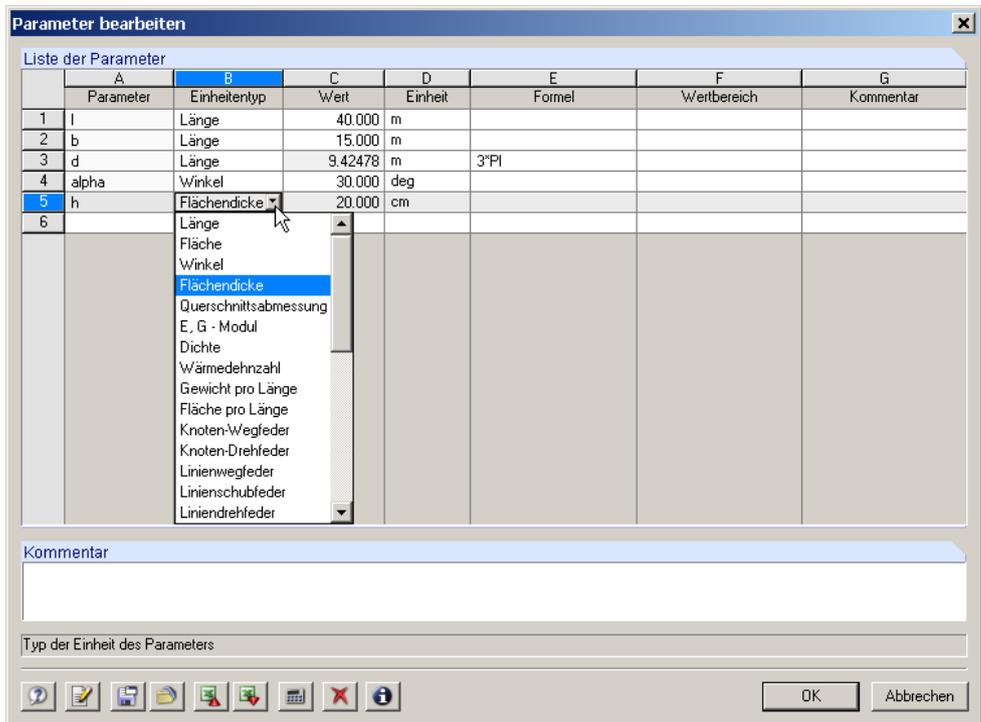


Bild 12.108: Dialog *Parameter bearbeiten*

In jeder Zeile der Tabelle wird ein *Parameter* definiert. In Spalte **A** kann ein Name vergeben werden, 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** wird der *Einheitentyp* festgelegt, d. h. es wird bestimmt, ob der Parameter eine Länge, Last, Dichte etc. darstellt. Die Einheitentypen sind fest vordefiniert. Die Liste kann in dieser Spalte mit der Kontextschaltfläche [▼] oder mit [F7] aufgerufen werden.

In Spalte **C** wird der *Zahlenwert* des Parameters festgelegt.

Die *Einheit* wird in Spalte **D** angegeben. Die Liste der verfügbaren Einheiten kann in dieser Spalte mit der Kontextschaltfläche [▼] oder mit [F7] aufgerufen werden.

In Spalte **E** kann für jeden Parameter eine *Formel* hinterlegt werden. Neben allgemeinen mathematischen Operationen sind Wahrheitsprüfungen mit **If** sowie **Max-/Min**-Funktionen möglich.

Beispiele

if(A<B;10;B) Wenn der Parameter A kleiner ist als der 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 kleinere Wert wird dann angesetzt.

In Spalte **F** kann ein *Wertbereich* festgelegt werden, um die Werte der Spalte C zu steuern.

Die Spalte **G** steht für beliebige *Kommentare* zur Verfügung.

Eingabefunktionen

Die Parameter können einzeln eingegeben werden. Für eine rationelle Eingabe stehen auch verschiedene Werkzeuge zur Verfügung, die mit einem Klick der rechten Maustaste auf eine Zelle genutzt werden können.

Eine detaillierte Beschreibung dieser Bearbeitungsfunktionen finden Sie im Kapitel 12.3.1 auf Seite 405.

Wenn mehrere Zellen als Selektion markiert sind, ist folgendes Kontextmenü verfügbar.

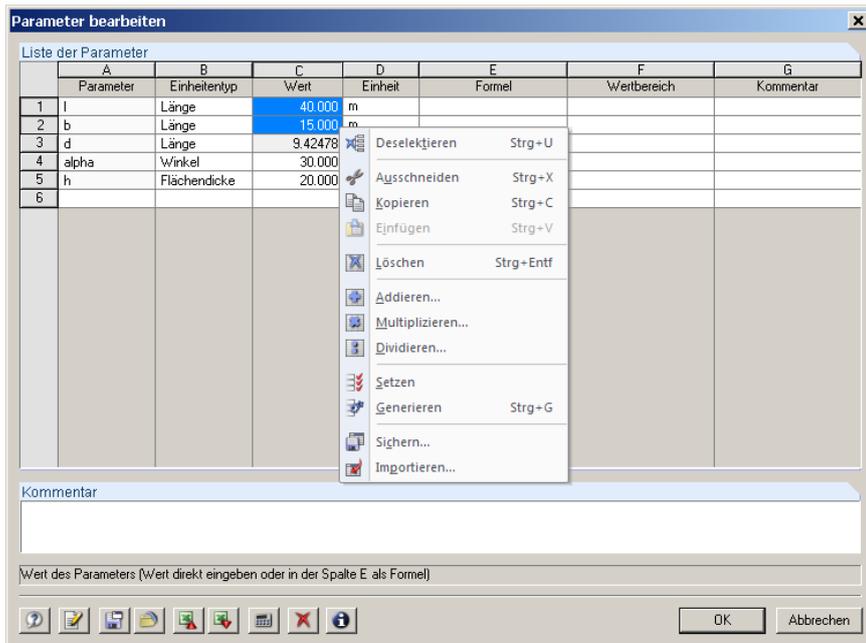


Bild 12.109: Kontextmenü einer Selektion der Parameterliste

Die Selektionsfunktionen finden Sie im Kapitel 12.3.2 auf Seite 409 erläutert.

Schaltflächen

Die Standardschaltflächen in diesem Dialog sind mit folgenden Funktionen belegt.

Schaltfläche	Beschreibung
	Die Hilfe zu diesem Dialog wird aufgerufen.
	Anwenden: Die Änderungen werden ohne Schließen des Dialogs wirksam.
	Die Parameterliste wird in einer Datei abgespeichert.
	Eine abgespeicherte Parameterliste wird eingelesen.
	Die Parameterliste wird nach MS Excel exportiert.
	Die Daten einer 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 der Position werden aufgerufen.

Tabelle 12.10: Dialog *Parameter bearbeiten*: Schaltflächen

12.4.3 Formeleditor

Im Formeleditor werden die Gleichungen für die parametrisierte Eingabe hinterlegt.

Formeleditor aufrufen

Der Formeleditor ist zugänglich über



- die Schaltfläche in der Symbolleiste der Tabellen,



Bild 12.110: Schaltfläche *Formel bearbeiten* in der Tabellen-Symbolleiste

- einen Klick auf die gelbe oder rote Ecke in einer Tabellenzelle (eine rote Ecke weist auf einen Fehler in der Formel hin) oder

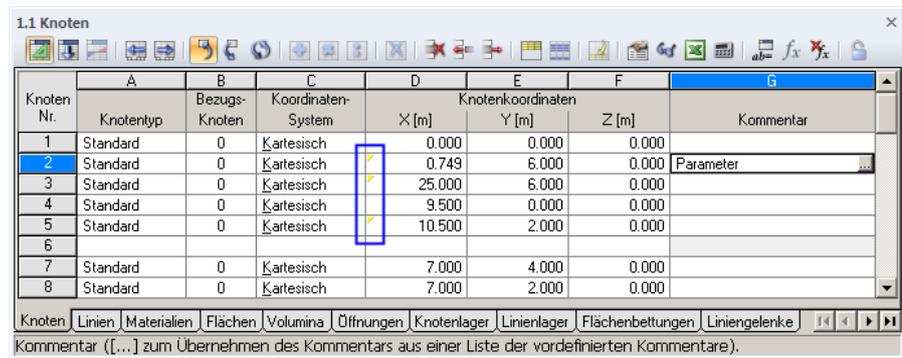


Bild 12.111: Markierte Zellenecken in der Tabelle

- die Funktionsschaltflächen hinter den Eingabefeldern in den Dialogen.

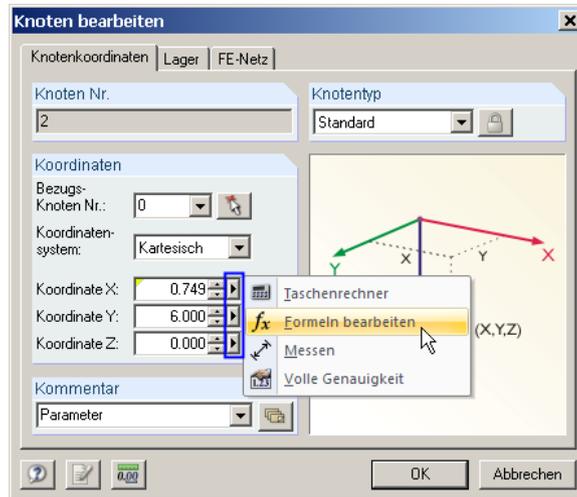


Bild 12.112: Funktionsschaltflächen mit Kontextmenü im Dialog

Es können auch Formeln importiert werden, die in Excel hinterlegt sind. Umgekehrt lassen sich Formeln von RFEM nach Excel exportieren. Weitere Hinweise zum Datenaustausch mit Excel finden Sie im Kapitel 13.5.2.5 auf Seite 490.

Beschreibung

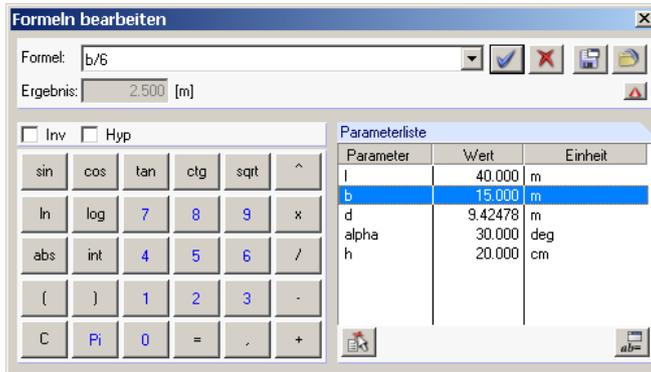


Bild 12.113: Dialog *Formeln bearbeiten*

In das Eingabefeld *Formel* kann eine beliebige Formel per Hand eingetragen werden. Wenn man den Taschenrechner benutzt, werden dessen Ergebnisse automatisch übernommen.



Bild 12.114: Formel im Formeleditor



Die Formel kann konstante Zahlenwerte, Parameter oder Funktionen enthalten. Das Ergebnis dieser Gleichung wird sofort im Feld unterhalb angezeigt. Über die Schaltfläche [▼] am Ende des Eingabefeldes *Formel* erscheint eine Liste aller bereits eingegebenen Formeln, die wieder verwendet werden können.



Ein Klick auf die Schaltfläche [✓] übernimmt die Formel in die Zelle der Tabelle bzw. das Eingabefeld des Dialogs. Die Schaltfläche [×] löscht die Formelzeile. Bei Fehlern werden die Formeln im *Formel*-Eingabefeld rot angezeigt.



In Formeln können auch die Inhalte anderer Zellen verarbeitet werden.



Bild 12.115: 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*P). Werden Werte in der Formel verwendet (z. B. =22.1 + A*H), so werden diese mit SI-Einheiten [m, N] versehen.

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
<input type="checkbox"/> 	Umkehrfunktion, z. B. $inv\ sqrt(5)$ bedeutet 5^2
<input type="checkbox"/> 	Hyperbelfunktion

Tabelle 12.11: Funktionen des Taschenrechners



Im Abschnitt *Parameterliste* des Formeleditors sind alle Parameter mit den aktuellen Werten aufgelistet. Man kann dort einen bestimmten Parameter per Doppelclick oder über die Schaltfläche [Parameter übernehmen] in die Formelzeile übertragen.



Mit der Schaltfläche [Parameter bearbeiten] kann die Parameterliste aufgerufen werden (siehe Kapitel 12.4.2, Seite 420).

Schaltflächen

Die Standardschaltflächen in diesem Dialog haben folgende Bedeutung.

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 12.12: Dialog *Formel bearbeiten*: Schaltflächen

12.4.4 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 markiert sind, so ist eine Formel hinterlegt (vgl. Bild 12.111, Seite 423). Ein Klick auf dieses Dreieck öffnet den Formeleditor.



Um einer neuen Zelle eine Formel zu hinterlegen, setzt man den Cursor in diese Zelle und ruft den Formeleditor mit der entsprechenden Schaltfläche auf.



Bild 12.116: Schaltfläche *Formel bearbeiten* in der Tabellen-Symbolleiste



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 wurde in erster Linie für die Anwendung in Tabellen entwickelt. Es ist aber auch möglich, Formeln in Dialogen zu benutzen.



Wenn Eingabefelder in Dialogen mit Formeln hinterlegt werden können, so ist dies an der Funktionsschaltfläche rechts neben dem Eingabefeld zu erkennen.

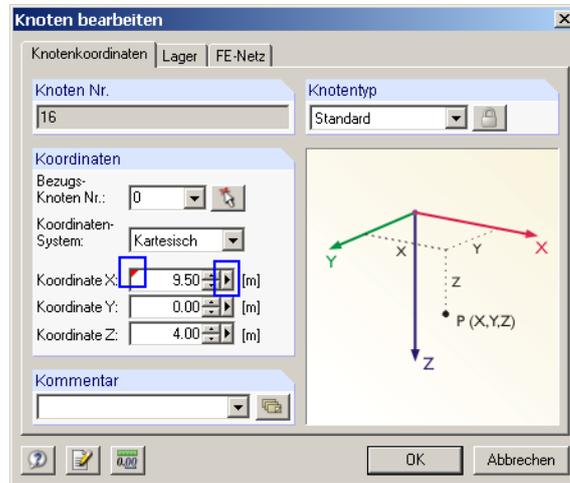


Bild 12.117: Dialog mit hinterlegter Formel und Funktionsschaltfläche

Ist bereits eine Formel hinterlegt, wird das Eingabefeld wie eine Zelle mit einem gelben oder roten Dreieck gekennzeichnet.

Mit einem Klick auf die Funktionsschaltfläche öffnet sich das im Bild 12.112 auf Seite 423 gezeigte Kontextmenü. Hier kann dann der Formeleditor aufgerufen werden.

12.5 Struktur- und Belastungsgenerierer

RFEM bietet diverse Werkzeuge an, mit denen Strukturen oder Teile davon schnell erzeugt werden können. Eine weitere Gruppe von Generierern vereinfacht das Zuweisen von Stab-, Flächen- und Ummantelungslasten.

Auf eine detaillierte Beschreibung der Generiererdialoge wird verzichtet. Für das Verständnis der einzelnen Parameter sind die Grafiken in diesen Dialogen hilfreich.

12.5.1 Strukturgenerierer

Die Dialoge, mit denen Strukturobjekte erzeugt werden können, sind zugänglich im Menü

Extras → Struktur generieren - Stäbe bzw.

Extras → Struktur generieren - Flächen.



Jede Dialogeingabe kann als Muster abgespeichert und wiederverwendet werden. Die beiden links dargestellten Schaltflächen steuern das [Speichern] und [Einlesen] der Generiererdaten.

Die diversen Stab- und Flächengenerierer werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Durchlaufträger

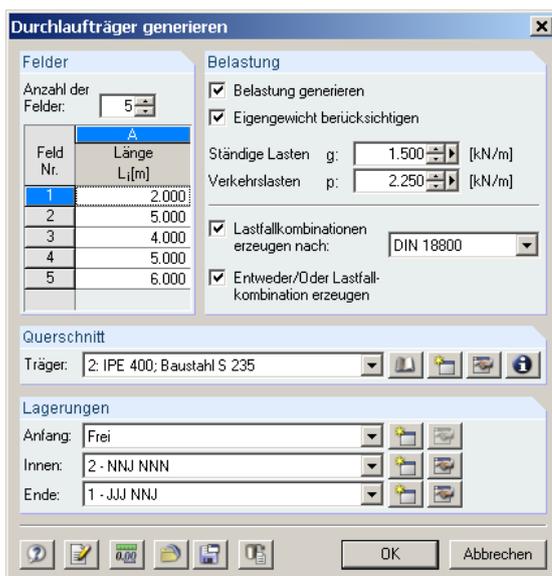


Bild 12.118: Dialog *Durchlaufträger generieren*

In diesem Dialog kann ein Durchlaufträger mit Lagern und unregelmäßigen Feldern erzeugt werden. Optional werden auch Lastfälle und Lastfallkombinationen angelegt.

2D-Rahmen

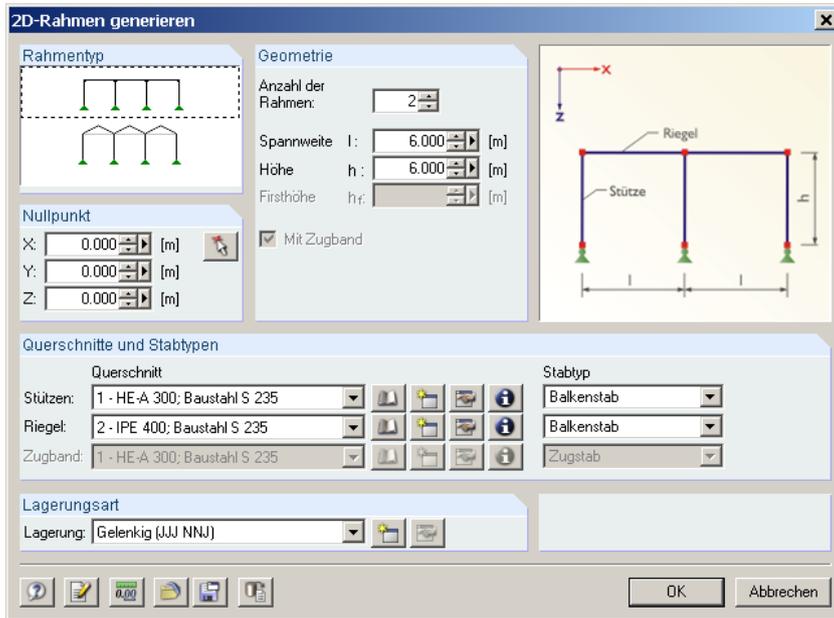


Bild 12.119: Dialog 2D-Rahmen generieren

Es sollte zunächst der *Rahmentyp* ausgewählt werden, ehe man die Strukturdaten definiert. In diesem Dialog wird die Lagerung des ebenen Rahmens einheitlich festgelegt.

2D-Rahmen mit Vouten

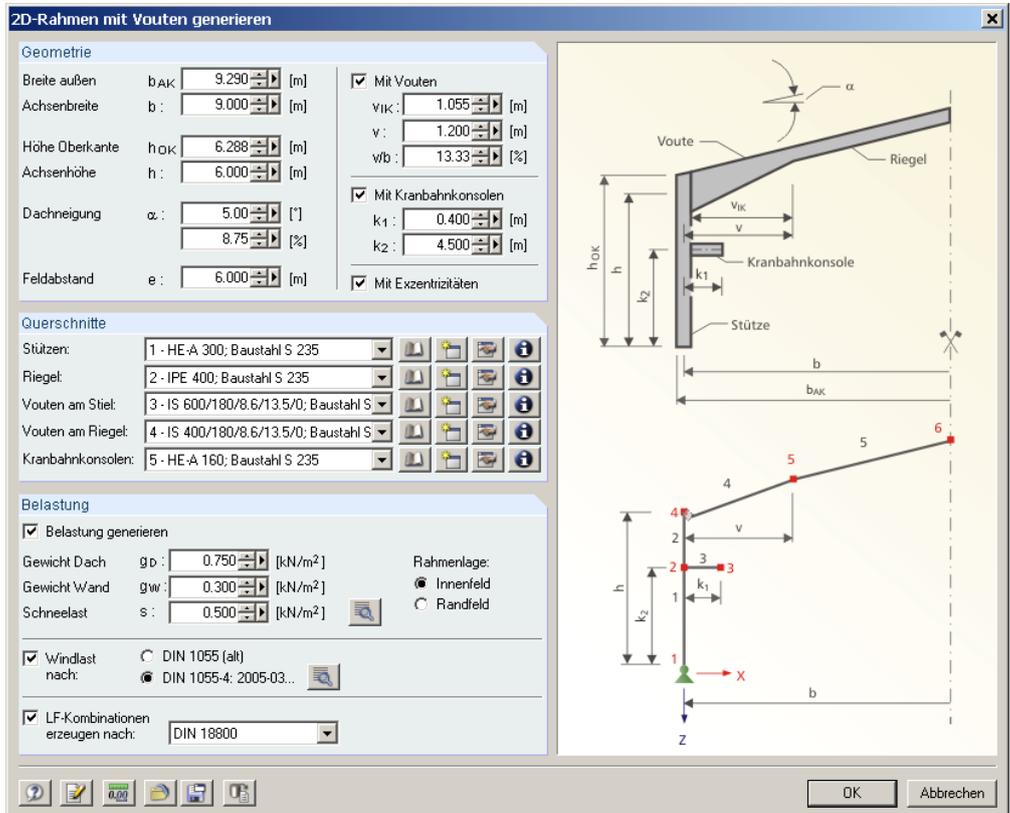


Bild 12.120: Dialog 2D-Rahmen mit Vouten generieren

Der ebene Rahmen wird durch die Eingabe der *Geometrie* definiert. Es sind Vouten, Kranbahnkonsolen und exzentrische Anschlüsse möglich. Zusätzlich kann eine *Belastung* erzeugt werden. Die Auswahlfelder *Rahmenlage* in diesem Abschnitt steuern die Lastermittlung.

2D-Fachwerkbinder

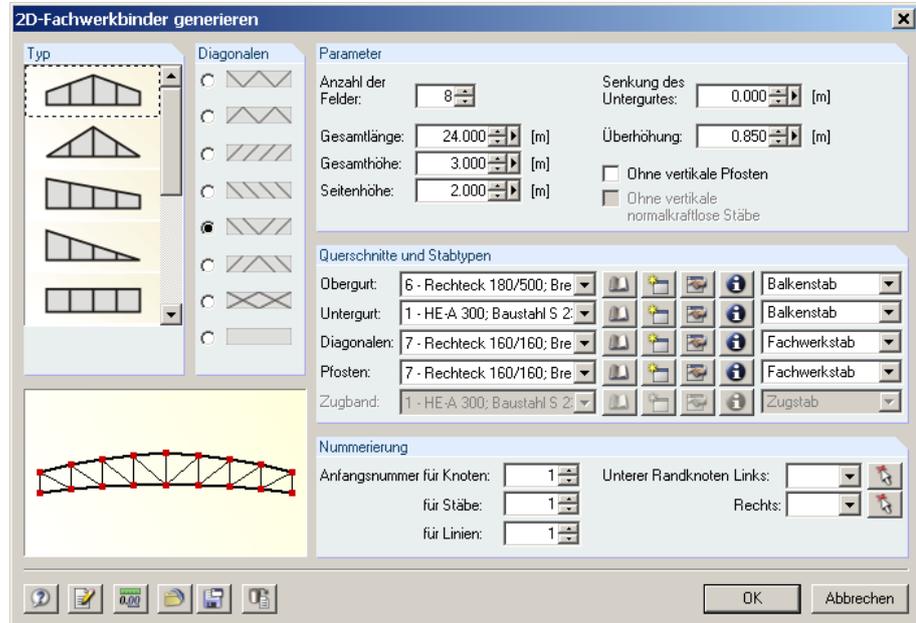


Bild 12.121: Dialog 2D-Fachwerkbinder generieren

In der Liste werden der *Typ* des Fachwerks und die Anordnung der *Diagonalen* festgelegt. Anschließend gibt man die übrigen Parameter an.

Raster

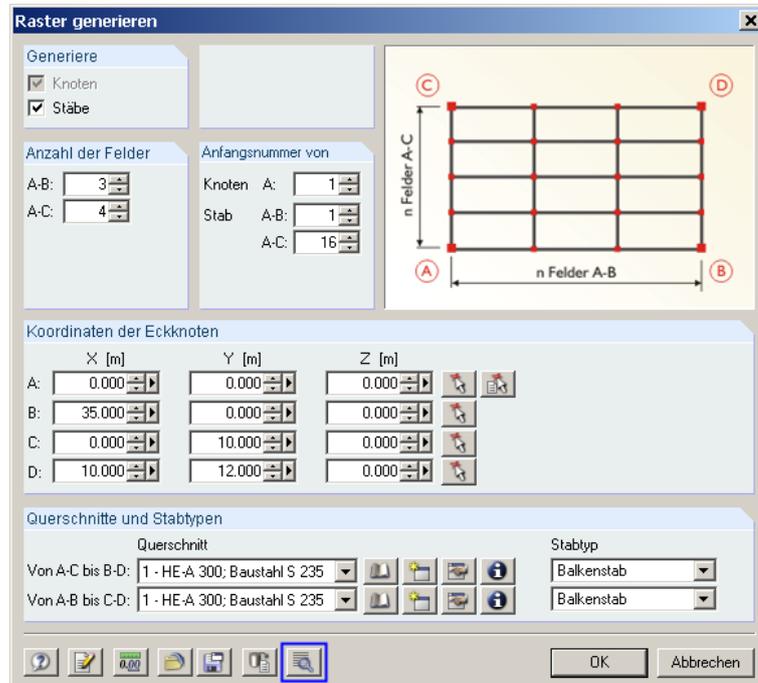


Bild 12.122: Dialog Raster generieren

Mit diesem Generierer lassen sich Strukturen erstellen, die ein gleichmäßiges Raster aufweisen (z. B. Trägerroste). Diese brauchen nicht wie in der Dialoggrafik dargestellt mit rechten

Winkeln ausgeführt werden. Es sind beliebige räumliche Quadranglestrukturen über die vier Eckpunkte möglich. Um einen „echten“ Trägerrost zu erzeugen, sollte man bei den Basisangaben der Position den *Typ der Struktur* auf **Platte XY** setzen (vgl. Kapitel 13.2, Seite 475).

Über die Schaltfläche [Erweitert] können auch unregelmäßige Raster generiert werden.

Stütze

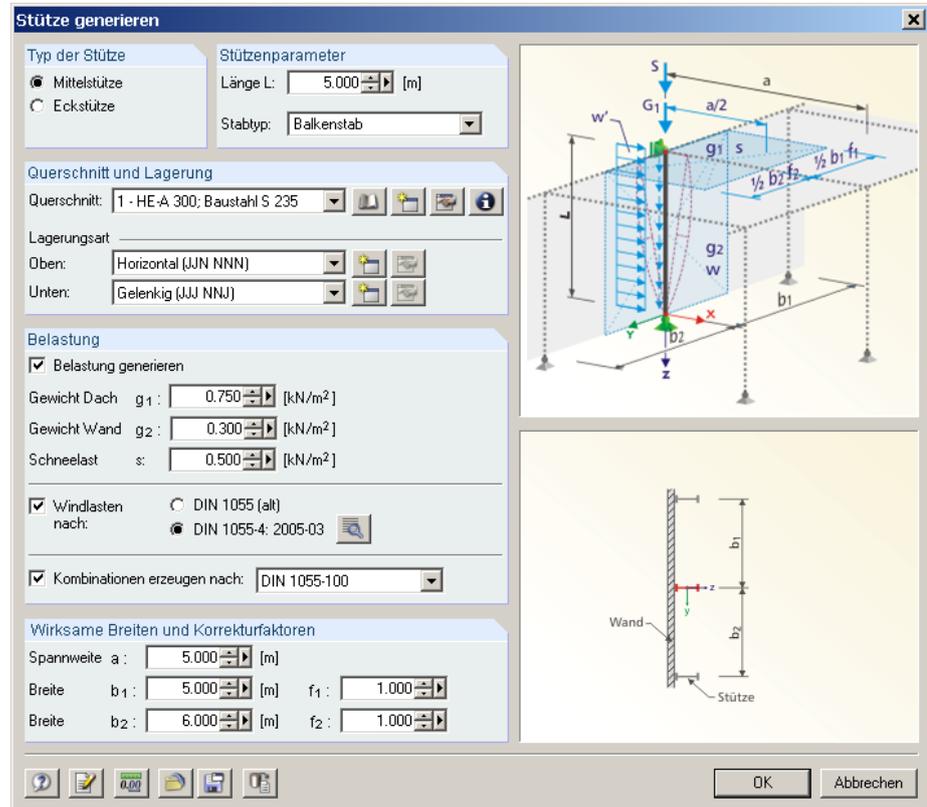


Bild 12.123: Dialog *Stütze generieren*

Im Abschnitt *Typ der Stütze* wird festgelegt, ob es sich um eine Mittel- oder Eckstütze handelt. Falls eine *Belastung* generiert wird, 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 *f₁* und *f₂* können die geometrischen Breiten *b₁* und *b₂* für das statische Modell skaliert oder spezielle Normauflagen berücksichtigt werden (z. B. Lasterhöhungsfaktoren für Einzelnachweise).



Dachgenerierer

Im Menüeintrag *Dach* stehen drei verschiedene Dachgenerierer zur Auswahl, um ebene Dachsysteme einschließlich Belastung zu erzeugen. Die Ermittlung der Wind- und Schneelasten wird über die [Details]-Schaltflächen in diesen Dialogen erheblich erleichtert.

Dach → Kehlbalkendach

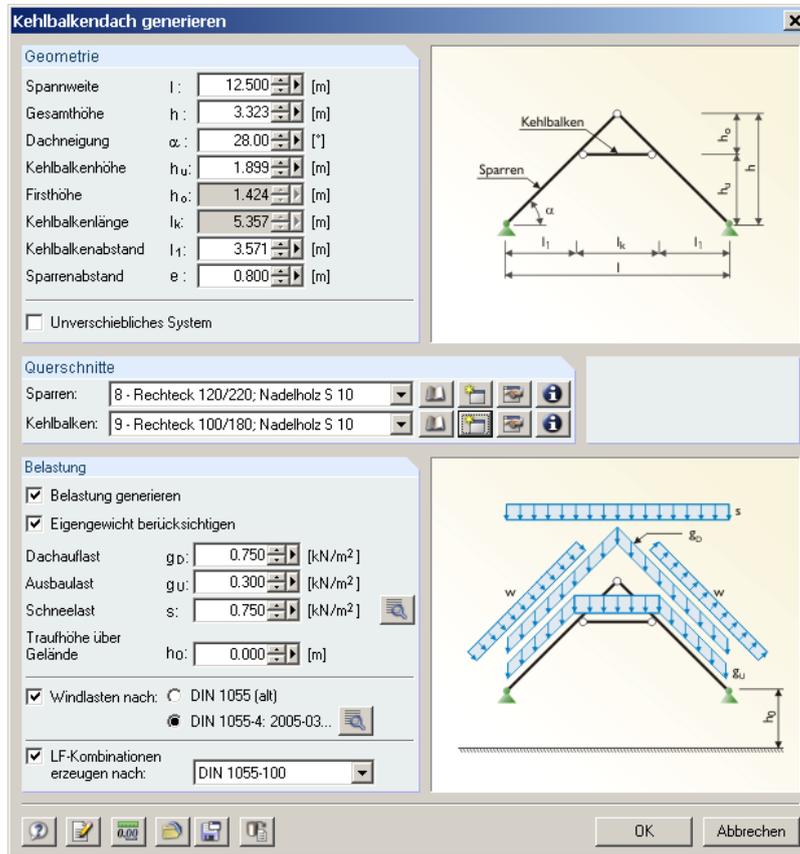


Bild 12.124: Dialog *Kehlbalkendach generieren*

Dach → Sparrendach

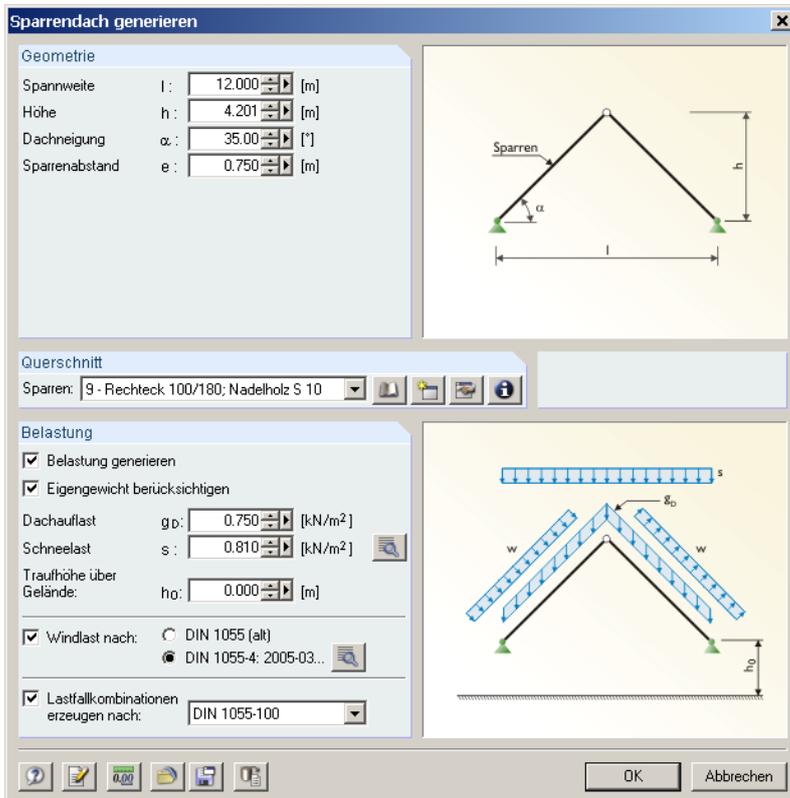


Bild 12.125: Dialog Sparrendach generieren

Dach → Pfettendach

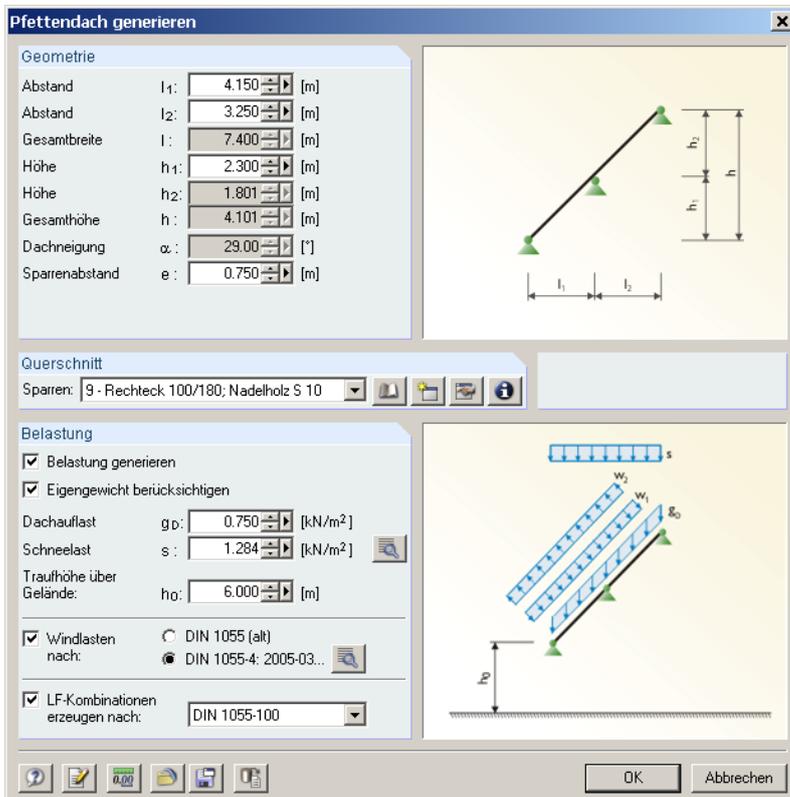


Bild 12.126: Dialog Pfettendach generieren

Fischbauchträger

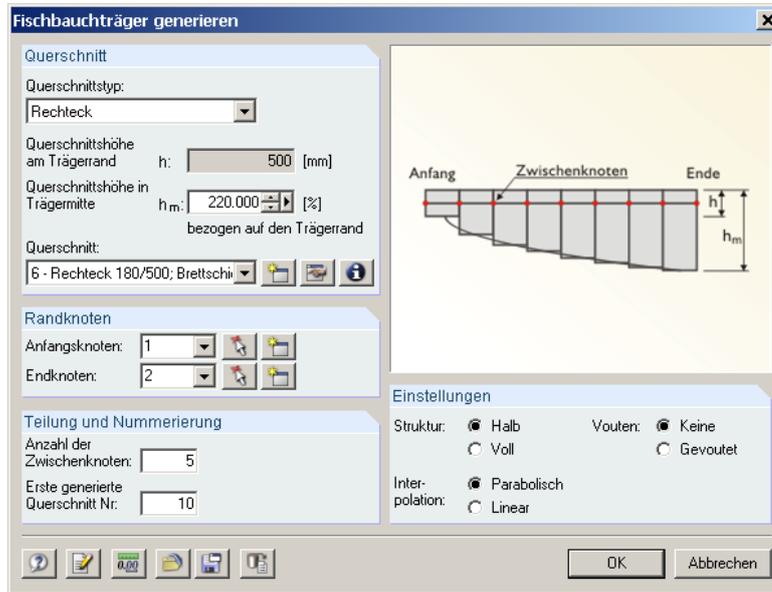


Bild 12.127: Dialog *Fischbauchträger generieren*

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

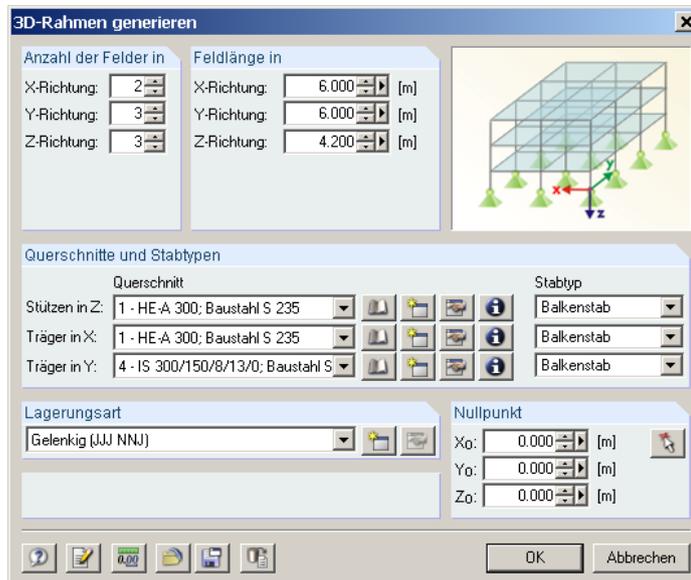


Bild 12.128: Dialog *3D-Rahmen generieren*

Mit diesem Generierer können regelmäßige Rahmenstrukturen erzeugt werden. In diesem Dialog wird die Lagerung einheitlich für alle Stützen festgelegt.

3D-Halle

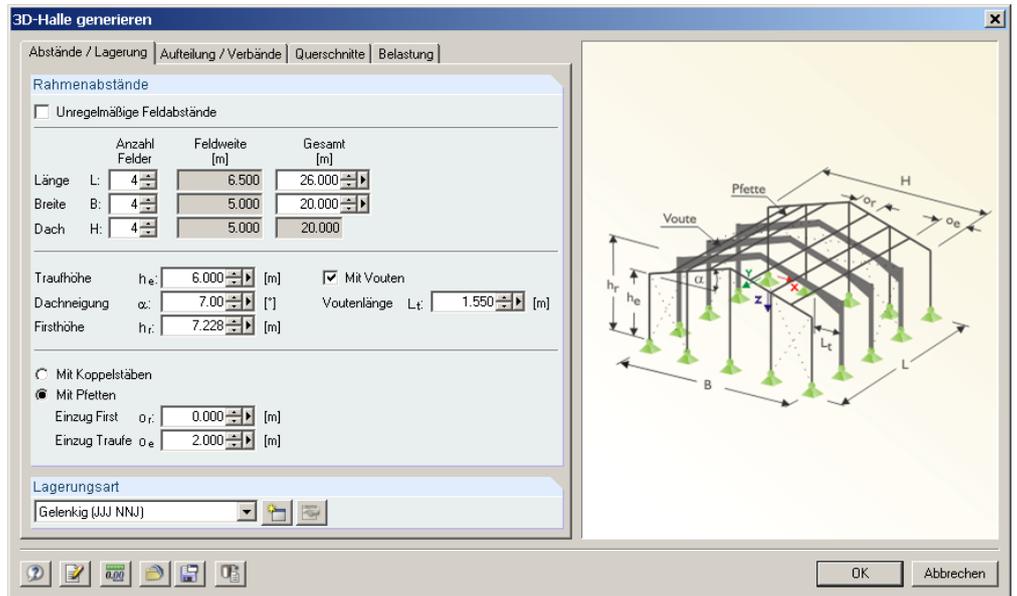


Bild 12.129: Dialog 3D-Halle generieren

Mit diesem umfangreichen Generierer wird eine ganze Halle inklusive Belastung erzeugt. Im Dialog stehen vier Register zur Verfügung: *Abstände/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

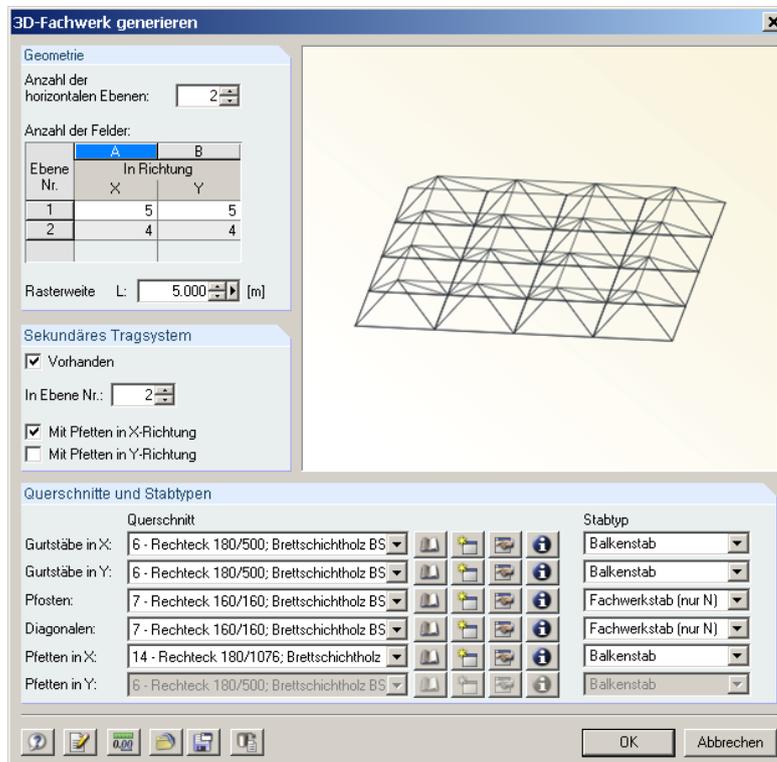


Bild 12.130: Dialog 3D-Fachwerk generieren

Es wird ein Raumtragwerk nach dem System *Bernauer* (www.raumtragwerke.de) erzeugt.

Wendeltreppe

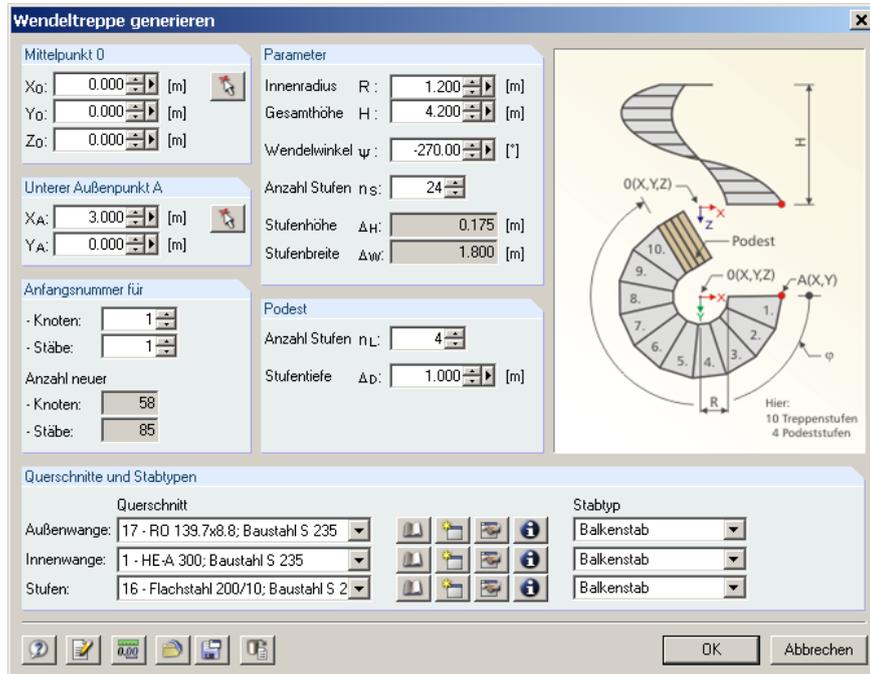


Bild 12.133: Dialog *Wendeltreppe generieren*

Linie

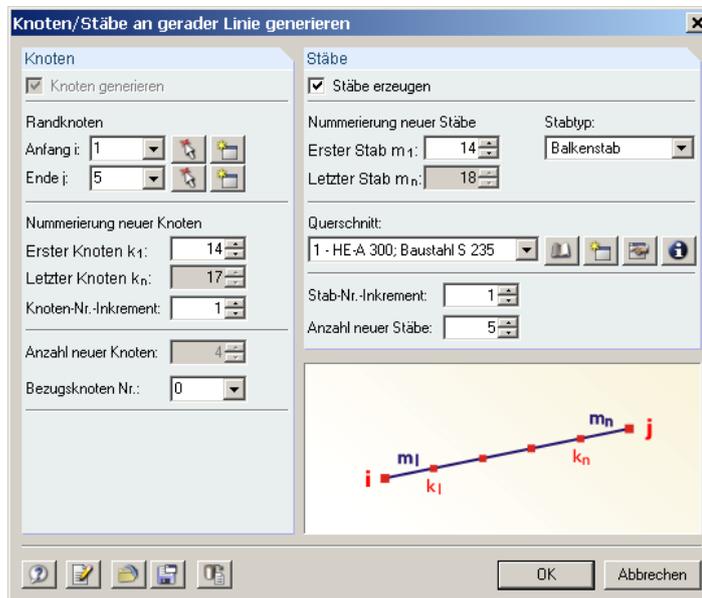


Bild 12.134: Dialog *Knoten/Stäbe an gerader Linie generieren*

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

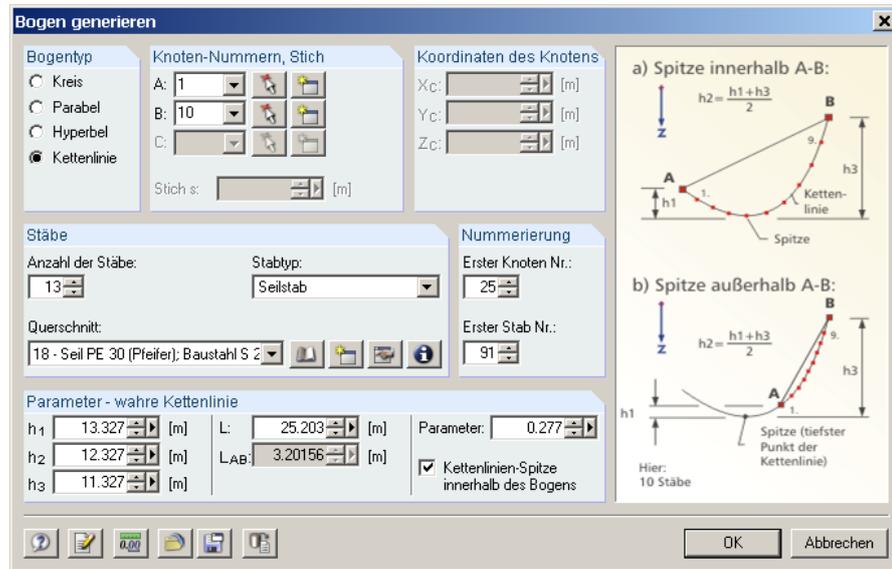


Bild 12.135: Dialog *Bogen generieren*

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 s* wird der Durchhang festgelegt. Bei einer Kettenlinie legt der *Parameter L* die Länge der Kettenlinie fest. Es besteht eine Interaktion mit den Höhen h_1 , h_2 und h_3 . Der *Parameter* beschreibt die Konstante a in folgender Funktionsgleichung der Kettenkurve:

$$y(x) = a \cdot \cosh\left(\frac{x - v_x}{a}\right) + v_y \quad \text{mit } v_x \text{ bzw. } v_y : \text{ Verschiebungen in } x \text{ bzw. } y$$

Gleichung 12.1

Je größer die Anzahl der Stäbe, desto genauer wird der Bogen als Polygonzug modelliert.

Kreis

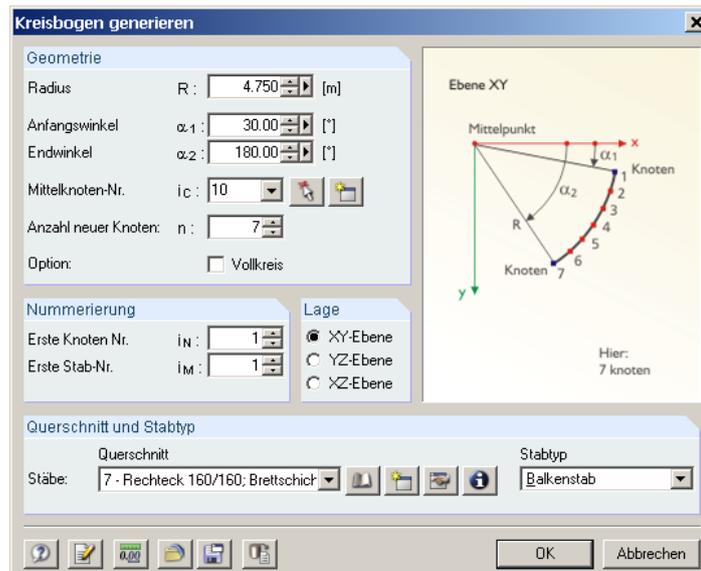


Bild 12.136: Dialog *Kreisbogen generieren*

Der *Radius* und die *Winkel* definieren einen Kreisbogen bzw. Vollkreis, der um einen frei wählbaren Mittelpunkt in einer der globalen Ebenen erzeugt wird.

Kugel

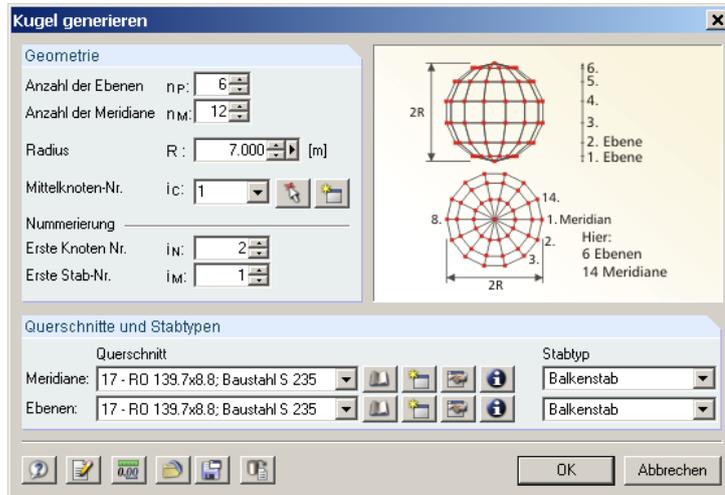


Bild 12.137: Dialog *Kugel generieren*

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

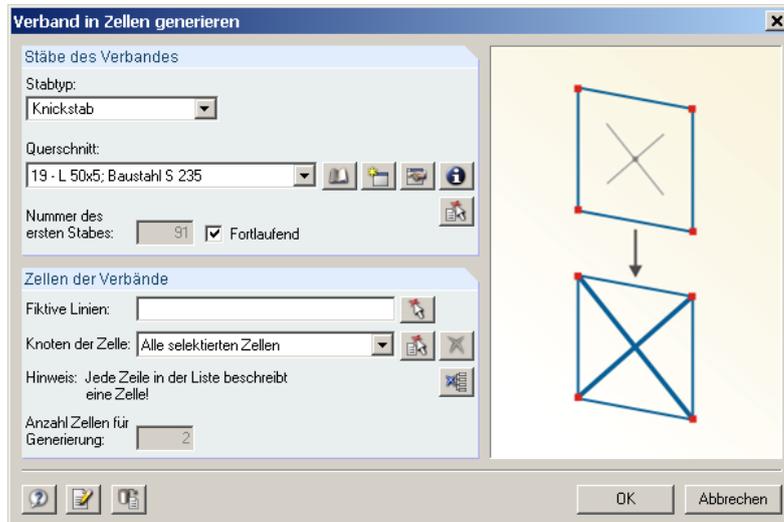


Bild 12.138: Dialog *Verband in Zellen generieren*



Zellen sind durch vier Eckknoten gebildete, allseitig mit Stäben umschlossene Bereiche, die in einer Ebene liegen. Im Dialog werden die Verbandsstäbe und die Zellen angegeben bzw. über [Pick] im grafischen Arbeitsfenster durch Anklicken der Zellenkreuze ausgewählt.

Gewölbter Boden nach DIN 28 011 bzw. DIN 28 013

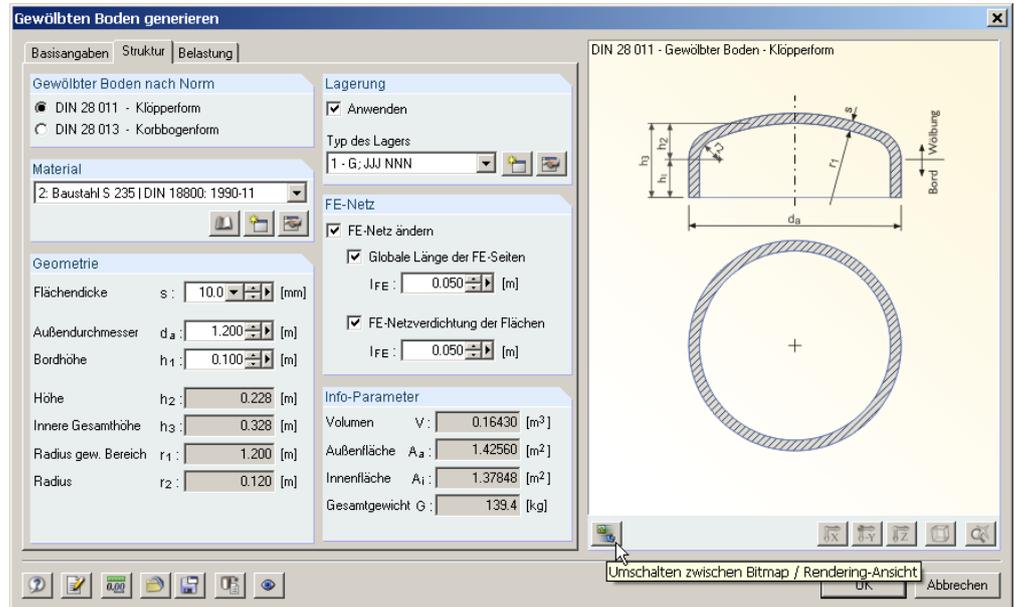


Bild 12.139: Dialog *Gewölbten Boden generieren*, Register *Struktur*

Für die Generierung eines gewölbten Bodens werden die Normvarianten *Klöpferform* und *Korbbogenform* angeboten. Ist im Register *Basisangaben* der Bezugspunkt zur Platzierung des Bodens festgelegt, werden im Register *Struktur* das Material und die Generierparameter Flächendicke, Außendurchmesser und Bordhöhe definiert. Optional wird im letzten Register *Belastung* ein Überdruck als Flächenlast zur Generierung mit vorgegeben.

Tonnendach

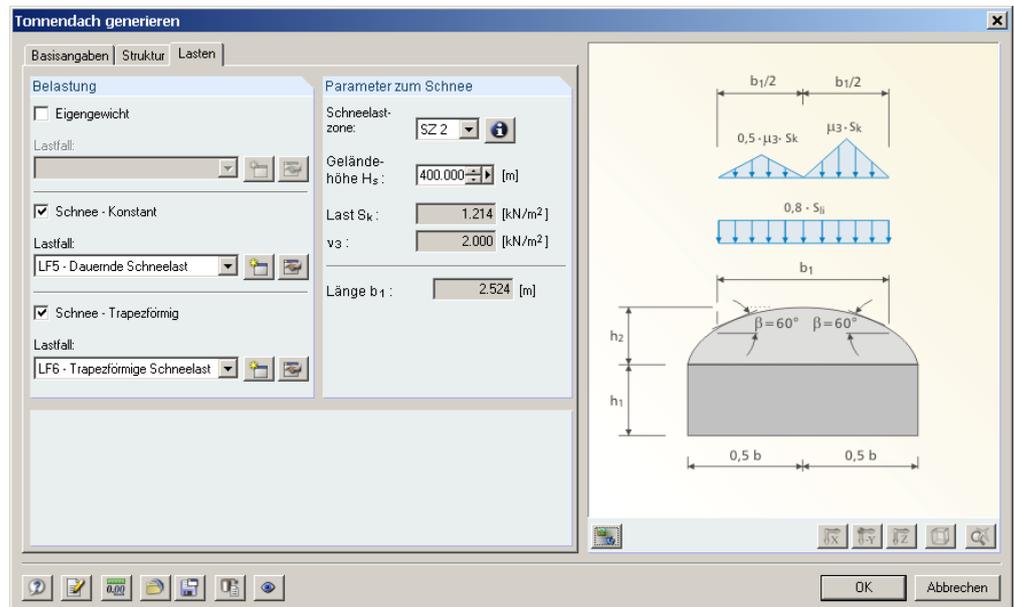


Bild 12.140: Dialog *Tonnendach generieren*, Register *Belastung*

Die Parameter des Tonnendachs werden in den Registern *Basisangaben* und *Struktur* definiert. Im Register *Lasten* erfolgen die Angaben zur Erzeugung der Schneelastfälle.

Kuppeldach

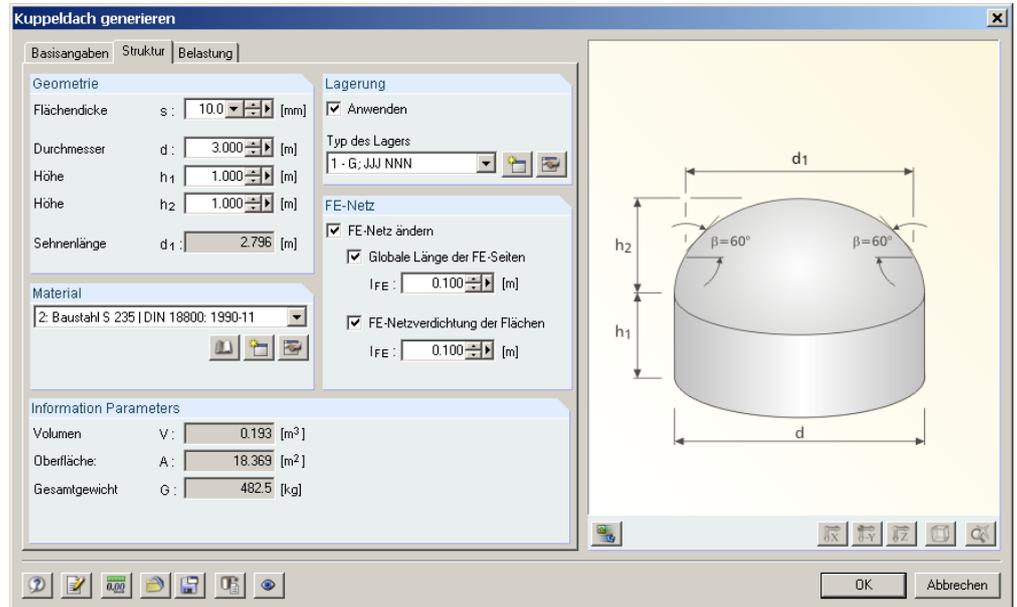


Bild 12.141: Dialog *Kuppeldach generieren*, Register *Struktur*

Die Parameter des Kuppeldachs werden in den Registern *Basisangaben* und *Struktur* festgelegt. Im Register *Belastung* erfolgen die Angaben zur Generierung der Schneelast.

Flächen aus Linien-/Stabzellen

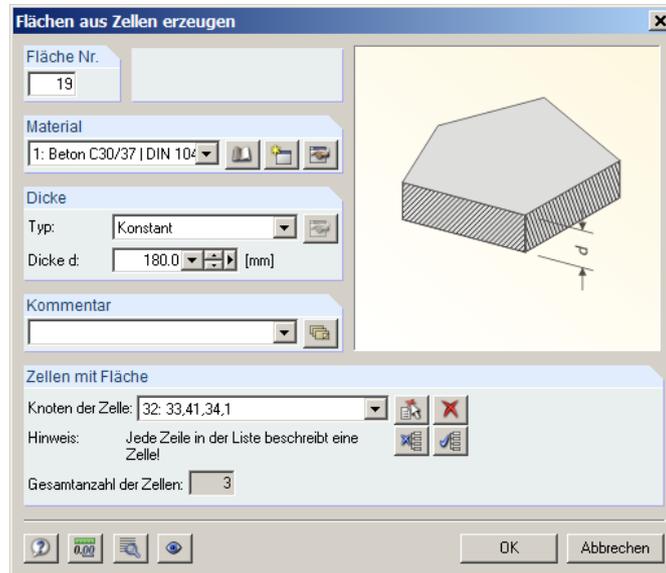


Bild 12.142: Dialog *Flächen aus Zellen erzeugen*



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, werden *Material* und *Dicke* der Fläche festgelegt. Die Zellen können dann über [Pick] im grafischen Arbeitsfenster durch Anklicken der Zellenkreuze ausgewählt werden.

12.5.2 Belastungsgenerierer

RFEM bietet die Möglichkeit, auf das Tragwerk wirkende Flächenlasten (z. B. Schnee, Wind) in Stab- und Flächenlasten umzuwandeln. Zudem lassen sich freie Linienlasten oder auch Ummantelungslasten infolge Eis in Stablasten konvertieren.

Die Dialoge zur Generierung von Stab- oder auch Flächenlasten sind zugänglich im Menü Extras → **Belastung generieren**.



Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene

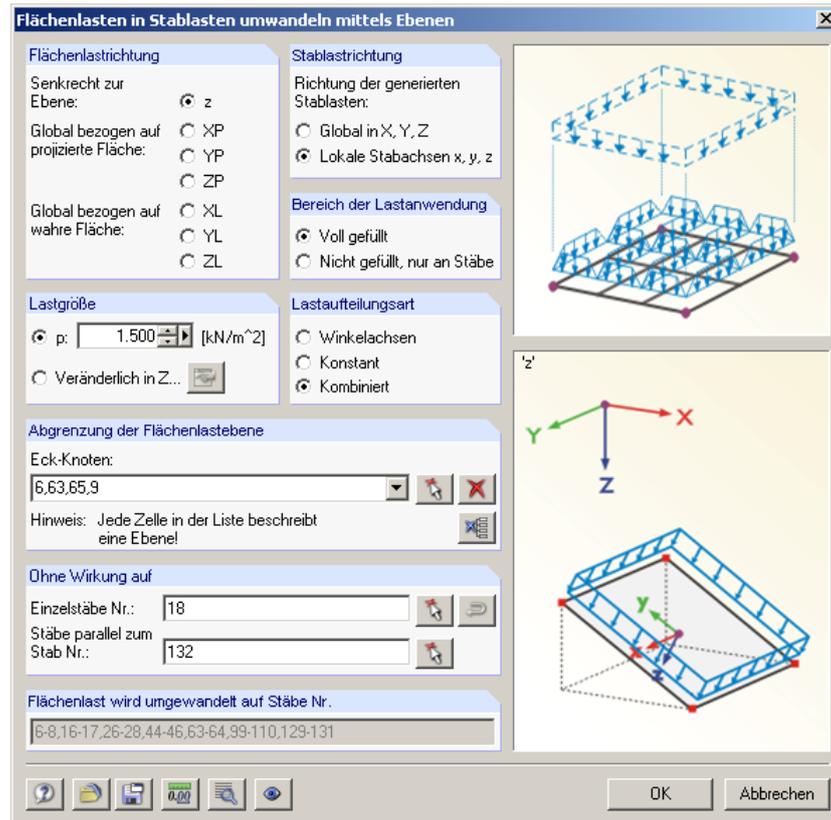


Bild 12.143: Dialog *Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Ebenen*

Im Abschnitt *Flächenlastrichtung* wird festgelegt, ob die Last senkrecht zur Ebene oder global bezogen auf die wahre bzw. projizierte Fläche wirkt. Die dynamische Grafik rechts unten in diesem Dialog ist hilfreich zur Angabe der Lastrichtung.



Wirkt die Last gleichmäßig auf die Fläche, wird die konstante *Lastgröße p* in das entsprechende Eingabefeld eingetragen. Im Falle von Windlasten, die abhängig von der Höhe über Gelände sind, ist das Auswahlfeld *Veränderlich in Z* zu aktivieren. Es wird die Schaltfläche [Bearbeiten] zugänglich. Diese ruft einen weiteren Dialog auf, in dem die Lastparameter in Abhängigkeit von der Höhe festgelegt werden können.

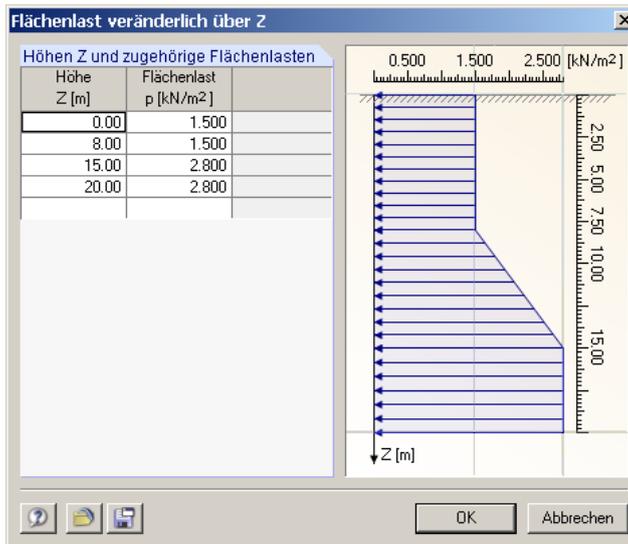


Bild 12.144: Dialog *Flächenlast veränderlich über Z*

In der linken Spalte werden die Ordinaten der *Höhe Z* definiert, in der rechten Spalte die jeweiligen Werte der *Flächenlast p* zugewiesen. Da die Grafik mit diesen Angaben verknüpft ist, besteht eine visuelle Kontrollmöglichkeit.



Die *Abgrenzung der Flächenlastebene* erfolgt über die Eckknoten der Ebene. Diese Knoten klickt man über [Pick] nacheinander im grafischen Arbeitsfenster an. 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.



Es können verschiedene Ebenen definiert werden, die dann in der Liste des Eingabefeldes *Eckknoten* erscheinen.

Im Abschnitt *Ohne Wirkung auf* ist es möglich, Stäbe von der Lastabtragung auszuschließen (beispielsweise Pfetten oder Verbände). Die Auswahl erfolgt stabweise oder durch Angabe eines Musterstabes, der parallel zu den lastfreien Stäben ist. Auch hier empfiehlt sich die [Pick]-Funktion zur grafischen Selektion.

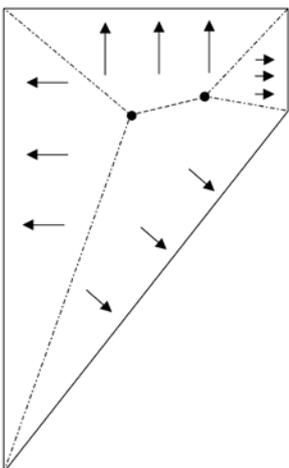


Wenn dieser Dialog mehrmals hintereinander aufgerufen wird, kann es sein, dass die zuletzt eingegebenen Ebenen in der Liste *Eckknoten* voreingestellt sind. Damit diese Ebenen nicht unbeabsichtigt doppelte Lasten erhalten, sollte man in diesem Fall die komplette Liste mit der Schaltfläche [Alle Zellen löschen] leeren.



Der *Bereich der Lastanwendung* bietet zwei Auswahlmöglichkeiten. Existiert in der Flächenlastebene zwischen den Stäben eine Fläche (z. B. Wand- oder Dachfläche), die im RFEM-Modell nicht abgebildet ist, so sollte *Voll gefüllt* gewählt werden. Die auf die ganze Ebene wirkende Flächenlast wird dann anteilig auf die Stäbe umgerechnet. Wenn die Konstruktion hingegen ausschließlich aus Stäben besteht (z. B. Gittermast), dann sollte die zweite Option *Nicht gefüllt, nur an Stäbe* gewählt werden. Damit wird lediglich die effektive bzw. projizierte Fläche belastet, die die Stäbe besitzen. Die Last wird unter Berücksichtigung der jeweiligen Stablage auf die entsprechenden Angriffsflächen der Stäbe angesetzt.

Im Abschnitt *Lastaufteilungsart* wird festgelegt, 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 dargestellt die anteiligen Einzugsflächen entstehen. Jeder dieser Flächen kann ein Stab zugeordnet werden, der die Belastung aus der entsprechenden Einzugsfläche erhält.



Das Winkelachsenverfahren ist bei Ebenen mit überstumpfen Winkel nicht anwendbar. Derartige Fälle können mit der Lastaufteilungsoption *Konstant* bewältigt werden, bei der die gesamte Flächenlast auf den Umfang der ausgewählten Fläche verteilt wird.

Die Option *Kombiniert* ermittelt die Einzugsflächen für Drei-, Vier- und Vielecke nach Möglichkeit gemäß der Winkelachsenmethode. Ist dies ausgeschlossen, wird automatisch auf die konstante Lastverteilung umgeschaltet. Die kombinierte Methode als Voreinstellung stellt somit die empfehlenswerte Lastaufteilungsart dar, bei der sich der Anwender nicht um das geeignete Verfahren kümmern braucht.



Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Bild 12.156, Seite 453). 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 skaliert werden, die ausgewählten Stäben zugewiesen werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog. Mit Lastkorrekturfaktoren kann beispielsweise die Durchlaufwirkung einer Dachschalung auf die Randsparren berücksichtigt werden, um dort reduzierte Stablasten zu generieren.

Nach der Generierung erscheint eine Übersicht mit Informationen zu den Zellen und Lasten.

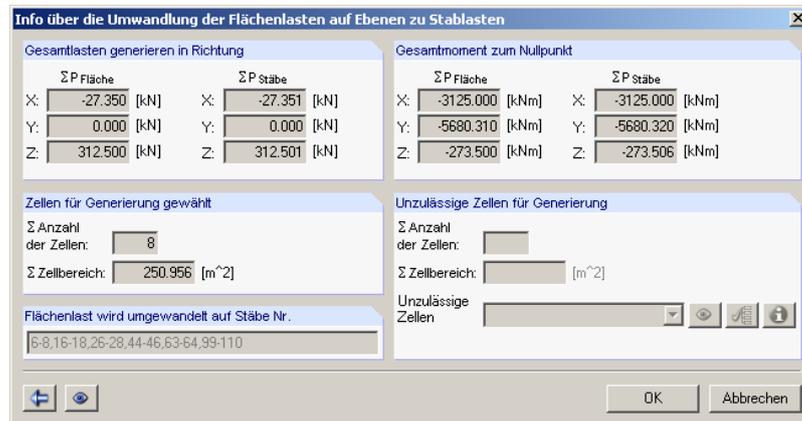


Bild 12.145: Dialog *Info über die Umwandlung der Flächenlasten auf Ebenen zu Stablasten*



Sollten hier unzulässige Zellen ausgewiesen werden, so konnten die Lasten nicht eindeutig zugewiesen werden. Die Schaltfläche [Aktuelle unzulässige Zelle zeigen] hebt die Zelle in der Grafik hervor, [Info] listet sämtliche Ursachen für unzulässige Zellen auf. Oft sind entfernte Kanten (d. h. von der Lastabtragung ausgenommene Randstäbe) der Zelle oder kreuzende, nicht verbundene Stäbe verantwortlich.



Der Abschnitt *Gesamtmoment zum Nullpunkt* bietet die Möglichkeit, die ermittelten Stablasten mit den angesetzten Flächenlasten abzugleichen. Dieser Abgleich erfolgt zum einen über einen Vergleich der Kräfte, zum anderen über ein Momentengleichgewicht. Bei kleinen Differenzen ist über die oben erwähnte Schaltfläche [Einstellungen] im Ausgangsdialog eine Korrektur der generierten Lasten möglich.

Die beiden Schaltflächen links unten im Infofenster sind mit folgenden Funktionen belegt:

Schaltfläche	Beschreibung
	Man gelangt zurück in den Dialog <i>Flächenlasten in Stablasten umwandeln</i> . Dort können die Generierungsparameter modifiziert werden.
	Die Grafik wird aufgerufen, sodass die Ansicht geändert werden kann. Die Rückkehr zum Infofenster erfolgt mit einem Klick der rechten Maustaste oder mit [Esc].



Tabelle 12.13: Schaltflächen im Infofenster zu umgewandelten Stablasten



Stablasten aus Flächenlast mittels Zellen

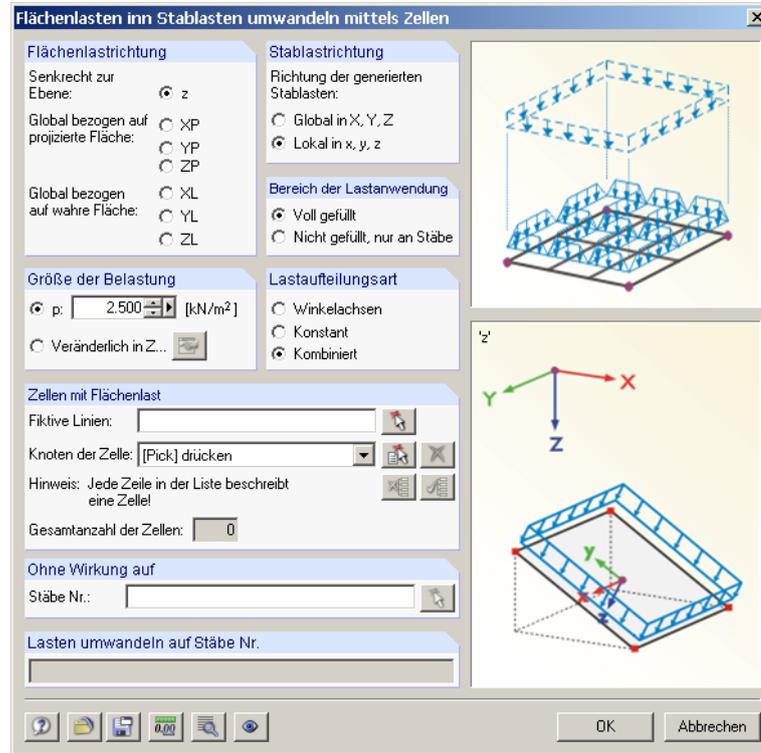


Bild 12.146: Dialog *Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Zellen*

Im Aufbau ist dieser Dialog dem oben beschriebenen *Flächenlastgenerierer mittels Ebenen* ähnlich. RFEM untersucht bereits beim Aufruf des Dialogs, ob Zellen im Modell vorliegen und stellt diese in der Grafik durch Auskreuzungen dar. Zellen sind durch drei oder mehrere Eckpunkte gebildete, allseitig mit Stäben umschlossene Bereiche in einer Ebene. Somit werden beispielsweise bei Windlasten auf eine Hallenwand mit Stützen keine Zellen erkannt, da die Stäbe zwischen den Fußpunkten fehlen. Für solche Anwendungsfälle können so genannte *Fiktive Linien* grafisch durch Anklicken der Anfangs- und Endknoten definiert werden. Dadurch werden diese Zellen künstlich geschlossen und auch vom Generierer erkannt.



Die *Knoten der Zelle* können in der Grafik über [Pick] nacheinander angeklickt werden. Nach der Generierung erscheint eine informative Übersicht über Zellen und Lasten.

Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Seite 453). Dort kann die Toleranz für die Integration von Knoten in die Lastebene angepasst sowie eine Korrektur der generierten Lasten vorgenommen werden.

Windlasten auf vertikale Wände

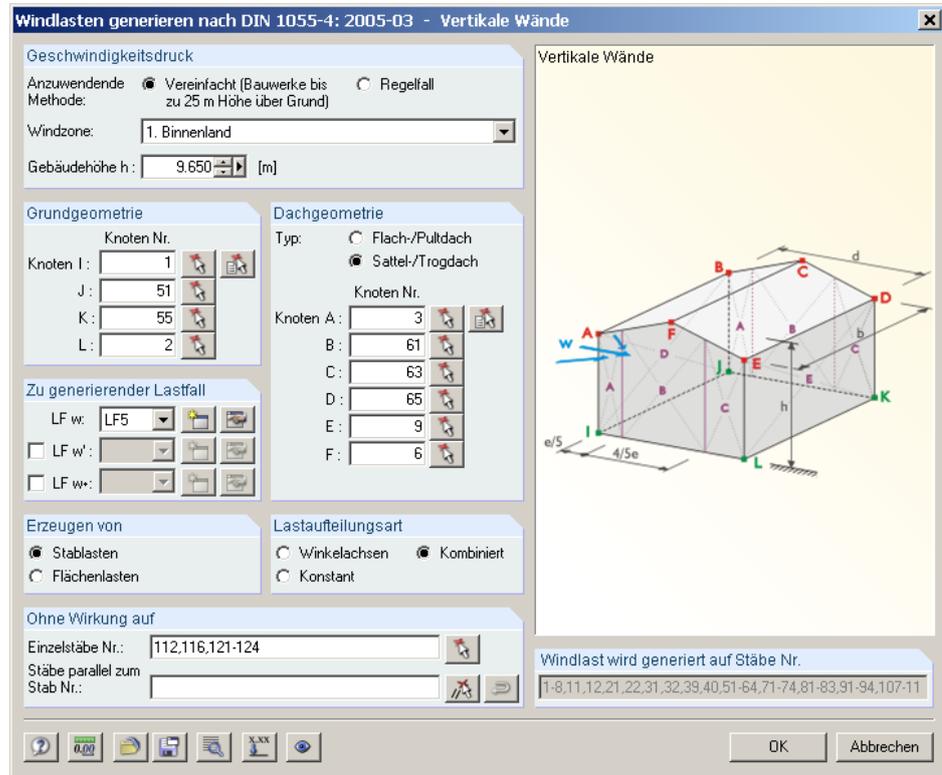


Bild 12.147: Dialog *Windlasten generieren nach DIN 1055-4 - Vertikale Wände* (Dachgeometrie-Typ *Sattel-/Trogdach*)

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* kann zwischen dem vereinfachten Verfahren und dem Regelfall gewählt werden. Bei der Option *Vereinfacht* wird pauschal der höchste Punkt des Gebäudes – die *Gebäudehöhe h* – für die Ermittlung des Geschwindigkeitsdruckes auf die Wände angenommen. Es erfolgt keine Abstufung. Im *Regelfall* gibt es einen höhenabhängigen Geschwindigkeitsdruck. Die *Windzone* wird aus der Liste ausgewählt.

Die Erfassung der Wände erfolgt über die Eingabe der *Grundgeometrie* (Knoten *I* bis *L* der Grundfläche unten) und der *Dachgeometrie* (Knoten *A* bis *D* bzw. *F* der Dachebenen oben). Bei Dachüberständen müssen die oberen Wandknoten angegeben werden, nicht die Dachknoten. Wie aus dem Dialog hervorgeht, können Windlasten nach DIN 1055-4 für allseitig geschlossene Baukörper mit viereckförmiger Grundfläche generiert werden. Bei der Eingabe der Geometrie ist zu beachten, dass die Startknoten *I* und *A* übereinanderliegen und dass der „Umlaufsinn“ bei der Festlegung von Grund- und Dachfläche einheitlich ist.

Die Grund- und Dachgeometrie kann über die [Pick]-Funktion festgelegt werden. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Dachknoten *A* und *B* die Windanströmrichtung vorgeben, und zwar rechtwinklig zur Linie *A-B* als Winddruck wirkend (siehe Grafik im Dialog). Die lokalen Stabachsenorientierungen spielen hier keine Rolle.

Im Abschnitt *Zu generierender Lastfall* werden die Nummern der Ziel-Lastfälle *w*, *w'* und *w** festgelegt. Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Funktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 erläutert.

Im Abschnitt *Erzeugen von* wird geregelt, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.

Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Seite 453).

Die Ergebnisse der Windlast-Generierung werden nach [OK] zunächst in einer zusammenfassenden Übersicht präsentiert. Mit der Schaltfläche [Zurück] kann man vor der endgültigen Übernahme zum Dialog zurückkehren, um die Parameter der Lasten zu modifizieren.



Windlasten auf Flachdach

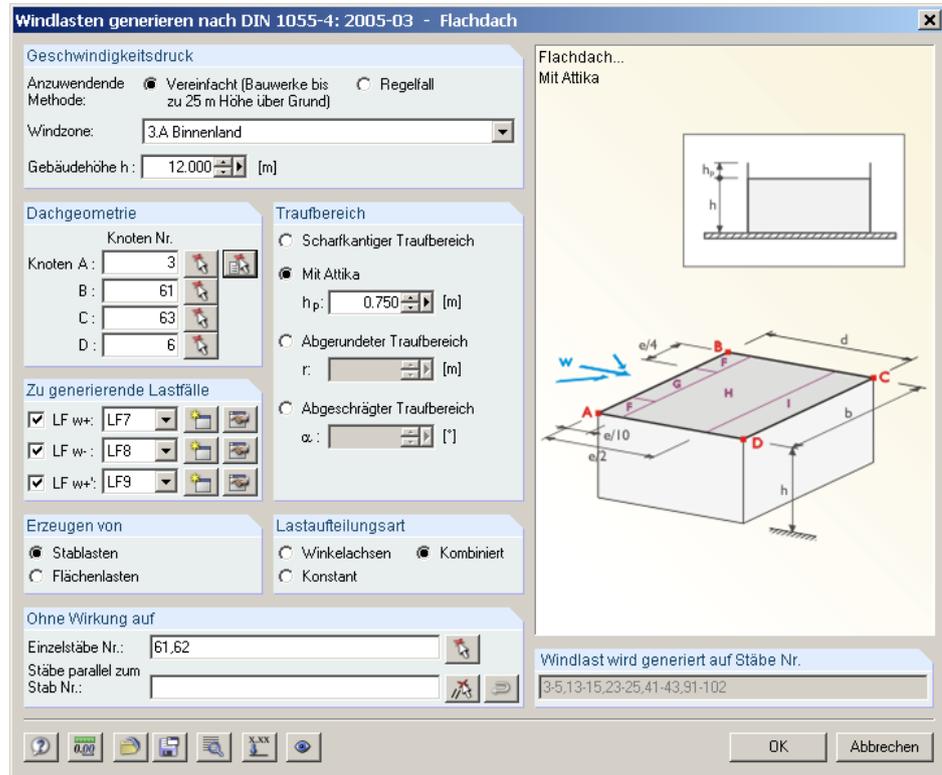


Bild 12.148: Dialog *Windlasten generieren nach DIN 1055-4 - Flachdach*

Die Berechnung der Windlasten erfolgt nach der neuen DIN 1055-4. Von einem Flachdach kann gesprochen werden, wenn die Dachneigung $\alpha < 5^\circ$ ist.

Der Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist im vorherigen Unterkapitel „Windlasten auf vertikale Wände“ erläutert. Die *Gebäudehöhe h* wird hierbei nicht automatisch aus der Grafik abgegriffen, sondern muss explizit in diesem Eingabefeld angegeben werden.



Die *Dachgeometrie* kann über die [Pick]-Funktion festgelegt werden. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Knoten A und B die Windanströmrichtung vorgeben. Diese wird wie in der Grafik des Dialogs dargestellt stets rechtwinklig zur Linie A-B angesetzt.

Wie man der Tabelle 4 der DIN 1055-4 entnehmen kann, müssen für ein Flachdach in Abhängigkeit von der Dachneigung mehrere Lastfälle berücksichtigt werden. Die Drucklasten werden als *LF w+*, die Soglasten als *LF w-* ermittelt.

Der Abschnitt *Traufbereich* ist mit erläuternden Grafiken rechts im Dialog gekoppelt. Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Generierfunktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 beschrieben.

Im Abschnitt *Erzeugen von* wird festgelegt, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.



Die Ergebnisse der Windlast-Generierung werden nach [OK] in einer Übersicht für sämtliche Lastfälle präsentiert, ehe die Stablasten in die Lastfälle übertragen werden. Diese Register stellen eine wichtige Kontrollmöglichkeit vor der Umrechnung in Stablasten dar. So kann jeweils bereichsweise der angesetzte Außendruckbeiwert c_p und Außendruck w abgelesen werden. Die Windlasten lassen sich zudem über einen Vergleich der einwirkenden Flächenlasten und der auf die Stäbe umgerechneten Lasten kontrollieren.

Windlasten auf Pultdach

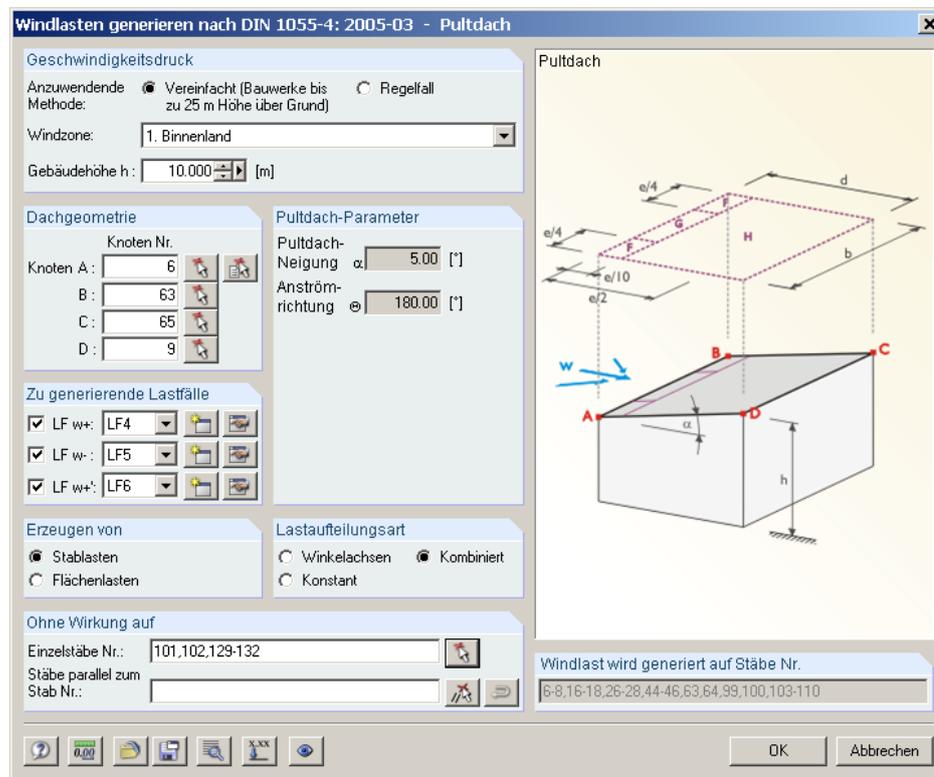


Bild 12.149: Dialog *Windlasten generieren nach DIN 1055-4 - Pultdach*

Im Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* kann zwischen dem vereinfachten Verfahren und dem Regelfall gewählt werden. Bei der Option *Vereinfacht* wird pauschal der höchste Punkt des Gebäudes – die *Gebäudehöhe h* – für die Ermittlung des Geschwindigkeitsdruckes auf die Wände angenommen. Es erfolgt keine Abstufung. Im *Regelfall* gibt es einen höhenabhängigen Geschwindigkeitsdruck. Die *Windzone* wird aus der Liste gewählt.



Die *Gebäudehöhe h* wird nicht automatisch aus der Grafik abgegriffen. Sie muss im Eingabefeld festgelegt werden.



Die *Dachgeometrie* lässt sich über die [Pick]-Funktion grafisch bestimmen. Dabei ist zu beachten, dass die Knoten A und B die Windanströmrichtung steuern: Diese wird wie in der Grafik des Dialogs dargestellt stets rechtwinklig zur Linie A-B angesetzt. Die Anströmrichtung Θ kann dann neben der Pultdachneigung α als *Pultdach-Parameter* abgelesen werden.

Im Abschnitt *Erzeugen von* wird geregelt, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.



Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Seite 453).



Mit der Schaltfläche [Lastkorrekturfaktoren] können die Lasten skaliert werden, die ausgewählten Stäben zugewiesen werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog. Mit Lastkorrekturfaktoren kann beispielsweise die Durchlaufwirkung einer Dachschalung auf die Randsparren berücksichtigt werden, um dort reduzierte Stablasten zu generieren.



Nach [OK] werden die Ergebnisse der Windlast-Generierung zunächst in einer zusammenfassenden Übersicht präsentiert. Die Windlasten können lastfallweise über einen Vergleich der einwirkenden Flächenlasten und der auf die Stäbe umgerechneten Lasten kontrolliert werden. Mit der Schaltfläche [Zurück] gelangt man vor der endgültigen Übernahme wieder in den Ausgangsdialog, um ggf. die Parameter der Lasten zu modifizieren.

Windlasten auf Sattel-/Trogdach

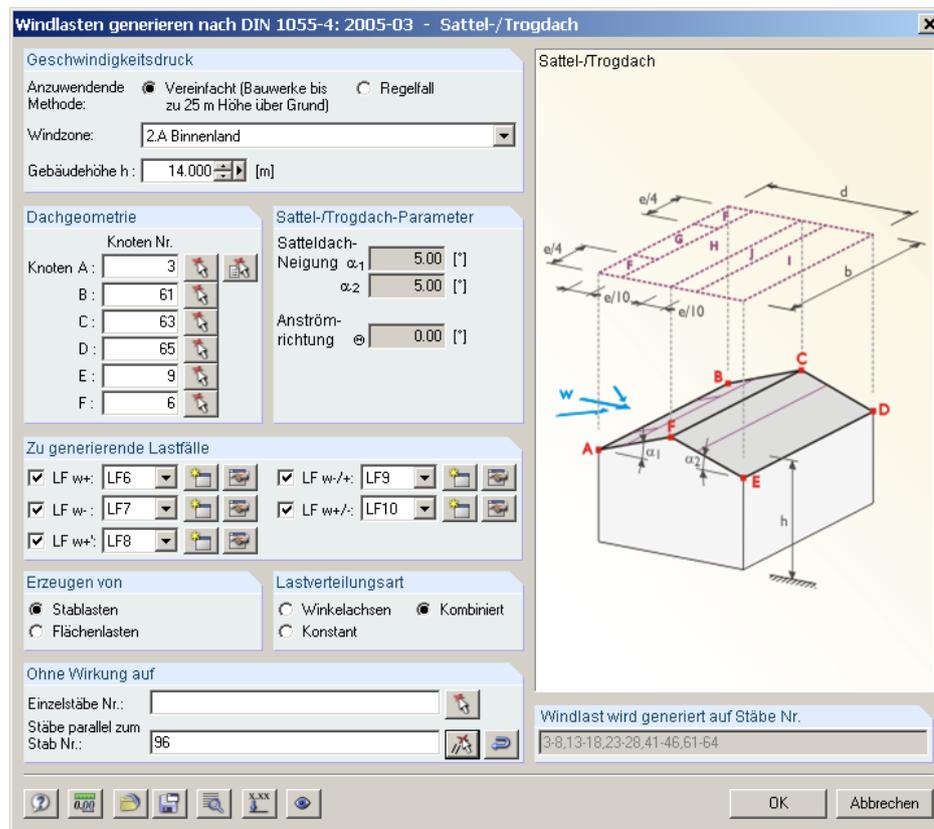


Bild 12.150: Dialog Windlasten generieren nach DIN 1055-4 - Sattel-/Trogdach

Der Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist im vorherigen Unterkapitel „Windlasten auf Pultdach“ erläutert.



Die *Dachgeometrie* wird über die sechs Knoten A bis F festgelegt. Um die Fläche zu erfassen, wird das Dach entlang seiner Eckknoten umfahren. Auch hier bestimmen die beiden Knoten A und B die Anströmrichtung, die rechtwinklig zur Linie A-B angesetzt wird. Im Abschnitt *Dachparameter* können die Neigungswinkel α_1 und α_2 sowie die Anströmrichtung Θ abgelesen werden.

Im Abschnitt *Zu generierende Lastfälle* werden die Drucklasten als *LF w+*, die Soglasten als *LF w-* für die Generierung festgelegt. Die Kombinationen (d. h. Druck auf einer Dachseite und Sog auf der anderen) werden als *LF w-/+* und *LF w+/-* erfasst.

Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Funktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 erläutert.

Im Abschnitt *Erzeugen von* wird geregelt, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.



Mit der Schaltfläche [Lastkorrekturfaktoren] können die Lasten skaliert werden, die ausgewählten Stäben zugewiesen werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog.



Nach [OK] werden die Ergebnisse der Windlast-Generierung in einer Übersicht zusammengefasst. So können die Windlasten lastfallweise über einen Vergleich der einwirkenden Flächenlasten und der auf die Stäbe umgerechneten Lasten kontrolliert werden. Mit der Schaltfläche [Zurück] erfolgt die Rückkehr in den Ausgangsdialog, um ggf. die Parameter zur Lastgenerierung zu ändern.

Windlasten auf vertikale Wände mit Dach

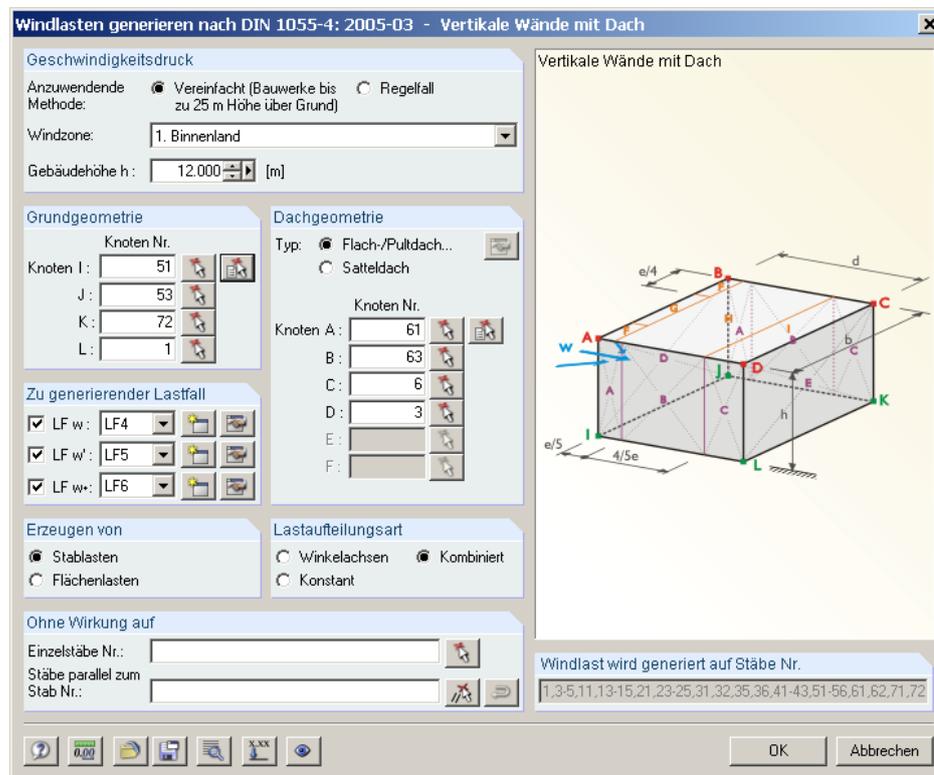


Bild 12.151: Dialog *Windlasten generieren nach DIN 1055-4 - Vertikale Wände mit Dach*

Der Abschnitt *Geschwindigkeitsdruck* ist bei der Funktion „Windlasten auf Pultdach“ auf Seite 447 erläutert.



Die *Grundgeometrie* wird über die vier Knoten *I* bis *L* festgelegt. Um die *Dachgeometrie* zu erfassen, werden die Eckknoten *A* bis *D* (bzw. *F*) des Dachs ausgewählt. Die beiden Knoten *A* und *B* legen die Anströmrichtung fest, die rechtwinklig zur Linie *A-B* angenommen wird.

Im Abschnitt *Zu generierender Lastfall* werden die Nummern der Ziel-Lastfälle *w*, *w'* und *w''* festgelegt. Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Funktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 erläutert.



Mit der Schaltfläche [Lastkorrekturfaktoren] können die Lasten skaliert werden, die ausgewählten Stäben zugewiesen werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog.

Im Abschnitt *Erzeugen von* wird geregelt, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.



Die Ergebnisse der Windlast-Generierung werden nach [OK] in einer Übersicht zusammengefasst. So können die Windlasten über einen Vergleich der einwirkenden Flächenlasten und der auf die Stäbe umgerechneten Lasten kontrolliert werden. Mit [Zurück] erfolgt die Rückkehr in den Ausgangsdialog, um ggf. die Parameter zur Lastgenerierung anzupassen.

Schneelasten auf Flach-/Pultdach

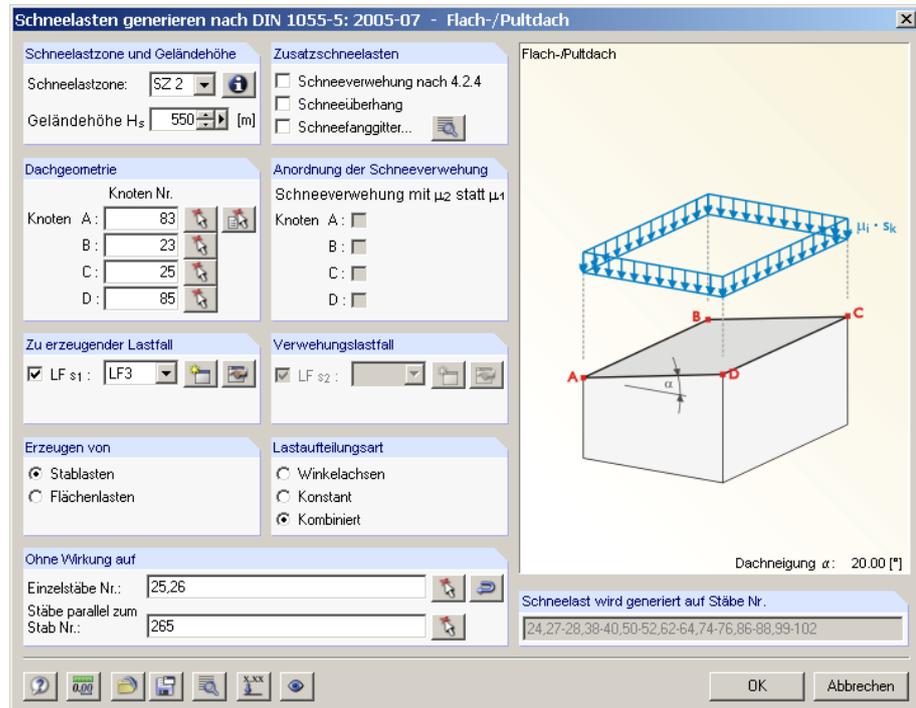


Bild 12.152: Dialog *Schneelasten generieren nach DIN 1055-5 - Flach-/Pultdach*

Flach- und Pultdächer werden in diesem Dialog gemeinsam verwaltet. Die Formbeiwerte für flache und einseitig geneigte Dächer nach DIN 1055-5 werden entsprechend berücksichtigt.

Im Abschnitt *Schneelastzone und Geländehöhe* werden die Schneelastzone SZ gemäß Bild 1 der DIN 1055-5 sowie die Geländehöhe H_s über dem Meeresspiegel festgelegt. Aus diesen Vorgaben wird der charakteristische Wert der Schneelast auf dem Boden s_k ermittelt.



Die *Dachgeometrie* lässt sich grafisch über die [Pick]-Funktion bestimmen, indem man die Eckknoten des Flach- bzw. Pultdaches im Arbeitsfenster nacheinander anklickt. Die Ebene wird in der Selektionsfarbe gekennzeichnet, das vollständig eingegebene Dach blaugrün dargestellt. Die Dachfläche braucht nicht allseitig von Linien oder Stäben begrenzt sein.

Die drei Kontrollfelder im Abschnitt *Zusatzschneelasten* steuern, ob weitere Schneelasten berücksichtigt werden sollen:

- Schneeanhäufungen durch Windverwehung
- Schneeüberhang an der Traufe
- Schneelasten auf Schneefanggitter



Falls eine Zusatzlast infolge des Schneefanggitters wirkt, wird diese in einem bestimmten Abstand von der Traufe erzeugt. Dieser wird über die Schaltfläche [Bearbeiten] festgelegt.

Die *Anordnung der Schneeaverwehung* wird über die Randknoten der Dachfläche bestimmt.

In den Abschnitten *Zu erzeugender Lastfall* und *Verwehungslastfall* werden die Lastfallnummern für die Generierung festgelegt. Der Abschnitt *Erzeugen von* steuert, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.

Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Generierfunktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 erläutert.



Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Seite 453).



Mit der Schaltfläche [Lastkorrekturfaktoren] können die Lasten skaliert werden, die ausgewählten Stäben zugewiesen werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog. Mit Lastkorrekturfaktoren kann beispielsweise die Durchlaufwirkung einer Dachschalung auf die Randsparren berücksichtigt werden, um dort reduzierte Stablasten zu generieren.



Nach [OK] werden die Ergebnisse der Schneelast-Generierung in einer zusammenfassenden Übersicht präsentiert. Die Lasten können über einen Vergleich der einwirkenden Flächenlasten und der auf die Stäbe umgerechneten Lasten kontrolliert werden. Mit [Zurück] gelangt man wieder in den Ausgangsdialog, um ggf. die Generierungsparameter anzupassen.

Schneelasten auf Satteldach

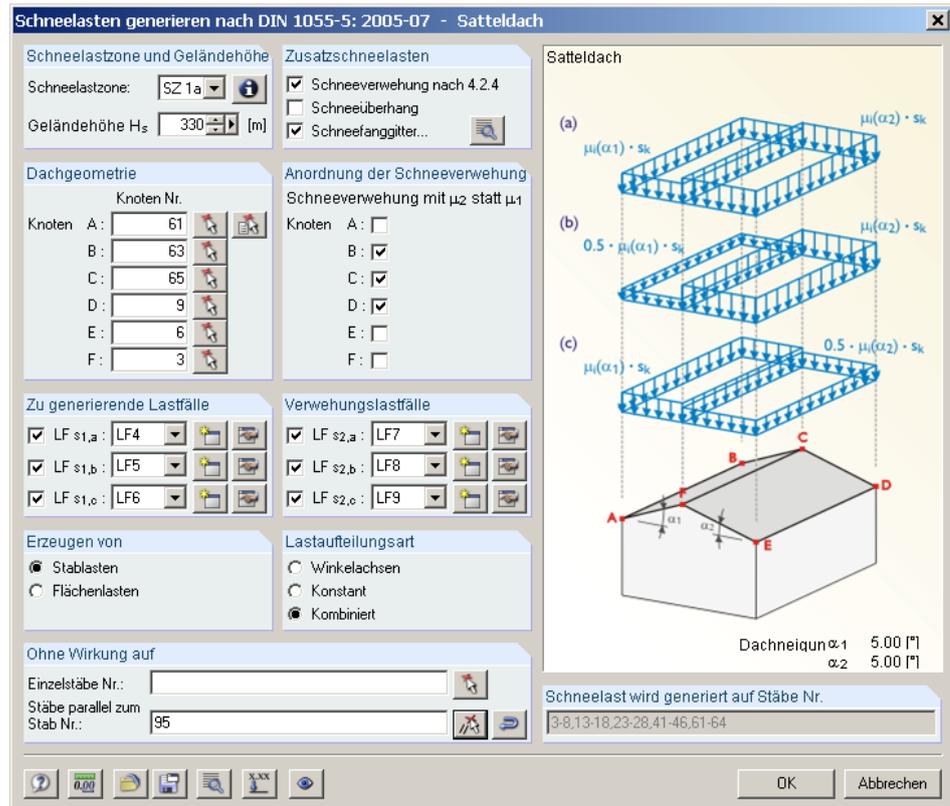


Bild 12.153: Dialog *Schneelasten generieren nach DIN 1055-5 - Satteldach*

Im Abschnitt *Schneelastzone und Geländehöhe* werden die Schneelastzone SZ gemäß Bild 1 der DIN 1055-5 sowie die Geländehöhe H_s über dem Meeresspiegel festgelegt.



Die *Dachgeometrie* kann grafisch über die [Pick]-Funktion festgelegt werden, indem man die Eckknoten der Dachfläche im Arbeitsfenster nacheinander anklickt.

Die drei Kontrollfelder im Abschnitt *Zusatzschneelasten* steuern, ob weitere Schneelasten berücksichtigt werden sollen:

- Schneeanhäufungen durch Windverwehung
- Schneeüberhang an der Traufe
- Schneelasten auf Schneefanggitter

Die *Anordnung der Schneeverwehung* wird über die Randknoten der Dachfläche bestimmt.

In den Abschnitten *Zu erzeugende Lastfälle* und *Verwehungslastfälle* werden die Lastfallnummern für die Generierung festgelegt. Die Alternativlastfälle entstehen, wenn Zusatzschneelasten berücksichtigt werden (siehe Bild 4 der DIN 1055-5).

Der Abschnitt *Erzeugen von* steuert, ob Stab- oder Flächenlasten generiert werden.

Die Abschnitte *Lastaufteilungsart* und *Ohne Wirkung auf* sind bei der Generierfunktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 erläutert.



Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Bild 12.156).



Mit der Schaltfläche [Lastkorrekturfaktoren] können die Lasten skaliert werden, die ausgewählten Stäben zugewiesen werden. Die Angaben erfolgen in einem separaten Dialog.



Nach [OK] erscheint eine zusammenfassende Übersicht. Mit [Zurück] kehrt man ggf. vor der endgültigen Übernahme zum Dialog zurück, um die Parameter der Lasten zu modifizieren.



Stablasten aus freier Linienlast

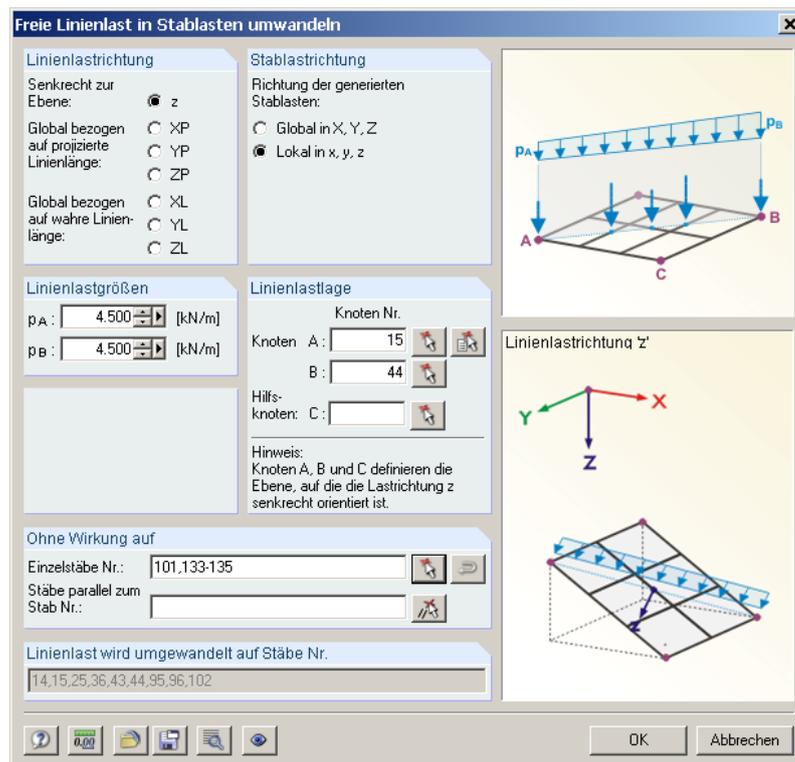


Bild 12.154: Dialog *Freie Linienlast in Stablasten umwandeln*



Für reine Stabstrukturen wie z. B. Trägerroste können über diesen Dialog freie Linienlasten definiert und anteilmäßig auf Stäbe umgelegt werden. Die *Linienlastlage* lässt sich grafisch durch die Auswahl des Anfangs- und Endknotens bestimmen.

Zur korrekten Lastzuweisung sind Angaben zur *Linienlast-* und *Stablaststrichtung* erforderlich. Die *Linienlastgrößen* können konstant oder linear veränderlich sein.

Der Abschnitt *Ohne Wirkung* ist bei der Funktion „Stablasten aus Flächenlast mittels Ebene“ auf Seite 442 erläutert.



Die Schaltfläche [Einstellungen] ruft den Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung* auf (siehe Bild 12.156).



Stablasten aus Ummantelung

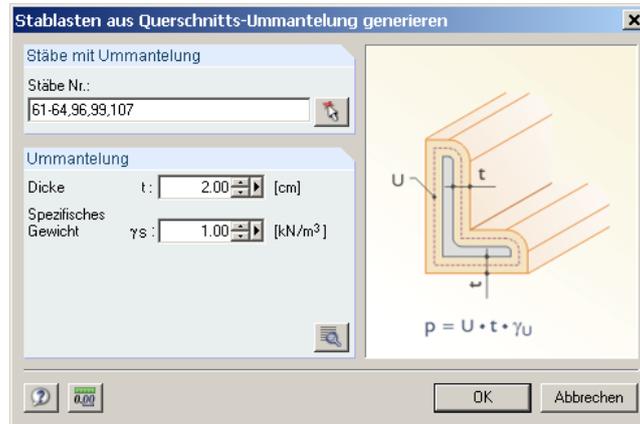


Bild 12.155: Dialog *Stablasten aus Querschnittsummantelung generieren*



Die *Stäbe mit Ummantelung* werden angegeben oder über [Pick] grafisch ausgewählt. Die *Ummantelung* wird durch die Angabe einer Dicke und des spezifischen Gewichts festgelegt.



Mit der Schaltfläche [Details] können die Ummantelungsflächen A_U der ausgewählten Stabquerschnitte kontrolliert werden, die für die Ermittlung der Eislast angesetzt werden. Diese sind wie in der Dialoggrafik gezeigt auf die Mittellinien der Eislast bezogen. Damit werden die Lasten auch bei kleinen Profilen korrekt erfasst, die viele Kanten aufweisen.

Einstellungen für Lastgenerierung

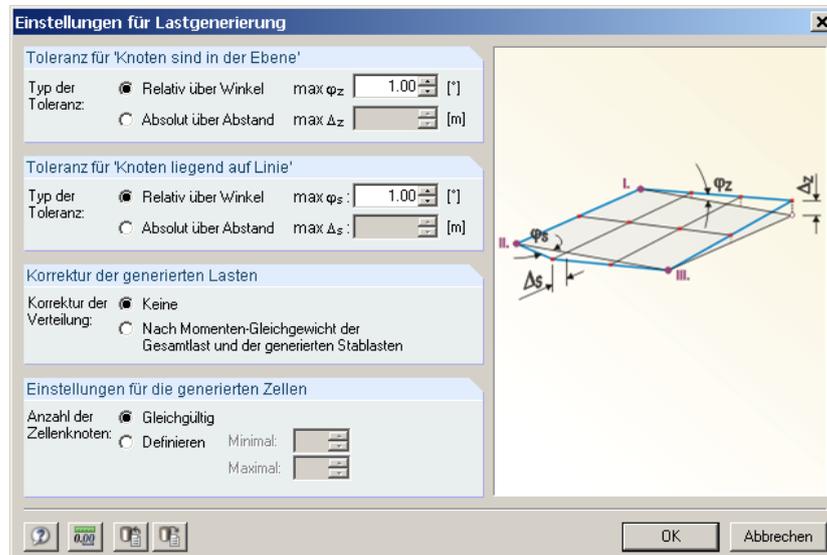


Bild 12.156: Dialog *Einstellungen für Lastgenerierung*

Die in diesem Dialog getroffenen Einstellungen haben global für alle Stablastengenerierer Gültigkeit. Als *Typ der Toleranz*, ob die Knoten einer *Ebene* bzw. *Linie* zugehörig bewertet werden, sind 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 ermittelten Stablasten und den tatsächlich vorhandenen Flächenlasten. Die Kontrollsummen werden in den Dialogen ausgewiesen, die nach der Lastgenerierung vor der endgültigen Umwandlung in Stablasten angezeigt werden (vgl. Bild 12.145, Seite 443). Der interne Abgleich erfolgt über einen Vergleich der Kräfte und der Momente. Bei geringen Differenzen

kann hier eine Korrektur der Verteilung nach dem *Momenten-Gleichgewicht* angewiesen werden. In diesem Fall wird das Momentengleichgewicht um den Ursprung der Struktur überprüft.

Der Abschnitt *Einstellungen für die generierten Zellen* ermöglicht es, Ober- und Untergrenzen für Knoten festzulegen, die die programmseitige Zellenerkennung steuern. Dadurch kann bei komplexen Strukturmodellen eine eindeutige Zuweisung der Lasten erfolgen. Es sind mindestens drei Knoten pro Zelle erforderlich.

Generierte Lasten nachträglich ändern

Nach dem Bestätigen eines Generiererdialogs werden die generierten Lasten den entsprechenden Belastungstabellen bzw. Navigatoreinträgen zugewiesen. Die Eingangsparameter gehen jedoch nicht verloren. Im *Daten-Navigator* erscheint der Zusatzeintrag *Generierte Lasten* (vgl. Bild 7.45, Seite 237). Damit bleiben die ursprünglichen Dialoge als spezifische Belastungsobjekte für Änderungen zugänglich. Ein Doppelklick auf einen dieser Einträge oder auf eine generierte Last im Arbeitsfenster ruft den Ausgangsdialog erneut auf. Dort lassen sich die Parameter anpassen.

Um die generierten Lasten als isolierte Lastobjekte weiter behandeln zu können, müssen diese Lasten zunächst aus dem Gesamtkonzept herausgelöst und in ihre Komponenten aufgetrennt werden. Dies ist über das Last-Kontextmenü möglich, das mit einem Klick der rechten Maustaste auf eine generierte Last aufgerufen wird.

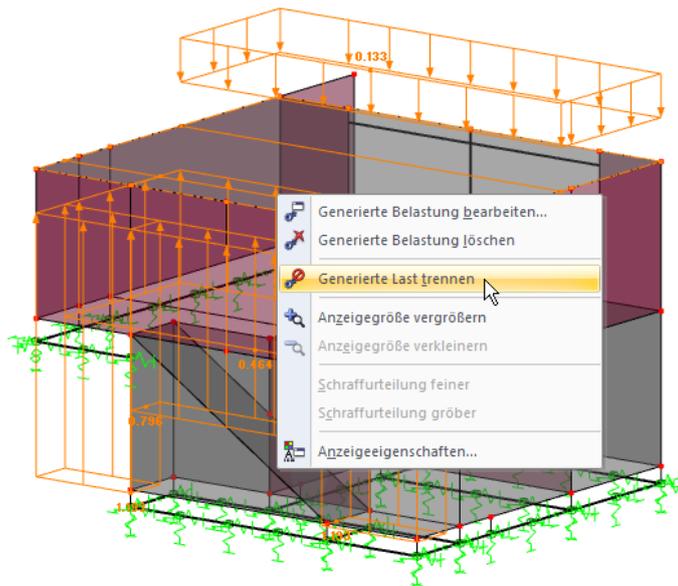


Bild 12.157: Kontextmenü generierter Windlasten

Alternativ wird das Kontextmenü der generierten Lasten im *Daten-Navigator* benutzt.

12.6 Allgemeine Funktionen

In diesem Kapitel werden Programmfunktionen beschrieben, die für die allgemeine Nutzung bedeutsam sind oder die in vielen Dialogen verwendet werden können.

12.6.1 Anzeigeeigenschaften

In den Anzeigeeigenschaften wird festgelegt, **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 4.4.3, Seite 74).

Der Dialog zur Anpassung der grafischen Anzeige kann aufgerufen werden über Menü

Optionen → **Anzeigeeigenschaften** → **Bearbeiten**.

Alternativ kann jedes grafische Objekt mit der rechten Maustaste angeklickt werden. Mit dem Kontextmenüeintrag *Anzeigeeigenschaften* werden dann die Anzeigeparameter des gewählten Objekts direkt aufgerufen.

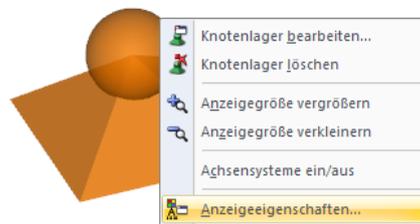


Bild 12.158: Kontextmenü eines Knotenlagers

Es erscheint folgender Dialog.

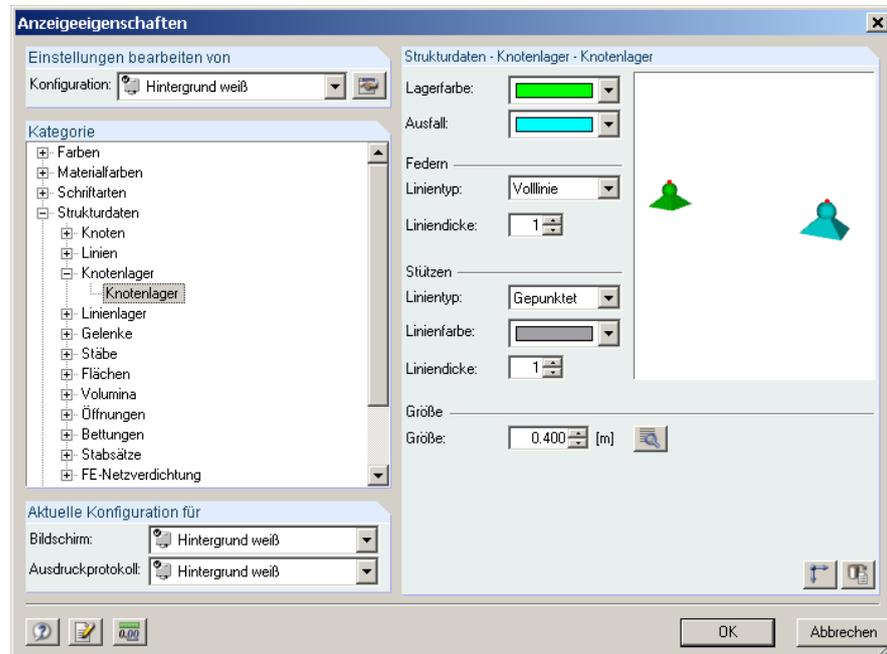


Bild 12.159: Dialog *Anzeigeeigenschaften* (Knotenlager)



Die Einstellungen für die Anzeige auf dem Bildschirm und für die Ausgabe auf dem Drucker können getrennt verwaltet werden. Dies bedeutet, dass Anpassungen für die Monitorgrafik (z. B. Größe der Lagersymbole für *Hintergrund schwarz*) auch für den Ausdruck mit der Konfiguration *Hintergrund weiß* vorzunehmen sind, damit die aktuelle Grafik passend gedruckt wird.



Im Abschnitt *Einstellungen bearbeiten* wird in der Liste das Profil ausgewählt, dessen Eigenschaften man bearbeiten möchte. Über die Schaltfläche [Konfigurationen] lassen sich Profile anlegen, bearbeiten, löschen und importieren. Mit diesen Konfigurationsoptionen kann z. B. für jeden verwendeten Drucker ein spezifischer Satz von Eigenschaften angelegt werden.

Der untere Abschnitt *Aktuelle Konfiguration* steuert, welches Profil für die Bildschirmdarstellung und welches für die Druckausgabe verwendet werden soll.

Der zentrale Abschnitt *Kategorie* listet in einer explorerartigen Baumstruktur alle grafischen Objekte auf. Wird hier ein Element markiert, können rechts davon dessen Anzeigeparameter eingestellt werden (Farbe, Liniendarstellung, Größe in der Grafik, Art und Anordnung der Nummerierung, Größe des Lastvektors etc.)



Bei manchen Objekten steht zusätzlich die Schaltfläche [Details] zur Verfügung.

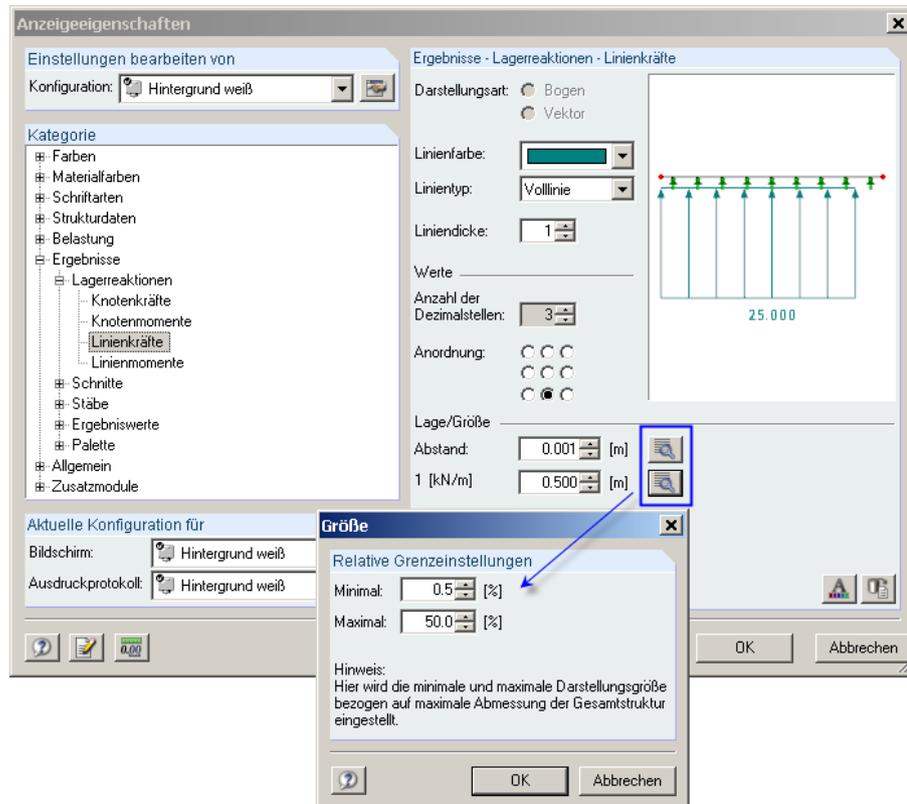


Bild 12.160: Dialog Größe

Damit wird ein weiterer Dialog geöffnet, in dem der Abstand oder die Größe des Objekts für die Darstellung auf die Abmessungen der Gesamtstruktur skaliert werden können.

12.6.2 Einheiten und Dezimalstellen

Die Einheiten und Dezimalstellen werden für RFEM und für sämtliche Zusatzmodule zentral verwaltet.

Einheiten und Dezimalstellen anpassen

Die Einstellung der Einheiten und Nachkommastellen ist in vielen Dialogen direkt über die links dargestellte Schaltfläche möglich. Alternativ benutzt man das Menü



Bearbeiten → **Einheiten und Dezimalstellen**.

Es erscheint folgender Dialog.

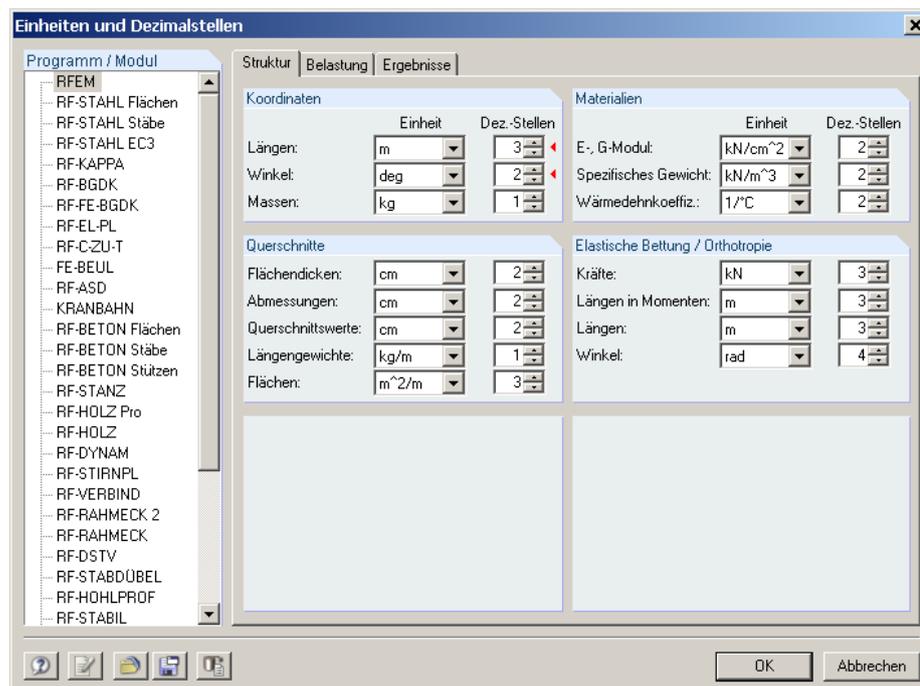


Bild 12.161: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*

Die Einstellungen für Einheiten und Nachkommastellen können während der Arbeit an einer Position beliebig geändert werden. Alle Zahlenwerte werden umgerechnet oder angepasst.

Im Abschnitt *Programm / Modul* wird zunächst in der Liste das Modul ausgewählt, dessen Einheiten oder Dezimalstellen angepasst werden sollen. Die rechte Seite dieses Dialogs verändert sich je nach Auswahl.

Für einige Module wird die rechte Seite in mehrere Register unterteilt. Die gewünschten Einheiten und Nachkommastellen können jeweils separat in den Listen eingestellt werden.

Wurde dieser Dialog aus einem anderen Dialog heraus aufgerufen, so sind die relevanten Einheiten und Dezimalstellen rechts mit einem kleinen roten Dreieck gekennzeichnet.

Einheiten als Benutzerprofil speichern und einlesen

Die Einstellungen des Dialogs *Einheiten und Dezimalstellen* können unter einem Namen gespeichert und in anderen Positionen wieder verwendet werden. Mit diesen Funktionen sind beispielsweise separate Einheitenprofile für Stahl- und Stahlbetonpositionen möglich.



Mit der links dargestellten Schaltfläche wird ein neuer Dialog aufgerufen, in dem ein *Name* für das Benutzerprofil anzugeben ist.



Bild 12.162: Dialog *Profil sichern*

Soll dieses Profil als Voreinstellung für neue Positionen verwendet werden, ist das Kontrollfeld *Profil setzen als Standard* zu aktivieren.



Ein Benutzerprofil kann über die links dargestellte Schaltfläche wieder eingelesen werden. Es wird ein Dialog geöffnet, in dem verschiedene Profile in einer Liste zur Auswahl stehen. Ein metrisches und ein imperiales Einheitenprofil sind hier als Voreinstellungen enthalten.

12.6.3 Kommentare

Dieses Kapitel behandelt die Kommentarfelder in den Dialogen und Tabellen. Die Kommentare, die man grafisch einfügen kann, sind im Kapitel 12.2.15 auf Seite 395 beschrieben.

Kommentare verwenden



In die Kommentarfelder können beliebige Texte eingegeben werden. Mit der Schaltfläche [Kommentar übernehmen] ist es auch möglich, auf vorgefertigte Textbausteine zurückzugreifen. Diese werden positionsübergreifend gespeichert.

Es wird ein Dialog angezeigt, der bereits abgespeicherte Textbausteine enthält.



Bild 12.163: Dialog *Kommentar übernehmen*

Die Liste *Voreingestellte Kommentare zur Auswahl* enthält alle Kommentare, die zur Kategorie passen. Mit der Schaltfläche [Übernehmen] wird ein selektierter Kommentar in das Kommentarfeld des Dialogs eingefügt und kann dort weiter bearbeitet werden. Wenn im Kommentarfeld bereits ein Text vorhanden ist, wird dieser überschrieben.



Soll der Kommentar zu einem vorhandenen Text im Kommentarfeld hinzugefügt werden, ist die links dargestellte Schaltfläche zu benutzen.

Kommentare erstellen und verwalten

Im Dialog *Kommentar übernehmen* (Bild 12.163) können neue Textbausteine über die links gezeigte Schaltfläche angelegt werden. Alternativ benutzt man das Register *Kommentare* im Dialog *Programmooptionen*, in dem alle Kommentare verwaltet sind. Dieser Dialog ist zugänglich über Menü

Optionen → Programmooptionen

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

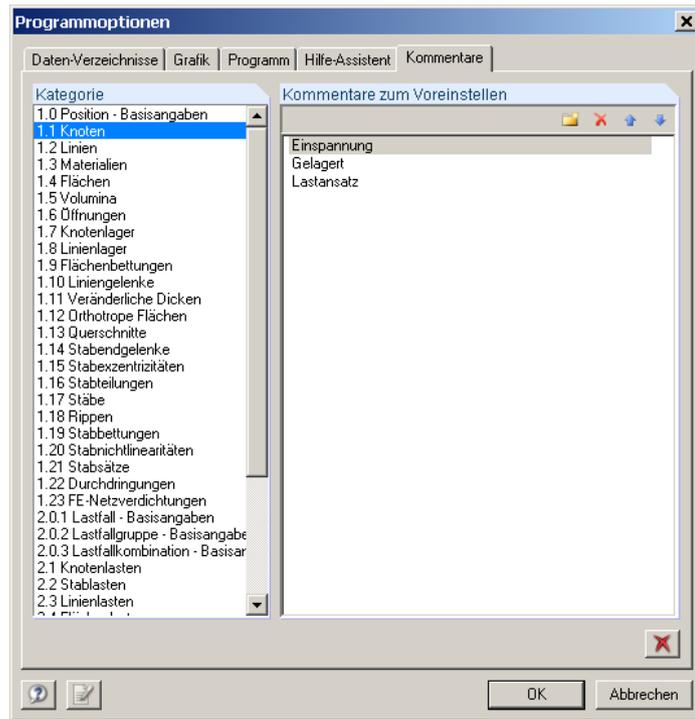


Bild 12.164: Dialog *Programmooptionen*, Register *Kommentare*

Im Abschnitt *Kategorie* wird ausgewählt, welcher Gruppe der Kommentartext zugeordnet werden soll.

Im Abschnitt *Kommentare zum Voreinstellen* stehen vier Schaltflächen zur Verfügung, die mit folgenden Funktionen belegt sind:

Schaltfläche	Beschreibung
	Ein neuer Kommentar wird angelegt. In der Liste ist der Text 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 12.14: Schaltflächen im Dialog *Programmooptionen*



Bei der speziellen Selektion (siehe Kapitel 12.1.2, Seite 364) besteht die Möglichkeit, auch nach diesen benutzerdefinierten Kommentaren zu filtern.

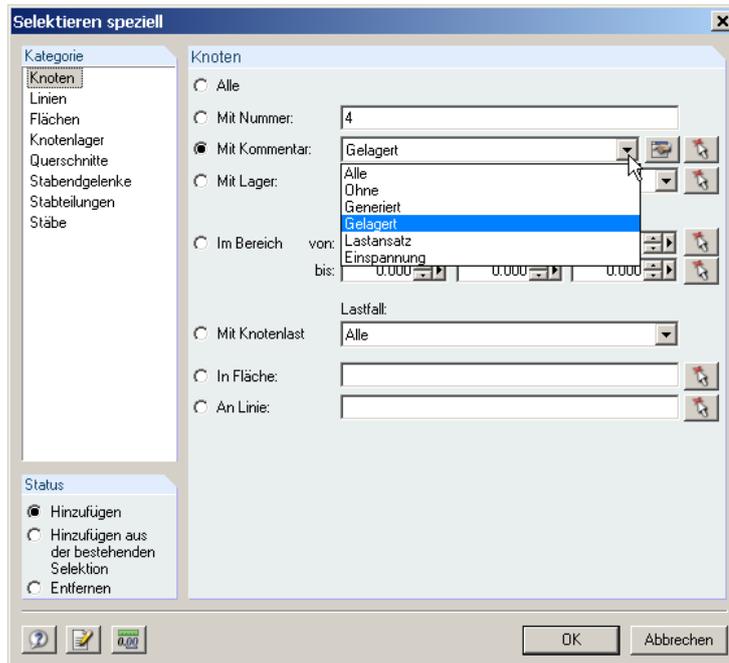


Bild 12.165: Dialog *Selektieren speziell*

12.6.4 Messfunktion

Zur Überprüfung der Eingabe können Abstände und Winkel gemessen werden. Die Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → Messen.

Es stehen acht Messfunktionen zur Auswahl:

- Abstand von 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 werden nacheinander in der Grafik angeklickt. Das Ergebnis wird anschließend mit allen Details angezeigt.

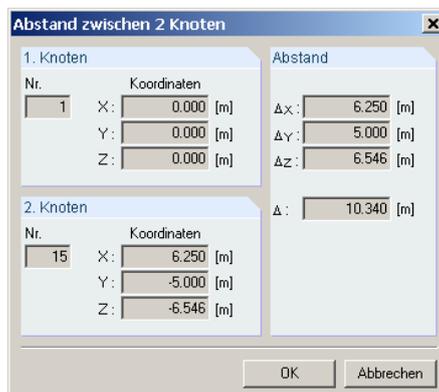


Bild 12.166: Dialog *Abstand zwischen zwei Knoten*

12.6.5 Suchfunktion



Um bestimmte Objekte in der Grafik zu finden, können zum einen die Tabellen genutzt werden: Mit einem Mausklick in die gewünschte Tabellenzeile wird das betreffende Objekt in der grafischen Arbeitsfläche farbig hervorgehoben. Voraussetzung ist, dass die Synchronisation der Selektion aktiviert ist (siehe Kapitel 12.3.4, Seite 416). Mit dieser Methode kann man bei kleineren Strukturen schnell Objekte in der Grafik lokalisieren.



Zum anderen steht in RFEM aber auch eine gezielte Suchfunktion zur Verfügung, die für größere Modelle zu empfehlen ist. Sie wird aufgerufen über Menü

Bearbeiten → Finden mittels Nummer.

Es erscheint folgender Dialog.



Bild 12.167: Dialog *Finde Objekt mit Nummer*



Im Abschnitt *Objekt* wird in der Liste ausgewählt, wonach gesucht werden soll: Knoten, Linie, Fläche, Volumen, 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 in der Grafik gekennzeichnet. Dieser Pfeil wird auch noch angezeigt, wenn man den Bereich um das Objekt durch Zoomen oder Drehen passend einstellt. Erst ein Klick in die Arbeitsfläche blendet ihn wieder aus.

12.6.6 Standpunkt und Sichtwinkel



RFEM bietet die Standardansichten [in X], [entgegen Y], [in Z] sowie [Isometrische Ansicht], die über die links gezeigten Schaltflächen gewählt werden können. Falls diese Ansichten mitsamt der Rotieroption, die die Greifhand mit gedrückter [Strg]-Taste bietet, nicht zur gewünschten Darstellung führen, sind erweiterte Möglichkeiten in einem Dialog verfügbar.



Der Dialog *Standpunkt bearbeiten* wird aufgerufen über Menü

Ansicht → Standpunkt.

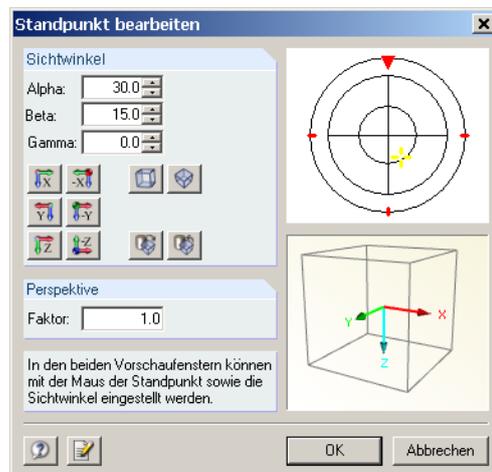


Bild 12.168: Dialog *Standpunkt bearbeiten*

Durch Klicken und Ziehen mit der Maus lassen sich in den beiden Vorschaufenstern rechts Standpunkt und Sichtwinkel einstellen. Zudem kann der Faktor der *Perspektive* angepasst werden.

12.6.7 Schwerpunktermittlung

Um die Schwerpunktkoordinaten des Gesamtmodells zu ermitteln, ist zunächst ein Selektionsfenster über die komplette Struktur aufzuziehen. Ein Klick mit der rechten Maustaste auf ein selektiertes Objekt aktiviert das links dargestellte Kontextmenü.

Über den Kontextmenü-Eintrag *Schwerpunkt und Infos* wird eine Bilanz der selektierten Objekte aufgerufen.

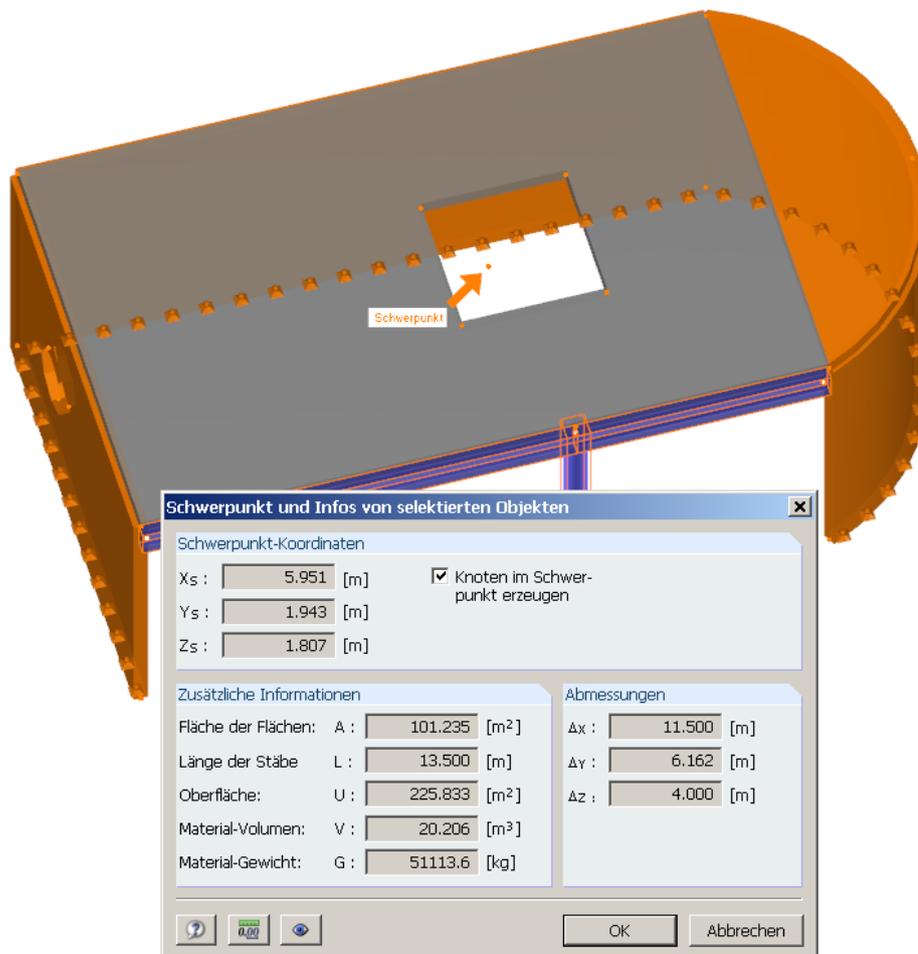
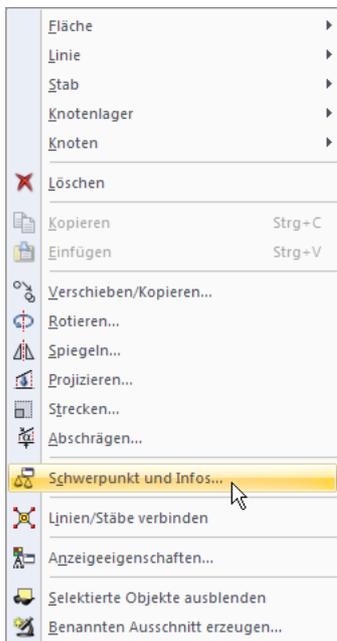


Bild 12.169: Dialog *Schwerpunkt und Infos von selektierten Objekten*

Im Info-Dialog werden die *Schwerpunkt-Koordinaten* angegeben. Der Schwerpunkt wird im Arbeitsfenster mit einem dicken 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

Mit dieser Funktion lassen sich auch beliebige Gruppen selektierter Objekte erfassen.

13. Dateiverwaltung

Dieses Kapitel beschreibt, wie Daten mit dem Projektmanager organisiert und wie wiederkehrende Strukturkomponenten als Blöcke verwaltet werden. Zudem werden die in RFEM integrierten Schnittstellen zu anderen Programmen vorgestellt, die zum Import und Export von Daten genutzt werden können.

13.1 Projektmanager

In statischen Berechnungen ist ein Projekt meist in mehrere Positionen untergliedert. Der programminterne *Projektmanager* unterstützt den Anwender bei der Aufgabe, die Daten der Dlubal-Anwendungen zu organisieren.

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.

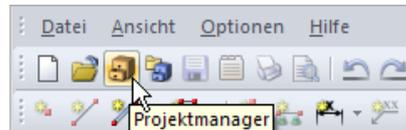


Bild 13.1: Schaltfläche *Projektmanager* in der Symbolleiste



Im *Basisangaben*-Dialog jeder Position ist der Projektmanager ebenfalls zugänglich.

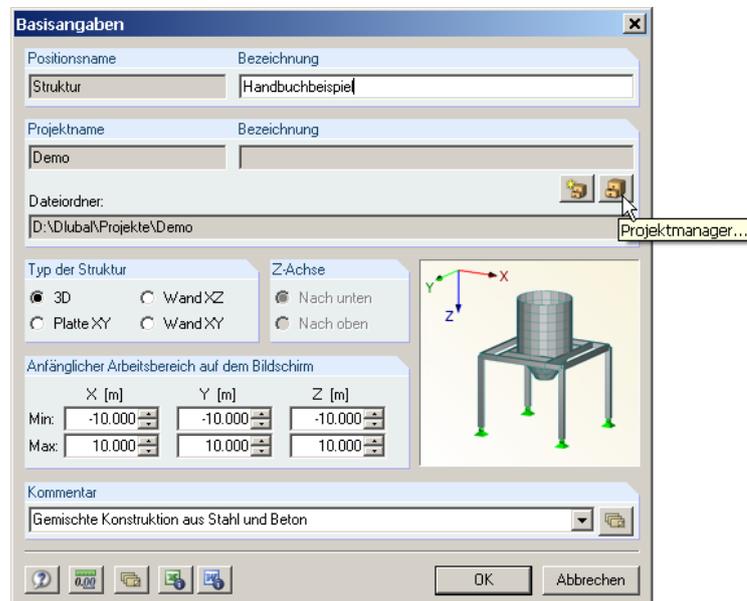


Bild 13.2: Schaltfläche *Projektmanager* im Dialog *Basisangaben*

Nach dem Aufruf erscheint das dreigeteilte Fenster des Projektmanagers. Dieses Fenster hat ein eigenes Menü und eine eigene Symbolleiste.

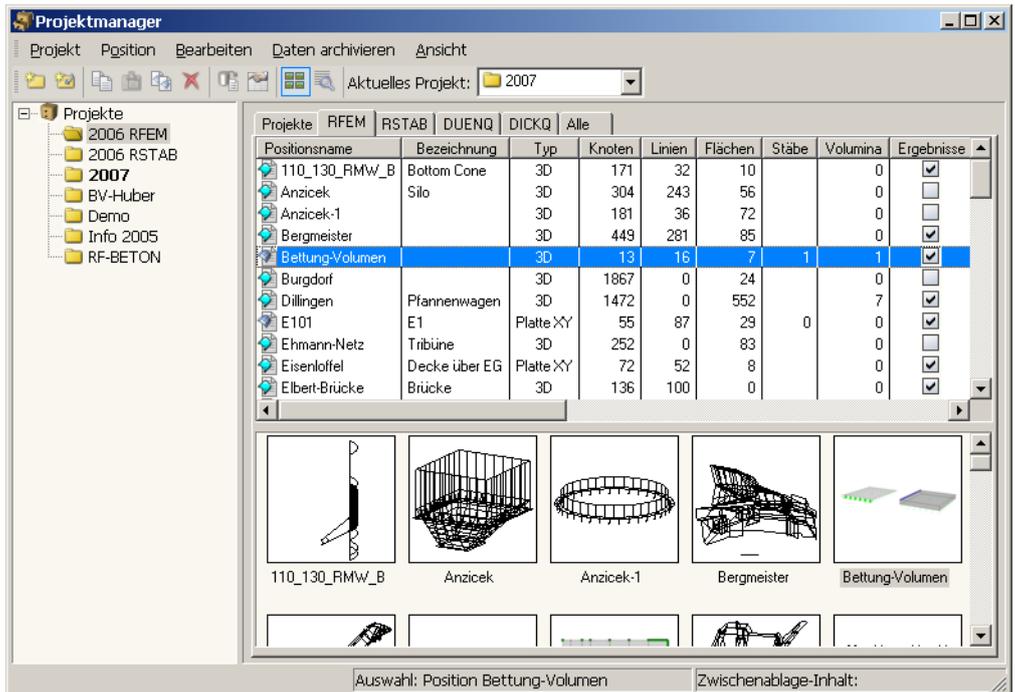


Bild 13.3: Projektmanager

Projekte-Navigator

Links wird ein Navigator mit der Liste aller vorhandenen Projekte angezeigt. Das aktuelle Projekt ist fett hervorgehoben. Ein anderes Projekt kann man direkt per Doppelklick oder über die Liste *Aktuelles Projekt* in der Symbolleiste als aktuell setzen. Auf der rechten Seite erscheint eine tabellarische Auflistung aller im selektierten Projekt enthaltenen Positionen.

Tabelle der Positionen

Die Positionen sind über diverse Register nach Dlubal-Anwendungen geordnet. Alle RFEM-Positionen des selektierten Projektes werden im Register *RFEM* gelistet. Es werden jeweils neben dem *Positionenamen* und der *Bezeichnung* wichtige Strukturinformationen sowie die Namen des Erstellers und des Bearbeiters angegeben. Die darzustellenden Spalten können über Menü **Ansicht** → **Spalten bearbeiten** oder die zugeordnete Schaltfläche angepasst werden (siehe Seite 474).

Positionsbilder

Unter der Positionenliste befindet sich eine grafische Übersicht aller im Projekt enthaltenen Positionen. Diese Vorschaugrafiken sind interaktiv mit der Liste oberhalb.

13.1.1 Projekt neu anlegen

Ein neues Projekt wird angelegt mit

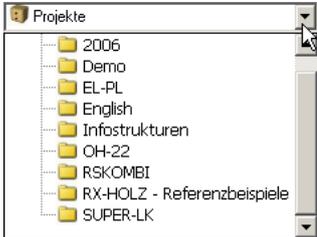
- dem Projektmanager-Menü **Projekt** → **Neu**
- der Schaltfläche [Neues Projekt] in der Symbolleiste.



Bild 13.4: Schaltfläche Neues Projekt



Im folgenden Dialog sind der *Name* des Projekts und der *Dateiordner* festzulegen, in dem die Positionen gespeichert werden sollen. Nutzen Sie hier die [Suchen]-Schaltfläche, um den Verzeichnispfad einzustellen. Optional kann eine *Bezeichnung* als kurze Projektbeschreibung ergänzt werden.



Im Projektmanager besteht auch die Möglichkeit, Unterprojekte anzulegen. Wählt man in der Liste *Projekt platzieren unter* ein bereits vorhandenes Projekt aus, wird das neue Projekt im Navigator als Unterprojekt dieses Projekts geführt. Falls dies nicht gewünscht ist, so ist in der Liste der übergeordnete Eintrag *Projekte* zu wählen.

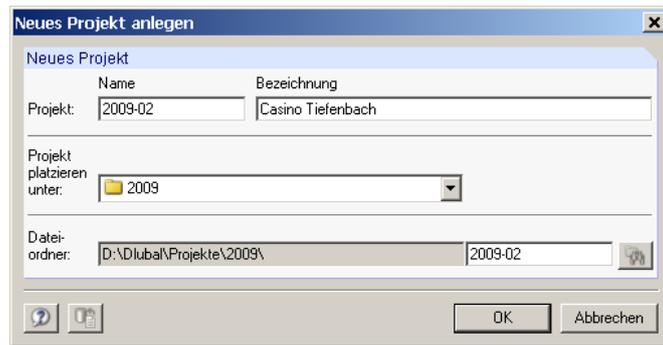


Bild 13.5: Dialog *Neues Projekt anlegen*

Nach [OK] wird ein neuer Dateiordner mit dem Projektname auf der Festplatte oder auf einem Netzlaufwerk angelegt.

Die *Bezeichnung* des Projekts erscheint in der Kopfzeile des Ausdruckprotokolls. Sie hat sonst keine weitere Bedeutung.

13.1.2 Vorhandenen Dateiordner verknüpfen



Ein Ordner, der bereits RFEM-Strukturen enthält, kann als Projekt eingebunden werden mit

- dem Projektmanager-Menü **Projekt** → **Mit Dateiordner verknüpfen**
- der Schaltfläche [Projekt mit Dateiordner verknüpfen] in der Symbolleiste.



Bild 13.6: Schaltfläche *Projekt mit Dateiordner verknüpfen*

Es spielt keine Rolle, in welchem Ordner der Festplatte oder des Netzlaufwerks sich das betreffende Projekt befindet. Es wird nur in die programminterne Verwaltung aufgenommen, jedoch am Standort belassen – vergleichbar einer Verknüpfung auf dem Desktop. Die Informationen werden in der ASCII-Datei **PRO.DLP** im Ordner **..\Dlubal\ProMan** gespeichert.



Es öffnet sich ein Dialog, der nach dem gleichen Konzept wie oben im Bild 13.5 gezeigt aufgebaut ist. Tragen Sie *Name* und *Bezeichnung* des Projekts ein und stellen mit [Suchen] den Pfad für den zu verknüpfenden *Dateiordner* ein. Ist hier ein bestimmtes Projekt vorgegeben, muss sich der zu verknüpfende Dateiordner im Verzeichnis dieses Projekts befinden. Er wird dann als Unterprojekt verwaltet. Wenn jedoch der Dateiordner im Navigator des Projektmanagers als eigenständiges Projekt erscheinen soll, wählen Sie in der Liste *Projekt platzieren unter* den übergeordneten Eintrag *Projekte*.

13.1.3 Dateiordner trennen

Die Einbindung eines Ordners in die Projektverwaltung wird wieder aufgehoben mit dem

- Menü **Projekt** → **Verknüpfung mit Dateiordner trennen** (das Projekt ist vorher zu selektieren)
- Kontextmenü des Projekts im Navigator.

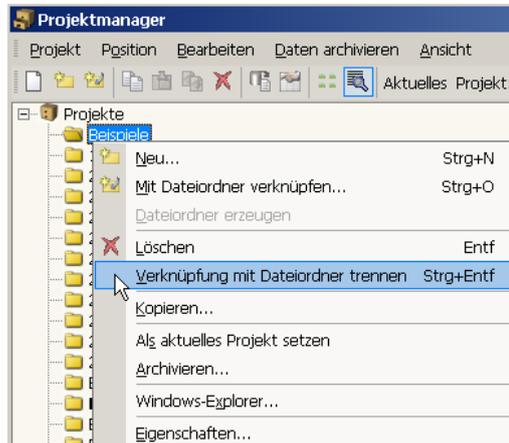


Bild 13.7: Kontextmenü eines Projekts



Das Projekt wird aus der internen Verwaltung entfernt, der Ordner auf der Festplatte und sein Inhalt bleiben unverändert erhalten.

13.1.4 Projekt löschen

Man kann ein Projekt löschen mit

- dem Projektmanager-Menü **Projekt** → **Löschen** (das Projekt muss selektiert sein)
- der Schaltfläche [Löschen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü des Projekts im Navigator.



Bild 13.8: Schaltfläche *Projekt löschen*

Der Ordner auf der Festplatte wird mitsamt Inhalt gelöscht.

Sollten sich in diesem Ordner auch Dateien aus anderen Programmen befinden, so werden nur die Dateien der Dlubal-Anwendungen gelöscht und der Ordner bleibt erhalten.

Versehentlich gelöschte Positionen und Projekte lassen sich restaurieren über Menü

Bearbeiten → **Aus dem Dlubal-Papierkorb wiederherstellen**.

Es erscheint ein Dialog, in dem alle gelöschten Positionen nach Projekten aufgelistet sind.

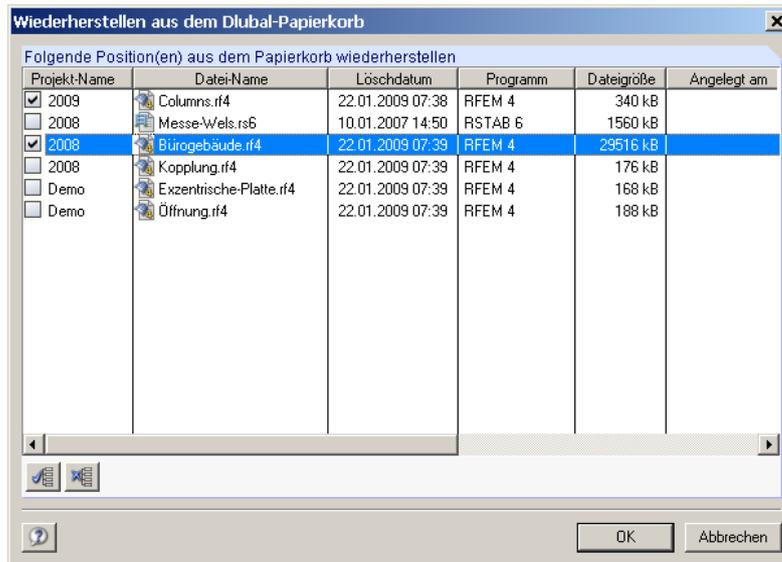


Bild 13.9: Dialog *Wiederherstellen aus dem Dlubal-Papierkorb*

Wählen Sie die Positionen, die Sie wiederherstellen möchten, per Mausklick aus. Nach [OK] werden die gelöschten Strukturen wieder in die ursprünglichen Projektordner eingefügt.

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 Programminweisen verwaltet.



Bild 13.10: Dialog *Einstellungen für Dlubal-Papierkorb*

13.1.5 Projekt kopieren

Ein Projekt kann kopiert werden über das

- Projektmanager-Menü **Projekt** → **Kopieren** (das Projekt muss selektiert sein)
- Kontextmenü des Projekts im Navigator (vgl. Bild 13.7, Seite 466).

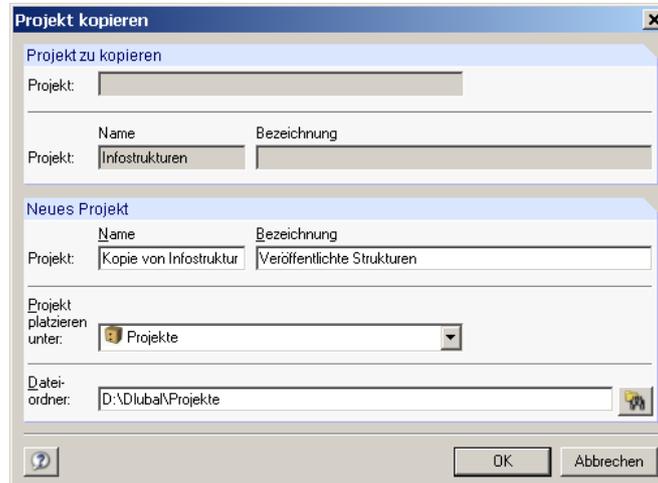


Bild 13.11: Dialog *Projekt kopieren*

Geben Sie *Name*, *Bezeichnung* und den Ort des neuen Projekts im Projektmanager an und legen den *Dateiordner* fest, der beim Kopieren erstellt wird.

Alternativ wird das Projekt mit dem Windows-Explorer kopiert. Der neue Ordner lässt sich dann als verknüpfter Dateiordner in die interne Verwaltung des Projektmanagers einbinden (vgl. Kapitel 13.1.2, Seite 465).

13.1.6 Projektbezeichnung ändern

Die Bezeichnung eines Projektes kann nachträglich geändert werden über das

- Projektmanager-Menü **Projekt** → **Bezeichnung** (das Projekt muss selektiert sein)
- Kontextmenü des Projekts im Navigator.

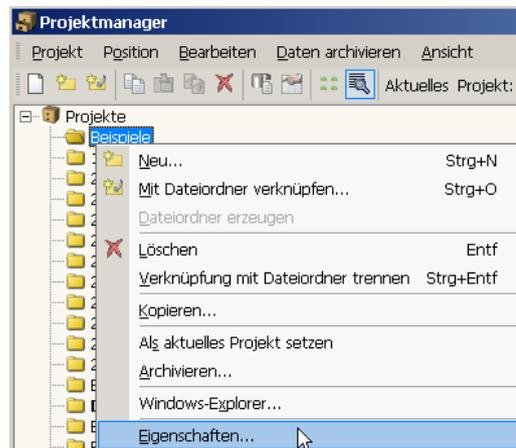


Bild 13.12: Kontextmenü eines Projekts

Im folgenden Dialog können der *Projekt*-Name und die *Bezeichnung* geändert werden. Zudem wird der *Dateiordner* angezeigt, in dem sich das Projekt auf der Festplatte befindet.

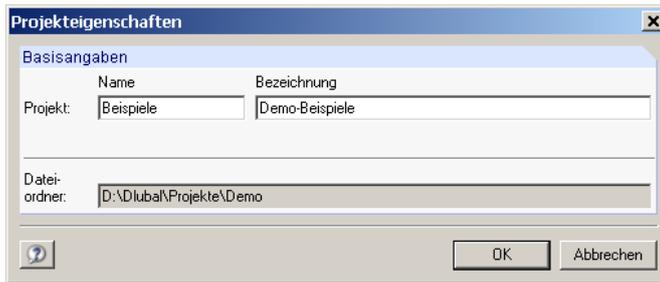


Bild 13.13: Dialog *Projekteigenschaften*

13.1.7 Position öffnen

Eine Position kann aus dem Projektmanager geöffnet werden durch

- einen Doppelklick
- das Menü **Position** → **Öffnen** (die Position muss selektiert sein)
- das Kontextmenü der Position.

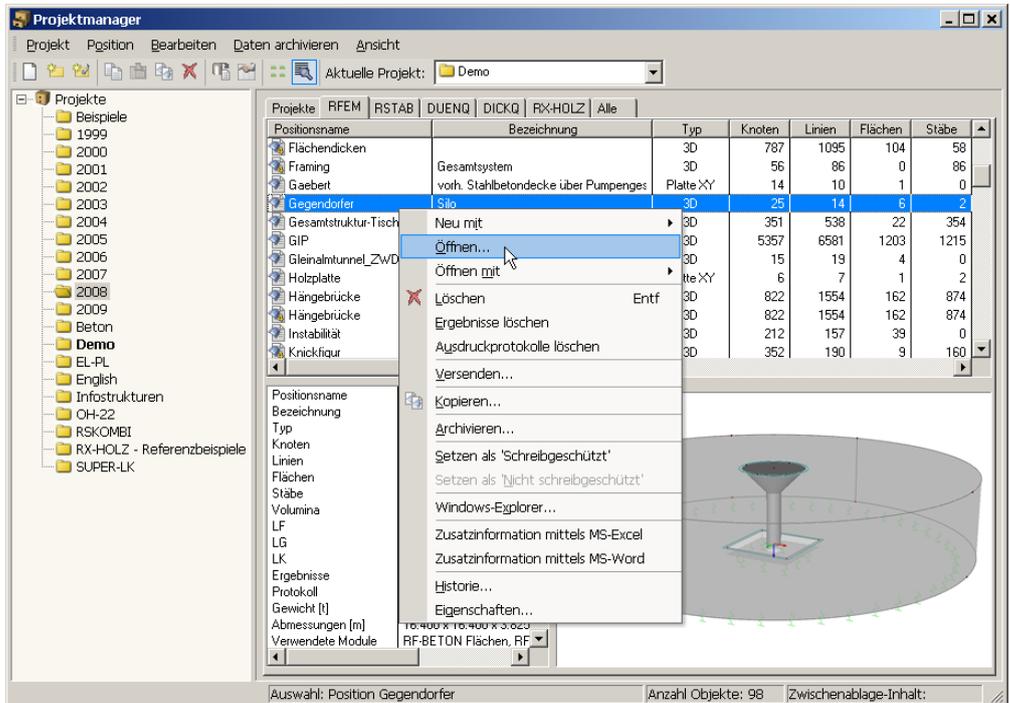
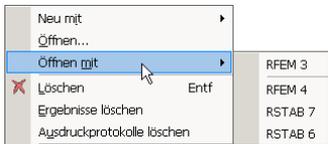


Bild 13.14: Kontextmenü *Position*



Über die links dargestellte Kontextmenü-Option *Öffnen mit* kann man eine bestimmte Dlubal-Anwendung auswählen, mit der die Position geöffnet werden soll.

RSTAB-Dateien lassen sich in RFEM direkt öffnen.

13.1.8 Position kopieren oder verschieben

Man kann eine Position in ein anderes Projekt verschieben oder kopieren mit

- dem Menü **Position** → **Kopieren** (die Position muss selektiert sein)
- dem Kontextmenü der Position
- Drag & Drop.



Bild 13.15: Dialog *Position kopieren*

Es öffnet sich der Dialog *Position kopieren*. Geben Sie dort das Zielprojekt sowie den Namen und die Bezeichnung für die Kopie der Position an.

13.1.9 Position umbenennen

Eine Position kann (wie auch ein Projekt) umbenannt werden über das

- Projektmanager-Menü **Position** → **Eigenschaften** (die Position muss selektiert sein)
- Kontextmenü der Position.



Bild 13.16: Dialog *Position-Eigenschaften*

Im oben dargestellten Dialog können der *Name* und die *Bezeichnung* der Position geändert werden. Zudem wird im Feld *Dateiname* der Verzeichnispfad der Position angegeben.

13.1.10 Position löschen



Eine Position wird gelöscht mit

- dem Menü **Position** → **Löschen** (die Position muss selektiert sein)
- der Schaltfläche [Löschen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü der Position.

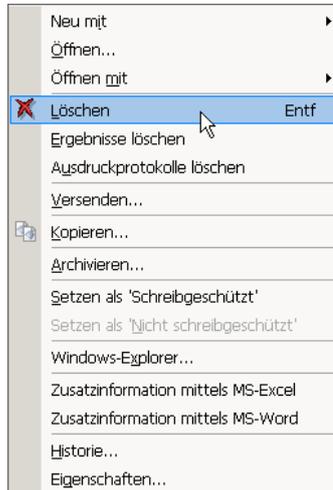


Bild 13.17: Kontextmenu *Position*

Es können auch gezielt die *Ergebnisse* und/oder *Ausdruckprotokolle* dieser Position gelöscht werden. Die Eingabedaten bleiben in diesen Fällen erhalten.

Versehentlich gelöschte Positionen lassen sich restaurieren über Menü

Bearbeiten → **Aus dem Dlubal-Papierkorb wiederherstellen**.

In einem Dialog kann man dann die entsprechenden Positionen auswählen (siehe Bild 13.9, Seite 467).

13.1.11 Historie verfolgen

Der Bearbeitungsverlauf an einer Struktur kann kontrolliert werden über das

- Projektmanager-Menü **Position** → **Historie** (die Position muss selektiert sein)
- Kontextmenü der Position.

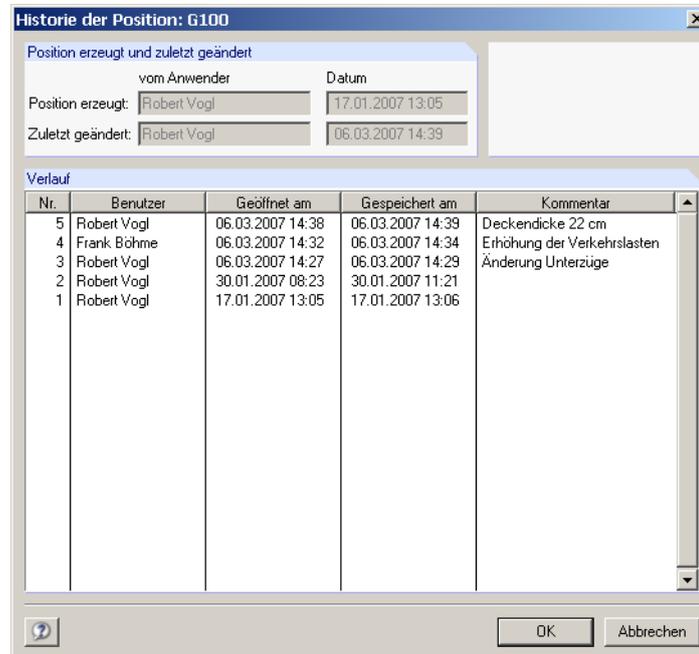


Bild 13.18: Info-Fenster *Historie der Position*

In einem Fenster wird ersichtlich, welche Personen die Struktur erstellt, geöffnet oder geändert haben und zu welchem Zeitpunkt dies jeweils geschehen ist. Die in Spalte *Kommentar* gelisteten Anmerkungen werden aus den Basisangaben der Position übernommen, die den jeweiligen Bearbeitungsstatus näher beschreiben (vgl. Bild 13.26, Seite 477).

13.1.12 Daten archivieren

Es ist möglich, ausgewählte Positionen oder einen ganzen Projektordner in Form einer komprimierten Archivdatei zu sichern. Die ursprünglichen Positionen bleiben erhalten.

Die Archivierung wird gestartet über das

- Menü **Daten archivieren** → **Archivieren** (Position bzw. Projekt muss selektiert sein)
- Kontextmenü des Projekts oder der Position.

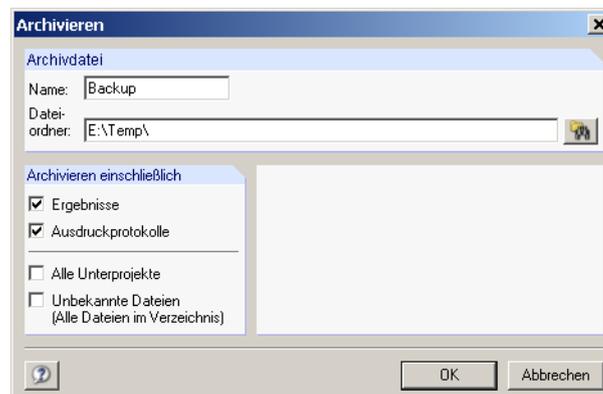


Bild 13.19: Dialog *Archivieren*

Vor dem Archivieren entscheiden Sie, ob die Sicherungsdatei auch alle Ergebnisse und Ausdruckprotokolle enthalten soll. Optional können sämtliche Unterprojekte und auch Dlubal-fremde Dateien in die Sicherung aufgenommen werden. Sind *Name* und *Dateiordner* der Archivdatei festgelegt, wird diese nach [OK] im ZIP-Format erstellt.

13.1.13 Daten dearchivieren

Eine Archivdatei kann wieder entpackt werden über das Projektmanager-Menü

Daten archivieren → Dearchivieren.

Sobald die entsprechende ZIP-Archivdatei ausgewählt ist, wird deren Inhalt angezeigt:

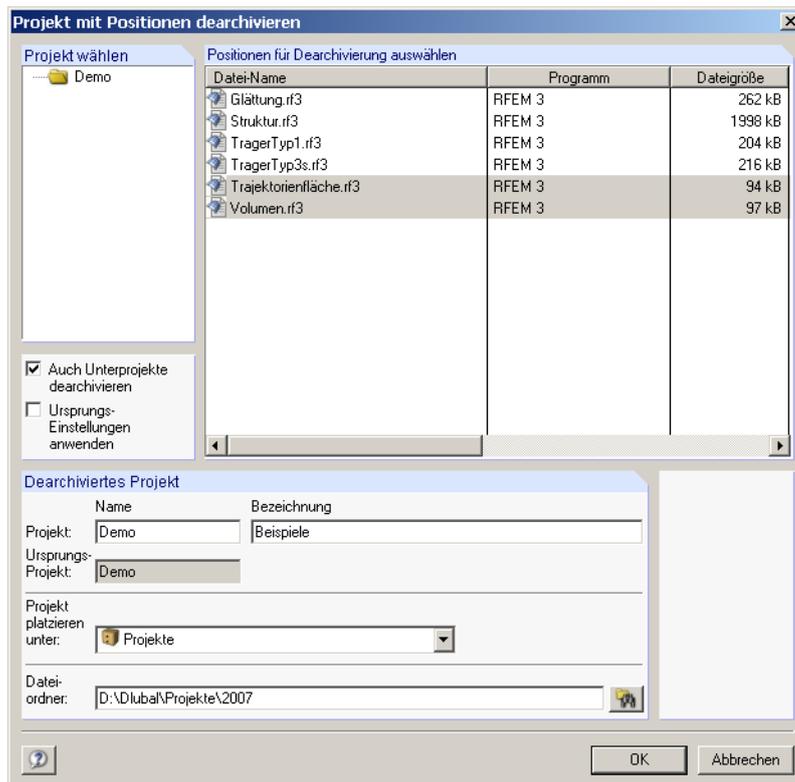


Bild 13.20: Dialog *Projekt mit Positionen dearchivieren*



Wählen Sie im Abschnitt *Positionen für Dearchivierung auswählen* die Strukturen aus, die wieder eingelesen werden sollen. Diese können in das aktuelle oder ursprüngliche Projekt entpackt werden. Sie können auch ein beliebiges Projekt aus der Liste auswählen oder über die Schaltfläche [Suchen] neu anlegen.

13.1.14 Detailsinstellungen

Die Auflistung der Positionen im Projekt kann benutzerdefiniert angepasst werden. Wie in Windows-Anwendungen üblich, lässt sich die Liste durch einen Klick auf einen der diversen Spaltentitel auf- oder absteigend sortieren.

Zudem ist es möglich, die angezeigten Spalten zu ergänzen bzw. reduzieren oder ein zusätzliches Fenster mit Detailinformationen zur Position einzublenden.

Spalten anpassen

Sie können die Spalten benutzerdefiniert arrangieren mit

- dem Menü **Ansicht** → **Spalten bearbeiten**
- der Schaltfläche [Registerspalten bearbeiten] in der Symbolleiste.



Bild 13.21: Dialog *Tabellenspalten bearbeiten*



Legen Sie im oben gezeigten Dialog zunächst links das *Register* fest, dessen Spalten angepasst werden sollen (z. B. RFEM). Aus der Liste *Spalten - Verfügbar* können Sie nun bestimmte Einträge in die Liste *Spalten - Zu zeigen* übernehmen. Die Auswahl erfolgt mit den [▶]-Schaltflächen oder per Doppelklick. Umgekehrt können Sie mit den [◀]-Schaltflächen bestimmte oder alle Kategorien wieder entfernen.



Die Reihenfolge der Spalten in der Positionsliste können Sie anpassen, indem Sie mit den Schaltflächen [▲] und [▼] einen Eintrag nach oben oder unten schieben.



Über Menü **Ansicht** → **Automatisch anordnen** oder die zugeordnete Schaltfläche werden die Spaltenbreiten der Positionsliste optimiert.

Vorschaugrafiken oder Details anzeigen

Für den Bereich unterhalb der Positionsliste stehen zwei Darstellungsmöglichkeiten offen. Es können entweder alle im Projekt enthaltenen Positionen im einem grafischen Überblick oder aber die Detailinformationen zur ausgewählten Position angezeigt werden.



Die Steuerung erfolgt über die Menüpunkte

- Ansicht** → **Vorschaugrafiken aller Positionen** bzw.
- Ansicht** → **Details mit aktuellen Positionen**



oder die zugeordneten Schaltflächen.

Bei der Detailansicht erscheint ein geteiltes Fenster. Links werden detaillierte Informationen zur Struktur aufgelistet, rechts die Vorschaugrafik angezeigt (vgl. Bild 13.14, Seite 469).

13.2 Anlegen einer neuen Position



Eine neue Struktur kann erstellt werden mit

- dem RFEM-Menü **Datei** → **Neu**
- der Schaltfläche [Neue Position] in der Symbolleiste
- dem Menü **Position** → **Neu mit** → **RFEM 4** im Projektmanager

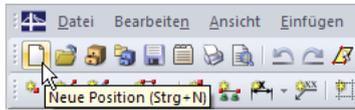


Bild 13.22: Schaltfläche *Neue Position*

Es wird der Dialog *Neue Position - Basisangaben* geöffnet.

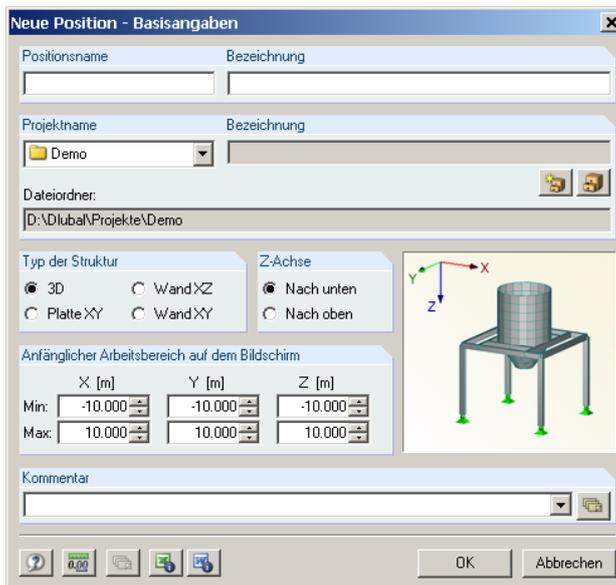


Bild 13.23: Dialog *Neue Position - Basisangaben*

Will man später einmal diese Basisangaben bearbeiten, so ist dies möglich über das

- Menü **Bearbeiten** → **Strukturdaten** → **Basisangaben**
- Kontextmenü der Position im *Daten-Navigator*.

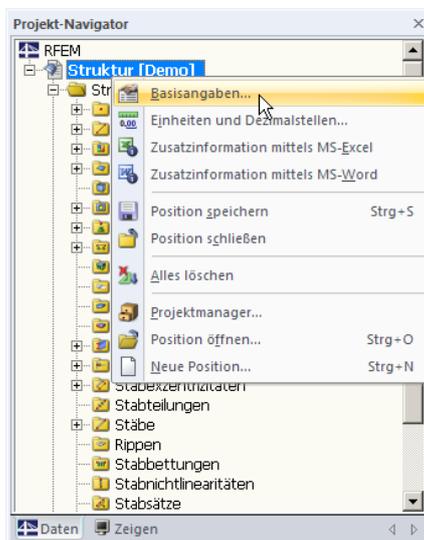


Bild 13.24: Kontextmenü der Position

Positionsname

Im Eingabefeld *Positionsname* wird ein Name für die Struktur festgelegt, der gleichzeitig als Dateiname für die Position verwendet wird. Die *Bezeichnung* dient der näheren Beschreibung der Position. Sie erscheint im Ausdruckprotokoll, hat jedoch wie die Projektbezeichnung keine weitere Bedeutung.

	Ingenieurbüro Frank Mustermann Musterstraße 111, 98765 MUSTERSTADT Tel: 09873/1770 - Fax: 09873/1770		Seite: 1/13
			Blatt: 1
			STRUKTUR
Kommentar: Gemischte Konstruktion aus Stahl und Beton	Projekt: Demo Beispiele	Position: Struktur Handbuchbeispiel	Datum: 12.01.2009

Bild 13.25: Positionsbezeichnung im Ausdruckprotokoll

Projektname



Aus der Liste *Projekt-Name* kann der Projektordner ausgewählt werden, in dem die Position angelegt werden soll. Voreingestellt ist immer das aktuelle Projekt. Dieses lässt sich im Projektmanager abändern (vgl. Kapitel 13.1, Seite 463). Der Projektmanager ist über die Schaltfläche rechts in diesem Abschnitt zugänglich.

Zur Information werden noch die *Bezeichnung* und der *Dateiordner* des gewählten Projekts angegeben.

Typ der Struktur

Es ist möglich, die Anzahl der Dimensionen zu beschränken. Der Typ *Platte XY* ist für ebene Flächentragwerke geeignet. Bei den ebenfalls ebenen Typen *Wand XZ* und *Wand XY* werden nur Scheibenkräfte berücksichtigt.

Die Wahl des geeigneten Strukturtyps erleichtert die Eingabe. Der Typ kann jederzeit nachträglich geändert werden. Beachten Sie jedoch, dass dies mit einem Datenverlust verbunden sein kann (z. B. wenn man eine 3D-Struktur zu einer Wand reduziert).

Z-Achse

In diesem Abschnitt kann die Richtung der globalen Z-Achse festgelegt werden.

Wenn *Z nach oben* gerichtet ist und bei den Lastfall-Basisangaben das Eigengewicht mit Faktor 1.0 *in Richtung Z* definiert wird, dann wirkt das Eigengewicht nach oben. Ist dies nicht beabsichtigt, so muss dort als Eigengewichtsfaktor -1.0 angegeben werden.



Die Orientierung der Achse Z kann nachträglich **nicht** mehr geändert werden!

Anfänglicher Arbeitsbereich auf dem Bildschirm

Hier wird der Bereich festgelegt, über den sich die Rasterpunkte erstrecken. Das Raster kann jederzeit geändert werden.

Kommentar

Man kann hier einen Text eingeben oder aus der Liste wählen und so die Basisangaben mit einer kurzen Beschreibung ergänzen. Der Kommentar erscheint auch im Ausdruckprotokoll.

Schaltfläche	Bezeichnung	Erläuterung
	Kommentare	→ Kapitel 12.6.3, Seite 458
	Einheiten und Dezimalstellen	→ Kapitel 12.6.2, Seite 457
	Historie der Position	→ Kapitel 13.1.11, Seite 472
	MS Excel	Möglichkeit für benutzerdefinierte Zusatzerläuterungen in Form einer XLS-Datei, die in der RFEM-Datei mitgespeichert wird
	MS Word	Möglichkeit für benutzerdefinierte Zusatzerläuterungen in Form einer DOC-Datei, die in der RFEM-Datei mitgespeichert wird

Tabelle 13.1: Dialog *Basisangaben*, Standardschaltflächen



Über die Schaltfläche [Historie der Position] kann jeder Bearbeiter einen Kommentar zum jeweiligen Bearbeitungsstand anfügen. Es wird ein neuer Dialog geöffnet:

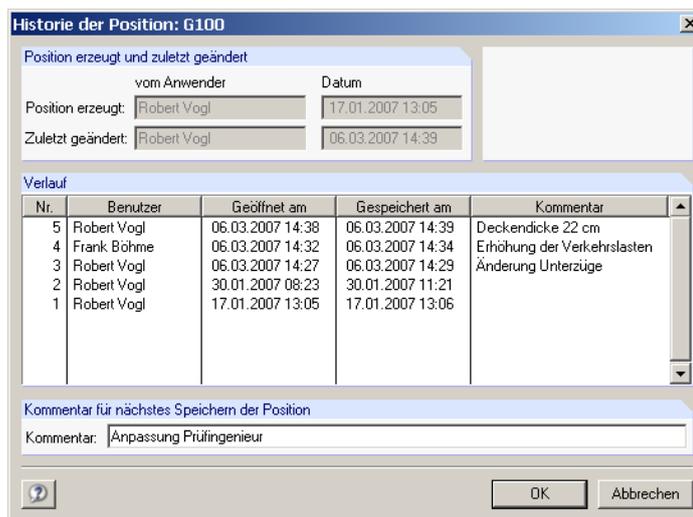


Bild 13.26: Dialog *Historie der Position*

Im Eingabefeld *Kommentar* kann eine Anmerkung eingetragen werden, die beim nächsten Abspeichern der Position für die Historie im Projektmanager wirksam wird.

13.3 Verwaltung im Netzwerk

Arbeiten mehrere Anwender an den gleichen Projekten, so kann die Positionsverwaltung auch über den Projektmanager organisiert werden. Voraussetzung ist, dass die Strukturen in einem Ordner mit Netzfreigabe abgelegt sind.

Binden Sie den Ordner, der sich im Netzwerk befindet, in die interne Projektverwaltung ein. Dies ist im Kapitel 13.1.2 auf Seite 465 beschrieben. Damit können Sie aus dem Projektmanager direkt auf die Positionen dieses Ordners zugreifen, d. h. diese öffnen und ändern, den Bearbeitungsstand verfolgen oder bestimmte Dateien mit einem Schreibschutz versehen.

Arbeitet ein Kollege gerade an der Position, die Sie zu öffnen versuchen, erscheint ein entsprechender Hinweis. Sie können diese Position dann als Kopie öffnen.

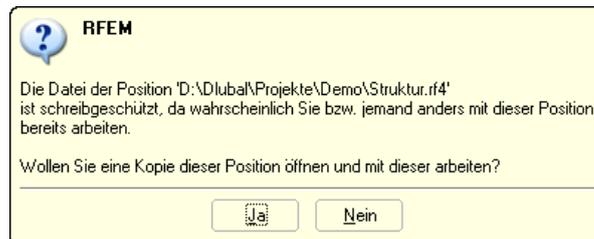


Bild 13.27: Dialog *Position öffnen*

Ein automatischer Abgleich der Änderungen ist nicht möglich.



Die Informationen zu den im Projektmanager registrierten Projekten werden in der Datei **PRO.DLP** abgelegt. Es handelt sich hierbei um eine ASCII-Datei, die standardmäßig unter *C:\Dokumente und Einstellungen\All Users\Anwendungsdaten\Dlubal\ProMan* angelegt ist.

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.

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 → Programmooptionen.

Es öffnet sich ein Dialog, in dem der Speicherort der Datei PRO.DLP festgelegt werden kann.



Bild 13.28: Dialog *Einstellungen*

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 nur ganz kurz gesperrt und dann sofort wieder freigegeben.

13.4 Blockmanager

Der Blockmanager gestattet es, charakteristische Strukturelemente projektübergreifend zu verwalten. Ausgewählte Objekte lassen sich als Blöcke abspeichern und in anderen Positionen wieder einlesen. Im so genannten *Katalog* des Blockmanagers sind bereits eine Reihe typisierter Elemente standardmäßig vordefiniert.



Der Blockmanager wird über das Menü **Datei** → **Blockmanager** oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste aufgerufen.



Bild 13.29: Schaltfläche *Blockmanager* in der Symbolleiste

Nach dem Aufruf erscheint das dreigeteilte Fenster des Blockmanagers. Dieses Fenster hat wie der Projektmanager (vgl. Kapitel 13.1) ein eigenes Menü und eine eigene Symbolleiste.

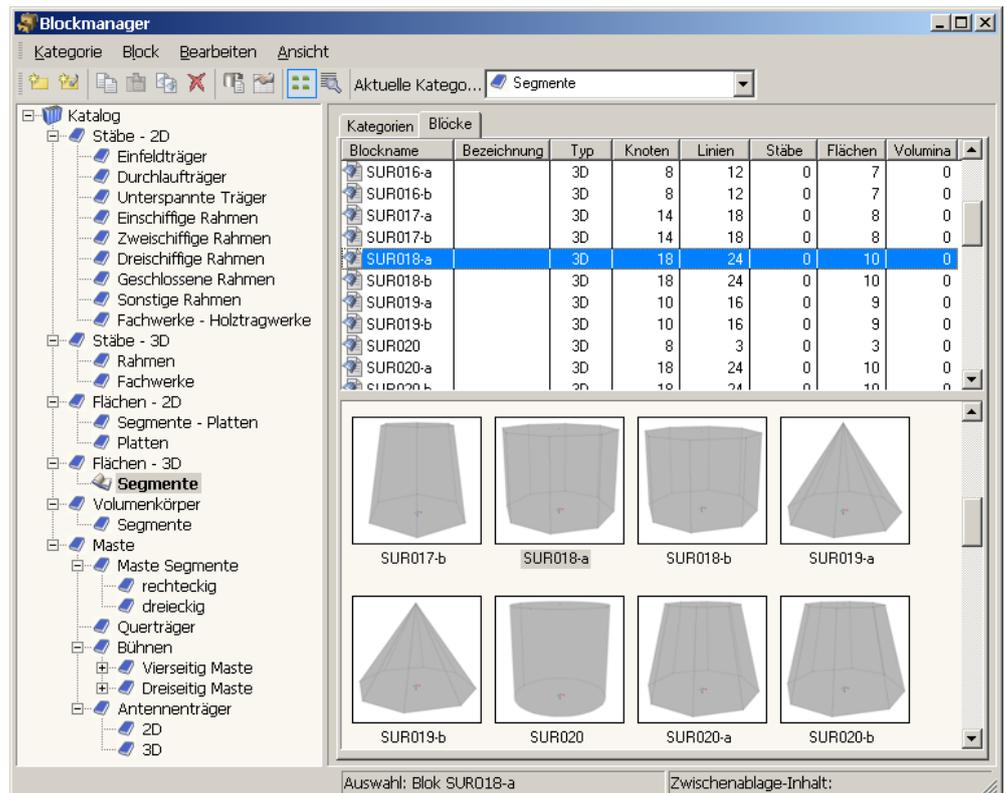


Bild 13.30: Blockmanager

Block-Navigator

Links wird ein Navigator mit dem *Katalog* aller vorhandenen Block-Kategorien dargestellt. Die aktuelle Kategorie ist fett hervorgehoben. Eine andere Kategorie können Sie direkt per Doppelklick oder über die Liste *Aktuelle Kategorie* in der Symbolleiste als aktuell setzen. Auf der rechten Seite erscheint im Register *Blöcke* die Auflistung aller katalogisierten Objekte

innerhalb der selektierten Kategorie. Es stehen Blöcke für verschiedenartige Stab-, Flächen- und Volumenmodelle zur Auswahl.

Blöcke



Die Blöcke werden der Reihe nach aufgelistet. Es werden jeweils neben dem *Blocknamen* und der *Bezeichnung* wichtige Objektinformationen angegeben. Die anzuzeigenden Spalten können Sie über Menü **Ansicht** → **Spalten bearbeiten** oder die zugeordnete Schaltfläche anpassen (siehe Kapitel 13.1.14, Seite 474).

Blockgrafiken

Unterhalb der Auflistung wird eine grafische Übersicht der Blöcke angezeigt, die in der aktuellen Kategorie katalogisiert sind. Diese Vorschau grafiken sind interaktiv mit der Liste oberhalb.

13.4.1 Block erzeugen

Um einen Block aus Objekten der aktuellen RFEM-Struktur zu erzeugen, sind die relevanten Objekte zunächst in der RFEM-Oberfläche 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 Menü

Datei → **Speichern als Block**.

Es öffnet sich folgender Dialog.

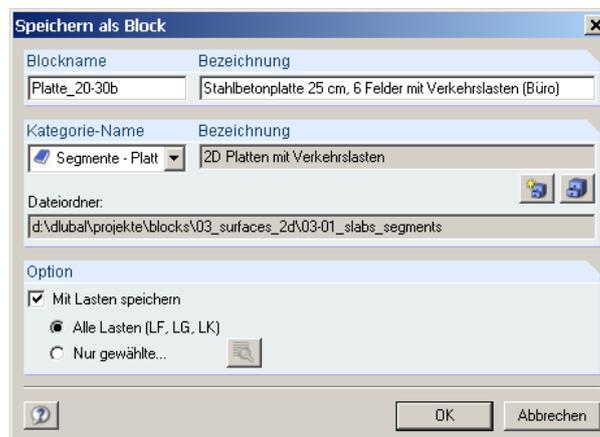


Bild 13.31: Dialog *Speichern als Block*

Es sind der *Blockname* und der *Kategorie-Name* festzulegen, unter der der Block gespeichert werden soll. Die Auswahl kann über die Liste erfolgen. Zusätzlich kann man als *Bezeichnung* eine kurze Beschreibung des Blocks angeben.

Der Speicherpfad des Blocks wird in der Zeile *Dateiordner* angezeigt.

Wenn Lasten definiert sind, können diese zusammen mit dem Block abgespeichert werden. Im Abschnitt *Optionen* wird zudem festgelegt, ob alle Lasten oder nur bestimmte Lastfälle infrage kommen.



Über die Schaltfläche [Neue Kategorie] kann eine Block-Kategorie neu angelegt werden:

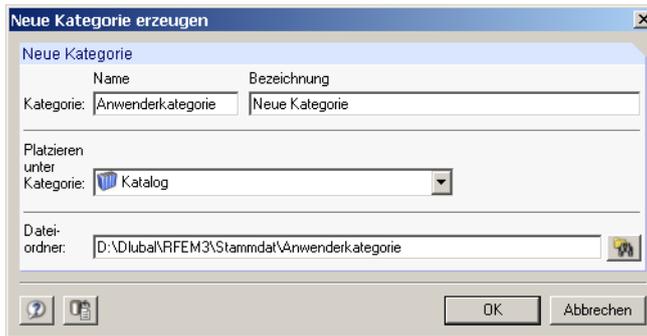


Bild 13.32: Dialog *Neue Kategorie erzeugen*

Die Vorgehensweise entspricht der beim Anlegen eines neuen Projekts im Projektmanager (siehe Kapitel 13.1.1, Seite 464).

13.4.2 Block importieren



Um einen Block in die aktuelle RFEM-Struktur einzulesen, ist zunächst der Blockmanager aufzurufen (siehe Bild 13.29, Seite 479). Im Katalog wählt man dann die Kategorie aus und selektiert im Register *Blöcke* den gewünschten Block mit einem einfachen Mausklick.

Der Import kann gestartet werden über das

- Menü **Block** → **Block einfügen**
- Kontextmenü des Blocks.

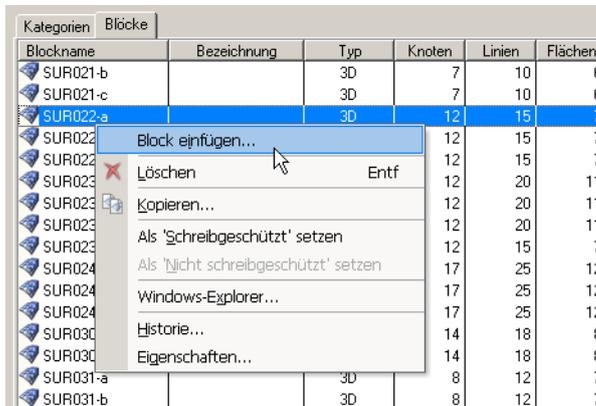


Bild 13.33: Kontextmenü *Block*

Der gewünschte Block kann auch doppelgeklickt werden. Es öffnet sich der nachfolgend dargestellte Dialog.

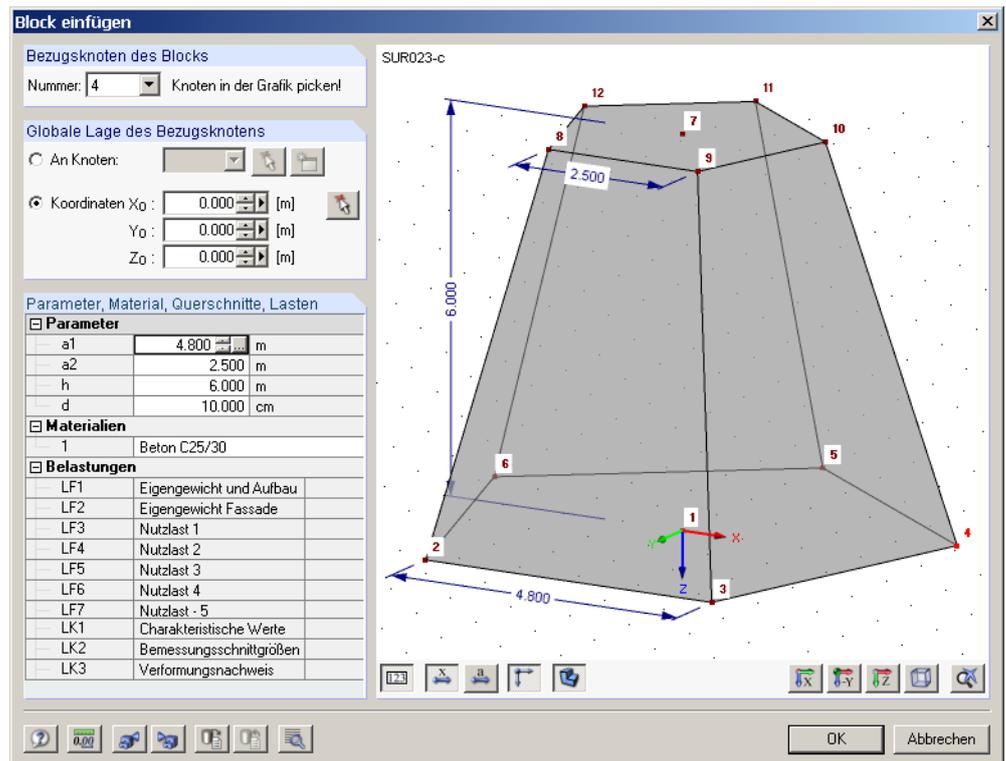


Bild 13.34: Dialog *Block einfügen*

In diesem Dialog lässt sich der *Bezugsknoten* des Blocks (der „Greifpunkt“ des Blocks) sowie dessen Lage im RFEM-Modell festlegen.



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 können auch die abgelegten *Belastungen* importiert werden. Über die Schaltfläche [Details] lassen sich die relevanten Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen gezielt auswählen.

13.4.3 Block löschen



Im Blockmanager kann ein Block gelöscht werden mit

- dem Menü **Block** → **Löschen** (der Block muss selektiert sein)
- der Schaltfläche [Löschen] in der Symbolleiste
- dem Kontextmenü des Blocks (vgl. Bild 13.33).



Bild 13.35: Schaltfläche *Block löschen*

Der Block wird nach einer entsprechenden Sicherheitsabfrage in den Dlubal-Papierkorb verschoben.

13.5 Schnittstellen

Es besteht die Möglichkeit, Daten zwischen RFEM und externen Programmen auszutauschen. Dadurch lassen sich sowohl die CAD-Vorlagen anderer Anwendungen nutzen als auch die Ergebnisse der statischen Berechnung in Konstruktions- oder Bemessungsprogrammen verwerten.



Schnittstellen bestehen auch zu Programmen aus dem Hause DLUBAL. Die Eingabedaten der RFEM-Vorgängerversionen werden problemlos eingelesen. In RFEM können zudem Dateien des Stabwerksprogramms RSTAB direkt geöffnet und mit Flächen- oder Volumenelementen ergänzt werden. In gleicher Weise lassen sich Dateien, die mit RFEM 4 erzeugt wurden, auch in RSTAB 7 öffnen.

Wenn in externen Programmen Dateien des Typs *.stp, *.dxf, *.fem, *.asf, *.dat, *.cfe oder *.ifc erzeugt werden können, lassen sich diese Daten als Vorlage für RFEM nutzen. Umgekehrt kann RFEM auch *.stp, *.dxf, *.fem, *.dat, *.esf oder *.ifc - Dateien zur Verwendung in anderen Programmen schreiben.

Der Export des Ausdruckprotokolls als RTF-Datei und nach BauText ist im Kapitel 11.1.11 auf Seite 351 beschrieben.

RFEM ist auch über eine programmierbare Schnittstelle auf Basis der COM-Technologie (z. B. Visual Basic) von außen steuerbar. Mit dem Zusatzmodul RF-COM (nicht im Umfang von RFEM enthalten) können maßgeschneiderte Eingabemakros und Nachlaufprogramme genutzt werden.



Der Import einer Datei wird gestartet über Menü

Datei → Importieren.

Es wird folgender Dialog angezeigt.

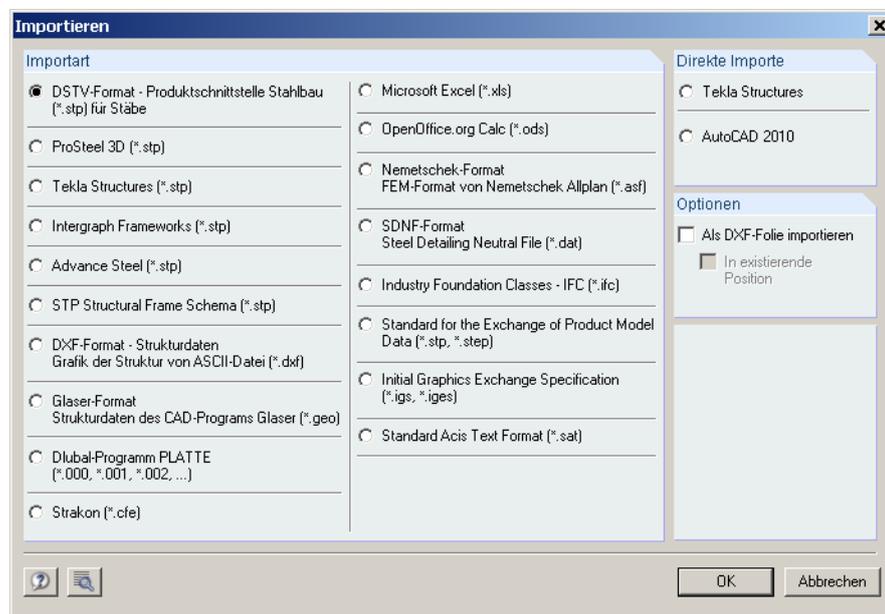


Bild 13.36: Dialog *Importieren*



Soll eine RFEM-Datei exportiert werden, so geschieht dies über Menü

Datei → Exportieren.

Es wird der auf der folgenden Seite dargestellte Dialog angezeigt.

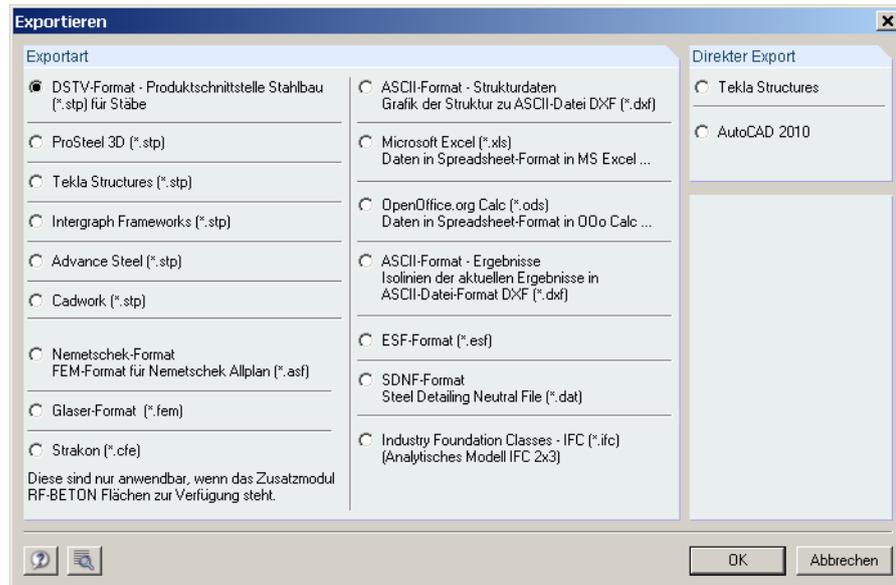


Bild 13.37: Dialog *Exportieren*

13.5.1 Dlubal-Programme

13.5.1.1 RFEM 1.xx/2.xx - Format *.rfe

Es können mehrere RFEM-Programmversionen parallel installiert werden (vgl. Kapitel 2.2.4, Seite 13). Projekte aus RFEM 3 werden im Projektmanager automatisch angezeigt, Projekte der Versionen RFEM 1 und RFEM 2 sind nicht im Projektmanager von RFEM 4 integriert. Es ist aber kein großer Aufwand, die alten Positionen auch in RFEM 4 zu nutzen (siehe unten).

RFEM 1 und RFEM 2 speichern die Positionsdateien im Format *.rfe ab, RFEM 4 im Format *.rf4. Es besteht eine Aufwärtskompatibilität der Positionsdateien, sodass jede *.rfe-Datei mit RFEM 4 geöffnet werden kann. Es ist jedoch keine Abwärtskompatibilität gegeben, d. h. RFEM 2 kann wegen der eingeschränkten Datenstruktur keine *.rf4-Dateien einlesen.

Eine in RFEM 1 oder RFEM 2 erstellte Datei lässt sich in RFEM 4 direkt öffnen über Menü **Datei** → **Öffnen**.

Es erscheint ein erweiterter *Öffnen*-Dialog von Windows, in dem man den Ordner und die Datei auswählen kann.

Alternativ wird der Projektmanager benutzt. Hierzu ist es allerdings erforderlich, zunächst die alten Projekte als Verzeichnisse in die Verwaltung des neuen Projektmanagers zu integrieren. Die Beschreibung dieser Funktion finden Sie im Kapitel 13.1.2 auf Seite 465.

Es können nicht alle Projekte aus RFEM 2 auf einmal eingebunden werden. Sind mehrere alte Projekte in den Projektmanager aufzunehmen, empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

Öffnen Sie eine beliebige Position aus diesem Projekt mit dem Menü **Datei** → **Öffnen**. Es erscheint folgende Abfrage:

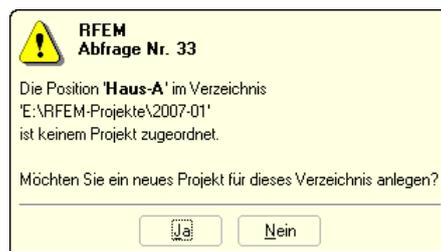


Bild 13.38: Abfrage *Neues Projekt für Verzeichnis anlegen?*



Wie werden RFEM 2 - Projekte im Projektmanager angezeigt?

Wählen Sie hier [Ja], um den Dialog zum Einbinden des Verzeichnisses aufzurufen.



Bild 13.39: Dialog *Verzeichnis einbinden und neues Projekt anlegen*

Der einzubindende *Dateiordner* ist bereits eingetragen. Geben Sie für die Anzeige im Projektmanager noch *Name* und ggf. *Bezeichnung* an und legen über das Auswahlfeld unterhalb das Projektmanager-Verzeichnis fest, in dem Sie das *Projekt platzieren* möchten.

Nach [OK] zeigt der Projektmanager alle Positionen aus RFEM 2 an, die in diesem Ordner enthalten sind. Diese sind in Spalte *Positionsname* mit dem RFEM 2 - Icon gekennzeichnet.

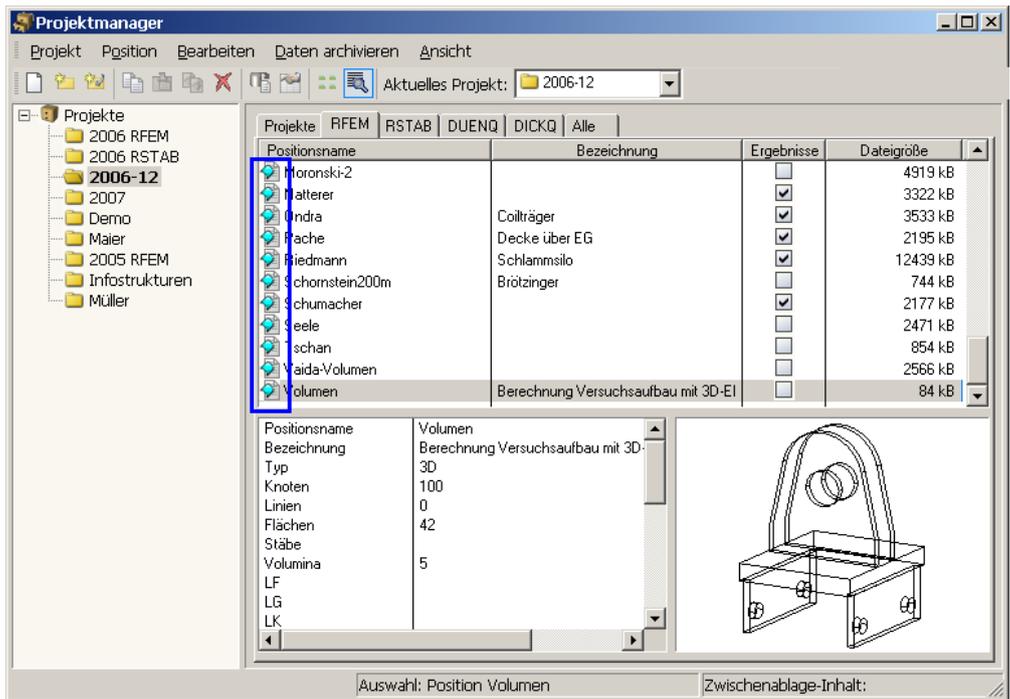


Bild 13.40: Projektmanager mit Positionen aus RFEM 2



Das nächste Projekt aus RFEM 2 binden Sie anschließend in gleicher Weise ein: Öffnen Sie über Menü **Datei** → **Öffnen** eine beliebige Position aus dem alten Projekt und legen wieder ein Projekt für den Projektmanager von RFEM 4 an.



Wird eine mit RFEM 2 erzeugte Datei in RFEM 4 gespeichert, so wird diese automatisch im Format *.rf4 gesichert. Es erfolgt kein Überschreiben der alten Datei, sodass sie weiterhin mit RFEM 2 geöffnet werden kann. Falls der identische Dateiname benutzt wird, gibt es damit zwei gleichnamige Dateien im Projektmanager von RFEM 4. Die Unterscheidung ist über die entsprechenden Icons in der Spalte *Positionsname* möglich.

13.5.1.2 PLATTE - Format *.000



PLATTE-Dateien, die im DOS-Format *.000 vorliegen, können importiert werden über Menü **Datei** → **Importieren**.

Es öffnet sich der im Bild 13.36 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *Dlubal-Programm PLATTE*. Mit [OK] wird der allgemeine Öffnen-Dialog aufgerufen, in dem Sie den Dateiordner und Positionsnamen der DOS-Datei auswählen können.

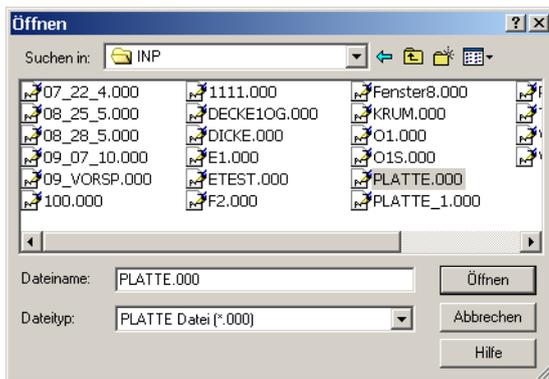


Bild 13.41: Dialog *Öffnen* mit Liste der DOS-Positionsdateien

In PLATTE werden die Eingabedaten im INP-Ordner des jeweiligen Projektverzeichnis abgelegt. Der Dialog listet die vorhandenen Strukturdaten-Dateien ‚Positionname‘.000 auf.

Nach [Öffnen] wird der Dialog *Neue Position - Basisangaben* angezeigt. Der alte Positionsnamen ist voreingestellt. Die Position wird automatisch in das aktuelle Projekt integriert, was jedoch im Abschnitt *Projekt* geändert werden kann.

13.5.2 Externe Programme

13.5.2.1 DSTV-Format *.stp

Über die Produktschnittstelle des Deutschen Stahlbau-Verbandes DSTV werden Stabwerksdateien nicht auf ein Drahtmodell reduziert übergeben, sondern es sind sämtliche Struktur- und Belastungsinformationen enthalten, die für die rationelle und effektive Weiterbearbeitung benötigt werden. Viele Softwarehersteller, darunter auch DLUBAL, arbeiten an der Entwicklung dieser Produktschnittstelle zusammen. Mithilfe dieser Schnittstelle ist ein Datenaustausch u. a. mit *Tekla Structures*, *ProSteel 3D*, *Intergraph Frameworks*, *Advance Steel* oder *cadwork* möglich. Diese Software kann im Import- bzw. Exportdialog auch direkt ausgewählt werden.



Die Schnittstelle umfasst generell Statik- und CAD-Daten. Seitens RFEM wird nur das Statikformat mit bestimmten „Entities“ unterstützt, die Sie in der Beschreibung nachlesen können (unter <http://www.deutscherstahlbau.de/asp/biblioaussdet.asp?auss=7> kostenlos als PDF-Datei herunterladen).

Die Schnittstelle kann Knoten-, Stab- und Querschnittsinformationen inklusive Stabexzentrizitäten und Querschnittsdrehungen übertragen. Ferner werden Knotenlager, Lastfälle, Lastfallgruppen und -kombinationen mit Knoten-, Stablasten und Imperfektionen übergeben. Die Ergebnisse der Berechnung können ebenfalls in der Austauschdatei abgelegt werden.

Dateien, die im DSTV-Format *.stp vorliegen, können importiert werden über Menü

Datei → **Importieren**.



Der Export der aktuellen RFEM-Datei ist möglich über Menü

Datei → **Exportieren**.



Es öffnet sich der im Bild 13.36 bzw. Bild 13.37 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *DSTV-Format*. [OK] ruft den allgemeinen *Öffnen-* bzw. *Speichern-* Dialog auf, in dem der Ordner und der Name der *.stp-Datei angegeben werden.

Im Dialog *Importieren* bzw. *Exportieren* steht die Schaltfläche [Details] zur Verfügung, über die weitere Einstellungen für den Datenaustausch vorgenommen werden können.



Bild 13.42: Dialog *Detaileinstellungen für Export*

13.5.2.2 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 der aktuellen Position erzeugen. Es wird dabei für jeden Querschnitt ein Layer verwendet. Knotenlager, Belastungen etc. werden nicht übergeben.

Modelldateien, die im ASCII-Format *.dxf vorliegen, können importiert werden über Menü **Datei** → **Importieren**.

Der Export einer RFEM-Struktur als Linienmodell ist möglich über Menü **Datei** → **Exportieren**.

Es öffnet sich der im Bild 13.36 bzw. Bild 13.37 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *ASCII-Format*. [OK] ruft den allgemeinen *Öffnen-* bzw. *Speichern-* Dialog auf, in dem der Ordner und der Name der *.dxf-Datei angegeben werden.

Im Dialog *Importieren* bzw. *Exportieren* steht die Schaltfläche [Details] zur Verfügung, über die weitere Einstellungen für den Datenaustausch vorgenommen werden können. Vor allem vor dem Import sollte man einige Parameter kontrollieren (siehe Bild 13.43).



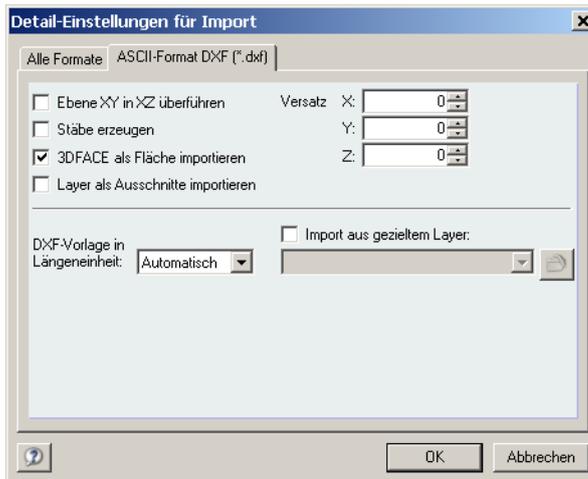


Bild 13.43: Dialog *Detaileinstellungen für Import*

Es empfiehlt sich, die *Längeneinheit* der DXF-Vorlage zu überprüfen. Optional kann ein bestimmter *Versatz* angegeben werden, um den die Struktur in RFEM verschoben eingelesen wird. Wenn man die Option *3D FACE 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 [Öffnen] rechts unterhalb 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 ersten Register *Alle Formate* für den Import die *Z-Achse* mithilfe der Auswahlliste nach unten ausrichtet, können die Gewichtslasten in RFEM positiv eingegeben werden.



Bild 13.44: Dialog *Detaileinstellungen für Import*, Register *Alle Formate*

Beim DXF-Export werden auch Werte mit 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.

13.5.2.3 Glaser-Format *.fem

RFEM verfügt über eine Schnittstelle zum Programm *Glaser* von *Isb CAD*, die den Austausch von Geometrie- und Bewehrungsdaten ermöglicht.



Modelldateien, die im Glaser-Format *.fem vorliegen, können importiert werden über Menü **Datei** → **Importieren**.



Der Export der Flächen-Bemessungsergebnisse ist möglich über Menü **Datei** → **Exportieren**.

Es öffnet sich der im Bild 13.36 bzw. Bild 13.37 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie dort das Auswahlfeld *Glaser-Format*. [OK] ruft den allgemeinen *Öffnen*- bzw. *Speichern*-Dialog auf, in dem der Ordner und der Name der *.fem-Datei festgelegt werden.

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.



Über die Schaltfläche [Details] im Dialog *Exportieren* wird ein weiterer Dialog aufgerufen, in dem die Steuerung der für den Export infrage kommenden Bewehrungsergebnisse erfolgt.

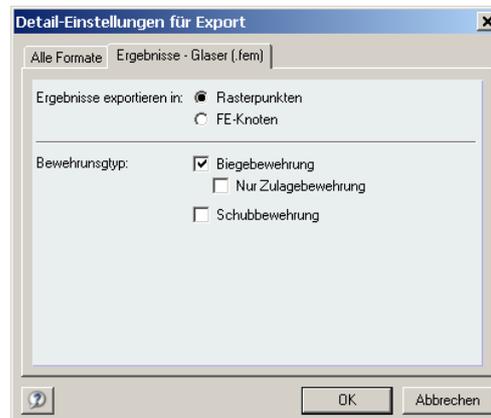


Bild 13.45: Dialog *Detaileinstellungen für Export*

Die Bewehrungsergebnisse werden im GLASER in den Rasterpunkten bzw. FE-Knoten grafisch umgesetzt. Da sie als Werte hinterlegt sind, ist auch die Weiterverarbeitung in Bewehrungsplänen möglich.

13.5.2.4 Nemetschek-Format *.asf

Ein Datenaustausch ist auch mit dem Programm *Allplan* von NEMETSCHKEK möglich.



Für den Import der Modelldaten ist das allgemeine DXF-Format zu empfehlen. Der Importdialog (Bild 13.36, Seite 483) wird aufgerufen über Menü

Datei → **Importieren**.



Der Export der Flächen-Bemessungsergebnisse ist möglich über Menü

Datei → **Exportieren**.

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.



Über die Schaltfläche [Details] im Dialog *Exportieren* (siehe Bild 13.37, Seite 484) wird ein weiterer Dialog aufgerufen zur Auswahl der Flächen, deren Bewehrungen für den Export infrage kommen.

Bild 13.46: Dialog *Detaileinstellungen für Export*

13.5.2.5 MS Excel-Format *.xls

RFEM kann Tabellen im Format *.xls einlesen und auch erzeugen. Der Datenaustausch mit MS Excel ist bereits im Kapitel 12.3.6 auf Seite 418 beschrieben. Die dort vorgestellte Möglichkeit steht jedoch nur für die aktive RFEM-Tabelle zur Verfügung. Mit der nachfolgend beschriebenen Funktion können alle Daten der Position auf einmal erfasst werden. Damit lassen sich eigene, externe Generierer für Struktur- oder Belastungsdaten nutzen.

Import



Wenn Sie eine XLS-Datei importieren möchten, muss MS Excel im Hintergrund geöffnet sein. Der Import wird gestartet über Menü

Datei → Importieren.

Es öffnet sich der im Bild 13.36 auf Seite 483 dargestellte Dialog, in dem Sie das Auswahl-feld *Microsoft Excel* aktivieren. Nach [OK] wird folgender Dialog aufgerufen.

Bild 13.47: Dialog *Importieren von Microsoft Excel*

Hier erfolgt die Auswahl der zu importierenden *Arbeitsmappe* und *Tabellenblätter*. Damit die Daten beim Import korrekt in den RFEM-Tabellen ankommen, müssen Bezeichnung, Reihenfolge und Struktur der Tabellenblätter von Excel und RFEM übereinstimmen. Sind Sie sich nicht ganz sicher, so können Sie aus der aktuellen RFEM-Datei zu Testzwecken schnell eine XLS-Datei erzeugen lassen.

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.

Export



Excel braucht nicht im Hintergrund geöffnet sein, es wird vor dem Export automatisch gestartet. Der Export einer RFEM-Struktur in das XLS-Tabellenformat ist möglich über Menü

Datei → **Exportieren**.

Es öffnet sich der im Bild 13.37 auf Seite 484 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *Microsoft Excel* und rufen mit [OK] folgenden Dialog auf.



Bild 13.48: Dialog *Exporttabellen nach Microsoft Excel - Einstellungen*



Im Abschnitt *Tabellen exportieren* wird ausgewählt, welche Tabellen für den Export infrage kommen. Wird das Auswahlfeld *Nur bestimmte Tabellen* aktiviert, so wird die zugehörige Schaltfläche [Details] zugänglich. Damit lassen sich gezielte Vorgaben treffen.

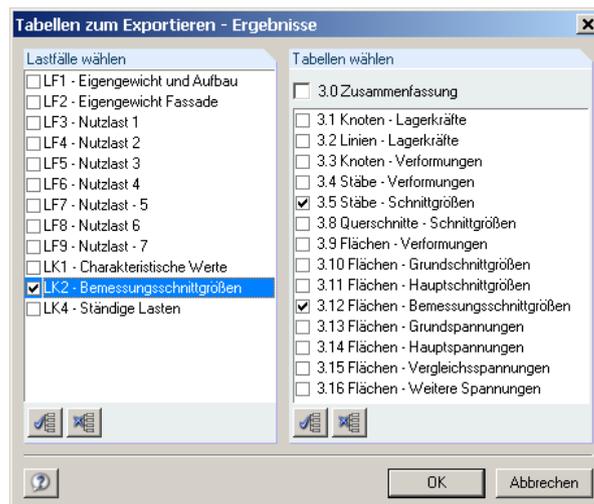


Bild 13.49: Dialog *Tabellen zum Exportieren - Ergebnisse*

Im Abschnitt *Formeln und Parameter-Behandlung* des Ausgangsdialogs (Bild 13.48) kann festgelegt werden, ob beim Datenaustausch zwischen RFEM und Excel hinterlegte Formeln mit übergeben werden.

13.5.2.6 OpenOffice-Format *.ods

Diese Schnittstelle ist zugänglich, wenn *OpenOffice.org Calc* installiert ist.

Die Import- und Exportoptionen entsprechen denen des Datenaustausches mit MS Excel, den Sie im vorherigen Kapitel ausführlich beschrieben finden.

13.5.2.7 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.



Modelldateien, die im SDNF-Format *.dat vorliegen, können importiert werden über Menü **Datei → Importieren.**



Der Export einer RFEM-Struktur als SDNF-Modell ist möglich über Menü **Datei → Exportieren.**

Es öffnet sich der im Bild 13.36 bzw. Bild 13.37 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *SDNF-Format*. [OK] ruft den allgemeinen *Öffnen-* bzw. *Speichern-*Dialog auf, in dem der Ordner und der Name der *.dat-Datei angegeben werden.

13.5.2.8 Strakon-Format *.cfe

Das Strakon-Format *.cfe unterstützt den Austausch von Geometriedaten wie Flächen mit dem CAD-Programmsystem STRAKON des Softwareherstellers DICAD.



Modelldateien, die im Strakon-Format vorliegen, können importiert werden über Menü **Datei → Importieren.**



Die in RF-BETON ermittelte Flächenbewehrung wird für STRAKON verfügbar über Menü **Datei → Exportieren.**

Es öffnet sich der im Bild 13.36 bzw. Bild 13.37 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *Geometry and structural data* und rufen mit [OK] den allgemeinen *Öffnen-* bzw. *Speichern-*Dialog auf. Dort geben Sie den Dateiordner und den Namen der *.cfe-Datei an.

13.5.2.9 IFC-Format *.ifc



IAI-Logo

Die *Industry Foundation Classes* (IFC) werden von der IAI (*Industrieallianz 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. Die 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 finden Sie unter www.buildingsmart.de.



Modelldateien, die im Format *.ifc vorliegen, können importiert werden über Menü **Datei → Importieren.**



Der Export einer RFEM-Struktur als IFC-Modell ist möglich über Menü **Datei → Exportieren.**

Dabei wird ein analytisches Modell in der Version IFC 2x Edition 3 erzeugt.

Es öffnet sich der im Bild 13.36 bzw. Bild 13.37 auf Seite 483 gezeigte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *Industry Foundation Classes* und rufen dann mit [OK] den allgemeinen *Öffnen-* bzw. *Speichern-*Dialog auf. Dort geben Sie den Dateiordner und den Namen der *.ifc-Datei an.

13.5.2.10 ESF-Format *.esf

Diese Schnittstelle wurde speziell für das Programm CADKON von AB STUDIO entwickelt. Es können ebene, konstant dicke Flächen mitsamt Öffnungen und Materialinformationen exportiert werden.



Modelldateien, die im Format *.esf vorliegen, können exportiert werden über Menü

Datei → Exportieren.

Es öffnet sich der im Bild 13.37 auf Seite 484 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier das Auswahlfeld *ESF-Format*. [OK] ruft den allgemeinen *Speichern*-Dialog auf, in dem Sie den Ordner und den Namen der *.esf-Datei angeben können.

Da der Import im ESF-Format nicht vorgesehen ist, kann das DXF-Format benutzt werden.

13.5.2.11 RX-LINK-Import *.step, *.iges, *.sat

Über das Zusatzmodul RX-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 und erlauben die Übernahme der Modellgeometrie in Form von Berandungslinien und Flächen.



Modelldateien, die in einem der genannten Formate vorliegen, können importiert werden über Menü

Datei → Importieren.

Es öffnet sich der im Bild 13.36 auf Seite 483 dargestellte Dialog. Aktivieren Sie hier eines der drei Auswahlfelder:

- *Standard for the Exchange of Product model data*
- *Initial Graphics Exchange Specification*
- *Standard Acis Text format*

Diese drei Optionen sind nur dann zugänglich, wenn RX-LINK installiert ist. Hierfür ist eine separate Installationsroutine erforderlich.

Der Export von RFEM-Dateien in das STEP-, IGES- oder SAT-Format ist derzeit nicht vorgesehen.

13.5.2.12 RX-CAD

Das kostenfreie, automatisch mitinstallierte Tool RX-CAD ermöglicht die Kopplung zwischen RFEM und den AutoCAD-Versionen 2004 bis 2009. Dabei wird in AutoCAD eine spezielle Symbolleiste mit vier Funktionen bereitgestellt. Diese Funktionen umfassen

- den Import von RFEM-Strukturen,
- den Import von Isolinien,
- den Export von RFEM-Strukturen und
- die Steuerung der Import- und Exportfunktionen mitsamt Spracheinstellung.



Bild 13.50: Symbolleiste RX-CAD

Ist auf dem Rechner bereits AutoCAD installiert, wird die RX-CAD Symbolleiste während der RFEM-Installation automatisch in AutoCAD registriert und beim Start von AutoCAD geladen. Dies geschieht allerdings nur für den Benutzeraccount des Administrators, unter dem die Installation vorgenommen wurde.

Andere Benutzer müssen die RX-CAD Werkzeugleiste manuell in die AutoCAD Startgruppe einbinden: Die Datei **RX-CAD.ARX** ist in der Startgruppe zu registrieren, sodass diese beim Start von AutoCAD geladen wird. Der AutoCAD-Befehl dazu lautet „apload“. Im Dialog *Anwendungen laden/entfernen* können Sie in der Startgruppe die Schaltfläche [Inhalt] verwenden, um dort die Datei RX-CAD.ARX einzutragen. Diese ist standardmäßig im Ordner **C:\Programme\Gemeinsame Dateien\Dlubal** zu finden. In gleicher Weise kann die Datei RX-CAD.ARX wieder aus der Startgruppe entfernt werden.

Standardmäßig wird die Symbolleiste in AutoCAD links vertikal angeordnet. Die vier Schaltflächen sind mit folgenden Funktionen belegt:

	Eine RFEM-Position kann importiert werden.
	Ergebnisse in Form von Isolinien können importiert werden.
	Die AutoCAD-Datei kann exportiert werden.
	Es wird ein Dialog mit diversen Einstellungsmöglichkeiten aufgerufen.

Tabelle 13.2: Schaltflächen der Symbolleiste RX-CAD

Die Einstellungsmöglichkeiten zum Import von **Isolinien-Ergebnissen** sind etwas umfangreicher.



Isolinien werden direkt aus einer RFEM-Position importiert, d. h. die Position muss geöffnet sein. Es werden die zuletzt bzw. aktuell angezeigten Schnittgrößen, Verformungen oder Bewehrungen übernommen. Isolinien werden nicht aus einer *.rf4 Datei eingelesen.



Bild 13.51: Dialog RX-CAD Optionen, Register *Isolinien importieren*

Im Eingabefeld *Import von Flächen* kann man die Nummern derjenige Flächen angeben, deren Isolinien importiert werden sollen. Falls ein Ausschnitt und/oder ein Filter in RFEM aktiv ist, werden die Isolinien nur der in RFEM angezeigten Flächen importiert – auch wenn in diesem Dialog das Kontrollfeld *Alle* angehakt ist.

Von den ausgewählten Flächen werden *Begrenzungslinien*, *Integrierte Linien* und *FE-Netz* eingelesen. Ein Ausschnitt und/oder ein Filter in RFEM hat hierauf keine Auswirkungen. Da *Andere Linien* keiner Fläche zugeordnet werden können, wird dieses Kontrollfeld von den zum Import vorgesehenen Flächen nicht beeinflusst.

Bei der Option *Importiere Farbskala* kann eine Ebene festgelegt werden, in der die Farbskala abgelegt wird. Es stehen die Ebenen XY, XZ und YZ zur Auswahl. Die Farbskala kann nicht durch die Spiegelung der Achsen im Register *Position importieren* beeinflusst werden.

Mit *Zeichnung vor dem Import löschen* kann vor dem Import die bereits aktive AutoCAD-Zeichnung gelöscht werden. Wenn Sie mehrere Positionen in eine AutoCAD-Zeichnung einlesen möchten, sollten Sie diese Option nicht aktivieren.

Die Vorgaben zum *Spiegeln der Koordinaten* werden im Register *Position importieren* verwaltet. Dort kann festgelegt werden, welche Koordinaten beim Import gespiegelt werden sollen. Der Hintergrund dieser Option liegt bei den Koordinatensystemen beider Programme: In AutoCAD ist die Z-Achse nach oben orientiert, in RFEM standardmäßig nach unten (damit Lasten positiv eingegeben werden können).

Erzeugte Layer in AutoCAD

Beim Import werden in AutoCAD automatisch Layer erzeugt. Dies hat den Vorteil, dass einzelne Elemente schnell ausgeschaltet werden können.

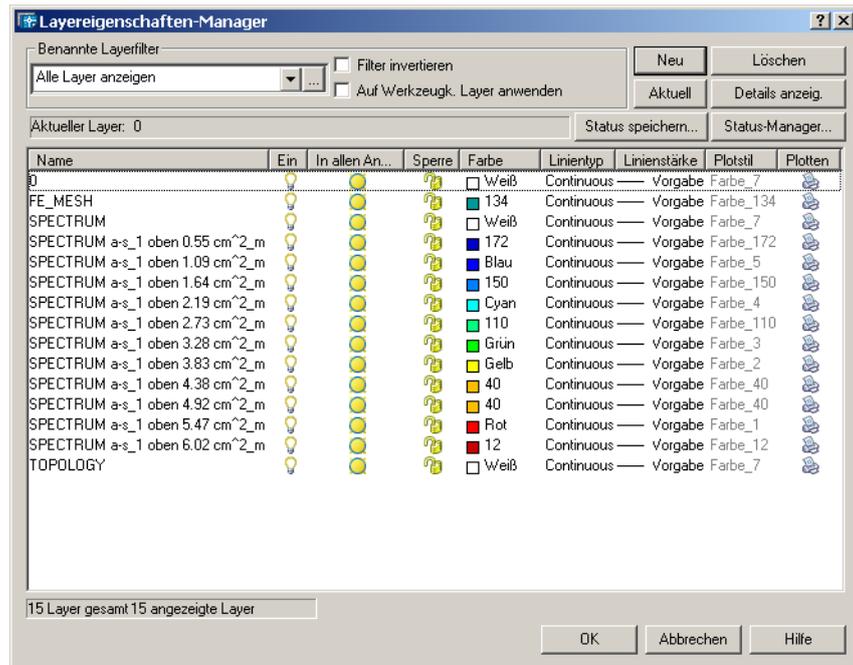


Bild 13.52: AutoCAD: Layer Eigenschaften-Manager

Es werden standardmäßig die Layer TOPOLOGY, SPECTRUM, FE_MESH und je ein Layer für die Werte der Isolinen abgelegt. Für jeden Layer kann in AutoCAD die Farbe und der Linientyp festgelegt werden. Der Layer kann gefroren oder ausgeschaltet werden.

RFEM - Linien	AutoCAD - Layer
Struktur	TOPOLOGY
Farbskala	SPECTRUM
FE-Netz	FE_MESH
Isolinien-Ergebnisse	Für jeden Wert der Isolinie wird ein separater Layer erzeugt.

Tabelle 13.3: Linien-Layer Zuordnung

A Literatur

- [1] ZIENKIEWICZ, O. C., CHEUNG, Y.K.: The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics, McGraw-Hill, New York, London, 1967
- [2] KOLÁR, V. et al.: Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach den Methode der finiten Elemente (tschechisch), SMTL Prag, 1972
- [3] KOLÁR, V. et al.: Berechnung von Flächen- und Raumtragwerken nach den Methode der finiten Elemente, Springer-Verlag Wien, New York, 1975
- [4] KOLÁR, V., NEMEC, I.: Modeling of Soil-Structure Interaction, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, co-published with Academica Prague, 1989, second revised edition
- [5] STIGLAT, K. WIPPEL, H.: Massive Platten. In: Betonkalender 1989/I, S. 281 ff, Ernst und Sohn, Berlin, 1989
- [6] CZERNY, F.: Tafeln für Rechteckplatten. In: Betonkalender 1990/I, S. 309 ff, Ernst und Sohn, Berlin, 1990
- [7] WUNDERLICH, W. et al.: Modellierung und Berechnung von Deckenplatten mit Unterzügen. In: Bauingenieur 69, Heft 10, S. 381-389, Springer-Verlag, 1994
- [8] PASTERNAK, P.L.: Grundlagen einer neuen Methode der Berechnung von Fundamenten mittels zwei Bettungskoeffizienten, Gos. Isd. Stroj. i Arch., Moskau, 1954 (russisch)
- [9] KOLÁR, V. et al.: Kurs für Statiker von Gründungsbauwerken und Erdkörpern, S. 146 ff., Haus der Technik, Ostrau, 1983 (tschechisch)
- [10] TIMOSHENKO, S.P. und WOINOWSKI-KRIEGER, S.: Theory of Plates and Shells, 2. Auflage, McGraw-Hill, New York, 1959
- [11] GRASSER, E. und THIELEN, G.: Heft 240 DAfSt, Ernst und Sohn, Berlin-München-Düsseldorf, 1978, 2. überarbeitete Auflage
- [12] GRASSER, E., KORDINA, K., QUAST, U.: Bemessung von Beton- und Stahlbetonbauteilen nach DIN 1045, DAfStb - Heft 220, Ernst & Sohn, Berlin 1979
- [13] KOLÁR, V. - NEMEC, I.: Contact Stress and Settlement in the Structure-Soil Interface. Studie der tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften Nr. 16, Academia Prag 1991, 160 Seiten (englisch)
- [14] PETERSEN, Chr.: Stahlbau, Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 1988
- [15] Handbuch Platte, Dlubal GmbH
- [16] Handbuch PLDIM1, Dlubal GmbH
- [17] KOLÁR, V., NEMEC, I, KANICKÝ, V: FEM - Principy a praxe metody konečných prvků, 1997
- [18] KOLÁR, V. et al.: Kurs für Statiker von Gründungsbauwerken und Erdkörpern, Haus der Technik, Ostrau, 1983 (tschechisch)
- [19] KOLÁR, V. et al.: Bemessung von zwei- und dreidimensionalen Strukturen mit FEM, Springer-Verlag, New York/Wien, 1975, S. 425 ff. Kapitel 1 (1D-Element) und 6 (Variationsprinzip)
- [20] KOLÁR, V., NEMEC, I.: Finite Element Analysis of Structures. United Nations Development Program, Economic Com. for Europe, Workshop on CAD Techniques, June 1984, Prague/Geneva, Vol. I, 248 pp.
- [21] BERGAN, P. G. : Finite Elements Based on Energy Orthogonal Functions. Int. Journal for numerical Methods in Engineering, 17 (1981), S. 154-155
- [22] BERGAN, P.G. - NYGARD, M. K.: Finite Elements With Increased Freedom in Choosing Shape Functions. Int. Journal for Num. Meth. in Eng., 20 (1984), p. 643-664, (Free Formulation Concept)

- [23] BERGAN, P.G. - FELIPPA, C. A.: A Triangular Membrane Element With Rotational Degrees of Freedom. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 50 (1985), pp. 25-69
- [24] ZIENKIEWIC, O.C.: *The Finite Element Method in Engineering Science*, Mc Graw - Hill, London 3rd Ed., repr. 1979, 787 pp., Chapter 18 - 19 (Nonlinear Problems)
- [25] Dvorkin, E.N. - Bathe, K.-J.: A continuum mechanics based four-node shell element for nonlinear analysis. In: *Eng. Comput.*, 1984, vol. 1, pp. 77-88.
- [26] BAUMANN, Th.: Zur Frage der Netzbewehrung von Flächentragwerken. In: *Der Bauingenieur* 47 (1972), S. 36 ff, Springer-Verlag, Berlin 1972
- [27] SCHLAICH, J., SCHÄFER, K.: Konstruieren im Stahlbetonbau. In: *Betonkalender 1993, Teil II*, S. 327 ff, Ernst und Sohn, Berlin 1993
- [28] LEONHARDT, F.: *Vorlesungen über Massivbau, Teil 6*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York 1979
- [29] DIN 1045 (07.88), *Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung*, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich 1988
- [30] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: *DIN 1045-1 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 1: Bemessung und Konstruktion. Entwurf 12.1998.*
- [31] DIN 18800 (11.90) Teil 1, *Stahlbauten, Bemessung und Konstruktion*, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich 1992
- [32] DIN 18800 (11.90) Teil 2, *Stahlbauten, Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken*, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich 1992
- [33] Eurocode 2 Teil 1-1 (06.92), *Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich 1992
- [34] Eurocode 3 Teil 1-1 (04.93), *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*, Beuth Verlag, Berlin/Wien/Zürich 1993
- [35] KLINGMÜLLER, O. LAWOW, M., THIERAUF, G. (1983), *Stabtragwerke, Matrizenmethoden der Statik und Dynamik, Teil 2: Dynamik*, Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig
- [36] KLOTTER, K. (1981), *Technische Schwingungslehre, Bd. 1, Teil A: Lineare Schwingungen, Teil B: Nichtlineare Schwingungen, Bd. 2: Schwinger von mehreren Freiheitsgraden*, Springer-Verlag, Berlin
- [37] KOLOUSEK, V. (1962), *Dynamik der Baukonstruktionen*, VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin
- [38] KRÄMER, E. (1984), *Maschinendynamik*, Springer Verlag, Berlin
- [39] LEHMANN, T. (1979), *Elemente der Mechanik IV: Schwingungen, Variationsprinzipie*, Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig
- [40] LIPINSKI, J. (1972), *Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen*, Bauverlag, Wiesbaden
- [41] LORENZ, H. (1960), *Grundbau-Dynamik*, Springer-Verlag, Berlin
- [42] MÜLLER, F. P. (1978), *Baudynamik, Betonkalender 1978*, Ernst und Sohn, Berlin
- [43] NATKE, H. G. (1989), *Baudynamik*, B. G. Teubner, Stuttgart
- [44] NOWACKI, W. (1974), *Baudynamik*, Springer-Verlag, Berlin
- [45] FLESCH, R. (1993), *Baudynamik, praxisgerecht*, Bauverlag GmbH, Wiesbaden/Berlin
- [46] MESKOURIS, K. (1999), *Baudynamik, Modelle Methoden Praxisbeispiele*, Ernst und Sohn, Berlin
- [47] BARES, R. A. (1989), *Tabellen für die Berechnung von Platten und Wänden STNL*, Prag
- [48] ŠEVČÍK, I., *3D Finite Elements with Rotational Degrees of Freedom*, FEM Consulting s.r.o., Brno

B Index

6

64-Bit 254

A

Abrunden 390

Abschnitt 66

Abschrägen 373

Abstand 382, 396, 460

Achsensystem 116

Addieren 410

Aktuelles Projekt 464

Allgemeine Stablage 160

Anfänglicher Arbeitsbereich 476

Animation 271, 328

Anmerkungen 395

Ansicht 83, 461

Anzahl Reaktivierungen 253

Anzeigeeigenschaften 455, 456

Arbeitsebene 376

Archivieren 472

ASCII-Datei 150, 345, 351, 487

ASF-Datei 489

Auflager 122, 126

Ausdruckprotokoll 329, 334, 352

Ausdruckprotokoll-Muster 346, 348

Ausfall Bettung 134, 167

Ausfallende Stäbe 254

Ausgaberaster 279

Auslagerungsdatei 254

Ausschneiden 406

Ausschnitt 322, 324

Aussparungen 121

Auswahlfeld 68

AutoCAD 493, 495

B

Bach 295

Balkenstab 156, 157

Basisangaben 475

Baugrundmodell 130

BauText 352, 483

Begrenzungsflächen 119

Begrenzungslinien 109, 113, 121

Belastungsgenerierer 441

Bemaßung 394, 395

Bemessungsmoment 287

Bemessungsnormalkraft 287

Bemessungsschnittgrößen 286, 288

Benutzerprofil 457

Berechnung starten 258

Berechnungsfehler 303

Berechnungsparameter 248

Berechnungstheorie 249

Bereich der Last 442

Besondere Behandlung 254

Bettungsausfall 134, 167

Bettungsmodell 130

Bettungsstäbe 167, 246, 256, 275

Bezugsknoten 88

Bezugslänge 208, 212

Biegemoment 272, 283, 285, 296

Biegetheorie 257

Block 480, 481

Blockmanager 479

Bodenkennwerte 134, 166

Bogen 95, 437

Bogendarstellung 201, 263, 266

Brettschichtholzträger 138

B-Splinefläche 111

C

COM-Schnittstelle 483

D

Darstellung 456

Dateiordner trennen 466

Dateiordner verknüpfen 465

Daten-Navigator 74

Dearchivieren 473

Deckblatt 349

Designs 72

Dezimalstellen 457

Diagramm 103

Dialogeingabe 84, 198

Dicad 492

Dicke-Typ	114	Ergebnisauswertung	303
DICKQ-Profile	150	Ergebnisdarstellung	305
Differenzen	307	Ergebnisdiagramm	312
Direkte Methode	254	Ergebnisglättung	317
Diskretisierung	177	Ergebnisraster	279, 309
Dividieren	410	Ergebnisse	260, 304
Dlubal-Papierkorb	467	<i>Ergebnisse</i> -Navigator	74, 304, 307
Drag & Drop	331	Ergebnisverläufe	266, 312, 316, 358
Dreieckselemente	246	Ergebniswerte	304, 312
Drillmoment	283	Ergebniswerte löschen	310
Drillspannungen	291	Ergebniswerte setzen	308, 309
Drillsteifigkeit	140	Ersatzlasten	232
Druckdatei	351	Ersatzstruktur	190
Drucken	350	Ersetzen	406
Druckfarbe	360	ESF-Format	493
Druckkopf	340, 341, 356	Eventuelle Überlagerung	193
Druckkopfmuster	342	Excel	418, 419, 422, 423, 477, 490, 491
Druckqualität	360	Export	419, 483
Druckstab	156, 157	Extremwerte	270, 272, 277, 304, 309, 417
DSTV-Format	486	Extrudieren	392, 393
DUENQ-Profile	150	Exzentrizität	115
Dummy Rigid	144	Exzentrizität Rippe	164
Durchdringungen	174, 387	F	
Durchdringungslinie	175	Fachwerkbinder	429
Durchlaufträger	427	Fachwerkstab	156
Durchschlagproblem	251, 257	Fachwerkstab (nur N)	156, 157
DXF-Datei	487	Fang	76, 378
DXF-Folien	400, 402	Farb-Relationsbalken	263, 274, 283, 414
E		Farbskala	78, 326, 361, 494
Ebene Fläche	109	Favoriten Materialbibliothek	105
Effektive Schubdicke	140	FE-Ergebniswerte	309
Eigene Querschnitte	149	FE-Knotenergebnisse	279
Eigengewicht	182	FEM-Datei	489
Einfügen	406	FE-Netz	242, 247
Eingabefeld	67	FE-Netzparameter	244
Einheiten	457	FE-Netzpunkte	309
Einhüllende	304	FE-Netz-Statistik	247
Einspannung	125, 129	FE-Netzverdichtungen	177, 247, 375
Einzellast	206, 211	Fensterselektion	362
Eislast	453	FE-Teilung	255
Ellipse	97, 121	FE-Viereck-Diagonalen	245
E-Modul	101, 140	Fiktive Linien	444
Entweder-oder Überlagerung	193	Filter	80, 270, 272, 307, 310, 322, 326, 416

Finden.....	461	Grafische Eingabe	84, 198
Finite Elemente	242, 244	Graustufen	360
Firmenkopf	340, 341	Grenzwerte	79, 311
Firmenlogo	341	Grundschnittgrößen.....	281, 283
Fischbauchträger	433	Grundspannungen	290, 291, 302
Flächen	108	Gruppen.....	308
Flächenachsen	216, 299	H	
Flächenbettungen.....	130, 298	Halle.....	434
Flächendicke grafisch.....	114, 138	Hauptachsen	272
Flächenebene.....	308	Hauptachsenneigung	145
Flächeninhalt	462	Hauptachsenrichtung.....	285, 292
Flächenlasten.....	214, 441, 444	Hauptschnittgrößen	284, 285
Flächenlast-Parameter	217	Hauptspannungen	292, 293, 302
Flächenschnittgrößen	282, 285, 306	Hilfe-Assistent	254
Flächentyp	109	Hilfsknoten	160
Flächenverformungen.....	278, 306	Hilfslinien	381, 397, 398
Fließen	170, 171	Hilfslinienotyp	398
Fonts.....	349	Historie.....	472, 477
Formel	421, 424, 426	Hülle.....	393
Formeleditor	419, 423, 425, 426, 491	Hyperbel.....	98, 437
Freie Einzellasten	219	I	
Freie Kreislasten	225	ICG Berechnungsmethode.....	254
Freie Linienlasten	221, 452	Identische Knoten	239
Freie Polygonlasten.....	227	IFC-Format.....	492
Freie Rechtecklasten	223	Imperfektion aus RF-IMP	190
G		Imperfektionen.....	232
Gebrauchslasten	181	Import	418, 483
Gedrehte Knotenlager	263	Info-Bilder	332
Generierer.....	427	Instabilitätsprobleme	253, 255
Generierte Lasten.....	454	Installation	11
Gesamtmoment zum Nullpunkt	443	Integrierte Objekte.....	115, 121, 176, 241
Geschweißte Profile	148	Intergraph	492
Glas	114	Isoflächen.....	307
Glaser	489	Isolinien.....	307, 494, 495
Glättung	313, 317, 321	Isometrie	308
Gleichstreckenlast	206, 211	Isotropie.....	102
Gleichungslösermethode	254	Iterationen	255
Globale Lasten	251	Iterative Methode.....	254
Grafik drucken	342, 355	K	
Grafik einfügen.....	344	KARTES	77, 378
Grafikausdruck.....	355	Kartesisches Koordinatensystem	88, 378
Grafikgröße	357	Kategorie.....	480
Grafikgruppen	337	Kehlbalkendach.....	431

Kettenlinie	437	L	
KIRCHHOFF	257	Lage Rippe.....	164
Klöpferboden.....	439	Lagerausfall.....	125, 129
Knickstab	156, 157	Lagerdrehung.....	123, 128, 261, 263
Knoten.....	86	Lagerkräfte als Last	219, 221, 264, 266
Knoten vereinen.....	241	Lagermomente.....	262, 266
Knotenkoordinaten.....	90	Lagerreaktionen	261, 262, 264, 265
Knotenlager	122, 131	Lagertyp	123, 127
Knotenlagerkräfte.....	261	Längenänderung	205, 215, 218
Knotenlast in Flächenlast	201	Längsversetzung.....	205
Knotenlasten.....	200, 367	Lastanwendung.....	442
Knotennummer	86	Lastart	205, 211, 215, 218
Knotentyp.....	86	Lastaufteilungsart	442
Knotenverformungen	268	Lasten.....	414
Knoten-Zwangsverformungen	230	Lasten löschen.....	242
Koeffizienten	140	Lastfall addieren.....	185
Kombinationsschema	196	Lastfall anlegen	181
Kommentar.....	395, 458, 477	Lastfall bearbeiten.....	184
Kommentarfeld.....	458	Lastfall kopieren	185
Kompatibilität.....	484	Lastfälle	181, 367
Konfiguration	456	Lastfälle umnummieren.....	404
Kontakt.....	118	Lastfallgruppe anlegen.....	188
Kontaktflächen	119	Lastfallgruppe bearbeiten	191
Kontaktkräfte.....	276	Lastfallgruppen	186
Kontaktmomente.....	276	Lastfallkombination anlegen	192
Kontaktspannungen	298, 299	Lastfallkombination bearbeiten.....	196
Kontaktvolumen	118, 119	Lastfallkombinationen.....	192, 274, 304
Kontextmenü.....	65, 83, 331, 407, 409, 455	Lastfalltyp.....	182
Kontrollfeld.....	67	Lastkorrekturfaktoren.....	443, 448, 452
Kontrollsumme	260, 263, 266, 276	Lastposition.....	222, 224, 228
Konvergenz.....	254, 257	Lastprojektionsebene	220, 222, 224, 226, 228
Koordinatensystem.....	88, 116, 367, 383, 384	Lastrichtung	207, 212, 216, 222, 224
Kopieren	365, 406	Laststeigerungen.....	255
Kopplung.....	139, 156, 158	Laststelle	220
Korrektur Lastverteilung	453	Lastverlauf.....	206, 211, 216, 218, 224
Kraft	200, 205, 211, 215	Layer.....	400, 488, 495
Kreis.....	97, 109, 121, 437	Layout	349
Kreisbogen.....	96, 437	Ligno-Profil.....	150
Kreisförmige Verdichtung.....	178	Linear veränderliche Flächenlast.....	216
Kreuzende Linien	240	Lineare Dicke	137
Kreuzende Stäbe.....	240, 387	Linie auf Fläche	100
Kugel	438	Linie teilen.....	385
Kuppeldach.....	440	Linie verlängern.....	389

Linien	92, 436	Modellkontrolle	239
Linien verbinden	387	Moment	201, 205, 211
Linien verschmelzen	388	Momentengelenk Linie	136
Linienachsen	93, 212	Momentengelenk Stab	152
Linien-drehung	95	Momentengleichgewicht	453
Liniengelenke	135	Multiplizieren	410
Linienlage	93	Musterprotokoll	330, 346
Linienlager	126, 131	N	
Linienlagerkräfte	264	Navigator	73
Linienlast in Flächenlast	213	Negative Flächenseite	288, 291, 293
Linienlasten	210	Neigungswinkel	394
Linienlast-Parameter	212	Neigungswinkel α	245
Linienliste	211	Nemetschek	489
Liniennummer	92	Netzwerk-Projekte	478
Linienrichtung	93, 385, 387, 389	Neue Seite	331
Linientyp	92	NEWTON-RAPHSON	251
Linien-Zwangsverschiebungen	231	Nichtlineare Effekte	253
Liste	67	Nichtlinearitäten Bettung	134
Listenschaltfläche	66, 109	Nichtlinearitäten Kontaktvolumen	119
Logo	341	Nichtlinearitäten Lager	125, 129
Lokale Lasten	251	Norm	189, 194
Lot	380	Normalkraft	272, 283, 286
M		Normalspannungen	302
Maschenweite	177, 180, 244	Nullfläche	114, 118
Massive Querschnitte	148	Nullstab	156, 158
Maßkette	395	Nummerierung	340, 403, 404
Maßlinie	394	NURBS	99
Material	140	NURBS-Fläche	112
Materialbezeichnung	101	O	
Materialbibliothek	105	Oberfläche	462
Materialbibliothek ergänzen	107	Objektfang	379, 397, 402
Materialien	101	Objektinfo	311
Materialmodell	102	OFANG	77, 379
Mauerwerk	114	Öffnungen	121
Mausfunktionen	83	OpenOffice	418, 419, 492
Mehrfensterdarstellung	322, 356	Organisation Lastfalldaten	199
Membran	114, 243	Orthotrope Flächen	114, 138, 303
Membrankraft	296	Orthotropie	102, 139, 376
Membranspannung	297	P	
Membran-Vergleichsspannung	295	Papierkorb	466, 471
Messen	460	Parabel	98, 437
MINDLIN	257	Parallele	381, 391
Mitwirkende Breite	165	Parallelinstallation	13

Parallelogramm	109	Querschnittsbezeichnung	143
Parallelstab	391	Querschnittsbibliothek	146
Parameterliste	420, 422, 425	Querschnittsdrehung	145
Parametrisierte Eingabe	420	Querschnittsdrehwinkel	144, 145
PDF-Datei	352	Querschnittsflächen	145
Pfettendach	432	QuickInfo	70
Plastifizierung	104	R	
Plastisches Gelenk	171	Rahmen	428, 433
Plattenbalken	163	Rankine	295
Plattentheorie	257	Raster	77, 377, 429
Plausibilitätskontrolle	238	Rasterergebnisse	279
Plotten	359	Rasterpunkt	278, 281, 309, 377, 378
Polares Koordinatensystem	90, 378	Rastertyp	378
Polygon	109, 437	Rasterwerte	309
Polylinie	94	Raumtragwerk	434
Position anlegen	475	Raumzelle	435
Position kopieren	470	Reaktivierung	253
Position löschen	471	Rechteckige Verdichtung	178
Position öffnen	469	Reduktionsfaktor	254
Position umbenennen	470	Register	66
Position-Bezeichnung	340, 476	Reibung	120
Positive Flächenseite	288, 291, 293, 299	Reißen	170, 171
Präfix	341	Rendering	271, 305
Profil speichern	148	RF-BETON	287
Profilreihe importieren	150	RFEM 2	484, 485
Programmkapazitäten	8	RFEM 3	13
Programmoptionen	254	RF-IMP	190
Projekt anlegen	464	RF-MAT NL	103, 104
Projekt löschen	466	RF-SOILIN	132
Projekt-Bezeichnung	340, 465, 468	RF-STAHN	290, 292, 294, 296
Projektion	208, 212, 217, 222, 224, 228	Rhomboid	362
Projektionsebene	220, 222, 224, 226, 228	Ring	109
Projektionsrichtung Schnitt	314	Rippen	156, 163
Projektmanager	463, 484	Rippenschnittgrößen	313
Projektordner einbinden	484	Rohr	111
Projizieren	370	Rotationsachse	369, 374
Prozessorauslastung	254	Rotationsfläche	110
Q		Rotieren	367, 368, 373
Quadranglefläche	109	RTF-Datei	345, 351, 483
Quadratische Überlagerung	195, 252	RX-CAD	493
Querdehnzahl	102	RX-LINK	493
Querkraft	272, 283	S	
Querschnitte	143	Schale	109, 243

Schaltfläche	66	Spannungs-Dehnungs-Diagramm	103
Scheibe	243	Spannungstensor	302
Schiefstellung	235	Sparrendach	432
Schlupf	169, 170	Speicherproblem	254
Schneelast Flach-/Pultdach.....	450	Sperrn Grafik	343
Schneelast Satteldach	451	Sperrung Hilfslinien	399
Schnitt	314	Spezifisches Gewicht	102
Schnittdarstellung	315	Spiegelebene.....	370
Schnittgrößen mehrfarbig	305, 326	Spiegeln	367, 369
Schnittgrößen Rendering.....	305, 326	Spline	98
Schnittgrößenverlauf	318, 319	Sprache einstellen	352
Schnittgrößen-Vorzeichen	160	Stab anschließen	389
Schnittpunkt	381	Stab teilen	385
Schnittstellen	483	Stab verlängern	389
Schriftfeld	359	Stab zerlegen	374
Schubfedern Bettung.....	133, 167	Stabachsen.....	158, 208, 270, 367
Schubflächen	145	Stabbettungen	166
Schubfluss	283	Stabdrehung	158, 160
Schubmodul	101	Stäbe.....	155, 393
Schubspannungen	291, 293, 302	Stäbe reaktivieren.....	253
Schubsteifigkeiten	257	Stäbe verbinden	387
Schubverformung	145	Stäbe verschmelzen.....	388
Schwerpunkt	462	Stabendgelenke.....	151
Schwinden	205, 215	Stabexzentrizitäten.....	152
Scrollrad	83	Stabgruppe	173, 325
SDNF-Format	492	Stabkennzahl.....	236
Seilstab	156, 157, 250	Stabkontaktkräfte	275
Seite Liniengelenk	136	Stablage	159, 162, 273
Seitennummerierung	340	Stablänge	162
Seitenvorschau	332	Stablasten	203
Selektion.....	324, 362, 409, 410, 422	Stablast-Parameter	208
Selektion Ausdruckprotokoll.....	333, 337, 339	Stabliste	204, 233
Selektion speziell	364, 459	Stabnichtlinearitäten	168
Selektionsfunktion	409	Stabrichtung	387, 389
Senkmulde.....	133	Stabsätze.....	69, 172, 204, 234, 325
Setzungsberechnung	132	Stabsatzschnittgrößen	276
Sichtwinkel	461	Stabschnittgrößen.....	271, 305
Singularitäten	124, 390	Stabteilungen.....	154, 161, 256, 305
Skalierung.....	307	Stabtyp.....	156
Skalierungsfaktor.....	372	Stabverformungen	269
Sohlpressungen	298	Stabzug.....	173, 325
Sohlspannungen.....	256	Standarddrucker.....	329, 351
Spannungen	291, 293, 296, 297, 307	Standardgrafiken	335, 337

Standardschaltflächen	81	Temperaturdifferenz	205, 215
Ständige Überlagerung.....	193	Text einfügen	344
Standpunkt.....	461	Textbausteine.....	458
Starre Fläche.....	114	Textdatei einfügen	345
Starre Kopplung	156, 158	Theorie I. Ordnung.....	233
Statistik.....	239	Theorie II. Ordnung.....	186, 250, 255
Statusleiste	76	Theorie III. Ordnung.....	251, 255
Steifemodul E_s	166	Toleranz	453
Steifemodulverfahren	130	Tonnendach	439
Steifigkeitsmatrix.....	139	Torsionsmoment	272, 285
Steifigkeitsreduzierung	165	Torsionsträgheitsmoment	144
Steifigkeitsunterschiede.....	145	Trägerrost.....	430
STEP-Format	493	Trägheitsmomente	144
Steuerpanel	78, 326, 361	Trajektorien	285
Strakon	492	Trajektorienfläche.....	113
Strecken.....	372	Trajektorienkurve	99
Streifenfundament	167	Transparente Wertedarstellung	309
Struktur regenerieren	241	Transparenz.....	325
Strukturgenerierer	427	Trapezlast.....	206, 212
Strukturtabellen.....	85	Traubereich	446
Strukturtyp	476	Treppe.....	435
Stütze	124, 313, 430	Tresca	104, 295
Stützenparameter	124	U	
Stützensenkung.....	230, 231	Überhöhungsfaktor.....	80, 307
Stützentyp	124	Überlappende Linien	240
Stützung.....	125, 129	Überlappende Stäbe.....	240
Suchen.....	406, 461	Überschrift	332
Symbolleiste	71	Ummantelungslast	453
Systemanforderungen	11	Umnummerieren	403
T		Unterprojekt.....	465
Tabellen	75, 85, 198, 414	Updates.....	13
Tabelleneingabe.....	405, 409	Ursprung	377, 384
Tabelleneinstellungen	414, 415	V	
Tangente	380	Veränderliche Dicken.....	114, 137
Taschenrechner.....	425	Veränderliche Last.....	206, 212
Tastaturfunktionen	82	Verbände.....	438
Teilflächen	176	Verdichtung an Fläche.....	179
Teilsicherheitsbeiwert γ_M	102, 184, 249	Verdichtung an Linie	178, 245
Teilsicherheitsbeiwerte	181	Verdichtung an Volumen	180
Teilungsabstand	385	Verdichtungsparameter.....	180
Teilungsknoten	386	Verdichtungstyp.....	177
Teilungspunkte	382	Verdrehungen	268, 270, 280, 300
Temperaturänderung.....	205, 215, 218	Verformte Struktur.....	305

Verformungen mehrfarbig.....	305	Weiche Farbübergänge	79
Verformungsablauf.....	328	Wendeltreppe	436
Vergleichsspannungen.....	294, 302	Werteanzeige	307
Versatz.....	395	Werte-Gruppe	308
Verschieben	365	Werteskala	79
Verschiebevektor	366	Windlast Flachdach	446
Verschiebungen.....	268, 270, 280, 300	Windlast Pultdach	447
Vertikale Lage	159, 241	Windlast Satteldach	448
Video	328	Windlast Wände.....	445, 449
Viereckselemente.....	246	Winkel	394, 460
Volumen-FE-Knoten.....	307	Word	477
Volumenlasten.....	217	Z	
Volumenspannungen	301, 306	Z-Achse	476, 488, 495
Volumentyp.....	118	Zeigen-Navigator.....	74, 305, 326, 395
Volumenverformungen.....	300	Zeile.....	406
Volumina	118, 393	Zellen	440, 444
von Mises.....	104, 294	Zentrum	380
Vorkrümmung	205, 215, 235	Zielebene.....	371
Vorlage	348	Zugehörige Lastfälle.....	274
Vorspannung.....	205	Zugkraftentlastung.....	183, 249
Vorzeichen Lagerkräfte.....	261, 262, 265, 299	Zugstab	156, 157
Vorzeichenregelung.....	161, 271, 273	Zusammenfassung Ergebnisse	260
Voute.....	143, 158, 256, 429	Zusammengesetzte Profile	147
Voutenansatz.....	162	Zusatzerläuterung	332
W		Zusatzmodule berechnen	259
Wahre Fläche.....	216, 224, 226, 228	Zusatzmomente	250
Wahre Linienlänge.....	212, 222	Zusatzschneelasten	450, 451
Wahre Stablänge	208	Zwangsverdrehung	231
Walzprofile	147	Zwangsverschiebung.....	230, 232
Wandlager	128	Zwischenablage.....	356
Wandparameter.....	128	Zwischenknoten	386
Wärmedehnzahl	102	Zwischenpunkte	154
Wegfedern Bettung	132	Zylindrisches Koordinatensystem	89