

**Fassung
Juli 2013**

Programm

RFEM 5

**Räumliche Tragwerke nach der
Finiten Elemente Methode**

Übungsbeispiel

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.

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

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

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

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
1.	Einleitung	5	4.5.3	Diagonale	42
2.	System und Belastung	6	4.5.3.1	Stab setzen	42
2.1	Systemskizze	6	4.5.3.2	Stab drehen	43
2.2	Materialien, Dicken und Querschnitte	6	4.6	Eingabe überprüfen	45
2.3	Belastung	7	5.	Belastung	46
3.	Anlegen des Modells	8	5.1	Lastfall 1: Eigengewicht	46
3.1	RFEM starten	8	5.1.1	Eigengewicht	47
3.2	Modell anlegen	8	5.1.2	Deckenaufbau	47
4.	Modelldaten	9	5.1.3	Erddruck	48
4.1	Arbeitsfenster und Raster einstellen	9	5.1.4	Dachlast	49
4.2	Flächen erzeugen	11	5.2	Lastfall 2: Nutzlast	51
4.2.1	Decke	11	5.2.1	Deckenplatte	52
4.2.1.1	Rechteckige Fläche definieren	11	5.2.2	Öffnungsrand	53
4.2.1.2	Bogen erzeugen	14	5.3	Lastfall 3: Schnee	54
4.2.1.3	Deckenfläche anpassen	15	5.3.1	Dach	54
4.2.2	Wand	16	5.3.2	Decke	55
4.2.3	Aussparung	19	5.4	Lastfall 4: Wind	57
4.2.3.1	Öffnung erzeugen	19	5.4.1	Stahlbaulasten	58
4.2.3.2	Öffnung anpassen	20	5.4.2	Stützenlasten	59
4.3	Betonstäbe erzeugen	21	5.5	Lastfall 5: Imperfektion	62
4.3.1	Stützen	21	5.5.1	Stahlstützen	63
4.3.2	Rippe	24	5.5.2	Betonstützen	64
4.4	Lager anordnen	28	5.6	Lastfälle überprüfen	65
4.4.1	Knotenlager	28	6.	Kombination der Einwirkungen	66
4.4.2	Linienlager	30	6.1	Einwirkungen überprüfen	66
4.5	Stahlstäbe erzeugen	31	6.2	Kombinationsregeln festlegen	67
4.5.1	Rahmen	31	6.3	Einwirkungskombinationen erzeugen	70
4.5.1.1	Stäbe fortlaufend setzen	32	6.4	Lastkombinationen erzeugen	70
4.5.1.2	Riegel abschrägen	34	6.5	Ergebniskombination überprüfen	73
4.5.1.3	Riegel gelenkig anschließen	35	7.	Berechnung	74
4.5.1.4	Stabrichtung umkehren	36	7.1	Eingabedaten kontrollieren	74
4.5.1.5	Rahmen kopieren	37	7.2	FE-Netz erzeugen	75
4.5.2	Pfetten	38	7.3	Modell berechnen	77
4.5.2.1	Stäbe einzeln setzen	38	8.	Ergebnisse	78
4.5.2.2	Stäbe exzentrisch anschließen	40			

Inhalt

	Inhalt	Seite		Inhalt	Seite
8.1	Grafische Ergebnisse	78	9.	Dokumentation	94
8.2	Ergebnistabellen	81	9.1	Ausdruckprotokoll erstellen	94
8.3	Ergebnisse filtern	83	9.2	Ausdruckprotokoll anpassen	95
8.3.1	Benutzerdefinierte Sichtbarkeiten	83	9.3	Grafiken in Ausdruckprotokoll drucken	97
8.3.2	Ergebnisse an Objekten	86	10.	Ausblick	102
8.3.3	Wertebereiche	88			
8.4	Ergebnisverläufe anzeigen	90			
8.5	Schnitt erstellen	91			

1. Einleitung

Das folgende Übungsbeispiel möchte Sie mit verschiedenen Funktionen von RFEM vertraut machen. Wie in jeder Software gibt es auch in RFEM mehrere Wege, die zum Ziel führen. Je nach Situation und persönlicher Vorliebe kann einmal der eine und einmal der andere Weg sinnvoll sein. Dieses Übungsbeispiel möchte Sie auch ermutigen, selbstständig die Möglichkeiten von RFEM zu erkunden.

Das Beispiel stellt eine gemischte Konstruktion mit Beton- und Stahlelementen dar. Es sind die Lastfälle Eigengewicht, Nutzlast, Schnee, Wind und Imperfektion nach Theorie I. und II. Ordnung zu untersuchen.

Dieses Übungsbeispiel kann auch im Rahmen der Demoeinschränkungen – maximal zwei Flächen und zwölf Stäbe – eingegeben, berechnet und ausgewertet werden. Aus diesem Grund bitten wir um Nachsicht, wenn das Modell nicht alle realistischen Ansprüche erfüllt. Die im Beispiel vorgestellten Funktionen sollen vielmehr vermitteln, wie Modell- und Lastobjekte auf verschiedene Weise definiert werden können.

Da die Überlagerung der Einwirkungen gemäß EN 1990 mit hohem Aufwand verbunden ist, wird der in RFEM 5 integrierte Generierer von Lastkombinationen genutzt.



Im Rahmen der 30-tägigen Testversion kann das Modell ohne Probleme bearbeitet werden. Bei der Demoversion hingegen ist es leider nicht möglich, die Modelldaten zu speichern. Sie sollten sich daher genügend Zeit (ca. zwei bis drei Stunden) für das Beispiel reservieren, um in Ruhe die Funktionen auszuprobieren. Sie können das Modell in der Demoversion aber auch mit Unterbrechungen bearbeiten, solange RFEM nicht geschlossen wird: Fahren Sie bei längeren Pausen den Rechner nicht herunter, sondern versetzen Sie ihn in den Standby-Modus.



Die Eingabe des Beispiels wird erleichtert, wenn zwei Bildschirme genutzt werden können. Sie können die Beschreibung auch ausdrucken, um den ständigen Wechsel zwischen PDF-Anzeige und RFEM-Eingabe zu vermeiden.



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

Die Beschreibung der Programmfunktionen können Sie im RFEM-Handbuch nachschlagen, das im Downloadbereich unserer Website unter www.dlubal.de/Download-der-Handbuecher.aspx bereitliegt.

2. System und Belastung

2.1 Systemskizze

Das Beispiel stellt einen Stahlbetonbau mit aufgesetzter Stahlkonstruktion dar.

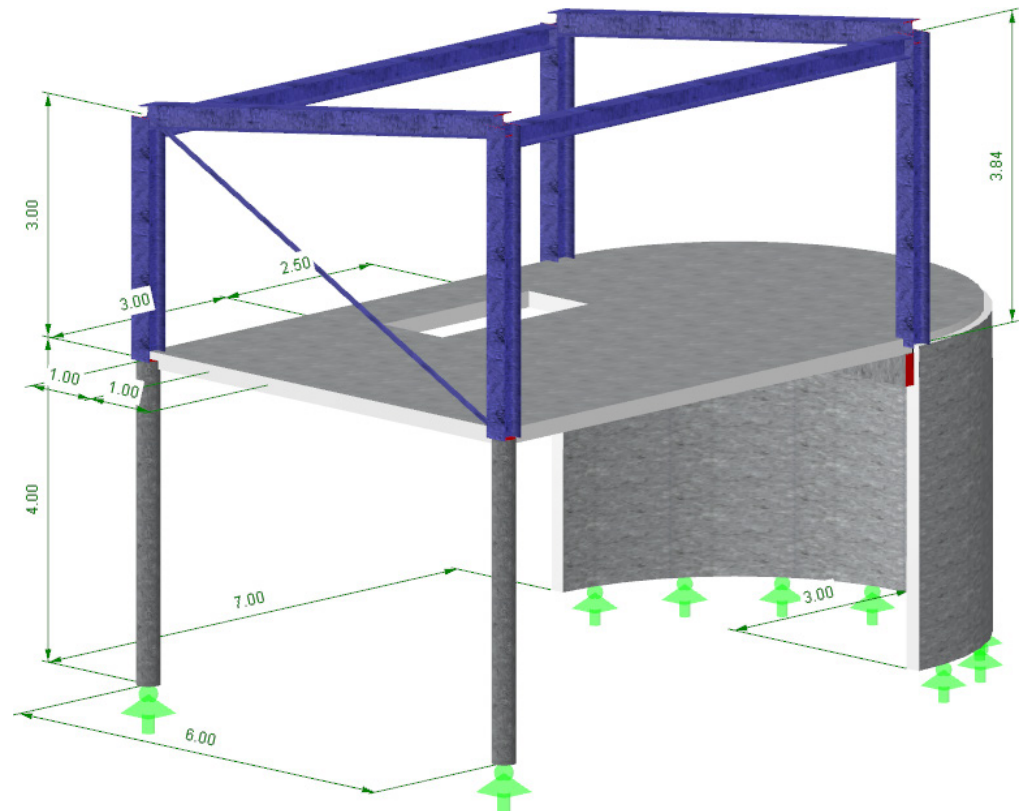


Bild 2.1: Statisches System

Der Stahlbetonunterbau besteht aus einer Deckenplatte mit Unterzug, einer halbkreisförmigen Schale und zwei Rundstützen. Ein Teil dieses Tragwerksbereichs liegt im Erdreich.

Beim Stahlrahmen handelt es sich um eine Pultdachkonstruktion, die durch eine Diagonale ausgesteift ist.

Dieses Modell stellt wie erwähnt ein etwas „theoretisches“ Gebilde dar, das im Rahmen der Demoeinschränkungen von zwei Flächen und zwölf Stäben bewältigt werden kann.

2.2 Materialien, Dicken und Querschnitte

Als Materialien werden Beton C30/37 und Stahl S 235 verwendet.

Die Wand- und Deckenstärken betragen einheitlich 20 cm. Die beiden Betonstützen weisen einen Durchmesser von 30 cm auf, der Unterzug ist 25 cm breit und 40 cm hoch.

Für die linken und rechten Stahlrahmen der Pultdachkonstruktion sind HE-A 300-Profile vorgesehen. Die beiden Pfetten werden mit HE-B 260 ausgeführt, die Verbanddiagonale besteht aus einem gleichschenkligen Winkelprofil L 80x8.

2.3 Belastung

Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau

Als Belastung wird das Eigengewicht des Tragwerks mit einem Deckenaufbau von $1,5 \text{ kN/m}^2$ angesetzt. Das Eigengewicht braucht nicht manuell ermittelt werden; RFEM berechnet es automatisch aus den Materialien, Flächendicken und Querschnitten.

Zusätzlich wirkt ein Erddruck auf die halbkreisförmige Wand. Die Lastordinate am Wandfuß ermittelt sich für eine Kieshinterfüllung wie folgt: $q = 16,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 4,0 \text{ m} = 64 \text{ kN/m}^2$.

Die Dachlast (Dachdeckung, Unter- und Tragkonstruktion) wird mit $1,2 \text{ kN/m}^2$ angenommen.

Lastfall 2: Nutzlast

Bei der Deckenfläche handelt es sich um einen Versammlungsraum der Kategorie C1, der mit einer Nutzlast von $3,0 \text{ kN/m}^2$ zu beaufschlagen ist.

Zusätzlich wird im Bereich der Öffnung eine lotrecht wirkende Linienlast von $5,0 \text{ kN/m}$ angesetzt. Sie soll die Belastung infolge eines Treppenzugangs darstellen.

Lastfall 3: Schnee

Die Schneelast ist gemäß EN 1993-1-3 für die Schneelastzone 2 in Deutschland und eine Geländehöhe von 500 m anzusetzen.

Lastfall 4: Wind

Die Windlast wird exemplarisch nur in Y-Richtung untersucht (Anströmrichtung: von niedriger zu hoher Traufe). Sie ist gemäß EN 1991-1-4 für Pultdächer und umschlossene vertikale Wände anzusetzen. Für das Gebäude ist die Windzone 1 und Geländekategorie III anzusetzen. Da die Dachneigung größer als 5° ist, müssen positive und negative Außendruckbeiwerte berücksichtigt werden. In diesem Lastfall werden die positiven Außendruckbeiwerte angenommen.

Der Stahlbetonbereich ist nur teilweise den Windlasten ausgesetzt. Für die Stütze an der niedrigeren Traufseite wird eine trapezförmige Ersatzlast mit den Ordinaten $0,5 \text{ kN/m}$ und $2,0 \text{ kN/m}$ angenommen, für die Stütze an der hohen Traufseite eine konstante Ersatzlast von $1,5 \text{ kN/m}$.

Lastfall 5: Imperfektion

Imperfektionen müssen z. B. nach Eurocode 3 berücksichtigt werden. Die Schiefstellungen und Vorkrümmungen werden in einem separaten Lastfall verwaltet. Dadurch können bei der Kombination mit anderen Einwirkungen spezifische Teilsicherheitsbeiwerte zugewiesen werden.

Wie die Windbelastung werden die Imperfektionen im Beispiel nur in Y-Richtung untersucht.

Für die HE A 300-Stützenprofile ist nach EN 1993-1-1, Tabelle 6.2 die Knicklinie b (Ausweichen in Richtung y-Achse) anzunehmen. Die Schiefstellungen φ_0 und Vorkrümmungen w_0 sind nach EN 1993-1-1, Abschnitt 5.3.2 zu ermitteln.

Die Imperfektionen der beiden Stahlbetonstützen sind nach EN 1992-1-1, Abschnitt 5.2 anzusetzen.

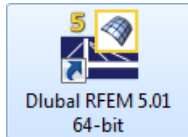
3. Anlegen des Modells

3.1 RFEM starten

Wir starten RFEM über die Taskleiste

Start → **Alle Programme** → **Dlubal** → **Dlubal RFEM 5.01**

oder das Icon **Dlubal RFEM 5.01** auf Ihrem Desktop.



3.2 Modell anlegen

Es öffnet sich das RFEM-Arbeitsfenster mit einem Dialog. Wir werden aufgefordert, die Basisangaben eines neuen Modells einzugeben.

Falls ein RFEM-Modell angezeigt wird, so schließen wir dieses über Menü **Datei** → **Schließen** und rufen den *Basisangaben*-Dialog dann über das Menü **Datei** → **Neu** auf.

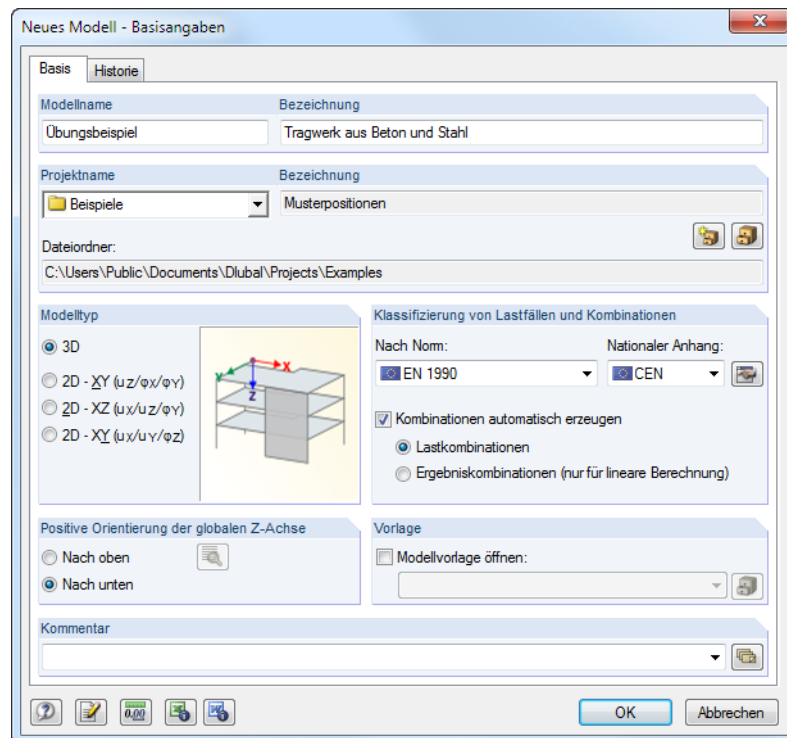


Bild 3.1: Dialog *Neues Modell - Basisangaben*

Im Eingabefeld *Modellname* tragen wir **Übungsbeispiel** ein, als *Bezeichnung* geben wir rechts die Beschreibung **Tragwerk aus Beton und Stahl** an. Ein *Modellname* muss immer festgelegt werden, da er den Namen der RFEM-Datei bestimmt. Das Feld *Bezeichnung* braucht nicht unbedingt ausgefüllt werden.

Im Eingabefeld *Projektname* wählen wir in der Liste das Projekt **Beispiele** aus, falls es nicht voreingestellt ist. Die *Bezeichnung* des Projekts und der *Dateiordner* werden automatisch angezeigt.

Im Dialogabschnitt *Modelltyp* ist die Option **3D** voreingestellt. Damit ist eine räumliche Modellierung möglich. Die *Positive Orientierung der globalen Z-Achse* belassen wir ebenfalls auf der Voreinstellung **Nach unten**.



Der Abschnitt *Klassifizierung der Lastfälle und der Kombinationen* erfordert einige Einstellungen: In der Liste *Nach Norm* wählen wir **EN 1990**. Die Einstellung **CEN** im Feld *Nationaler Anhang* lassen wir unverändert. Diese Vorgaben sind wichtig, um die Einwirkungen normkonform mit Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten zu kombinieren.

Des Weiteren haken wir das Kontrollfeld *Kombinationen automatisch erzeugen* an. Die Einwirkungen sollen in **Lastkombinationen** überlagert werden.

Damit sind die Basisangaben des Modells definiert. Wir schließen den Dialog mit [OK].

Das leere RFEM-Arbeitsfenster wird angezeigt.

4. Modelldaten

4.1 Arbeitsfenster und Raster einstellen

Ansicht

Zunächst maximieren wir das Arbeitsfenster über die Schaltfläche in dessen Titelleiste. In der Arbeitsfläche ist ein Achsenkreuz mit den globalen Richtungen X, Y und Z zu sehen.

Um die Lage des Achsenkreuzes zu ändern, klicken wir in der Werkzeugleiste oben die Schaltfläche [Ansicht verschieben] an. Der Mauszeiger verwandelt sich in eine Hand. Mit gedrückter linker Maustaste können wir die Arbeitsfläche durch Ziehen beliebig positionieren.

Außerdem erlaubt es die Hand, die Ansicht zu drehen und zu zoomen:

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

Zum Beenden der Funktion stehen verschiedene Möglichkeiten zur Wahl:

- Erneutes Anklicken der Schaltfläche
- Drücken der [Esc]-Taste
- Klicken mit der rechten Maustaste in Arbeitsfläche

Mausfunktionen

Die Mausfunktionen entsprechen den in Windows üblichen Standards: Das einfache Anklicken mit der **linken** Maustaste selektiert ein Objekt zur weiteren Bearbeitung. Ein Doppelklick ruft den Bearbeitungsdialog des Objekts auf.

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

Über das **Scrollrad** lässt sich die Darstellungsgröße des Modells ändern. Mit dem gedrückten Scrollrad kann das Modell direkt verschoben werden. Wird dabei zusätzlich die [Strg]-Taste gedrückt, kann das Modell gedreht werden. Das Rotieren des Modells ist auch mit dem Scrollrad und gedrückter rechter Maustaste möglich. Die am Mauszeiger angezeigten Symbole verdeutlichen stets die gewählte Funktion.



Raster

Die Arbeitsfläche ist mit einem Raster hinterlegt. Der Abstand der Rasterpunkte kann im Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang* eingestellt werden. Der Dialog ist über die Schaltfläche [Arbeits-ebene] zugänglich.

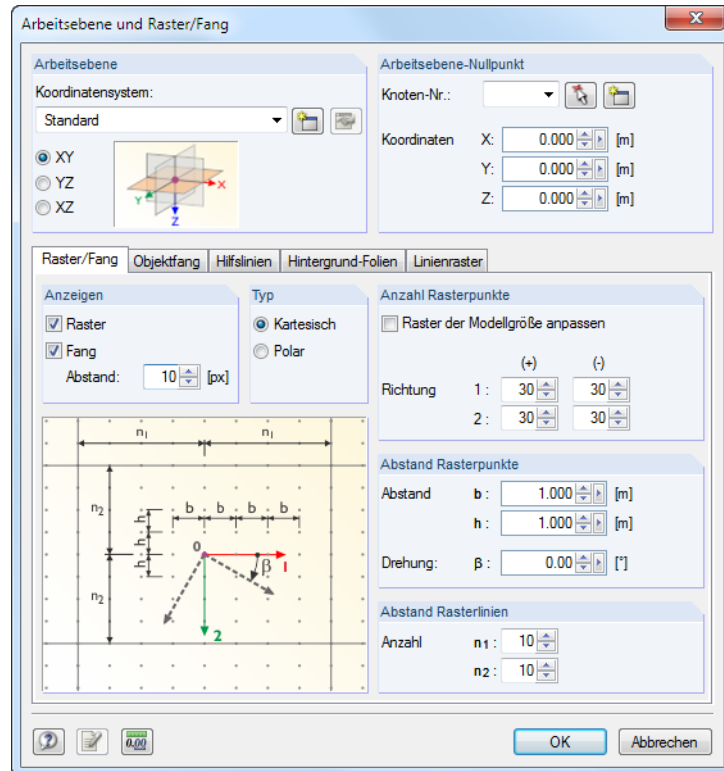


Bild 4.1: Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang*

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.

Arbeitsebene

Als Arbeitsebene ist die XY-Ebene voreingestellt. Damit werden alle grafisch eingegebenen Objekte in der horizontalen Ebene angelegt. Für die Eingabe im Dialog oder in der Tabelle spielt die Arbeitsebene keine Rolle.

Die Voreinstellungen sind für unser Beispiel geeignet. Wir schließen den Dialog mit [OK] und beginnen mit der Eingabe des Modells.

4.2 Flächen erzeugen

Man könnte zunächst die Eckknoten grafisch oder tabellarisch definieren, diese mit Linien verbinden und daraus die Flächen erzeugen. Als Alternative bietet sich die direkte grafische Eingabe von Linien und Flächen an, die wir für unser Beispiel nutzen werden.

4.2.1 Decke

Die Deckenfläche besteht aus einer Rechteck- und einer Halbkreisfläche.

4.2.1.1 Rechteckige Fläche definieren

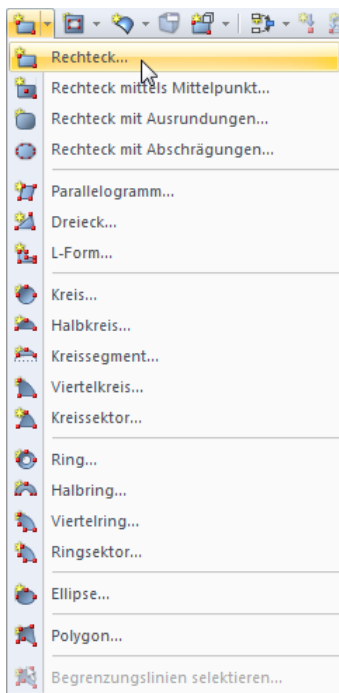
Rechteckige Platten sind häufig vorkommende Bauteile. Sie können schnell über Menü

Einfügen → Modelldaten → Flächen → Eben → Grafisch → Rechteck

oder die entsprechende Listenschaltfläche für ebene Flächen erzeugt werden. Ein Klick auf den Pfeil [▼] dieser Schaltfläche öffnet ein Menü mit einer großen Auswahl an Flächengeometrien.

Mit der Option [Rechteck] kann die Platte direkt gesetzt werden. Die zugehörigen Knoten und Linien werden automatisch erzeugt.

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



Listenschaltfläche ebener Flächen

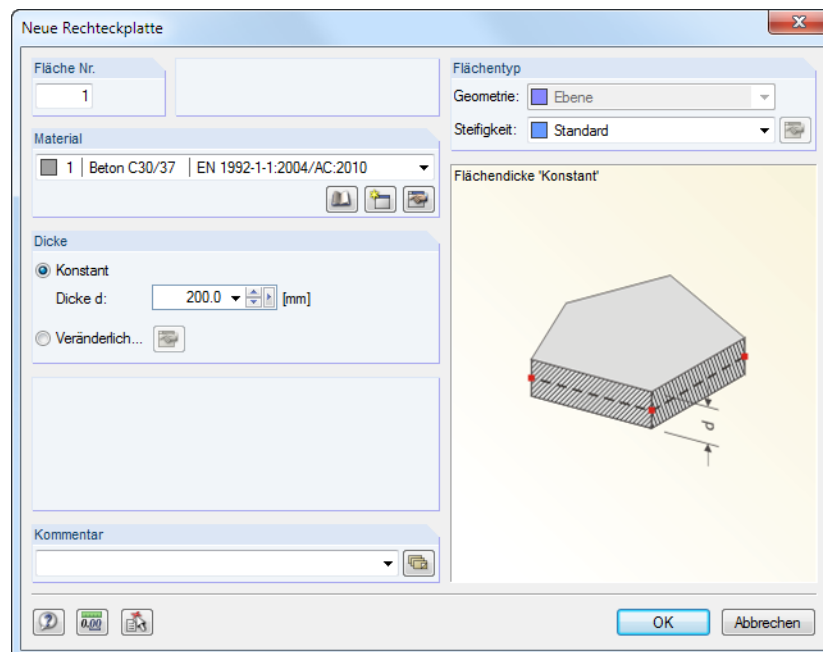


Bild 4.2: Dialog *Neue Rechteckplatte*

Die *Fläche Nr.* der neuen Rechteckplatte ist mit 1 angegeben. Wir belassen diese Nummer.

Als *Material* ist *Beton C30/37* gemäß EN 1992-1-1 voreingestellt. Falls ein anderes Material verwendet werden sollte, wäre die Auswahl über die Schaltfläche [Materialbibliothek] möglich.

Die *Dicke* der Fläche ist *Konstant*. Wir erhöhen den Wert *d* auf **200** mm – entweder über das Drehfeld oder per Direkteingabe.

Im Abschnitt *Flächentyp* ist die *Steifigkeit* passend mit *Standard* voreingestellt.

Wir schließen den Dialog mit [OK] und beginnen mit der grafischen Eingabe der Platte.

Das Setzen der Fläche wird erleichtert, wenn wir über die links dargestellte Schaltfläche die Ansicht in Z-Richtung (die „Draufsicht“) einstellen. Der Eingabemodus wird dabei nicht abgebrochen.



Um die erste Ecke festzulegen, klicken wir den **Koordinatenursprung** (X/Y/Z-Koordinaten **0.000/0.000/0.000**) mit der linken Maustaste an. Die aktuellen Mauszeiger-Koordinaten werden am Fadenkreuz angezeigt.

Die gegenüberliegende Ecke der Platte setzen wir mit einem weiteren Mausklick auf den Rasterpunkt mit den X/Y/Z-Koordinaten **7.000/6.000/0.000**.

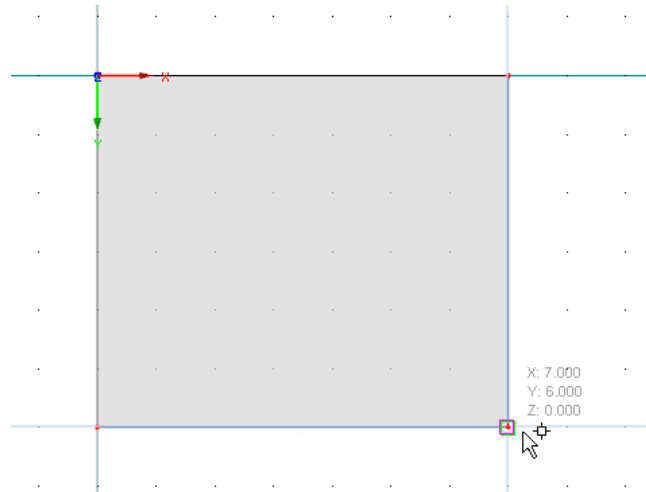


Bild 4.3: Rechteckplatte Fläche 1

Es werden vier Knoten, vier Linien und eine Fläche angelegt.

Da keine weitere Rechteckplatte erzeugt werden soll, beenden wir den Eingabemodus mit der [Esc]-Taste oder einem Klick der rechten Maustaste in einen freien Bereich des Arbeitsfensters.



Nummerierung einblenden

Die Nummerierung der Knoten, Linien und Flächen lässt sich am schnellsten einblenden, indem wir mit der rechten Maustaste in einen freien Bereich des Arbeitsfensters klicken. Es erscheint ein Kontextmenü mit nützlichen Funktionen. Wir aktivieren die *Nummerierung*.

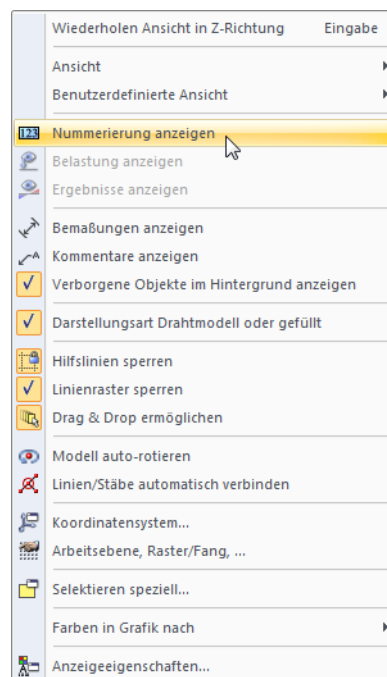


Bild 4.4: Nummerierung anzeigen über Kontextmenü

Das Register *Zeigen* im Navigator steuert im Detail, für welche Objekte die Nummerierung angezeigt wird.

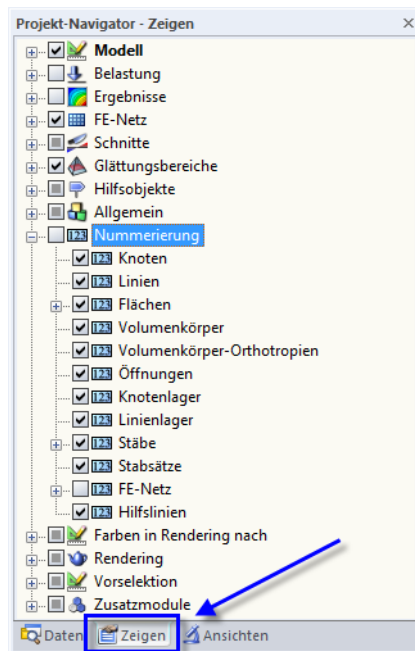


Bild 4.5: Zeigen-Navigator für Nummerierung

4.2.1.2 Bogen erzeugen

Bei der Deckenplatte ist noch der Bereich zu ergänzen, der durch einen Kreisbogen begrenzt wird.



Wir klicken den Pfeil [▼] der Listenschaltfläche für Linien an, um das Menü mit Werkzeugen für besondere Linienarten zu öffnen und wählen den Eintrag *Bogen mittels drei Knoten*.

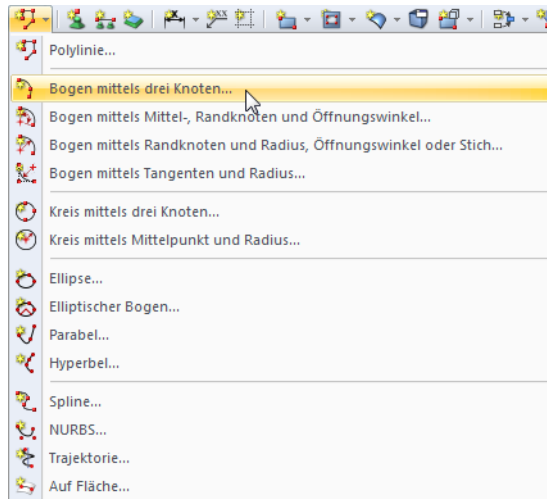


Bild 4.6: Listenschaltfläche für Linien - *Bogen mittels drei Knoten*

Im Arbeitsfenster klicken wir dann nacheinander den Knoten **4**, den Rasterpunkt mit den Koordinaten **10.000/3.000/0.000** und den Knoten **3** an. Nach dem Anklicken des letzten Knotens wird der Bogen als Linie 5 erzeugt.

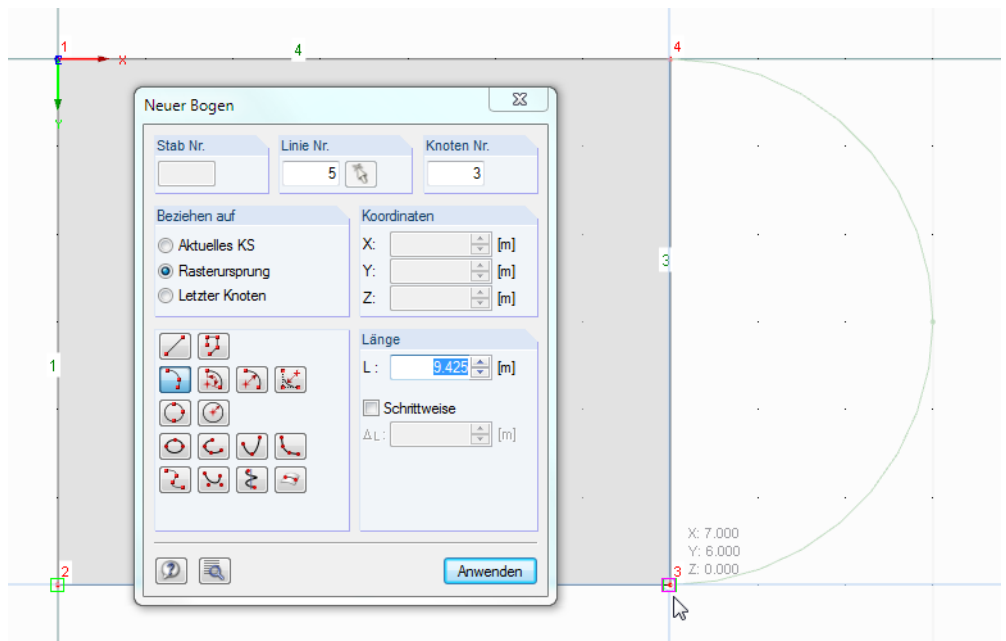


Bild 4.7: Kreisbogen setzen über drei Punkte

Wir beenden den Eingabemodus wieder mit [Esc].

4.2.1.3 Deckenfläche anpassen

Da die Demoversion nur zwei Flächen erlaubt, kann die Halbkreisfläche nicht als eigene neue Fläche definiert werden. Wir erweitern daher die Rechteckfläche zu einer allgemeinen ebenen Fläche, die den Bogenbereich umschließt.

Wir doppelklicken die Fläche 1 im Arbeitsfenster, um den Dialog *Fläche bearbeiten* aufzurufen.

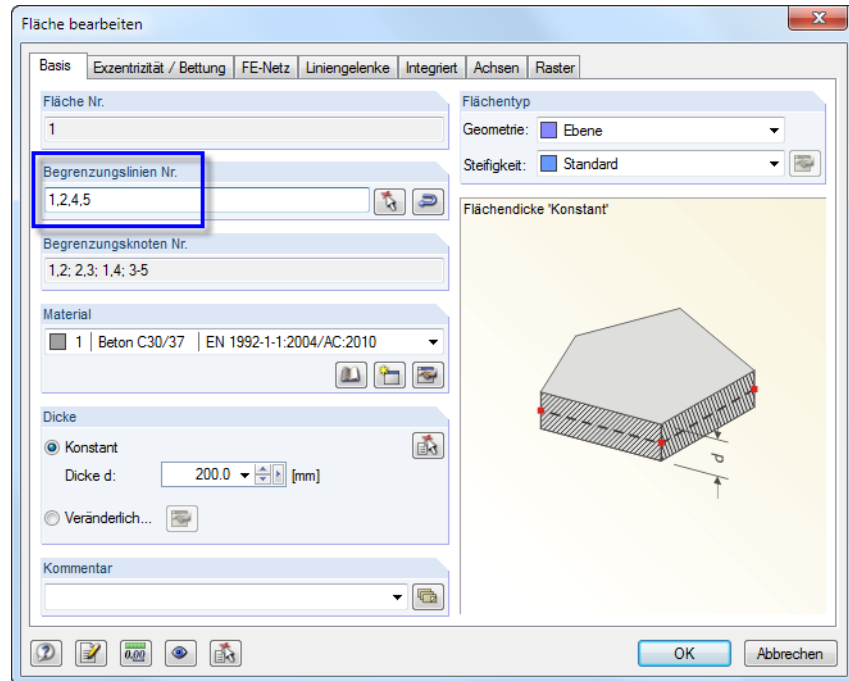


Bild 4.8: Begrenzungslinien ändern

Es gibt zwei Möglichkeiten:

- Im Eingabefeld *Begrenzungslinien Nr.* können die Nummern der neuen Randlinien **1, 2, 4** und **5** manuell eingetragen werden.
- Über die Schaltfläche [Pick] können die neuen Begrenzungslinien im Arbeitsfenster grafisch ausgewählt werden. Hierzu ist es erforderlich, im Dialog *Fläche bearbeiten* zunächst die voreingestellte Liste zu [Leeren].

Die Deckenfläche sollte nun wie folgt aussehen.

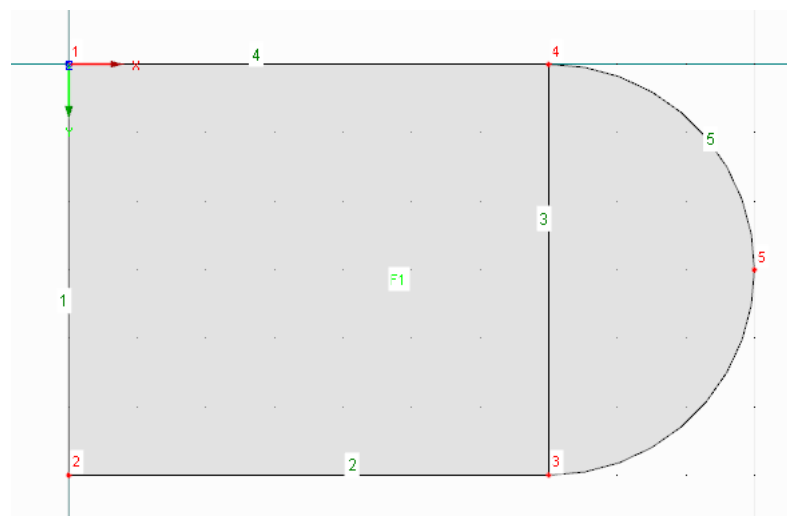
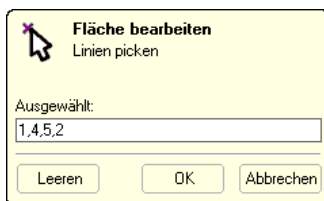


Bild 4.9: Deckenplatte



4.2.2 Wand

Bogen kopieren

Die gekrümmte Wandfläche lässt sich bequem erzeugen, indem wir den Kreisbogen kopieren und dabei einige Einstellungen für das Kopieren vornehmen.

Wir klicken die Bogenlinie 5 mit der linken Maustaste an (Einfachklick), um sie zu selektieren. Die Linie wird nun in einer anderen Farbe dargestellt; bei schwarzem Hintergrund ist gelb als Selektionsfarbe voreingestellt.



Über die links dargestellte Schaltfläche rufen wir den Dialog *Verschieben bzw. Kopieren* auf.

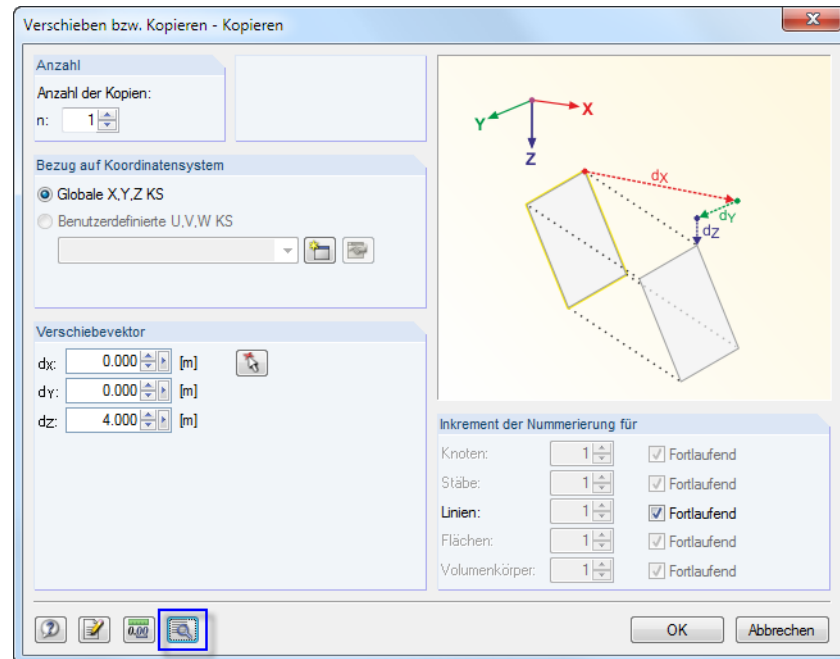
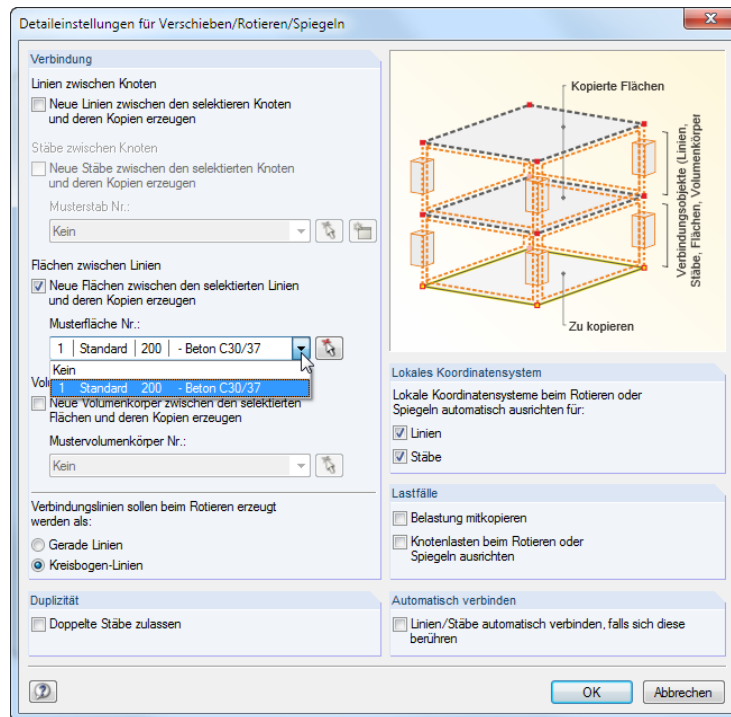


Bild 4.10: Dialog *Verschieben bzw. Kopieren*

Wir erhöhen die *Anzahl* der *Kopien* auf **1**: Dadurch wird der Bogen nicht verschoben, sondern kopiert. Da die Wand 4 m hoch ist (Systemlinie), tragen wir als *Verschiebevektor* in d_z den Wert **4,0** m ein.



Wir klicken nun auf die Schaltfläche [Details], um erweiterte Einstellungen vorzunehmen.

Bild 4.11: Dialog *Detaileinstellungen für Verschieben/Rotieren/Spiegeln*

Im Abschnitt *Verbindung* setzen wir bei dieser Option ein Häkchen:

- ☒ Neue Flächen zwischen den selektierten Linien und deren Kopien erzeugen

Als *Musterfläche* wählen wir in der Liste die Fläche **1** aus. Damit werden die Eigenschaften der Deckenplatte (Material, Dicke) für die neue Wandfläche voreingestellt.

Wir schließen beide Dialoge mit [OK].



Isometrische Ansicht einstellen

Über die links dargestellte Schaltfläche stellen wir die [Isometrische Ansicht] ein, um das Modell in räumlicher Darstellung anzuzeigen.

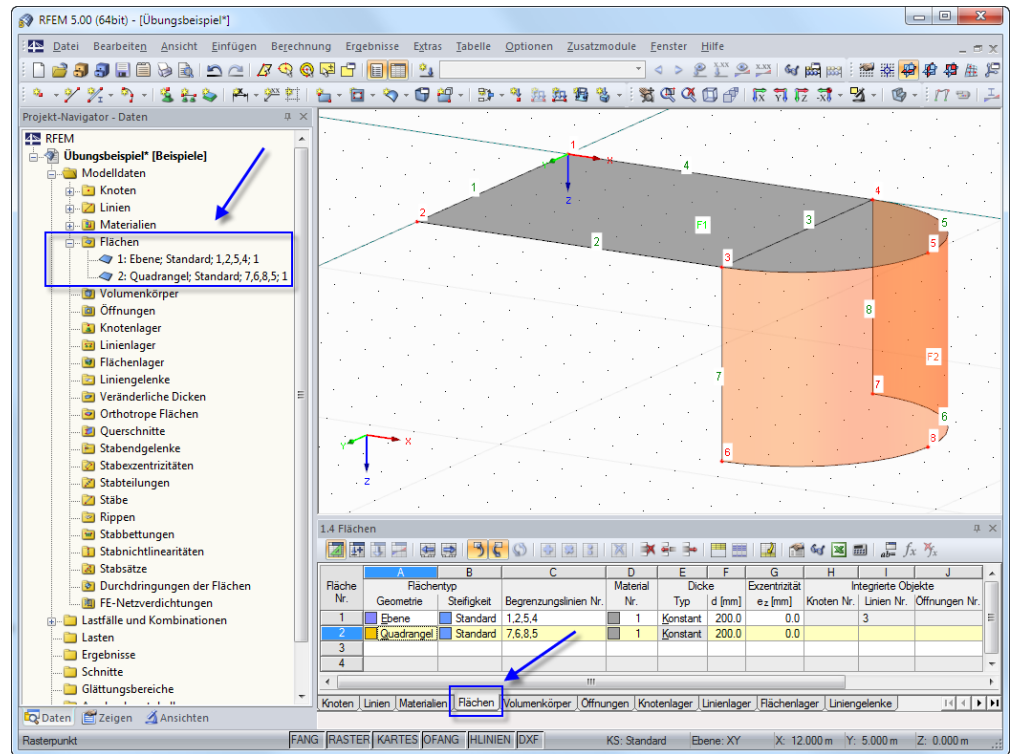


Bild 4.12: Modell in isometrischer Ansicht mit Navigator und Tabelleneinträgen

Daten im Navigator und in Tabelle überprüfen

Alle eingegebenen Objekte finden sich im Verzeichnisbaum des *Daten*-Navigators und in den Registern der Tabelle wieder. Die Einträge im Navigator lassen sich (wie im Windows-Explorer) mit einem Klick auf das [+] aufklappen; die Tabellen werden durch Anklicken der einzelnen Register gewechselt.

Im Navigator-Eintrag *Flächen* und in Tabelle 1.4 *Flächen* liegen die Eingabedaten der beiden Flächen in numerischer Form vor (siehe Bild oben). Die Wand wurde als Quadrangelfläche erzeugt, d. h. als Schale, die von vier Linien begrenzt ist.

4.2.3 Aussparung

4.2.3.1 Öffnung erzeugen

Wir fügen nun die rechteckige Aussparung in die Deckenplatte ein. Die Eingabe wird erleichtert, wenn wir wieder die [Ansicht in Z] einstellen.

Die Öffnung kann direkt gesetzt werden, d. h. ohne vorher Linien zu definieren. Über die Listenschaltfläche für Öffnungen wählen wir den Eintrag *Rechteck*.

Den ersten Öffnungsknoten setzen wir am Rasterpunkt **3.000/1.000/0.000**. Als zweiten Knoten legen wir den Rasterpunkt **5.000/2.000/0.000** fest.

Damit wird die Öffnung etwas zu kurz; wir müssen die Länge im nächsten Schritt anpassen.



Listenschaltfläche für Öffnungen

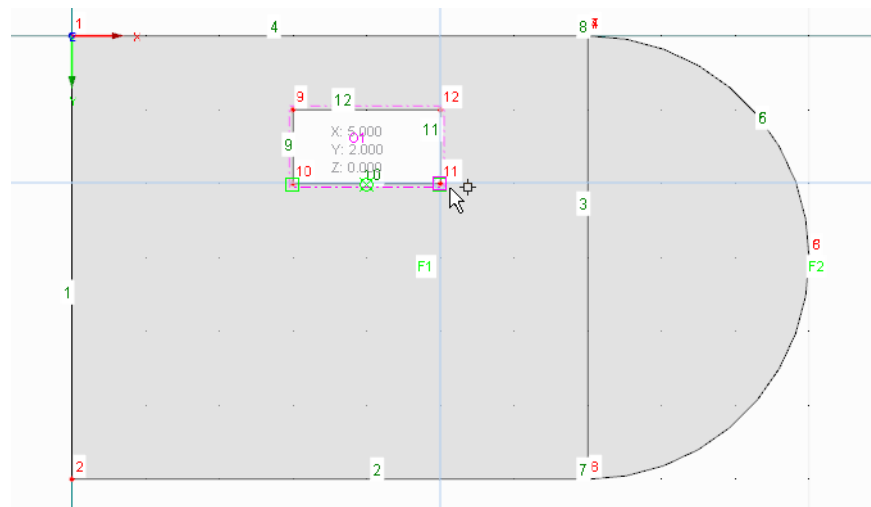


Bild 4.13: Rechteckige Öffnung setzen

Wir beenden den Eingabemodus mit [Esc] oder einem Rechtsklick in die leere Arbeitsfläche.

4.2.3.2 Öffnung anpassen

Die Länge der Öffnung beträgt in Wirklichkeit 2,50 m. Wir selektieren die beiden Knoten 11 und 12 nacheinander, indem wir beim Anklicken die [Strg]-Taste gedrückt halten.

Der Doppelklick auf einen dieser Knoten öffnet den Dialog *Knoten bearbeiten*.

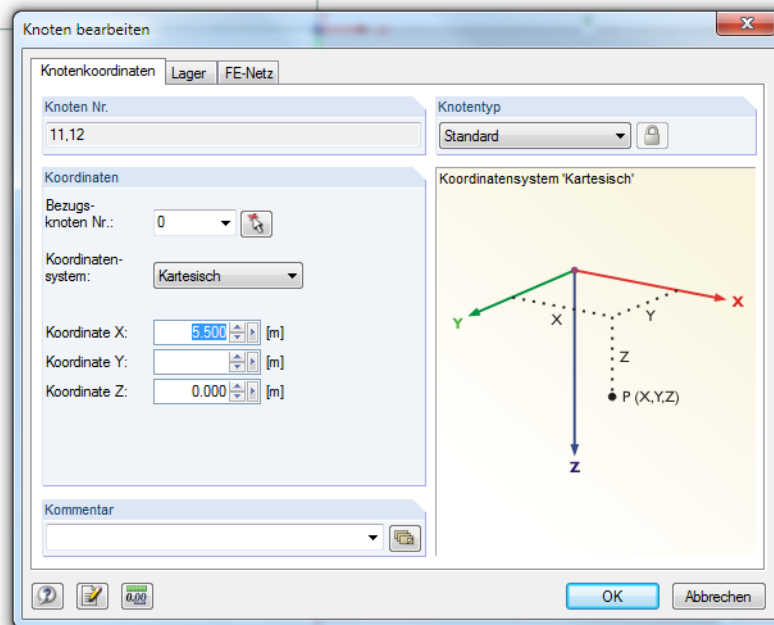
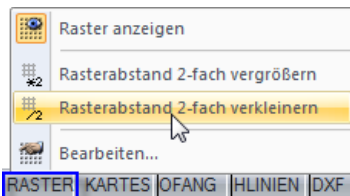


Bild 4.14: Dialog *Knoten bearbeiten*

Im Eingabefeld *Knoten Nr.* sind beide Knoten aufgelistet. Wir korrigieren die *Koordinate X* auf **5.500** m und bestätigen mit [OK]. Die Öffnung weist nun die korrekte Länge auf.

Alternative: Mit einem angepassten Raster hätten wir die Öffnung ohne Ändern der Koordinaten sofort setzen können: Im Dialog *Raster und Arbeitsebene* (siehe Bild 4.1, Seite 10) wäre es vorher erforderlich gewesen, den *Abstand der Rasterpunkte* auf 50 cm zu verringern. Noch schneller lässt sich der Rasterabstand Kontextmenü der RASTER-Schaltfläche in der Statusleiste ändern (siehe Bild links). Es wird mit einem Rechtsklick aufgerufen.

Damit ist die Eingabe der Flächen abgeschlossen.



4.3 Betonstäbe erzeugen

4.3.1 Stützen

Stabelemente sind an Linien gebunden, d. h. mit einem Stab wird automatisch eine Linie erzeugt.

Arbeitsebene wechseln

Für das grafische Setzen der Stützen ist es erforderlich, die Arbeitsebene von der horizontalen in die vertikale Ebene zu verlegen. Mit einem Klick auf die mittlere der drei Ebenen-Schaltflächen stellen wir die [Arbeitsebene YZ] ein.

Für die weitere Eingabe wählen wir wieder die [Isometrische Ansicht]. Wir sehen, dass das Eingabegeraster nun in der Ebene der beiden Stützen aufgespannt ist (siehe Bild 4.18).

Querschnitt definieren

Wir klicken die Listenschaltfläche [Neue Stäbe einzeln] an, um den Dialog *Neuer Stab* aufzurufen.

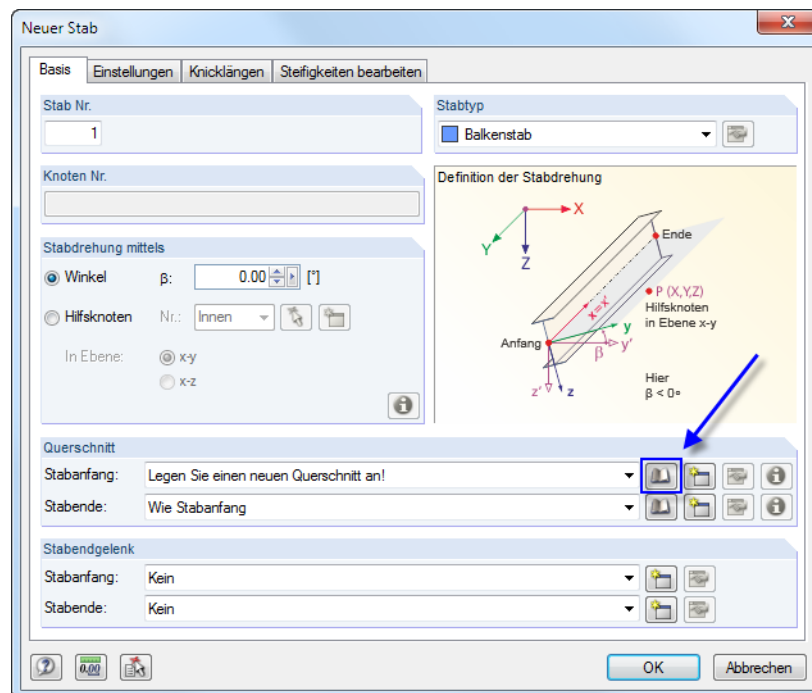
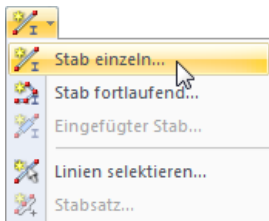
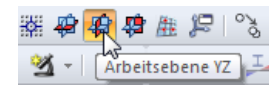


Bild 4.15: Dialog *Neuer Stab*

Die Voreinstellungen können wir unverändert belassen. Es muss nur noch ein *Querschnitt* angelegt werden. Zur Definition des Querschnitts am *Stabanfang* klicken wir die Schaltfläche [Bibliothek] an. Die Querschnittsdatenbank erscheint.

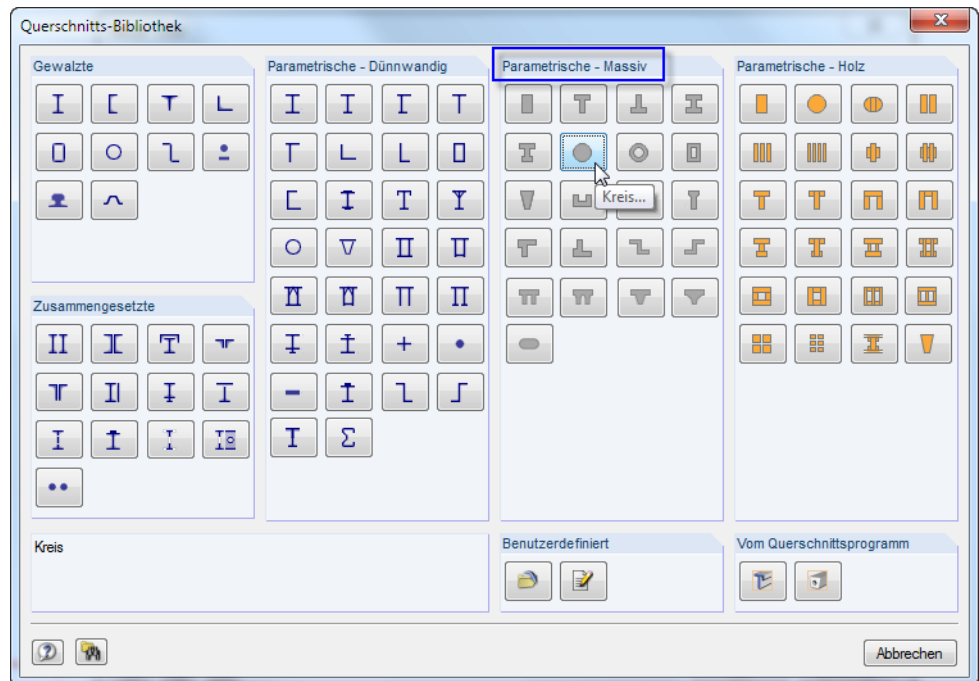
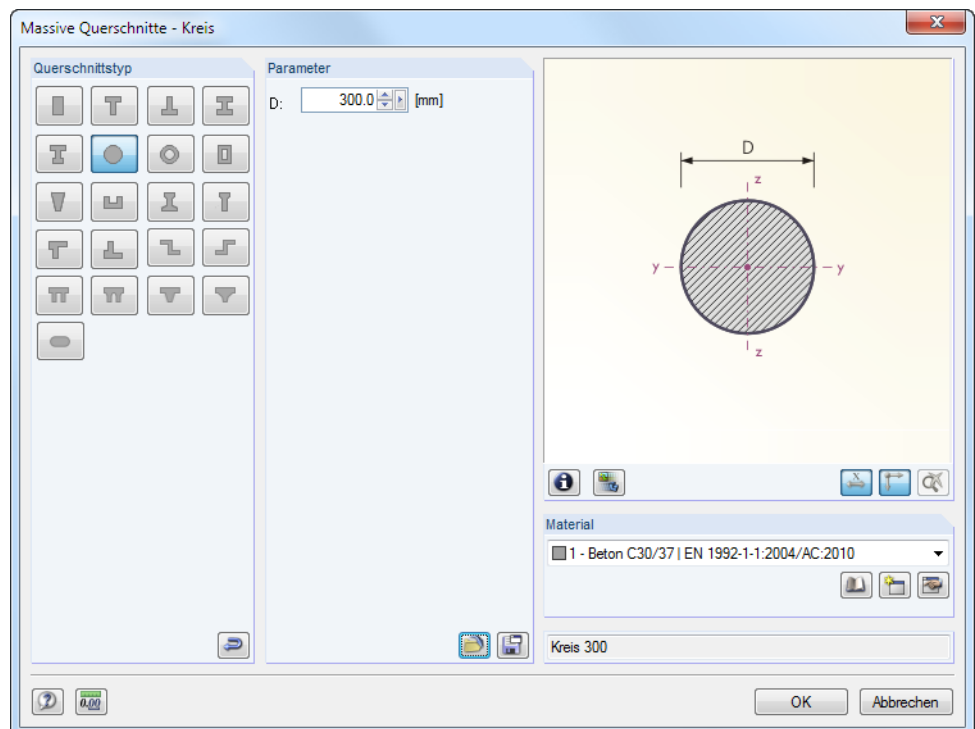


Bild 4.16: Querschnittsbibliothek

Im Abschnitt *Parametrische - Massiv* wählen wir den Querschnittstyp *Kreis* aus. Ein weiterer Dialog öffnet sich.

Bild 4.17: Dialog *Massive Querschnitte - Kreis*

Wir legen den Stützendurchmesser D mit **300** mm fest.

Als *Material* ist bei massiven Querschnitten die Nummer *1 - Beton C30/37* eingestellt.

Über die [Info-]Schaltfläche lassen sich die Querschnittskennwerte dieses Profils überprüfen.



Mit [OK] werden die Querschnittswerte übernommen und wir kehren in den Ausgangsdialog *Neuer Stab* zurück. Im Eingabefeld *Stabanfang* ist nun der neue Querschnitt angegeben. Wir schließen den Dialog mit [OK], um die Stützen grafisch zu setzen.

Stäbe grafisch setzen

Wir legen den Fuß der vorderen Stütze durch Anklicken des Rasterpunkts **0.000/6.000/4.000** fest.

Das obere Stützenende setzen wir im Knoten **2**.

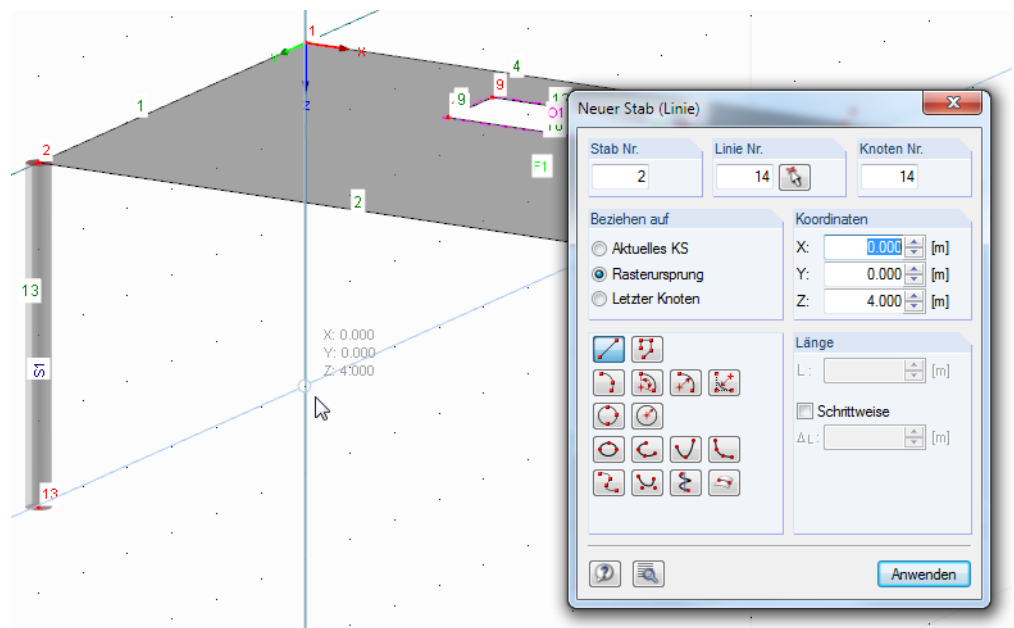


Bild 4.18: Fußpunkt der zweiten Stütze setzen

Der Befehl *Stab setzen* ist noch aktiv. Wir können daher mit dem Setzen der hinteren Stütze fortfahren.

Den Fuß der zweiten Stütze platzieren wir am Rasterpunkt **0.000/0.000/4.000**, das obere Ende im Nullpunkt-Knoten **1**.

[Esc] oder ein Rechtsklick beendet den Eingabemodus.

4.3.2 Rippe

Im nächsten Schritt geben wir den Deckenunterzug ein.

Linieeigenschaft ändern

Wir führen einen Doppelklick auf die Linie 3 aus, um den Dialog *Linie bearbeiten* aufzurufen. Dort wechseln wir in das Register *Stab* und haken die Option *Stab vorhanden* an (siehe Bild 4.19).

Es erscheint wieder der Dialog *Neuer Stab*.

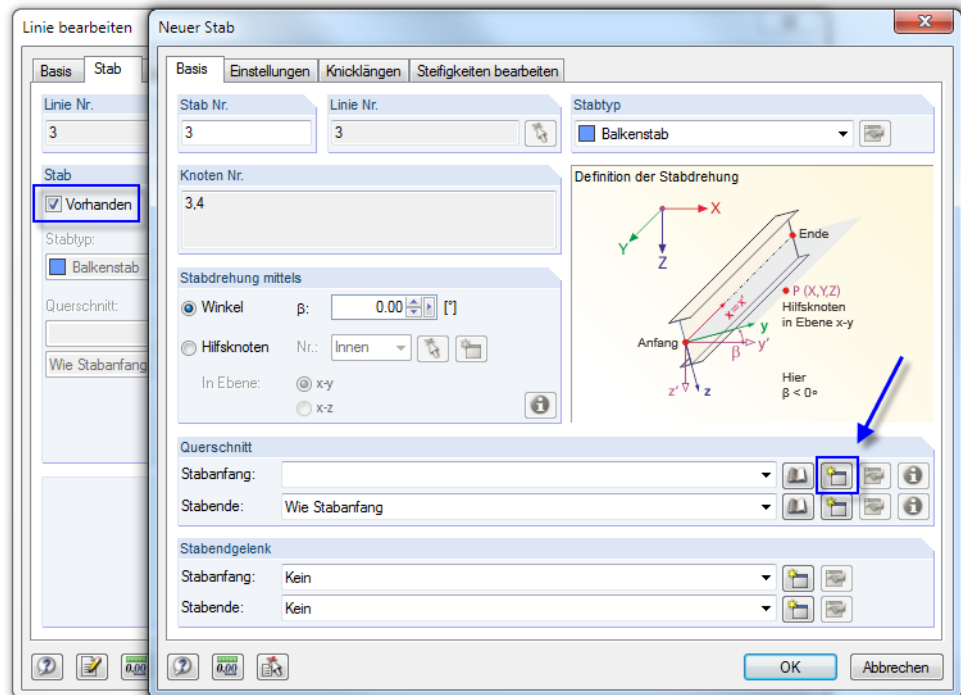


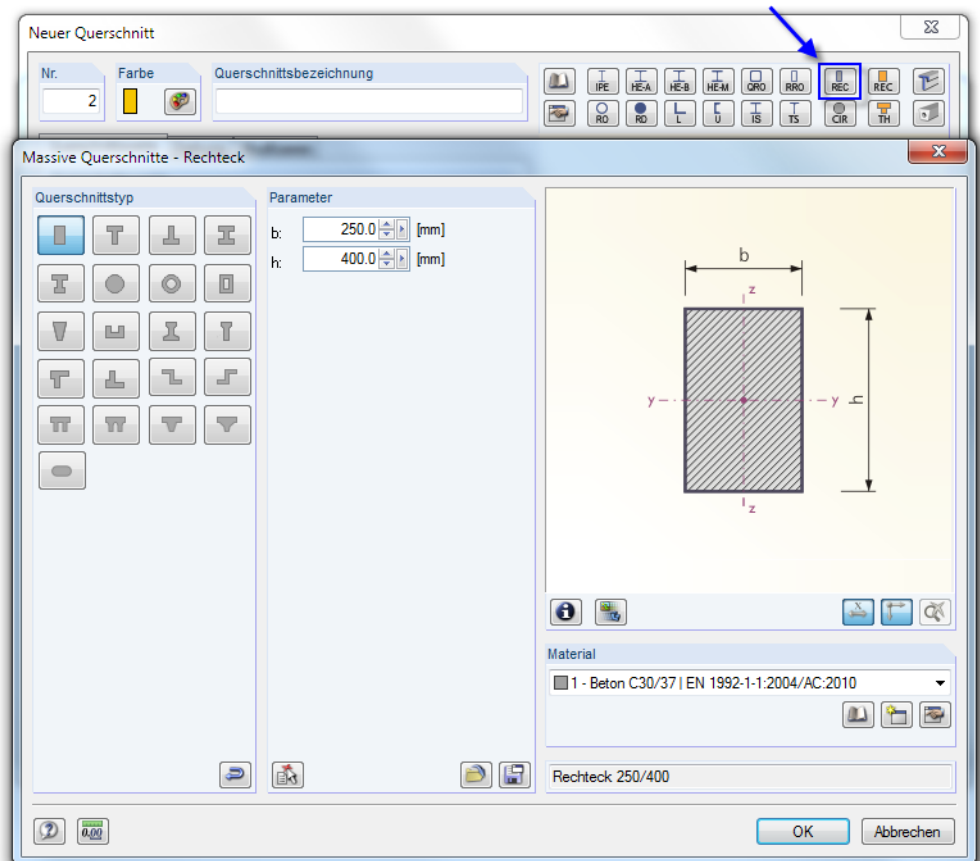
Bild 4.19: Dialog *Neuer Stab*



Zur Definition des Querschnitts am *Stabanfang* klicken wir diesmal die Schaltfläche [Neu] an.

Im Dialog *Neuer Querschnitt* wählen wir oben die massive *REC*-Reihe aus (siehe Bild 4.20).

Dann legen wir im Dialog *Massive Querschnitte - Rechteck* die Breite *b* mit **250** mm und die Höhe *h* mit **400** mm fest.

Bild 4.20: Dialog *Massive Querschnitte - Rechteck*

Mit [OK] werden die Querschnittswerte in den Dialog *Neuer Querschnitt* übernommen. Als Material ist wieder die Nummer 1 - Beton C30/37 eingestellt.

Nach einem erneuten [OK] gelangen wir in den Ausgangsdialog *Neuer Stab*. Im Eingabefeld *Stabanfang* ist nun der Rechteckquerschnitt angegeben.

Rippe definieren

Ein Unterzug kann in RFEM als Stabtyp *Rippe* modelliert werden. Hierzu ändern wir oben im Dialog *Neuer Stab* den *Stabtyp*: Wir wählen in der Liste den Eintrag *Rippe*.

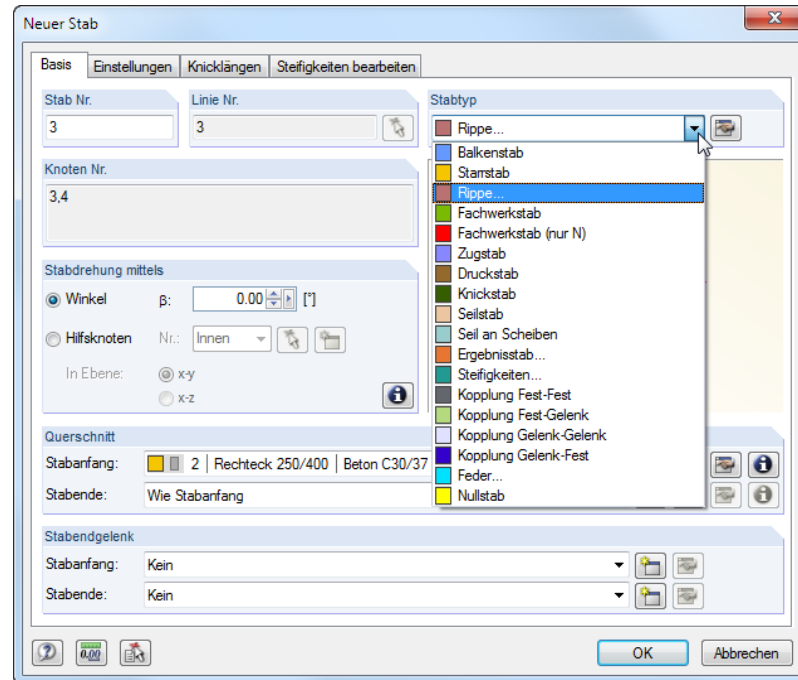


Bild 4.21: Stabtyp ändern

Der Klick auf die Schaltfläche [Bearbeiten] öffnet den Dialog *Neue Rippe*.

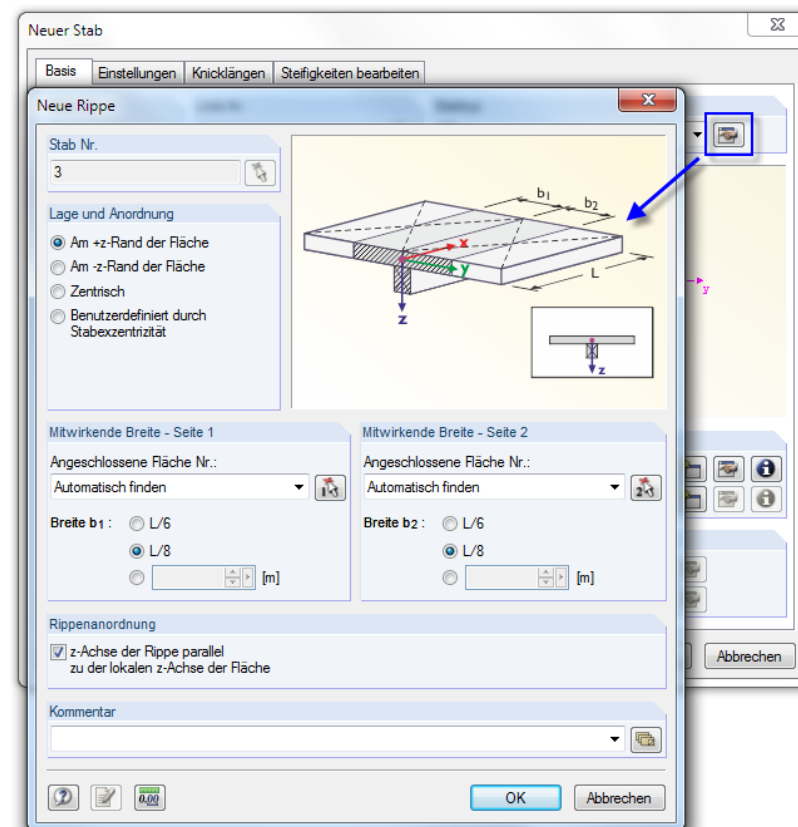


Bild 4.22: Rippe definieren

Die *Lage der Rippe* definieren wir **Am +z-Rand** der Fläche. Dies ist die Unterseite der Deckenplatte.

Als *Mitwirkende Breite* geben wir für beide Seiten **L/8** vor und lassen RFEM die Flächen automatisch finden.

Wir schließen alle Dialoge mit [OK] und überprüfen das Ergebnis im Arbeitsfenster.

Darstellungsart ändern

Die Rippe wird als exzentrisch angeordneter Stab dargestellt. Da das transparente Renderingmodell die Flächendicken unterdrückt, stellen wir über die links gezeigte Listenschaltfläche die *Darstellungsart Gefüllt* ein. In diesem Anzeigemodus können wir die Platzierung der Rippe besser überprüfen.

Im Zeigen-Navigator wählen wir für *Flächen* die Rendering-Variante *Gefüllt einschließlich Dicke*.

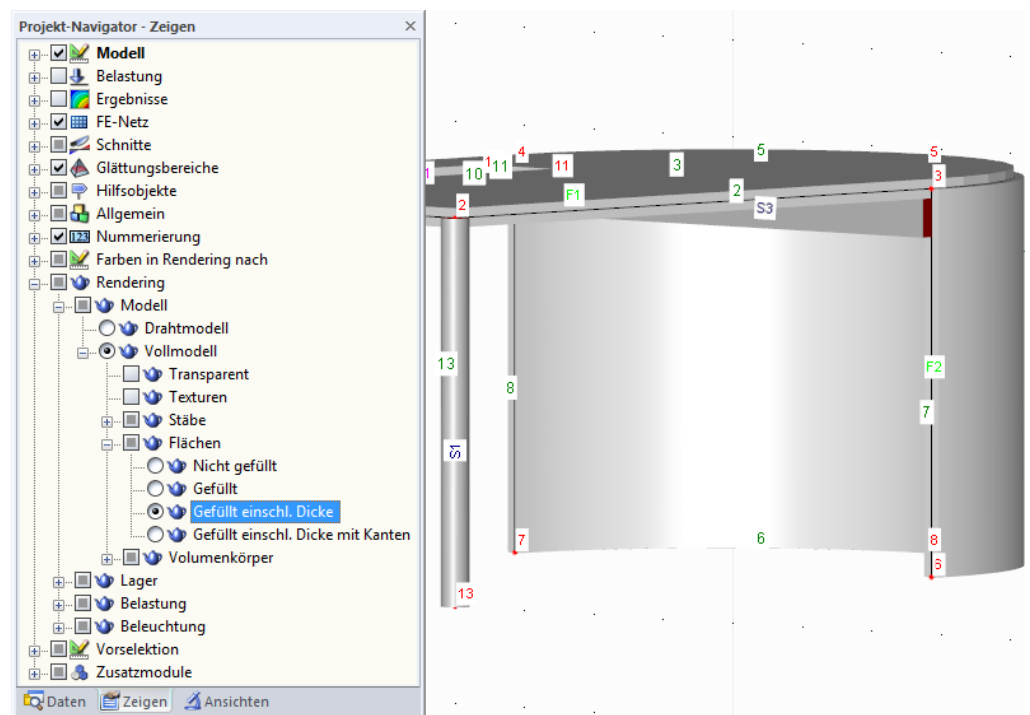
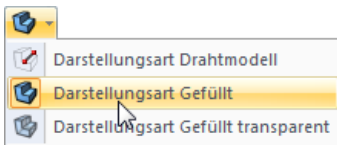
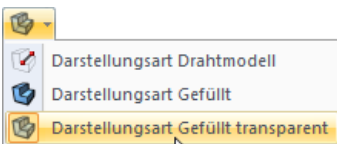


Bild 4.23: Darstellung als Vollmodell



Über die Schaltfläche [Ansicht verschieben] kann die Anzeige angepasst werden (siehe „Mausfunktionen“ auf Seite 9). Der Mauszeiger verwandelt sich in eine Hand. Wird nun die [Strg]-Taste gedrückt, kann das Modell durch Ziehen der Maus rotiert werden.

Für die weitere Eingabe stellen wir wieder die *Darstellungsart Gefüllt transparent* ein. Zudem setzen wir im Zeigen-Navigator das Rendering der Flächen auf *Gefüllt* zurück, um die Dicken zu unterdrücken.



4.4 Lager anordnen

Das Modell ist noch ohne Lagerung. In RFEM können Knoten, Linien, Stäbe und Flächen mit Lagerungen versehen werden.

4.4.1 Knotenlager

Die Stützen sind am Fuß in alle Richtungen gehalten, jedoch ohne Einspannung.



Wir selektieren die unteren Stützenknoten, indem wir ein Fenster über dem Bereich aufziehen, der die Knoten X und Y einschließt. Anschließend klicken wir auf die Schaltfläche [Knotenlager] und rufen den Dialog *Neues Knotenlager* auf.

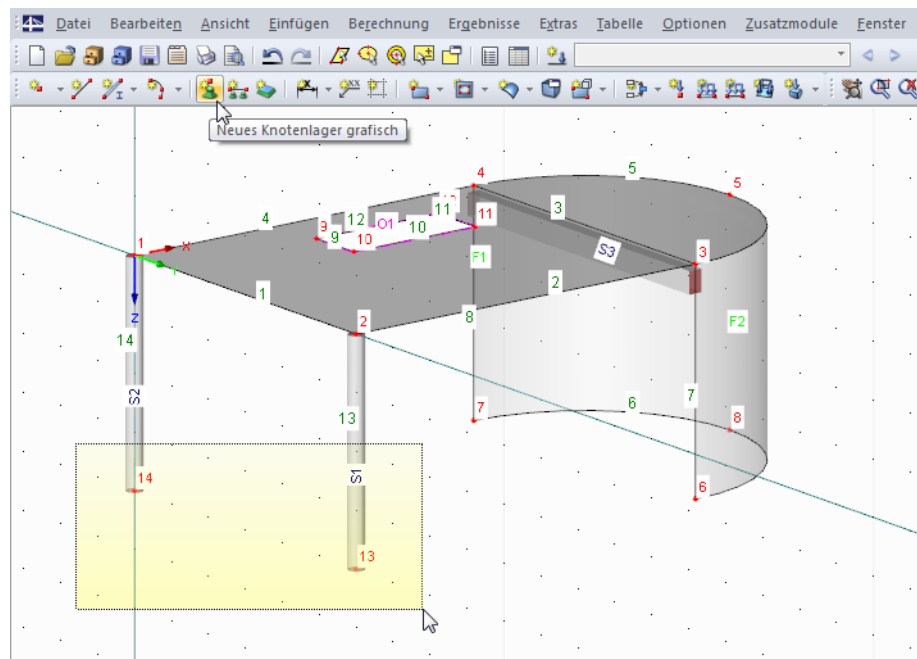


Bild 4.24: Stützenknoten mit Fenster selektieren

Die beiden Knotennummern 13 und 14 sind im Feld *Knoten Nr.* eingetragen.



Wir ändern den Typ des Lagers ab, da der voreingestellte Lagertyp 1 eine Einspannung um die Stablängsachse bewirkt. Hierzu klicken wir die Schaltfläche [Neu] an (siehe Bild 4.25).

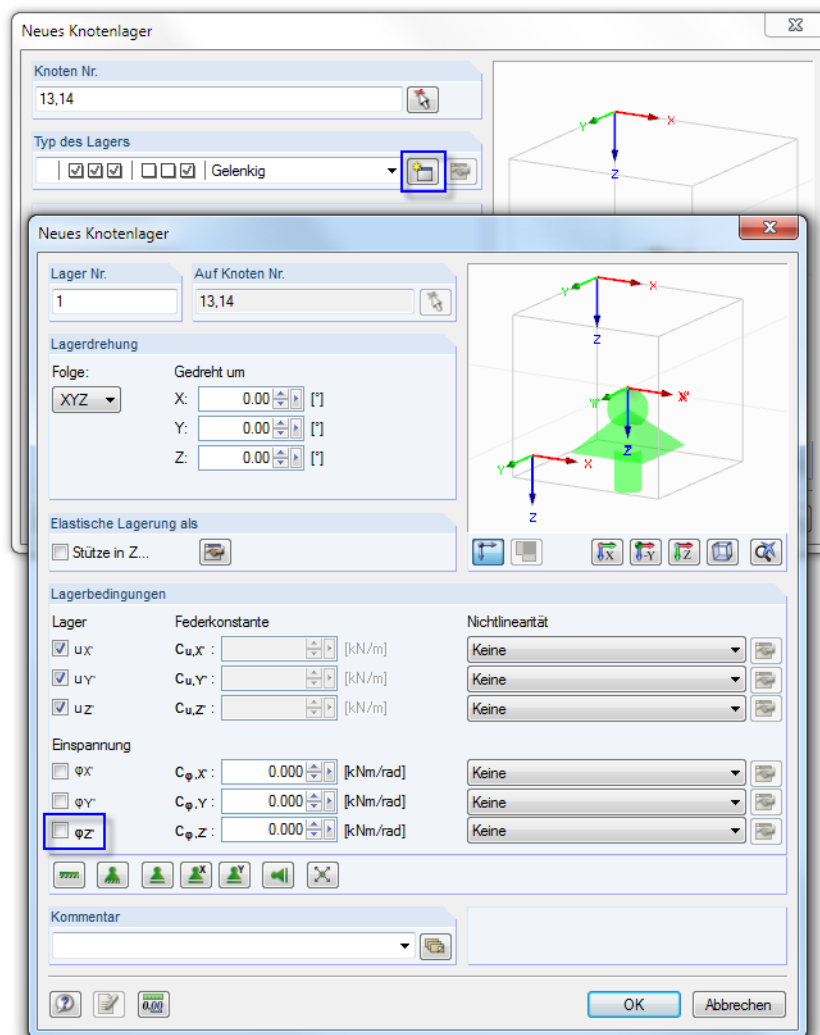


Bild 4.25: Freiheitsgrade definieren

Im zweiten Dialog *Neues Knotenlager* entfernen wir das Häkchen bei der *Einspannung* für die Verdrehung ϕ_z .

Nach zweimaligem [OK] werden die Lagersymbole am Modell angezeigt.

4.4.2 Linienlager

Die untere gekrümmte Linie der Wand ist ebenfalls gelagert. Für die Eingabe wählen wir diesmal einen anderen Weg: Wir definieren zuerst die Lagereigenschaften und weisen sie dann grafisch zu.



Ein Klick auf die Schaltfläche [Linienlager] öffnet den Dialog *Neues Linienlager*.

Als *Typ des Lagers* ist u. a. die Option *Gelenkig* vorgegeben. Die ersten drei Felder mit den Häkchen deuten an, dass eine Stützung in X, Y und Z vorliegt; die letzten drei Felder sind nicht angehakt, da der gelenkige Lagertyp keine Einspannung um X, Y und Z aufweist.

Wir bestätigen den Dialog mit [OK], da das gelenkige Lager für unser Beispiel geeignet ist.

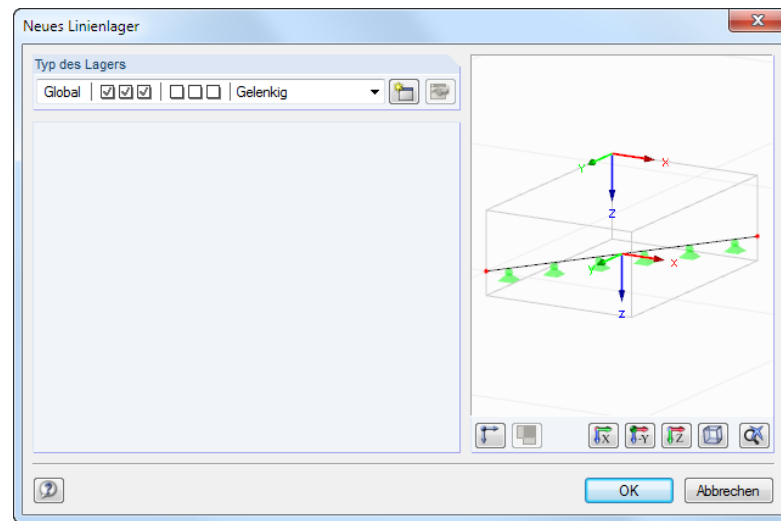


Bild 4.26: Dialog *Neues Linienlager*



Am Mauszeiger wird nun ein Lagersymbol angezeigt. Es ändert sich in ein Fadenkreuz, sobald wir uns einer Linie annähern. In der Statusleiste wird die Nummer dieser Linie angezeigt. Wir platzieren das Lager an der gebogenen Linie 6.

Der Stahlbetonbau des Modells ist damit vollständig eingegeben.

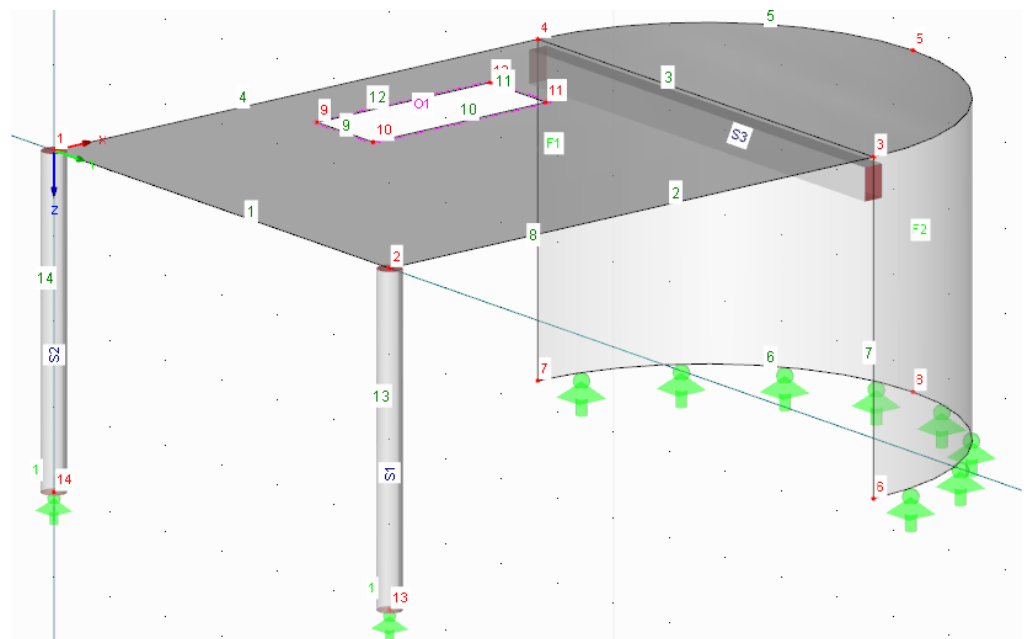


Bild 4.27: Stahlbetonbau mit Lagern

4.5 Stahlstäbe erzeugen

4.5.1 Rahmen

Zur Eingabe der Stahlkonstruktion definieren wir zunächst den Rahmen, der sich in der Ebene der beiden Stützen befindet. Hierzu erzeugen wir einen Ausschnitt für diese Ebene: Über eine sogenannte *Sichtbarkeit* ist es möglich, in einem bestimmten Bereich des Modells zu arbeiten, ohne durch Objekte gestört zu werden, die vor oder hinter den ausgewählten Objekten liegen.

Benutzerdefinierte Sichtbarkeit erstellen

Wir stellen im Navigator das Register *Ansichten* ein. Dort finden wir schon viele Sichtbarkeiten vor, die RFEM aus den Eingaben *Generiert* hat.



Die Schaltfläche [Sichtbarkeit mit Fenster] links oben ermöglicht es, einen Bereich des Modells grafisch herauszulösen: Nach dem Aktivieren der Funktion ziehen wir mit der Maus ein Fenster von links nach rechts auf, das die beiden Stützenstäbe vollständig umschließt.



Information: Wird das Fenster von links nach rechts aufgezogen, enthält der Ausschnitt nur die Objekte, die sich vollständig im Fenster befinden. Beim Aufziehen von rechts nach links werden auch die Objekte in die Sichtbarkeit aufgenommen, die vom Fenster geschnitten werden.

Das restliche Modell (Decke, Wand) wird nun schwach hinterlegt dargestellt. Diese Objekte können nicht bearbeitet werden.

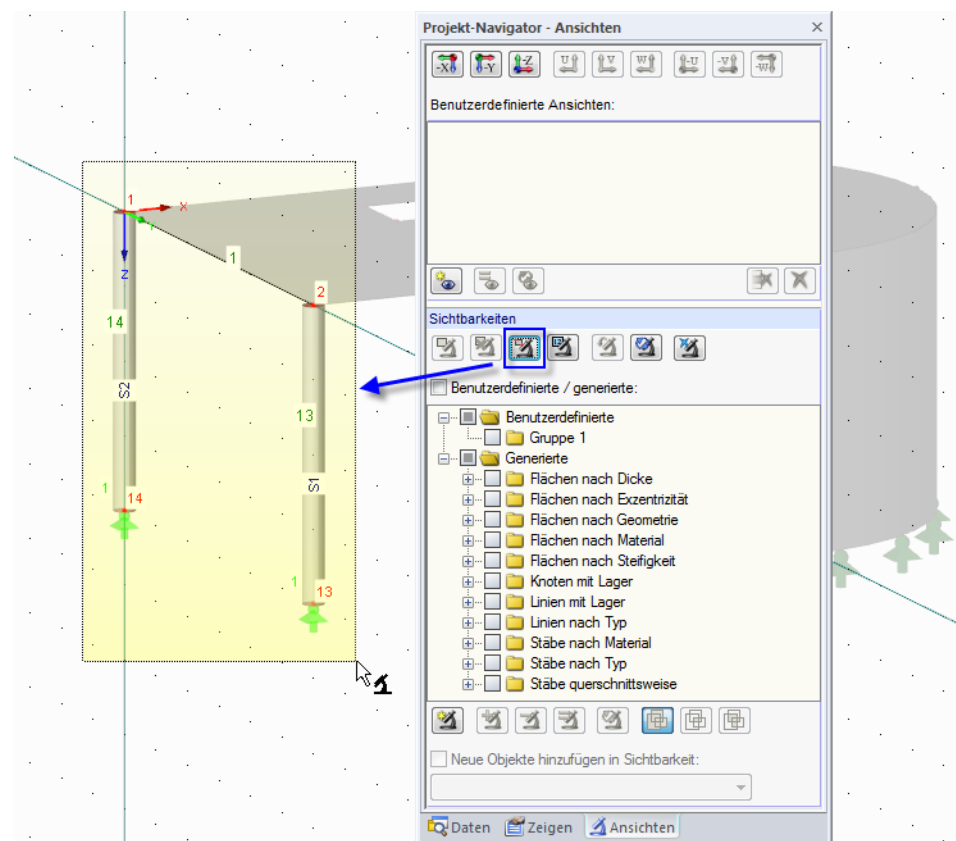
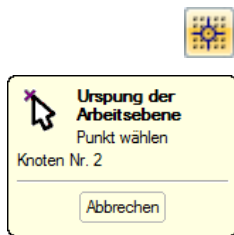


Bild 4.28: Sichtbarkeit mit Fenster erzeugen

Ursprung der Arbeitsebene ändern

Als Arbeitsebene ist noch die Ebene YZ eingestellt, die sich zum Setzen des Pultdachrahmens eignet – wie auch der Ursprung der Arbeitsebene. Um zu zeigen, wie die Arbeitsebene angepasst werden kann, soll jedoch die Lage des Arbeitsebenen-Ursprungs verändert werden.



Wir klicken die Schaltfläche [Ursprung setzen] an. Im Arbeitsfenster wählen wir dann als neuen Ursprung der Arbeitsebene den Knoten 2 – den vorderen Stützenkopf. Das Fadenkreuz des Rasters ändert seine Lage.

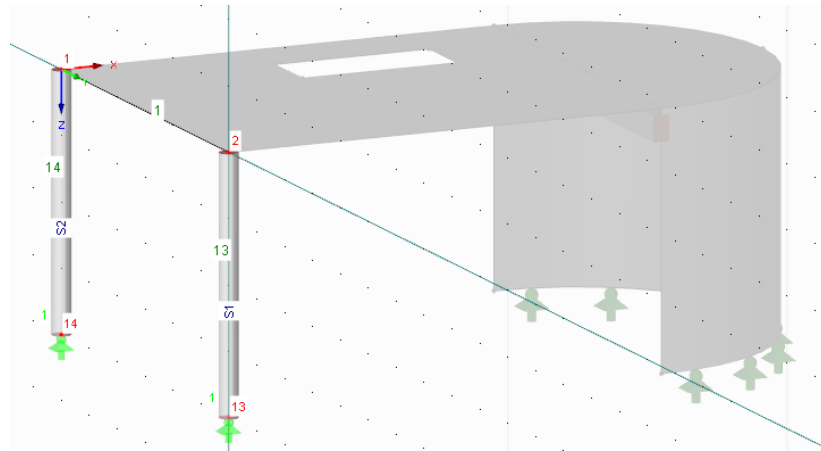


Bild 4.29: Neuer Ursprung im Knoten 2

4.5.1.1 Stäbe fortlaufend setzen

Der Pultdachrahmen soll als Polygonzug erstellt werden. Wir klicken die Listenschaltfläche [Neuer Stab] an und wählen die Option *Stab fortlaufend...*

Im Dialog *Neuer Stab* überprüfen wir, ob der *Stabtyp Balkenstab* eingestellt ist.

Wie im Bild 4.19 auf Seite 24 gezeigt, legen wir über die Schaltfläche [Neu] einen Querschnitt für den *Stabanfang* an. Im Dialog *Neuer Querschnitt* klicken wir rechts oben auf die Schaltfläche [HE-A]. Dann wählen wir im Dialog *Gewaltzte Profile - I-Profile* in der Reihe HE A den Querschnitt **HE A 300** aus. Als Material ist bei Walzprofilen die Nummer 2 - *Baustahl S235* voreingestellt.

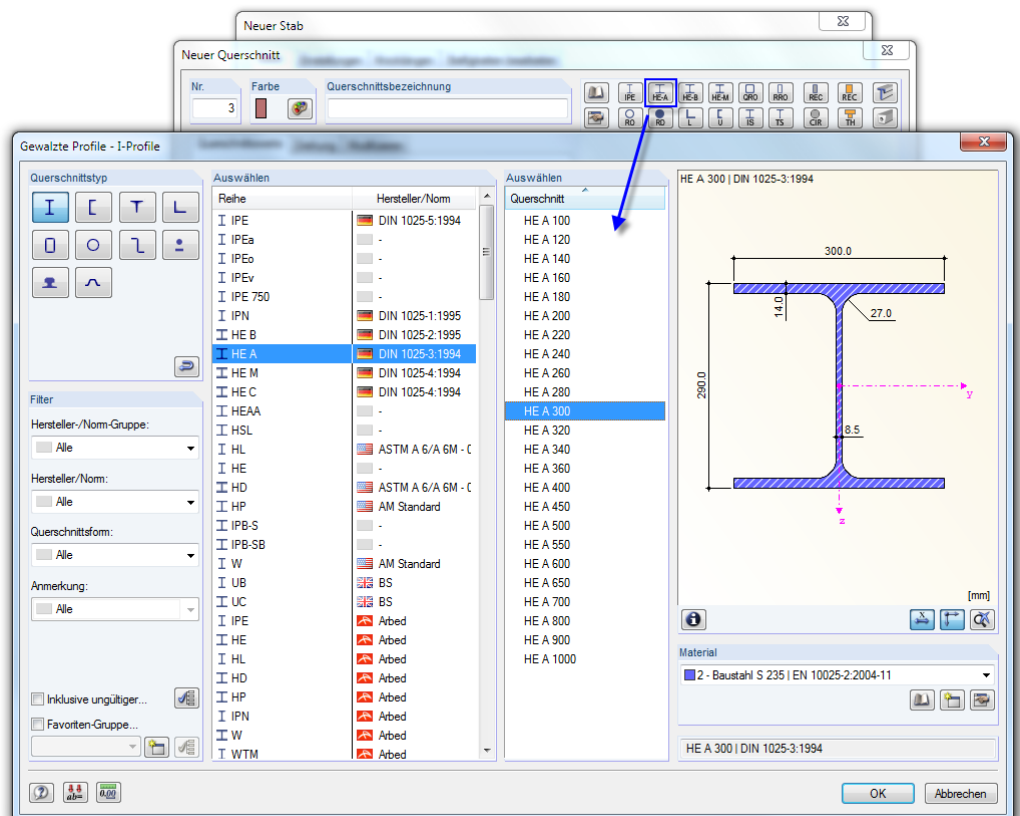
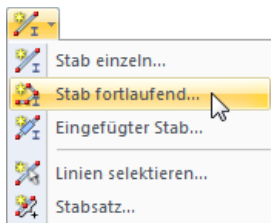


Bild 4.30: HE A 300 in Bibliothek auswählen

Wir bestätigen alle Dialoge mit [OK].

Im Arbeitsfenster setzen wir die drei Rahmenstäbe in einem Zug durch Anklicken der folgenden Knoten bzw. Rasterpunkte:

- Knoten 1
- Rasterpunkt **0.000/-6.000/-3.000** (Rasterursprung wurde geändert)
- Rasterpunkt **0.000/0.000/-3.000** (Dachneigung wird später angepasst)
- Knoten 2

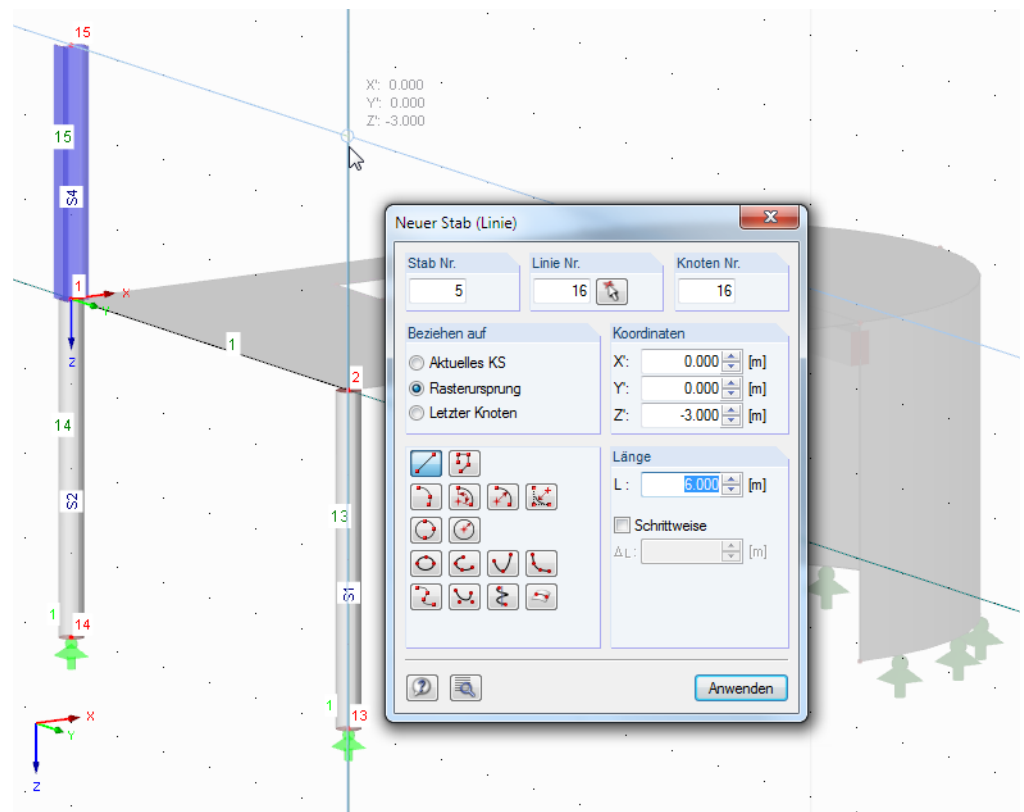


Bild 4.31: Stäbe fortlaufend setzen

Nach dem Setzen des letzten Knotens führen wir zwei Rechtsklicks in das leere Arbeitsfenster aus, um den Eingabemodus zu beenden.

In unserem Modell schließen die beiden Stützen biegesteif in den Deckenknoten 1 und 2 an. Obwohl diese Einspannung in der Praxis wohl kaum zu realisieren ist, verzichten wir in unserem Beispiel auf eine Modellierung der Gelenkeigenschaften und akzeptieren die Vereinfachung.

4.5.1.2 Riegel abschrägen

Das Pultdach weist eine Neigung von 8° auf. Der Riegelstab muss daher angepasst werden.

Wir ziehen ein Selektionsfenster über dem Stab 5 auf, das auch die beiden Endknoten erfasst. Dann rufen wir über das Menü

Bearbeiten → **Abschrägen**

den Dialog *3D-Abschrägen* auf.

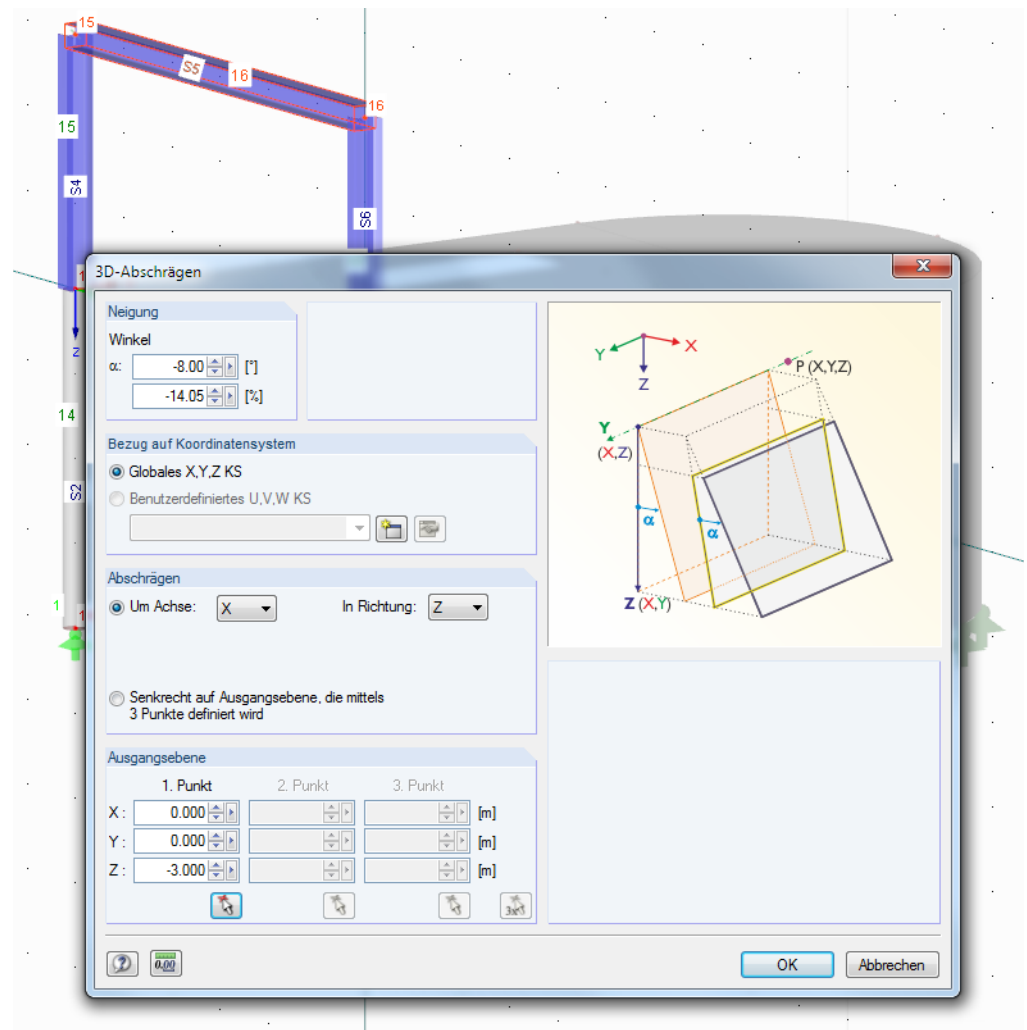


Bild 4.32: Neigung des Riegels anpassen

Die Neigung des Riegels soll um -8° um die *Achse X* geändert werden. Der Wert ist negativ einzugeben, da die Objekte entgegen dem Uhrzeigersinn um die X-Achse gedreht werden. Das Abschrägen soll in die vertikale *Richtung Z* erfolgen. Als *Punkt der Drehachse* legen wir über [Pick] den Knoten 15 mit den Koordinaten **0.000/0.000/-3.000** fest und bestätigen mit [OK].

4.5.1.3 Riegel gelenkig anschließen

Gelenk definieren

Der Riegel kann wegen des Anschlussstyps keine Biegemomente in die Stützen übertragen. Wir definieren daher ein Gelenk und weisen es dann dem Riegelstab beidseits zu.

Diesmal soll der *Daten-Navigator* benutzt werden: Wir klicken dort den Eintrag *Stabendgelenke* mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü die Option *Neues Stabendgelenk*.

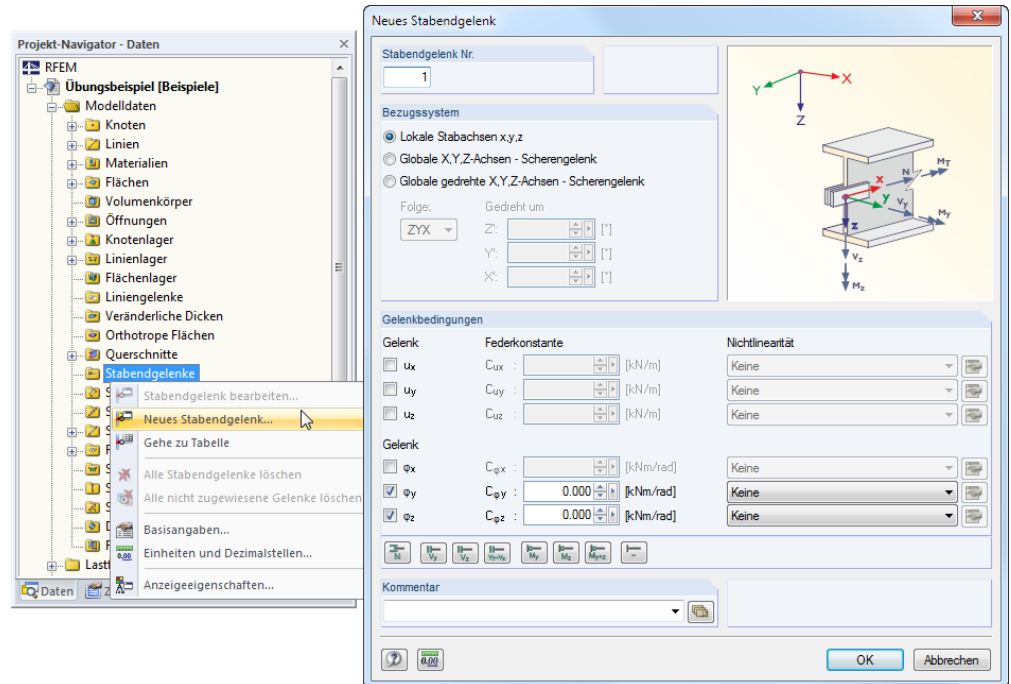


Bild 4.33: Dialog *Neues Stabendgelenk* aus *Daten-Navigator* aufrufen

Im Dialog *Neues Stabendgelenk* sind die Verschiebungen oder Verdrehungen anzuhaken, die am Stabende freigegeben sind. In unserem Fall sind dies die Kontrollfelder für ϕ_y und ϕ_z , d. h. es können keine Biegemomente am Knoten übertragen werden.

Wir schließen den Dialog ohne Änderung mit [OK].

Gelenk zuweisen

Wir könnten den Stab per Doppelklick bearbeiten und die Gelenke im Dialog *Stab bearbeiten* zuweisen. Wir nutzen aber eine spezielle Funktion, die in folgendem Menü verfügbar ist:

Einfügen → Modelldaten → Stabendgelenke → Stäben grafisch zuordnen

Es erscheint der Dialog *Stabendgelenke Stäben grafisch zuordnen*. Wir wählen in der Liste den soeben definierten Gelenktyp 1 aus und klicken [OK].

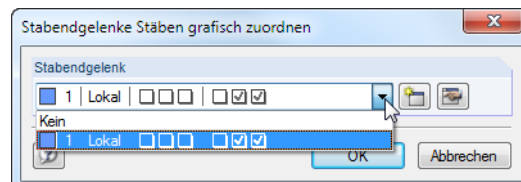


Bild 4.34: Dialog *Stabendgelenke Stäben grafisch zuordnen*

Im Arbeitsfenster sind die Stäbe nun mit einer Teilung in den Drittelpunkten versehen. Durch das Anklicken eines Stabendes kann das Gelenk grafisch an diesem Ende festgelegt werden. Wir klicken den Stab 5 im mittleren Bereich an, um das Gelenk beidseits zuzuweisen.

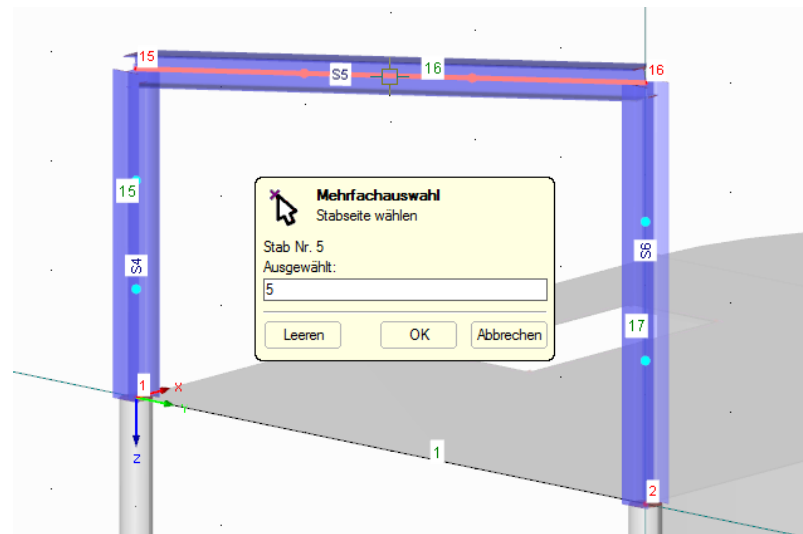


Bild 4.35: Gelenk grafisch zuweisen

4.5.1.4 Stabrichtung umkehren

Für die grafische Anzeige von Imperfektionen ist es günstig, wenn die Stabrichtung von Stützen von unten nach oben zeigt. Wir ändern deshalb die Orientierung der rechten Stahlstütze und nutzen eine Funktion des Stab-Kontextmenüs.

Wenn wir den Mauszeiger in die Nähe des Stabes 6 bewegen, wird der Stabrichtung-Pfeil am Stab angezeigt. Wir klicken diesen Stab mit der rechten Maustaste an und öffnen das Kontextmenü. Dort wählen wir die Option *Staborientierung umkehren*.

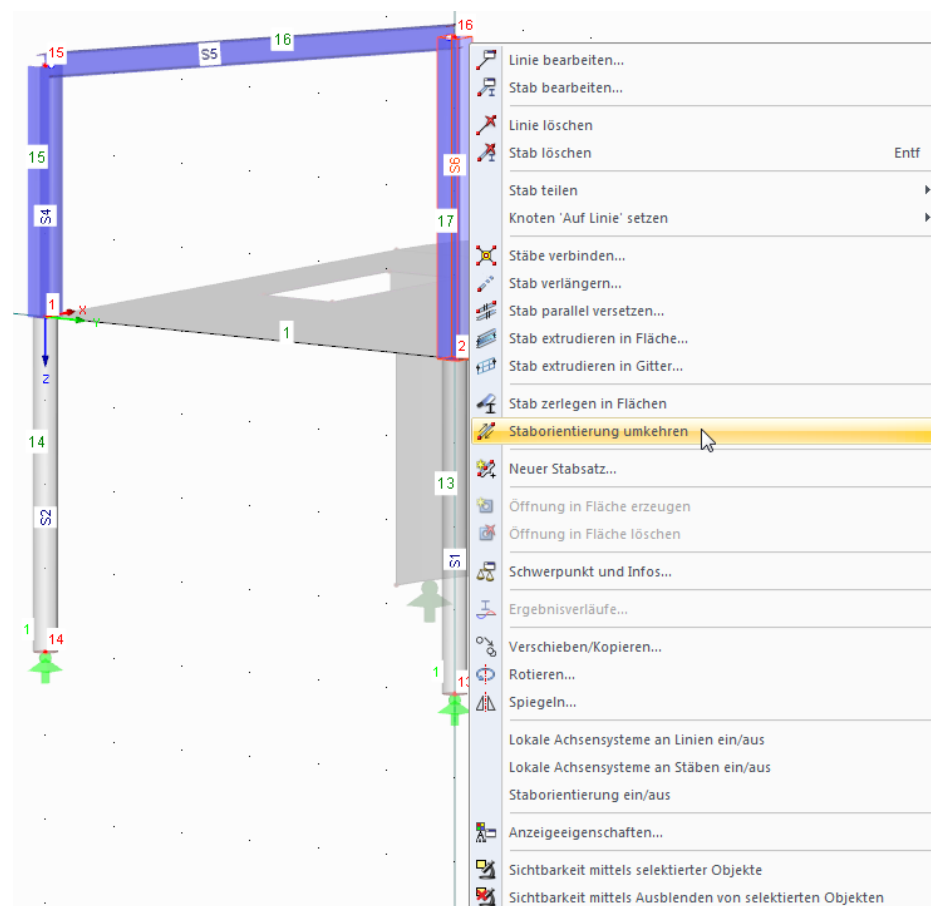


Bild 4.36: Stab-Kontextmenü

4.5.1.5 Rahmen kopieren

Der zweite Pultdachrahmen lässt sich sehr schnell als Kopie erzeugen.

Wir ziehen ein Selektionsfenster über dem Rahmen auf, das die Stäbe 4 bis 6 einschließt. Es darf keine Betonstütze in der Selektion enthalten sein! Sie können das Modell ggf. drehen, um eine günstigere Ansicht einzustellen – oder Sie klicken die Stäbe nacheinander bei gedrückter [Strg]-Taste an.



Vor dem Erzeugen der Kopie stellen wir die [Arbeitsebene XZ] ein, um aus der Rahmenebene kopieren zu können.

Wir drücken die [Strg]-Taste. Nun greifen wir die Selektion am Fußpunkt des höheren Stiels (Knoten 2) und verschieben sie zum Bogenende der oberen Wand. Das [+] Symbol am Mauszeiger deutet an, dass die Objekte kopiert werden.

Sobald die Koordinaten des Rasterpunkts **7.000/6.000/0.000** in der Statusleiste erscheinen, lösen wir die Maustaste.

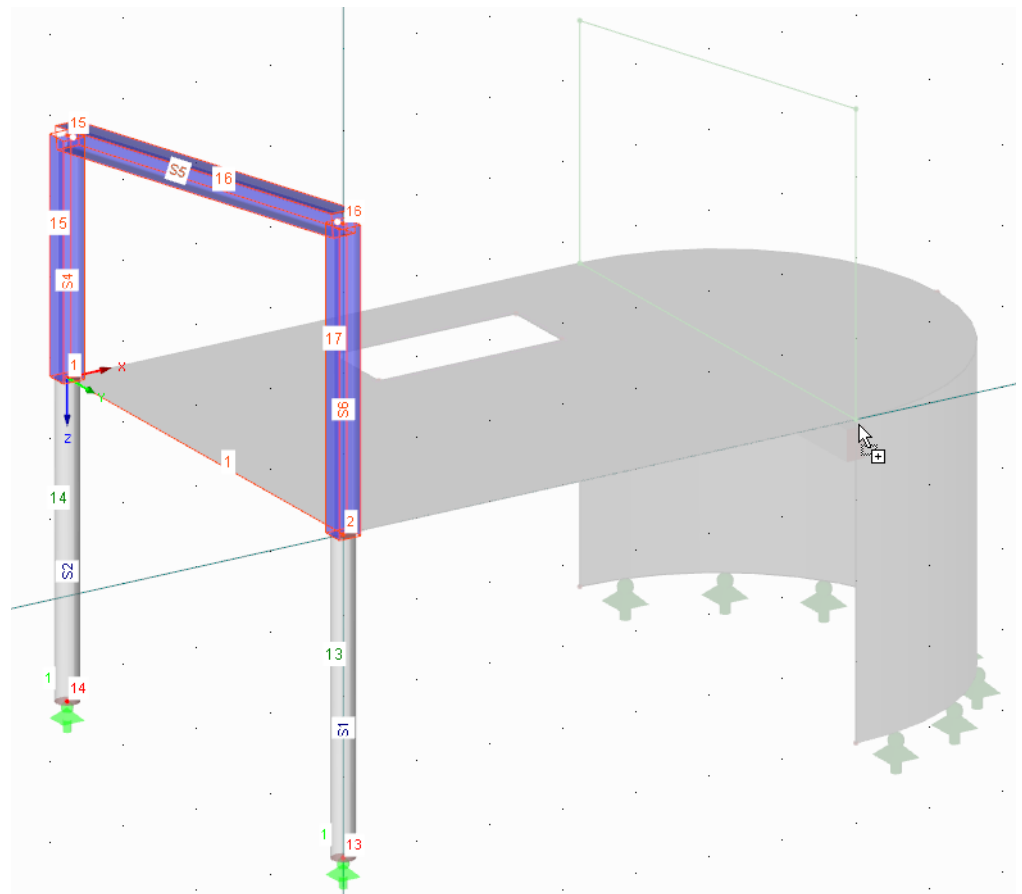


Bild 4.37: Rahmen durch Drag & Drop kopieren

Die Knoten und die Linie werden automatisch mit bereits definierten Objekten verschmolzen.

4.5.2 Pfetten

4.5.2.1 Stäbe einzeln setzen

Um die beiden Pfetten zu setzen, benutzen wir wieder die Listenschaltfläche [Neuer Stab]. Wir wählen die Option *Stab einzeln* und rufen den Dialog *Neuer Stab* auf.

Über die Schaltfläche [Neu] definieren wir wieder einen Querschnitt für den *Stabanfang* (siehe Bild 4.19, Seite 24).

Im Dialog *Neuer Querschnitt* klicken wir oben auf die Schaltfläche [HE-B] und legen im Dialog *Gewalzte Profile - I-Profile* in der Reihe HE B den Querschnitt **HE B 260** fest. Als Material ist wieder die Nummer 2 - *Baustahl S235* voreingestellt.

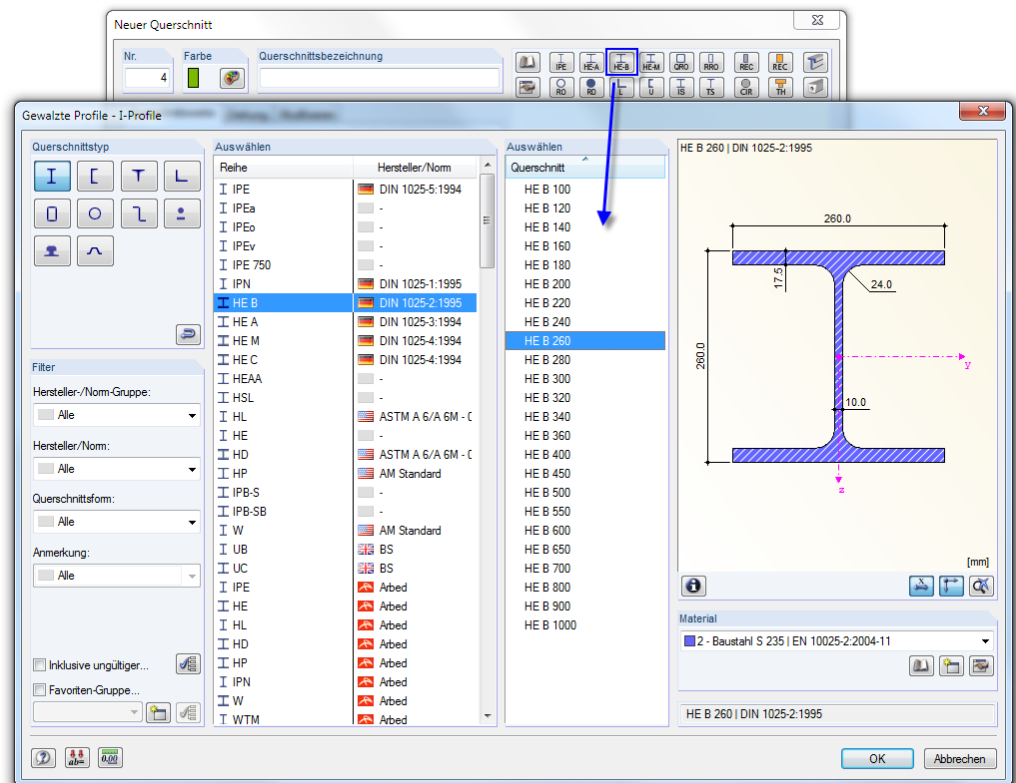
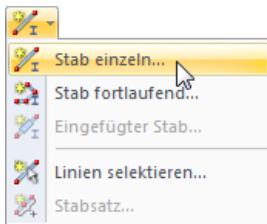


Bild 4.38: HE B 260 in Bibliothek auswählen

Wir bestätigen alle Dialoge mit [OK].

Die Pfette an der niedrigen Traufe setzen wir, indem wir die Knoten **15** und **19** nacheinander anklicken. Danach klicken wir die Knoten **16** und **20** an, um die zweite Pfette zu erzeugen.

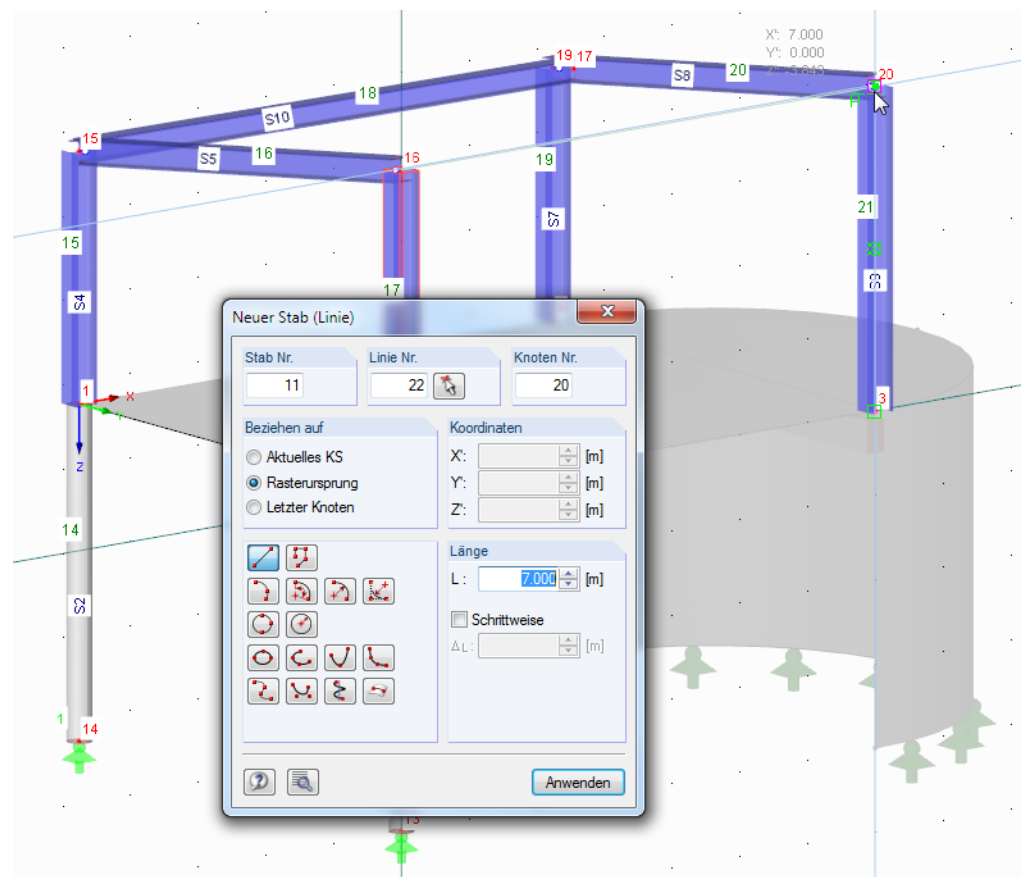


Bild 4.39: Pfettenstäbe setzen

[Esc] oder ein Rechtsklick beendet den Eingabemodus.

4.5.2.2 Stäbe exzentrisch anschließen

Die Pfetten sollen exzentrisch an die Rahmenstützen angeschlossen werden. Damit verkürzt sich die Systemlinie um die halbe Profilhöhe der HE A 300-Stützen.

Exzentrizität definieren

Wir doppelklicken die Pfette an der hohen Traufe (Stab 11). Im Dialog *Stab bearbeiten* wechseln wir in das Register *Einstellungen*. Dort klicken wir im Abschnitt *Stabexzentrizität* auf die Schaltfläche [Neu] und rufen den Dialog *Neue Stabexzentrizität* auf.

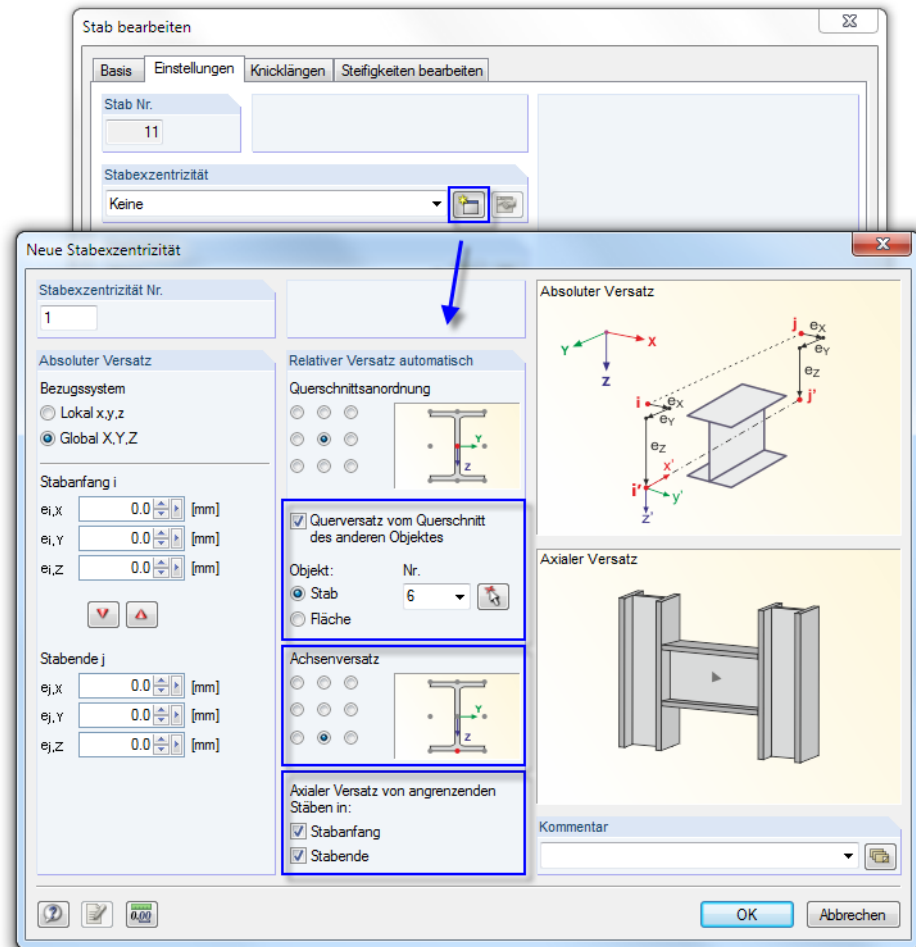


Bild 4.40: Dialog *Neuer Stab*, Register *Einstellungen*



Wir haken die Option *Querversatz vom Querschnitt des anderen Objektes* an. Das *Objekt* stellt in unserem Fall die Stütze dar: Mit [Pick] können wir z. B. den **Stab 6** grafisch festlegen.

Den *Achsenversatz* definieren wir in Richtung der positiven z-Profilachse.

Wir haken im Abschnitt *Axialer Versatz von angrenzenden Stäben* noch die Kontrollfelder **Stabanfang** und **Stabende** an, um den Versatz beidseits anzuordnen.



Nach dem Bestätigen aller Dialoge können wir das Ergebnis in einer vergrößerten Ansicht überprüfen (z. B. Zoomen durch Drehen des Scrollrades, Verschieben mit gedrücktem Scrollrad, Rotieren mit gedrücktem Scrollrad und gleichzeitig gedrückter rechter Maustaste).

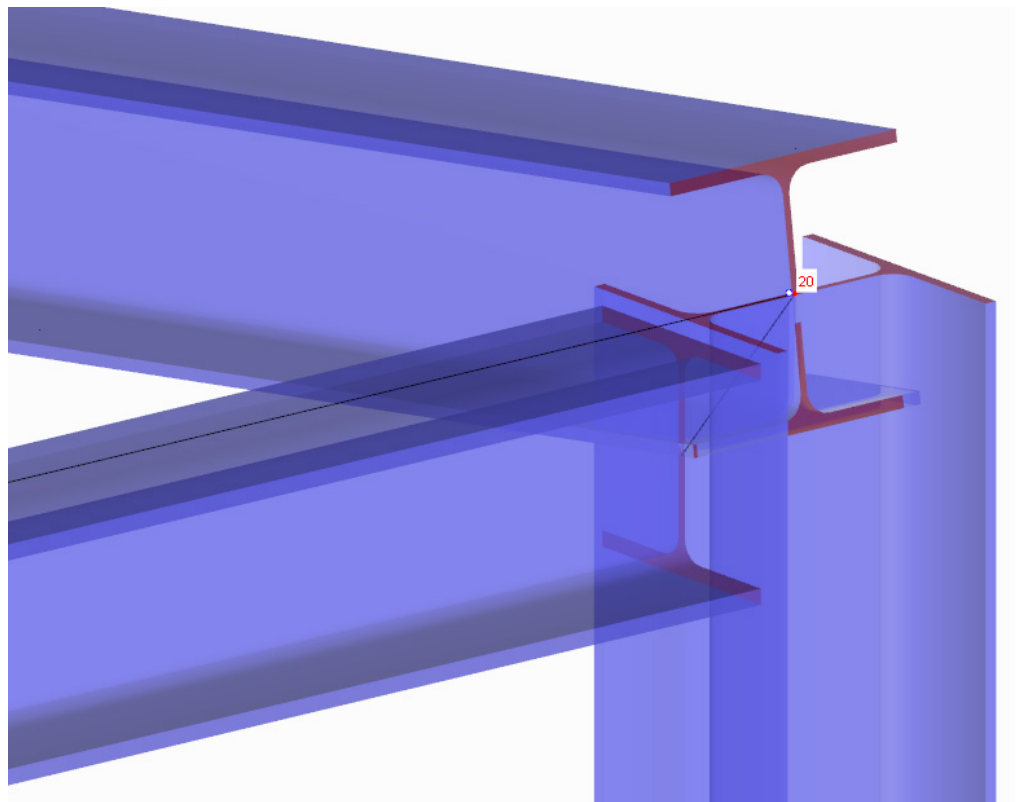


Bild 4.41: Exzentrischer Anschluss der Pfette in gezoomter Ansicht

Exzentrizität auf weiteren Stab anwenden

Um die Exzentrizität auf die zweite Pfette zu übertragen, nutzen wir die Eingabetabellen.

Wir blättern vor zur Tabelle 1.17 *Stäbe*, in der die Stabdaten aller bisher definierten Stäbe in numerischer Form vorliegen. Wenn wir in die Zeile 10 klicken, wird die zweite Pfette im Arbeitsfenster in der Selektionsfarbe markiert.

1.17 Stäbe

Stab Nr.	Linie Nr.	Stabtyp	Querschnitt Nr.		Stabdrehung Typ	Stabdrehung β [°]	Gelenk Nr.		Exzentr. Nr.	Teilung Nr.	Vouten-Ansatz	Länge L [m]	Gewicht W [kg]	N
			Anfang	Ende			Anfang	Ende						
1	13	Balkenstab	1	1	Winkel	0.00	0	0	0	0		4.000	706.86	Z
2	14	Balkenstab	1	1	Winkel	0.00	0	0	0	0		4.000	706.86	Z
3	3	Rippe	2	2	Winkel	0.00	0	0	0	0		6.000	1500.00	Y
4	15	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	0	0	0	0		3.000	266.11	Z
5	16	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	1	1	0	0		6.059	537.46	YZ
6	17	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	0	0	0	0		3.843	340.92	Z
7	19	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	0	0	0	0		3.000	266.11	Z
8	20	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	1	1	0	0		6.059	537.46	YZ
9	21	Balkenstab	3	3	Winkel	0.00	0	0	0	0		3.843	340.92	Z
10	18	Balkenstab	4	4	Winkel	0.00	0	0	1	0		6.861	635.51	
11	22	Balkenstab	4	4	Winkel	0.00	0	0	1	0		6.700	620.62	X
12														

Knotenlager Linienlager Flächenlager Linienlager Querschnitte Stabendgelenke Stabexzentrizitäten Stabteilungen **Stäbe** Rippen

Numer der Exzentrizität definiert in Tabelle 1.15 (F7 zum Wählen).

Bild 4.42: Exzentrizität zuweisen in Tabelle 1.17 *Stäbe*

Wir setzen den Mauszeiger in die Spalte *I* und tragen eine **1** ein – die Nummer der soeben definierten Exzentrizität – oder wählen diese aus der Liste.

Nach dem Verlassen der Zelle mit [Tab] oder [↵] wird die Änderung in der Grafik angezeigt.

Analog könnte eine weitere Exzentrizität für die Riegelstäbe definiert werden. Da diese Stäbe aber in den Stützenstegen anschließen, wollen wir diese Zusatzmomente vernachlässigen.

4.5.3 Diagonale

Als letzten Stab fügen wir zur Aussteifung eine Diagonale ein, die nur Zugkräfte übertragen kann. Verbände werden in der Regel kreuzweise ausgeführt; die Berechnung in der Demoverision erlaubt jedoch nur zwölf Stäbe. Ein Zugstab bewirkt, dass das Modell nichtlinear berechnet wird: Bei Druckkräften wird dieser Stab aus der Steifigkeitsmatrix entfernt (Ausfall).

4.5.3.1 Stab setzen

Über die Schaltfläche [Stab einzeln] rufen wir erneut den Dialog *Neuer Stab* auf. Dort wählen wir oben in der *Stabtyp*-Liste den Eintrag **Zugstab** aus.

Wir definieren für den *Stabanfang* einen neuen Querschnitt, den wir wieder über die Schaltfläche [Neu] aus der Datenbank abrufen (siehe Bild 4.19, Seite 24).

Im Dialog *Neuer Querschnitt* klicken wir auf die Schaltfläche [L] und legen im Dialog *Gewaltzte Profile - L-Profil* in der Reihe L nach Euronorm den Querschnitt **L 80x80x8** aus. Es ist wieder das Material 2 - *Baustahl S235* voreingestellt.

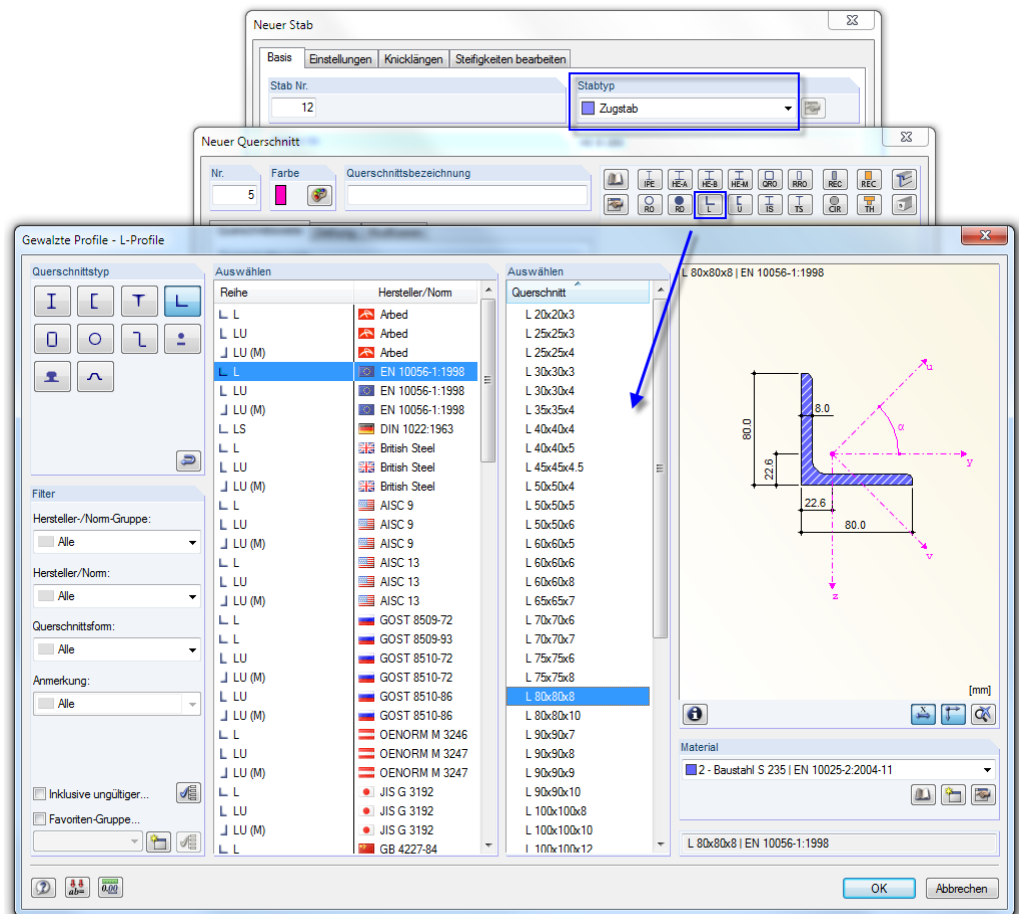
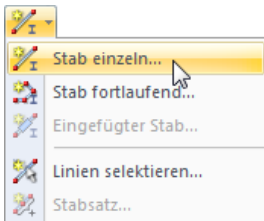


Bild 4.43: Zugstab mit Querschnitt L 80x80x8 definieren

Wir bestätigen alle Dialoge mit [OK] und klicken dann die Knoten **15** und **2** nacheinander an, um die Diagonale zu setzen (siehe folgendes Bild).

[Esc] oder ein Rechtsklick beendet den Eingabemodus.

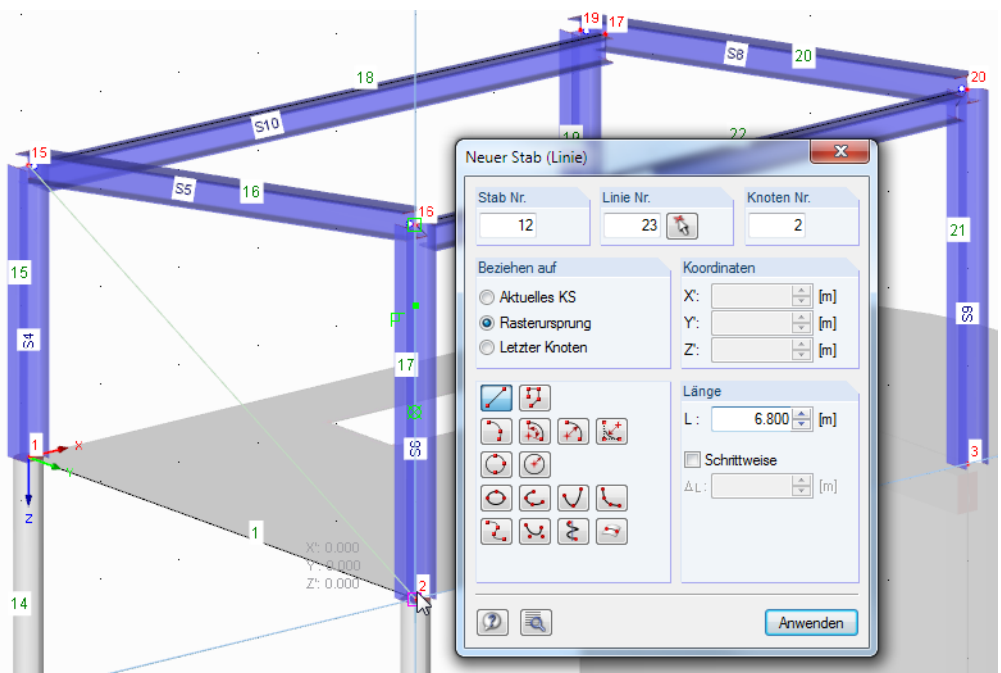


Bild 4.44: Setzen der Diagonale

4.5.3.2 Stab drehen

Ein Zugstab geht nur durch seine Querschnittsfläche in die Steifigkeit ein. Statisch ist es daher nicht relevant, welche Drehung der Stab aufweist. Für die gerenderte Darstellung jedoch soll das Winkelprofil gedreht werden.

Wir doppelklicken den Stab 12, um den Dialog *Stab bearbeiten* aufzurufen. Dort legen wir eine Stabdrehung von -90° fest.

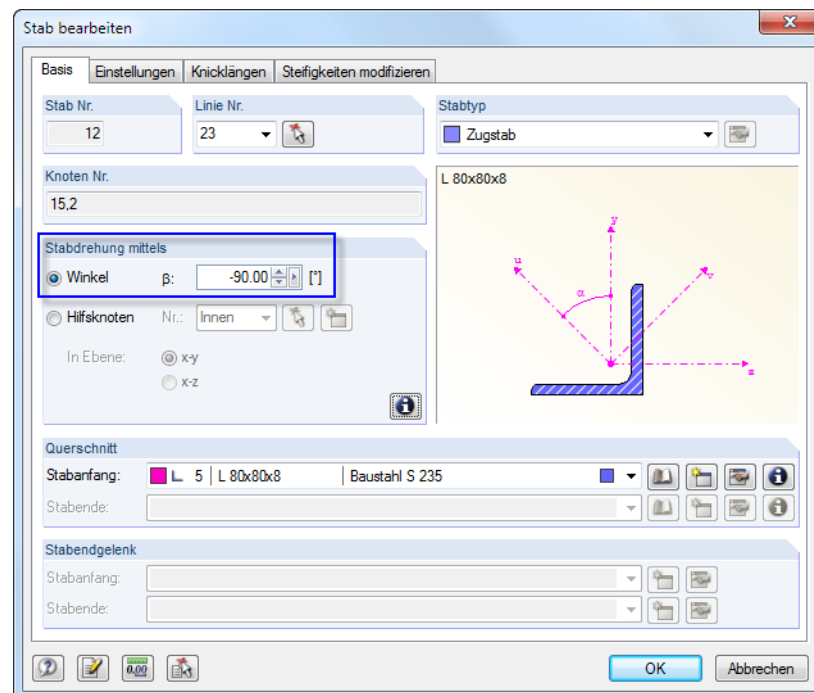


Bild 4.45: Stabdrehung definieren



Das Ergebnis können wir wieder über die Zoom- und Verschiebefunktionen (siehe Seite 9) in einer Ausschnittvergrößerung überprüfen (siehe folgendes Bild).

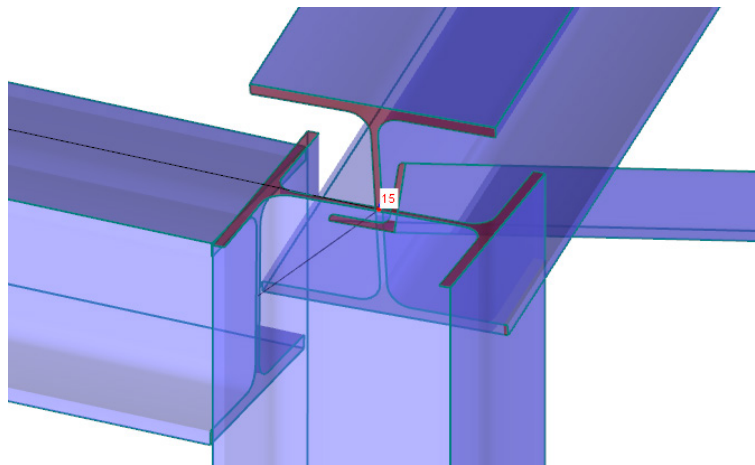
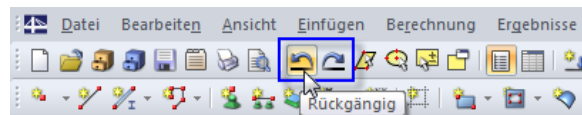


Bild 4.46: Gedrehter Winkelstab in gezoomter Ansicht

Rückgängig/Wiederherstellen ausführen



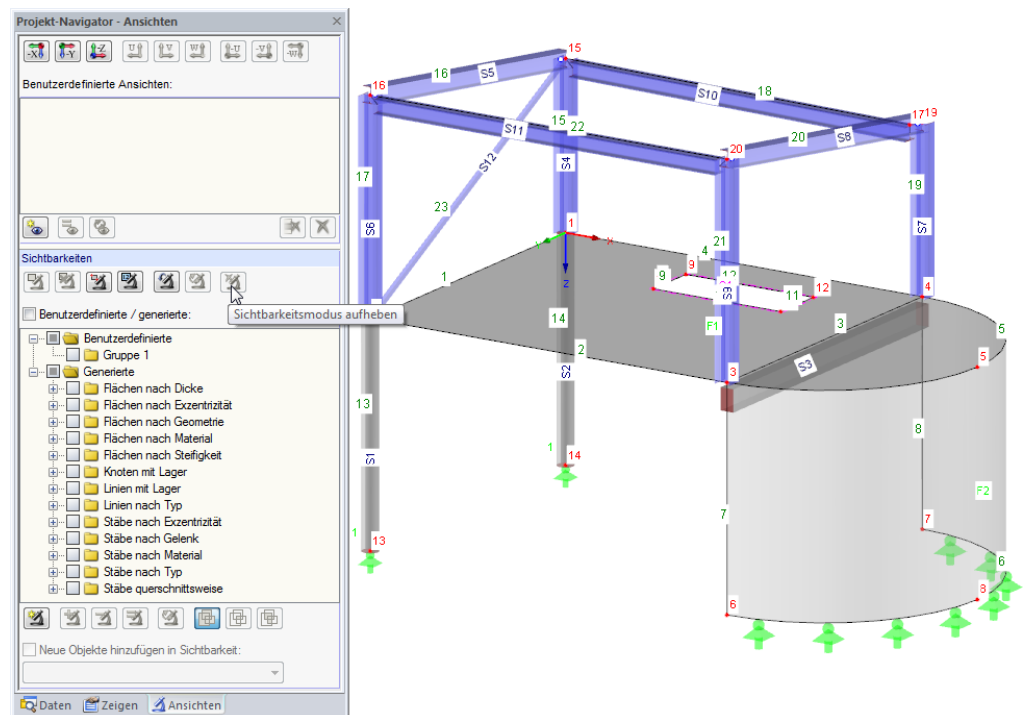
Wenn Sie möchten, können Sie in dieser Ansicht die Stabdrehung [Rückgängig] machen, um die Ausgangslage des Querschnitts zu überprüfen. Mit den aus Windows-Anwendungen bekannten Standardfunktionen *Undo* und *Redo* lassen sich die Eingaben auch in RFEM rückgängig machen bzw. wiederholen.

Bild 4.47: Schaltflächen *Rückgängig* und *Wiederherstellen*

Sichtbarkeitsmodus aufheben



Die transparent angezeigten Teile des Modells lassen sich im *Ansichten*-Navigator wieder aktiv setzen: Ein Klick auf die Schaltfläche [Sichtbarkeitsmodus aufheben] blendet alle Objekte ein. Über [Isometrie] in der Werkzeugleiste lässt sich die räumliche Gesamtansicht herstellen.



Farbzuweisung anpassen

Im *Zeigen-Navigator* besteht die Möglichkeit, *Farben im Rendering nach* bestimmten Kriterien darzustellen. Als Standard werden die Materialfarben angezeigt.

Wir klicken durch die weiteren Einträge, um die Anzeige zu variieren. Mit der Option *Querschnitten* beispielsweise lassen sich die Profiltypen auf einen Blick unterscheiden.

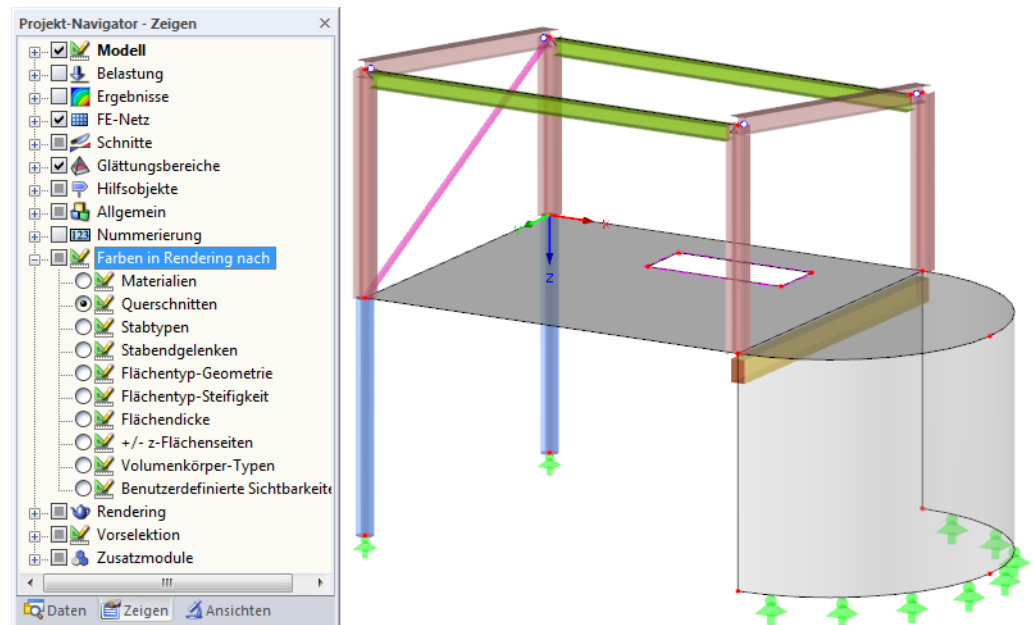


Bild 4.49: Querschnitte durch Farben unterscheiden

Die Nummerierung der Objekte wird für die weitere Eingabe nicht mehr benötigt. Wir klicken mit der rechten Maustaste in einen leeren Bereich des Arbeitsfensters. Im allgemeinen Kontextmenü deaktivieren wir dann die Option *Nummerierung anzeigen* (siehe Bild 4.4, Seite 12).

Anschließend stellen wir wieder die Rendering-Option *Materialien* ein.

4.6 Eingabe überprüfen

Daten-Navigator und Tabellen überprüfen



RFEM bietet – wie erwähnt – verschiedene Möglichkeiten, das Modell einzugeben. Die grafische Eingabe spiegelt sich sowohl im Baum des *Daten-Navigators* als auch in den Tabellen wider. Navigator und Tabellen können über das Menü **Ansicht** → **Navigator** bzw. **Tabelle** oder die zugeordneten Schaltflächen ein- und ausgeblendet werden.

In den Tabellen sind die diversen Objektarten registerweise katalogisiert. Grafik und Tabellen wirken interaktiv: Um z. B. einen Stab in der Tabelle zu finden, ist die Tabelle 1.17 *Stäbe* einzustellen und der Stab im Arbeitsfenster durch Anklicken zu selektieren. Die entsprechende Tabellenzeile wird dann farbig hervorgehoben (siehe Bild 4.42, Seite 41).

Wir können auf diese Weise kurz die numerischen Daten des Modells überprüfen.

Daten speichern

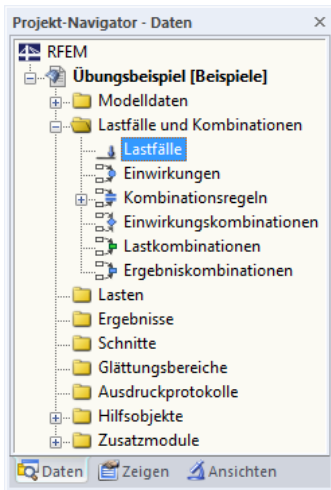


Die Eingabe der Modelldaten ist damit beendet. Wir sichern die Datei mit dem Menü

Datei → **Speichern**

oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste.

5. Belastung



Der *Daten-Navigator* enthält im Ordner *Lastfälle und Kombinationen* folgende Einträge:

- Lastfälle
- Einwirkungen
- Kombinationsregeln
- Einwirkungskombinationen
- Lastkombinationen
- Ergebniskombinationen

In den Lastfällen sind die eigentlichen Lasten wie z. B. Eigengewicht, Schnee- und Windlast zu definieren. Die Lastfälle werden dann in Einwirkungen eingeteilt und nach den Kombinationsregeln der Norm mit Teilsicherheitsfaktoren überlagert (siehe Kapitel 6).

5.1 Lastfall 1: Eigengewicht

Der erste Lastfall enthält die ständig wirkenden Lasten aus Eigengewicht, Deckenaufbau, Erddruck und Dachkonstruktion (siehe Kapitel 2.3, Seite 7).

Wir nutzen die Schaltfläche [Neue Flächenlast], um einen Lastfall anzulegen.

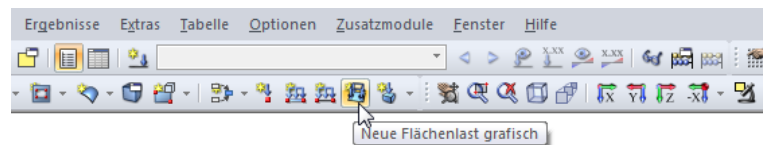


Bild 5.1: Schaltfläche *Neue Flächenlast*

Der Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* erscheint.

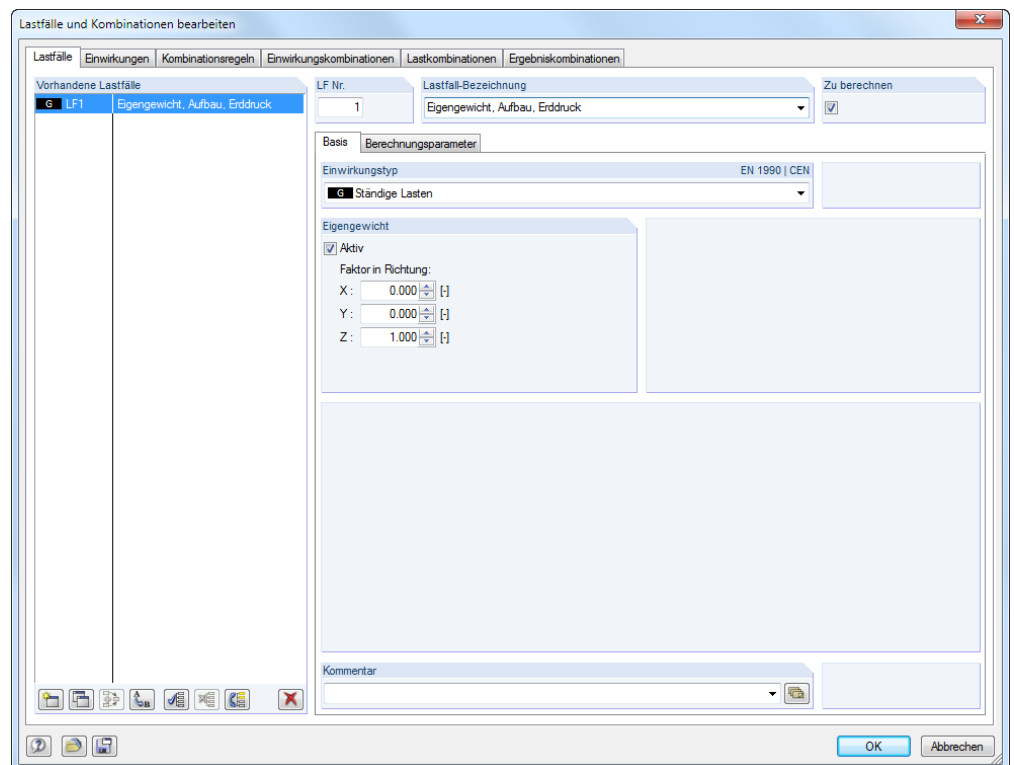
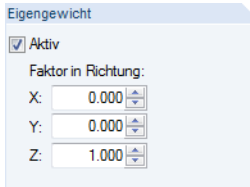


Bild 5.2: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle* und *Basis*

Die Lastfall-Nr. 1 mit dem Einwirkungstyp *Ständige Lasten* ist voreingestellt. Wir tragen noch die *Lastfall-Bezeichnung Eigengewicht, Aufbau, Erddruck* ein.

5.1.1 Eigengewicht

Das *Eigengewicht* der Flächen und Stäbe in Richtung Z wird automatisch berücksichtigt, wenn der Faktor *Aktiv* und wie bereits eingestellt mit 1.000 angegeben ist.



5.1.2 Deckenaufbau

Wir übernehmen die Eingaben mit [OK]. Es erscheint der Dialog *Neue Flächenlast*.

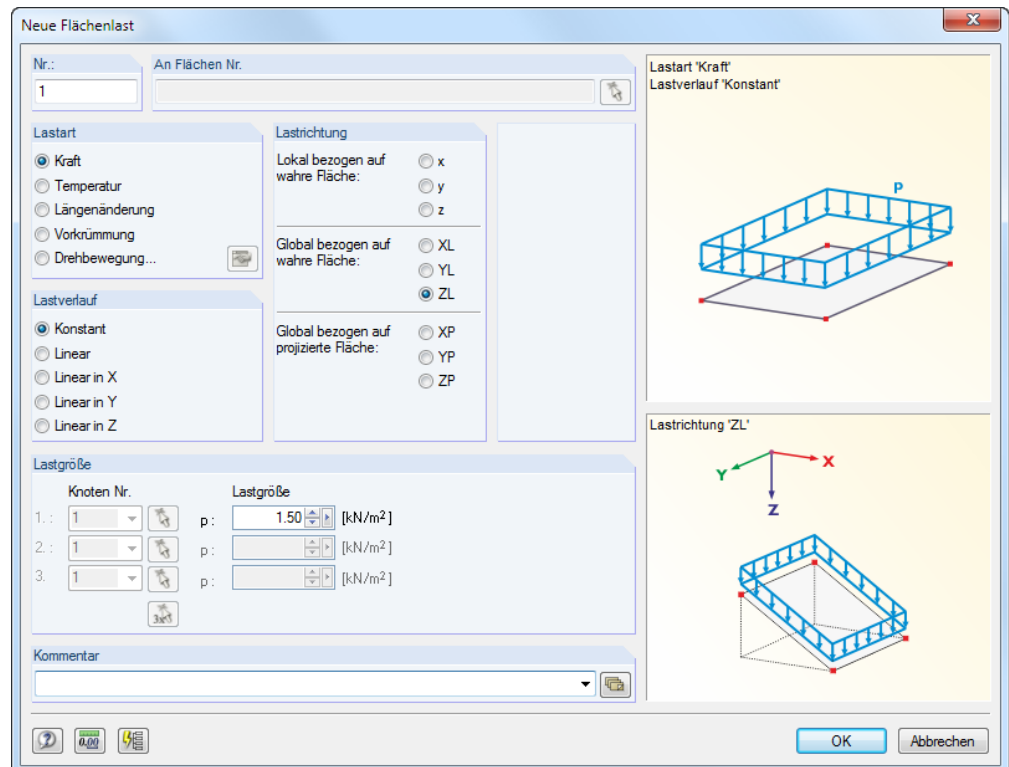


Bild 5.3: Dialog *Neue Flächenlast*

Der Deckenaufbau wirkt als Lastart *Kraft*, die Lastverteilung ist *Konstant*. Diese Voreinstellungen belassen wir ebenso wie die Lastrichtung *Global ZL*.

Im Eingabefeld der *Lastgröße* tragen wir den Wert **1,5 kN/m²** ein (siehe Kapitel 2.3, Seite 7) und bestätigen den Dialog mit [OK].



Wir können die Last nun grafisch der Deckenfläche zuweisen: Der Mauszeiger erhält ein kleines Lastsymbol, das verschwindet, sobald wir uns über einer Fläche befinden. Wir setzen die Last mit einem Klick auf die Fläche **1** (siehe Bild 5.4).

Die Flächenlast wird in der Aussparung nicht angesetzt. Das Belastungssymbol kennzeichnet den lastfreien Bereich.



Mit der Schaltfläche [Werte anzeigen] lassen sich die Lastwerte ein- und ausblenden.

[Esc] oder ein Rechtsklick in das freie Arbeitsfenster beendet den Eingabemodus.

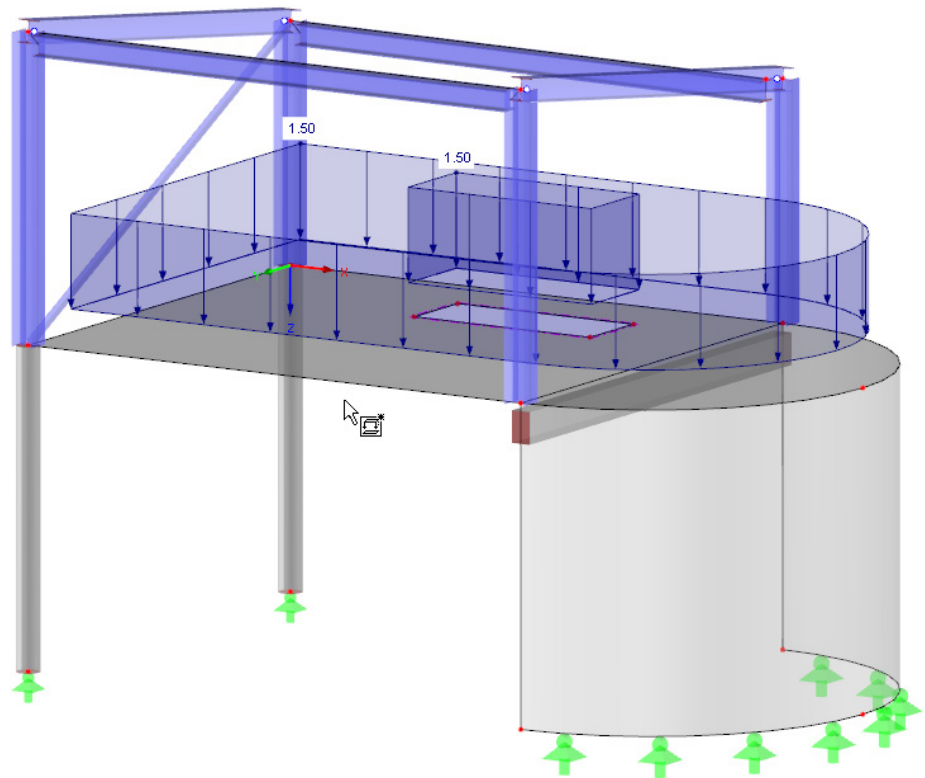
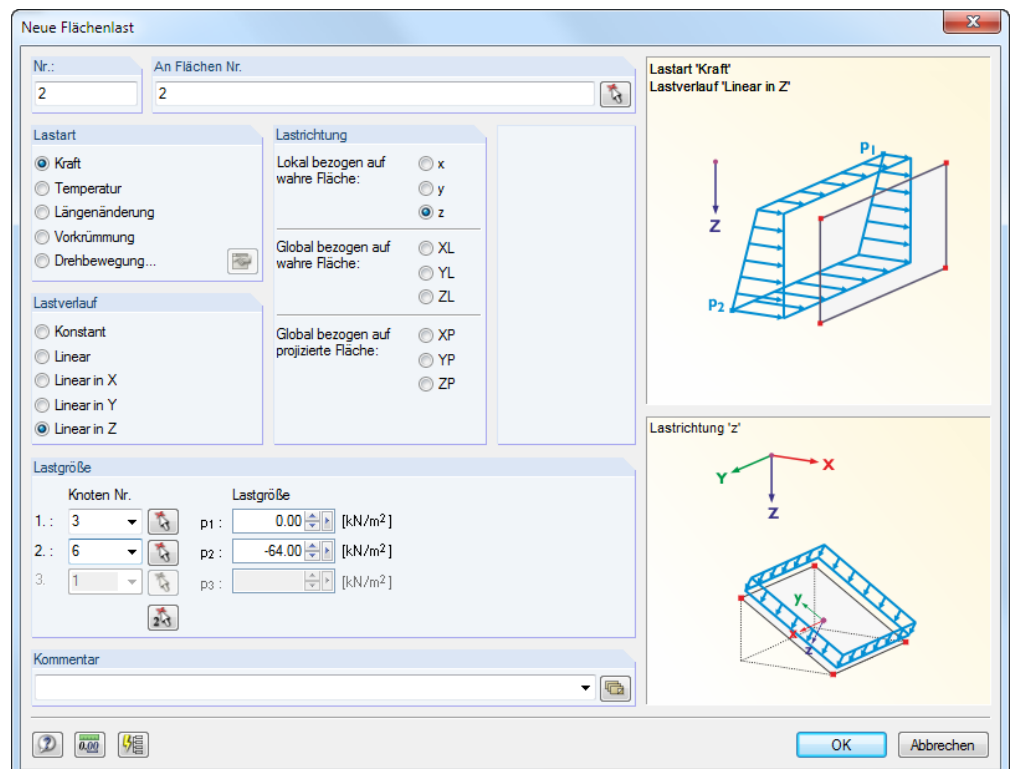


Bild 5.4: Grafische Eingabe der Deckenlast

5.1.3 Erddruck



Bei einer erddruckbelasteten Wand liegt eine linear veränderliche Last vor, die senkrecht zur Fläche wirkt. Wir selektieren diesmal zuerst die gekrümmte Fläche **2** mit einem Mausklick und rufen dann den Lasteingabe-Dialog über die Schaltfläche [Neue Flächenlast] auf.



Neue Flächenlast

Nr.: 2 An Flächen Nr.: 2

Lastart

- ☒ Kraft
- ☐ Temperatur
- ☐ Längenänderung
- ☐ Vorkrümmung
- ☐ Drehbewegung...

Lastverlauf

- ☐ Konstant
- ☐ Linear
- ☐ Linear in X
- ☐ Linear in Y
- ☒ Linear in Z

Lastgröße

Knoten Nr.	Lastgröße
1.: 3	p1 : 0.00 [kN/m ²]
2.: 6	p2 : -64.00 [kN/m ²]
3.: 1	p3 : [kN/m ²]

Laststrichtung

Lokal bezogen auf wahre Fläche:

- ☐ x
- ☐ y
- ☒ z

Global bezogen auf wahre Fläche:

- ☐ XL
- ☐ YL
- ☐ ZL

Global bezogen auf projizierte Fläche:

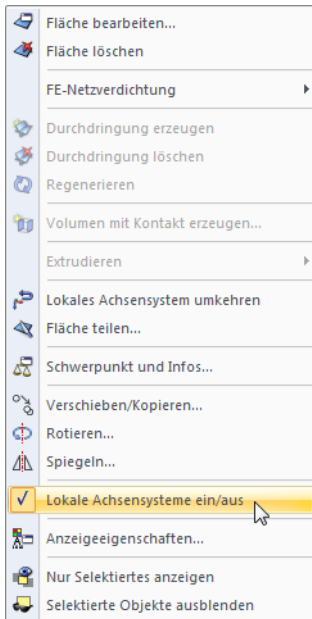
- ☐ XP
- ☐ YP
- ☐ ZP

Lastverlauf 'Kraft'
Lastverlauf 'Linear in Z'

Laststrichtung 'z'

OK Abbrechen

Bild 5.5: Dialog Neue Flächenlast



Anzeige der lokalen Achsensysteme

Die Last wirkt als Lastart *Kraft* mit der *Lastverteilung* **Linear in Z** senkrecht zur Fläche. Als *Last-richtung* wählen wir deshalb **Lokal z**.

Zur Eingabe der *Lastgröße* wählen wir mit [Pick] am Modell markante Stellen aus und weisen die Lastordinaten zu: Wir klicken den *Knoten Nr. 3* an und tragen die *Lastgröße* **0 kN/m²** ein; dann klicken wir erneut über [Pick] den *Knoten Nr. 6* an und weisen die *Lastgröße* **-64 kN/m²** zu (siehe Kapitel 2.3, Seite 7). Die Last ist negativ einzugeben, da die lokale z-Achse der Fläche nach außen gerichtet ist.

Nach [OK] wird die linear nach unten zunehmende, senkrecht zur Fläche wirkende Flächenlast am Modell angezeigt. Über das links dargestellte Flächen-Kontextmenü (mit einem Rechtsklick auf die Fläche aufrufbar) lassen sich die lokalen Flächenachsen einblenden.

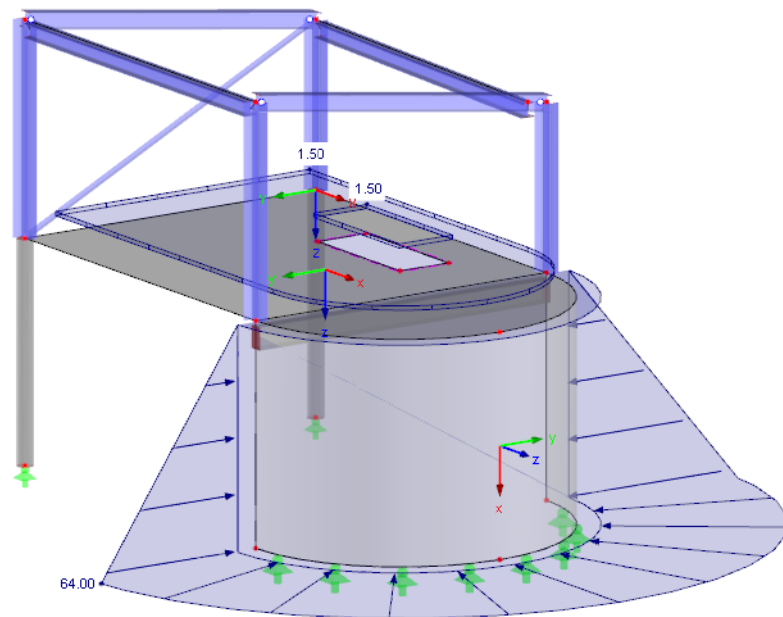


Bild 5.6: Linear veränderliche Flächenlast (Erddruck) mit Darstellung der lokalen Flächenachsen

5.1.4 Dachlast

Die Belastung aus dem Dachaufbau (Dachdeckung, Unter- und Tragkonstruktion) wirkt ebenfalls als ständige Last. Zum Aufbringen der flächig wirkenden Lasten auf die Stahlkonstruktion bietet sich ein Werkzeug an, das Flächenlasten in Stablasten konvertiert.

Wir rufen den Generiererdialog auf über Menü

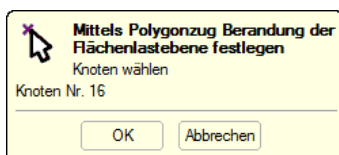
Extras → Belastung generieren → Aus Flächenlast auf Stäbe mittels Ebene.

Im Dialog *Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Ebenen* treffen wir folgende Eingaben (siehe Bild 5.7):

Die *Flächenlastrichtung* des Dachaufbaus ist *Global bezogen auf wahre Fläche ZL* mit der *Lastgröße* **1,2 kN/m²** (siehe Kapitel 2.3, Seite 7).

Die Ebene der Flächenlast definieren wir über [Pick] grafisch: Im Arbeitsfenster klicken wir nacheinander die vier Eckknoten **16**, **15**, **19** und **20** der Dachfläche an und schließen dann den links dargestellten Auswahldialog mit [OK].

Die Dachlasten werden von der Tragkonstruktion des Dachs (im Modell nicht abgebildet) über die Pfetten in das Tragwerk eingeleitet. Dies bedeutet: Die beiden Pultdachriegel wirken bei der Lastabtragung aus den Dachlasten nicht mit und müssen daher von der Lastgenerierung ausgenommen werden. Wir benutzen die Schaltfläche [Pick parallelen Stab] im Abschnitt *Ohne Wirkung auf*, um im Arbeitsfenster einen der Riegel grafisch auszuwählen (Stab **8** oder **5**). Nach [OK] im Auswahldialog sollte der Generiererdialog wie folgt aussehen.



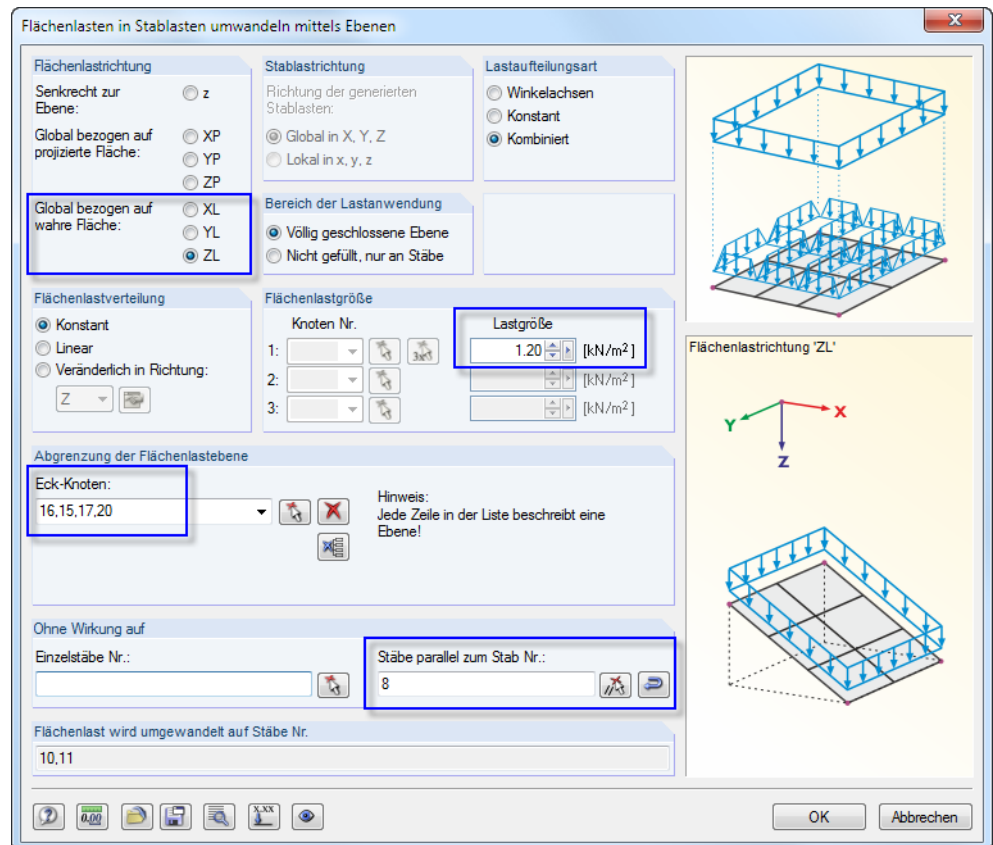


Bild 5.7: Dialog Flächenlasten in Stablasten umwandeln mittels Ebene

Nach [OK] erscheint ein *Info*-Dialog mit Angaben über die Umwandlung der Flächenlastwerte in Stablasten, den wir ebenfalls bestätigen.

Die Last wird als Dach-Flächenlast dargestellt. Um die generierten Lasten anzuzeigen, die auf den beiden Pfetten wirksam sind, klicken wir diese Last mit der rechten Maustaste an und rufen so das Kontextmenü auf. Dort wählen wir die Option *Generierte Last trennen*.

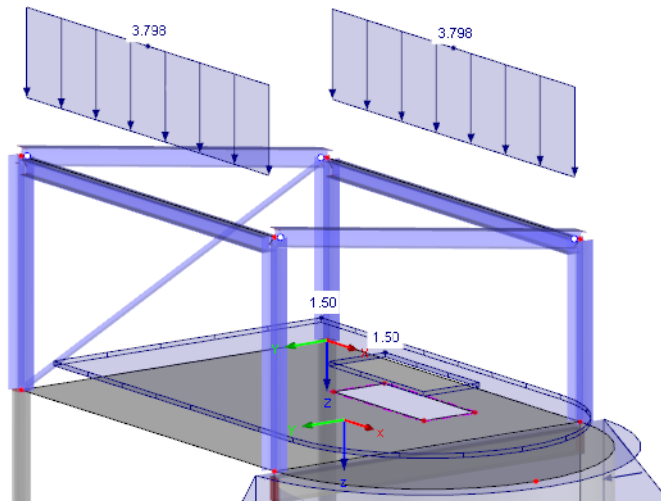
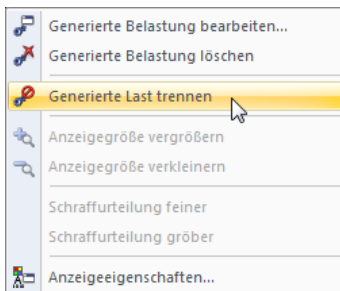


Bild 5.8: Stablasten auf Pfetten aus Flächenlast



Diesen Vorgang machen wir jedoch wieder [Rückgängig]: Bei getrennten Lasten gehen die Eingabeparameter des Generiererdialgs verloren. Es wäre dann nicht mehr möglich, z. B. die Lastgröße nachträglich anzupassen.

Damit sind die Eingaben für den Lastfall *Eigengewicht* abgeschlossen.

5.2 Lastfall 2: Nutzlast



Vor der Eingabe der Nutzlasten legen wir einen neuen Lastfall an. Dies kann über Menü

Einfügen → **Belastung** → **Neuer Lastfall**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Werkzeugleiste (links neben der Lastfall-Liste) erfolgen.

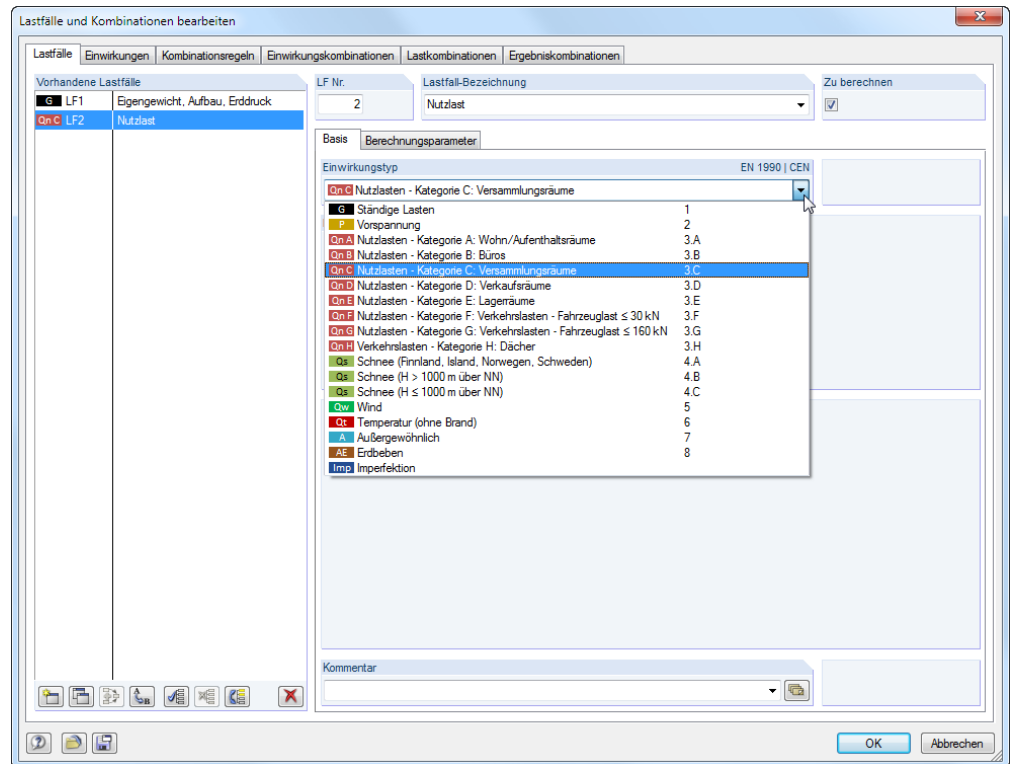


Bild 5.9: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

Als *Lastfall-Bezeichnung* geben wir **Nutzlast** ein oder wählen den Eintrag aus der Liste.

Der *Einwirkungstyp* ist über die Liste auf **Q_n Nutzlasten - Kategorie C: Versammlungsräume** zu ändern (siehe Kapitel 2.3, Seite 7). Diese Klassifizierung spielt für die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte der Lastkombinationen eine Rolle.

5.2.1 Deckenplatte



Bei der Eingabe der Flächenlast wählen wir eine neue Variante: Wir selektieren die Deckenfläche 1 durch Anklicken. Wenn wir nun über die Schaltfläche [Neue Flächenlast] den bekannten Dialog aufrufen, ist die Nummer der Fläche schon eingetragen.

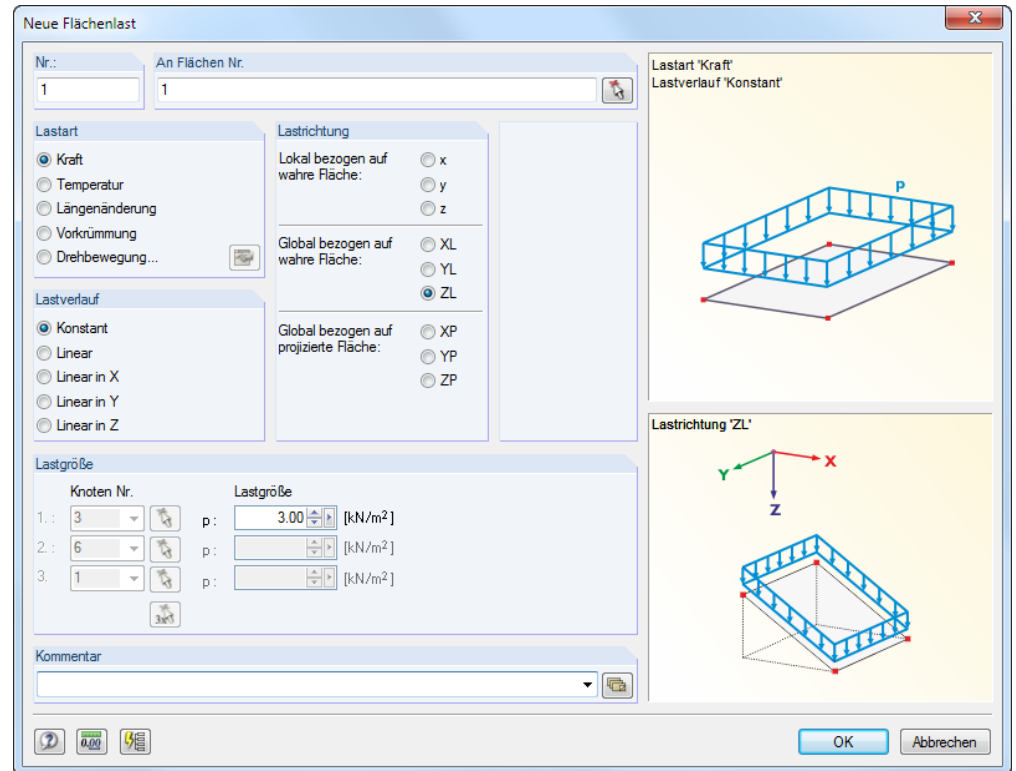


Bild 5.10: Dialog *Neue Flächenlast*

Die Nutzlast wirkt als Lastart *Kraft*. Wir setzen die Lastverteilung auf *Konstant* und wählen die Lastrichtung *Global ZL*.

Als *Lastgröße* tragen wir den Wert **3** kN/m² ein (siehe Kapitel 2.3, Seite 7). Dann bestätigen wir den Dialog mit [OK].

5.2.2 Öffnungsrand



Das Setzen der Linienlast am Öffnungsrand wird erleichtert, wenn wir diesen Bereich über die Zoom-Funktion oder das Scrollrad vergrößert anzeigen.



Mit der Schaltfläche [Neue Linienlast] (unmittelbar neben der [Flächenlast]-Schaltfläche) rufen wir den Dialog *Neue Linienlast* auf.

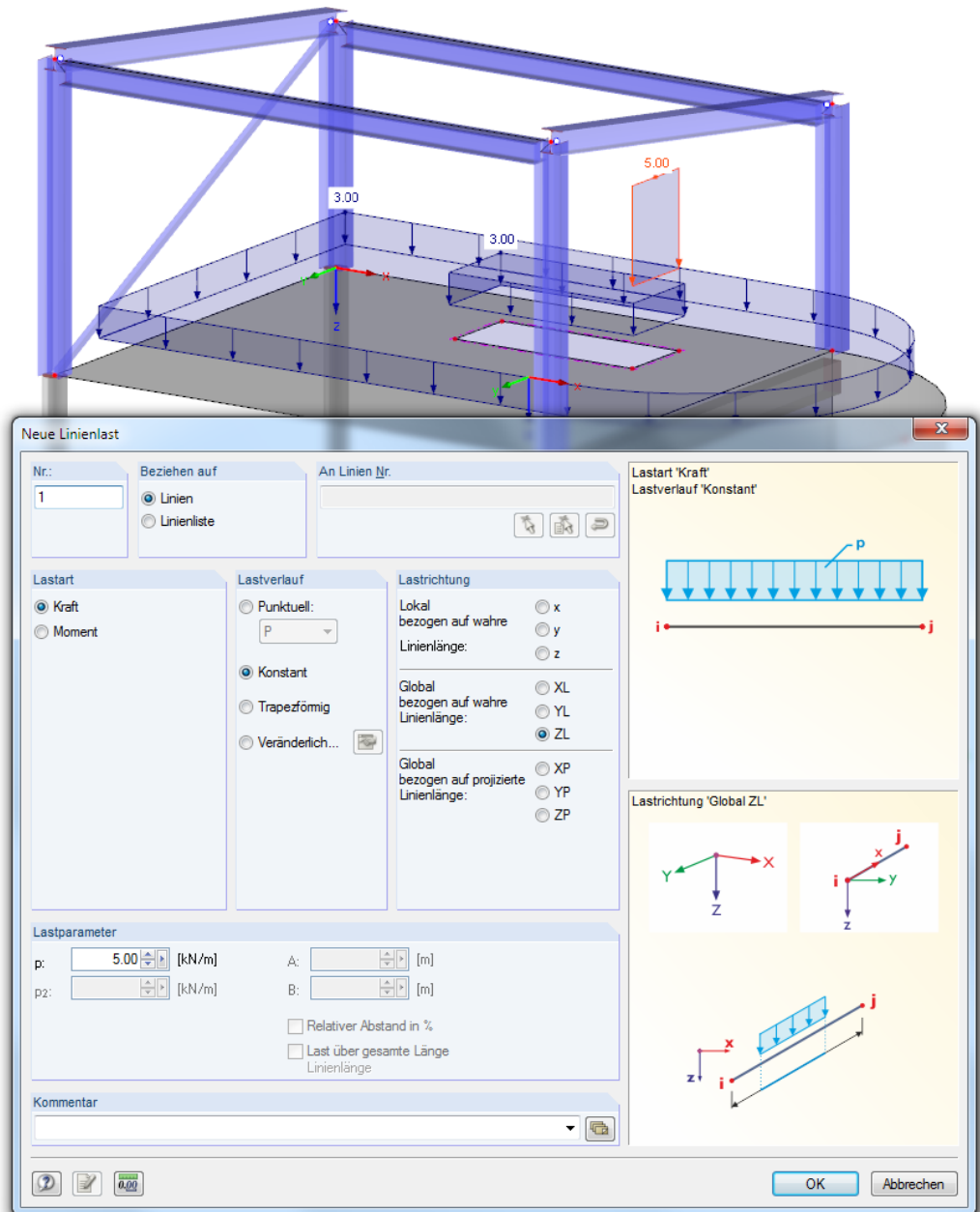


Bild 5.11: Dialog *Neue Linienlast*

Die Linienlast als Lastart *Kraft* mit Lastverlauf *Konstant* wirkt in Lastrichtung *ZL*.



Im Eingabefeld *Stablast-Parameter* geben wir 5 kN/m an. Nach [OK] klicken wir die Linie 11 am Rand der Öffnung an (Kontrolle über Anzeige in der Statusleiste).

[Esc] oder ein Rechtsklick in das freie Arbeitsfenster beendet den Eingabemodus.

5.3 Lastfall 3: Schnee

Zur Eingabe der Schneelast ist wieder ein [Neuer Lastfall] anzulegen.

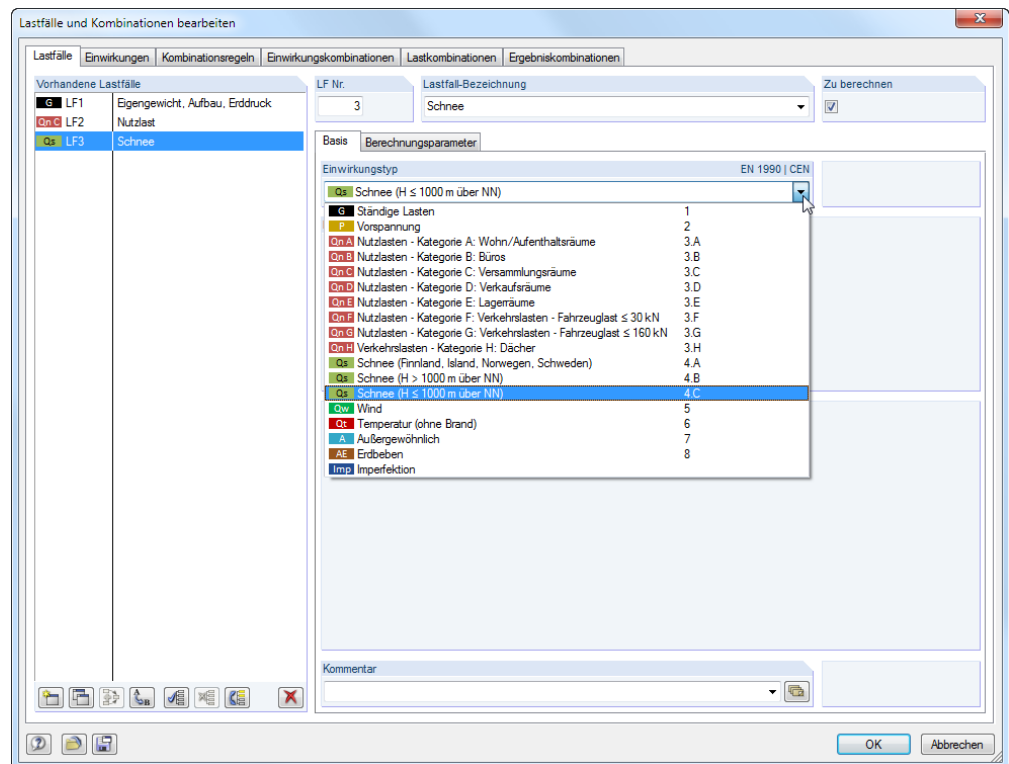


Bild 5.12: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

Als *Lastfall-Bezeichnung* geben wir **Schnee** ein oder wählen den Eintrag aus der Liste.

Wir setzen den *Einwirkungstyp* auf **Qs Schnee (H ≤ 1000 m über NN)**.

5.3.1 Dach

Zur Eingabe der Schneelast auf dem Pultdach nutzen wir wieder einen Lastgenerierer. Diese Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → Belastung generieren → Aus Schneelasten → Flach-/Pultdach.

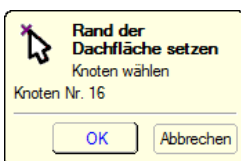
Im Dialog *Schneelasten generieren - Flach-/Pultdach* treffen wir folgende Eingaben (siehe Bild 5.13):

Es gelten die *Schneelast-Parameter* nach EN 1991-1-3 mit Nationalem Anhang gemäß DIN. Wir wählen die *Schneelastzone* **2** und ändern die *Meereshöhe* auf **500 m** (siehe Kapitel 2.3, Seite 7).

Die *Dachgeometrie* definieren wir über [Pick] wieder grafisch, indem wir nacheinander die vier Eckknoten **16, 15, 19 und 20** der Dachfläche anklicken (siehe Auswahldialog links).

Wir überprüfen, ob im Abschnitt *Zu generierender Lastfall* der neu angelegte **LF3** eingestellt ist.

Es sollen wieder *Stablasten* erzeugt werden, wobei die beiden Pultdachriegel keinen Beitrag zur Lastabtragung leisten (die Schneelasten werden von der Tragkonstruktion des Dachs über die Pfetten in das Tragwerk eingeleitet). Wir benutzen die Schaltfläche [Pick parallelen Stab] im Abschnitt *Ohne Wirkung auf*, um einen der Riegel grafisch auszuwählen (Stab **8 oder 5**).



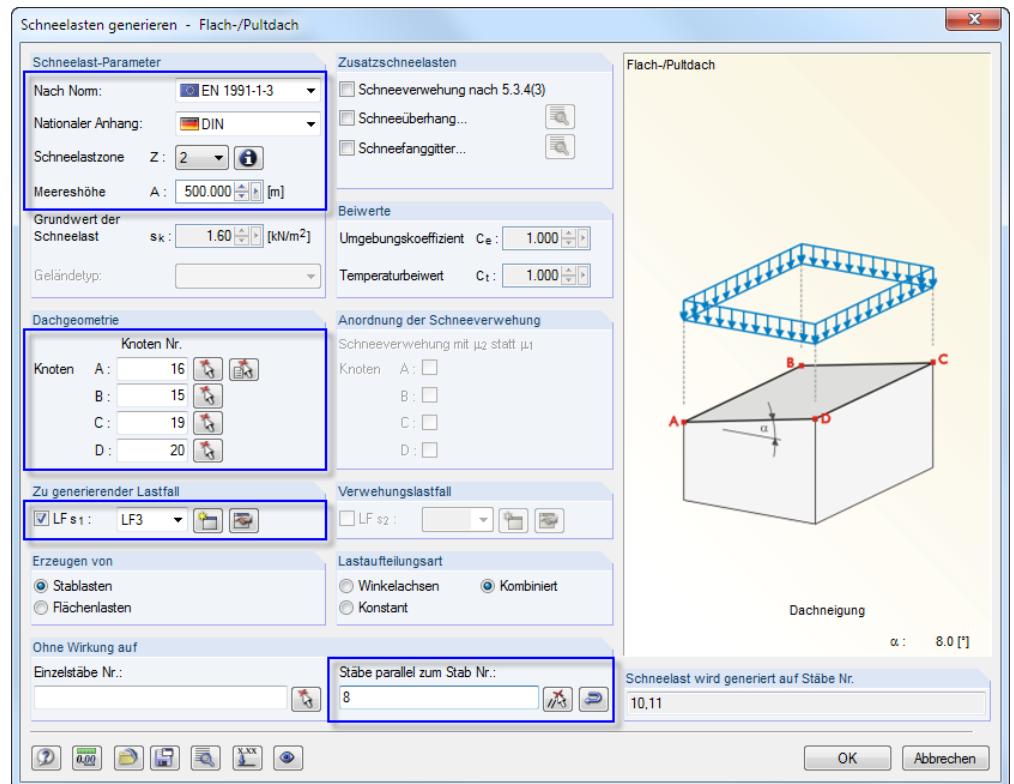


Bild 5.13: Dialog *Schneelasten generieren - Flach-/Pultdach*

Nach [OK] erscheint ein *Info*-Dialog mit Angaben über die Umwandlung der Flächenlastwerte in Stablaster, den wir ebenfalls bestätigen. Die Last wird als Dach-Flächenlast mit dem Wert von 1,28 kN/m² dargestellt.

Um die generierten Lasten anzuzeigen, die auf den beiden Pfetten wirksam sind, kann wieder die Option *Generierte Last trennen* im Last-Kontextmenü benutzt werden. Damit werden die beiden Stablaster von je 4,02 kN/m sichtbar.

Das Trennen der Lasten sollte dann wieder [Rückgängig] gemacht werden, damit die Eingaben des Generiererdialogs erhalten bleiben.

5.3.2 Decke

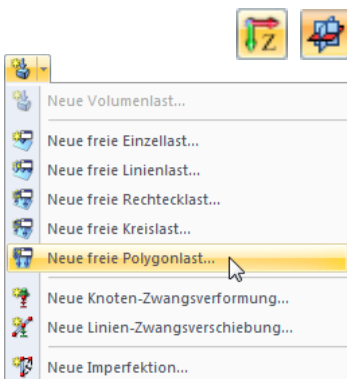
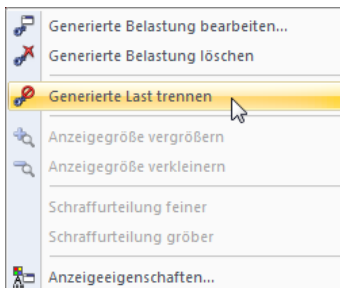
Die Schneelast wirkt auch auf den halbkreisförmigen Bereich der Deckenfläche. Da hier nur ein Teil der Fläche 1 belastet ist, kann die Funktion *Neue Flächenlast* nicht benutzt werden. In der RFEM-Vollversion würde man die Decke in zwei Flächen untergliedern, um bequem eine Flächenlast auf die Halbkreisfläche setzen zu können. Da die Demoversion aber nur zwei Flächen im Modell erlaubt, müssen wir auf eine aufwändigere Variante ausweichen.

Zunächst stellen wir die Ansicht in [Z] ein. Als neue Arbeitsebene wählen wir die Ebene [XY].

Wir setzen die Schneelast als *freie Polygonlast*. Die entsprechende Funktion ist in der Listenschaltfläche für weitere Lasten zugänglich (rechts neben der [Flächenlast]-Schaltfläche).

Im Dialog *Neue freie Polygonlast* (siehe Bild 5.14) legen wir fest, dass die Last *An Flächen Nr. 1* wirkt und *Global bezogen auf die projizierte Fläche ZP* ist. Schneelasten sind nicht (wie Eigenlasten) auf die wahre Fläche, sondern auf die Grundfläche zu beziehen (bei horizontalen Flächen hat diese Unterscheidung natürlich keine Auswirkung).

Die Lastprojektion erfolgt in *Ebene XY*.



Listenschaltfläche für Lasten

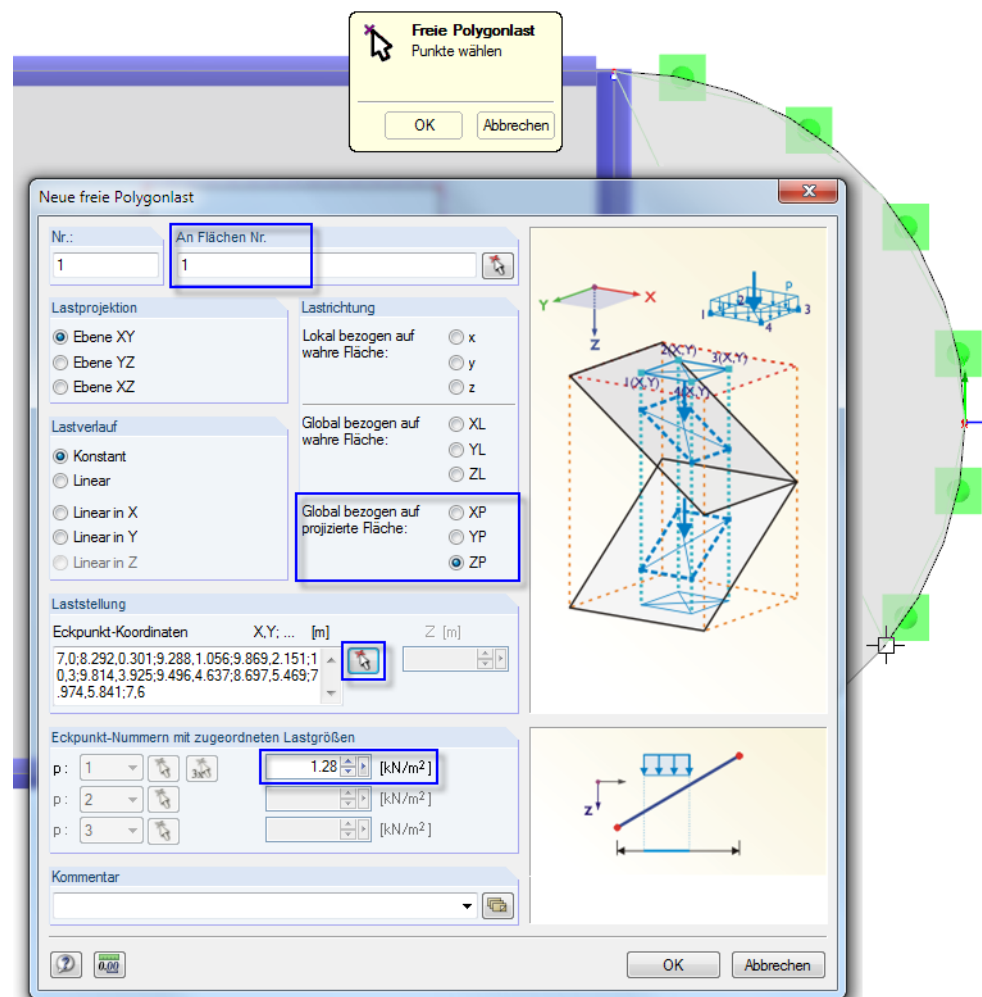


Bild 5.14: Neue freie Polygonlast durch Anklicken von Bogenpunkten setzen



Die *Lastposition* definieren wir über [Pick] im Arbeitsfenster: Wir starten am Bogenknoten **4** oben und klicken dann mit dem Fadenkreuz-Cursor nacheinander beliebige Punkte auf der Bogenlinie an, um die Halbkreisfläche durch einen Polygonzug anzunähern. Sobald wir das Bogenende am Knoten **3** erreicht haben, schließen wir den kleinen gelben Dialog mit [OK].

Im Abschnitt *Eckpunkt-Nummern mit zugeordneten Lastgrößen* tragen wir den Wert **1,28** kN/m² ein – diesen Wert hat der Generierer als Dachschneelast ausgewiesen.

Nach [OK] wird die Last auf die Halbkreisfläche gesetzt.



Wir beenden den Eingabemodus mit [Esc] oder einem Rechtsklick und wechseln wieder in die [Isometrische Ansicht].

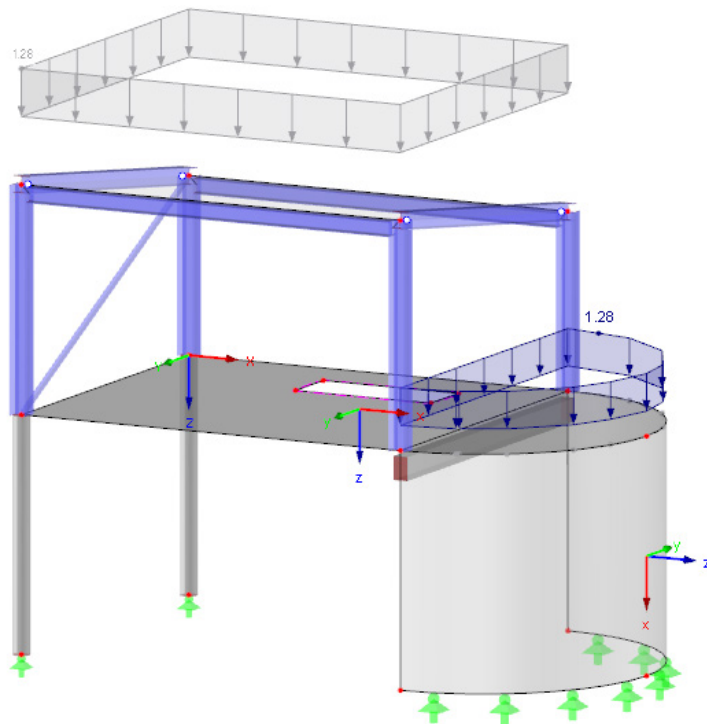


Bild 5.15: Schneelasten

5.4 Lastfall 4: Wind

Wir legen für die Windlasten in Y-Richtung einen [Neuen Lastfall] an.

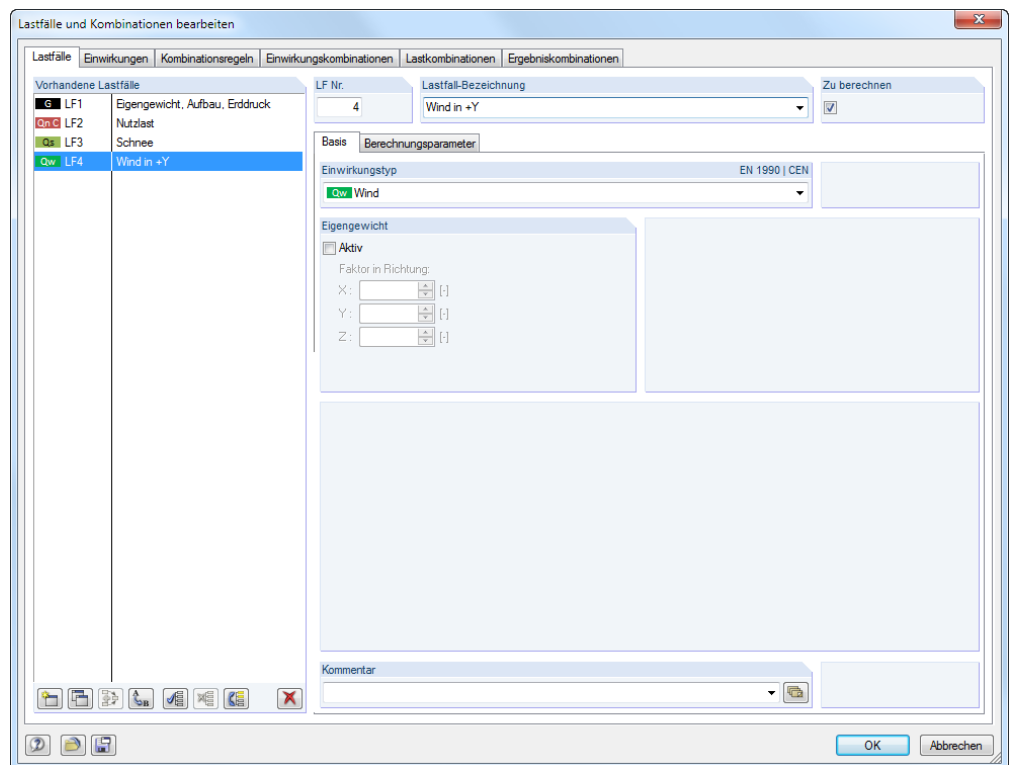


Bild 5.16: Dialog Lastfälle und Kombinationen bearbeiten, Register Lastfälle

Als Lastfall-Bezeichnung wählen wir **Wind in +Y** aus der Liste. Der *Einwirkungstyp* wird dabei automatisch in **Q_w Wind** geändert.

5.4.1 Stahlbaulasten

Zur Eingabe der Windlast auf die allseitig geschlossenen Wände und das Pultdach nutzen wir wieder einen Lastgenerierer. Die Funktion wird aufgerufen über Menü

Extras → Belastung generieren → Aus Windlasten → Vertikale Wände mit Dach.

Im Dialog *Windlasten generieren - Vertikale Wände mit Dach* nehmen wir folgende Eingaben vor:

Der *Geschwindigkeitsdruck* soll nach *EN 1991-1-4* mit Nationalem Anhang gemäß *DIN* ermittelt werden. Wir stellen die *Windzone 1* und *Geländekategorie III* ein (siehe Kapitel 2.3, Seite 7). Die [Info]-Schaltflächen erleichtern die Zuweisung. Die *Strukturhöhe* ändern wir auf **8 m** ab, die *Meereshöhe* auf **500 m**.

Die *Grundgeometrie* definieren wir über [Pick] durch Anklicken der Deckenknoten **1, 4, 3 und 2** (Reihenfolge gemäß Dialogskizze beachten). Die Dachgeometrie legen wir ebenfalls über [Pick] durch Anklicken der Dachknoten **15, 19, 20 und 16** fest.

Wir überprüfen, ob im Abschnitt *Wind setzen auf Seite* die Anströmrichtung **A - B** eingestellt ist.

Im Abschnitt *Zu generierender Lastfall* deaktivieren wir die beiden Lastfälle *w-* und *w+¹*. Wie in Kapitel 2.3, Seite 7 beschrieben sollen die nur positiven Außendruckbeiwerte untersucht werden. Die Lastgenerierung des *LF w+* soll für den **LF4** erfolgen.

Es sollen wieder *Stablasten* erzeugt werden, wobei die Pultdachriegel wieder keinen Beitrag zur Lastabtragung leisten. Mit [Pick parallelen Stab] im Abschnitt *Ohne Wirkung auf* wählen wir wieder einen der Riegel grafisch aus (Stab **8** oder **5**). Der Diagonalenstab 12 wird automatisch von der Lastabtragung ausgenommen.

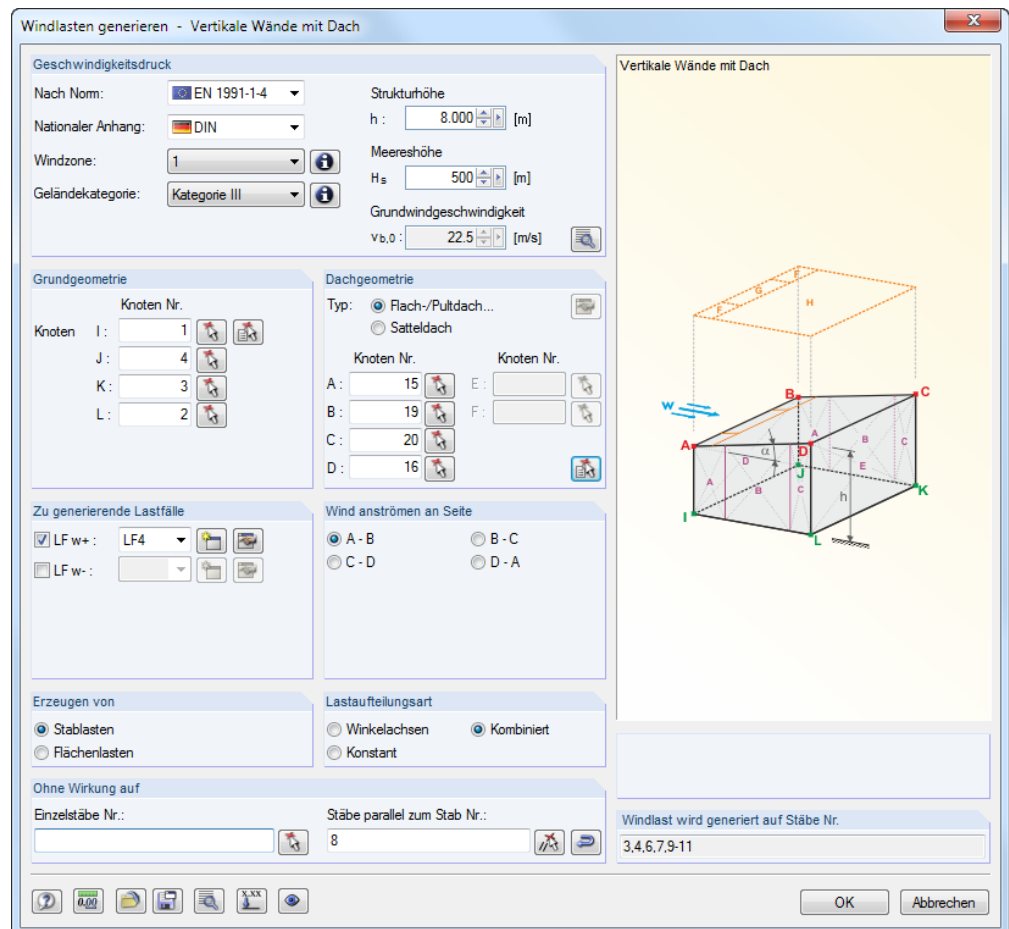


Bild 5.17: Dialog *Windlasten generieren - Vertikale Wände mit Dach*

Nach [OK] erscheint ein Dialog mit Informationen zu den Generierungsdaten, den wir ebenfalls bestätigen. Die Windlasten werden nun am Modell als Flächenlasten angezeigt.



Mit der Option *Generierte Last trennen* im Last-Kontextmenü lassen sich die Stablasten wieder sichtbar machen. Dieser Vorgang sollte dann aber [Rückgängig] gemacht werden.

5.4.2 Stützenlasten

Die Lasten auf den unteren Teil des Modells definieren wir manuell.

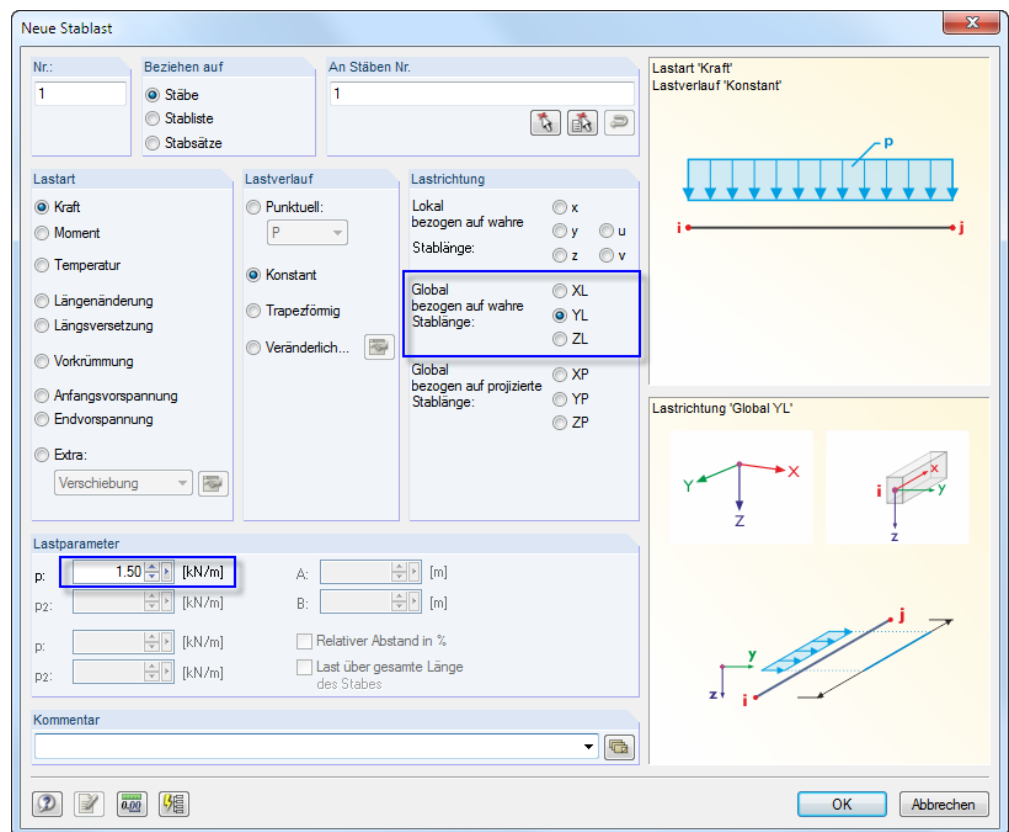
Konstante Stablast setzen

Der Windsog wirkt auf die Stütze an der hohen Traufseite mit einer konstanten Größe.



Wir selektieren den Stützenstab 1 durch Anklicken. Danach rufen mit der Schaltfläche [Neue Stablast] den Dialog zur Eingabe der Windlast auf.

Die *Lastrichtung* ist global bezogen auf die wahre Stablänge in **YL**. Der auf die Stütze entfallende Windlastanteil beträgt **1,5 kN/m**. Wir tragen diesen Wert als *Stablast-Parameter* ein.



Neue Stablast

Nr.: 1

Beziehen auf: ☒ Stäbe ☐ Stabliste ☐ Stabsätze

An Stäben Nr.: 1

Lastart

☒ Kraft ☐ Moment ☐ Temperatur ☐ Längenänderung ☐ Längsversetzung ☐ Vorkrümmung ☐ Anfangsvorspannung ☐ Endvorspannung ☐ Extra: Verschiebung

Lastverlauf

☐ Punktuell: P ☒ Konstant ☐ Trapezförmig ☐ Veränderlich...

Lastrichtung

Lokal bezogen auf wahre Stablänge: ☐ x ☐ y ☐ z ☐ u ☐ v

Global bezogen auf wahre Stablänge: ☐ XL ☒ YL ☐ ZL

Global bezogen auf projizierte Stablänge: ☐ XP ☐ YP ☐ ZP

Lastparameter

p1: 1.50 [kN/m] A: [] [m] B: [] [m]

p2: [] [kN/m]

p: [] [kN/m] ☐ Relativer Abstand in %

p2: [] [kN/m] ☐ Last über gesamte Länge des Stabes

Kommentar

OK Abbrechen

Bild 5.18: Windsog als konstante Stablast definieren

Nach [OK] wird die Stablast an der Stütze dargestellt.

Trapezförmige Stablast setzen

Wegen einer Erdanschüttung in einem Bereich weist die niedrige Traufseite eine unsymmetrische Lastezugsfläche für den Winddruck auf. Der Lastverlauf an der Stütze ist daher veränderlich.



Wir selektieren den Stützenstab 2 und rufen mit der Schaltfläche [Neue Stablast] nochmals den Dialog *Neue Stablast* auf.

Die *Lastrichtung* wird wieder global in **YL** angesetzt. Der *Lastverlauf* jedoch ist **Trapezförmig**. Damit werden zwei *Stablast-Parameter* zugänglich: Wir tragen für den Stabanfang p_1 den Wert **0,5 kN/m** und für das Stabende p_2 den Wert **3 kN/m** ein. (Die Stützen haben wir von unten nach oben definiert; der Stabanfang liegt somit am Stützenfuß.)

Da die *Last* über die gesamte Länge des Stabes wirkt, haken wir das entsprechende Kontrollfeld an.

Nach [OK] wird die Stablast an der zweiten Stütze dargestellt.

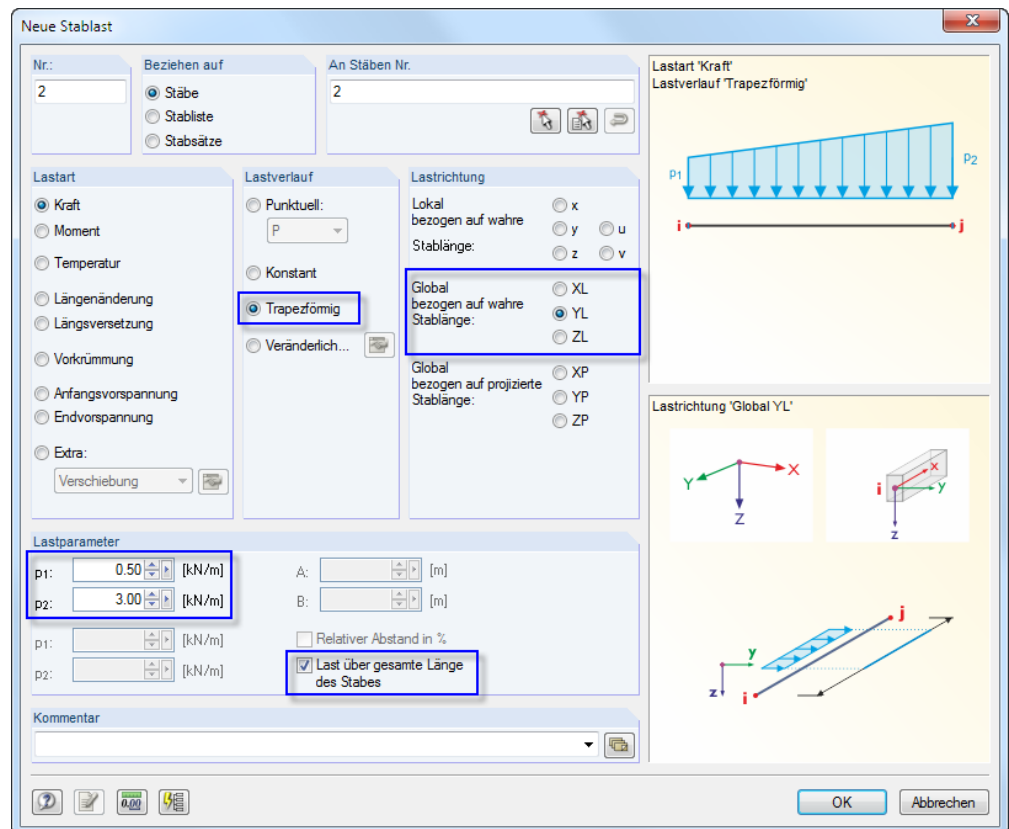


Bild 5.19: Winddruck als trapezförmige Stablast definieren

Die Grafik der generierten und manuell definierten Windlasten sollte nun folgender Darstellung entsprechen.

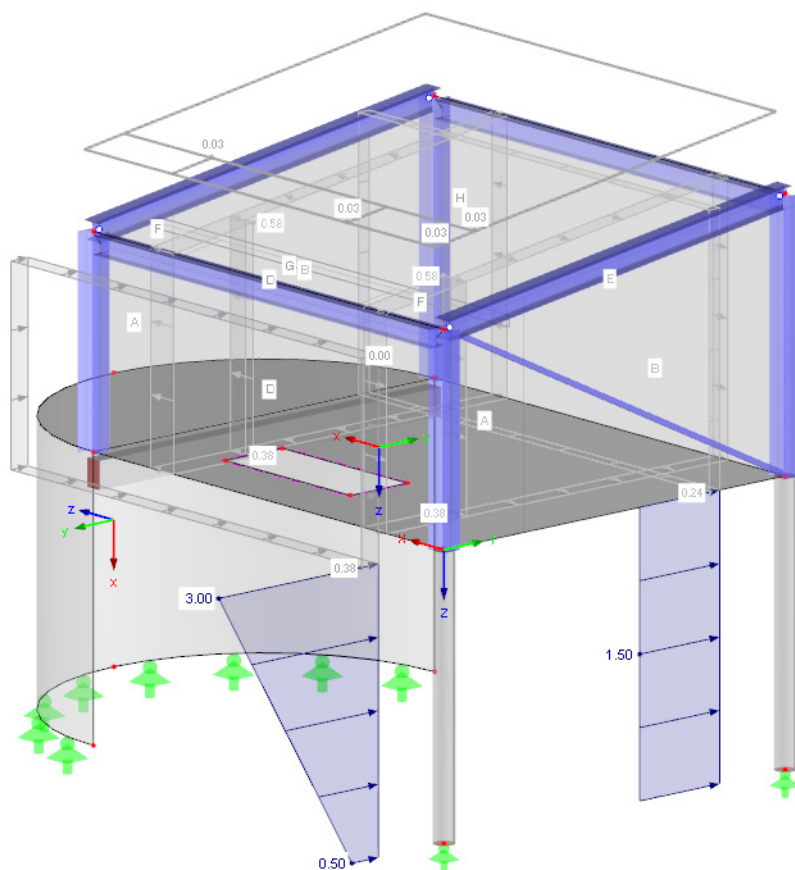


Bild 5.20: Windlasten

5.5 Lastfall 5: Imperfektion

Im letzten Lastfall sind Imperfektionen für die normalkraftbelasteten Stützen zu definieren.

Dieses Mal benutzen wir den *Daten-Navigator*, um einen neuen Lastfall anzulegen: Mit einem Rechtsklick auf den Eintrag *Lastfälle* rufen wir das Kontextmenü auf und wählen *Neuer Lastfall...*.

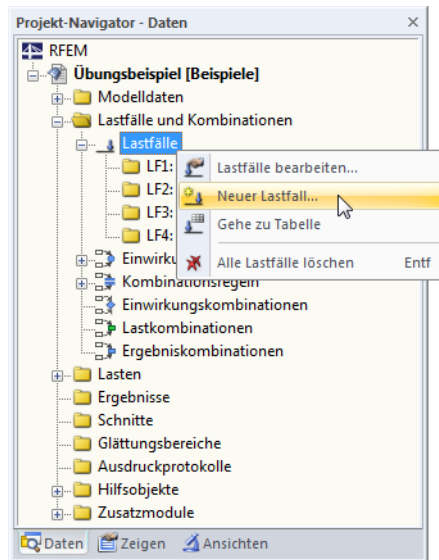


Bild 5.21: Kontextmenü *Lastfälle*

Als *Lastfall-Bezeichnung* wählen wir **Imperfektion in +Y** aus der Liste. Der *Einwirkungstyp* wird dabei automatisch in **Imp Imperfektion** geändert.

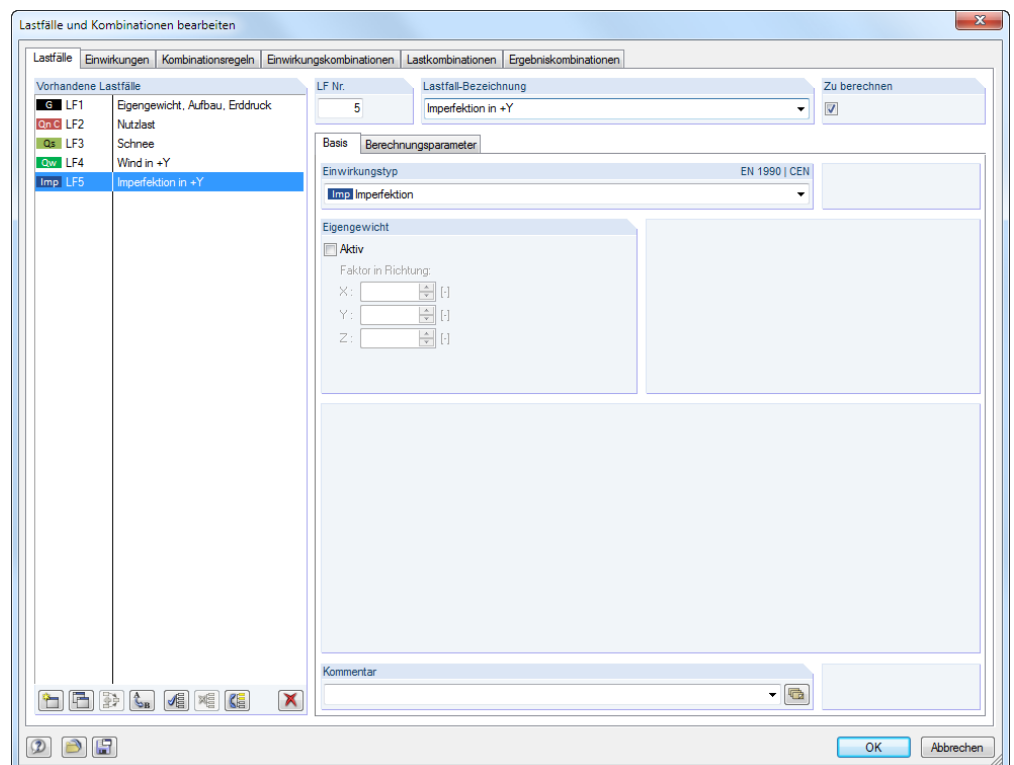
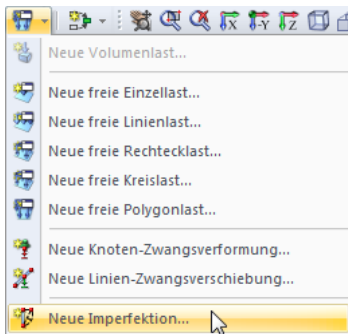


Bild 5.22: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

Wir schließen den Dialog mit [OK].

5.5.1 Stahlstützen

In der Listenschaltfläche [Neue freie Polygonlast] wählen wir den Eintrag *Neue Imperfektion*, um folgenden Dialog aufzurufen.



Listenschaltfläche für Lasten

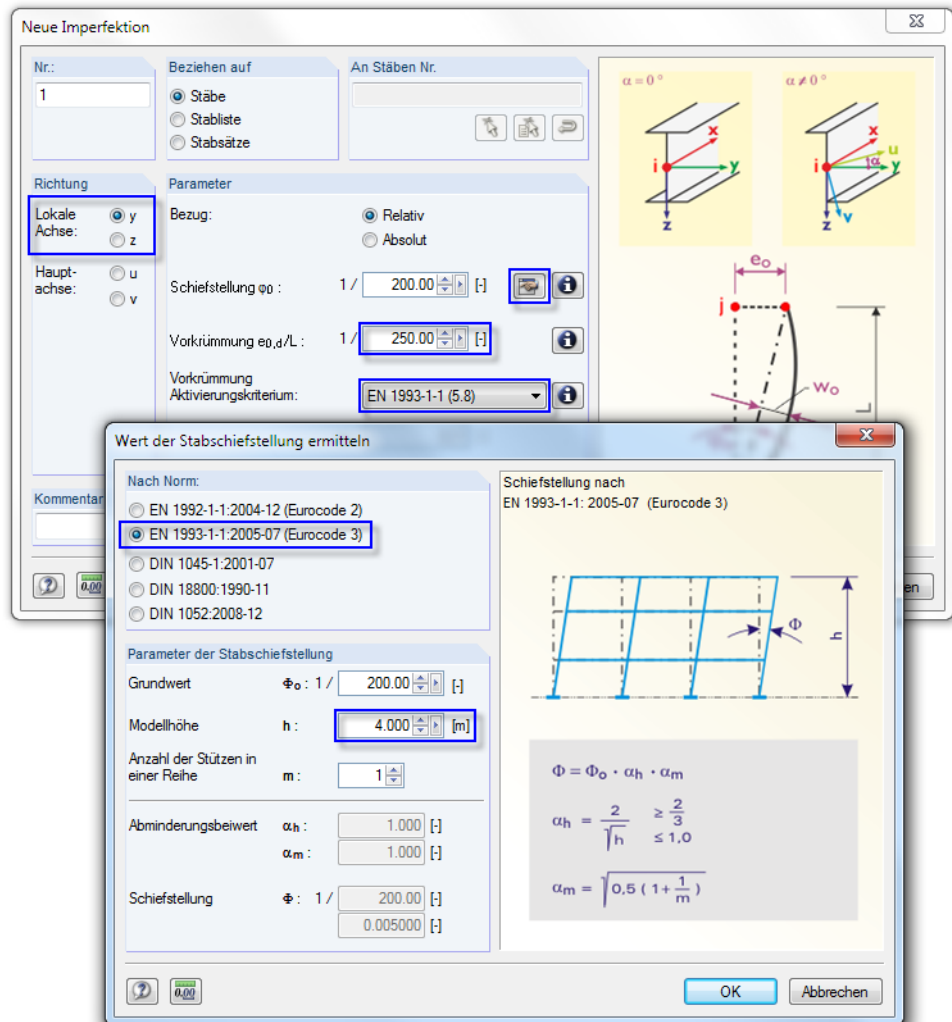


Bild 5.23: Dialog *Neue Imperfektion*

Die Imperfektion soll in *Richtung* der Stützenachsen **y** angesetzt werden – die Richtung der ‚schwachen‘ Stabachse, die in unserem Beispiel parallel zur globalen Y-Achse ausgerichtet ist.



Zur Eingabe der *Schiefstellung* ϕ_0 nutzen wir die Schaltfläche [Bearbeiten], die den Dialog *Wert der Stabschiefstellung ermitteln* aufruft. Dort stellen wir die **Norm EN 1993-1-1** ein und ändern die *Modellhöhe* auf **4 m**. Mit [OK] kehren wir in den Ausgangsdialog zurück.

Für die Knicklinie *b* der HE A 300-Profile ist gemäß EN 1993-1-1, Tabelle 5.1 eine eingeprägte *Vorkrümmung* $e_{0,d}/L$ von **1/250** anzusetzen (siehe Kapitel 2.3, Seite 7).

Das *Aktivierungskriterium* für die Vorkrümmung ändern wir auf **EN 1993-1-1 (5.8)** ab.

Wir bestätigen den Dialog mit [OK].

Nun klicken wir die vier Stahlstützen mit den Stabnummern **6, 4, 9** und **7** an, um die Imperfektionen zuzuweisen.

[Esc] oder ein Rechtsklick beendet die Funktion.



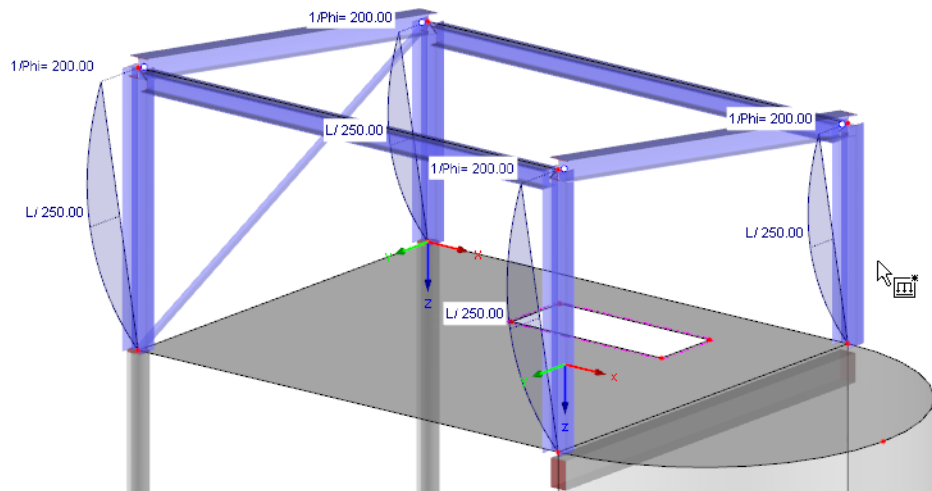


Bild 5.24: Imperfektionen für Stahlstützen setzen

5.5.2 Betonstützen

Wir rufen nochmals den Dialog *Neue Imperfektion* auf, um die Schiefstellung der Betonstützen zu definieren.

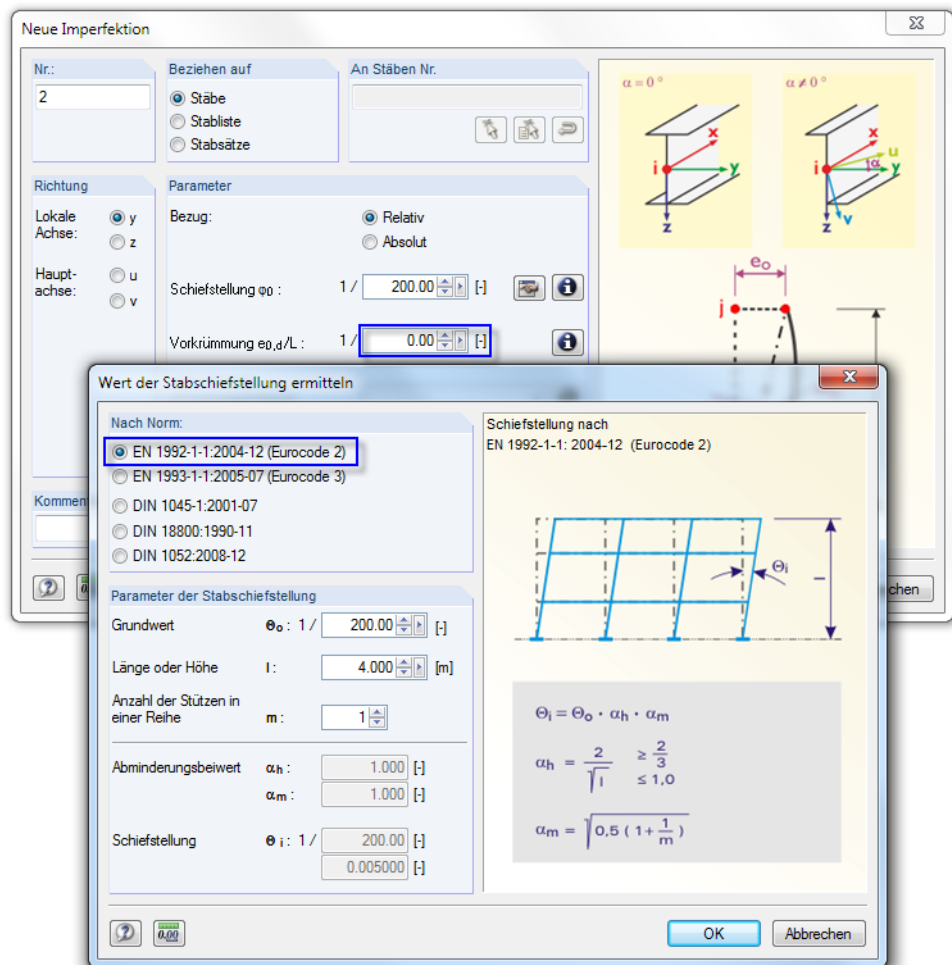


Bild 5.25: Dialog *Neue Imperfektion*

Die *Schiefstellung* ϕ_0 legen wir wieder über die Schaltfläche [Bearbeiten] fest: Im Dialog *Wert der Stabschiefstellung ermitteln* stellen wir nun die Norm **EN 1992-1-1** ein.

Da nach Eurocode 2 Vorkrümmungen nicht berücksichtigt werden müssen, setzen wir im Ausgangsdialog die *Vorkrümmung* $e_{0,d}/L$ zu null (1/0.00).

Nach dem Bestätigen des Dialogs klicken wir die beiden Betonstützen mit den Stabnummern **1** und **2** an, um die Imperfektionen zuzuweisen.

5.6 Lastfälle überprüfen

Die fünf Lastfälle sind nun komplett eingegeben. Es empfiehlt sich, den Stand der Eingabe wieder zu [Speichern].

Wir können jeden Lastfall nun grafisch im Schnelldurchlauf überprüfen: Die Schaltflächen [◀] und [▶] in der Symbolleiste ermöglichen es, durch die Lastfälle zu blättern.

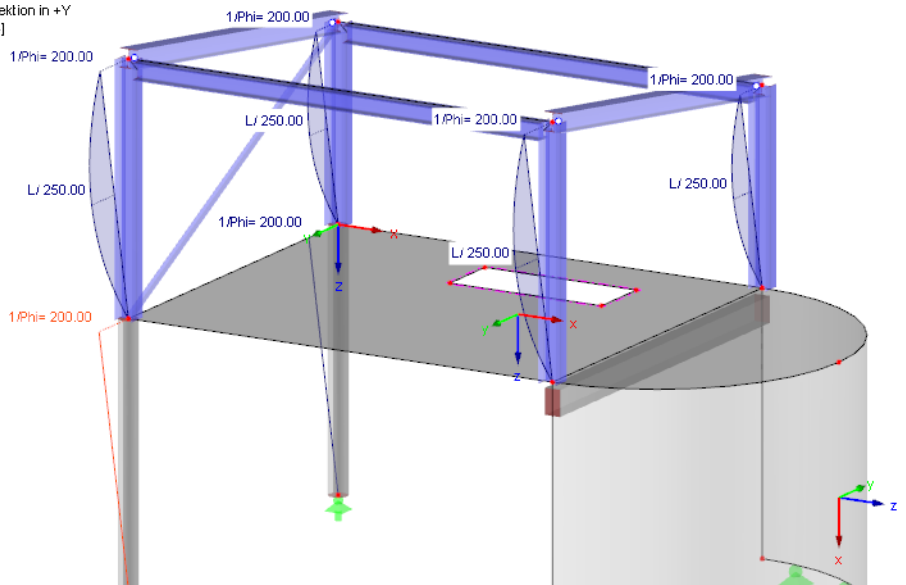


Bild 5.26: Blättern durch die einzelnen Lastfälle

Auch bei den Lasten spiegelt sich die grafische Eingabe im Baum des *Daten-Navigators* und in den Tabellen wider.

Die Last-Daten sind in Tabelle 3 *Lasten* zugänglich, die über die links dargestellte Schaltfläche in der Tabellen-Symbolleiste eingestellt werden kann. Grafik und Tabellen wirken wieder interaktiv: Um z. B. eine Imperfektion in der Tabelle zu finden, ist die Tabelle 3.13 *Imperfektionen* einzustellen und die Last im Arbeitsfenster zu selektieren. Der Cursor springt dann in die entsprechende Zeile der Tabelle.

LF5 : Imperfektion in +Y
Belastung [-]



3.13 Imperfektionen

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr.	Richtung	Bezug	Schiefstellung 1/φ₀ [-]	Vorkrümmung l/w₀ [-]	Aktivierungskriterium	w₀ berücksichtigen ab ε₀ [-]	Kommentar
1	Stäbe	4,6,7,9	y	Relativ	200.00	250.00	EN 1993-1-1 (5.8)		
2	Stäbe	1,2	y	Relativ	200.00	0.00			
3									
4									
5									

Freie Rechtecklasten | Freie Kreislasten | Freie Polygonlasten | Knoten-Zwangsverformungen | Linien-Zwangsverschiebungen | Imperfektionen

Bild 5.27: Interaktion zwischen Grafik und Lasten-Tabellen

6. Kombination der Einwirkungen

Die Lastfälle sind gemäß EN 1990 zu kombinieren. Wir nutzen den programminternen Generierer, um die Einwirkungen mit den geforderten Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten zu überlagern. Die Voraussetzungen wurden bereits beim Anlegen des Modells im *Basisangaben*-Dialog geschaffen, da wir dort die Option *Kombinationen automatisch erzeugen* gewählt haben (siehe Bild 3.1, Seite 8).

Der *Einwirkungstyp* der Lastfälle (siehe Bild 5.22, Seite 62) regelt, wie die Lastfälle in unterschiedlichen Bemessungssituationen kombiniert werden.

6.1 Einwirkungen überprüfen

Die Lastfälle müssen *Einwirkungen* zugewiesen werden, die dann gemäß Vorschrift überlagert werden. Einwirkungen stellen voneinander unabhängige Einflussgrößen dar, die aus verschiedenen Ursprüngen herrühren. Der zwischen ihnen bestehende Zusammenhang im Hinblick auf die Zuverlässigkeit des Tragwerks darf vernachlässigt werden.

Die Lastfälle, Einwirkungen und Kombinationen werden im Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* (siehe Bild 5.22, Seite 62) und in den Tabellen 2 verwaltet. Letztere sind über die links dargestellte Schaltfläche zugänglich. Die Tabelle 2.1 *Lastfälle* stellt unsere fünf Lastfälle mit den gewählten Einwirkungskategorien übersichtlich dar.



2.1 Lastfälle

Lastfall	Tabelle 2. Lastfälle und Kombinationen		EN 1990 CEN		Eigengewicht - Faktor in Richtung			Kommentar
	Bezeichnung	Zu berechnen	Einwirkungskategorie	Aktiv	X	Y	Z	
LF1	Eigengewicht, Aufbau, Erddruck	<input checked="" type="checkbox"/>	G Ständige Lasten	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	1.000	
LF2	Nutzlast	<input checked="" type="checkbox"/>	Qn C Nutzlasten - Kategorie C: Versamm	<input type="checkbox"/>				
LF3	Schnee	<input checked="" type="checkbox"/>	Qs Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	<input type="checkbox"/>				
LF4	Wind in +Y	<input checked="" type="checkbox"/>	Qw Wind	<input type="checkbox"/>				
LF5	Imperfektion in +Y	<input checked="" type="checkbox"/>	Imp Imperfektion	<input type="checkbox"/>				

Lastfälle | Einwirkungen | Kombinationsregeln | Einwirkungskombinationen | Lastkombinationen | Ergebniskombinationen

Lastfalltyp

Bild 6.1: Tabelle 2.1 *Lastfälle*

Die nächste Tabelle 2.2 *Einwirkungen* zeigt an, welche Lastfälle in den einzelnen Einwirkungen enthalten sind. In unserem Beispiel ist jeder Lastfall einer anderen Einwirkung zugewiesen. Hätten wir jedoch z. B. mehrere Windlastfälle für die unterschiedlichen Richtungen definiert, wären sie alle in der Einwirkung *Wind* aufgelistet.

2.2 Einwirkungen

Einwirkung	EN 1990 CEN		Wirkung	Lastfälle in Einwirkung			Kommentar
	Einwirkung Bezeichnung	Einwirkungskategorie		LF.1	LF.2	LF.3	
E1	Ständige Lasten	G Ständige Lasten		LF1			
E2	Nutzlasten	Qn C Nutzlasten - Kategorie C: Versammlungsräume		LF2			
E3	Schnee	Qs Schnee (H ≤ 1000 m über NN)		LF3			
E4	Wind	Qw Wind		LF4			
E5							
E6							

Lastfälle | Einwirkungen | Kombinationsregeln | Einwirkungskombinationen | Lastkombinationen | Ergebniskombinationen

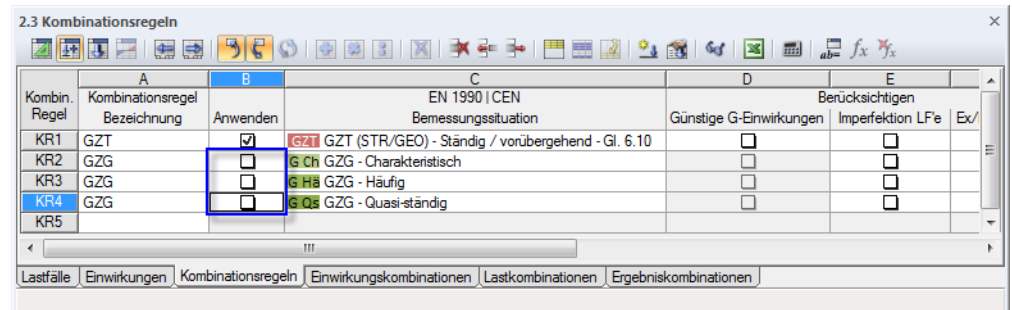
Bezeichnung

Bild 6.2: Tabelle 2.2 *Einwirkungen*

Die Imperfektionen fehlen in dieser Tabelle, da sie keine „echten“ Einwirkungen darstellen.

6.2 Kombinationsregeln festlegen

Nach EN 1990 sind die Einwirkungen für den Nachweis der Grenzzustände der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit nach bestimmten Regeln zu kombinieren. Die nächste Tabelle 2.3 *Kombinationsregeln* steuert, welche Grenzzustände untersucht werden sollen.



Kombi. Regel	Kombinationsregel Bezeichnung	Anwenden	EN 1990 CEN Bemessungssituation	D	E	Ex/
KR1	GZT	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR2	GZG	<input type="checkbox"/>	G Ch GZG - Charakteristisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR3	GZG	<input type="checkbox"/>	G Hb GZG - Häufig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR4	GZG	<input type="checkbox"/>	G Os GZG - Quasi-ständig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR5						

Bild 6.3: Tabelle 2.3 *Kombinationsregeln*

Für das Beispiel ist nur der Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) relevant. Wir entfernen daher in der Spalte *Anwenden* die drei Häkchen bei den Kombinationsregeln für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZG).

Über das Navigator-Kontextmenü rufen wir nun den Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* auf, um die Parameter der Kombinationsregel KR1 zu bearbeiten.

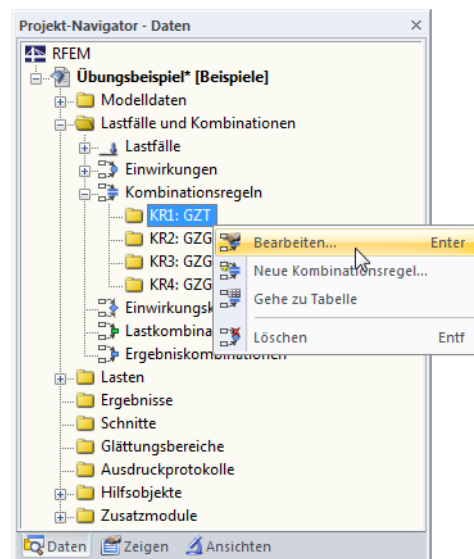


Bild 6.4: Navigator-Kontextmenü der Kombinationsregeln



Über die [Info]-Schaltfläche in diesem Dialog (siehe folgendes Bild) sind Erläuterungen zur Kombinationsregel für die Grenzzustände STR und GEO zugänglich.

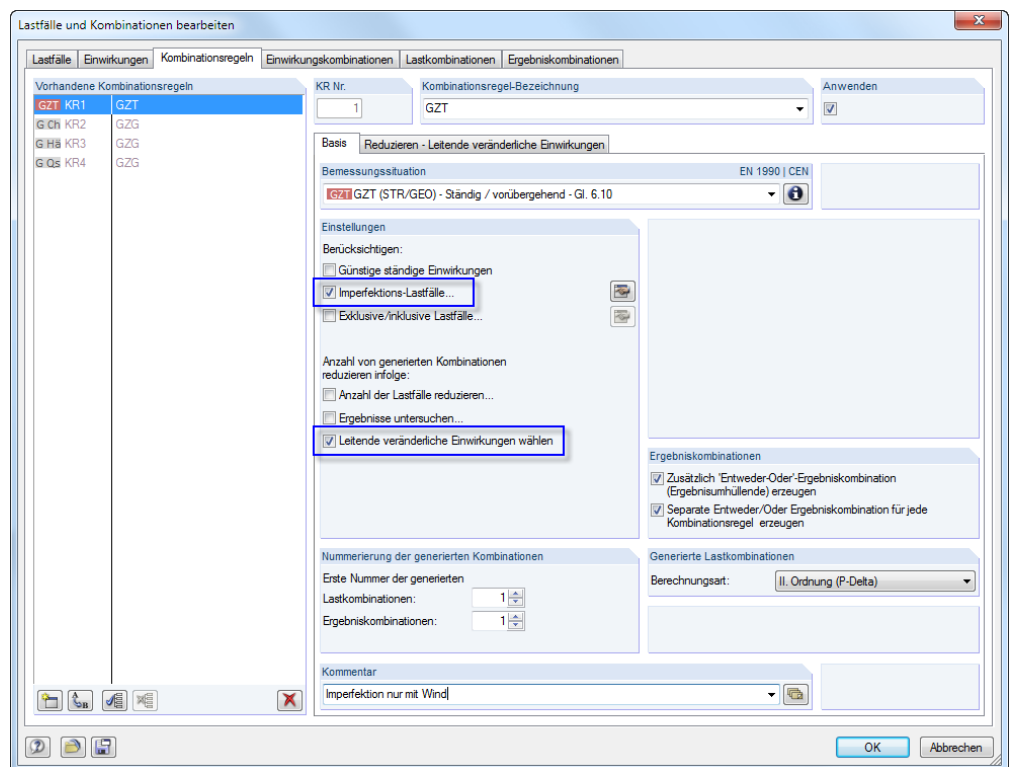


Bild 6.5: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Kombinationsregeln*

Im Abschnitt *Einstellungen* aktivieren wir die Option **Imperfektions-Lastfälle**, um die Imperfektionen bei der Generierung der Kombinationen zu *berücksichtigen*. Beim Setzen des Häkchens öffnet sich folgender Dialog.

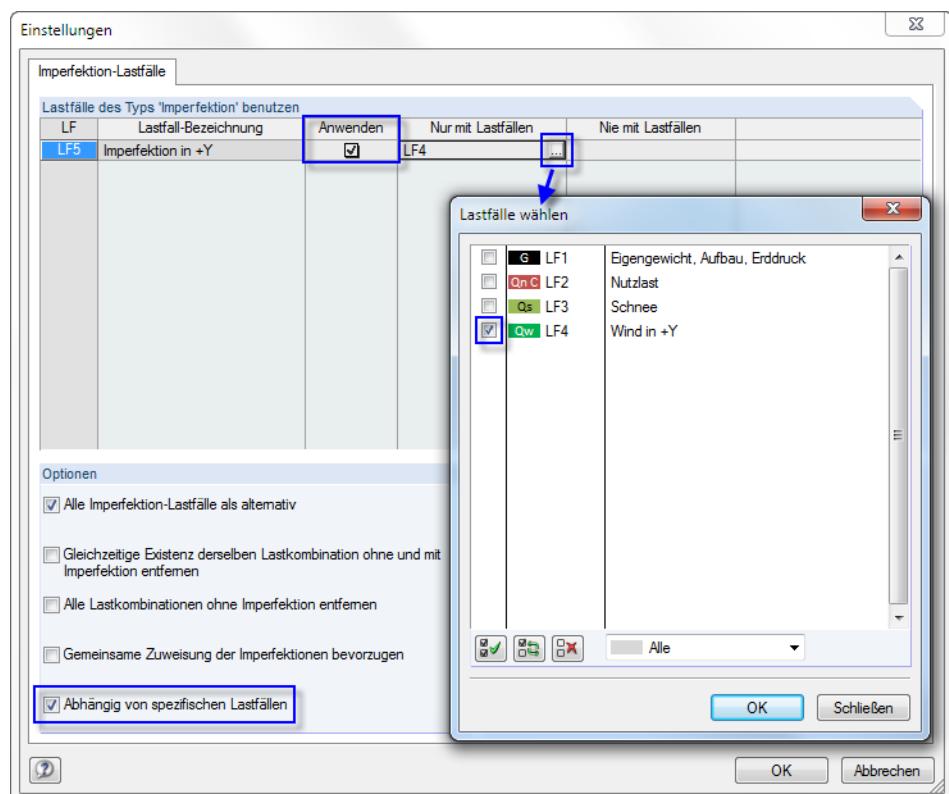


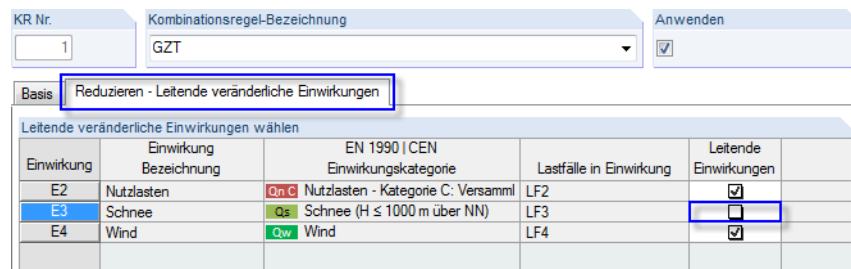
Bild 6.6: Dialog *Einstellungen* für Imperfektions-Lastfälle

Wir setzen das Häkchen in die Spalte *Anwenden*, damit der LF4 berücksichtigt wird.

Im Abschnitt *Optionen* aktivieren wir die Funktion **Abhängig von spezifischen Lastfällen**. Wir klicken dann oben in das Feld *Nur mit Lastfällen*. Es erscheint eine Schaltfläche [...] am Ende des Feldes. Sie ruft den Dialog *Lastfälle wählen* auf, in dem wir den **LF4 Wind in +Y** anhaken. Damit werden die Imperfektionen nur in Kombinationen berücksichtigt, die auch Windlastfälle aufweisen.

Wir bestätigen die im Bild 6.6 gezeigten Dialoge jeweils mit [OK].

Im Abschnitt *Einstellungen* des Ausgangsdialogs (Bild 6.5) können wir noch die Anzahl der generierten Kombinationen reduzieren, indem wir nur **Leitende veränderliche Einwirkungen wählen**. Mit dem Anhaken dieser Option erhält der Dialog ein weiteres Register.



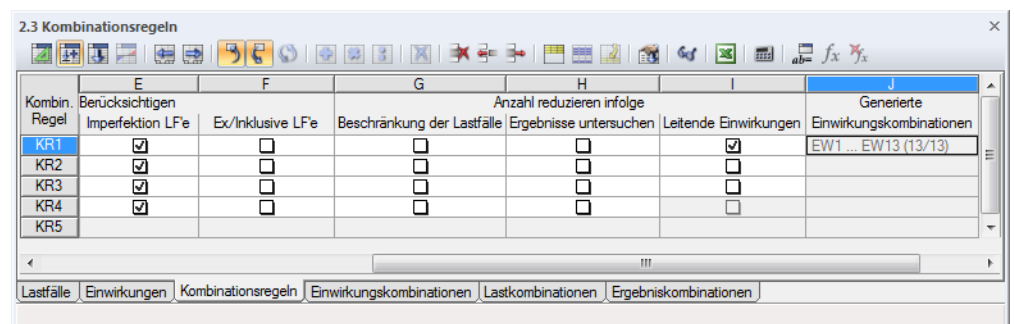
Einwirkung	Einwirkung Bezeichnung	EN 1990 CEN	Einwirkungskategorie	Lastfälle in Einwirkung	Leitende Einwirkungen
E2	Nutzlasten	Q _m C	Nutzlasten - Kategorie C: Versamml	LF2	<input checked="" type="checkbox"/>
E3	Schnee	Q _s	Schnee (H ≤ 1000 m über NN)	LF3	<input checked="" type="checkbox"/>
E4	Wind	Q _w	Wind	LF4	<input checked="" type="checkbox"/>

Bild 6.7: Leiteinwirkungen festlegen im Register *Reduzieren - Maßgebende Einwirkungen*

Im Register *Reduzieren - Leitende veränderliche Einwirkungen* deaktivieren wir die Einwirkung **E3**, da der Lastfall *Schnee* nur als Begleiteinwirkung überlagert werden soll. Dadurch reduziert sich die Anzahl der generierten Kombinationen.

Ehe wir den Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* bestätigen, überprüfen wir noch, ob im Register *Basis* die Option **Zusätzlich 'Entweder-Oder'-Ergebniskombination erzeugen** angehakt ist. Diese Ergebniskombination liefert die Extremwerte aller Lastkombinationen (Umhüllende).

Nach [OK] blättern wir vor zur nächsten Tabelle 2.4 *Einwirkungskombinationen*. Dabei werden die Einwirkungskombinationen erzeugt. Wenn wir dann in die Tabelle 2.3 *Kombinationsregeln* zurückkehren, finden wir in Spalte J *Generierte Einwirkungskombinationen* 13 Kombinationen vor.

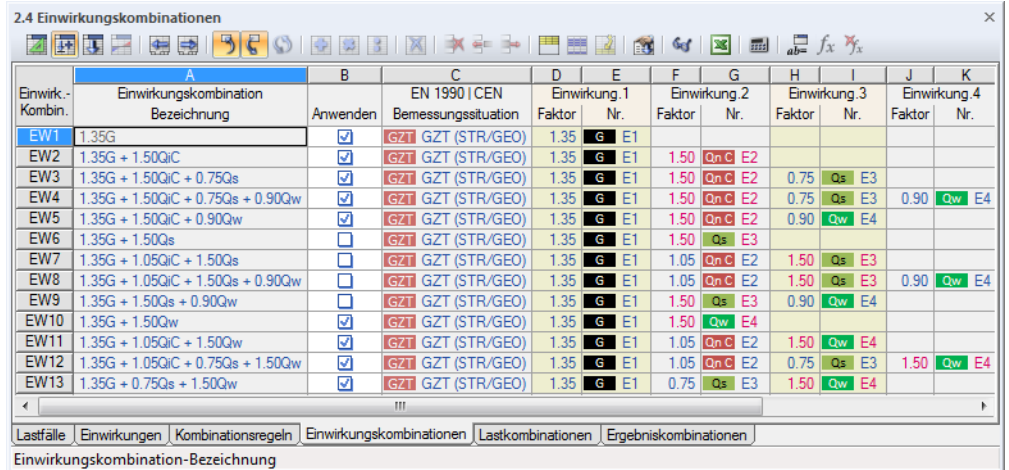


Kombin. Regel	Berücksichtigen Imperfektion LFe	Ex/Inklusive LFe	Beschränkung der Lastfälle	Anzahl reduzieren infolge Ergebnisse untersuchen	Leitende Einwirkungen	Generierte Einwirkungskombinationen
KR1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	EW1 ... EW13 (13/13)
KR2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KR5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Bild 6.8: Tabelle 2.3 *Kombinationsregeln*, Spalte *Generierte Einwirkungskombinationen*

6.3 Einwirkungskombinationen erzeugen

RFEM erzeugt 13 Einwirkungskombinationen (siehe Bild 6.8). Diese sind in der Tabelle 2.4 *Einwirkungskombinationen* nach Einwirkungen geordnet aufgelistet.



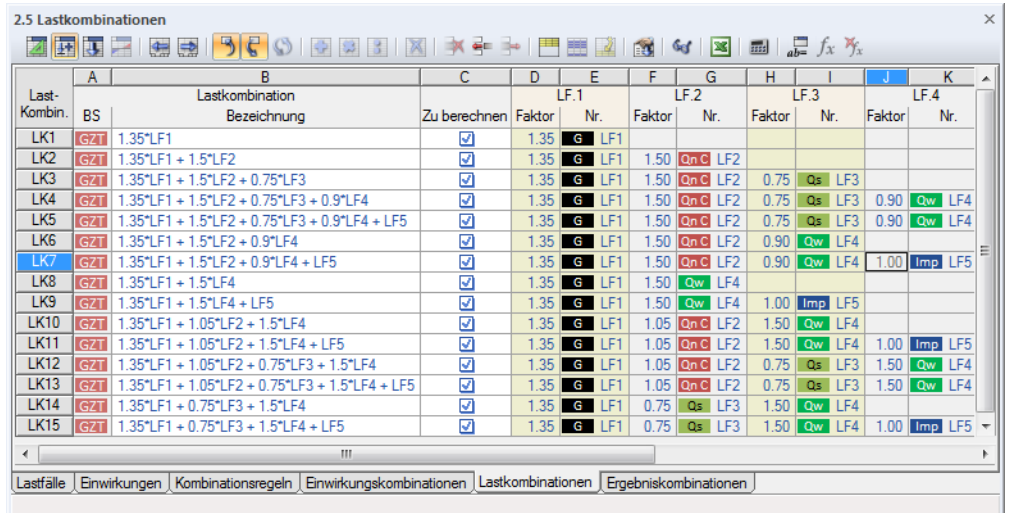
Einwirk.-Kombin.	Einwirkungskombination Bezeichnung	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Anwenden	EN 1990 CEN Bemessungssituation	Einwirkung. 1 Faktor	Nr.	Einwirkung. 2 Faktor	Nr.	Einwirkung. 3 Faktor	Nr.	Einwirkung. 4 Faktor	Nr.
EW1	1.35G	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1						
EW2	1.35G + 1.50Q _i C	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _n C E2				
EW3	1.35G + 1.50Q _i C + 0.75Q _s	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _n C E2	0.75	Q _s E3		
EW4	1.35G + 1.50Q _i C + 0.75Q _s + 0.90Q _w	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _n C E2	0.75	Q _s E3	0.90	Q _w E4
EW5	1.35G + 1.50Q _i C + 0.90Q _w	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _n C E2	0.90	Q _w E4		
EW6	1.35G + 1.50Q _s	<input type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _s E3				
EW7	1.35G + 1.05Q _i C + 1.50Q _s	<input type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Q _n C E2	1.50	Q _s E3		
EW8	1.35G + 1.05Q _i C + 1.50Q _s + 0.90Q _w	<input type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Q _n C E2	1.50	Q _s E3	0.90	Q _w E4
EW9	1.35G + 1.50Q _s + 0.90Q _w	<input type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _s E3	0.90	Q _w E4		
EW10	1.35G + 1.50Q _w	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.50	Q _w E4				
EW11	1.35G + 1.05Q _i C + 1.50Q _w	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Q _n C E2	1.50	Q _w E4		
EW12	1.35G + 1.05Q _i C + 0.75Q _s + 1.50Q _w	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	1.05	Q _n C E2	0.75	Q _s E3	1.50	Q _w E4
EW13	1.35G + 0.75Q _s + 1.50Q _w	<input checked="" type="checkbox"/>	GZT (STR/GEO)	1.35	G E1	0.75	Q _s E3	1.50	Q _w E4		

Bild 6.9: Tabelle 2.4 *Einwirkungskombinationen*

Diese Übersicht entspricht der Art und Weise, wie die Einwirkungen in den Normen behandelt werden. Über die Spalte *Anwenden* kann festgelegt werden, welche Einwirkungskombinationen für die Generierung von Lastkombinationen infrage kommen. Da wir die Einwirkung Q_s (Schnee) nur als Begleiteinwirkung angesetzt haben, sind dort die Einwirkungskombinationen deaktiviert, in denen die Einwirkung Q_s die Leiteinwirkung bildet.

6.4 Lastkombinationen erzeugen

Beim Weiterblättern in die Tabelle 2.5 *Lastkombinationen* werden aus den neun relevanten Einwirkungskombinationen (siehe Bild 6.9) automatisch 15 Lastkombinationen erzeugt.

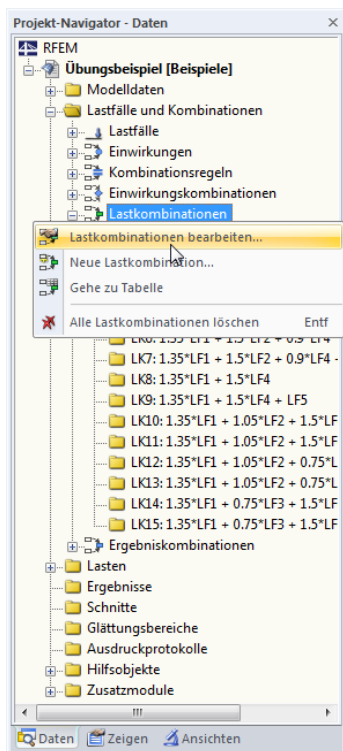


Last-Kombin.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	BS	Lastkombination Bezeichnung	Zu berechnen	Faktor	LF.1 Nr.	Faktor	LF.2 Nr.	Faktor	LF.3 Nr.	Faktor	LF.4 Nr.
LK1	GZT	1.35*LF1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1						
LK2	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _n C LF2				
LK3	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _n C LF2	0.75	Q _s LF3		
LK4	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3 + 0.9*LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _n C LF2	0.75	Q _s LF3	0.90	Q _w LF4
LK5	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.75*LF3 + 0.9*LF4 + LF5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _n C LF2	0.75	Q _s LF3	0.90	Q _w LF4
LK6	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.9*LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _n C LF2	0.90	Q _w LF4		
LK7	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF2 + 0.9*LF4 + LF5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _n C LF2	0.90	Q _w LF4	1.00	Imp LF5
LK8	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _w LF4				
LK9	GZT	1.35*LF1 + 1.5*LF4 + LF5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.50	Q _w LF4	1.00	Imp LF5		
LK10	GZT	1.35*LF1 + 1.05*LF2 + 1.5*LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.05	Q _n C LF2	1.50	Q _w LF4		
LK11	GZT	1.35*LF1 + 1.05*LF2 + 1.5*LF4 + LF5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.05	Q _n C LF2	1.50	Q _w LF4	1.00	Imp LF5
LK12	GZT	1.35*LF1 + 1.05*LF2 + 0.75*LF3 + 1.5*LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.05	Q _n C LF2	0.75	Q _s LF3	1.50	Q _w LF4
LK13	GZT	1.35*LF1 + 1.05*LF2 + 0.75*LF3 + 1.5*LF4 + LF5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	1.05	Q _n C LF2	0.75	Q _s LF3	1.50	Q _w LF4
LK14	GZT	1.35*LF1 + 0.75*LF3 + 1.5*LF4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	0.75	Q _s LF3	1.50	Q _w LF4		
LK15	GZT	1.35*LF1 + 0.75*LF3 + 1.5*LF4 + LF5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.35	G LF1	0.75	Q _s LF3	1.50	Q _w LF4	1.00	Imp LF5

Bild 6.10: Tabelle 2.5 *Lastkombinationen*

In den Spalten D bis M sind jeweils die Lastfälle mit den zugehörigen Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten angegeben.

Imperfektionen sind – gemäß Vorgabe – nur in Kombinationen mit Windeinwirkungen Q_w zu finden.



Kontextmenü Lastkombinationen

Über das links dargestellte Navigator-Kontextmenü rufen wir wieder den Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* auf, um die erzeugten Lastkombinationen im Dialog zu betrachten.

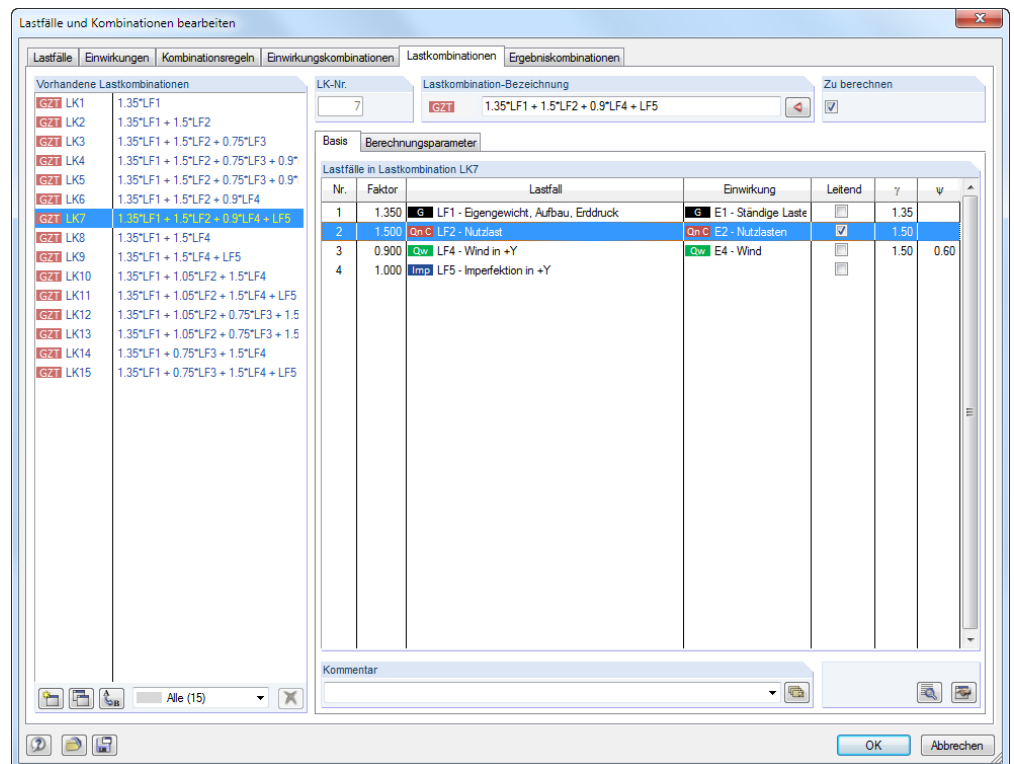


Bild 6.11: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastkombinationen*

Wenn wir durch die Liste *Vorhandene Lastkombinationen* klicken, werden im rechten Abschnitt die Lastfälle mit den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten angezeigt. Lastfälle, die in einer Kombination *Leitend* wirken, sind entsprechend gekennzeichnet.

Über die Schaltfläche [Details] sind die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte zugänglich.

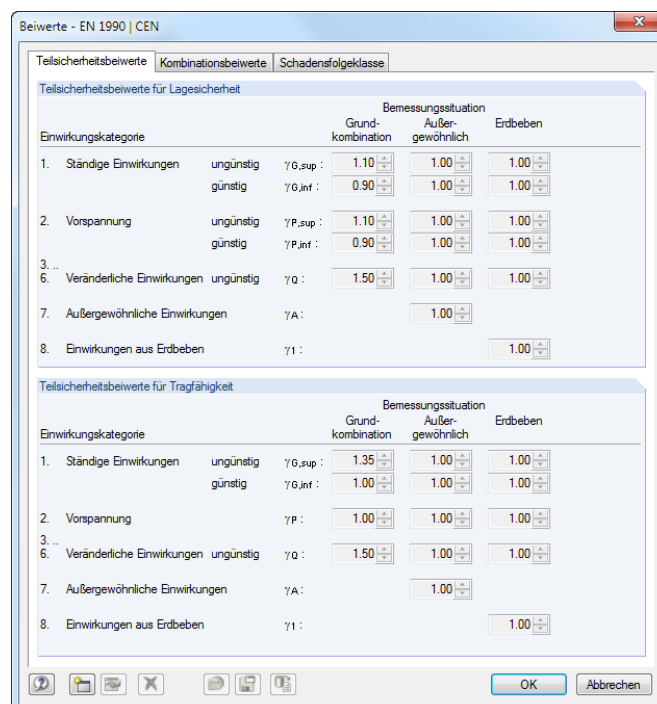


Bild 6.12: Dialog *Beiwerte*, Register *Teilsicherheitsbeiwerte*

Im Register *Berechnungsparameter* können wir die Vorgaben überprüfen, die RFEM für die Berechnung der einzelnen Lastkombinationen ansetzt.

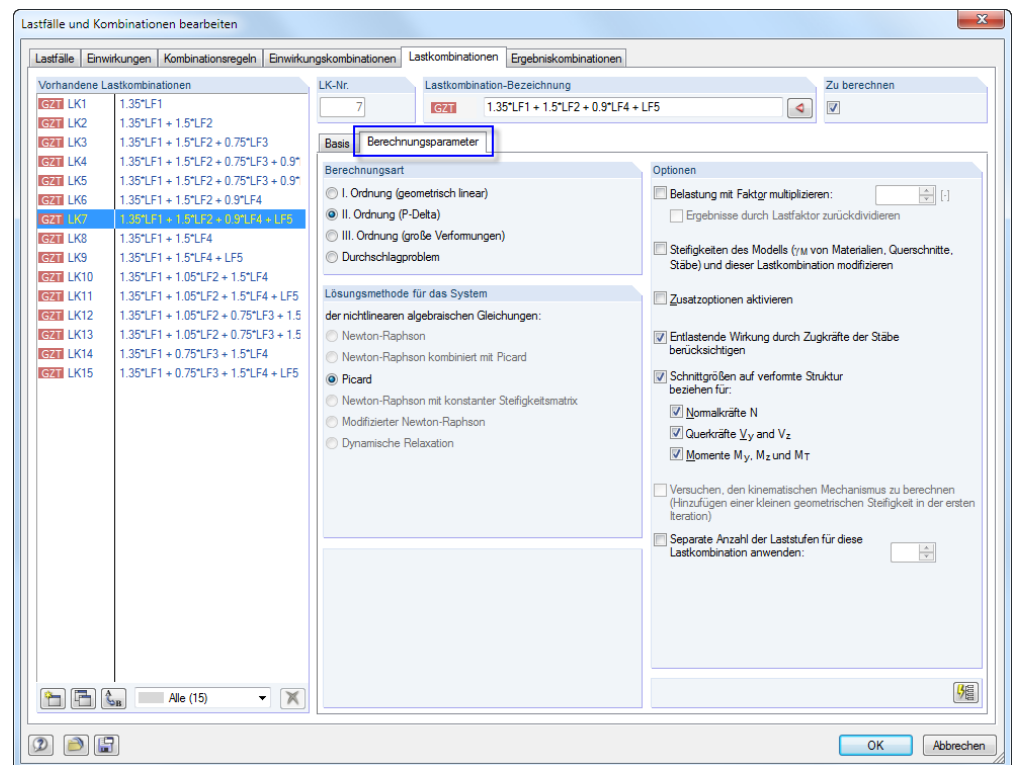


Bild 6.13: *Berechnungsparameter* einer Lastkombination überprüfen

Grundsätzlich werden Lastkombinationen nichtlinear nach Berechnungstheorie *II. Ordnung* untersucht.

6.5 Ergebniskombination überprüfen

Beim Festlegen der Kombinationsregeln haben wir die Option *Zusätzlich 'Entweder-Oder'-Ergebniskombination erzeugen* aktiviert (siehe Bild 6.5, Seite 68), in der die Extremwerte aller Lastkombinationen ermittelt werden.

RFEM generiert aus den Lastkombinationen eine Ergebnismenhülle. Die Überlagerungsbedingungen sind im letzten Register des Dialogs *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten* und in Tabelle 2.6 *Ergebniskombinationen* abrufbar.

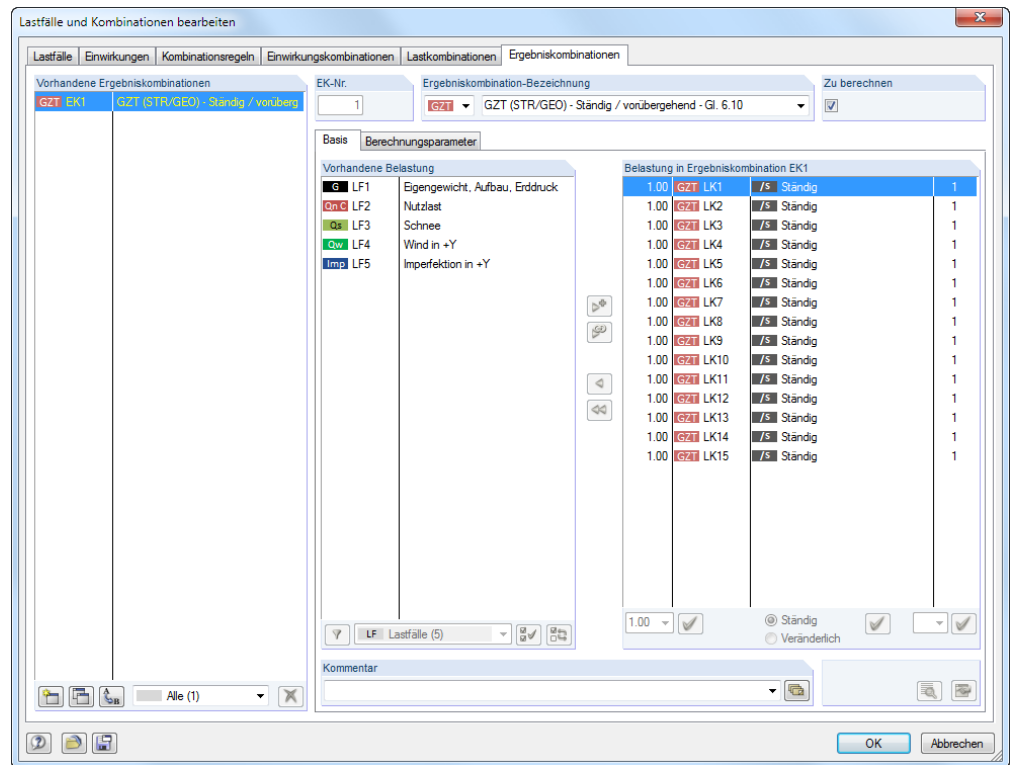


Bild 6.14: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Ergebniskombinationen*

Alle Lastkombinationen werden mit dem Faktor 1.000 und dem Kriterium *Ständig* überlagert. Sie sind alle der Gruppe *Gr. 1* zugeordnet, d. h. sie wirken alternativ.



Die Kombinationskriterien sind nun vollständig definiert. Wir können den Stand der Eingabe wieder [Speichern].

7. Berechnung

7.1 Eingabedaten kontrollieren



Vor der Berechnung lassen wir das Programm unsere Eingabe überprüfen. Wir rufen das Menü **Extras → Plausibilitätskontrolle** auf und treffen im Dialog *Plausibilitätskontrolle* folgende Einstellungen.

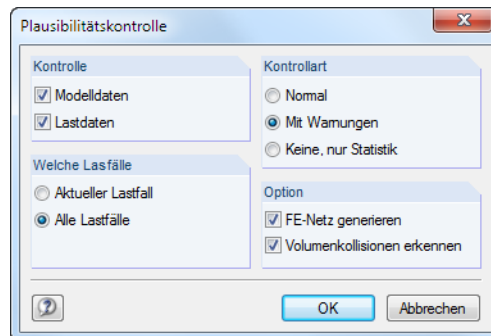


Bild 7.1: Dialog *Plausibilitätskontrolle*

Werden nach [OK] keine Unstimmigkeiten entdeckt, erscheint eine entsprechende Meldung mit einer Bilanz der Modell- und Belastungsdaten.

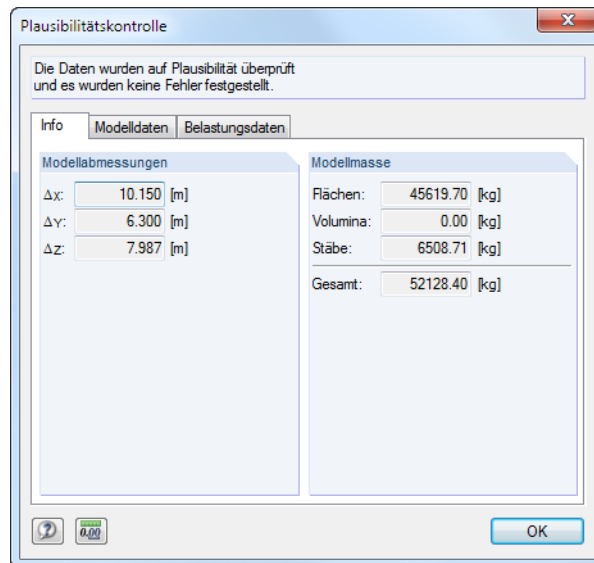


Bild 7.2: Ergebnis der Plausibilitätskontrolle

Weitere Werkzeuge zur Überprüfung der Eingabe stehen im Menü

Extras → Modellkontrolle

zur Verfügung, die wir – nach Wunsch – auf unser Modell anwenden können.

7.2 FE-Netz erzeugen

FE-Netz generieren

Da im Dialog *Plausibilitätskontrolle* die Option *FE-Netz generieren* angehakt war (siehe Bild 7.1), wurde automatisch ein Netz mit der Standardmaschenweite von 50 cm erzeugt. (Die voreingestellte Maschenweite kann über Menü *Berechnung* → *FE-Netz-Einstellungen* geändert werden.)

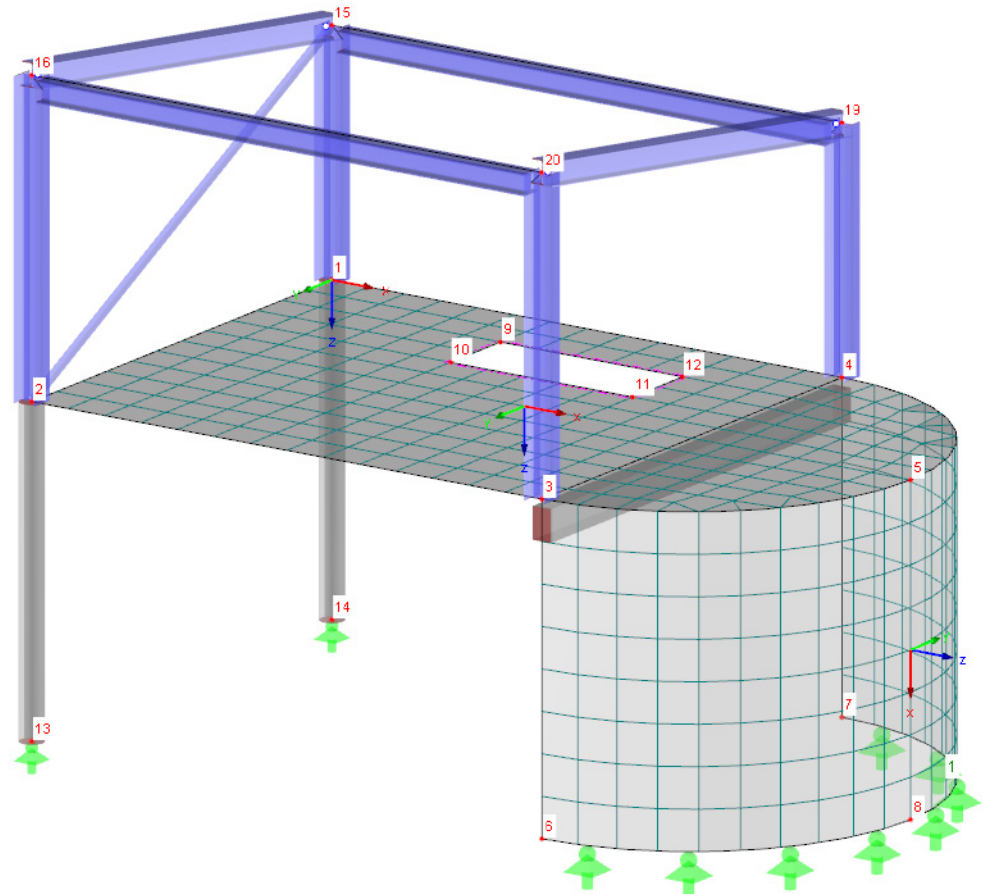


Bild 7.3: Modell mit generiertem FE-Netz

FE-Netzverdichtung erzeugen

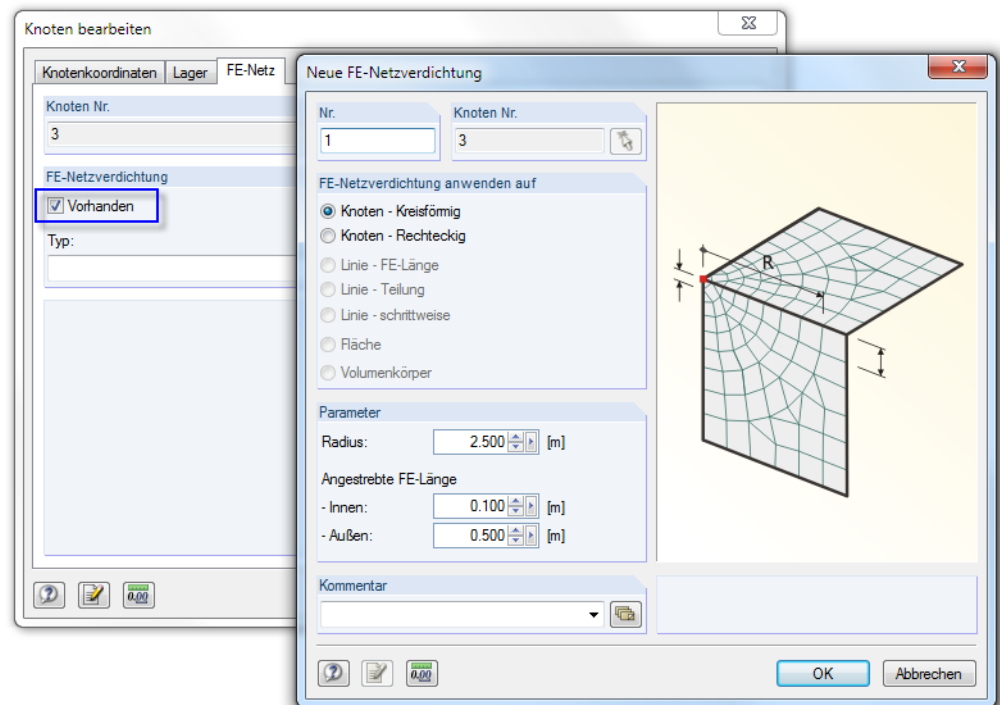
Wir definieren Verdichtungsgebiete für die beiden Enden des Unterzugs, um dort ein feinsmaschiges FE-Netz zu erhalten.

Mit einem Doppelklick auf den Knoten **3** öffnen wir den Dialog *Knoten bearbeiten*. Wir wechseln in das Register *FE-Netz* und haken dort das Kontrollfeld **Vorhanden** an (siehe Bild 7.4).

Da noch kein FE-Netzverdichtungstyp definiert ist, öffnet sich automatisch der Dialog *Neue FE-Netzverdichtung*.

Die Voreinstellungen *Knoten - Kreisförmig* und die vorgeschlagenen *Parameter* können wir unverändert belassen. Nach dem Bestätigen beider Dialoge mit [OK] wird das FE-Netz gelöscht.

Am selektierten Knoten wird ein kugelförmiger Verdichtungsgebiet angezeigt.

Bild 7.4: Dialoge *Knoten bearbeiten* und *Neue FE-Netzverdichtung*

Die FE-Netzverdichtung ist nun auf den zweiten Endknoten des Unterzugs zu übertragen. Hierzu nutzen wir den *Daten-Navigator*. Wir doppelklicken den Eintrag 1 unter den *FE-Netzverdichtungen*, um den Dialog *FE-Netzverdichtung bearbeiten* aufzurufen.

Nach einem Klick auf die Schaltfläche [Pick] im Abschnitt *Knoten Nr.* können wir den zweiten Knoten der Rippe grafisch im Arbeitsfenster auswählen.

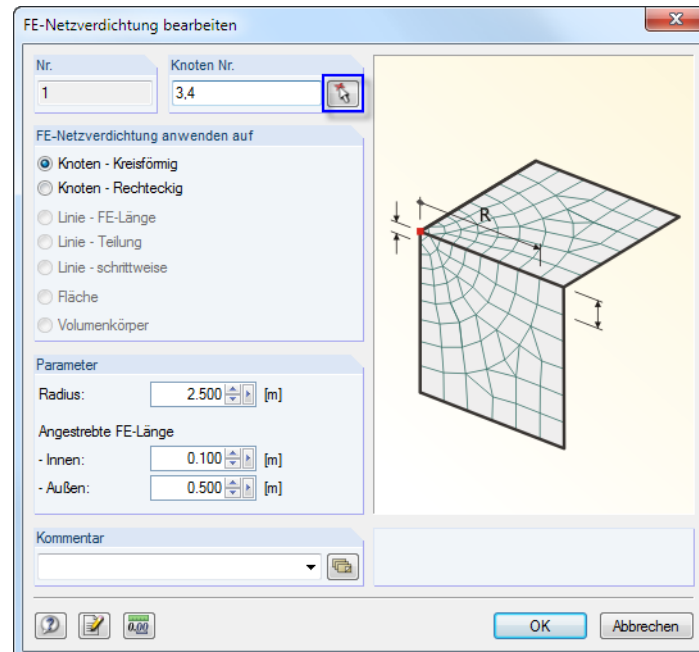
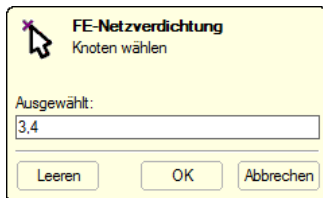


Bild 7.5: Zweiten Knoten über [Pick] grafisch festlegen

Wir schließen alle Dialoge wieder mit [OK].

Wir lassen das Netz nochmals erzeugen über Menü

Berechnung → FE-Netz generieren

und kontrollieren anschließend die Verdichtungsgebiete.

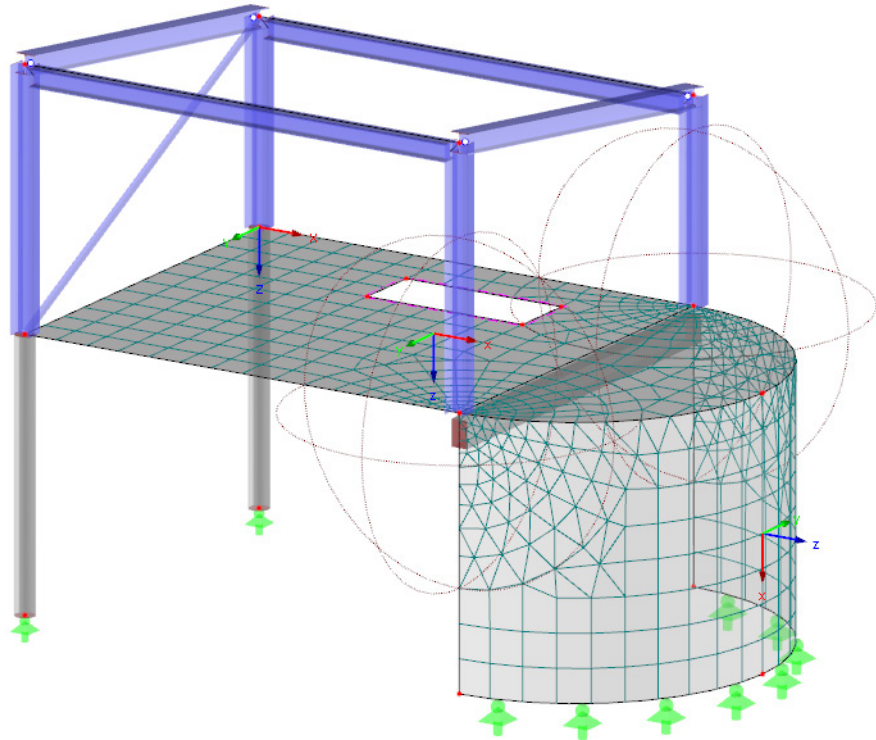


Bild 7.6: FE-Netz mit Verdichtungsgebieten

7.3 Modell berechnen



Wir starten nun die Berechnung über Menü

Berechnung → Alles berechnen

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

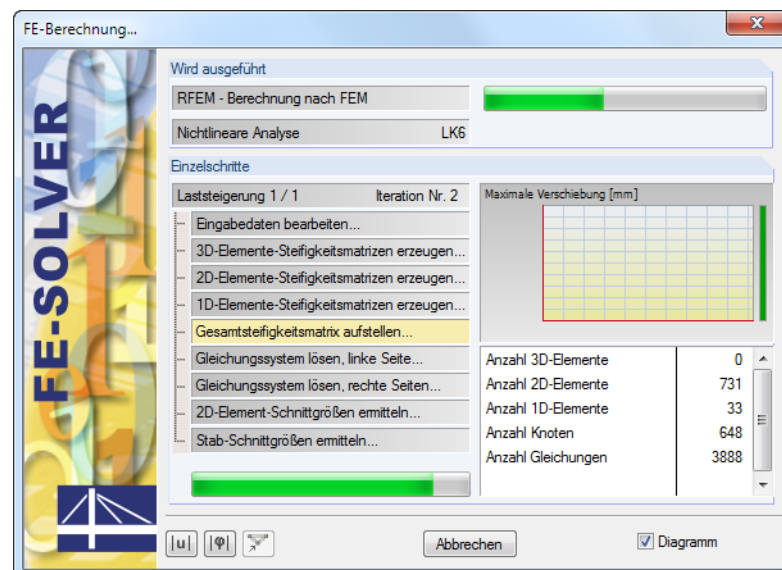


Bild 7.7: Ablauf der Berechnung

8. Ergebnisse

8.1 Grafische Ergebnisse



Nach der Berechnung werden die Verformungen des aktuellen Lastfalls angezeigt.

Globale Verformungen u [mm]

EK1 : GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10

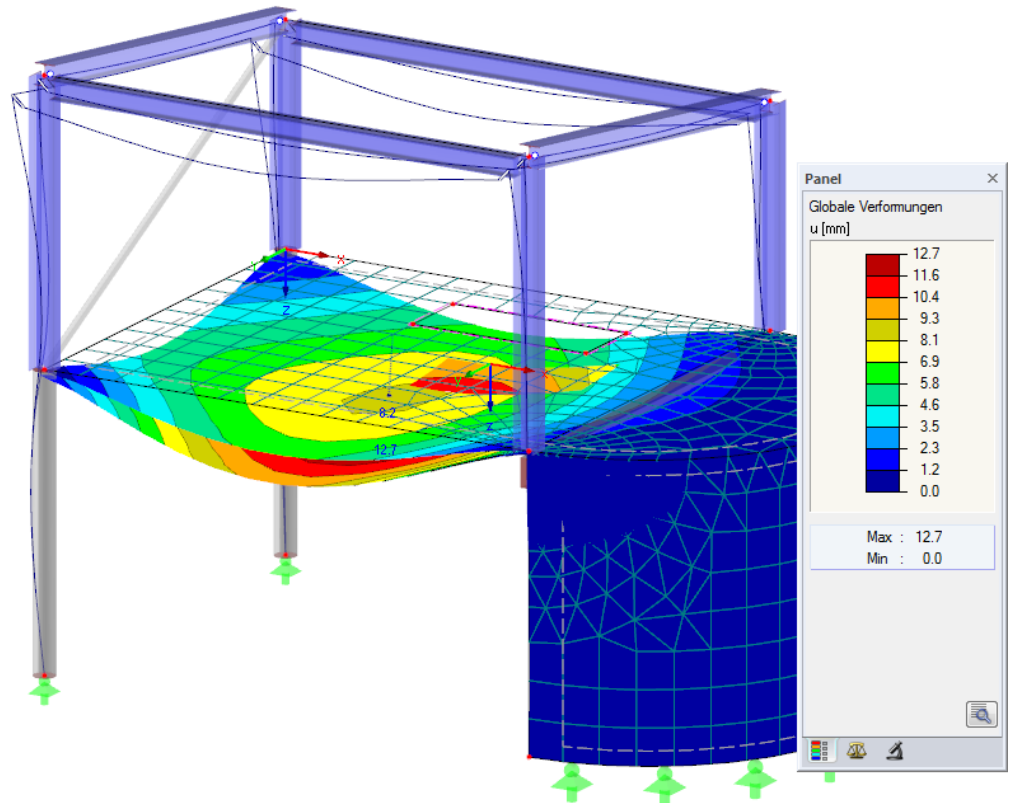


Bild 8.1: Grafik der Verformungen für Ergebniskombination EK1

Lastfälle und Lastkombinationen auswählen

Wir können mit den Schaltflächen [◀] und [▶] in der Symbolleiste (rechts neben der Lastfall-Liste) zwischen den Ergebnissen der Lastfälle, Last- und Ergebniskombination wechseln, wie wir es von der Kontrolle der Lastfälle her kennen. Die Auswahl kann auch in der Liste erfolgen.

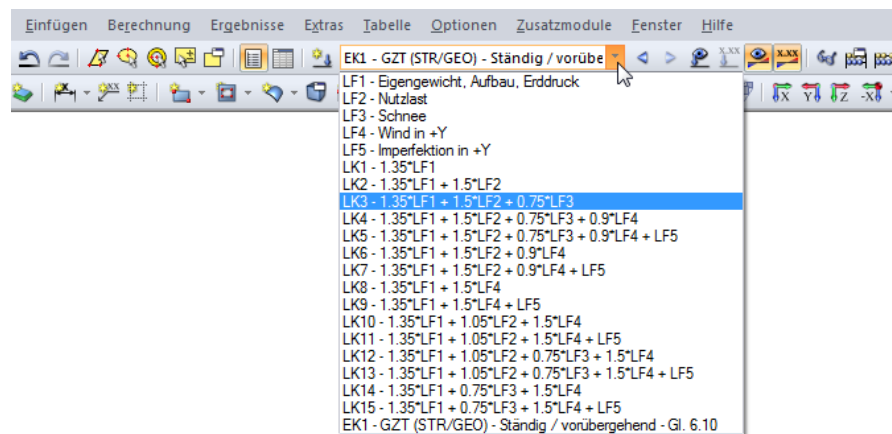


Bild 8.2: Lastfall-Liste in Symbolleiste



Ergebnisse im Navigator auswählen

Ein neuer, vierter Navigator verwaltet die diversen Ergebnisarten für die grafische Anzeige. Dieser *Ergebnisse*-Navigator ist zugänglich, wenn die Ergebnisanzeige aktiv ist. Die Ergebnisse lassen sich im *Zeigen*-Navigator oder mit der Schaltfläche [Ergebnisse ein/aus] ein- und ausblenden.

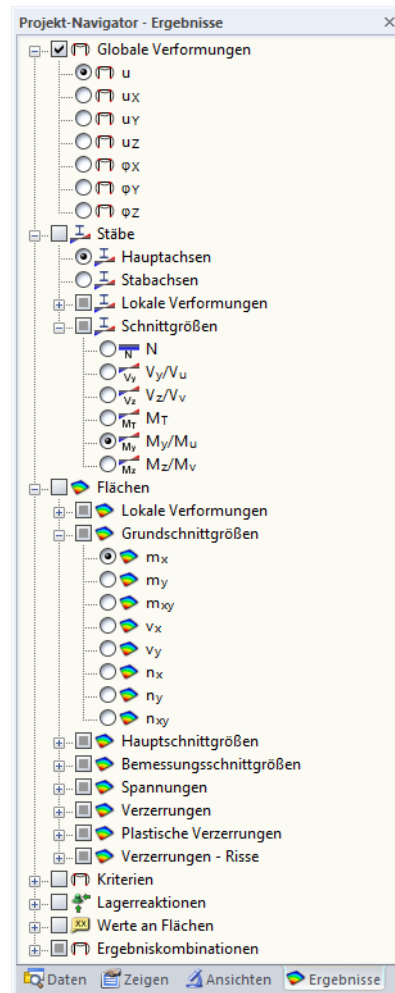
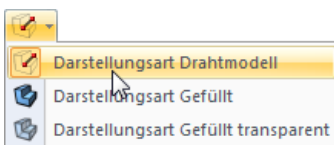


Bild 8.3: Ergebnisse-Navigator

Es befinden sich Kontrollfelder vor den einzelnen Ergebniskategorien (z. B. *Globale Verformungen*, *Stäbe*, *Flächen*, *Lagerreaktionen*). Mit dem Anhängen eines der Felder wird die entsprechende Verformung oder Schnittgröße angezeigt. Vor den Einträgen innerhalb dieser Kategorien befinden sich weitere Felder, über die die gewünschte Ergebnisart eingestellt werden kann.

Wir können nun durch die einzelnen Lastfälle und Lastkombinationen blättern. Die verschiedenen Ergebniskategorien ermöglichen es, Verformungen, Stab- und Flächenschnittgrößen, Spannungen oder Lagerreaktionen abzulesen.

Das folgende Bild stellt die Stabschnittgrößen M_z und die Flächenschnittgrößen m_y dar, die für die LK13 berechnet wurden. Zur Schnittgrößenanzeige ist das Drahtmodell zu empfehlen; es kann über die links gezeigte Listenschaltfläche eingestellt werden.



Stäbe: Schnittgrößen M-z/M-v [kNm]
 Flächen: Grundschnittgrößen m-y [kNm/m]
 LK13: 1.35*LF1 + 1.05*LF2 + 0.75*LF3 + 1.5*LF4 + LF5

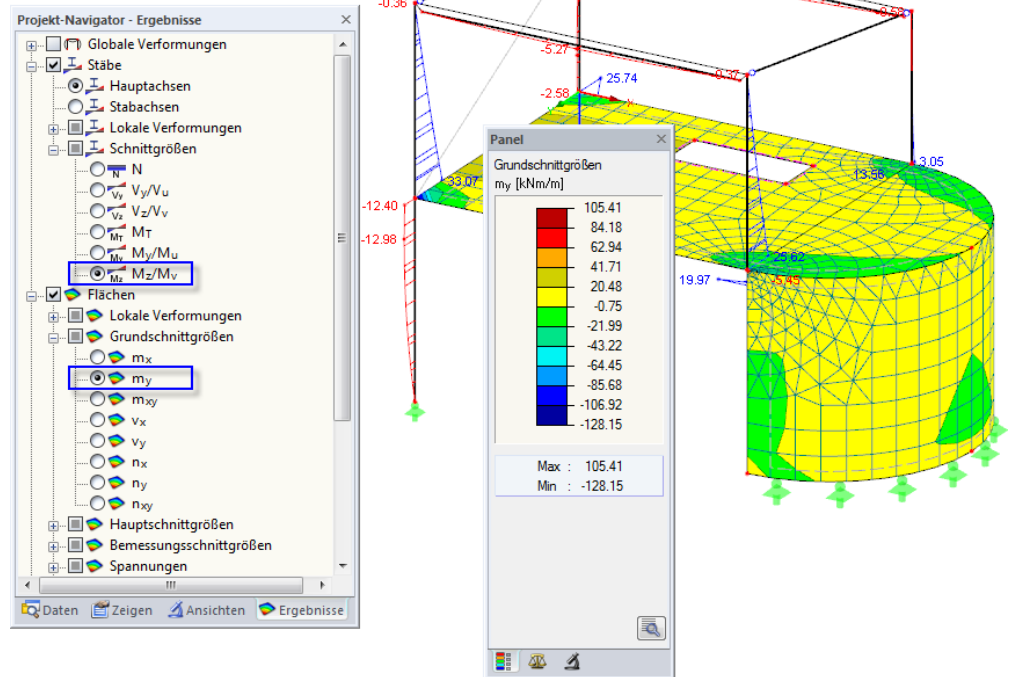


Bild 8.4: Stab- und Flächenschnittgrößen darstellen

Werte anzeigen

Die Farbskala im Steuerpanel gibt Aufschluss über die Zuordnung der Farbbereiche. Zusätzlich lassen sich die Ergebniswerte an bestimmten Stellen einblenden, indem unten im *Ergebnisse*-Navigator der Eintrag **Werte an Flächen** angehakt wird. Um alle Werte der FE-Netz-Knoten oder Rasterpunkte anzuzeigen, ist noch die Option *Extremwerte* zu deaktivieren.

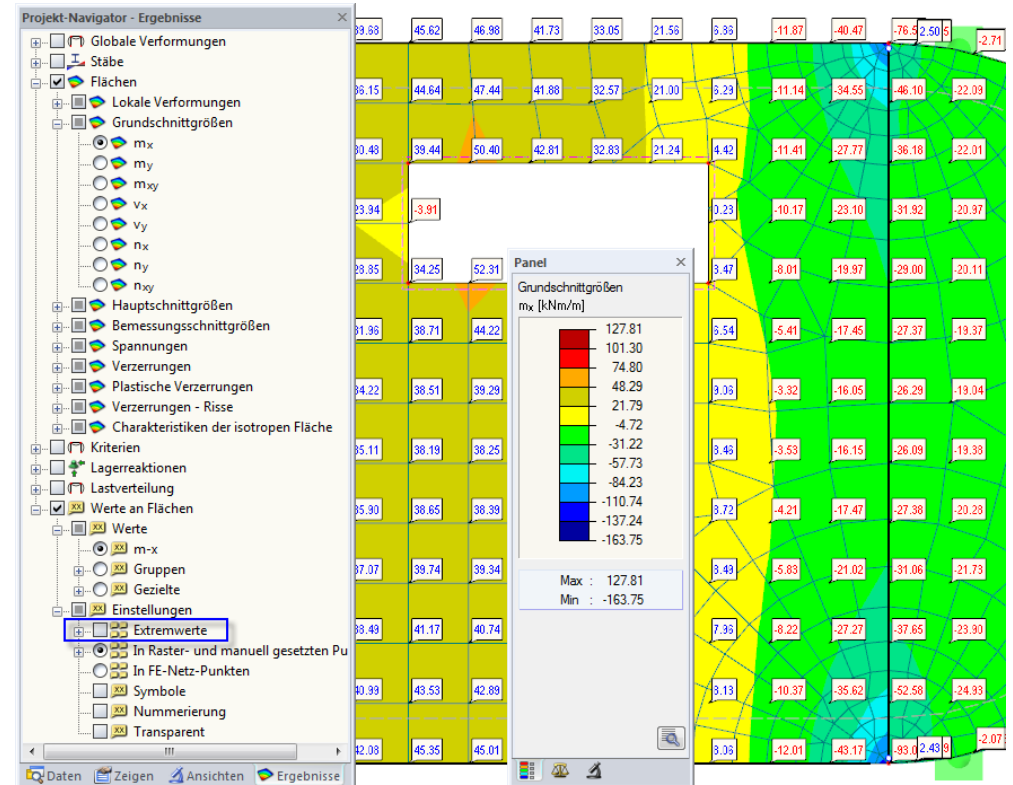


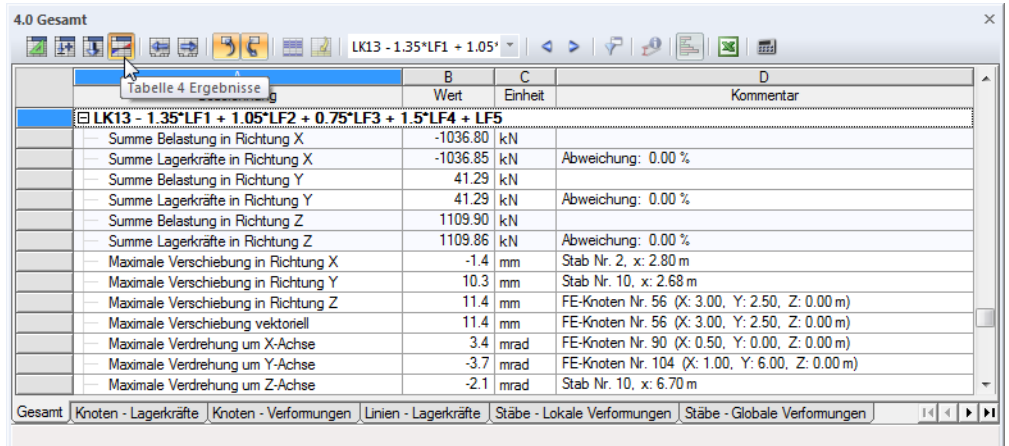
Bild 8.5: Rasterpunkt-Momente m_x der Deckenplatte in Z-Ansicht (LK13)

8.2 Ergebnistabellen

Die Ergebnisse lassen sich auch tabellarisch einsehen.

Tabellen anzeigen

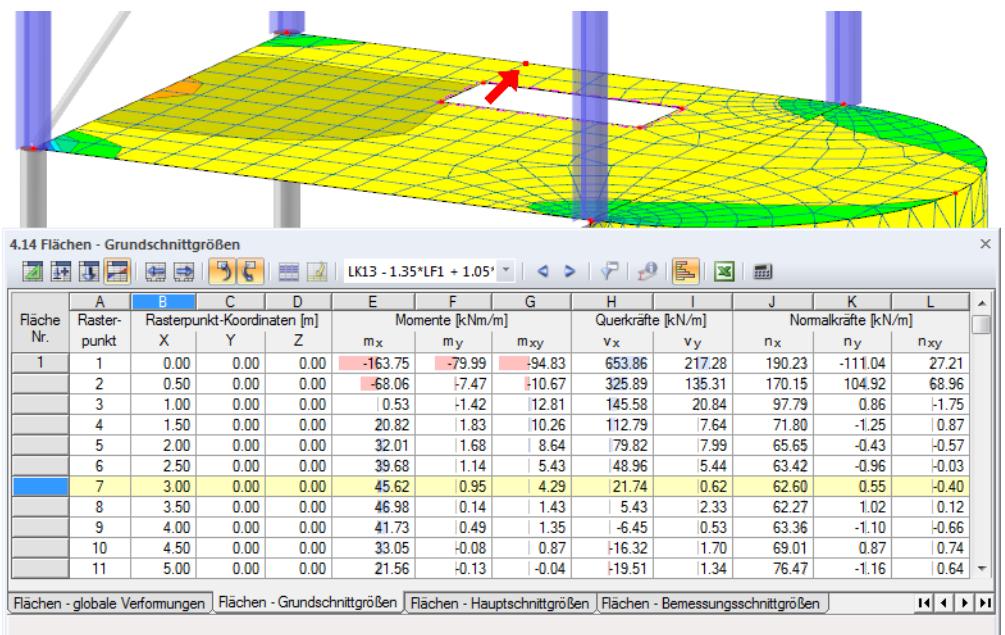
Nach der Berechnung werden automatisch die Ergebnistabellen angezeigt. Wie bei der numerischen Eingabe gibt es auch für die Ergebnisse verschiedene Tabellen. Die Tabelle 4.0 *Gesamt* bietet eine nach Lastfällen und Lastkombinationen geordnete Bilanz des Berechnungsverlaufs.



	B	C	D
	Wert	Einheit	Kommentar
LK13 - 1.35*LF1 + 1.05*LF2 + 0.75*LF3 + 1.5*LF4 + LF5			
Summe Belastung in Richtung X	-1036.80	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	-1036.85	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Y	41.29	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	41.29	kN	Abweichung: 0.00 %
Summe Belastung in Richtung Z	1109.90	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	1109.86	kN	Abweichung: 0.00 %
Maximale Verschiebung in Richtung X	-1.4	mm	Stab Nr. 2, x: 2.80 m
Maximale Verschiebung in Richtung Y	10.3	mm	Stab Nr. 10, x: 2.68 m
Maximale Verschiebung in Richtung Z	11.4	mm	FE-Knoten Nr. 56 (X: 3.00, Y: 2.50, Z: 0.00 m)
Maximale Verschiebung vektoriell	11.4	mm	FE-Knoten Nr. 56 (X: 3.00, Y: 2.50, Z: 0.00 m)
Maximale Verdrehung um X-Achse	3.4	mrاد	FE-Knoten Nr. 90 (X: 0.50, Y: 0.00, Z: 0.00 m)
Maximale Verdrehung um Y-Achse	-3.7	mrاد	FE-Knoten Nr. 104 (X: 1.00, Y: 6.00, Z: 0.00 m)
Maximale Verdrehung um Z-Achse	-2.1	mrاد	Stab Nr. 10, x: 6.70 m

Bild 8.6: Tabelle 4.0 Gesamt

Die weiteren Tabellen lassen sich über die Registerreiter ansteuern. Um z. B. die Schnittgrößen der Deckenplatte in der Tabelle zu finden, ist die Tabelle 4.14 *Flächen - Grundschnittgrößen* einzustellen. Wenn die Fläche nun mit einem Mausklick in der Grafik selektiert wird (die *Darstellungsart Gefüllt transparent* erleichtert die Auswahl), springt das Programm in der Tabelle zu den Grundschnittgrößen dieser Fläche. Der aktuelle Rasterpunkt, d. h. die Position des Cursors in der Tabellenzeile, wird in der Grafik durch einen Pfeil gekennzeichnet.



Fläche Nr.	A Rasterpunkt	B Rasterpunkt-Koordinaten [m]			F Momente [kNm/m]			H Querkräfte [kN/m]		J Normalkräfte [kN/m]		
		X	Y	Z	m _x	m _y	m _{xy}	v _x	v _y	n _x	n _y	n _{xy}
1	1	0.00	0.00	0.00	-163.75	-79.99	-94.83	653.86	217.28	190.23	-111.04	27.21
	2	0.50	0.00	0.00	-68.06	-7.47	-10.67	325.89	135.31	170.15	104.92	68.96
	3	1.00	0.00	0.00	0.53	-1.42	-12.81	145.58	20.84	97.79	0.86	-1.75
	4	1.50	0.00	0.00	20.82	1.83	10.26	112.79	7.64	71.80	-1.25	0.87
	5	2.00	0.00	0.00	32.01	1.68	8.64	79.82	7.99	65.65	-0.43	-0.57
	6	2.50	0.00	0.00	39.68	1.14	5.43	48.96	5.44	63.42	-0.96	-0.03
	7	3.00	0.00	0.00	45.62	0.95	4.29	21.74	0.62	62.60	0.55	-0.40
	8	3.50	0.00	0.00	46.98	0.14	1.43	5.43	2.33	62.27	1.02	0.12
	9	4.00	0.00	0.00	41.73	0.49	1.35	-6.45	0.53	63.36	-1.10	-0.66
	10	4.50	0.00	0.00	33.05	-0.08	0.87	-16.32	1.70	69.01	0.87	0.74
	11	5.00	0.00	0.00	21.56	-0.13	-0.04	-19.51	1.34	76.47	-1.16	0.64

Bild 8.7: Flächenschnittgrößen in Tabelle 4.14 und Kennzeichnung des aktuellen Rasterpunkts am Modell

Wie in der Grafik kann mit den Schaltflächen [◀] und [▶] durch die Lastfälle geblättert oder über die Liste in der Tabellen-Symbolleiste ein bestimmter Lastfall eingestellt werden.

Ergebnisraster anpassen

Die tabellarischen Flächenergebnisse werden in den Rasterpunkten ausgegeben, die für die Fläche definiert sind. Für das Ergebnisraster ist – wie für das FE-Netz – eine Maschenweite von 50 cm voreingestellt.

Um das Raster für die Ergebniswerte der Fläche 1 zu verfeinern, doppelklicken wir die Deckenplatte im Arbeitsfenster (oder den Eintrag im *Daten-Navigator*). Im Dialog *Fläche bearbeiten* nehmen wir dann die Änderungen im Register *Raster* vor: Als neuen Abstand der Rasterpunkte wählen wir für b und h jeweils **25 cm**.

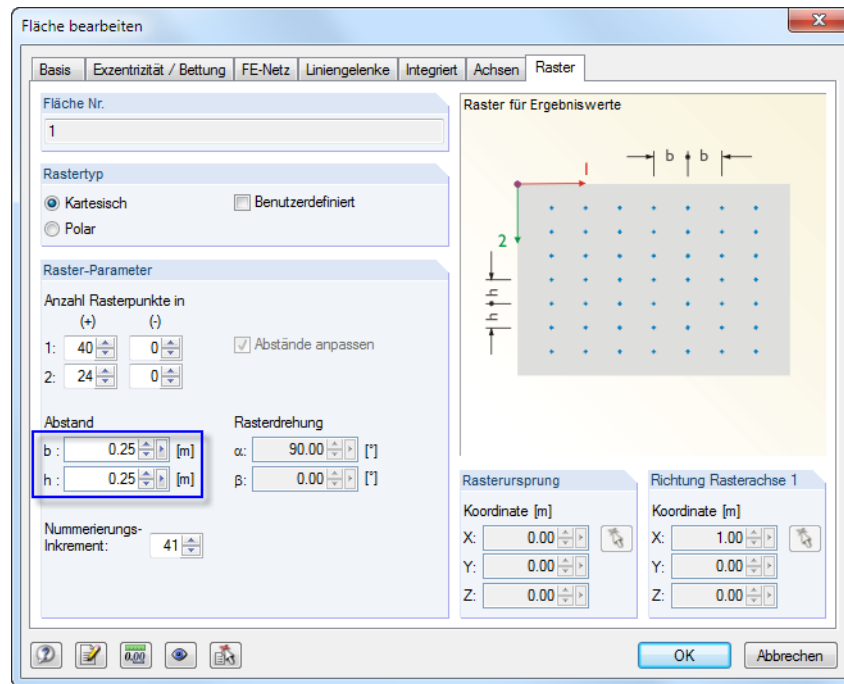


Bild 8.8: Raster für Ergebniswerte ändern

Nach [OK] werden die Ergebniswerte in der Tabelle aktualisiert. Es ist keine Neuberechnung erforderlich, da die Rasterpunkt-Ergebnisse aus den Werten in den FE-Knoten ermittelt werden.

4.14 Flächen - Grundschnittgrößen

LK13 - 1.35*LF1 + 1.05*

Fläche Nr.	A Raster- punkt	B C D Rasterpunkt-Koordinaten [m]			E F G Momente [kNm/m]			H I Querkräfte [kN/m]		J K L Normalkräfte [kN/m]		
		X	Y	Z	m_x	m_y	m_{xy}	v_x	v_y	n_x	n_y	n_{xy}
1	1	0.00	0.00	0.00	-163.75	-79.99	-94.83	653.86	217.28	190.23	-111.04	27.21
	2	0.25	0.00	0.00	-115.90	-43.73	-52.75	489.88	176.30	180.19	-3.06	48.09
	3	0.50	0.00	0.00	-68.06	-7.47	-10.67	325.89	135.31	170.15	104.92	68.96
	4	0.75	0.00	0.00	-33.77	-4.44	1.07	235.74	78.08	133.97	52.89	33.61
	5	1.00	0.00	0.00	0.53	-1.42	12.81	145.58	20.84	97.79	0.86	-1.75
	6	1.25	0.00	0.00	10.67	0.20	11.53	129.19	14.24	84.79	-0.20	-0.44
	7	1.50	0.00	0.00	20.82	1.83	10.26	112.79	7.64	71.80	-1.25	0.87
	8	1.75	0.00	0.00	26.42	1.75	9.45	96.31	7.81	68.72	-0.84	0.15
	9	2.00	0.00	0.00	32.01	1.68	8.64	79.82	7.99	65.65	-0.43	-0.57
	10	2.25	0.00	0.00	35.85	1.41	7.04	64.39	6.72	64.53	-0.69	-0.30
	11	2.50	0.00	0.00	39.68	1.14	5.43	48.96	5.44	63.42	-0.96	-0.03
	12	2.75	0.00	0.00	42.65	1.04	4.86	35.35	3.03	63.01	-0.20	-0.22
	13	3.00	0.00	0.00	45.62	0.95	4.29	21.74	0.62	62.60	0.55	-0.40
	14	3.25	0.00	0.00	46.30	0.55	2.86	13.58	1.47	62.43	0.78	-0.14

Flächen - globale Verformungen | Flächen - Grundschnittgrößen | Flächen - Hauptschnittgrößen | Flächen - Bemessungsschnittgrößen

Bild 8.9: Ergebniswerte der Fläche 1 mit verfeinertem Raster

8.3 Ergebnisse filtern

RFEM bietet verschiedene Hilfsmittel an, mit denen die Ergebnisse übersichtlich dargestellt und ausgewertet werden können. Diese Tools lassen sich auch für unser Beispiel nutzen.

8.3.1 Benutzerdefinierte Sichtbarkeiten

Bereits bei der Eingabe des Stahlrahmens haben wir mit einem Ausschnitt gearbeitet (siehe Kapitel 4.5.1, Seite 31). Diese Funktion ist auch gut geeignet, um die Ergebnisse auszuwerten.

Ergebnisse der Betonstützen anzeigen

Wir stellen im Navigator das Register *Ansichten* ein. Unter den *Sichtbarkeiten*, die RFEM aus den Eingaben automatisch erzeugt hat, wählen wir die *Stäbe querschnittsweise* aus und haken dort den Eintrag *Kreis 300* an.

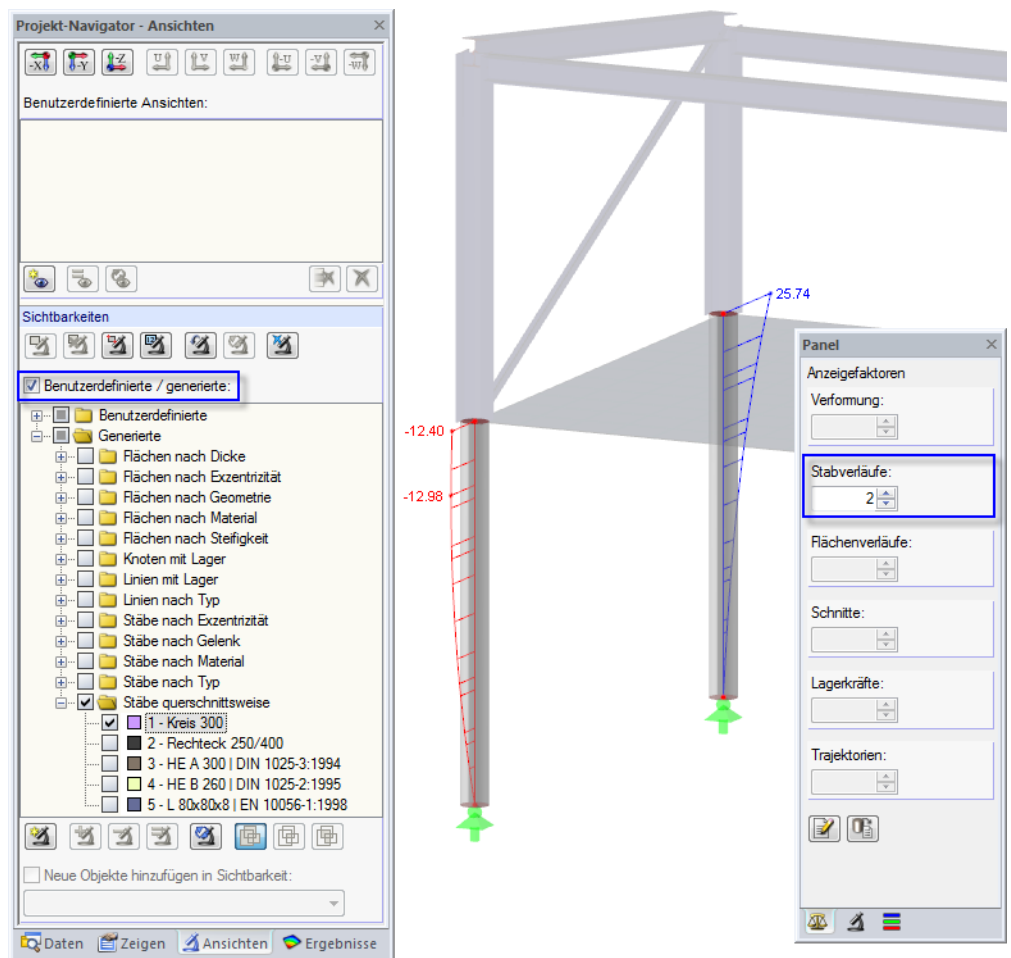


Bild 8.10: Momente M_z der Betonstützen in überhöhter Darstellung (LK13)

Es werden die beiden Betonstützen mit Ergebnissen dargestellt. Das restliche Modell ist nur hinterlegt und ohne Ergebnisse.

Überhöhungsfaktor anpassen

Um den Schnittgrößenverlauf gut am gerenderten Modell ablesen zu können, nehmen wir im Steuerungs-Register des Panels eine Skalierung der Anzeige vor: Wir ändern den Faktor der *Stabverläufe* auf **2** (siehe Bild oben).

Ergebnisse der Deckenplatte anzeigen

In gleicher Weise kann im *Ansichten*-Navigator nach Flächenergebnisse gefiltert werden. Wir deaktivieren die *Stäbe querschnittsweise* und wählen stattdessen die *Flächen nach Geometrie* aus. Dort haken wir den Eintrag *Ebene* an.



Wenn wir über die Schaltfläche [Verformungen] in der Symbolleiste die Ergebnisart ändern, erhalten wir folgende Darstellung.

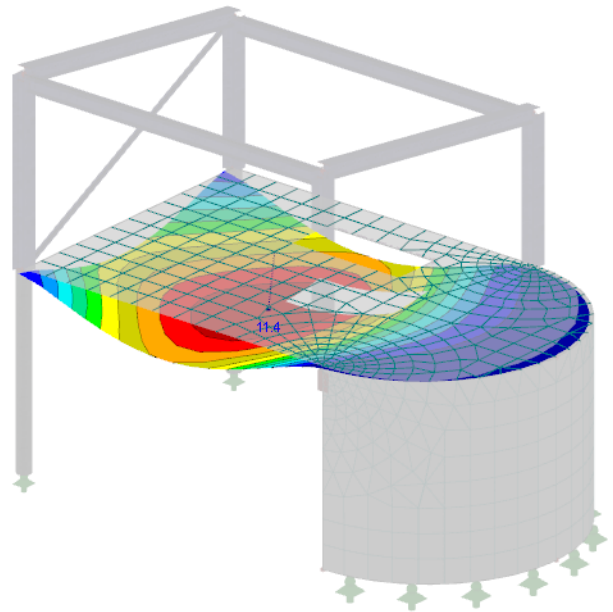
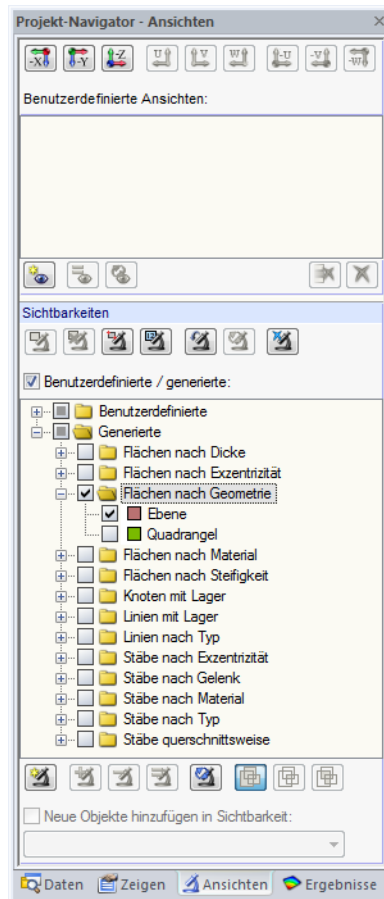


Bild 8.11: Verformungen der Decke (LK13)

Über den *Ergebnisse*-Navigator (siehe Bild 8.3, Seite 79) kann wie beschrieben die Anzeige der Ergebnisarten (Verformungen, Schnittgrößen, Spannungen etc.) gewechselt werden.

Verformungen der Stahlkonstruktion darstellen

Wir deaktivieren im Ansichten-Navigator die *Flächen nach Geometrie* und wählen nun die *Stäbe nach Material* aus. Dort haken wir den Eintrag *Baustahl S 235* an.

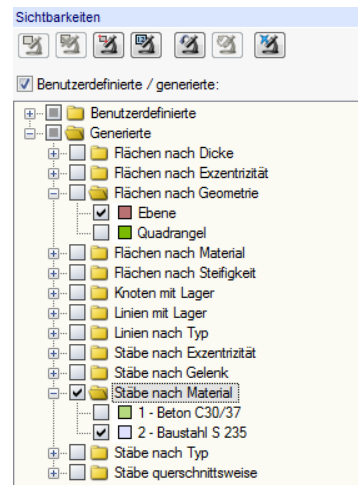


Bild 8.12: Stahlstäbe im *Ansichten-Navigator* filtern

Die Grafik zeigt nun die Verformungen der Stahlkonstruktion als Linien an.

Es ist auch möglich, die Verformungen der Querschnitte darzustellen: Wir wechseln in den *Zeigen-Navigator* und aktivieren dort den Eintrag

Ergebnisse → Verformung → Stäbe → Querschnitte farbig.

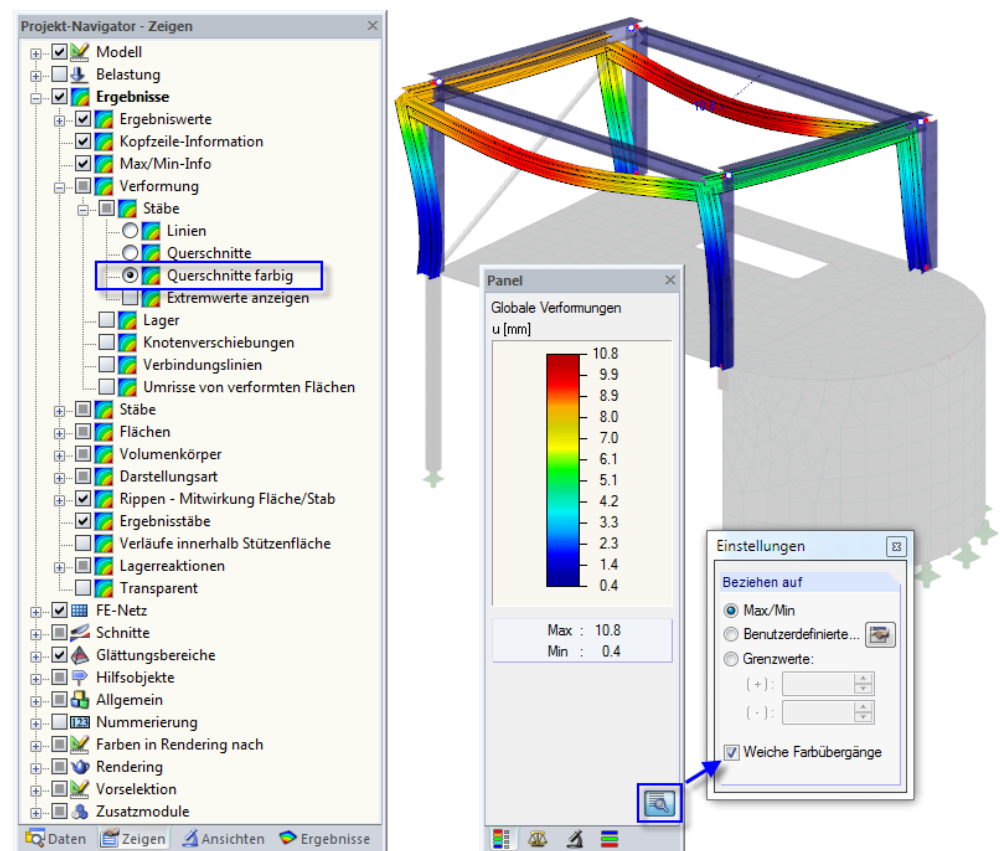


Bild 8.13: Verformungen der Stahlquerschnitte (LK13)

Über die Panel-Schaltfläche [Details] kann die Option *Weiche Farbübergänge* aktiviert werden.





Es werden keine Verformungen des L-Profils z. B. in der LK13 angezeigt. Diesen Stab haben wir als Zugstab definiert. Die Verformungsfigur zeigt jedoch, dass Druckkräfte auftreten. Sie führen zum Ausfall der Diagonalen, d. h. dieser Stab ist im System nicht wirksam.

8.3.2 Ergebnisse an Objekten



Eine weitere Filtermöglichkeit besteht im Filter-Register des Steuerpanels: Dort können die Nummern bestimmter Stäbe oder Flächen angegeben werden, um deren Ergebnisse exklusiv anzuzeigen. Im Unterschied zur Ausschnittfunktion wird das Modell vollständig angezeigt.

Zunächst deaktivieren wir im *Ansichten*-Navigator die Option *Benutzerdefinierte / generierte* Sichtbarkeiten.

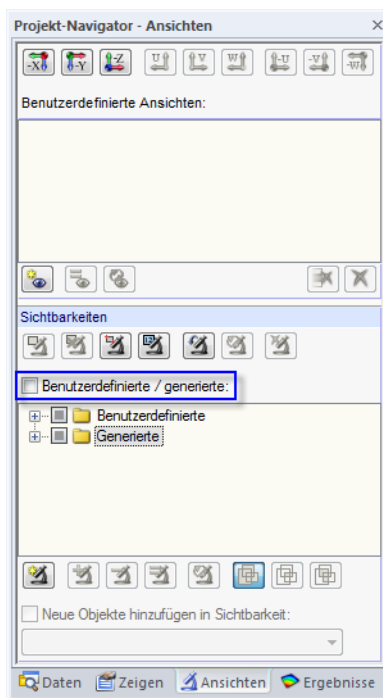


Bild 8.14: Gesamtdarstellung wiederherstellen im *Ansichten*-Navigator

Im *Ergebnisse*-Navigator wählen wir dann die Normalkräfte N der Stäbe zur Anzeige aus. Falls auch Ergebnisse für *Flächen* angezeigt werden sollten, deaktivieren wir diese.

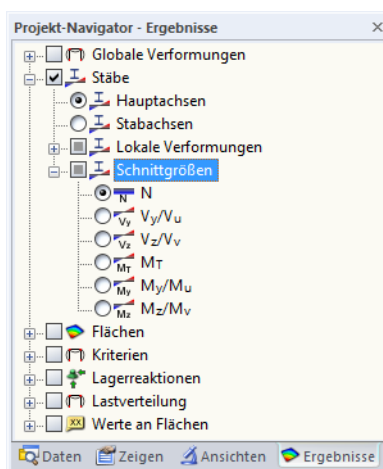


Bild 8.15: Stabnormalkräfte N anzeigen im *Ergebnisse*-Navigator

Spezielle Selektion

Um nur die Normalkräfte der Stützen anzuzeigen, selektieren wir zunächst alle Stäbe in vertikaler Lage. Hierzu nutzen wir eine besondere Selektionsmöglichkeit über Menü

Bearbeiten → Selektieren → Speziell

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Wir wählen die Kategorie *Stäbe* und dort die Option *Parallel zu Stab*.

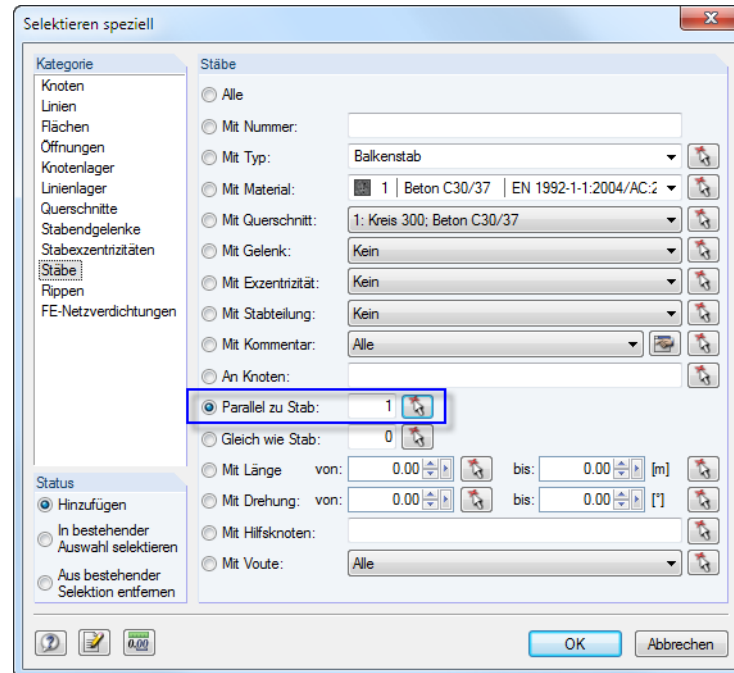


Bild 8.16: Parallele Stäbe selektieren



Über [Pick] wählen wir einen der Stützenstäbe im Arbeitsfenster aus. Nach dem Schließen der Dialoge mit [OK] sind alle Stäbe in vertikaler Lage selektiert.

Stützen-Normalkräfte anzeigen



Im Panel wechseln wir in das Filter-Register. Dort aktivieren wir das Auswahlfeld *Stäbe*.

Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Von der Selektion übernehmen] werden die Nummern aller Stützenstäbe in das Eingabefeld oben übertragen. In der Grafik verschwinden die Normalkräfte der Rippe und der Riegel- sowie Pfettenstäbe.

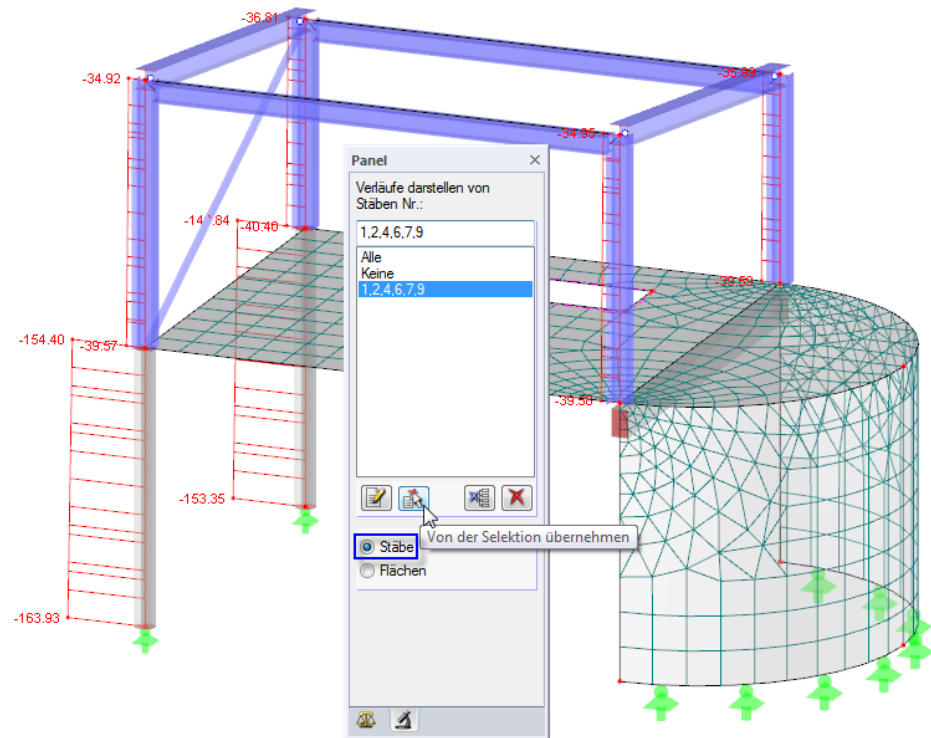


Bild 8.17: Normalkräfte der Stützen (LK13)

8.3.3 Wertebereiche

Im Farbskala-Register des Panels besteht die Möglichkeit, nach Ergebniswerten zu filtern.

Zunächst entfernen wir im *Ergebnisse*-Navigator das Häkchen bei den Stabergebnissen und bringen stattdessen die Flächen-Grundschnittgrößen n_x zur Anzeige. Hier handelt es sich um die Normalkräfte, die in Richtung der lokalen Flächenachse x wirken. Bei der gekrümmten Wandfläche zeigt die Achse x nach unten.

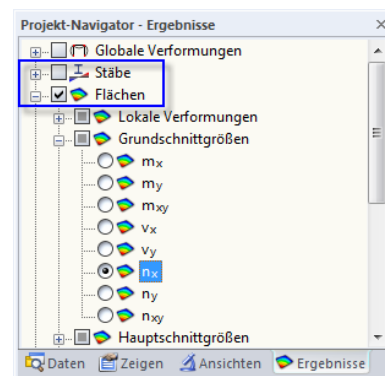


Bild 8.18: Grundschnittgrößen n_x anzeigen

Bei der Wandfläche sind im Bereich der oberen Bogenendknoten hohe Druckkräfte erkennbar, die z. B. in der LK13 aus den beiden Stahlstützen und über die Rippe eingeleitet werden. Hier handelt es sich um Singularitätseffekte.



Um die Spitzenwerte für die Auswertung zu kappen, wechseln wir in das Farbskala-Register des Panels. Wir doppelklicken die Farbskala und rufen so den Dialog *Werte- und Farbskalen bearbeiten* auf.

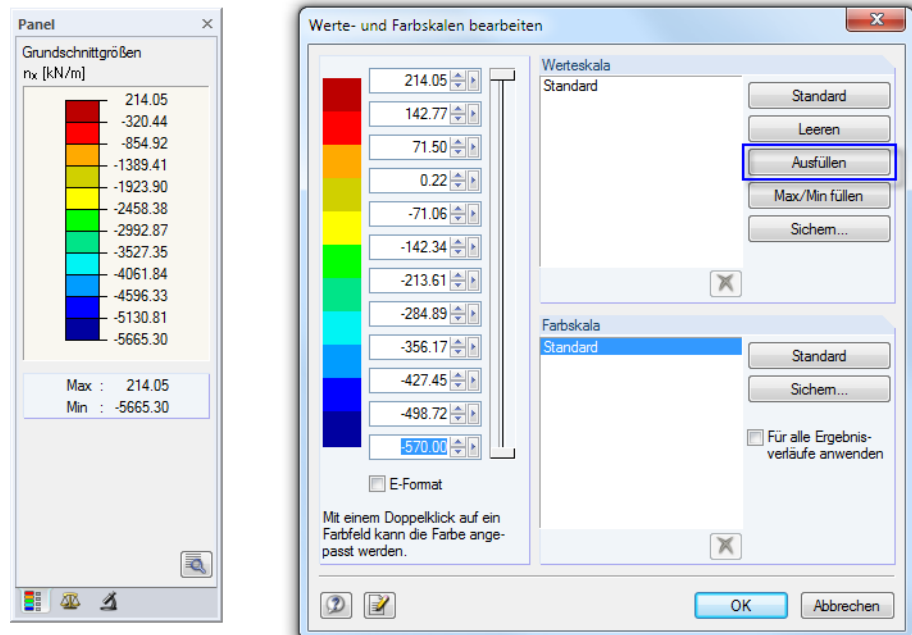


Bild 8.19: Extremwert für Anzeige ändern und Werteskala [Ausfüllen]

Wir reduzieren den Extremwert der Druckkräfte wie im Bild oben z. B. für die LK13 dargestellt (-570 kN/m statt -5665.30 kN/m). Danach lassen wir über [Ausfüllen] die Werteskala in gleichmäßige Bereiche zwischen oberem und unterem Grenzwert unterteilen.

Nach [OK] wird der Kräfteverlauf differenzierter dargestellt. Der Bereich der abhebenden Kräfte ist nun gut erkennbar. Singularitätsstellen, die die Farbskala nicht abdeckt, sind ohne Farbe.

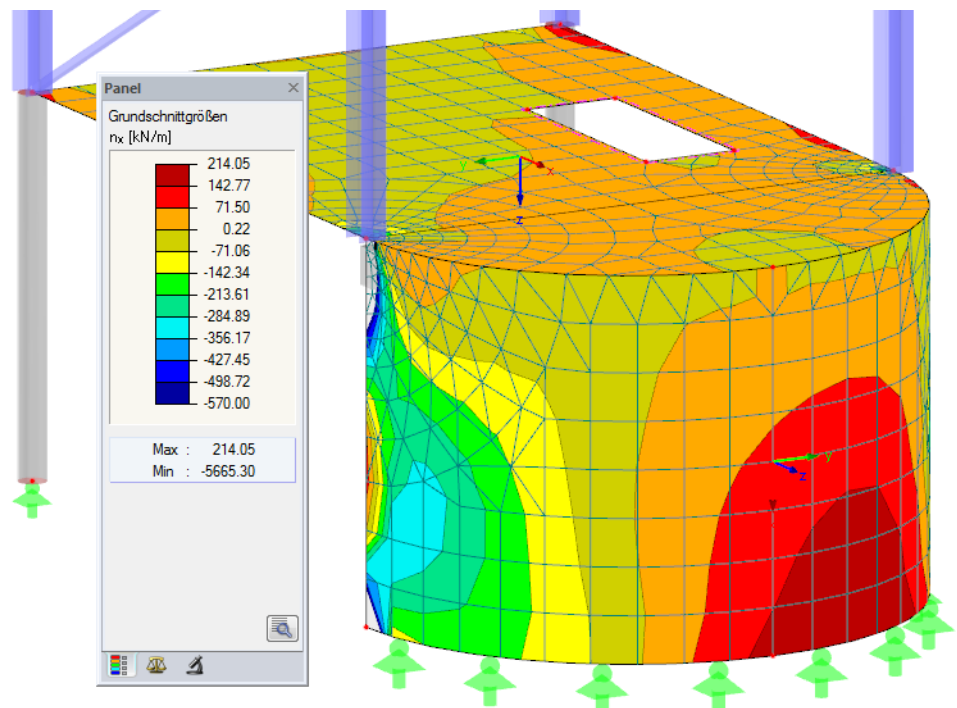


Bild 8.20: Verlauf der Wand-Normalkräfte mit angepasster Werteskala (gekappte Spitzen, Druck- und Zugbereich)

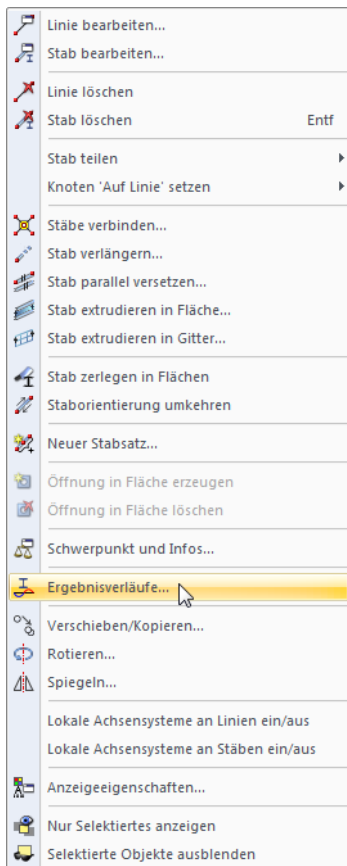
8.4 Ergebnisverläufe anzeigen

Die Ergebnisse lassen sich auch in einem Diagramm auswerten, das für Linien, Stäbe, Linienlager und Schnitte (siehe Kapitel 8.5) zur Verfügung steht. Wir nutzen diese Funktion, um den Ergebnisverlauf im Unterzug näher zu betrachten.

Wir blenden die Flächenergebnisse aus. Dann stellen wir im Register *Filter* des Panels wieder die Option **Alle** für die Verläufe der *Stäbe* ein (siehe Bild 8.17, Seite 88).

Wir klicken den Stab 3 mit der rechten Maustaste an und wählen dann im Kontextmenü die Option *Ergebnisverläufe*.

Es öffnet sich ein neues Fenster mit den Ergebnisverläufen des Rippenstabes.



Kontextmenü *Stab*

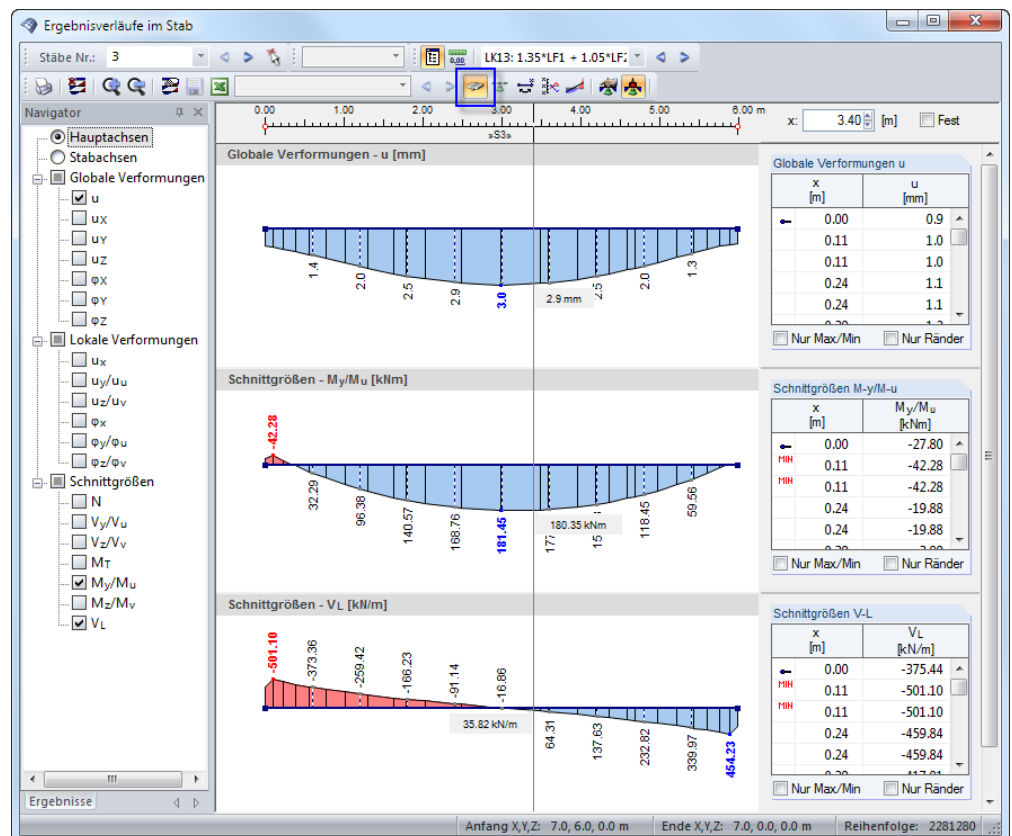


Bild 8.21: Ergebnisverläufe des Unterzugs anzeigen

Im Navigator haken wir die globalen Verformungen u sowie die Schnittgrößen M_y und $V-I$ an. Die letzte Option stellt die Längsschubkraft zwischen Fläche und Stab dar. Diese Kräfte werden angezeigt, wenn in der Symbolleiste die Schaltfläche [Rippe] aktiv ist. Durch Ein- und Ausschalten dieser Schaltfläche ist der Unterschied zwischen den reinen Stabschnittgrößen und den Rippenschnittgrößen mit den Integrationsanteilen aus den Flächen gut zu erkennen.

Die Größendarstellung der Ergebnisverläufe kann mit den Schaltflächen [+] und [-] angepasst werden.

Auch in diesem Fenster können wir mit den Schaltflächen [◀] und [▶] durch die Lastfälle blättern oder über die Liste die Ergebnisse eines Lastfalls einstellen.

Wir beenden die Funktion *Ergebnisverläufe* wieder, indem wir das Fenster schließen.

8.5 Schnitt erstellen

Die Auswertung wird durch benutzerdefinierte Schnitte erleichtert, die als Ebenen durch das Modell gelegt werden. Im Navigator werden die Schnitte als eigenständige Objekte verwaltet.

Wir legen einen neuen Schnitt an über das Menü

Einfügen → Schnitte

oder das Schnitte-Kontextmenü im *Daten*-Navigator.

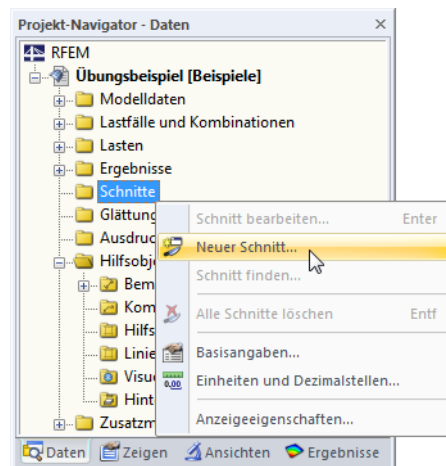


Bild 8.22: Kontextmenü *Schnitte* im *Daten*-Navigator

Im Dialog *Neuer Schnitt* tragen wir die *Schnitt-Bezeichnung* **Mitte** ein, denn der Schnitt soll längs in Plattenmitte erfolgen.

Die Randpunkte des Schnittes legen wir über [Pick] grafisch fest: Wir klicken den Mittelpunkt der Linie 1 (globale Koordinaten: 0.000/3.000/0.000) und dann den Bogenknoten 5 an.

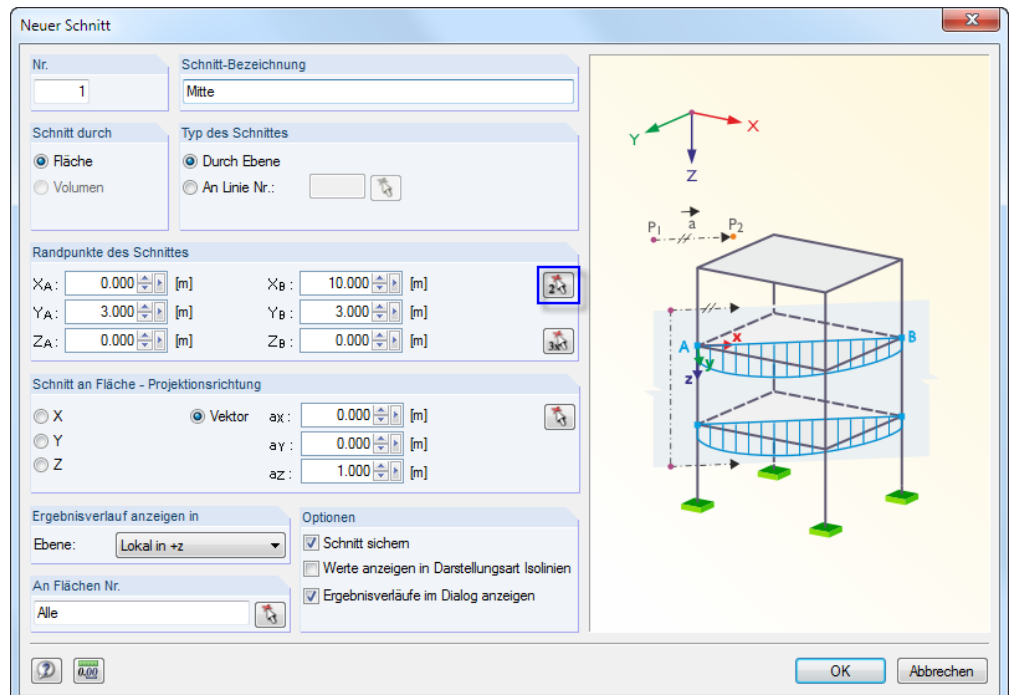
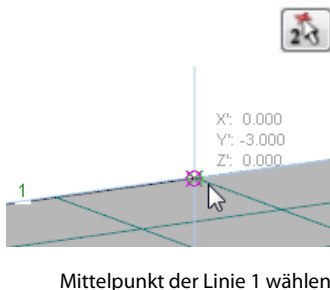


Bild 8.23: Schnitt definieren

Wir belassen die übrigen Voreinstellungen und bestätigen den Dialog mit [OK].

Das bereits bekannte *Ergebnisverläufe*-Fenster erscheint. Im Navigator haken wir die globalen Verformungen u sowie die Grundschnittgrößen m_x und n_x an. Die Ergebnisse der vom Schnitt erfassten Flächen $F1$ und $F2$ werden fortlaufend an einer Linie angetragen.

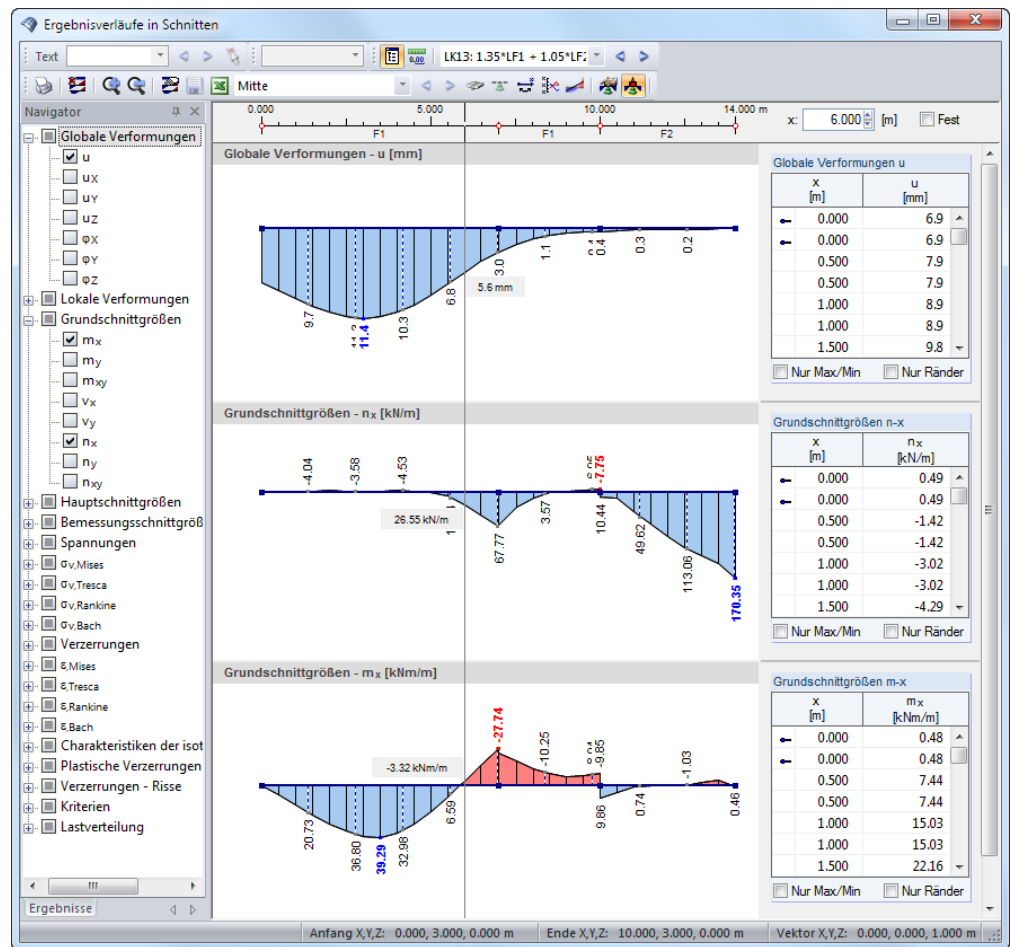


Bild 8.24: Schnittanzeige im *Ergebnisverläufe*-Fenster



Nach dem [Schließen] des *Ergebnisverläufe*-Fensters ist der Schnitt auch im RFEM-Arbeitsfenster zu sehen. Dort stellen wir die Grundschnittgrößen m_x ein.

Wir deaktivieren die Flächenergebnisse, um nur die Ergebnisverläufe entlang des Schnitts darzustellen (siehe Bild 8.26).

Mit der gefüllten Darstellungsoption für Schnitte, die im *Zeigen*-Navigator verfügbar ist, können wir den Momentenverlauf am Modell hervorheben.

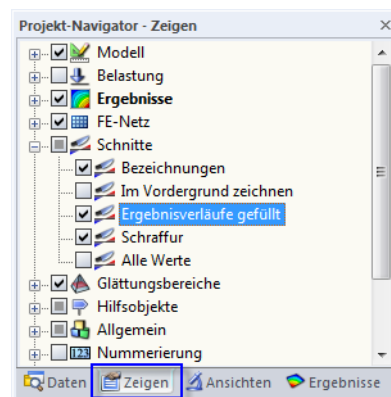


Bild 8.25: Darstellungsoptionen für Schnitte im *Zeigen*-Navigator

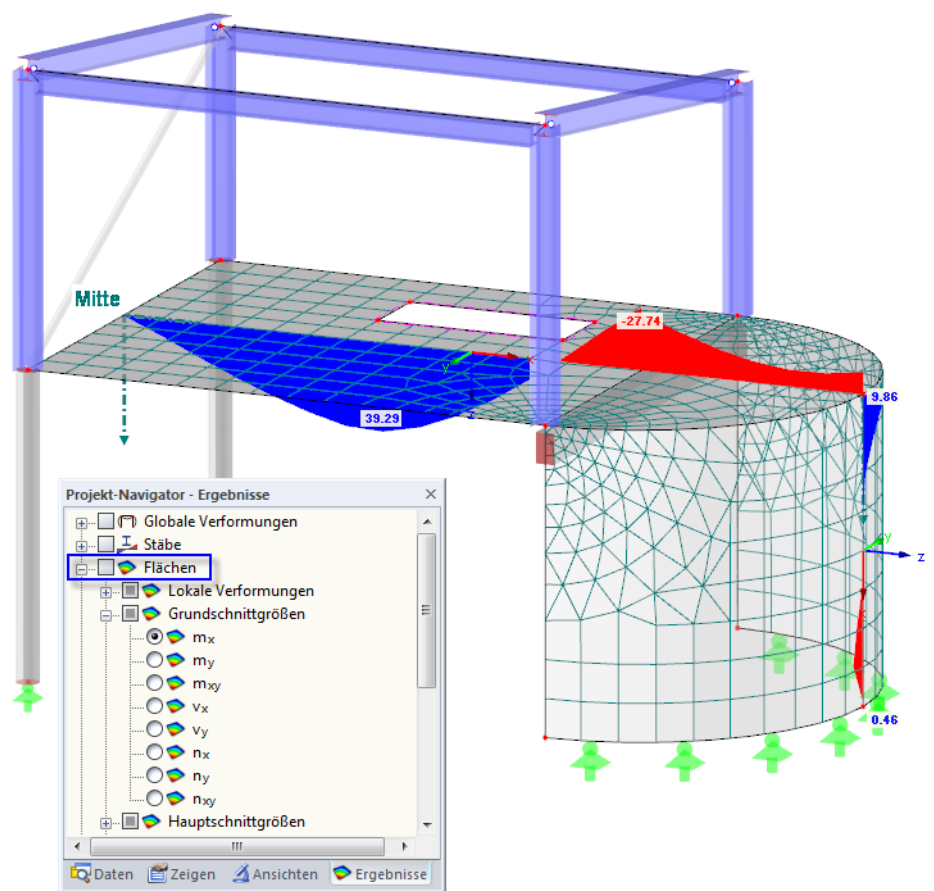


Bild 8.26: Schnitt am Modell anzeigen

9. Dokumentation

9.1 Ausdruckprotokoll erstellen

Es ist nicht ratsam, die umfangreichen Ergebnisse einer FE-Berechnung direkt auszudrucken. In RFEM wird deshalb aus den Ein- und Ausgabedaten zunächst eine Druckvorschau erzeugt – das „Ausdruckprotokoll“. Dort wird festgelegt, welche Daten im Ausdruck erscheinen sollen. Das Ausdruckprotokoll kann mit Grafiken, Erläuterungen oder Scans ergänzt werden.



Wir starten das Ausdruckprotokoll über Menü

Datei → Ausdruckprotokoll öffnen

oder die entsprechende Schaltfläche. Es erscheint ein Dialog, in dem wir ein *Muster* als Vorlage für das neue Ausdruckprotokoll wählen können.

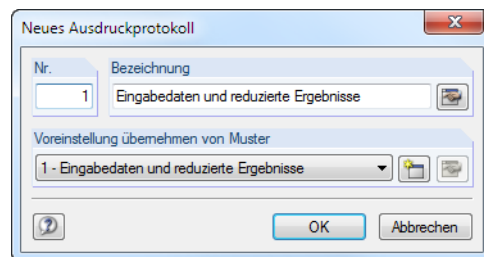


Bild 9.1: Dialog Neues Ausdruckprotokoll

Wir akzeptieren das Muster 1 - *Eingabe und reduzierte Ergebnisse* und lassen mit [OK] die Druckvorschau erstellen.

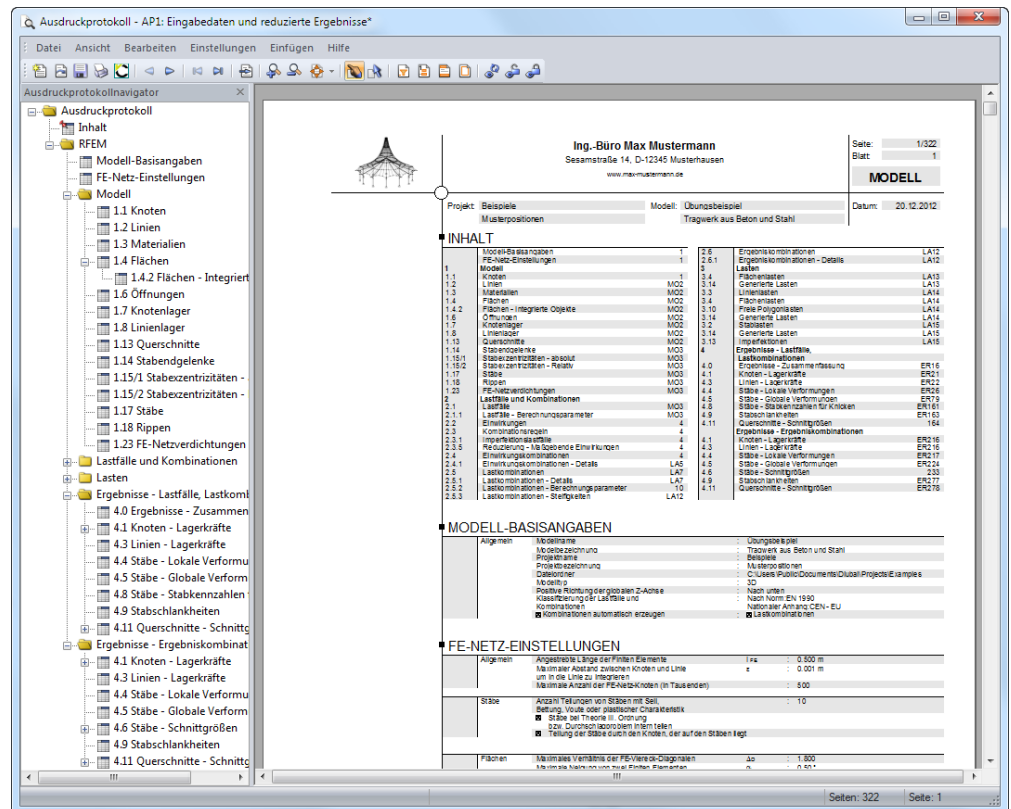


Bild 9.2: Druckvorschau im Ausdruckprotokoll

9.2 Ausdruckprotokoll anpassen

Auch das Ausdruckprotokoll besitzt einen Navigator, der alle ausgewählten Kapitel auflistet. Mit einem Klick auf einen Navigatoreintrag wird rechts der Inhalt dieses Kapitels angezeigt.

Die voreingestellten Inhalte lassen sich detailliert steuern. Wir passen die Ausgabe der Stabschnittgrößen an: Im Kapitel *Ergebnisse - Ergebniskombinationen* klicken wir den Eintrag *Stäbe - Schnittgrößen* mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü die *Selektion...*

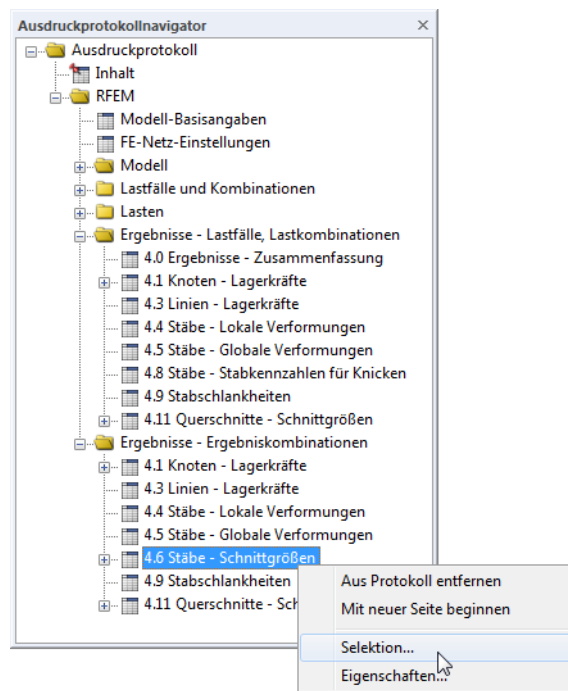


Bild 9.3: Kontextmenü *Stäbe - Schnittgrößen*

Es erscheint ein Dialog, der gezielte Auswahlmöglichkeiten für die EK-Ergebnisse von Stäben bietet (siehe folgendes Bild).

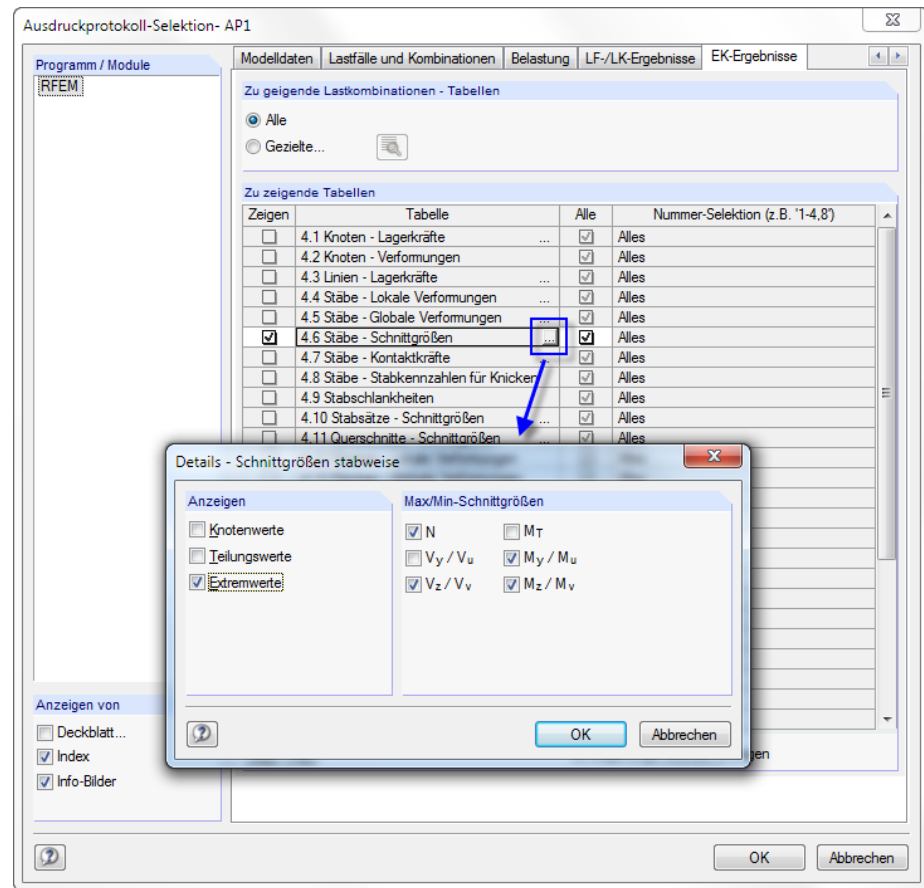


Bild 9.4: Schnittgrößenausgabe reduzieren über Ausdruckprotokoll-Selektion

Wir setzen den Cursor in die Zelle **4.6 Stäbe - Schnittgrößen**. Die Schaltfläche [...] erscheint, über die wir den Dialog **Details - Schnittgrößen stabweise** öffnen. Dort beschränken wir die Ausgabe auf die **Extremwerte** der Stabschnittgrößen **N**, **V_z**, **M_y** und **M_z**.

Nach dem Bestätigen der Dialoge wird die Schnittgrößenausgabe entsprechend angepasst.

Ausdruckprotokoll - AP1: Eingabedaten und reduzierte Ergebnisse*

Datei

Ansicht

Bearbeiten

Einstellungen

Einfügen

Hilfe

</

Bild 9.5: Extremwerte der Stabschnittgrößen N, V_z, M_y und M_z für EK1 im Ausdruckprotokoll

Analog lassen sich alle anderen Kapitel für die Druckausgabe einrichten.

Um die Position eines Kapitels im Ausdruckprotokoll zu verändern, wird es im Navigator einfach mit der Maus an die neue Stelle verschoben (Drag-and-Drop). Das Löschen ist über das Kontextmenü (siehe Bild 9.3) oder mit der [Entf]-Taste möglich.

9.3 Grafiken in Ausdruckprotokoll drucken

In der Regel werden Grafiken in die Druckausgabe eingebunden, die die Dokumentation veranschaulichen.

Verformungsgrafik drucken

Wir schließen das Ausdruckprotokoll mit [X]. Es erscheint die Abfrage *Wollen Sie das Ausdruckprotokoll speichern?* Wir bestätigen mit [Ja] und kehren in das RFEM-Arbeitsfenster zurück.

In der Menüleiste stellen wir die *Verformungen* der **EK1 - GZT (STR/GEO)** ein und positionieren die Grafik passend. Wir blenden die *Schnitte* im *Ergebnisse*-Navigator wieder aus.

Bei jeder Ergebniskombination liegen zwei Ergebnisse vor – die maximalen und die minimalen Extremwerte. Die beiden Werte werden in der Grafik gleichzeitig dargestellt. Für unsere Druckgrafik lassen wir nur die *Max-Werte* anzeigen.

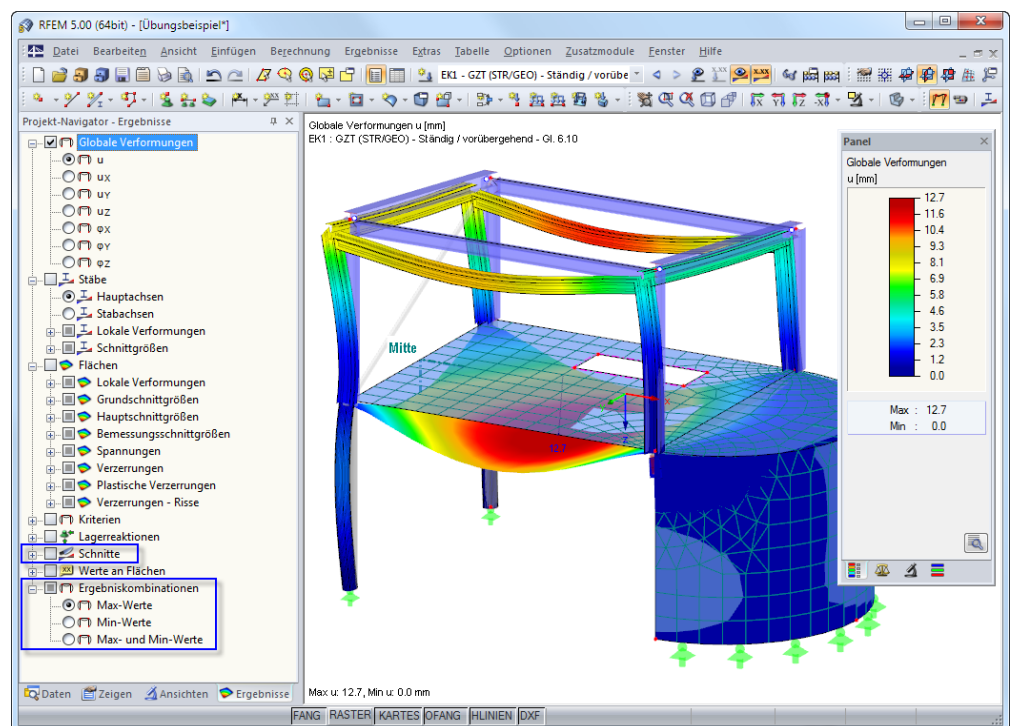


Bild 9.6: Maximale Verformungsergebnisse der EK1 anzeigen

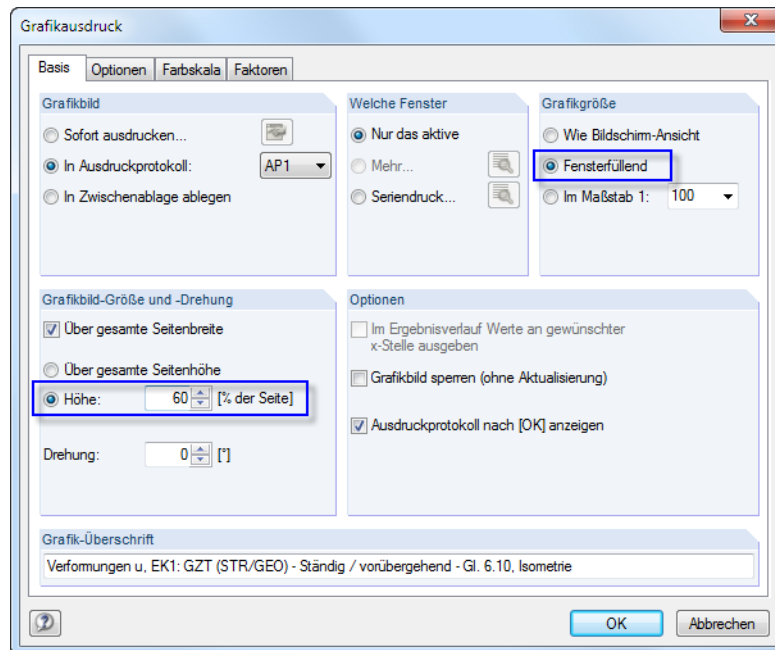
Diese Darstellung übergeben wir nun in das Ausdruckprotokoll über Menü

Datei → Drucken

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Es erscheint der Dialog *Grafikausdruck* (siehe folgendes Bild).



Bild 9.7: Dialog *Grafikausdruck*

Wir stellen die Druckparameter wie in Bild 9.7 gezeigt ein. Die Voreinstellungen in den Registern *Optionen* und *Farbskala* brauchen nicht verändert werden.

Mit [OK] drucken wir die Verformungsgrafik in das Ausdruckprotokoll. Die Abbildung erscheint am Ende des Kapitels *Ergebnisse - Ergebniskombinationen*.

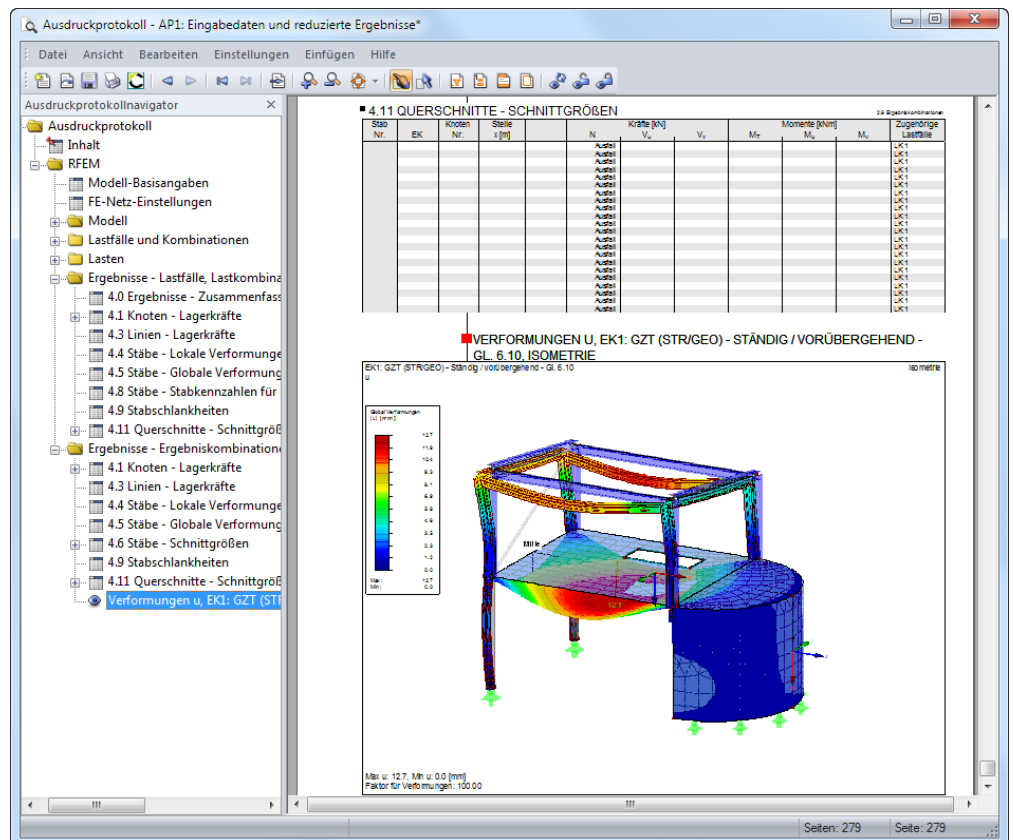


Bild 9.8: Verformungsgrafik im Ausdruckprotokoll

Ergebnisverläufe drucken

Abschließend dokumentieren wir den Schnittgrößenverlauf einer Stahlpfette. Wir schließen das Ausdruckprotokoll wieder mit [X].

Im RFEM-Arbeitsfenster klicken wir den Stab 11 (Pfette an hoher Traufe) mit der rechten Maustaste an. Im Stab-Kontextmenü (siehe Seite 90) wählen wir die Option *Ergebnisverläufe*, um das Ergebnisdiagramm aufzurufen.

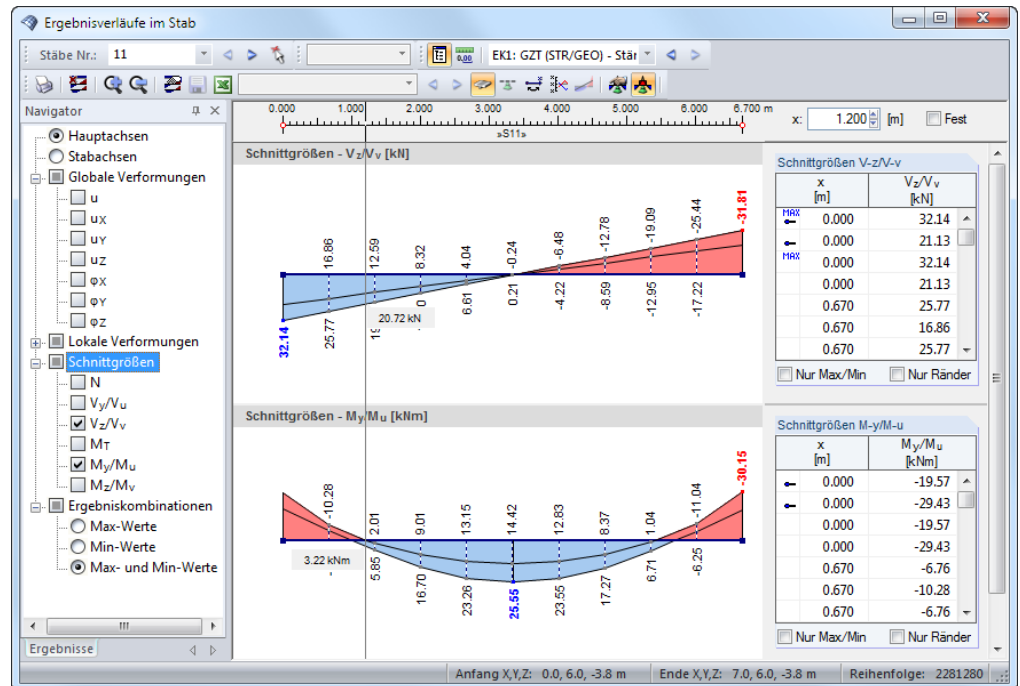


Bild 9.9: Querkraft- und Momentenverlauf der Pfette

Im Fenster werden die Ergebnisverläufe der *EK1* dargestellt. Für den Ausdruck haken wir die Schnittgrößen V_z/V_v und M_y/M_u an. Das Ergebnisdiagramm zeigt die *Max- und Min-Werte* an.

Mit der Schaltfläche [Drucken] rufen wir den Dialog *Grafikausdruck* auf. Wir belassen die Voreinstellungen im Register *Basis*. Im Register *Optionen* nehmen wir zwei kleine Änderungen vor.

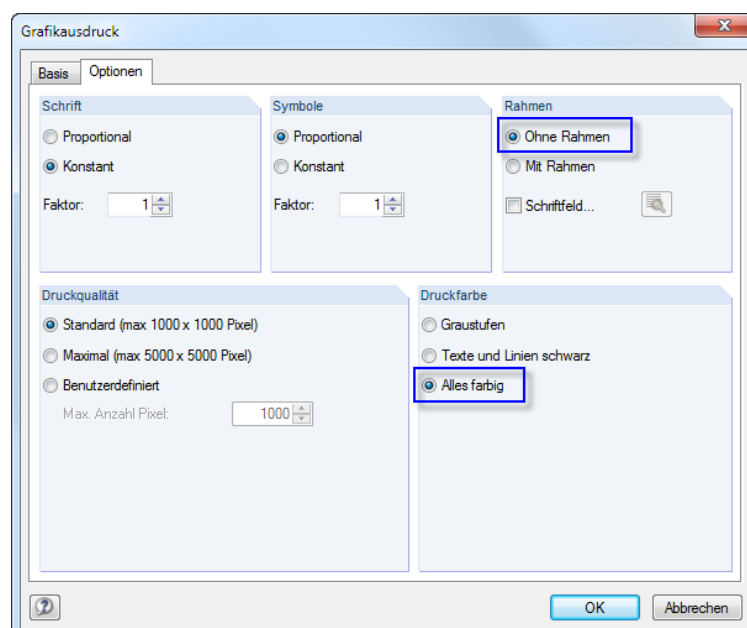


Bild 9.10: Dialog *Grafikausdruck*, Register *Optionen*

Mit [OK] übergeben wir die Grafik in das Ausdruckprotokoll.

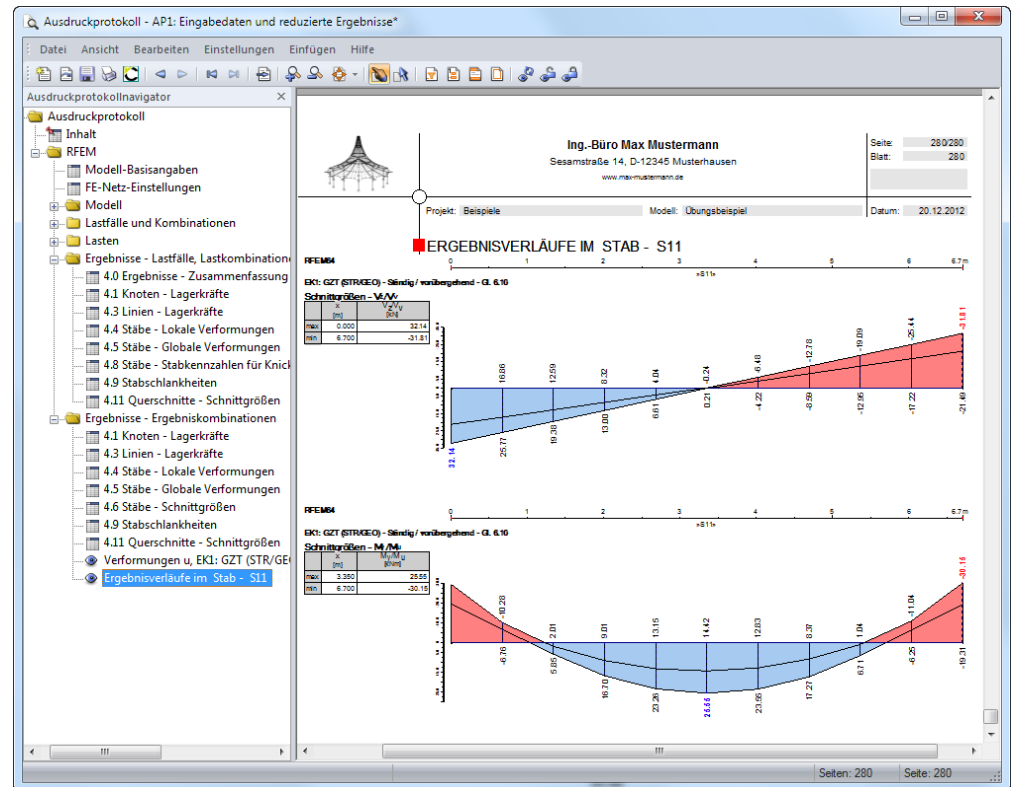


Bild 9.11: Schnittgrößenverläufe der Pfette im Ausdruckprotokoll

Sprache im Ausdruckprotokoll ändern

Die Sprache im Ausdruckprotokoll ist unabhängig von der Sprache der RFEM-Benutzeroberfläche. Wir können somit in der deutschen Version z. B. ein englisches Ausdruckprotokoll erzeugen. Hierzu nutzen wir das Ausdruckprotokoll-Menü

Einstellungen → Sprache.

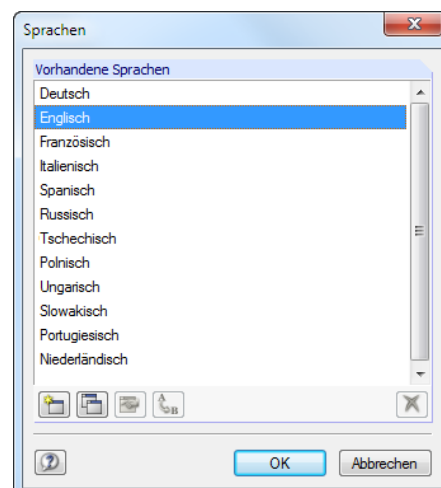


Bild 9.12: Sprache für Ausdruckprotokoll ändern

Im Dialog *Sprachen* legen wir **Englisch** (oder eine andere Sprache) als neue Sprache fest. Die Änderungen können wir nach [OK] in der Druckvorschau überprüfen.

Benutzerdefinierte Einträge wie z. B. Lastfallbezeichnungen oder Kommentare werden nicht übersetzt.



Ausdruckprotokoll drucken

Ist das Ausdruckprotokoll vollständig aufbereitet, kann es mit der Schaltfläche [Drucken] zum Drucker geschickt werden.

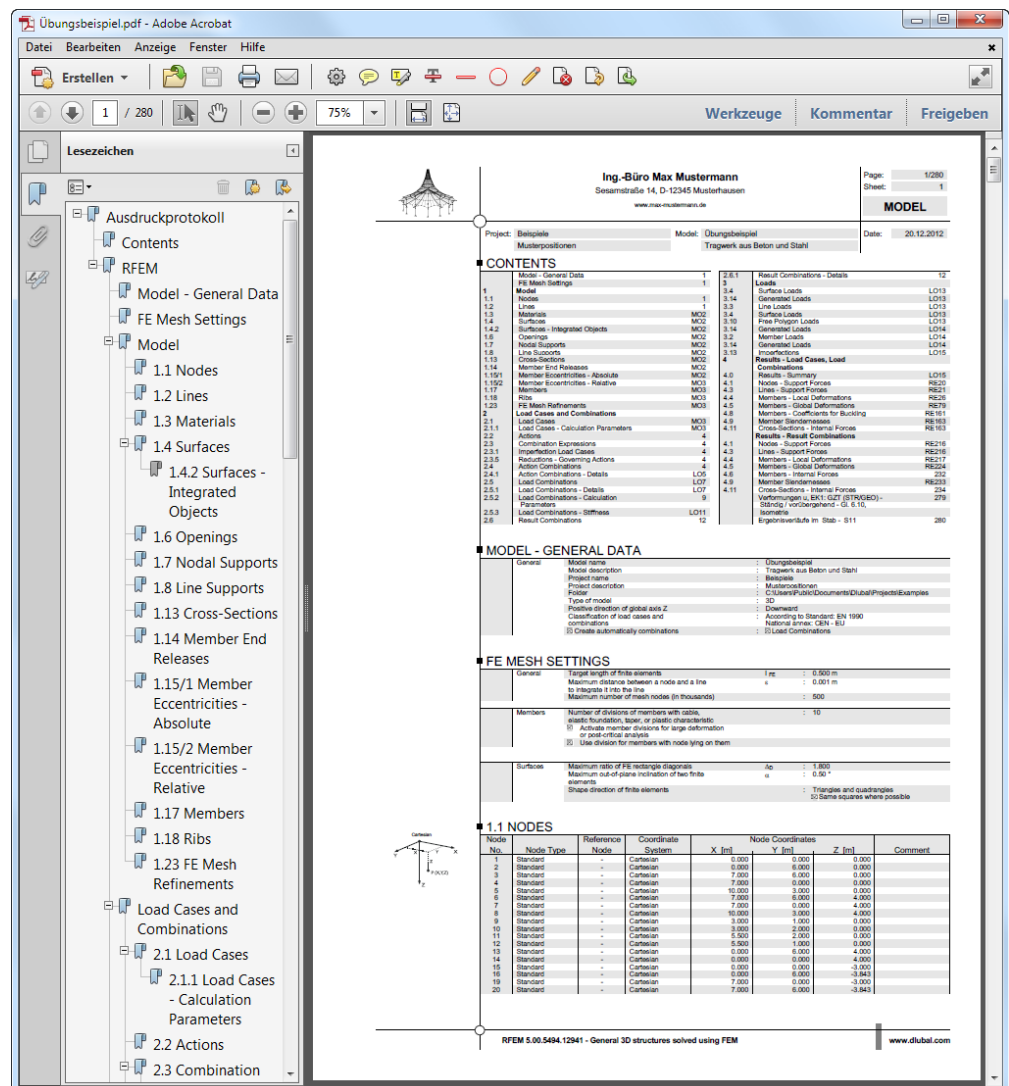
Der integrierte PDF-Drucker ermöglicht es, die Daten des Ausdrucksprotokolls auch als PDF-Datei auszugeben. Wir nutzen diese Funktion über das Ausdruckprotokoll-Menü

Datei → Export in PDF.

Im Windows-Dialog *Speichern unter* geben wir den Speicherort und Dateinamen an.

Mit dem [Speichern] wird eine PDF-Datei mit Lesezeichen erzeugt, die das Navigieren im digitalen Dokument erleichtern.

Speichern



The screenshot shows the Adobe Acrobat interface for the file 'Übungsbeispiel.pdf'. The left sidebar displays the 'Lesezeichen' (Bookmarks) pane with a hierarchical tree structure under 'Ausdruckprotokoll'. The main content area shows the 'CONTENTS' table of contents and the 'MODEL - GENERAL DATA' section.

CONTENTS

Model - General Data	1	2.8.1	Result Combinations - Details	12
FE Mesh Settings	1	3.4	Surfaces	LO13
Nodes	1	3.4	Line Loads	LO13
Lines	1	3.3	Free Polygon Loads	LO13
Materials	MC2	3.4	Member Loads	LO14
Surfaces	MC2	3.2	Member Loads	LO14
Surfaces - Integrated Objects	MC2	3.2	Member Loads	LO14
Line Supports	MC2	3.2	Member Loads	LO14
Cross-Sections	MC2	4	Member Loads	LO15
Member End Releases	MC2	4.0	Member End Releases	LO15
Member Eccentricities - Absolute	MC3	4.1	Member End Releases	LO15
Member Eccentricities - Relative	MC3	4.3	Member End Releases	LO15
Members	MC3	4.4	Member End Releases	LO15
FE Mesh Refinements	MC3	4.5	Member End Releases	LO15
Load Cases and Combinations	MC3	4.9	Member End Releases	LO15
Load Cases - Calculation Parameters	MC3	4.11	Member End Releases	LO15
Actions	4	4.1	Member End Releases	LO15
Combination Expressions	4	4.3	Member End Releases	LO15
Imperfection Load Cases	4	4.3	Member End Releases	LO15
Reductions - Governing Actions	4	4.4	Member End Releases	LO15
Action Combinations	4	4.5	Member End Releases	LO15
Load Combinations - Details	LO7	4.6	Member End Releases	LO15
Load Combinations - Calculation	LO7	4.9	Member End Releases	LO15
Parameters	LO7	4.11	Member End Releases	LO15
Load Combinations - Results	LO11	4.11	Member End Releases	LO15
Result Combinations	12	4.11	Member End Releases	LO15

MODEL - GENERAL DATA

General	Model name	Übungsbeispiel
	Model description	Trägerwerk aus Beton und Stahl
	Project name	Beispiel
	Model description	Trägerwerk aus Beton und Stahl
	Folder	C:\Users\Public\Documents\Examples
	Type of model	3D
	Positive direction of global axis Z	Downward
	According to standard	EN 1990
	National annex	EN - EU
	Create automatically combinations	Load Combinations

FE MESH SETTINGS

General	Target length of finite elements	1 m
	Maximum distance between a node and a line to integrate it into the line	0.001 m
	Maximum number of mesh nodes (in thousands)	500
Members	Number of divisions of members with cables, elastic foundation, beam, or plastic characteristics	10
	Automatic number divisions for edge information	Yes
	Use division for members with nodes lying on them	Yes
Surfaces	Maximum ratio of FE rectangle diagonals	1.800
	Maximum out-of-plane inclination of two finite elements	0.50 °
	Shape direction of finite elements	Triangles and quadrangles
		So: Same square where possible

1.1 NODES

No.	Node Type	Reference Node	Coordinate System	X [m]	Y [m]	Z [m]	Comment
1	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	0.000	
3	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	0.000	
4	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	0.000	
5	Standard	-	Cartesian	10.000	0.000	0.000	
6	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	4.000	
7	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	4.000	
8	Standard	-	Cartesian	10.000	0.000	4.000	
9	Standard	-	Cartesian	10.000	0.000	4.000	
10	Standard	-	Cartesian	10.000	0.000	4.000	
11	Standard	-	Cartesian	5.000	2.000	0.000	
12	Standard	-	Cartesian	5.000	2.000	0.000	
13	Standard	-	Cartesian	5.000	0.000	4.000	
14	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	4.000	
15	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	-3.000	
16	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	-3.000	
17	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	-3.000	
18	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	-3.000	
19	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	-3.000	
20	Standard	-	Cartesian	7.000	0.000	-3.000	

Bild 9.13: Englischs Ausdruckprotokoll als PDF-Datei mit Lesezeichen

10. Ausblick

Wir sind nun am Ende unseres Beispiels angekommen. Diese Übung soll Ihnen den Zugang zu RFEM erleichtert und Ihre Neugier auf noch unbekannte Funktionen geweckt haben. Die ausführliche Programmbeschreibung finden Sie im RFEM-Benutzerhandbuch, das auf unserer Website unter www.dlubal.de/Download-der-Handbuecher.aspx zum Download bereitsteht.

Über das Menü **Hilfe** oder [F1] können Sie die Online-Hilfe des Programms aufrufen und wie im Handbuch nach bestimmten Begriffen suchen. Diese Online-Hilfe basiert auf dem RFEM-Handbuch.

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



Dieses Beispiel können Sie auch in den Demoversionen der Zusatzmodule z. B. zur Stahl- und Stahlbetonbemessung nutzen (RF-STAHl Stäbe, RF-BETON Flächen/Stäbe, RF-STABIL etc.) Um die Demovorgaben dieser Module zu erfüllen, können Sie z. B. für RF-STAHl EC3 den Träger durch ein Profil IPE 300 ersetzen. Auf diese Weise ist eine Bemessung möglich und Sie erhalten einen guten Einblick in die Funktionsweise der Zusatzmodule. Die Bemessungsergebnisse lassen sich wie gewohnt im RFEM-Arbeitsfenster auswerten.