



Fassung
August 2016

Programm

RFEM 5

Räumliche Tragwerke nach der Finiten
Elemente Methode

Einführungsbeispiel

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 2016
Am Zellweg 2
D-93464 Tiefenbach
Deutschland

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



Inhalt

	Inhalt	Seite
1.	Einleitung	3
2.	System und Belastung	4
2.1	Systemskizze	4
2.2	Materialien, Dicken und Querschnitte	4
2.3	Belastung	5
3.	Anlegen des Modells	6
3.1	RFEM starten	6
3.2	Modell anlegen	6
4.	Modelldaten	7
4.1	Arbeitsfenster und Raster einstellen	7
4.2	Flächen erzeugen	9
4.2.1	Erste Rechteckfläche	10
4.2.2	Zweite Rechteckfläche	11
4.3	Stäbe erzeugen	12
4.3.1	Unterzüge	12
4.3.1.1	Stahlträger	12
4.3.1.2	Plattenbalken	14
4.3.2	Stützen	16
4.4	Lager anordnen	20
4.5	Stab gelenkig und exzentrisch anschließen	22
4.5.1	Gelenk	22
4.5.2	Exzentrizität	23
4.6	Eingabe überprüfen	24
5.	Belastung	25
5.1	Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau	25
5.1.1	Eigengewicht	26
5.1.2	Deckenaufbau	26
5.2	Lastfall 2: Nutzlast Feld 1	27
5.3	Lastfall 3: Nutzlast Feld 2	29
5.3.1	Flächenlast	29
5.3.2	Linienlast	30
5.4	Lastfall 4: Imperfektionen	31
5.5	Lastfälle überprüfen	33
6.	Kombination der Lastfälle	34
6.1	Lastkombinationen erzeugen	34
6.2	Ergebniskombination erzeugen	37
7.	Berechnung	38
7.1	Eingabedaten kontrollieren	38
7.2	FE-Netz erzeugen	39
7.3	Modell berechnen	39
8.	Ergebnisse	40
8.1	Grafische Ergebnisse	40
8.2	Ergebnistabellen	42
8.3	Ergebnisse filtern	43
8.3.1	Sichtbarkeiten	43
8.3.2	Ergebnisse an Objekten	45



8.4	Ergebnisverläufe anzeigen	46
9.	Dokumentation	47
9.1	Ausdruckprotokoll erstellen	47
9.2	Ausdruckprotokoll anpassen	48
9.3	Grafiken in Ausdruckprotokoll drucken	49
10.	Ausblick	52

1 Einleitung

Das folgende Beispiel möchte Sie mit den wichtigsten 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. Diese Einführung soll Sie auch ermutigen, selbstständig die Möglichkeiten von RFEM zu erkunden.

Das Modellbeispiel behandelt eine stützengelagerte Deckenplatte mit zwei Unterzügen. Sie soll für die Lastfälle Eigengewicht mit Aufbau, Nutzlast und Imperfektion nach Theorie I. und II. Ordnung untersucht werden. Die vorgestellten Funktionen sollen vermitteln, wie Modell- und Lastobjekte auf verschiedene Weise definiert werden können.

Das Modell kann im Rahmen der 30-tägigen Testversion uneingeschränkt bearbeitet werden. Auch nach Ablauf der Frist lässt sich das Beispiel eingeben und berechnen; das Speichern ist jedoch nicht mehr möglich.



Die Eingabe wird erleichtert, wenn zwei Bildschirme für die PDF-Anzeige und die Eingabe in RFEM zur Verfügung stehen.



Im Text sind die Schaltflächen (Buttons) in eckige Klammern gesetzt, z. B. [Anwenden]. Sie sind auch am linken Rand abgebildet. Die Begriffe der Dialoge, Tabellen und Menüs sind *kursiv* gekennzeichnet. Erforderliche Eingaben werden **fett** dargestellt.

Die Beschreibung der Programmfunctionen können Sie im RFEM-Handbuch nachschlagen, das Sie unter <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/dokumente/handbuecher> im Downloadbereich unserer Website finden.

Die Datei **RFEM-Beispiel-06.rf5** mit den Modelldaten finden Sie auch im *Beispiele*-Projekt, das bei der Installation angelegt wurde. Für die ersten Schritte mit RFEM empfehlen wir Ihnen, das Modell eigenhändig einzugeben. Falls Sie wenig Zeit haben, können Sie die Videos auf unserer Website <https://www.dlubal.com/de/support-und-schulungen/schulungen/videos> ansehen.

2 System und Belastung

2.1 Systemskizze

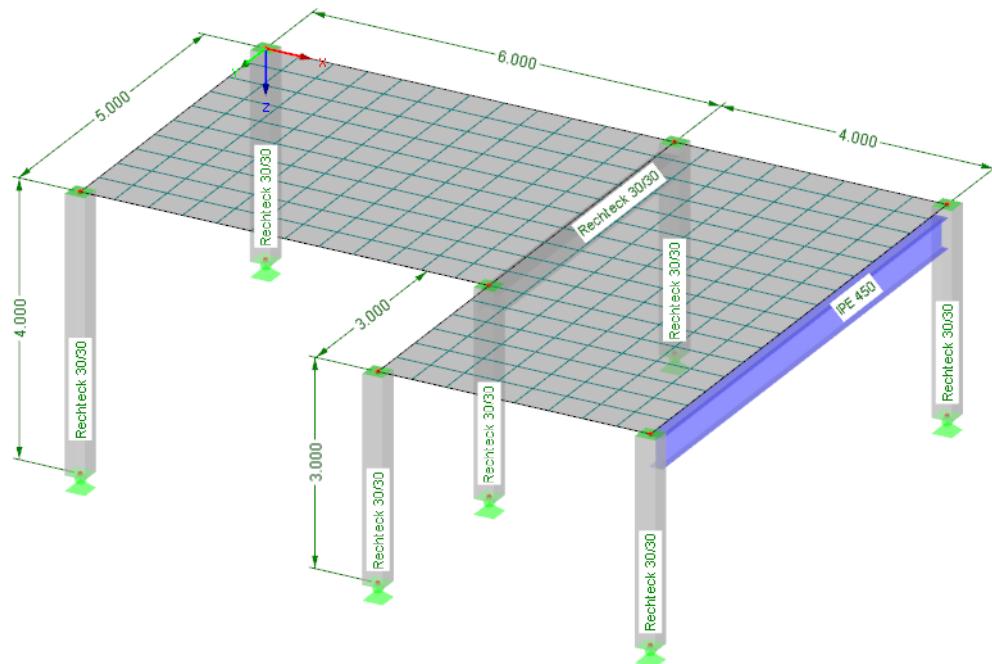


Bild 2.1: Statisches System

Das Beispiel behandelt eine Stahlbetondecke, die aus zwei durchlaufenden Deckenplatten mit einem Stahlbeton- und einem Stahlunterzug besteht. Sie ist auf Stützen gelagert, die biegesteif in die Platte eingebunden sind.

Dieses Modell ist eher „theoretischer“ Natur, kann aber im Rahmen der Demoeinschränkungen von zwei Flächen und zwölf Stäben bewältigt werden.

2.2 Materialien, Dicken und Querschnitte

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

Die Deckenstärke beträgt 20 cm. Die Betonstützen und der Unterzug bestehen aus einem quadratischen Querschnitt mit 30 cm Seitenlänge. Für den Stahlunterzug ist ein IPE 450-Profil vorgesehen.

2.3 Belastung

Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau

Als Belastung wird das Eigengewicht des Tragwerks mit einem Deckenaufbau von $0,75 \text{ kN/m}^2$ angesetzt. Das Eigengewicht braucht nicht manuell ermittelt werden; RFEM berechnet es automatisch aus den Materialien, Flächendicken und Querschnitten.

Lastfall 2: Nutzlast Feld 1

Bei der Deckenfläche handelt es sich um einen Wohnraum der Kategorie A2, der mit einer Nutzlast von $1,5 \text{ kN/m}^2$ zu beaufschlagen ist. Die Last wird in zwei unterschiedlichen Lastfällen angesetzt, um die Durchlaufwirkung zu erfassen.

Lastfall 3: Nutzlast Feld 2

Die Nutzlast von $1,5 \text{ kN/m}^2$ wird auch im zweiten Feld angesetzt. Zusätzlich ist am Deckenrand eine lotrecht wirkende Linienlast von $5,0 \text{ kN/m}$ zu berücksichtigen. Sie soll die Belastung infolge eines Balkons darstellen.

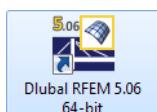
Lastfall 4: Imperfektionen

Imperfektionen müssen z. B. nach Eurocode 2 berücksichtigt werden. Die Schiefstellungen und Vorkrümmungen werden in einem separaten Lastfall verwaltet. Dadurch können bei der Kombination mit anderen Einwirkungen spezifische Teilsicherheitsbeiwerte zugewiesen werden.

Die Schiefstellung wird vereinfacht für alle Stützen mit $\varphi_0 = 1/200$ entgegen der Y-Richtung angenommen. Vorkrümmungen brauchen nach Eurocode 2 nicht beachtet werden.

3 Anlegen des Modells

3.1 RFEM starten



Wir starten RFEM über die Taskleiste

Start → Alle Programme → Dlubal → Dlubal RFEM 5.xx

oder das Icon **Dlubal RFEM 5.xx** 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.

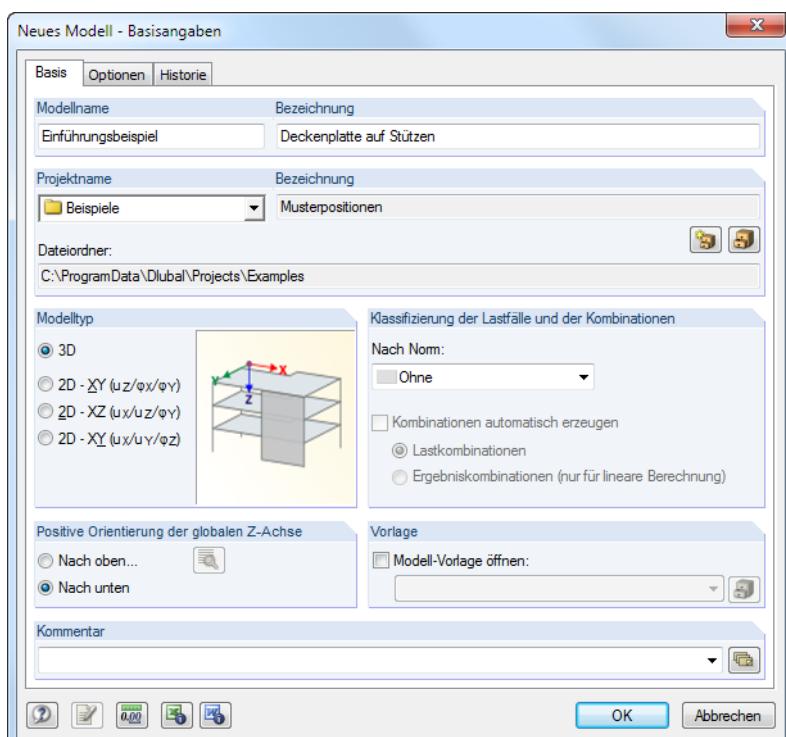


Bild 3.1: Dialog *Neues Modell - Basisangaben*

Im Eingabefeld *Modellname* tragen wir **Einführungsbeispiel** ein, als *Bezeichnung* geben wir die Beschreibung **Deckenplatte auf Stützen** an. Der *Modellname* muss festgelegt werden, da er den Namen der RFEM-Datei bestimmt; eine *Bezeichnung* ist nicht unbedingt erforderlich.

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 Richtung der Z-Achse* belassen wir ebenfalls auf der Voreinstellung **Nach unten**.

Wir überprüfen, ob im Abschnitt *Klassifizierung von Lastfällen und Kombinationen* die Option **Ohne** Norm eingestellt ist. Falls nicht, wählen wir diesen Eintrag aus der Liste aus.

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

4 Modelldaten

4.1 Arbeitsfenster und Raster einstellen

Das leere RFEM-Arbeitsfenster wird angezeigt.

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 Auswahl:

- 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, 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 ist auch mit dem Scrollrad und gedrückter rechter Maustaste möglich. Die am Mauszeiger angezeigten Symbole veranschaulichen 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 [Arbeitsebene, Raster/Fang] zugänglich.

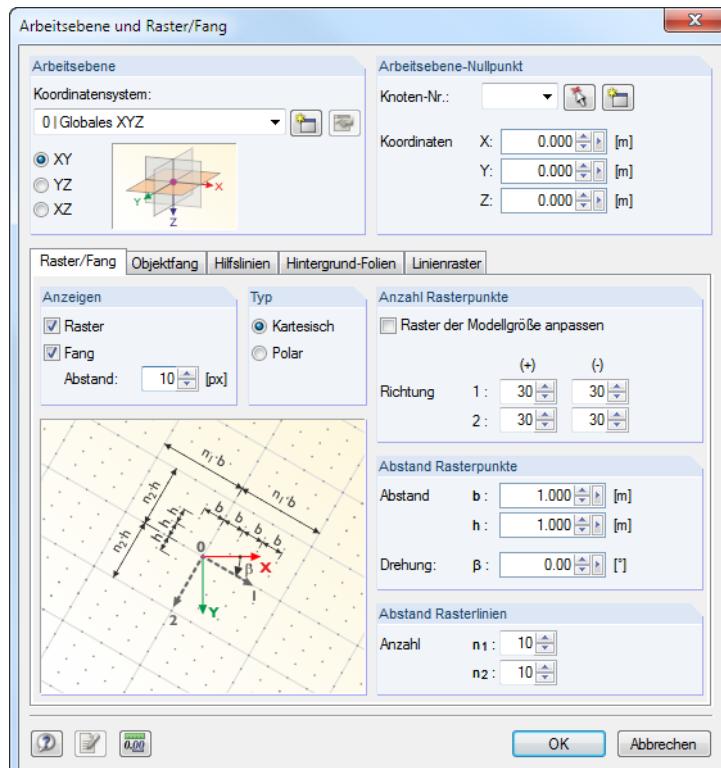


Bild 4.1: Dialog *Arbeitsebene und Raster/Fang*



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 definieren, diese mit Linien verbinden und aus den Linien die Deckenfläche erzeugen. Als Alternative bietet sich die direkte grafische Eingabe von Linien und Flächen an, die wir für unser Beispiel nutzen werden.

Die Decke kann anhand der Umrisslinien als durchgängige Fläche definiert werden. Sie lässt sich aber auch durch zwei Rechteckflächen abbilden, die an der gemeinsamen Linie biegesteif verbunden sind. Dieses Modell erleichtert die Lastaufbringung auf zwei Felder. Wir werden daher diese Variante verwenden.

Ehe wir mit der Eingabe der Flächen beginnen, aktivieren wir noch zwei nützliche Funktionen. Hierzu nutzen wir das allgemeine Kontextmenü. Dieses lässt sich mit einem Klick der rechten Maustaste in einen leeren Bereich des Arbeitsfensters aufrufen.

Nummerierung anzeigen

Funktionen können im Kontextmenü durch Anklicken ein- und ausgeschaltet werden. Aktive Funktionen sind durch gelb hinterlegte Schaltflächen gekennzeichnet. Wir aktivieren den Eintrag *Nummerierung anzeigen*.

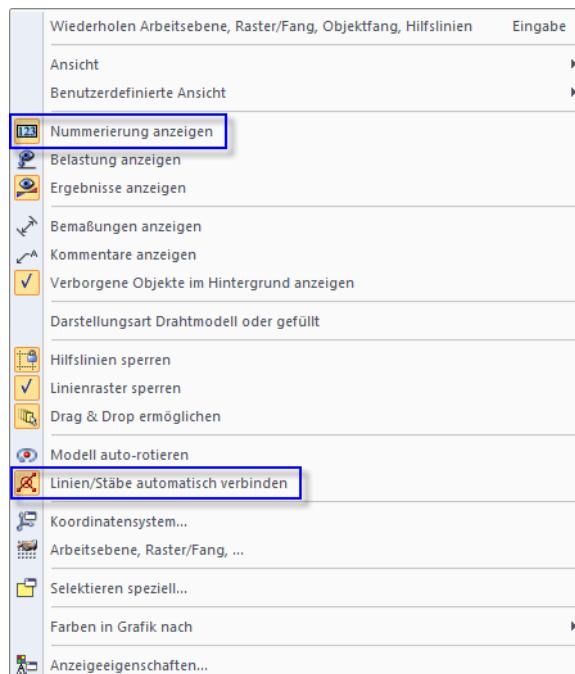


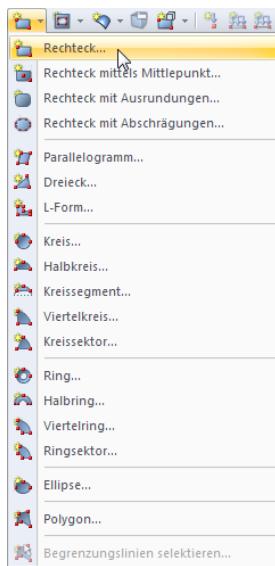
Bild 4.2: Nummerierung einblenden im Kontextmenü

Linien/Stäbe automatisch verbinden



Sollte die Funktion *Linien/Stäbe automatisch verbinden* nicht aktiv sein, schalten wir diese ebenfalls ein (das Kontextmenü ist erneut aufzurufen). Sie erleichtert die Flächeneingabe.

4.2.1 Erste Rechteckfläche



Listenschaltfläche
ebener Flächen

Rechteckige Platten 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**.

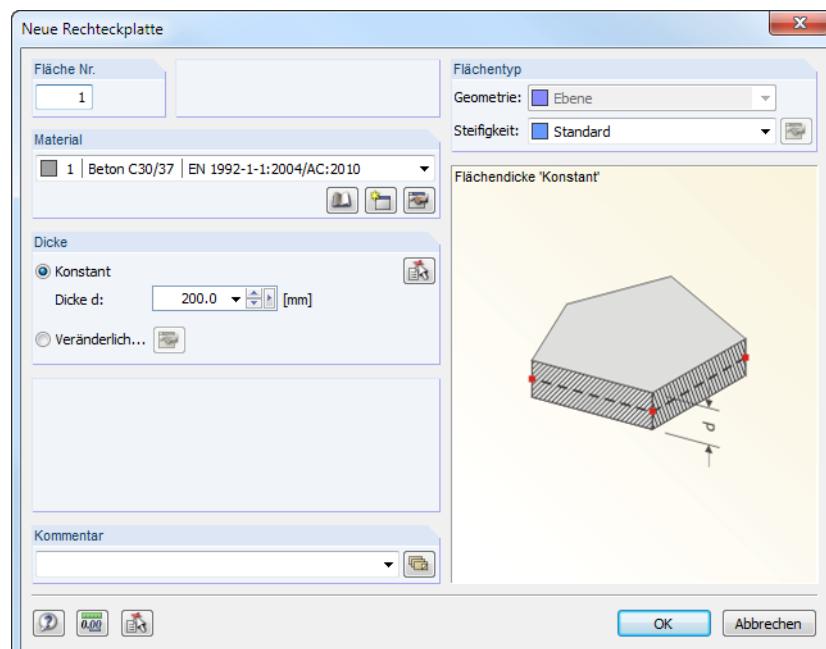


Bild 4.3: Dialog Neue Rechteckplatte

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



Als **Material** ist **Beton C30/37** gemäß EN 1992 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.

Die erste Ecke legen wir mit einem Klick auf den **Koordinatenursprung** an (X/Y/Z-Koordinaten **0.000/0.000/0.000**). 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 **6.000/5.000/0.000**.



Bild 4.4: Rechteckplatte Fläche 1

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

4.2.2 Zweite Rechteckfläche

Da die Funktion noch aktiv ist, können wir sofort die nächste Fläche setzen.

Wir klicken den Knoten **4** mit den Koordinaten **6.000/0.000/0.000** und dann den Rasterpunkt mit den Koordinaten **10.000/8.000/0.000** an.

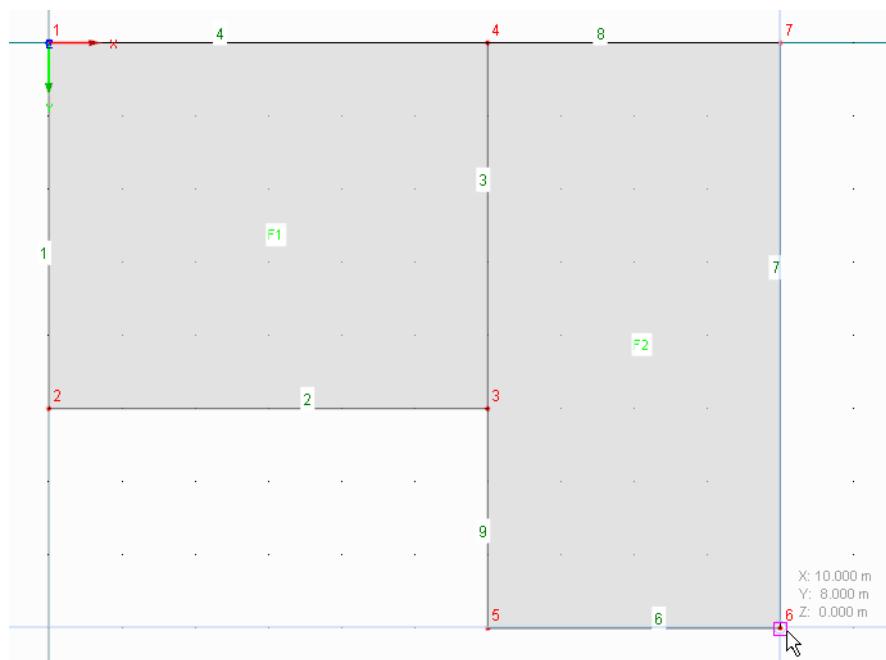


Bild 4.5: Rechteckplatte Fläche 2

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.

4.3 Stäbe erzeugen

4.3.1 Unterzüge

Wir legen für die Linien 3 und 7 Stabeigenschaften fest, um die zwei Unterzüge zu definieren.

4.3.1.1 Stahlträger

Durch einen Doppelklick auf die Linie 7 rufen wir den Dialog *Linie bearbeiten* auf.

Wir wechseln in das zweite Register *Stab*. Dort haken wir die Option *Vorhanden* an.

Es öffnet sich der Dialog *Neuer Stab*.

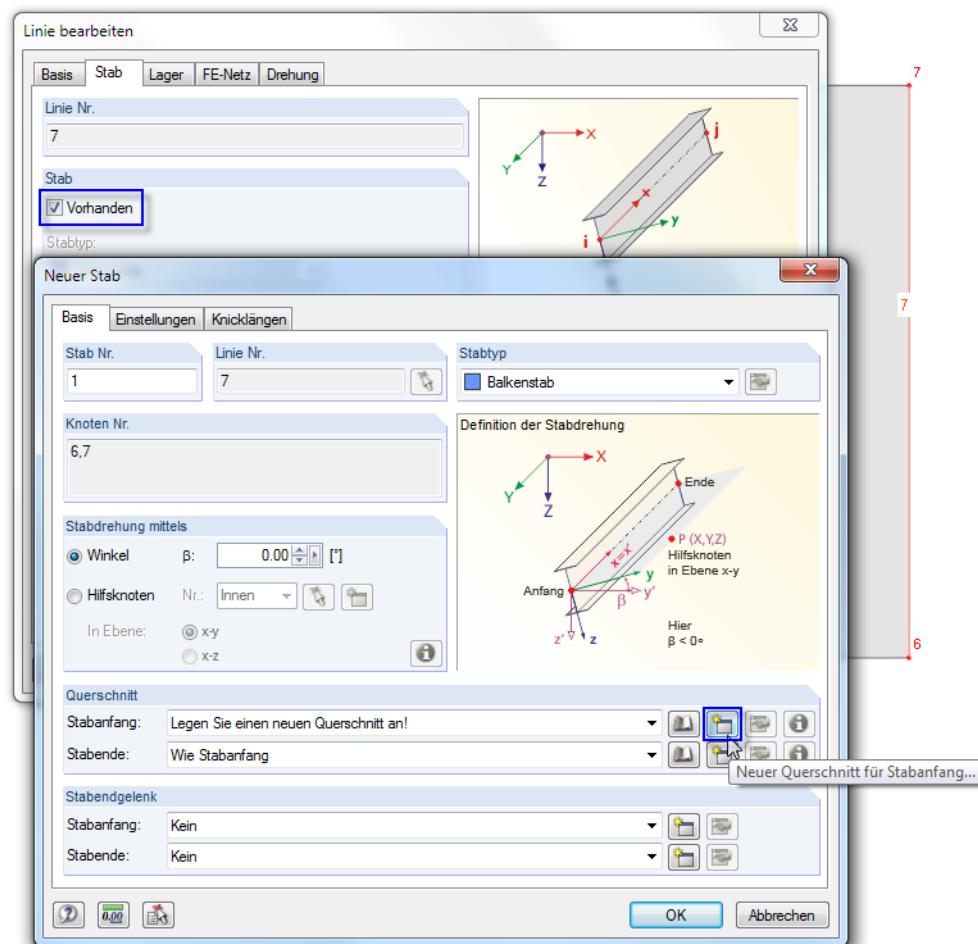


Bild 4.6: Dialog *Neuer Stab*

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

 Es erscheint der Dialog *Neuer Querschnitt*. Wir klicken oben die Schaltfläche [*IPE*] an, die den Dialog *Gewalzte Profile - I-Profile* öffnet. Dort können wir das Profil **IPE 450** aus der IPE-Reihe auswählen (siehe Bild 4.7).

Als *Material* ist bei Walzprofilen die Nummer 2 - *Baustahl S 235* eingestellt.

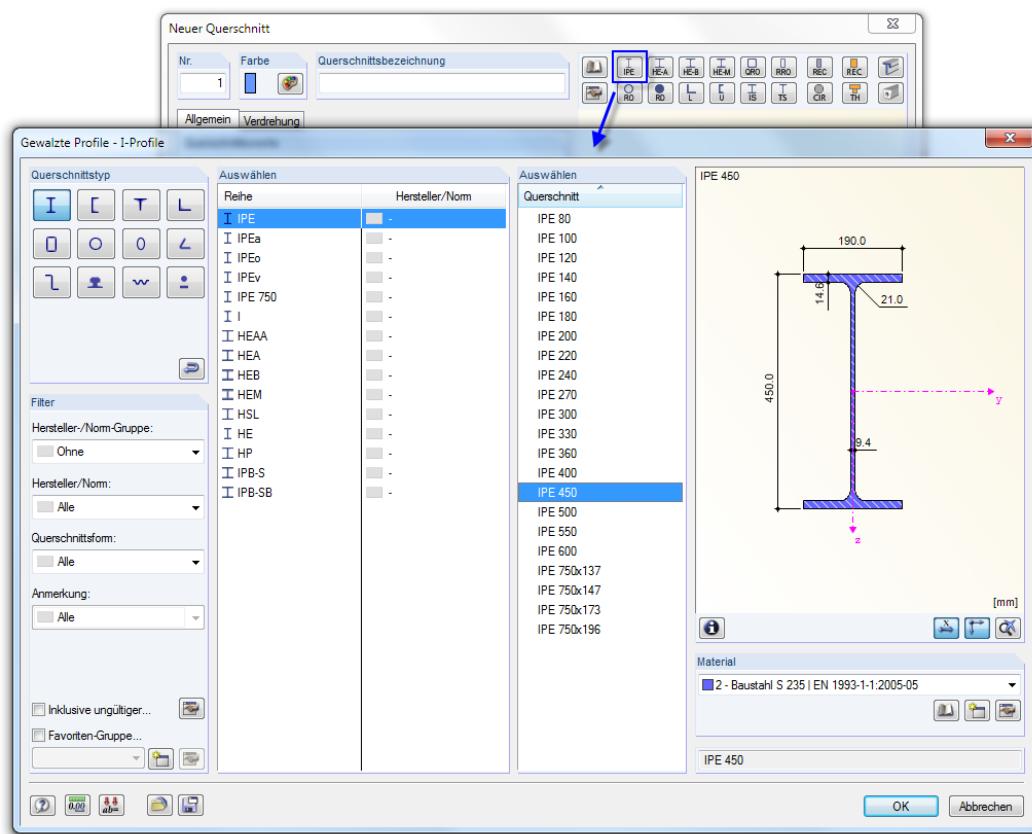


Bild 4.7: Profil IPE 450 auswählen

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

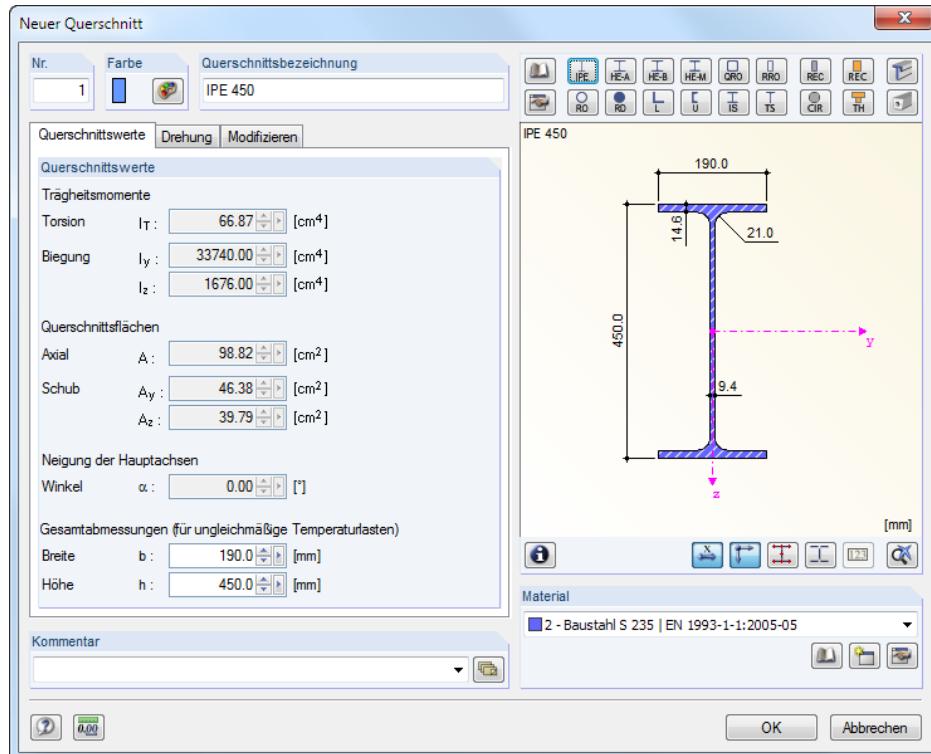


Bild 4.8: Dialog *Neuer Querschnitt* mit Querschnittskennwerten

Nach einem erneuten [OK] kehren wir in den Ausgangsdialog *Neuer Stab* zurück. Im Eingabefeld *Stabanfang* ist nun der neue Querschnitt angegeben. Wir schließen diesen Dialog und auch den Dialog *Linie bearbeiten* mit [OK]. Der Stahlträger wird am Deckenrand angezeigt.

4.3.1.2 Plattenbalken

Den Deckenunterzug definieren wir analog: Wir führen einen Doppelklick auf die Linie 3 aus, um den Dialog *Linie bearbeiten* aufzurufen. Im Register *Stab* haken wir wieder die Option *Stab vorhanden* an (siehe Bild 4.6).

Querschnitt definieren



Es erscheint der Dialog *Neuer Stab*. Zur Definition des Querschnitts am *Stabanfang* klicken wir wieder die Schaltfläche **[Neu]** an (siehe Bild 4.6).

Im Dialog *Neuer Querschnitt* wählen wir oben die massive REC-Reihe aus. Dann legen wir im Dialog *Massive Querschnitte - Rechteck* die Breite *b* und die Höhe *h* mit jeweils **300 mm** fest.

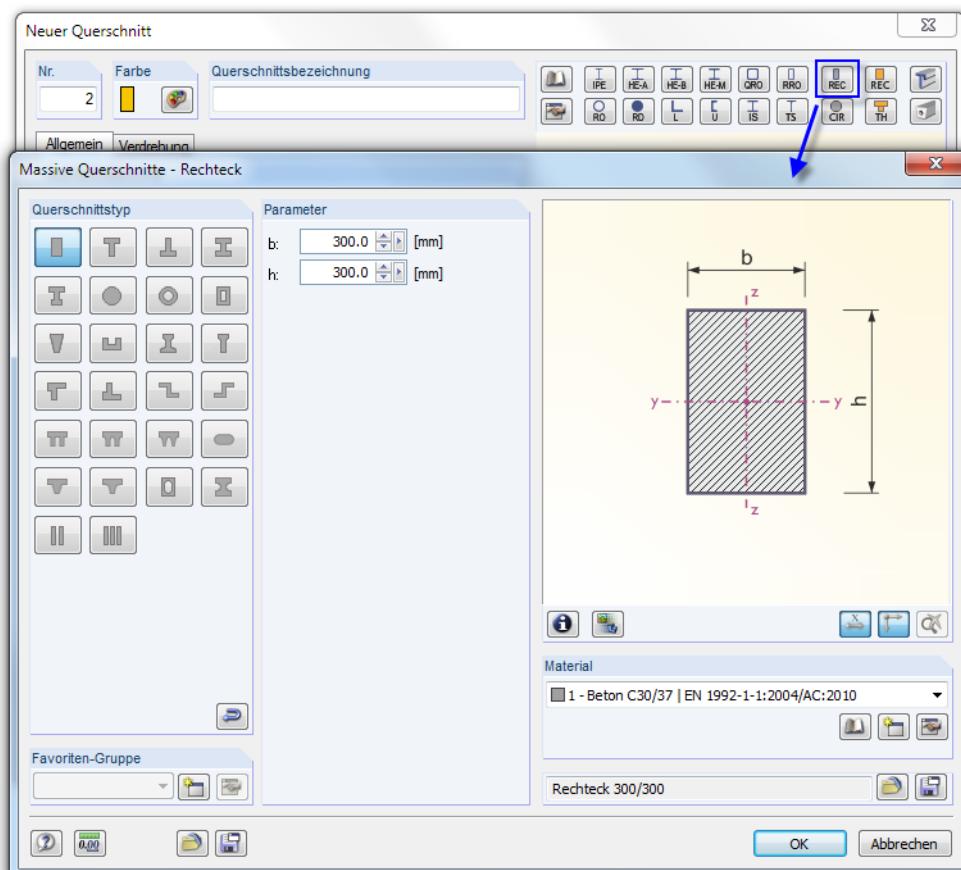


Bild 4.9: Dialog *Massive Querschnitte - Rechteck*

Über die Schaltfläche lassen sich die Querschnittskennwerte dieses Profils überprüfen.

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

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

Nach einem erneuten **[OK]** gelangen wir in den Ausgangsdialog *Neuer Stab*. Im Eingabefeld *Stab-anfang* 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*.

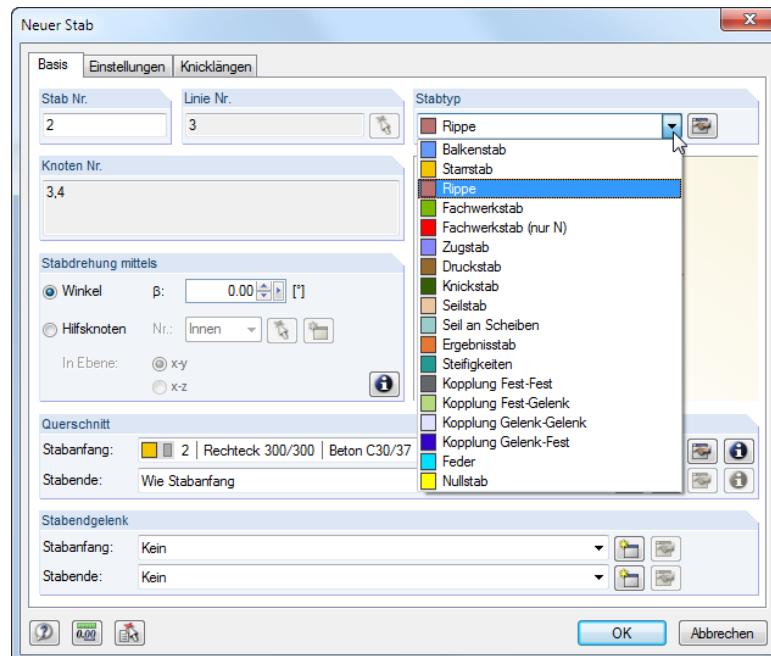


Bild 4.10: Stabtyp ändern

Der Klick auf die Schaltfläche rechts neben der Liste öffnet den Dialog *Neue Rippe*.

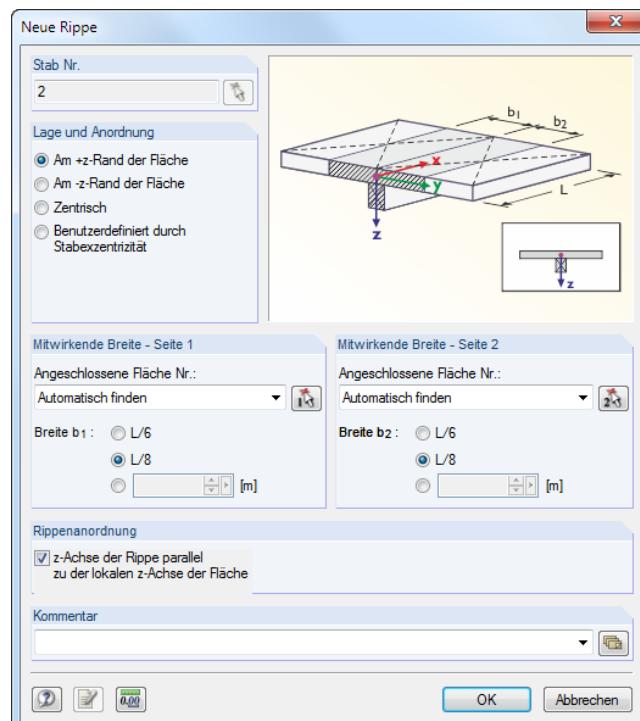


Bild 4.11: Rippe definieren

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

Die *Mitwirkende Breite* soll für beide Seiten **L/8** sein. Wir lassen die Flächen **Automatisch finden**.

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

Ansicht ändern



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



Über die Schaltfläche [Ansicht verschieben] kann die Anzeige angepasst werden (siehe „Mausfunktionen“ auf Seite 7). Der Mauszeiger verwandelt sich in eine Hand. Wird nun die [Strg]-Taste gedrückt, kann das Modell durch Ziehen der Maus rotiert werden.

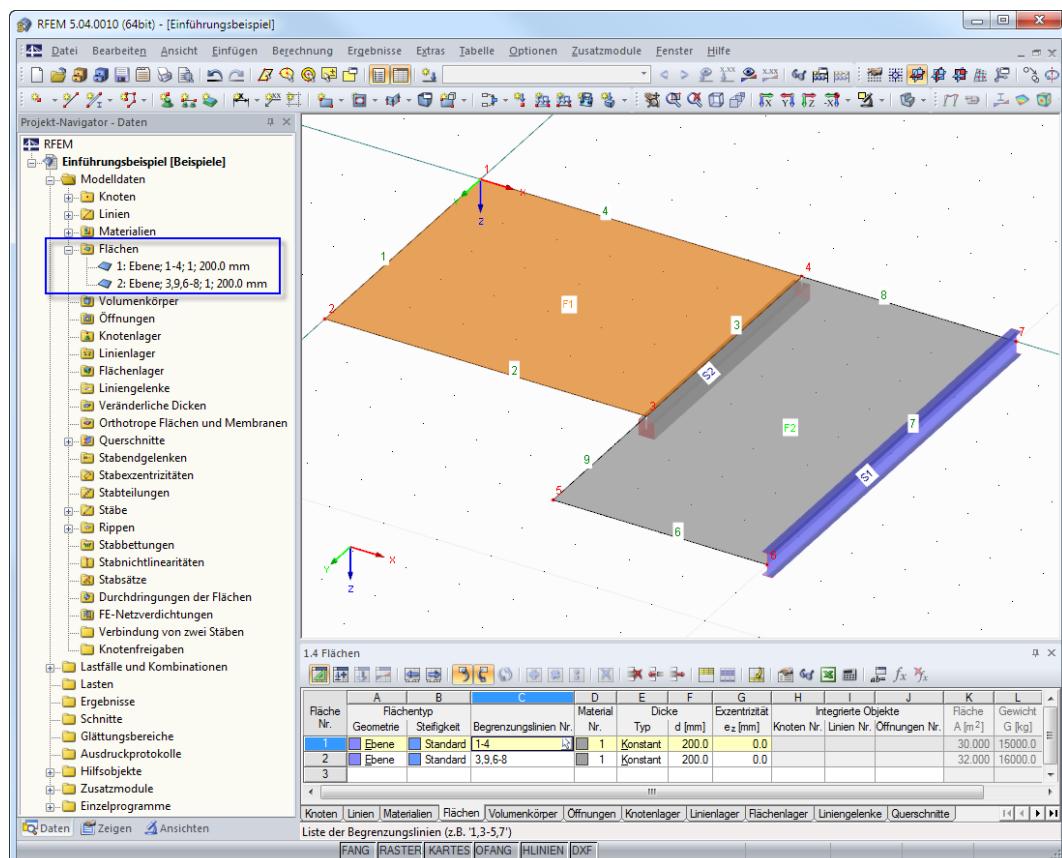


Bild 4.12: Modell in isometrischer Ansicht mit Navigator und Tabelleneinträgen

Daten in Navigator und 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 [+] aufklappen; die Tabellen werden durch Anklicken der Register gewechselt.

Im Navigator-Eintrag *Flächen* und in Tabelle 1.4 *Flächen* liegen z. B. die Eingabedaten der beiden Flächen in numerischer Form vor (siehe Bild oben).

4.3.2 Stützen

Die Stützen erzeugen wir am schnellsten, indem wir die Deckenknoten nach unten kopieren.

Knoten selektieren

Zunächst wählen wir die Knoten aus, die kopiert werden sollen. Hierzu nutzen wir Menü

Bearbeiten → Selektieren → Speziell



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Im Dialog *Selektieren speziell* setzen wir bei der Kategorie *Knoten* ein Häkchen für **Alle**, um sämtliche Knoten des Modells zu selektieren. Dann bestätigen wir den Dialog mit [OK].

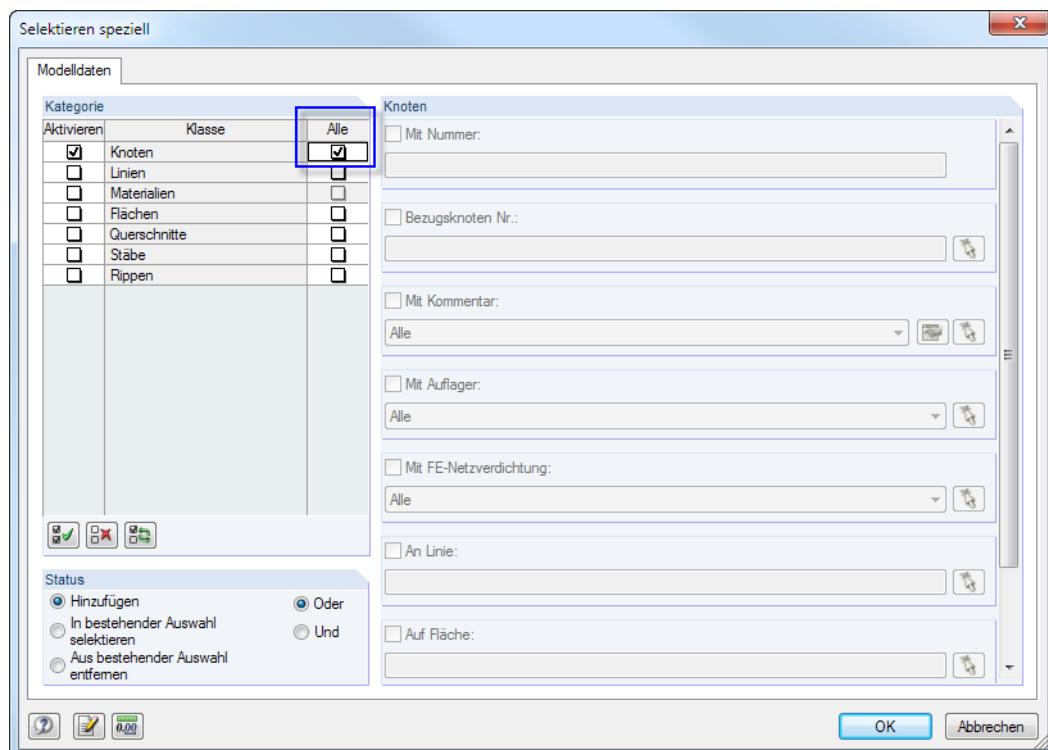


Bild 4.13: Dialog *Selektieren speziell*

Die selektierten Knoten werden nun in einer anderen Farbe angezeigt; bei schwarzem Hintergrund ist gelb als Selektionsfarbe voreingestellt (sollte zusätzlich eine Fläche selektiert sein, kann sie durch Anklicken bei gedrückter [Strg]-Taste aus der Selektion entfernt werden).

Knoten kopieren



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

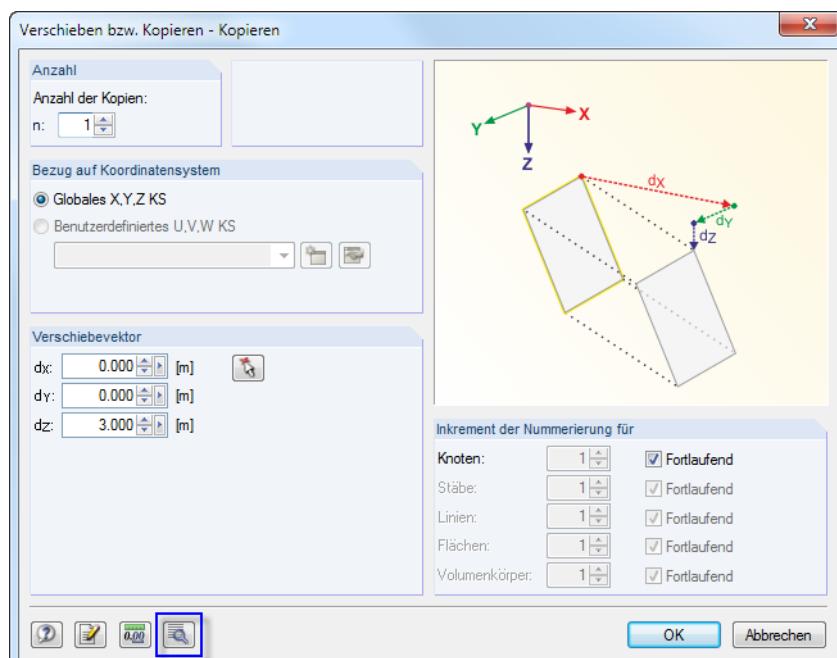


Bild 4.14: Dialog *Verschieben bzw. Kopieren*

Wir erhöhen die *Anzahl der Kopien* auf **1**: Damit werden die Knoten nicht verschoben, sondern kopiert. Da die Stützen 3 m hoch sind, tragen wir als *Verschiebevektor* in d_z den Wert **3** m ein.

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

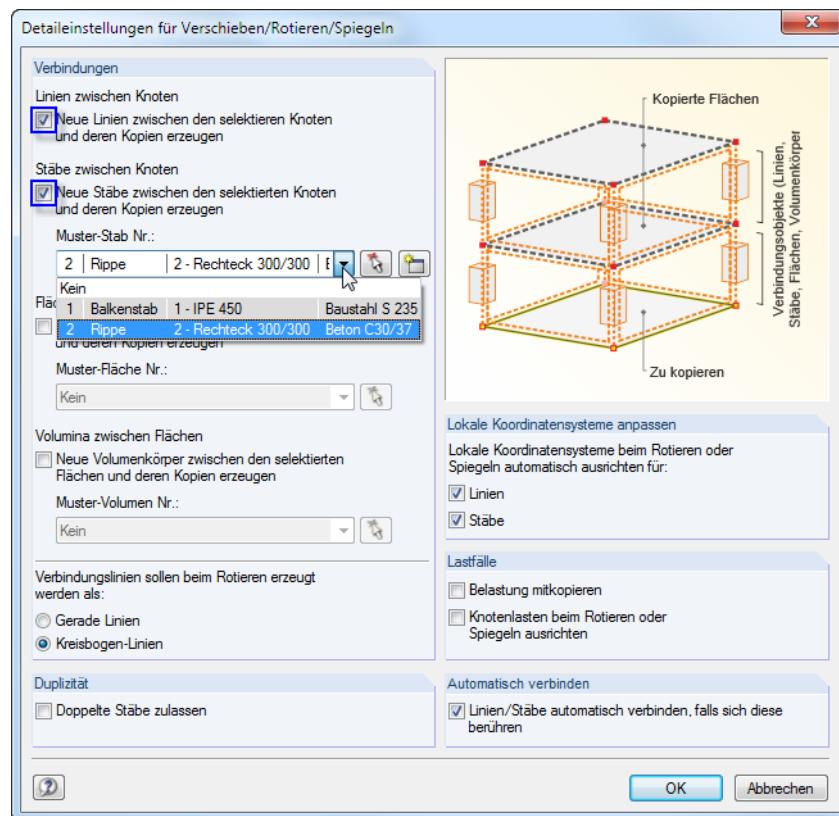


Bild 4.15: Dialog Detaileinstellungen für Verschieben/Rotieren/Spiegeln

Im Abschnitt *Verbindungen* setzen wir bei diesen Optionen ein Häkchen:

- Neue Linien zwischen den selektierten Knoten und deren Kopien erzeugen
- Neue Stäbe zwischen den selektierten Knoten und deren Kopien erzeugen

Als *Muster-Stab* wählen wir in der Liste den Stab **2** aus. Damit werden die Eigenschaften des Plattenbalkens (Stabtyp, Querschnitt, Material) für die neuen Stützen voreingestellt.

Wir schließen beide Dialoge mit [OK].

Stützen bearbeiten

Da der Musterstab als *Rippe* mit mitwirkenden Breiten definiert war, müssen wir den Stabtyp noch anpassen. Wir benutzen eine neue Variante, um die Stützen zu selektieren.



Zunächst stellen wir über die links dargestellte Schaltfläche die Ansicht in [Y]-Richtung ein.

Nun ziehen wir mit der Maus von rechts nach links ein Fenster über die Fußknoten der Stützen auf. Damit werden alle Objekte selektiert, die sich ganz oder nur teilweise im Fenster befinden – also auch unsere Stützen. (Beim Aufziehen des Fensters von links nach rechts werden nur die Objekte selektiert, die sich vollständig im Fenster befinden.)

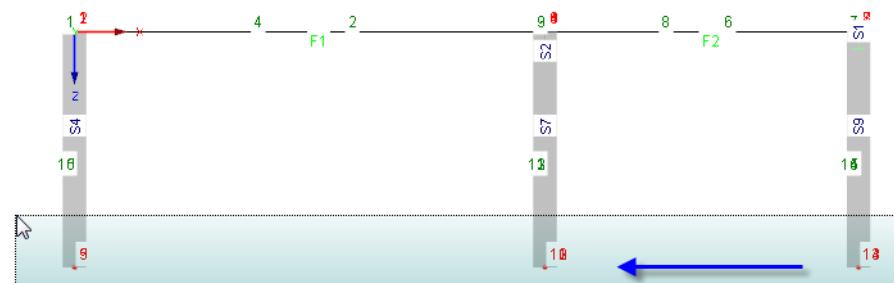


Bild 4.16: Selektieren mit Fenster

Wir doppelklicken nun eine der selektierten Stützen. Es erscheint der Dialog *Stab bearbeiten*. Die Nummern der selektierten Stäbe sind in der Liste *Stab Nr.* eingetragen.

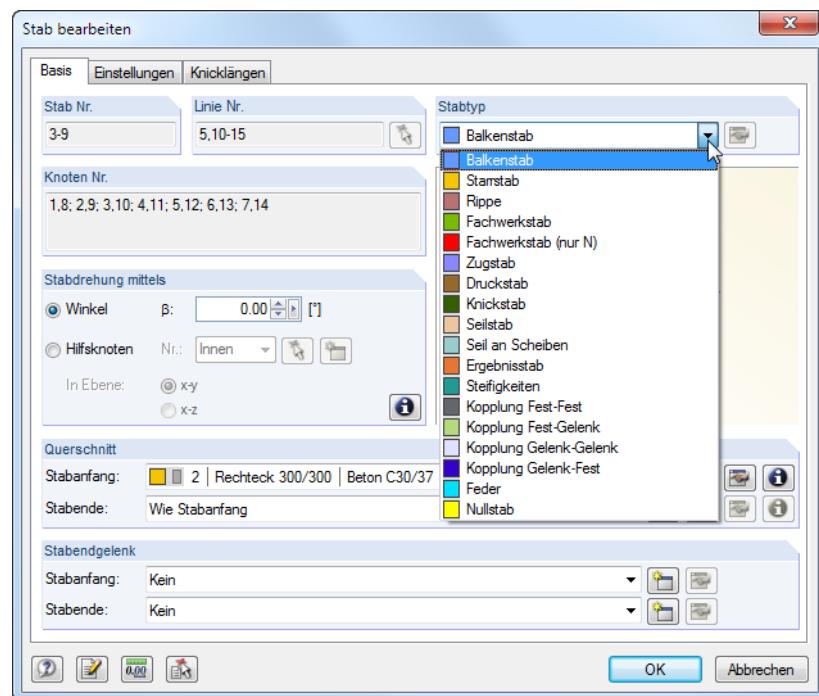


Bild 4.17: Stabtyp anpassen

Wir ändern den Stabtyp auf **Balkenstab** ab und schließen den Dialog mit [OK].

Nach dem Wiederherstellen der [Isometrie] wird unser Modell wie folgt angezeigt.

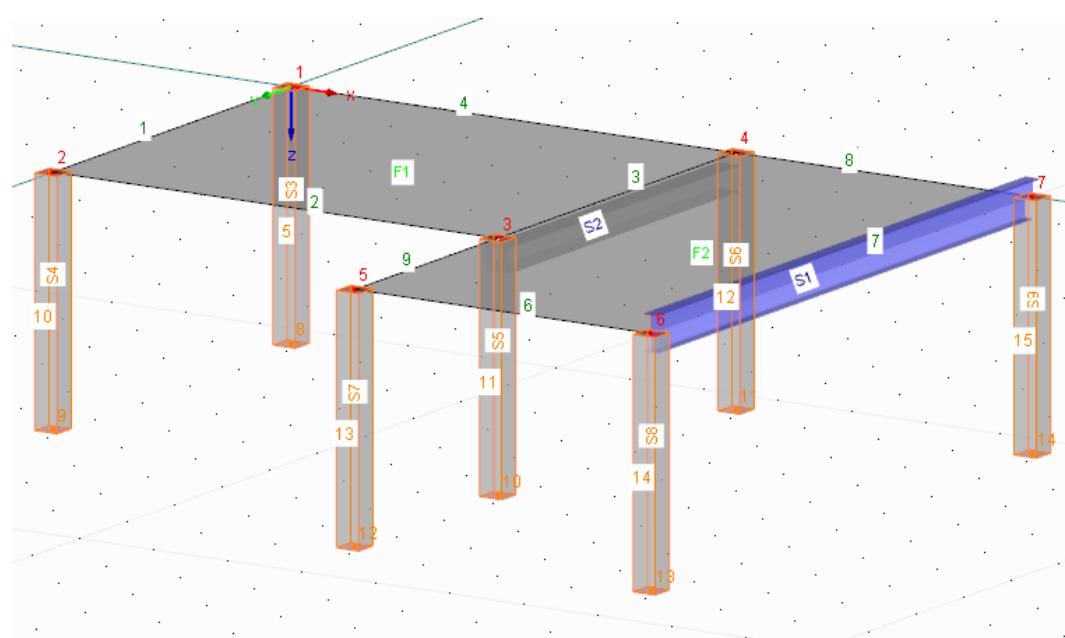


Bild 4.18: Isometrische Gesamtansicht

4.4 Lager anordnen

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

Knotenlager zuweisen

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

Die Fußknoten und die Stützen sind noch selektiert – sofern Sie inzwischen keinen Mausklick in das Arbeitsfenster ausgeführt haben. Falls erforderlich, führen Sie die Fensterselektion nochmals durch (siehe Bild 4.16).

Wir doppelklicken nun einen der selektierten Fußknoten. In der Statusleiste unten links kann überprüft werden, ob sich der Cursor über dem gewünschten Knoten befindet.

Der Dialog *Knoten bearbeiten* erscheint.

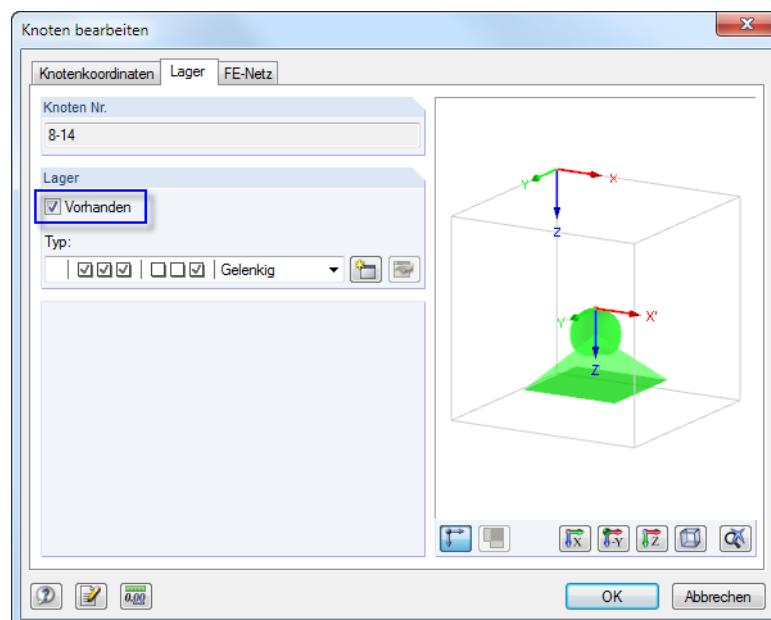


Bild 4.19: Dialog *Knoten bearbeiten*, Register *Lager*

Im Register *Lager* haken wir das Kontrollfeld *Vorhanden* an. Damit wird den selektierten Knoten der Lagertyp *Gelenkig* zugeordnet.

Nach [OK] werden die Lagersymbole am Modell dargestellt.

Arbeitsebene wechseln

Die Länge der beiden linken Stützen muss noch auf 4 m korrigiert werden. Hierzu verlegen wir die Arbeitsebene von der horizontalen in die vertikale Ebene.



Mit einem Klick auf die mittlere der drei Ebenen-Schaltflächen stellen wir die [Arbeitsebene YZ] ein.

Das Raster wird in der Ebene der beiden linken Stützen angezeigt. Damit ist es möglich, nun in dieser Ebene grafisch Linien zu setzen oder Knoten zu verschieben.

Lagerknoten anpassen

Wir heben die Selektion der Knoten auf, indem wir mit der linken Maustaste in einen „leeren“ Bereich des Arbeitsfensters klicken.

Nun verschieben wir den Knoten 9 mit der Maus **um 1 m** auf den Rasterpunkt unterhalb. Achten Sie darauf, den Knoten und nicht den Stab zu greifen. In der Statusleiste lassen sich wieder die Knotennummern und die Cursor-Koordinaten kontrollieren.

Wir wiederholen dann den Vorgang für den Knoten 8.

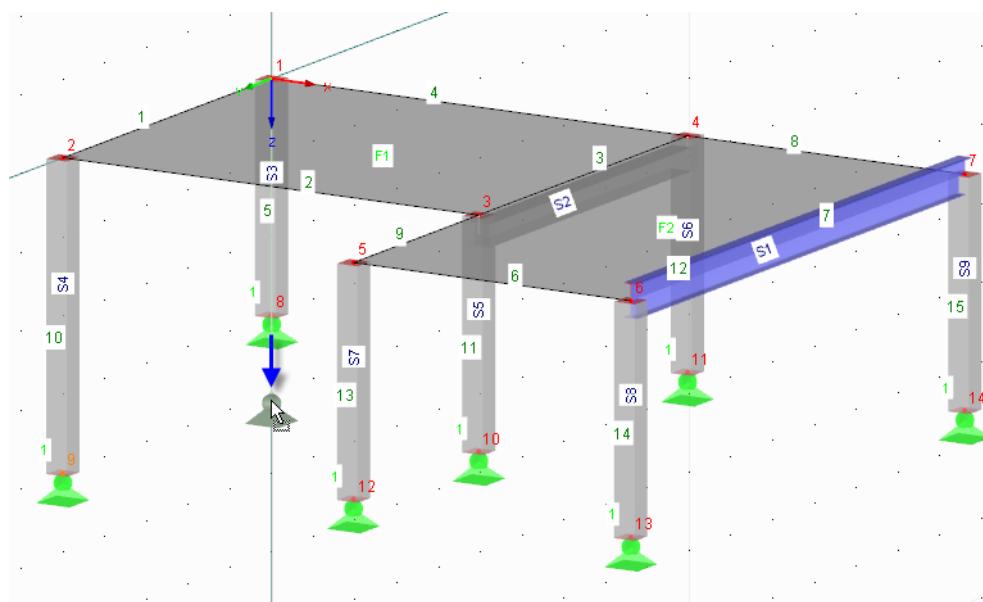


Bild 4.20: Lagerknoten verschieben

Alternativ könnte man einen der Knoten doppelklicken und dann die korrekte Z-Koordinate im Dialog *Knoten bearbeiten*, Register *Knotenkoordinaten* ändern.

4.5 Stab gelenkig und exzentrisch anschließen

4.5.1 Gelenk

Der Stahlträger kann wegen des Anschlusses keine Biegemomente in die Stützen übertragen. Daher sind dem Stab beidseits Gelenke zuzuweisen.

Mit einem Doppelklick auf den Stab 1 rufen wir den Dialog *Stab bearbeiten* auf.

Unten im Abschnitt *Stabendgelenk* klicken wir auf die Schaltfläche , um einen neuen Gelenktyp für den *Stab anfang* zu definieren (vgl. auch Bild 4.23).



Bild 4.21: Dialog *Stab bearbeiten*, Abschnitt *Stabendgelenk*

Es erscheint der Dialog *Neues Stabendgelenk*. Hier können die Verschiebungen oder Verdrehungen angehakt werden, 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.

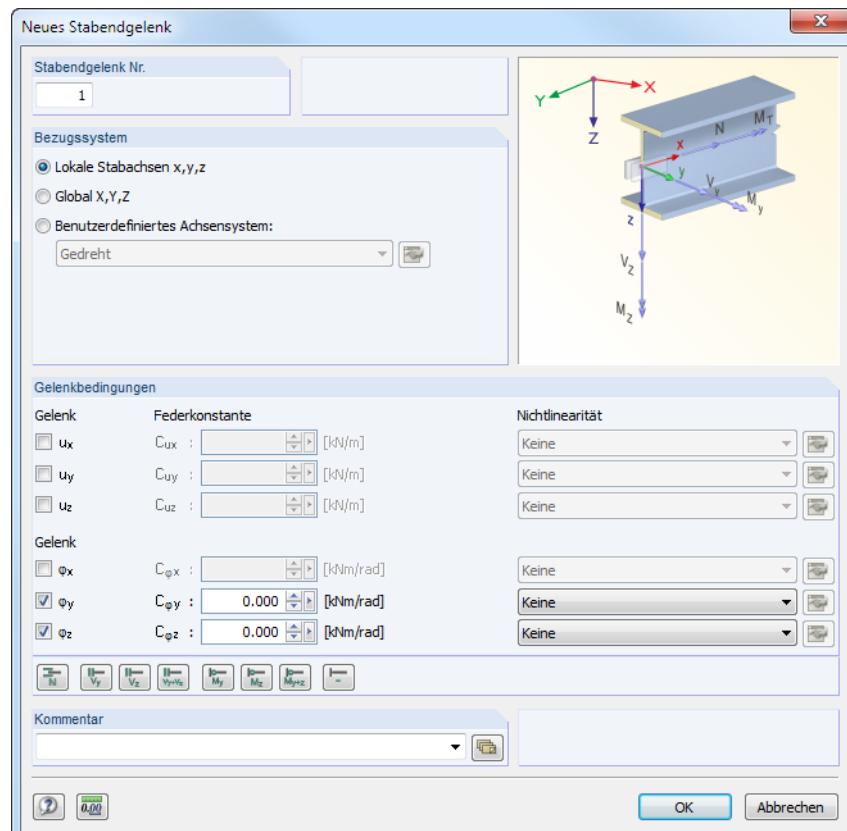


Bild 4.22: Dialog *Neues Stabendgelenk*

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

Im Dialog *Stab bearbeiten* ist nun das Gelenk 1 für den *Stab anfang* eingetragen. Wir legen auch für das *Stabende* diesen Gelenktyp in der Liste fest (siehe Bild 4.23).

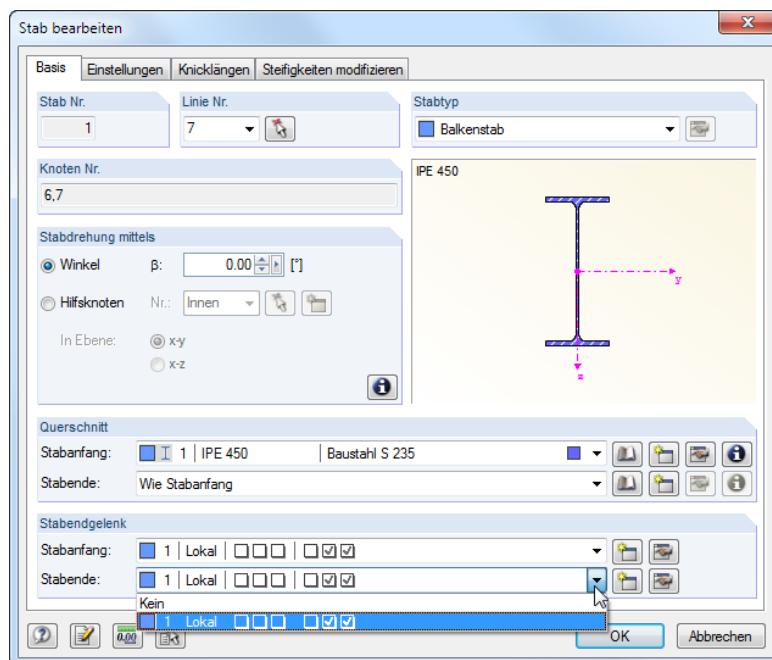


Bild 4.23: Gelenk zuweisen im Dialog *Stab bearbeiten*

4.5.2 Exzentrizität

Der Stahlträger soll exzentrisch unterhalb der Deckenplatte angeschlossen werden.

Im Dialog *Stab bearbeiten* wechseln wir in das Register *Einstellungen*. Im Abschnitt *Stabexzentrizität* klicken wir auf die Schaltfläche und rufen den Dialog *Neue Stabexzentrizität* auf.

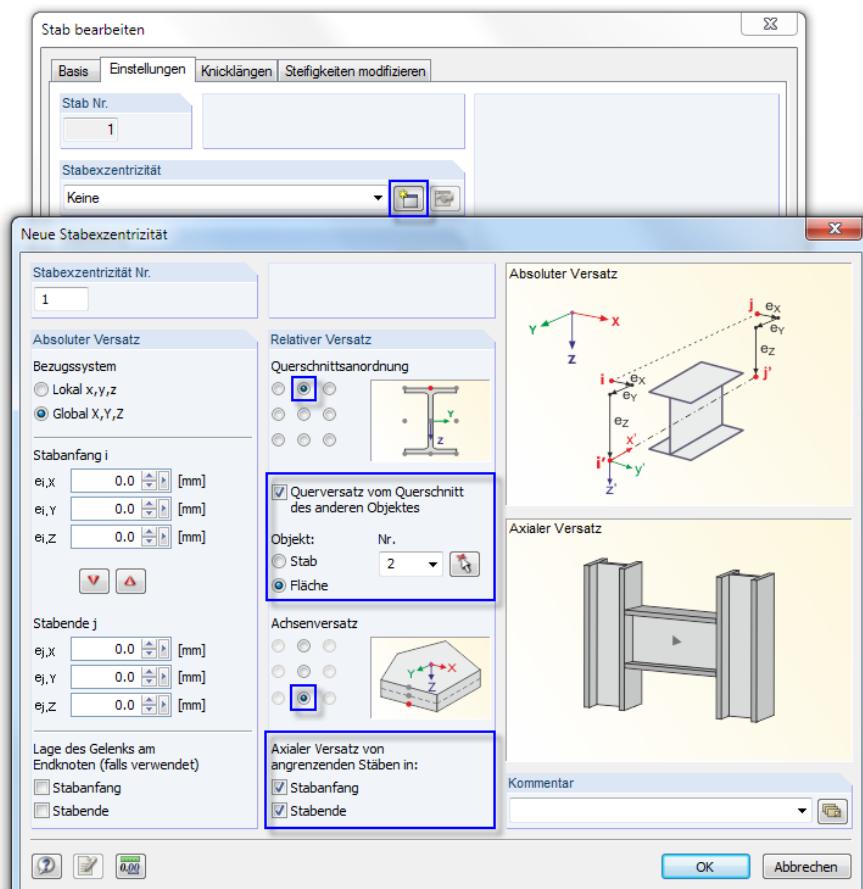


Bild 4.24: Dialog *Neue Stabexzentrizität*

Wir haken die Option *Querversatz vom Querschnitt des anderen Objekts* an. Das Objekt stellt in unserem Fall die Deckenplatte dar: Mit können wir die **Fläche 2** grafisch festlegen.

Die *Querschnittsanordnung* und den *Achsenversatz* definieren wir über die Auswahlfelder wie im Bild 4.24 dargestellt.

Im Abschnitt *Axialer Versatz von angrenzenden Stäben* haken wir die Kontrollfelder **Stabansfang** und **Stabende** an, um den Versatz beidseits anzugeben.



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).

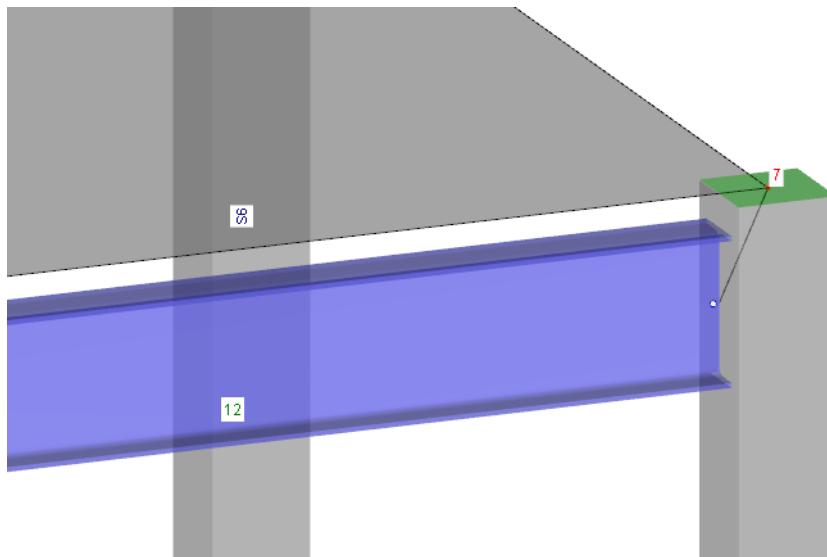


Bild 4.25: Stahlträger mit Gelenk und Exzentrizität

4.6 Eingabe überprüfen



Daten-Navigator und Tabellen überprüfen

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 Strukturelemente registerweise katalogisiert. Grafik und Tabellen wirken interaktiv: Um z. B. eine Fläche in der Tabelle zu finden, ist die Tabelle 1.4 *Flächen* einzustellen und die Fläche im Arbeitsfenster durch Anklicken zu selektieren. Die entsprechende Tabellenzeile wird dann farbig hervorgehoben (siehe Bild 4.12, Seite 16).

Wir können kurz die numerischen Daten unserer Eingabe überprüfen.

Daten speichern

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

Datei → Speichern

oder der entsprechenden Schaltfläche in der Symbolleiste.

5 Belastung

Die Lasten wie z. B. Eigengewicht, Nutz- oder Windlast werden zunächst in unterschiedlichen Lastfällen beschrieben. Im nächsten Schritt können diese Lastfälle nach bestimmten Kombinationsregeln mit Teilsicherheitsfaktoren überlagert werden (siehe [Kapitel 6](#)).

5.1 Lastfall 1: Eigengewicht und Aufbau

Der erste Lastfall enthält die ständig wirkenden Lasten aus Eigengewicht und Deckenaufbau (siehe [Kapitel 2.3, Seite 5](#)).



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

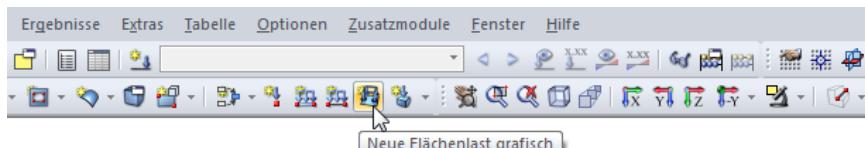


Bild 5.1: Schaltfläche Neue Flächenlast

Es erscheint der Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*.

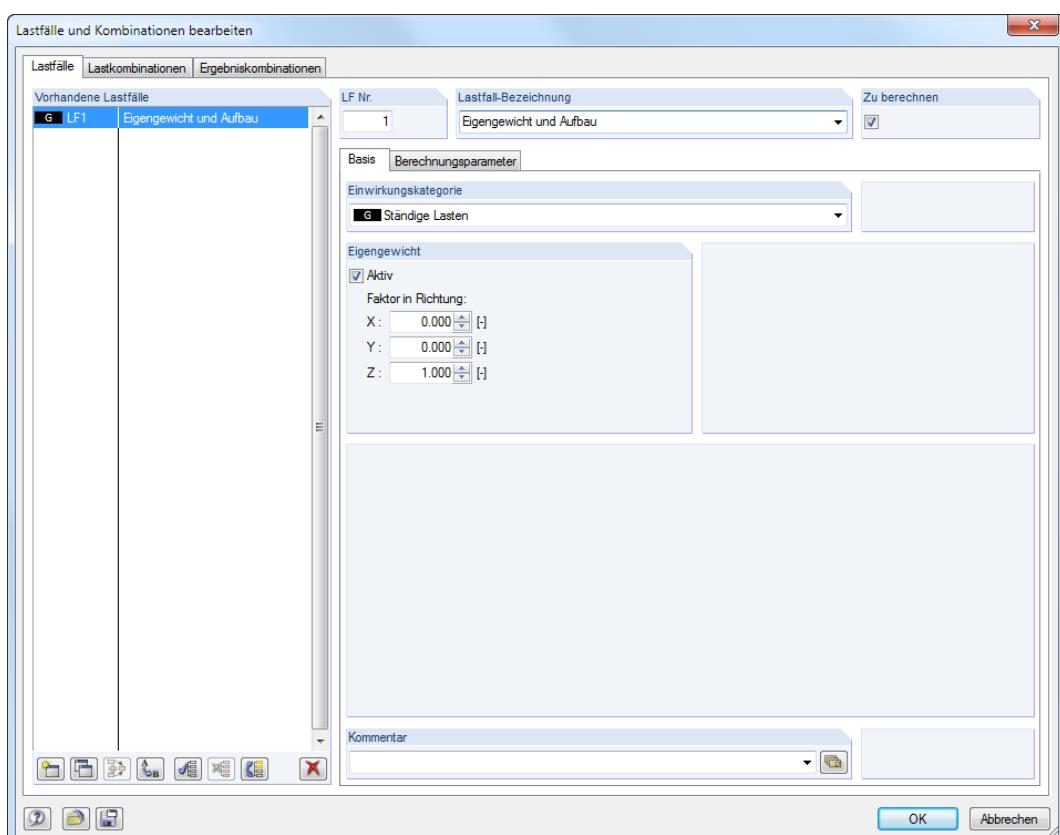
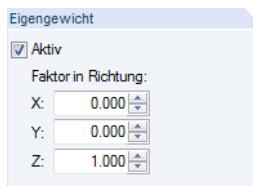


Bild 5.2: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle* und *Basis*

Die Lastfall-Nr. 1 mit der Einwirkungskategorie **G Ständige Lasten** ist voreingestellt. Wir tragen noch die **Lastfall-Bezeichnung Eigengewicht und Aufbau** 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*.

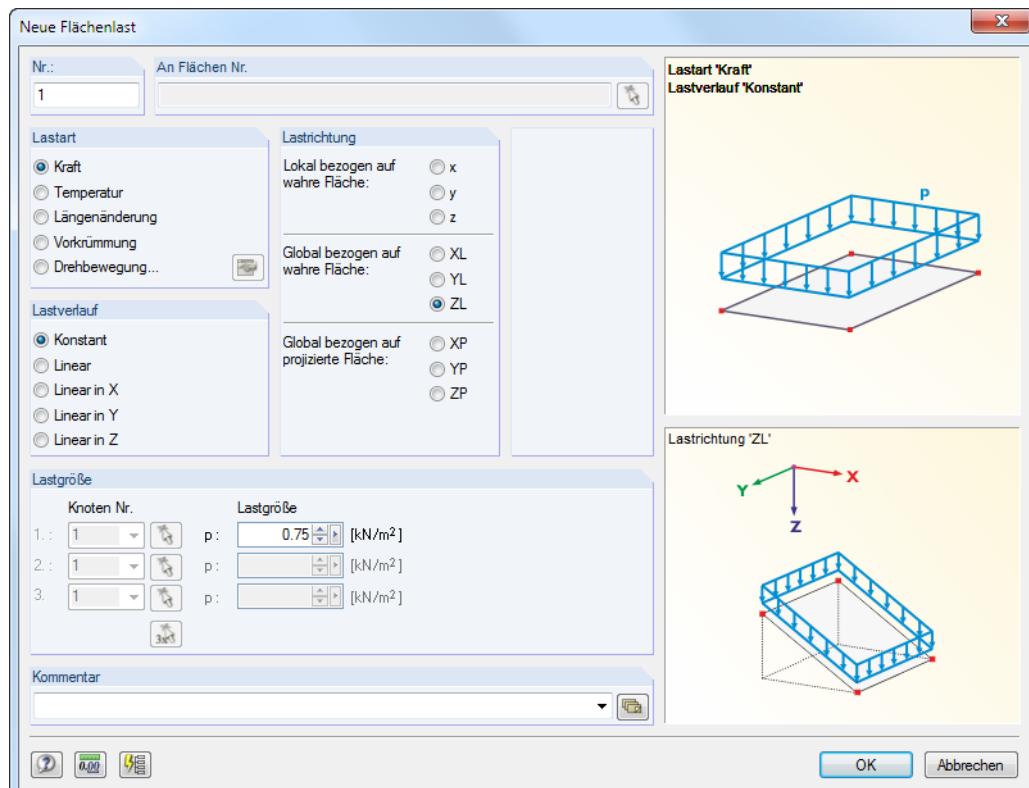


Bild 5.3: Dialog *Neue Flächenlast*

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 **0,75 kN/m²** ein (siehe [Kapitel 2.3, Seite 5](#)) 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 nacheinander auf die Flächen **1** und **2** (siehe [Bild 5.4](#)).



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

[Esc] oder ein Rechtsklick in das freie Arbeitsfenster beendet den Eingabemodus. Damit sind die Eingaben für den Lastfall *Eigengewicht* und *Aufbau* abgeschlossen.

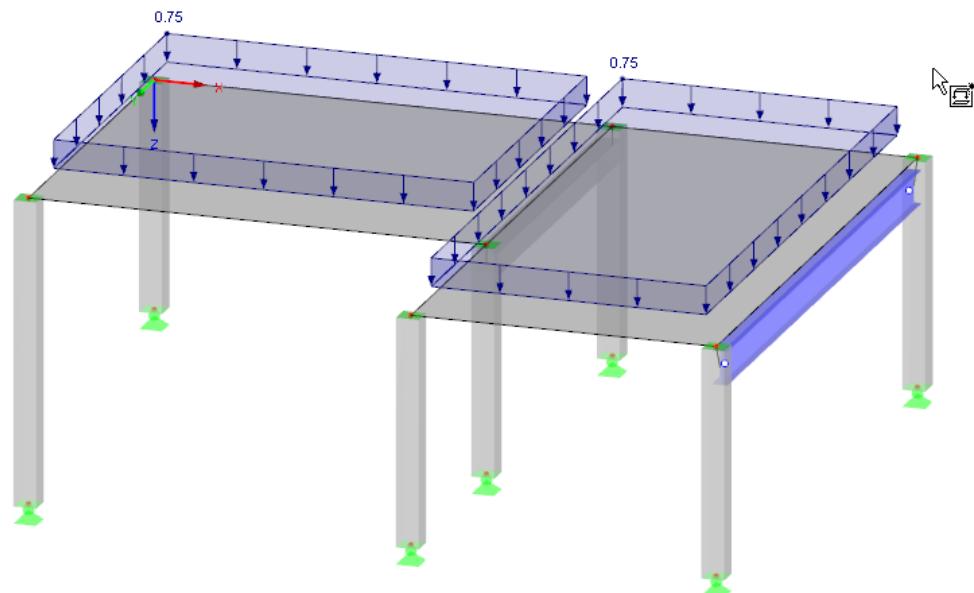


Bild 5.4: Grafische Eingabe der Deckenlast

5.2 Lastfall 2: Nutzlast Feld 1

Die Nutzlast der Decke wird wegen der Durchlaufwirkung in zwei verschiedene Lastfälle aufgeteilt. Wir legen einen neuen Lastfall an über Menü

Einfügen → Lastfälle und Kombinationen → Lastfall

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

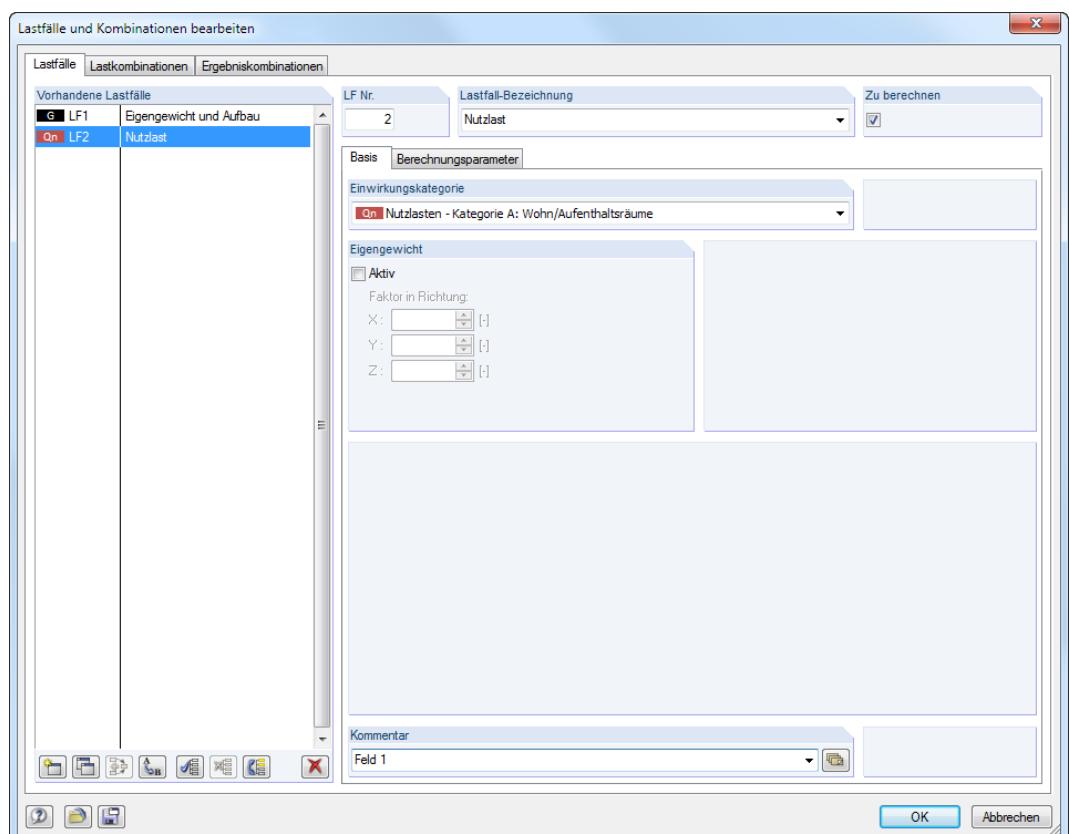


Bild 5.5: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

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

Die **Einwirkungskategorie** wird automatisch auf **Q_n Nutzlasten - Kategorie A: Wohn-/Aufenthaltsräume** gesetzt. Diese Klassifizierung spielt für die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte der Lastkombinationen eine Rolle.

Als **Kommentar** können wir **Feld 1** eintragen und so den Lastfall näher beschreiben.



Nach dem Bestätigen des Dialogs geben wir die Flächenlast in einer neuen Variante ein: Wir selektieren zunächst die Deckenfläche 1 durch Anklicken. Wenn wir nun über die Schaltfläche [Neue Flächenlast] den Dialog aufrufen, ist die Nummer der Fläche schon eingetragen.

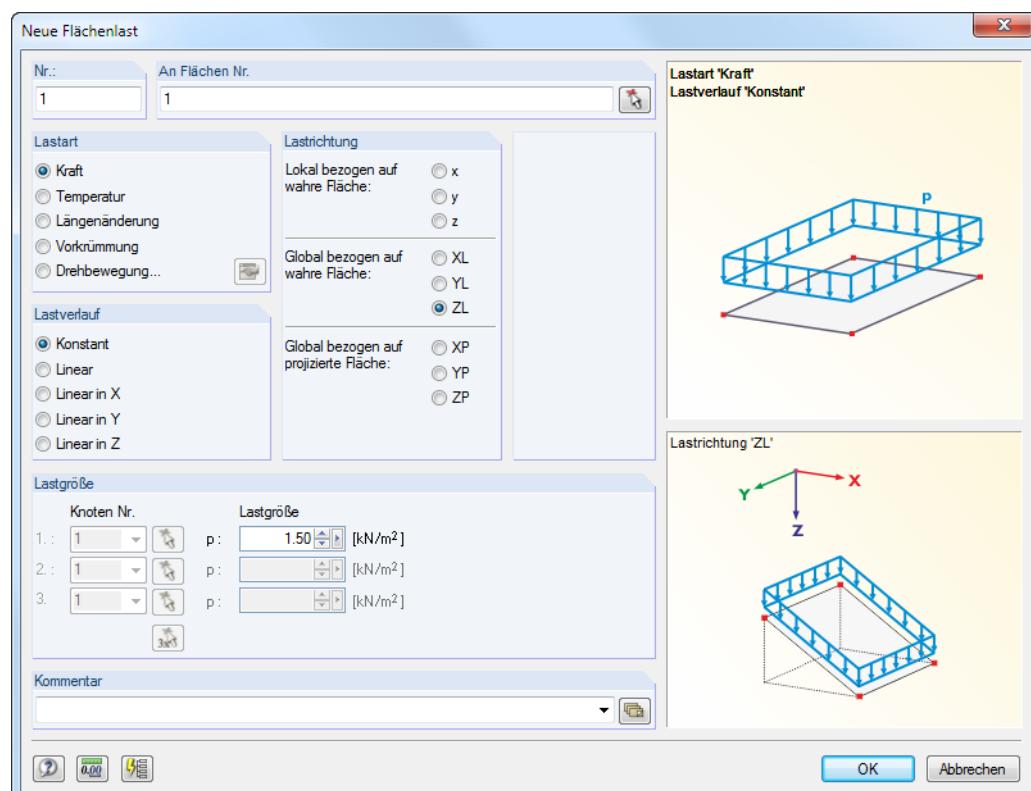


Bild 5.6: Dialog *Neue Flächenlast*

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

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

Die Flächenlast wird im linken Feld der Decke angezeigt.

5.3 Lastfall 3: Nutzlast Feld 2



Zur Eingabe der Nutzlast des rechten Feldes ist ein [Neuer Lastfall] anzulegen.

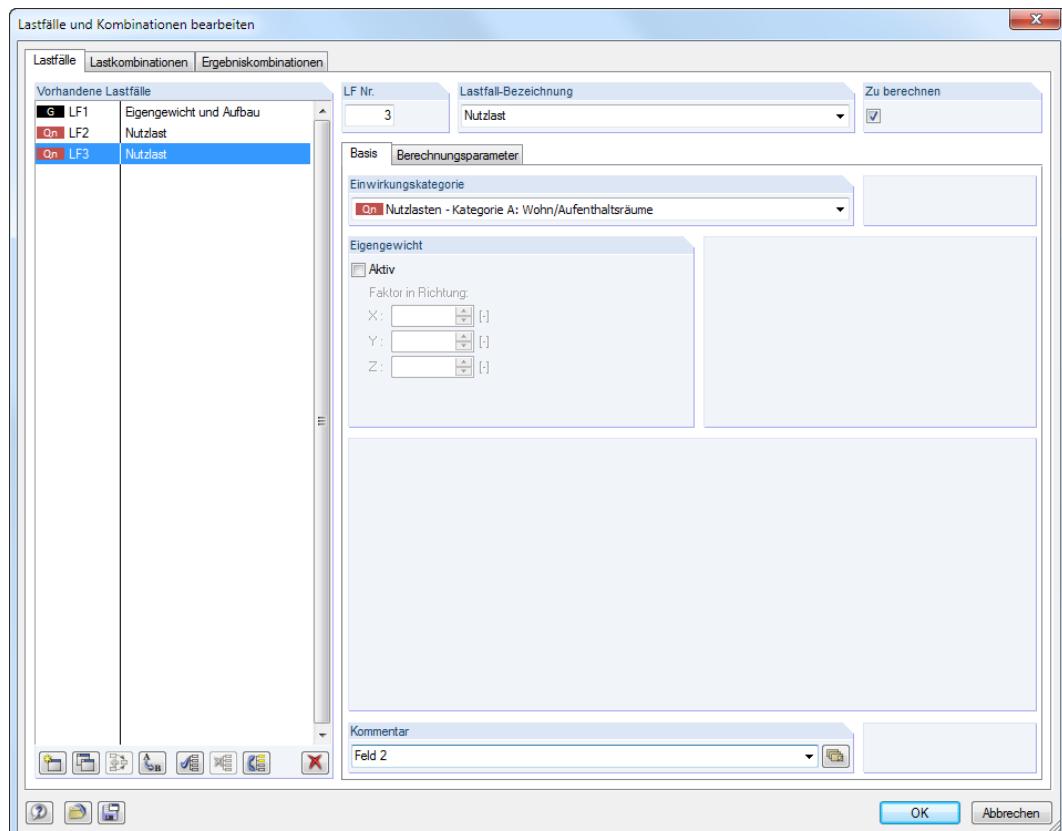


Bild 5.7: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

Die *Lastfall-Bezeichnung* ist wieder **Nutzlast**. Als *Kommentar* tragen wir **Feld 2** ein und schließen den Dialog mit [OK].

5.3.1 Flächenlast



Wir selektieren diesmal die Deckenfläche 2 und rufen dann mit der Schaltfläche [Neue Flächenlast] wieder den Dialog *Neue Flächenlast* auf.

Neben der Fläche 2 sind auch die Parameter der letzten Eingabe voreingestellt (Lastart *Kraft*, Lastverteilung *Konstant*, Lastrichtung *Global ZL*, Lastgröße 1.5 kN/m^2 – siehe Bild 5.6).

Wir können den Dialog unverändert bestätigen.

Die Flächenlast wird im rechten Feld der Decke angezeigt (siehe Bild 5.8).

5.3.2 Linienlast



Das Setzen der Linienlast am hinteren Deckenrand 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.

Die Linienlast als Lastart *Kraft* mit Lastverlauf *Konstant* wirkt in Lastrichtung *ZL*. Im Eingabefeld *Stablast-Parameter* tragen wir **5 kN/m** ein (siehe [Kapitel 2.3, Seite 5](#)).

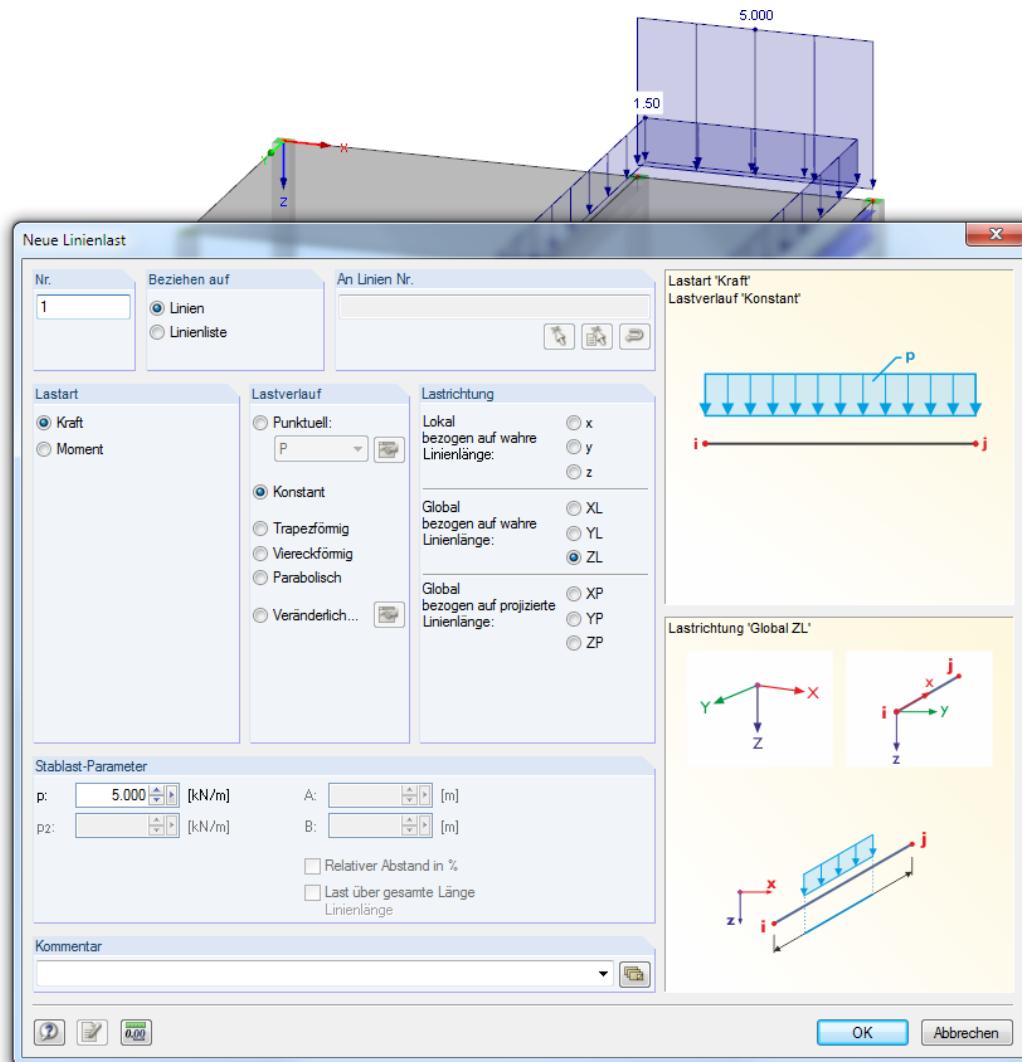


Bild 5.8: Dialog *Neue Linienlast*



Nach [OK] klicken wir die Linie **8** am hinteren Rand der Decke an (Kontrolle über Statusleiste).



Wir beenden den Eingabemodus mit [Esc] oder einem Rechtsklick und stellen dann wieder die [Isometrische Ansicht] her.

5.4 Lastfall 4: Imperfektionen

Im letzten Lastfall definieren wir Imperfektionen für die normalkraftbelasteten Stützen.

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...*.

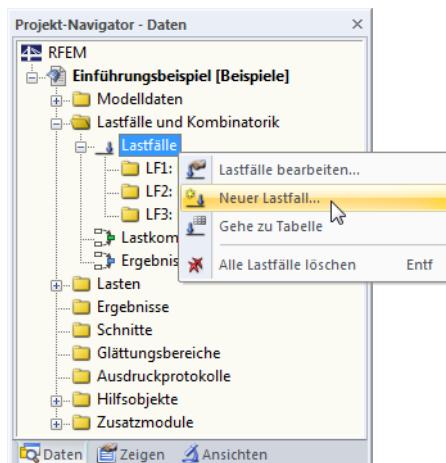


Bild 5.9: Kontextmenü *Lastfälle*

Als *Lastfall-Bezeichnung* wählen wir **Imperfektion in -Y** aus der Liste. Die *Einwirkungskategorie* wird dabei automatisch in **Imp Imperfektion** geändert.

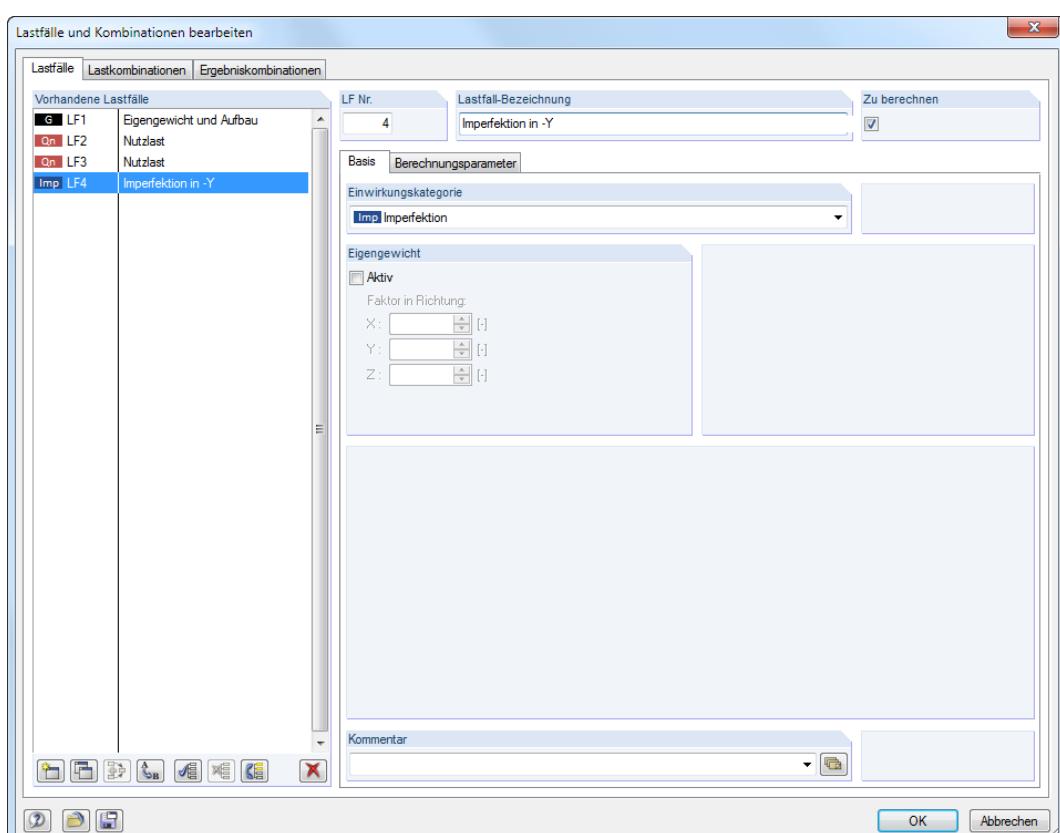
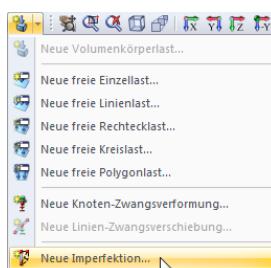


Bild 5.10: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastfälle*

Wir schließen den Dialog mit [OK].



Listenschaltfläche
für Lasten

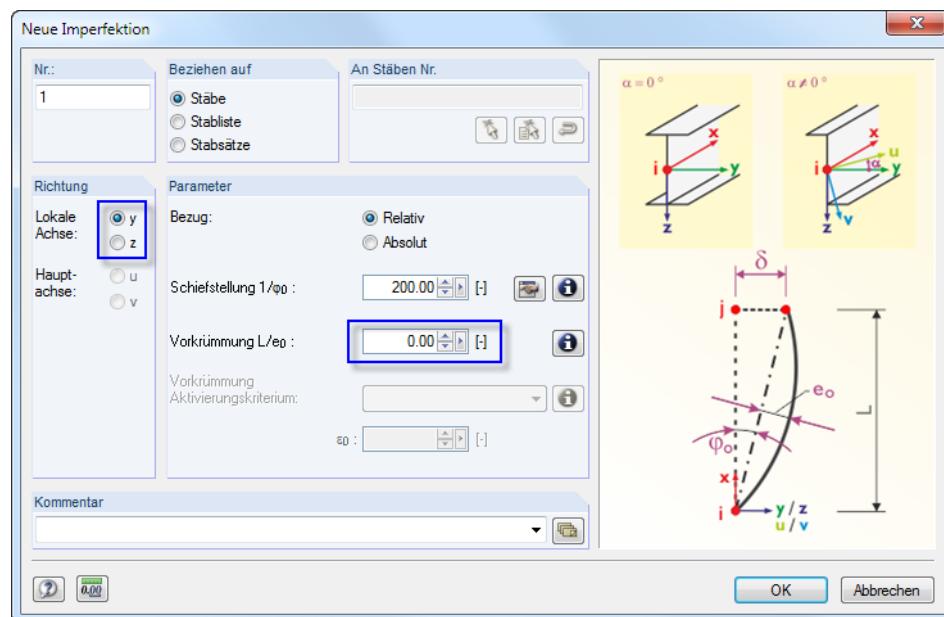


Bild 5.11: Dialog Neue Imperfektion

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.

Wir setzen die *Vorkrümmung L/e₀* zu **0** und bestätigen den Dialog mit [OK].

Die Imperfektion lässt sich gut über ein Selektionsfenster zuweisen. Hierzu sollten wir aber das Modell in eine günstigere Lage bringen. Wir klicken die Schaltfläche [Ansicht verschieben] an und kippen dann das Modell ein wenig nach hinten: Dies gelingt, indem wir die [Strg]-Taste gedrückt halten, während wir mit der linken Maustaste das Modell etwas nach oben schieben.

[Esc] oder ein Rechtklick beendet das Ändern der Ansicht, ohne die Funktion „Stäbe für Imperfektionen wählen“ abzubrechen.



Wir ziehen wieder ein Selektionsfenster von rechts nach links auf. Dabei soll jede Stütze von diesem Fenster erfasst werden; der Stahlträger muss außerhalb des Selektionsbereichs liegen!

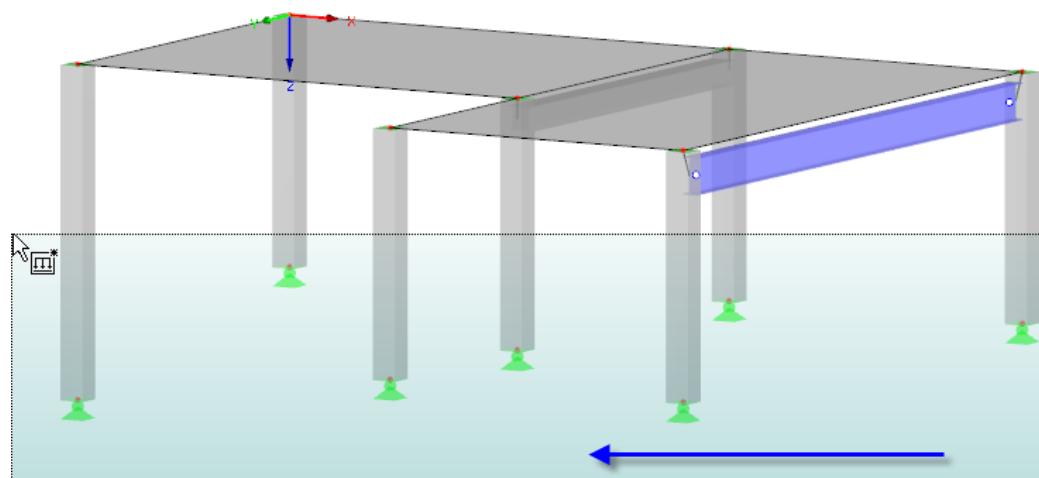


Bild 5.12: Selektieren der Stützen für Imperfektionen

Mit dem Setzen der zweiten Ecke des Fensters werden die Imperfektionen zugewiesen.



[Esc] oder ein Rechtsklick beendet die Funktion. Wir stellen wieder die [Isometrische Ansicht] ein.

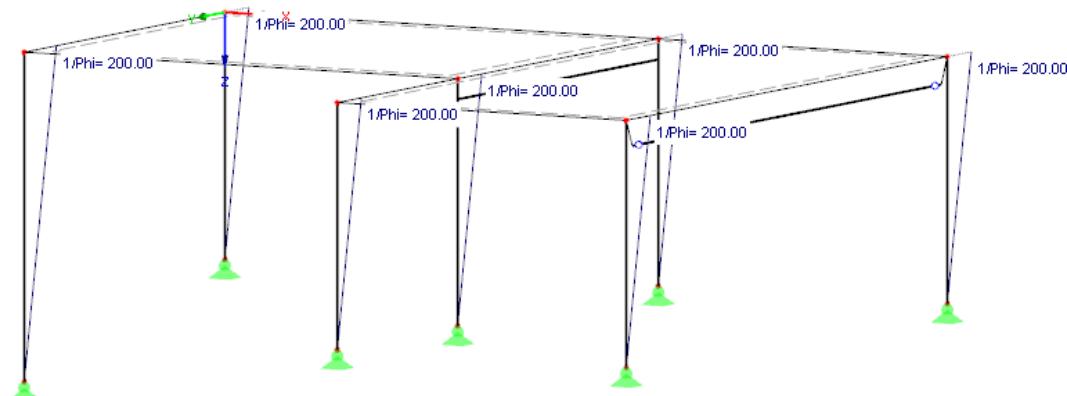
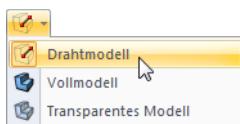


Bild 5.13: Imperfektionen dargestellt am Drahtmodell

Modelldarstellung ändern



Das obige Bild zeigt die Struktur als *Drahtmodell* an. Diese Variante kann über die links gezeigte Schaltfläche eingestellt werden. So werden die Imperfektionen nicht von den gerenderten Stützen überdeckt.

5.5 Lastfälle überprüfen



Die vier 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.

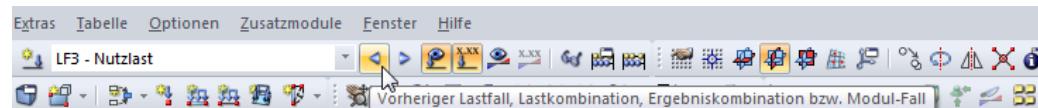


Bild 5.14: Blättern durch die einzelnen Lastfälle



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 eingestellt werden kann.



Grafik und Tabellen wirken wieder interaktiv: Um z. B. eine Imperfektion in der Tabelle zu finden, ist die Tabelle 3.14 *Imperfektionen* einzustellen und die Last im Arbeitsfenster zu selektieren. Der Cursor springt dann in die entsprechende Zeile der Tabelle.

6 Kombination der Lastfälle

Die Lastfälle sind gemäß EN 1990 mit Beiwerten zu kombinieren. Der *Einwirkungstyp*, den wir beim Anlegen der Lastfälle festgelegt haben, erleichtert diese Aufgabe (siehe [Bild 5.10, Seite 31](#)). Damit werden die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte beim Anlegen der Kombinationen gesteuert.

6.1 Lastkombinationen erzeugen

Mit den vier Lastfällen sind folgende Lastkombinationen zu bilden:

$1,35 \cdot LF1 + 1,5 \cdot LF2 + 1,0 \cdot LF4$ Nutzlast in Feld 1

$1,35 \cdot LF1 + 1,5 \cdot LF3 + 1,0 \cdot LF4$ Nutzlast in Feld 2

$1,35 \cdot LF1 + 1,5 \cdot LF2 + 1,5 \cdot LF3 + 1,0 \cdot LF4$ Volllast

Die Berechnung soll nach Theorie II. Ordnung erfolgen.

LK1 anlegen

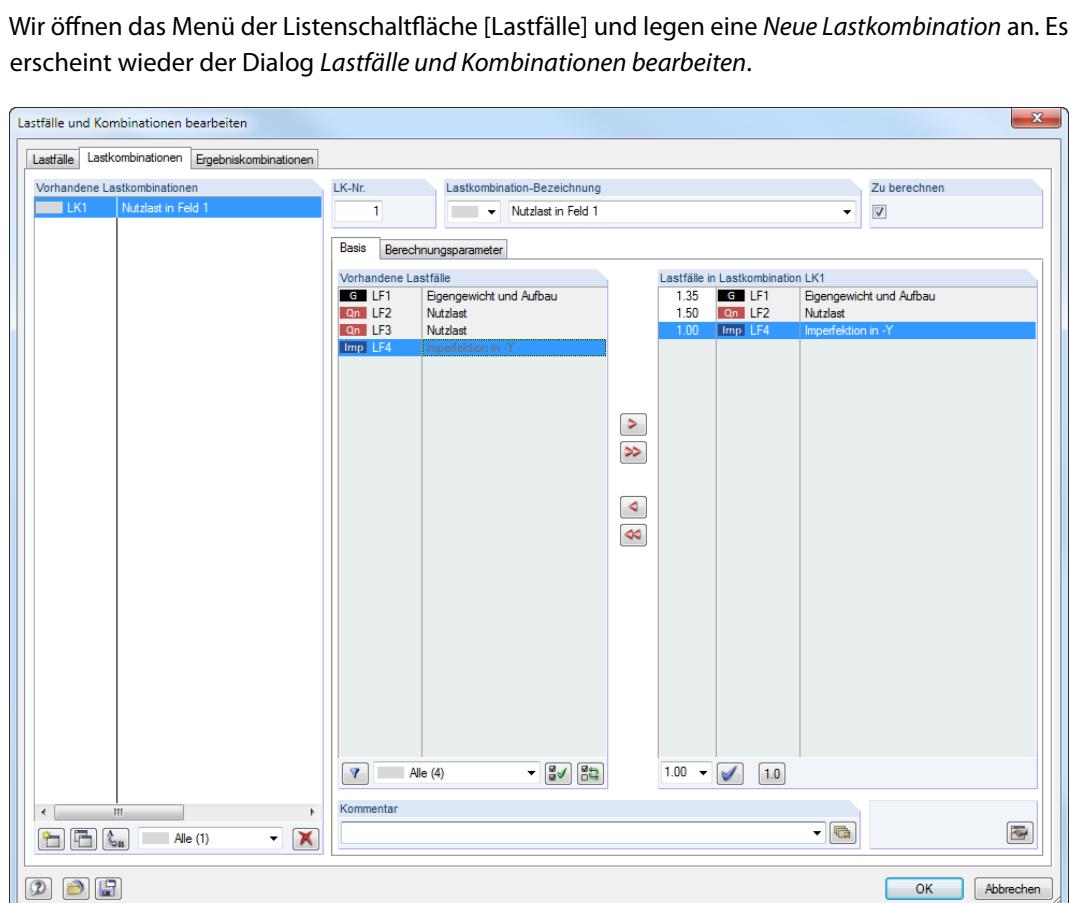
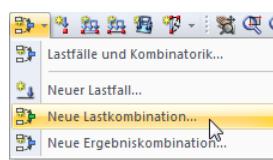


Bild 6.1: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastkombinationen*

Als *Lastkombination-Bezeichnung* geben wir **Nutzlast in Feld 1** ein.

In der Liste *Vorhandene Lastfälle* klicken wir den **LF1** an und übergeben ihn mit der Schaltfläche nach rechts in die Liste *Lastfälle in Lastkombination LK1*. Wir führen dann die gleichen Schritte mit dem **LF2** und dem **LF4** durch.

Im Register *Berechnungsparameter* überprüfen wir, ob die *Berechnungstheorie nach II. Ordnung* aktiviert ist (siehe [Bild 6.2](#)).

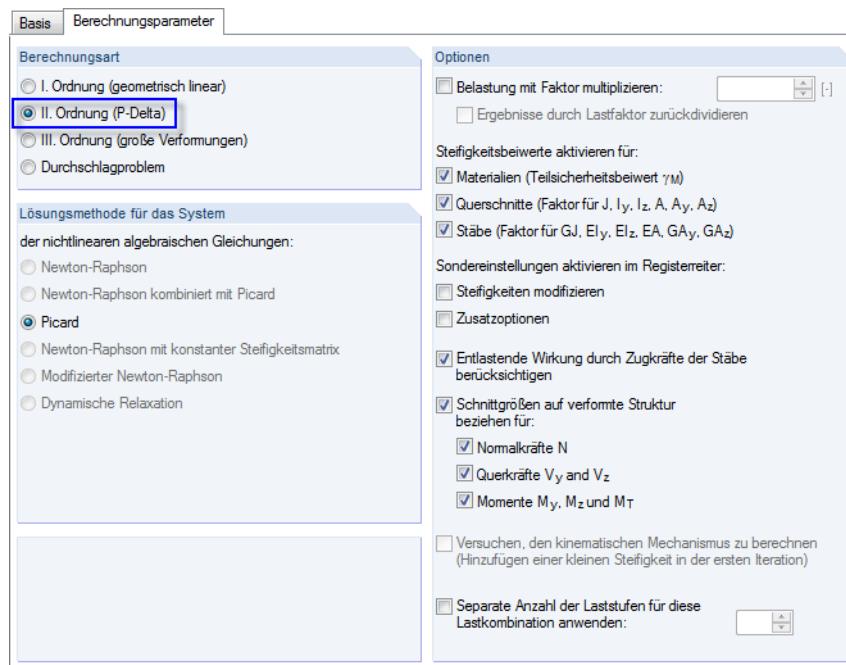


Bild 6.2: Register Berechnungsparameter

Nach [OK] werden alle Lasten am Modell angezeigt, die in der Lastkombination enthalten sind. Bei den Werten sind die Faktoren der Lastfälle berücksichtigt.

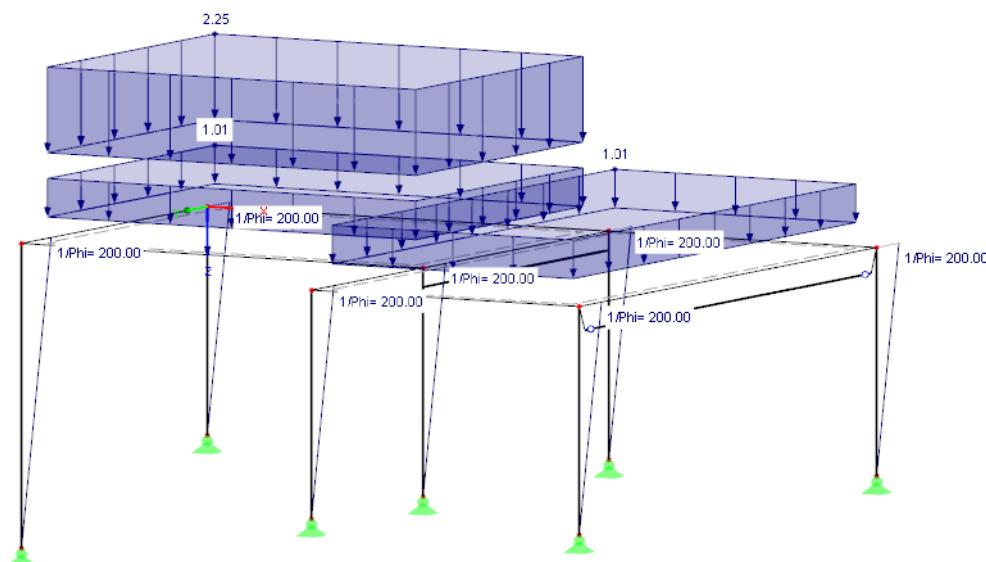
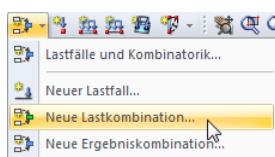


Bild 6.3: Lasten der Lastkombination LK1

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

LK2 anlegen



Die zweite Lastkombination bilden wir analog: Wir legen eine [Neue Lastkombination] an und geben als *Lastkombination-Bezeichnung* diesmal **Nutzlast in Feld 2** an.

Für diese Lastkombination sind die Lastfälle **LF1**, **LF3** und **LF4** relevant, die wir wieder mit der Schaltfläche festlegen.

LK3 anlegen

Zum Anlegen der letzten Lastkombination wählen wir eine neue Variante: Wir klicken den Navigatoreintrag *Lastkombinationen* mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü den Eintrag *Neue Lastkombination*.

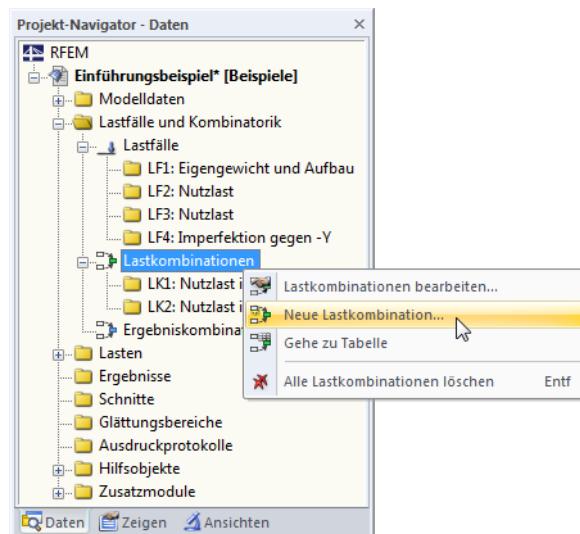


Bild 6.4: LK über Navigator-Kontextmenü anlegen

Als *Lastkombination-Bezeichnung* tragen wir **Vollast** ein. Mit der Schaltfläche können alle vier Lastfälle auf einmal in die rechte Liste übertragen werden.

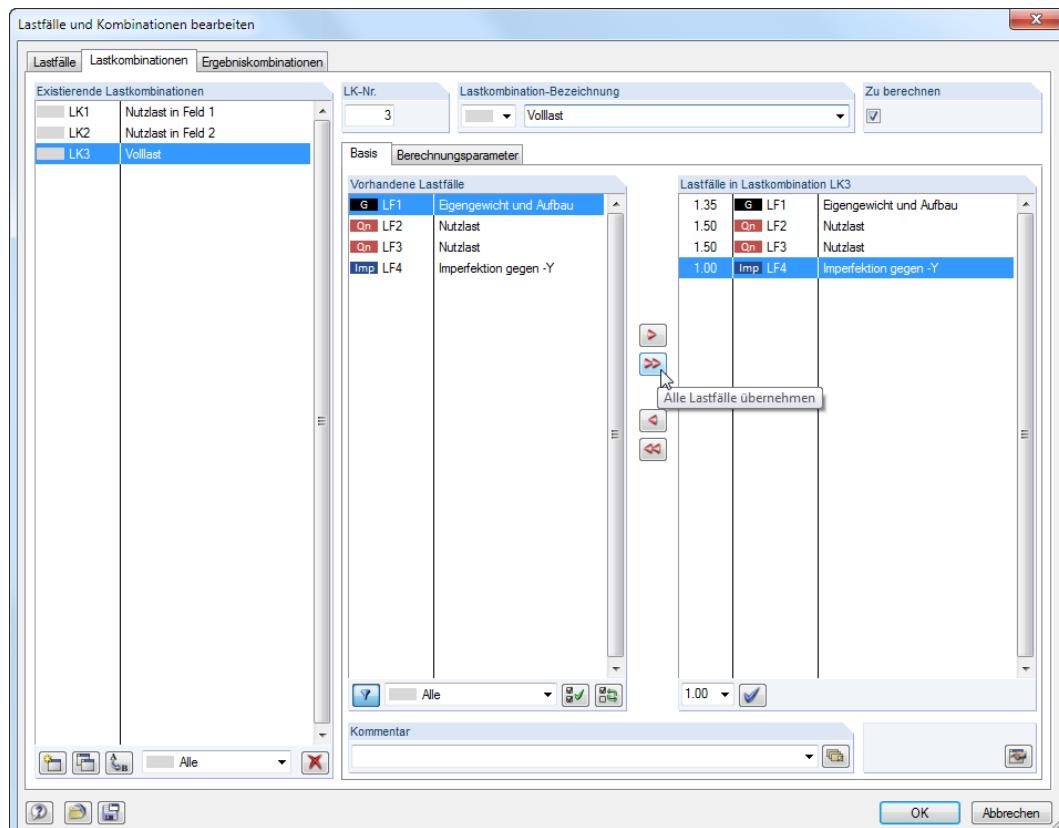


Bild 6.5: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Lastkombinationen*

Da die Lastfälle LF2 und LF3 der Einwirkungskategorie *Nutzlast* zugewiesen sind, werden sie jeweils mit dem Teilsicherheitsfaktor 1,5 angesetzt. Bei unterschiedlichen Kategorien wäre einer der Lastfälle die Leiteinwirkung, der andere die begleitende Einwirkung mit reduziertem Faktor.

6.2 Ergebniskombination erzeugen

Aus den Ergebnissen der drei Lastkombinationen bilden wir eine Einhüllende, die die positiven und negativen Extremwerte enthält.

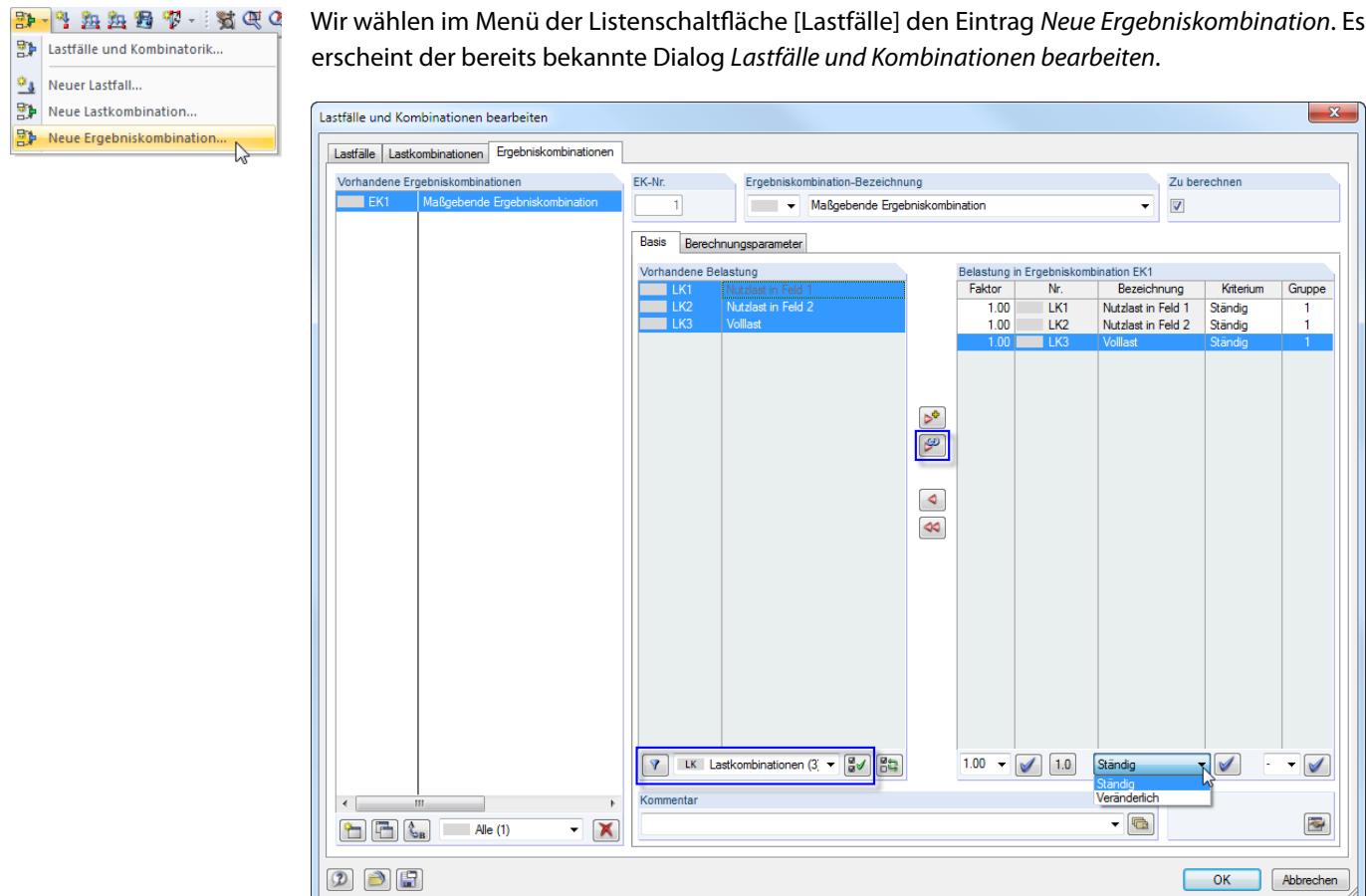


Bild 6.6: Dialog *Lastfälle und Kombinationen bearbeiten*, Register *Ergebniskombinationen*

Als **Ergebniskombination-Bezeichnung** wählen wir **Maßgebende Ergebniskombination** in der Liste.

- Damit die Lastkombinationen im Abschnitt *Vorhandene Belastung* angezeigt werden, stellen wir unten in der Liste die Option *LK Lastkombinationen* ein. Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Alles selektieren] markieren wir dann die drei Lastkombinationen.
Rechts unten ist als Überlagerungsfaktor *1.00* voreingestellt; das entspricht unserer Absicht, die Extremwerte dieser Lastkombinationen zu ermitteln. Wir ändern noch die Überlagerungsvorschrift über die Liste in **Standig**, damit stets mindestens eine der Einwirkung berücksichtigt wird.
- Die Schaltfläche [*Selektiertes mit ,oder‘ hinzufügen*] übergibt die drei Lastkombinationen in die Liste nach rechts. Die Ziffer *1* in der letzten Spalte drückt aus, dass die drei Einträge zur gleichen Gruppe gehören: Sie werden nicht additiv, sondern als alternativ wirksam behandelt.
- Die Überlagerungskriterien sind nun vollständig definiert. Nach [OK] können wir 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. Zudem wird eine Bilanz der Struktur- und Belastungsdaten ausgegeben.

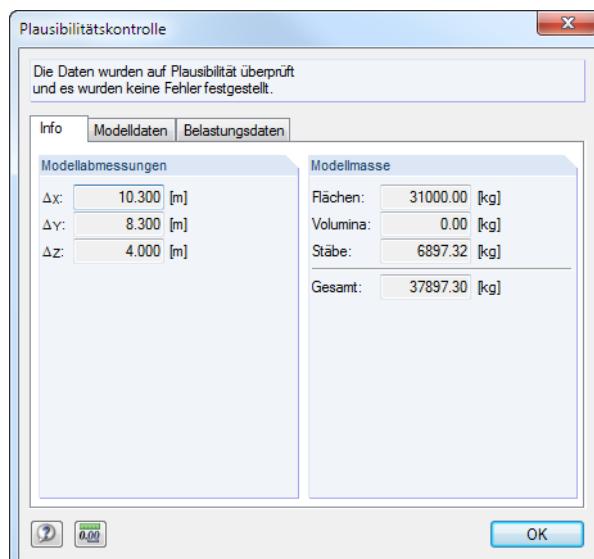


Bild 7.2: Ergebnis der Plausibilitätskontrolle

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

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.

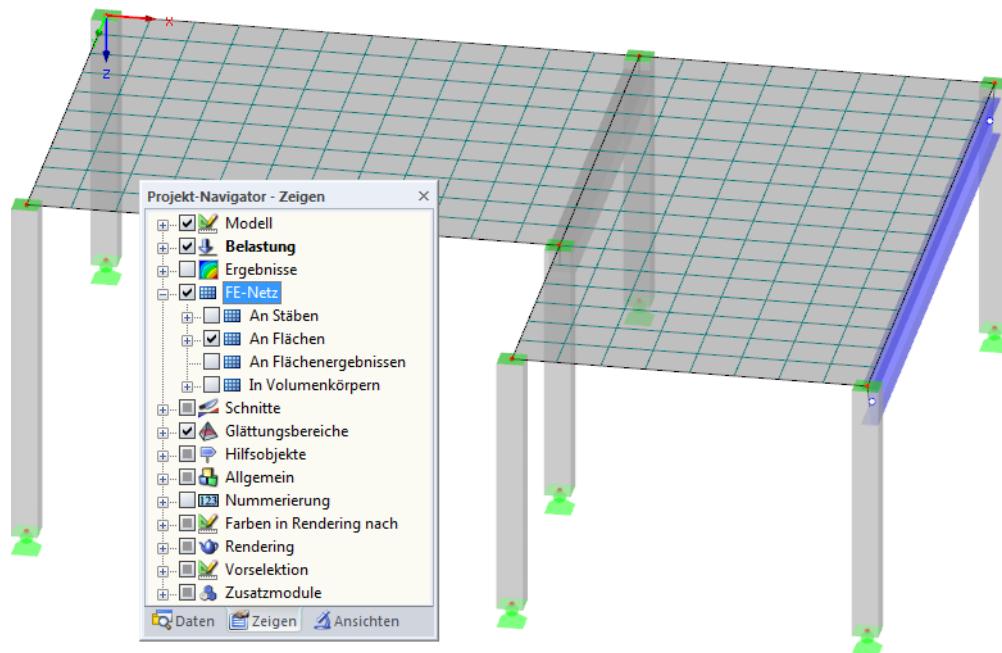


Bild 7.3: Modell mit generiertem FE-Netz

7.3 Modell berechnen

Wir starten nun die Berechnung über Menü

Berechnung → **Alles berechnen**

oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

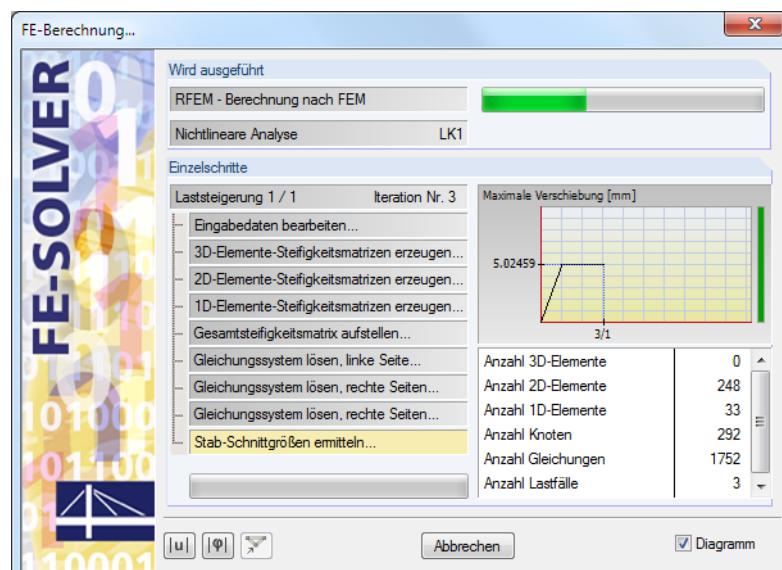


Bild 7.4: Ablauf der Berechnung

8 Ergebnisse

8.1 Grafische Ergebnisse



Nach der Berechnung erscheinen die Verformungen des aktuellen Lastfalls. Da zuletzt die EK1 eingestellt war, werden die maximalen und minimalen Ergebnisse dieser Ergebniskombination angezeigt.

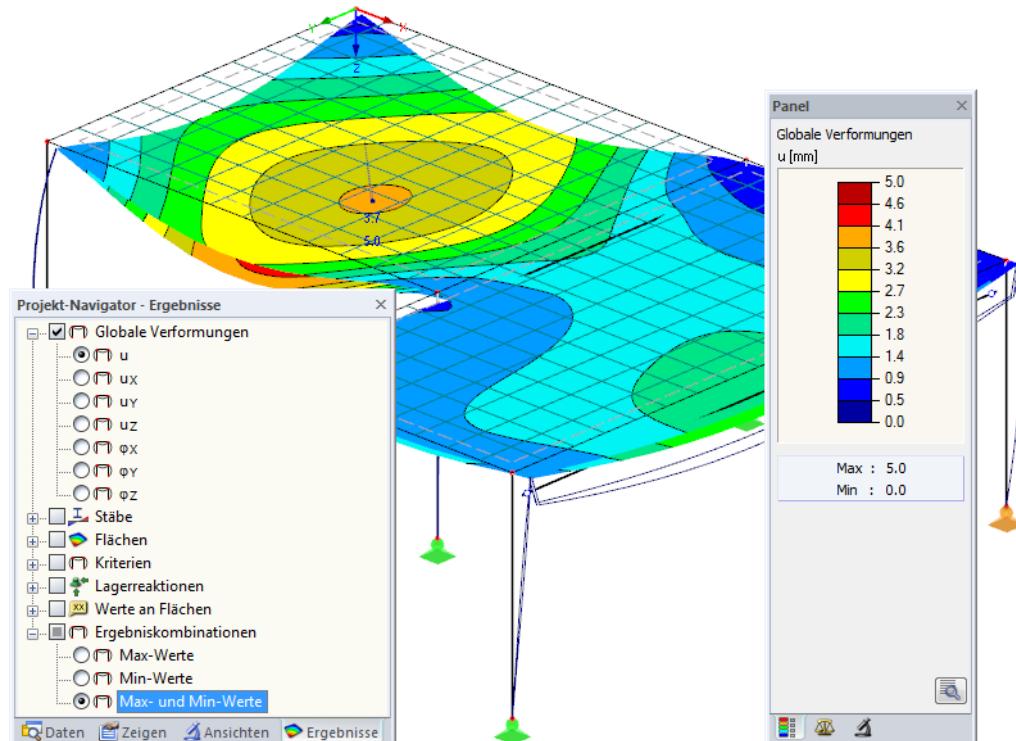


Bild 8.1: Grafik der max/min-Verformungen für Ergebniskombination EK1

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 Ergebniskombinationen wechseln, wie wir es von der Kontrolle der Lastfälle her kennen. Die Auswahl kann auch in der Liste erfolgen.

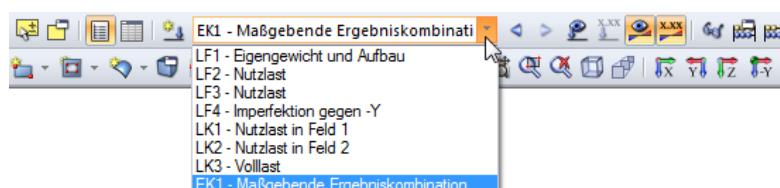


Bild 8.2: Lastfall-Liste in Symbolleiste

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.

Die Kontrollfelder vor den einzelnen Ergebniskategorien (z. B. *Globale Verformungen*, *Stäbe*, *Flächen*, *Lagerreaktionen*) steuern, welche Verformung oder Schnittgröße dargestellt wird. Vor den

Eintragen 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.

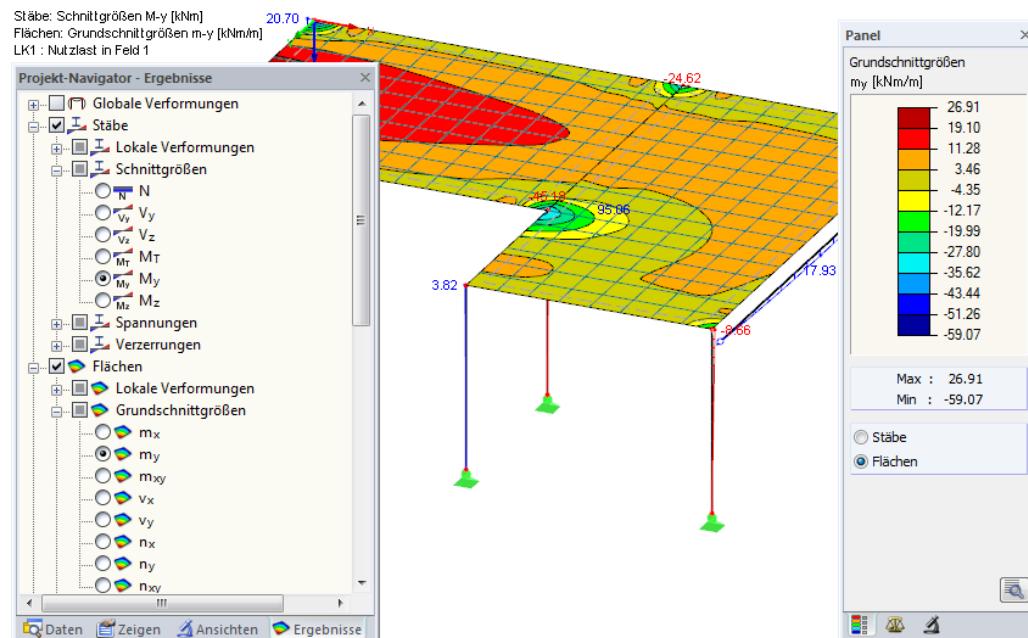
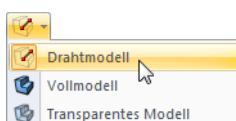


Bild 8.3: Stab- und Flächenschnittgrößen im Ergebnisse-Navigator einstellen



Im Bild oben sind die Stabschnittgrößen M_y und die Flächenschnittgrößen m_y dargestellt, die für die LK1 berechnet wurden. Zur Schnittgrößenanzeige ist das Drahtmodell zu empfehlen; es kann über die links gezeigte Schaltfläche eingestellt werden.

Werte anzeigen

Die Farbskala im Steuerpanel gibt die Farbbereiche an. Mit der Option **Werte an Flächen** im Ergebnisse-Navigator lassen sich die Ergebniswerte einblenden. Um alle Werte der FE-Netz-Knoten oder Rasterpunkte anzuzeigen, ist dort noch die Option **Extremwerte** zu deaktivieren.

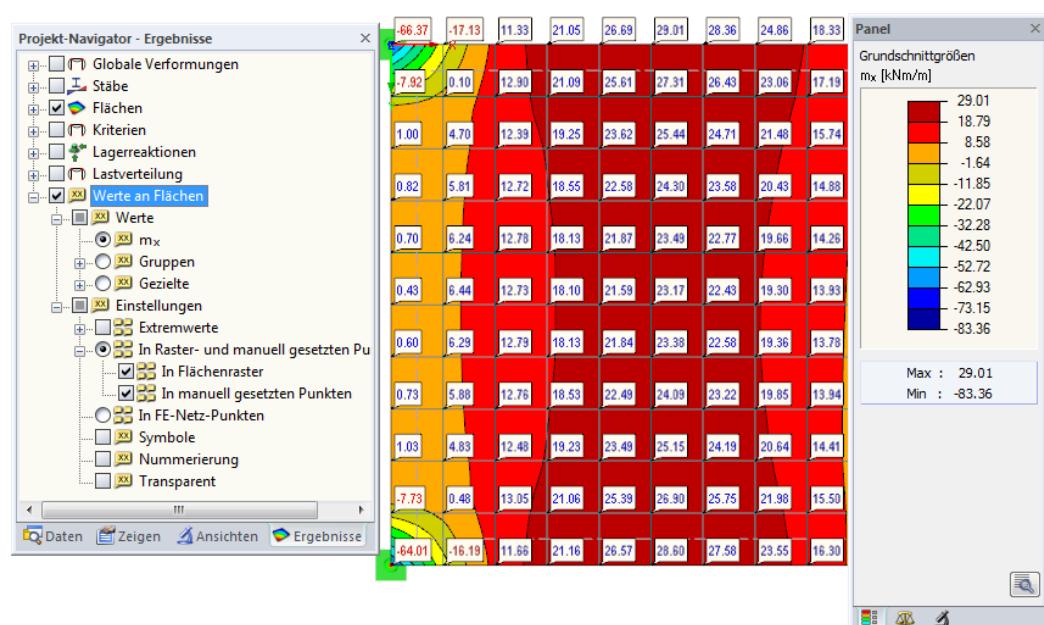


Bild 8.4: Rasterpunkt-Momente m_x der Deckenplatte in Z-Ansicht (LK1)

8.2 Ergebnistabellen

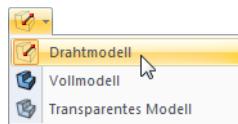


Die Ergebnisse lassen sich auch tabellarisch einsehen.

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.

A	B	C	D
Bezeichnung	Wert	Einheit	Kommentar
LF1 - Eigengewicht und Aufbau			
Summe Belastung in Richtung X	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung X	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Y	0.00	kN	
Summe Belastung in Richtung Z	425.47	kN	
Summe Lagerkräfte in Richtung Z	425.47	kN	Abweichung: 0.00 %
Resultierende der Reaktionen um X	-1.768	kNm	Im Schwerpunkt des Modells (X: 5.580, Y: 3.309, Z: 0.236 m)
Resultierende der Reaktionen um Y	1.009	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Resultierende der Reaktionen um Z	0.000	kNm	Im Schwerpunkt des Modells
Maximale Verschiebung in Richtung X	0.5	mm	Stab Nr. 1, x: 0.000 m
Maximale Verschiebung in Richtung Y	0.6	mm	Stab Nr. 4, x: 1.600 m
Maximale Verschiebung in Richtung Z	2.8	mm	FE-Knoten Nr. 335 (X: 2.500, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
Maximale Verschiebung vektoriell	2.8	mm	FE-Knoten Nr. 335 (X: 2.500, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um X-Achse	0.9	mrad	FE-Knoten Nr. 144 (X: 0.000, Y: 0.500, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um Y-Achse	-1.2	mrad	FE-Knoten Nr. 143 (X: 0.500, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
Maximale Verdrehung um Z-Achse	-0.1	mrad	Stab Nr. 1, x: 0.962 m
Berechnungstheorie	I. Ordnung		Theorie I. Ordnung (geometrisch lineare Berechnung)

Bild 8.5: Tabelle 4.0 Ergebnisse - Zusammenfassung



Die weiteren Tabellen lassen sich über die Registerreiter ansteuern. Um z. B. die Schnittgrößen der Deckenfläche 1 in der Tabelle zu finden, ist die Tabelle 4.15 *Flächen - Grundschnittgrößen* einzustellen. Wenn die Fläche nun mit einem Mausklick in der Grafik selektiert wird (die Darstellung als transparentes Modell 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.

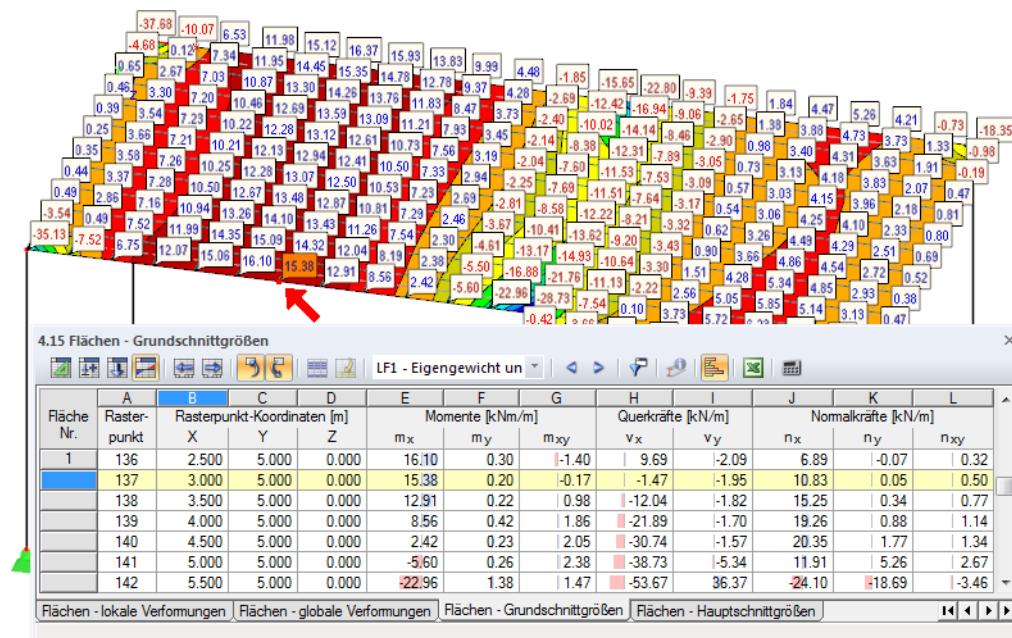
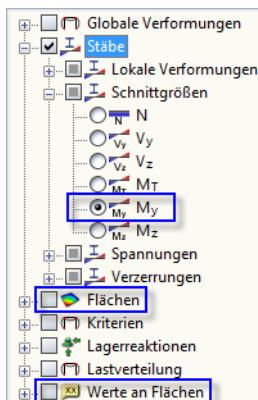


Bild 8.6: Flächenschnittgrößen in Tabelle 4.15 und Kennzeichnung des aktuellen Rasterpunkts am Modell

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

8.3 Ergebnisse filtern



Ergebnisse-Navigator

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

Wir bringen über den *Ergebnisse*-Navigator die Stabschnittgrößen M_y zur Anzeige. Dann deaktivieren wir die Anzeige der Flächenschnittgrößen sowie der Werte an Flächen (siehe Bild links).

8.3.1 Sichtbarkeiten

Ausschnitte und Gruppierungen können als sogenannte *Sichtbarkeiten* genutzt werden, um die Ergebnisse auszuwerten.

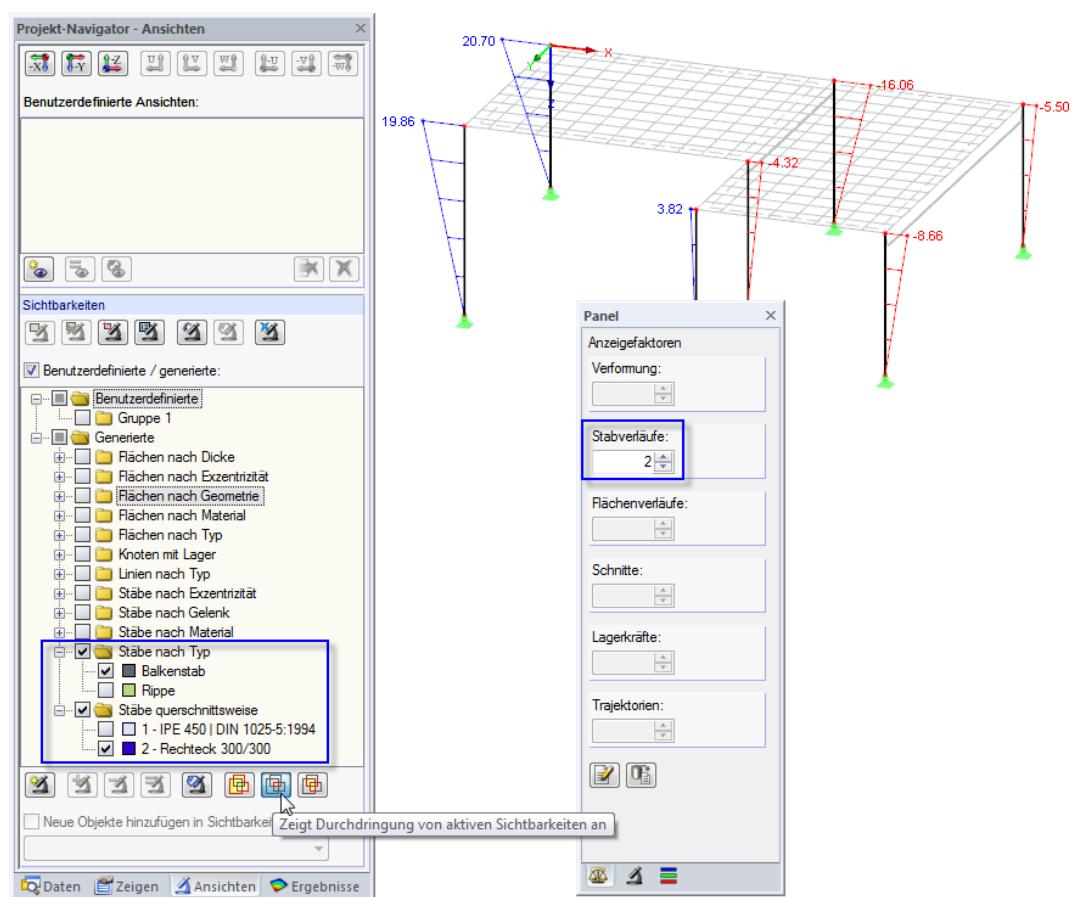
Ergebnisse der Betonstützen anzeigen

Wir wechseln im Navigator in das Register *Ansichten*. Unter den Sichtbarkeiten, die RFEM aus den Eingaben *Generiert* hat, haken wir folgende Einträge an:

Stäbe nach Typ: *Balkenstab*

Stäbe querschnittsweise: *Rechteck 300/300*

Mit der Schaltfläche [Durchdringung] bilden wir noch die Schnittmenge aus beiden Optionen.

Bild 8.7: Momente M_y der Betonstützen in überhöhter Darstellung

Es werden die 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 8.7).

Ergebnisse der Deckenplatte anzeigen

In gleicher Weise kann im *Ansichten-Navigator* nach Flächenergebnisse gefiltert werden. Wir deaktivieren die Optionen *Stäbe nach Typ* und *Stäbe querschnittsweise* und wählen stattdessen die *Flächen nach Dicke* aus. Dort haken wir den Eintrag *200 mm* an.

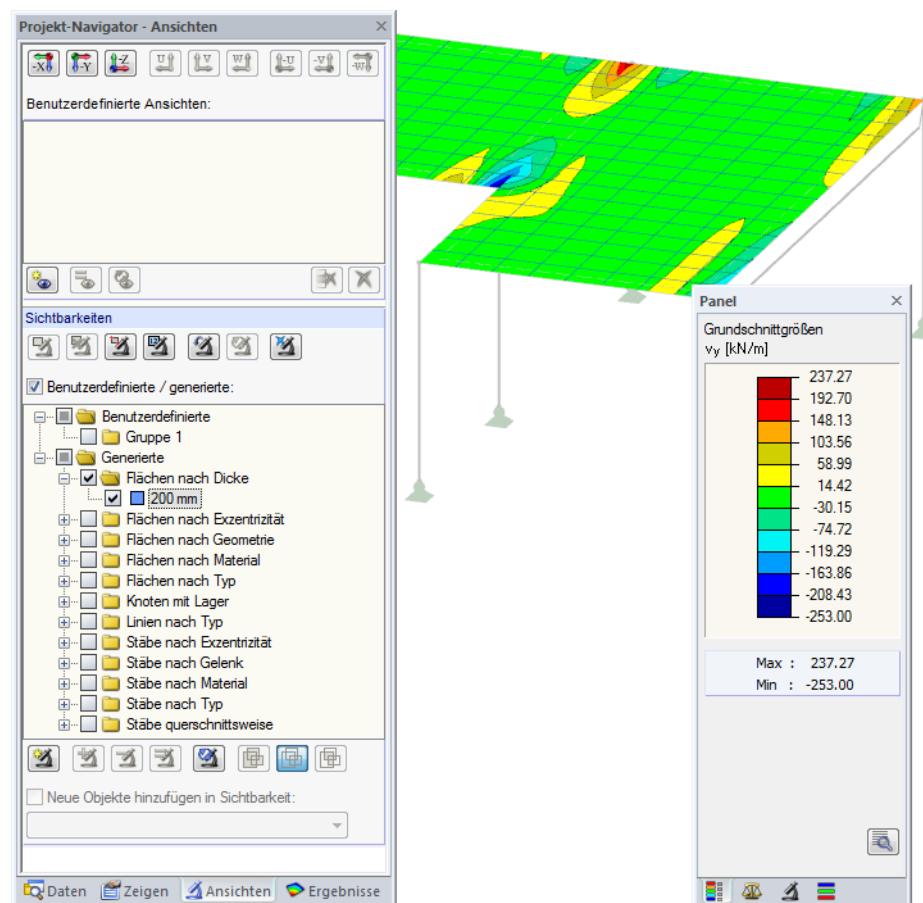


Bild 8.8: Querkräfte der Decke

Über den *Ergebnisse-Navigator* (siehe Bild 8.3, Seite 41) kann wie beschrieben die Anzeige der Ergebnisarten gewechselt werden. Das Bild oben zeigt den Verlauf der Querkräfte v_y für LK1.

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 Ausschnittsfunktion wird das Modell vollständig angezeigt.

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

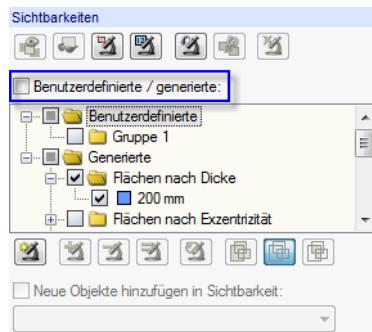


Bild 8.9: Gesamtdarstellung wiederherstellen im *Ansichten-Navigator*



Wir selektieren die Fläche 1 mit einem Mausklick (im *Drahtmodell* ist hierzu die gestrichelte Linie am Flächenrand anzuklicken, im *gefüllten* Darstellungsmodus ist dies an einer beliebigen Stelle der Fläche möglich). Dann wechseln wir im Panel in das Filter-Register und überprüfen, ob dort das Auswahlfeld *Flächen* aktiv ist.



Mit einem Klick auf die Schaltfläche [Von der Selektion übernehmen] wird die Nummer der selektierten Fläche in das Eingabefeld oben übertragen. Die Grafik zeigt nun nur die Ergebnisse der linken Fläche an.

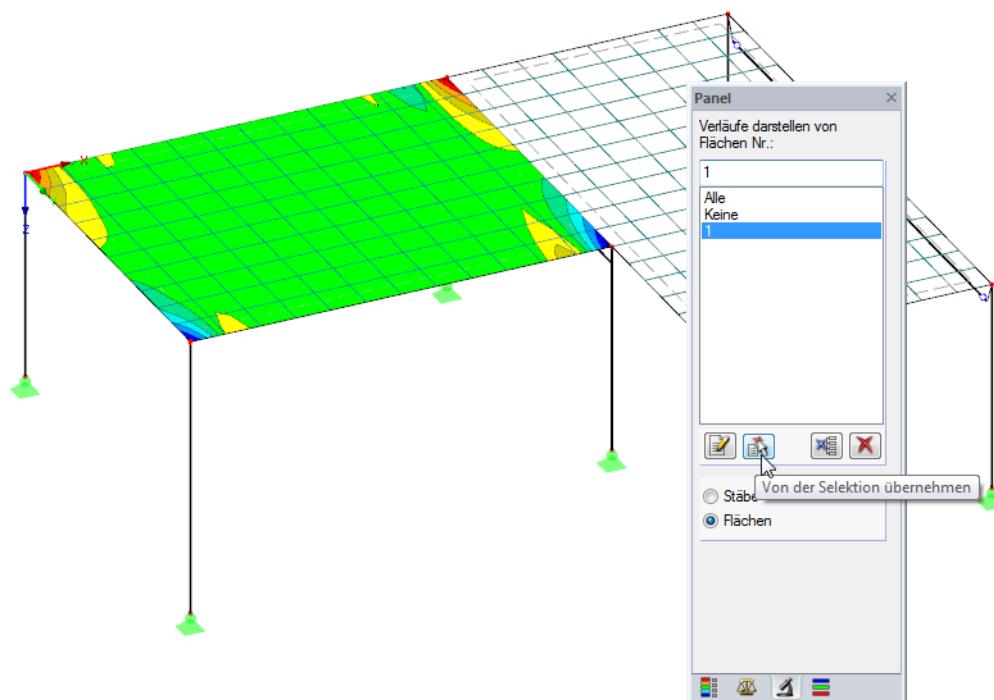
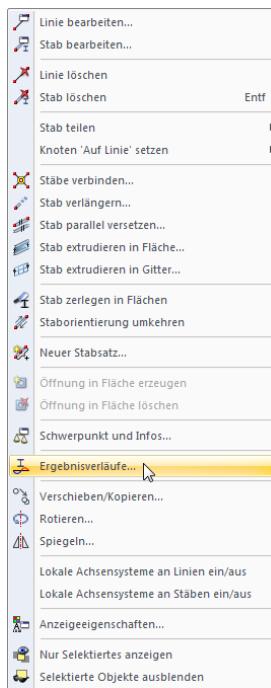


Bild 8.10: Querkraftverlauf der Fläche 1

Mit der Panel-Option *Alle* wird die Gesamtanzeige der Ergebnisse wiederhergestellt.

8.4 Ergebnisverläufe anzeigen



Kontextmenü Stab

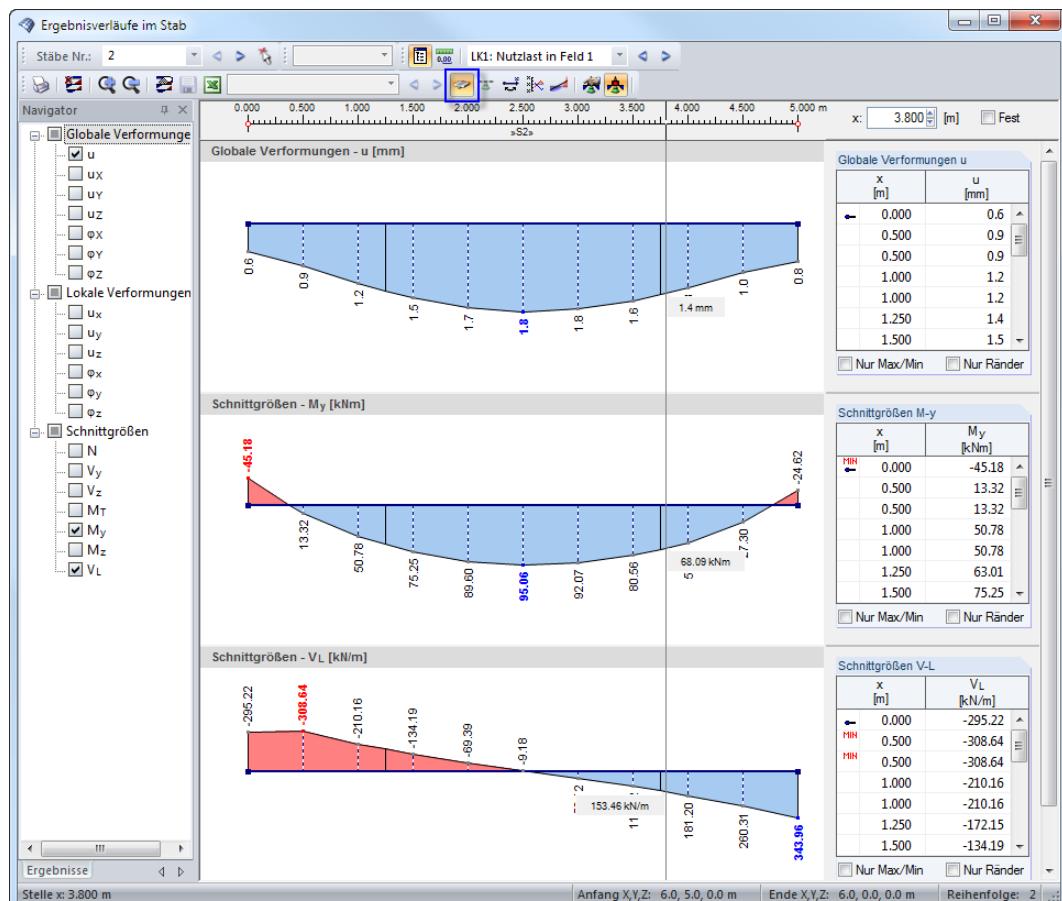


Bild 8.11: Ergebnisverläufe des Unterzugs anzeigen

Im Navigator haken wir die globalen Verformungen u sowie die Schnittgrößen M_y und V_L 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.

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.

Knoten-Nr.	Knotentyp	Bezugssystem	Koordinaten	Knotenkoordinaten	Kommentar
1	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 0.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 0.000	
2	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 0.000 Y [m]: 5.000 Z [m]: 0.000	
3	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 6.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 0.000	
4	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 6.000 Y [m]: 8.000 Z [m]: 0.000	
5	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 10.000 Y [m]: 8.000 Z [m]: 0.000	
6	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 10.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 0.000	
7	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 10.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 3.000	
8	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 0.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 3.000	
9	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 0.000 Y [m]: 5.000 Z [m]: 4.000	
10	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 6.000 Y [m]: 5.000 Z [m]: 3.000	
11	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 6.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 3.000	
12	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 6.000 Y [m]: 8.000 Z [m]: 3.000	
13	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 10.000 Y [m]: 8.000 Z [m]: 3.000	
14	Standard	-	Kartesisch	X [m]: 10.000 Y [m]: 0.000 Z [m]: 3.000	

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 *Querschnitte - Schnittgrößen* mit der rechten Maustaste an und wählen im Kontextmenü die *Selektion*.

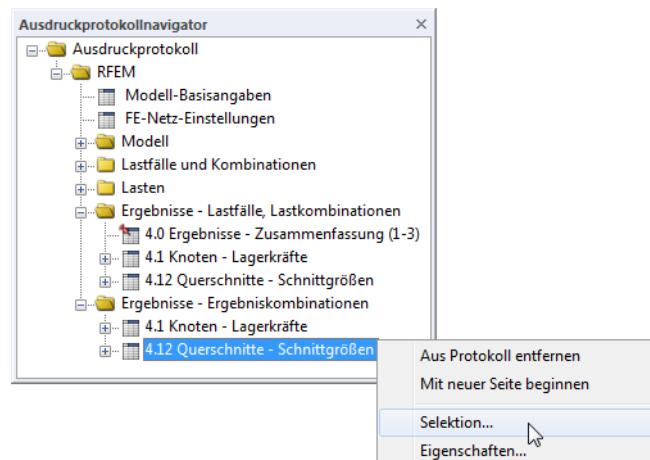


Bild 9.3: Kontextmenü Querschnitte - Schnittgrößen

Es erscheint ein Dialog, der Steuerungsmöglichkeiten für die EK-Ergebnisse von Stäben bietet.

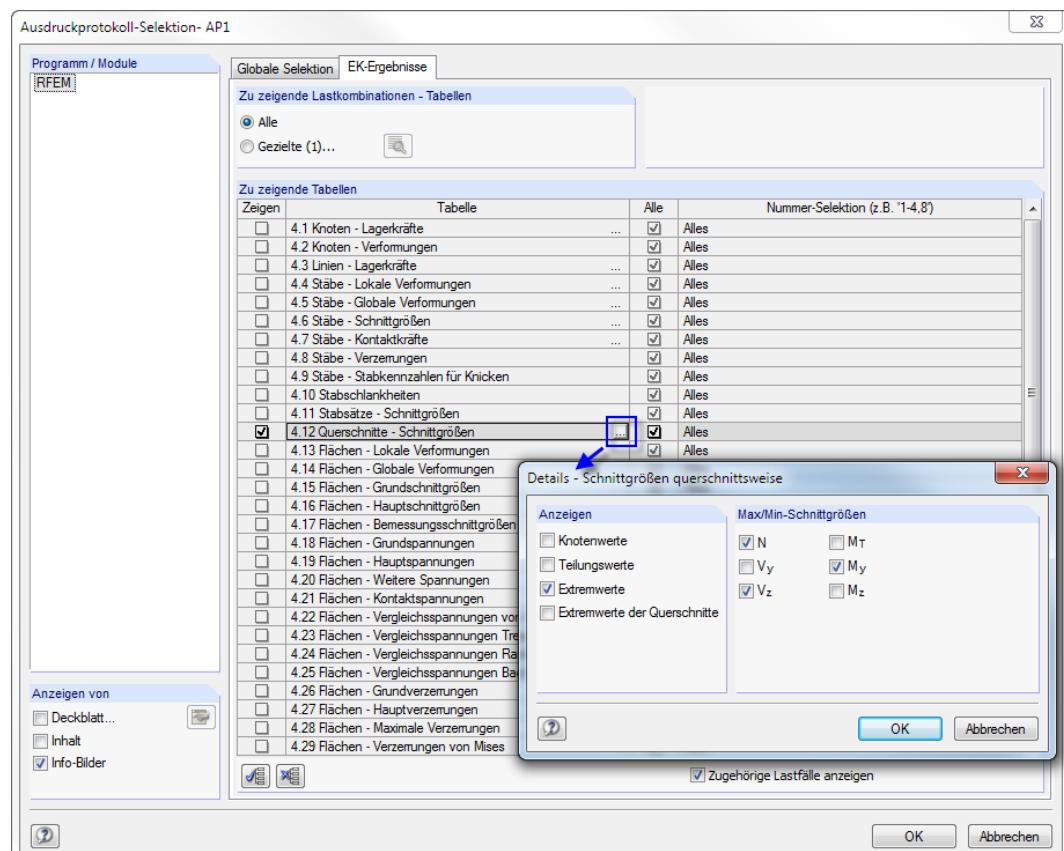


Bild 9.4: Schnittgrößenausgabe reduzieren über Ausdruckprotokoll-Selektion

Wir setzen den Cursor in die Zelle 4.12 Querschnitte - Schnittgrößen. Die Schaltfläche  erscheint. Über diese öffnen wir den Dialog *Details - Schnittgrößen querschnittsweise*. Dort beschränken wir die Ausgabe auf die **Extremwerte** der Schnittgrößen **N**, **V_z** und **M_y**.

Nach dem Bestätigen der Dialoge wird die Schnittgrößentabelle im Ausdruckprotokoll aktualisiert. Analog lassen sich die übrigen Kapitel für die Druckausgabe anpassen.

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

Meist werden Grafiken in den Ausdruck integriert, 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.



Im Arbeitsfenster stellen wir die *Verformungen* der **LK1 - Nutzlast in Feld 1** ein und positionieren die Grafik passend.

Da die Verformungen im *Drahtmodell* besser erkennbar sind, stellen wir diese Darstellungsart ein.

Falls noch nicht geschehen, stellen wir im Filter-Register des Panels wieder die Anzeige für **Alle Flächen** ein.

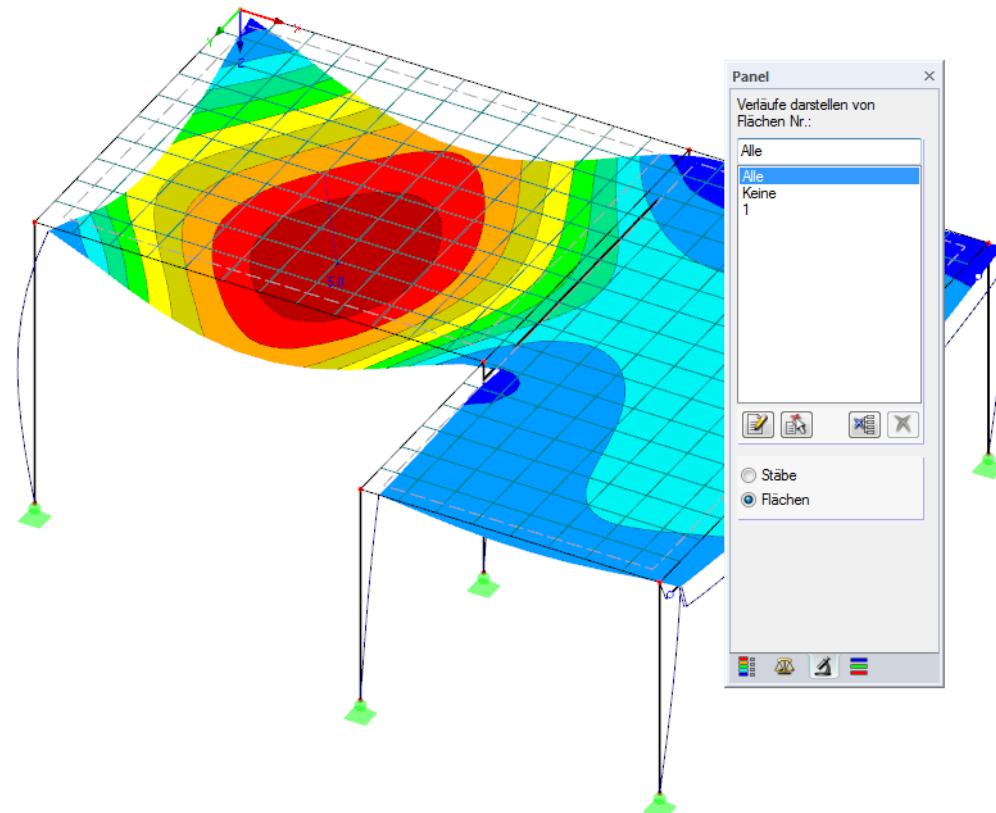
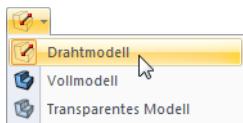


Bild 9.5: Verformungen der LK1

Diese Darstellung übergeben wir nun in das Ausdruckprotokoll über Menü

Datei → Grafik drucken



oder die entsprechende Schaltfläche in der Symbolleiste.

Im Dialog *Grafikausdruck* stellen wir die Druckparameter wie folgt ein. Die Voreinstellungen in den Registern *Optionen* und *Farbskala* lassen wir unverändert.

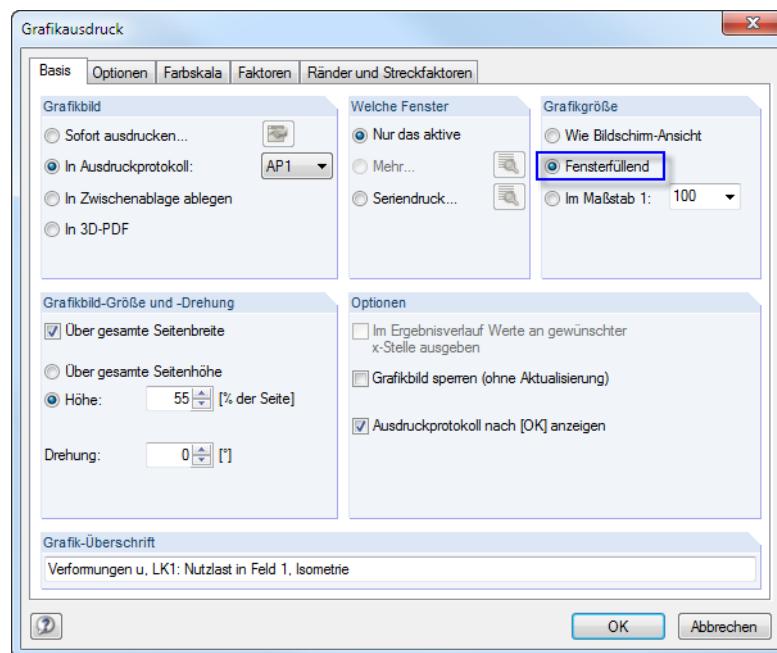


Bild 9.6: Dialog *Grafikausdruck*

Mit [OK] drucken wir die Verformungsgrafik in das Ausdruckprotokoll.

Die Abbildung erscheint am Ende des Kapitels *Ergebnisse - Lastfälle, Lastkombinationen*.

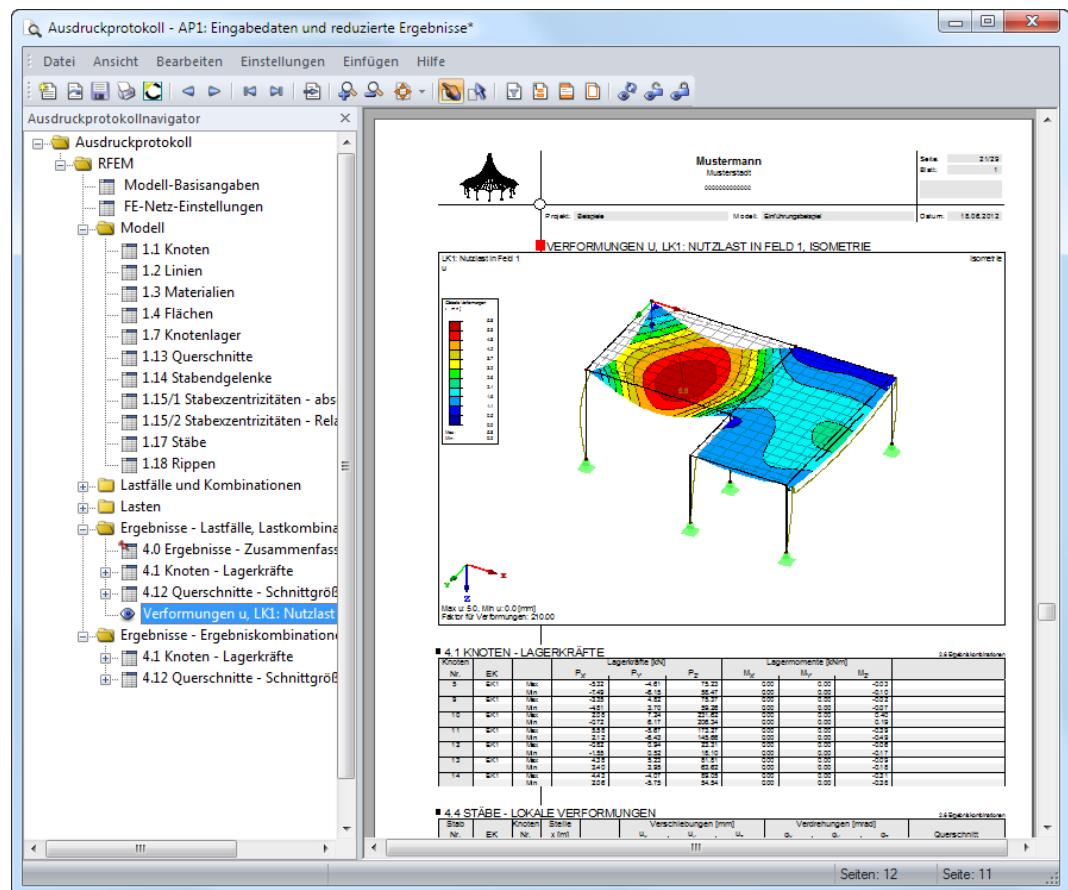


Bild 9.7: Verformungsgrafik im Ausdruckprotokoll

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 Ausdruckprotokolls 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.

Speichern

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

Bild 9.8: Ausdruckprotokoll als PDF-Datei mit Lesezeichen

10 Ausblick

Wir sind nun am Ende unseres Beispiels angekommen. Diese Einführung 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 <https://www.dlubal.com/de/downloads-und-infos/dokumente/handbuecher> zum Download bereitsteht. Dort finden Sie auch ein Übungsbeispiel, mit dem Sie erweiterte Programmfunctionen kennenlernen.

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 E-Mail-Hotline wenden. Oder stöbern Sie in den FAQs auf www.dlubal.de oder den DLUBAL-Blogs auf www.dlubal.de/blog.



Dieses Beispiel können Sie auch in den Zusatzmodulen für die Stahl- und StahlbetonNachweise verwenden (z. B. RF-STAHL Stäbe, RF-BETON Flächen/Stäbe, RF-STABIL). So erhalten Sie einen Einblick in die Funktionsweise der Bemessungsmodule. Die Nachweise lassen sich dann auch im Arbeitsfenster von RFEM auswerten.