

**Fassung
Februar 2010**

Programm

RF-DYNAM

Dynamische Analyse

Programm- Beschreibung

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung der Ingenieur-Software Dlubal GmbH ist es nicht gestattet, diese Programm-Beschreibung oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

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

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

Fax: +49 (0) 9673 1770

E-Mail: info@dlubal.com

www.dlubal.de

Inhalt

Inhalt		Seite	Inhalt		Seite
1.	Einleitung	4	3.4.14	Maske 3.10 Flächen - Grundschnittgrößen	52
1.1	Über RF-DYNAM	4	3.4.15	Maske 3.13 Flächen - Grundspannungen	53
1.2	RF-DYNAM -Team	5	3.4.16	Export der DYNAM-Ergebnisse	54
2.	Installation	6	3.4.17	Maske 4.1 Generierte Ersatzlasten	55
2.1	Systemanforderungen	6	3.4.18	Export der RF-DYNAM-Ergebnisse	55
2.2	Installationsvorgang	6	3.5	Pulldownmenüs	56
3.	Arbeiten mit RF-DYNAM	8	3.5.1	Datei	56
3.1	RF-DYNAM starten	8	3.5.2	Einstellungen	58
3.2	Masken	8	3.5.3	Hilfe	58
3.3	Eingabemasken	9	4.	Ergebnisse	59
3.3.1	Maske 1.1 Basisangaben	9	4.1	Ergebnisgrafik	59
3.3.2	Maske 1.2 Knotenzusatzmassen	12	4.2	Ausdrucken	61
3.3.3	Maske 1.3 Linienzusatzmassen	13	5.	Theorie	64
3.3.4	Maske 1.4 Stabzusatzmassen	14	6.	Beispiele	70
3.3.5	Maske 1.5 Flächenzusatzmassen	14	6.1	Balken	70
3.3.6	Maske 1.6 Zum Anzeigen	15	6.2	Fachwerkträger	71
3.3.7	Maske 1.7 Erregerfälle	17	6.3	Betonschornstein	71
3.3.8	Maske 1.8 Dynamische Lastfälle	24	6.4	Erdbebeneersatzlasten nach DIN 4149	73
3.3.9	Maske 1.9 Ersatzlasten	29	6.5	Modalanalyse eines Rahmens	81
3.4	Ergebnismasken	43	A:	Literatur	84
3.4.1	Maske 2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen	43			
3.4.2	Maske 2.2 Eigenschwingungen knotenweise	44			
3.4.3	Maske 2.3 Eigenschwingungen stabweise	45			
3.4.4	Maske 2.4 Eigenschwingungen flächenweise	45			
3.4.5	Maske 2.5 Eigenschwingungen in FE- Netz-Punkten	46			
3.4.6	Maske 2.6 Knotenmassen	46			
3.4.7	Maske 2.7 Ersatzmassenfaktoren	47			
3.4.8	Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte	48			
3.4.9	Maske 3.2 Linien - Lagerkräfte	49			
3.4.10	Maske 3.3 Knoten - Verformungen	49			
3.4.11	Maske 3.4 Knoten - Geschwindigkeiten	50			
3.4.12	Maske 3.5 Knoten - Beschleunigungen	51			
3.4.13	Maske 3.6 Stäbe - Schnittgrößen	51			

1. Einleitung

1.1 Über RF-DYNAM

Sehr verehrte Anwenderinnen und Anwender von RFEM und DYNAM!

Am Anfang dieses Handbuches möchten wir ein paar grundsätzliche Worte zu RF-DYNAM sagen sowie einige Hinweise anbringen. Egal, ob Sie schon kundiger Benutzer einer Vorgängerversion sind oder das erste Mal mit RF-DYNAM arbeiten – die praxisorientierte Entwicklung, welche nur durch die konstruktive Zusammenarbeit mit vielen unserer Kunden und Geschäftspartnern möglich war, ermöglicht praktisch jedem den zügigen Einstieg und das schnelle Zurechtfinden im Programm. Die zahlreichen wertvollen Hinweise aus der alltäglichen Ingenieurspraxis trugen bereits bei DYNAM 4.xx und DYNAM 2000 zu einer ständigen Weiterentwicklung und Verbesserung bei und kamen selbstverständlich auch in RF-DYNAM in vollem Umfang zum Tragen.

RF-DYNAM präsentiert sich Ihnen in der Windows-Fassung nicht nur rein optisch als ein fester Bestandteil von RFEM. Die Ergebnisse der Eigenfrequenzermittlung (RF-DYNAM BASIS), Fremderregung (RF-DYNAM ZUSATZ I) und Erdbebenersatzlastgenerierung (RF-DYNAM ZUSATZ II) können inklusive Grafiken in das Ausdruckprotokoll von RFEM eingebunden werden, mit der Folge, dass sich Ihre gesamten Berechnungen in optisch ansprechender und vor allem auch einheitlicher Form gestalten und präsentieren lassen.

Viel Erfolg bei der Arbeit mit RFEM und RF-DYNAM wünscht Ihnen

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 RF-DYNAM -Team

An der Entwicklung von RF-DYNAM waren beteiligt:

Programmkoordinierung

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Programmierung

Dr.-Ing. Jaroslav Lain

Ing. Vaclav Sycora

Programmdesign, Dialogbilder und Icons

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Ing. Jan Miléř

MgA. Robert Kolouch

Programmkontrolle

Dipl.-Ing. Georg Dlubal

Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

Dipl.-Ing (FH) Matthias Entenmann

Handbuch, Hilfesystem und Übersetzungen

Dipl.-Ing (FH) Matthias Entenmann

Technische Unterstützung und Endkontrolle

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler

Dipl.-Ing. Frank Faulstich

M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Frank Sonntag

Dipl.-Ing. (FH) René Flori

Dipl.-Ing. (FH) Christian Stautner

Dipl.-Ing. (BA) Andreas Niemeier

Dipl.-Ing. (FH) Robert Vogl

2. Installation

2.1 Systemanforderungen

Folgende Mindestvoraussetzungen sollte Ihr Rechner für die Nutzung der Möglichkeiten von RFEM und RF-DYNAM für Windows erfüllen (Empfehlungen in Klammern):

- Benutzeroberfläche Windows WIN XP/Vista/7 (64bit)
- Prozessor mit 3000 Mhz (Multikernprozessor 64bit)
- 2 GB Arbeitsspeicher (4 GB)
- DVD-ROM- und 3,5-Zoll-Diskettenlaufwerk für die Installation
- 50 GB Festplattenkapazität, davon zirka 1000 MB für die Installation
- Grafikkarte mit mind. 128 MB und einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel (Open GL)

Mit Ausnahme des Betriebssystems sprechen wir aber bewusst keine Produktempfehlungen aus, da RFEM und seine Zusatzmodule grundsätzlich auf allen Systemen laufen, die vorgenannte Leistungsanforderungen erfüllen. Da RFEM und RF-DYNAM in der Regel sehr rechenintensiv sind, soll natürlich nicht verschwiegen werden, dass hier in einem vernünftigen Rahmen durchaus gilt: Je mehr desto besser!

2.2 Installationsvorgang

Der Installationsvorgang wird mit Einlegen der RFEM-DVD automatisch gestartet. Da das Zusatzmodul RF-DYNAM vollkommen in RFEM integriert ist, wird dieses Modul bei der Installation nicht explizit erwähnt, sondern bei erworbener Lizenz, d. h. mit der entsprechenden Autorisierung automatisch im Zuge der RFEM-Installation mit installiert.

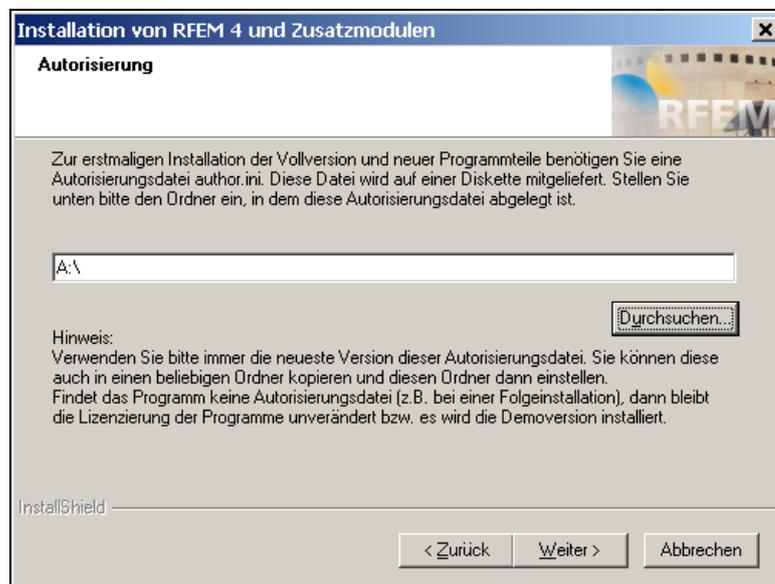


Bild 2.1: Aufforderung zum Einlegen der Autorisierungsdiskette

Wurde über die Autorisierungsdiskette mindestens eine Lizenz erkannt, erscheinen die folgenden drei Installationsmöglichkeiten: [Standard], [Minimum] und [Benutzerdefiniert]. Eine fehlende oder falsche Autorisierung kann man daran erkennen, dass nur die beiden Installationsarten [Standard] und [Benutzerdefiniert] verfügbar sind.



Bild 2.2: Installationsart bei korrekter Autorisierung

Außerdem wird bei fehlender Autorisierung auch im Text eine Meldung erscheinen, die auf die Installation der [Demo]-Version hinweist.

[Standard] installiert die kompletten RFEM Anwendungen und deren Zusatzmodule. Die Programme können anschließend über die entsprechende Verknüpfung auf dem Desktop bzw. im Startmenü als Vollversionen bzw. nur als DemoverSIONen gestartet werden.

[Minimum] installiert nur die Programme, für die eine Lizenz auf der Autorisierungsdiskette verzeichnet ist. Eine Ausnahme bildet RFEM mit seinen Zusatzmodulen, denn diese werden alle installiert, auch wenn keine Autorisierung für einige Module vorliegt.

Bei der Option [Benutzerdefiniert] kann man die einzelnen auf der RFEM-DVD verfügbaren Programme manuell festlegen. Module, die nicht direkt in RFEM integriert sind und deren Lizenz nicht vorliegt, sind in dieser benutzerdefinierten Installationsart mit [Demo] gekennzeichnet.

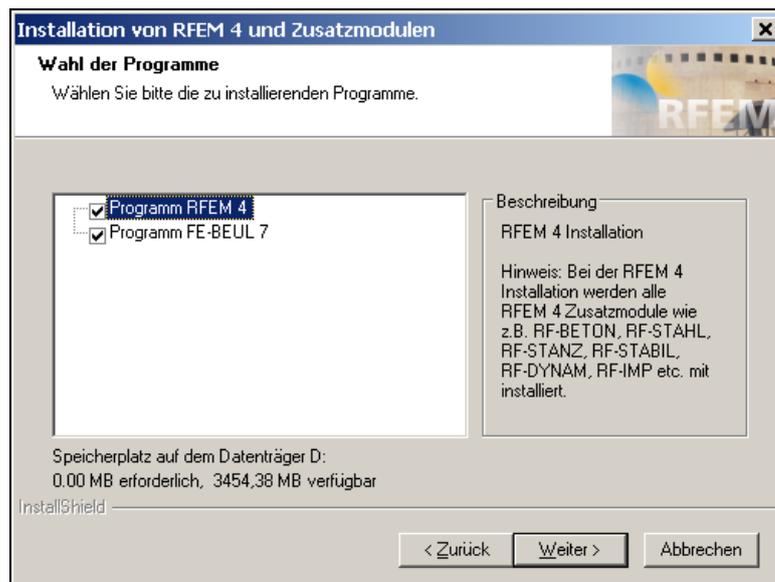


Bild 2.3: Benutzerdefinierte Installation bei vorhandener Autorisierung

3. Arbeiten mit RF-DYNAM

3.1 RF-DYNAM starten

Das Modul RF-DYNAM kann entweder aus dem Pulldownmenü

Zusatzmodule → **Dynamik**

aufgerufen werden oder über den entsprechenden Eintrag unter [Zusatzmodule] im **Daten-Navigator** (links in der RFEM-Oberfläche).

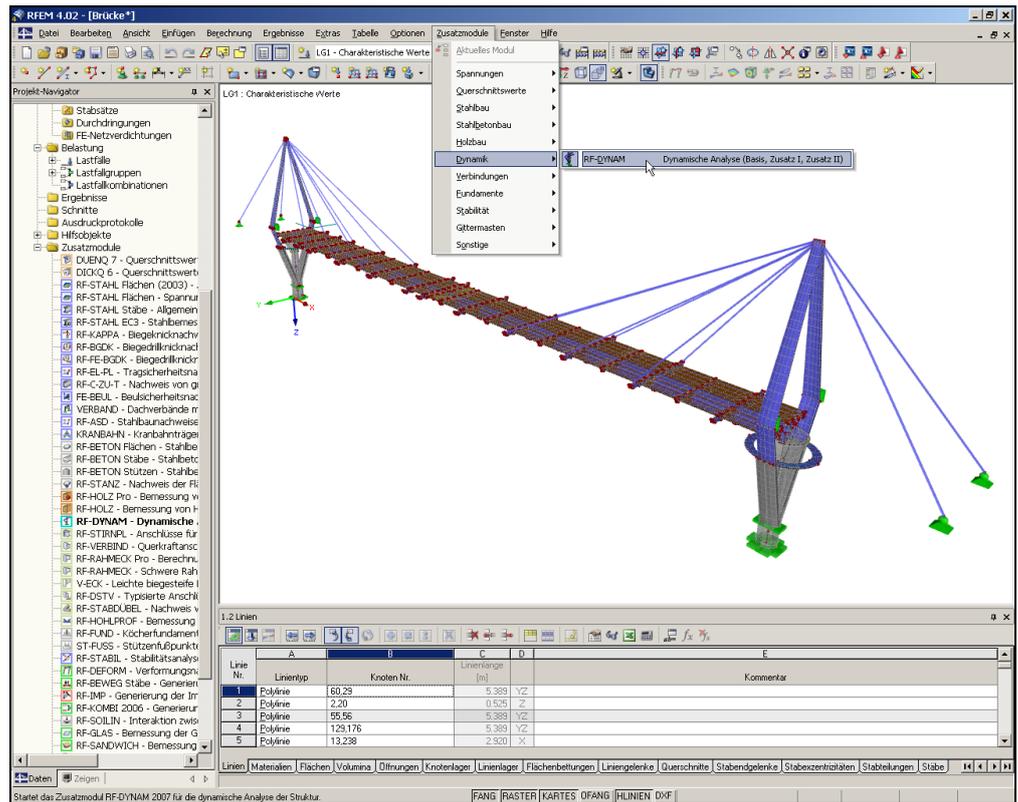


Bild 3.1: Aufruf von RF-DYNAM über das Pulldownmenü **Zusatzmodule** oder den **Daten-Navigator**

3.2 Masken

Sowohl die Eingaben zur Definition der Eigenwerte als auch die numerische Ausgabe der Ergebnisse auf dem Bildschirm geschehen in Masken.

Links sehen Sie nach dem Aufruf von RF-DYNAM den RF-DYNAM-Navigator, der alle aktuell anwählbaren Masken anzeigt. Unterhalb der Titelleiste befinden sich die drei Pulldownmenüs **Datei**, **Einstellungen** und **Hilfe**. Zu den darin enthaltenen Funktionen lesen Sie bitte Kapitel 3.5.

Die Ansteuerung aller Masken kann wahlweise durch Anklicken des entsprechenden Eintrages im RF-DYNAM-Navigator oder sequentielles Durchblättern geschehen. Geblättert werden kann entweder mit den Tasten [F2] und [F3] oder durch Anklicken der Schaltflächen [<<] und [>>]. Mit [Grafik] wechseln Sie in die grafische Ergebnisanzeige, in der automatisch die aktuelle Eigenfrequenz eingestellt erscheint. Näheres hierzu sowie zum Thema Ergebnisanzeige und -ausgabe entnehmen Sie bitte dem Kapitel 3.4. [OK] sichert vor dem Verlassen von RF-DYNAM die Eingaben und Ergebnisse, während [Abbrechen] ein Beenden ohne Sicherung zur Folge hat. [Hilfe] bzw. die Funktionstaste [F1] aktivieren die Online-Hilfe.



3.3 Eingabemasken

In den Eingabemasken sind sämtliche für die Ermittlung der Eigenfrequenzen, Berechnungsergebnisse aus Fremderregung (RF-DYNAM ZUSATZ I) sowie der Erdbebenersatzlastgenerierung (RF-DYNAM ZUSATZ II) notwendigen Angaben zu treffen und die gewünschten Parametereinstellungen vorzunehmen.

3.3.1 Maske 1.1 Basisangaben

Nach dem Aufruf von RF-DYNAM wird das RF-DYNAM-Fenster mit der Maske 1.1 *Basisangaben* eingeblendet.

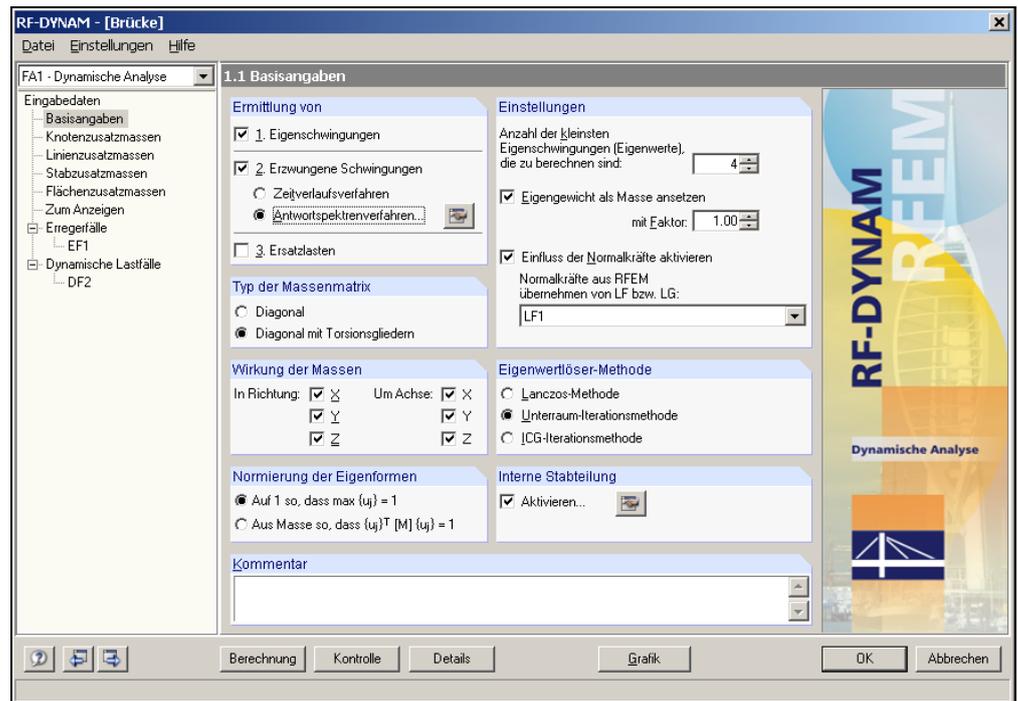


Bild 3.2: Maske 1.1 *Basisangaben*

Hier wählen Sie zunächst den aktuellen Dynamik-Fall – falls bereits vorhanden – mit Hilfe der Auswahlliste aus.

Den aktuellen Dynamik-Fall können Sie zudem mit einem *Kommentar* versehen. Ehe Sie die [Berechnung] starten, bietet Ihnen [Details] einige Einstellmöglichkeiten für die Berechnung.

Berechnung

Details



Bild 3.3: Dialog *RF-DYNAM, Details*

Ermittlung von

In diesem Abschnitt können Sie zwischen Ihren erworbenen Modulen **RF-DYNAM Basis** (= *Eigenschwingungen*), **RF-DYNAM Zusatz I** (= *Erzwungene Schwingungen*) sowie **RF-DYNAM Zusatz II** (= *Ersatzlasten*) auswählen. Nicht erworbene Module sind grau hinterlegt und somit nicht verfügbar.

Erzwungene Schwingungen

Diese Option ist ausschließlich bei Vorhandensein einer Lizenz für RF-DYNAM ZUSATZ I voll nutzbar und lässt eine Definition von Erregerlasten in Maske 1.7 und 1.8 zu. Sollte Ihnen nur RF-DYNAM BASIS vorliegen, so kann in diesem Kontrollfeld ein Häkchen gesetzt werden und RF-DYNAM ZUSATZ I als Demoversion gestartet werden.

Ersatzlasten

Diese Option ist nur bei Vorhandensein einer Lizenz von **RF-DYNAM ZUSATZ II** voll nutzbar und lässt eine Definition von Normwerten (DIN 4149, EC 8 und IBC 2000) zur Ermittlung der statischen Ersatzlasten in Maske 1.7 zu. Sollte Ihnen nur RF-DYNAM BASIS vorliegen, kann dieser Teilbereich nur als Demo gestartet werden.

Eigenschwingungen

RF-DYNAM ermittelt die niedrigsten Eigenfrequenzen einer Struktur. Die Theorie des Berechnungsverfahrens gestattet es generell nicht, niedrigere Eigenfrequenzen aus der Analyse auszuschließen und gleichzeitig höhere Eigenfrequenzen zu ermitteln. Im Eingabefeld *Anzahl der kleinsten Eigenschwingungen (Eigenwerte), die zu berechnen sind* kann festgelegt werden, wie viele Eigenwerte RF-DYNAM 2007 berechnen soll. Es lassen sich maximal die 1000 niedrigsten Eigenfrequenzen eines Systems ermitteln.

Eigengewicht als Masse ansetzen

Aus den in RFEM definierten Strukturdaten kann RF-DYNAM die aus den Stäben, Flächen und Volumen resultierenden Massen des Systems ermitteln. Über dieses Eingabefeld wird ein Faktor definiert, mit dem die Masse multipliziert wird. Dieser Faktor ist unabhängig von einem ggf. in RFEM definierten Eigengewichtslastfall. Bei Eingabe des Wertes *Null* wird die Masse aus den Struktureingaben in RFEM bei der dynamischen Analyse nicht berücksichtigt.

Interne Stabteilung

Um eine bessere Näherungslösung zu erhalten, kann es unter Umständen nötig sein, höhere Stabteilungen zu definieren. Dadurch wird die Abbildungsgenauigkeit des Stabes erhöht, was insbesondere bei Vouten oder gebetteten Stäben vonnöten ist. Durch Werte größer 1 wird eine Stabteilung programmintern durchgeführt. Die Zahlenwerte müssen ganzzahlig sein.

Beispiel: Für einen räumlich definierten Kragträger können bei einer Stabteilung von 1 maximal die sechs niedrigsten Eigenfrequenzen berechnet werden. Durch einfache Teilung des Stabes nach Eintrag des Wertes 2 in das Feld *Näherungsmethode* können bereits die zwölf niedrigsten Eigenfrequenzen berechnet werden. Wollte man dies durch eine äquivalente Strukturdefinition in RFEM erreichen, wäre der Balken durch einen Knoten zu teilen.

Einfluss der Normalkräfte aktivieren

Wird die geometrische Steifigkeitsmatrix zur Berechnung herangezogen, findet die Theorie II. Ordnung Berücksichtigung. Durch die Auslenkung des Systems erzeugen die Normalspannungen zusätzliche Biegemomente, die zu einer Steifigkeitserhöhung oder –verminderung des Systems beitragen können. Dies lässt sich über das Kontrollfeld *Berücksichtigung der Normalkräfte* steuern.

Über das Listenfeld muss ein Lastfall oder eine Lastfallgruppe gewählt werden, aus der die Normalspannungen übernommen werden. Zugnormalspannungen führen zur Erhöhung der Eigenfrequenz.

Eigenwertlöser Methode

Die Wahl der Eigenwertlöser-Methode bestimmt maßgeblich die benötigte Rechenzeit einer dynamischen Analyse. RF-DYNAM bietet verschiedene Verfahren, für die Berechnung der Eigenwerte des Systems, an.

Die Unterraum-Iterationsmethode ist für kleine und mittelgroße Positionen gut geeignet, bei denen viele Eigenwerte untersucht werden sollen. Hierbei werden alle Eigenwerte in einem Schritt berechnet, was viel Arbeitsspeicher erfordert.

Die ICG-Iterationsmethode wurde für große Positionen entwickelt, bei denen der Arbeitsspeicher des Rechners nicht mehr ausreicht. Hierbei werden die Eigenwerte nacheinander berechnet. Daher bietet sich dieses Verfahren für große Modelle, bei denen wenige Eigenwerte ausgewertet werden sollen, an.

Wirkung der Massen

In diesem Dialogabschnitt wird festgelegt, in welchen globalen Raumrichtungen die Massen berücksichtigt werden sollen. Als Massen werden in RF-DYNAM sowohl die aus den Stäben, Flächen und Volumen resultierende Masse als auch die in den Masken 1.2 *Knotenzusatzmassen*, 1.3 *Linienzusatzmassen*, 1.4 *Stabzusatzmassen* und 1.5 *Flächenzusatzmassen* definierten Vorgaben berücksichtigt.

Normierung der Eigenformen

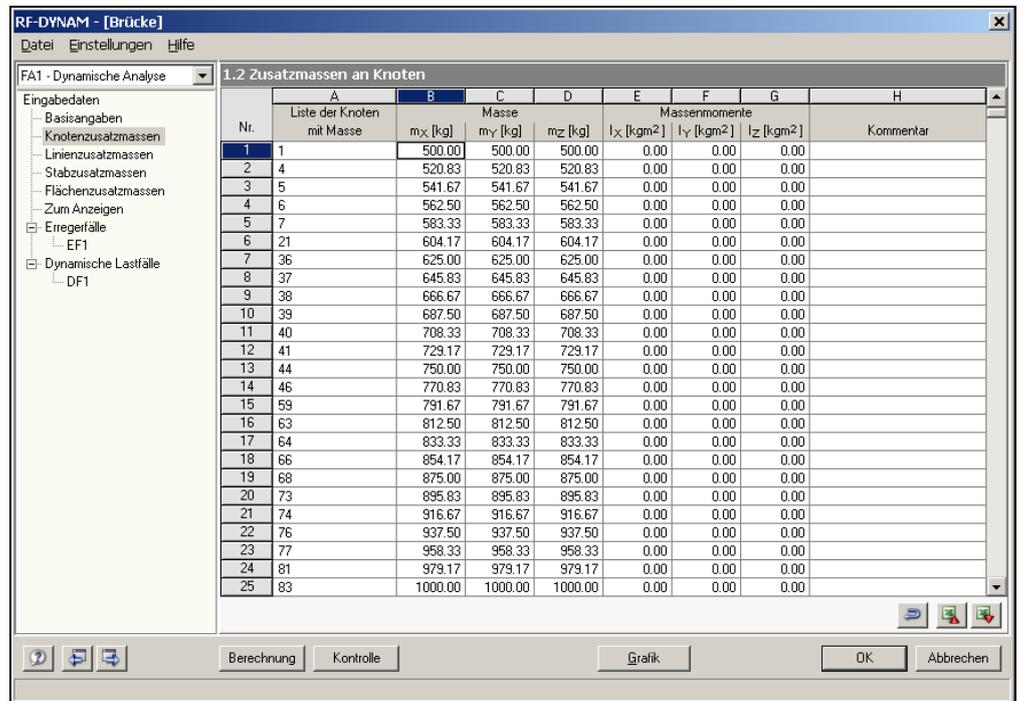
Die Eigenformen können entweder nach der Verschiebung $\{u_j\}$, oder nach den Beiträgen $\{u_j\}^T [M] \{u_j\}$ für die Berechnung der modalen Massen, normiert werden.

Kommentar

Hier besteht eine Eingabemöglichkeit für benutzerdefinierte Anmerkungen.

3.3.2 Maske 1.2 Knotenzusatzmassen

RF-DYNAM übernimmt die in RFEM definierte Struktur. Falls in Maske 1.1 *Basisangaben* in das Eingabefeld *Berücksichtigung der Eigengewichte* ein Faktor größer als Null eingegeben wurde, legt RF-DYNAM bei der Eigenwertanalyse die Eigengewichte der Strukturobjekte als Masse gewichtet zugrunde. In Ergänzung oder auch als Alternative besteht die Möglichkeit, über die Masken 1.2 bis 1.5 solche zu definieren.



Nr.	Liste der Knoten mit Masse	Masse			Massenmomente			Kommentar
		m_x [kg]	m_y [kg]	m_z [kg]	I_x [kgm ²]	I_y [kgm ²]	I_z [kgm ²]	
1	1	500.00	500.00	500.00	0.00	0.00	0.00	
2	4	520.83	520.83	520.83	0.00	0.00	0.00	
3	5	541.67	541.67	541.67	0.00	0.00	0.00	
4	6	562.50	562.50	562.50	0.00	0.00	0.00	
5	7	583.33	583.33	583.33	0.00	0.00	0.00	
6	21	604.17	604.17	604.17	0.00	0.00	0.00	
7	36	625.00	625.00	625.00	0.00	0.00	0.00	
8	37	645.83	645.83	645.83	0.00	0.00	0.00	
9	38	666.67	666.67	666.67	0.00	0.00	0.00	
10	39	687.50	687.50	687.50	0.00	0.00	0.00	
11	40	708.33	708.33	708.33	0.00	0.00	0.00	
12	41	729.17	729.17	729.17	0.00	0.00	0.00	
13	44	750.00	750.00	750.00	0.00	0.00	0.00	
14	46	770.83	770.83	770.83	0.00	0.00	0.00	
15	59	791.67	791.67	791.67	0.00	0.00	0.00	
16	63	812.50	812.50	812.50	0.00	0.00	0.00	
17	64	833.33	833.33	833.33	0.00	0.00	0.00	
18	66	854.17	854.17	854.17	0.00	0.00	0.00	
19	68	875.00	875.00	875.00	0.00	0.00	0.00	
20	73	895.83	895.83	895.83	0.00	0.00	0.00	
21	74	916.67	916.67	916.67	0.00	0.00	0.00	
22	76	937.50	937.50	937.50	0.00	0.00	0.00	
23	77	958.33	958.33	958.33	0.00	0.00	0.00	
24	81	979.17	979.17	979.17	0.00	0.00	0.00	
25	83	1000.00	1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	

Bild 3.4: Maske 1.2 Knotenzusatzmassen



Eine komfortable Übernahme der RFEM-Lasten ist mit der Schaltfläche [Knotenlasten von einem Lastfall aus RFEM übernehmen und als Masse ansetzen...] möglich. Hierbei werden jedoch nur diejenigen Lasten übernommen, die in Richtung der Z-Achse definiert wurden. Es öffnet sich ein Dialog, in welchem der Ausgangslastfall gewählt werden kann. Zusätzlich kann ein Faktor, mit dem die übernommenen Massen manipuliert werden können, gewählt werden (siehe folgendes Bild).



Bild 3.5: Dialog zur Auswahl eines Lastfalls und Faktors für die Zusatzmassen



Sollten nur einzelne Knotenlasten in RF-DYNAM definiert werden, so kann dies mit Hilfe der jeweiligen Auswahlfunktion [Knoten picken] geschehen oder per Hand erfolgen.

Liste der Knoten mit Masse

Nummern der Knoten, auf die eine zusätzliche Masse aufgebracht werden soll

Masse in Richtung

Betrag der Masse, mit dem der jeweilige Knoten behaftet werden soll

Massenmomente um

Massenmomente, die auf die Knoten einwirken

3.3.3 Maske 1.3 Linienzusatzmassen

Da die Masken 1.2 bis 1.5 sich in ihrem Aussehen und ihrer Bedienung sehr ähneln, werden sie hier nur kurz dargestellt. Die im vorigen Kapitel beschriebenen Funktionen sind für alle Zusatzmassen-Masken nahezu gleich.

In Maske 1.3 können Linienzusatzmassen eingegeben werden.

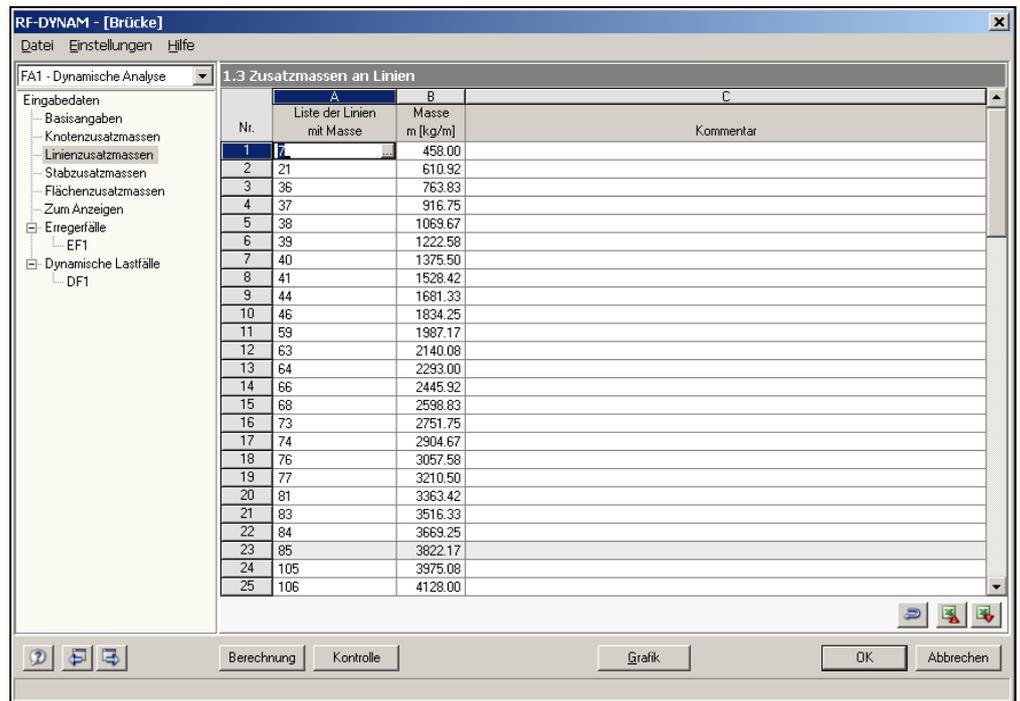


Bild 3.6: Maske 1.3 Linienzusatzmassen

3.3.4 Maske 1.4 Stabzusatzmassen

In Maske 1.4 können Stabzusatzmassen eingegeben werden. Bei der Übernahme von Stablasten, die als Einzel- oder Trapezlasten definiert wurden, werden diese über die Stablänge „verschmiert“. Hat man z. B. eine Einzellast von 10 kN auf einem fünf Meter langen Stab definiert, so werden diese in eine Stabmasse von 200 kg/m umgerechnet.

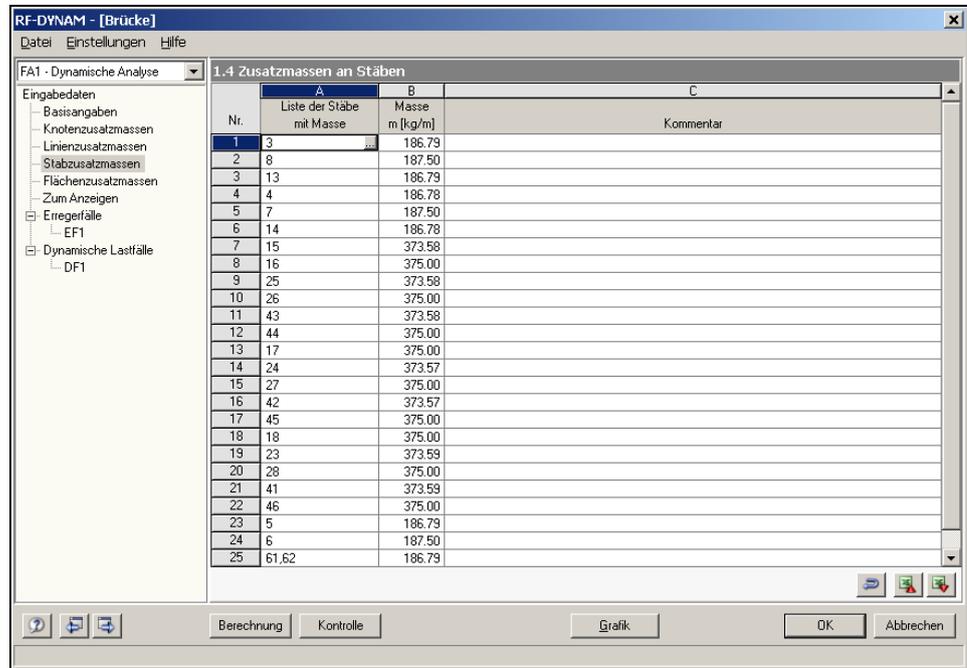


Bild 3.7: Maske 1.4 Stabzusatzmassen

3.3.5 Maske 1.5 Flächenzusatzmassen

In Maske 1.5 können Flächenzusatzmassen eingegeben werden. Auch hier werden ggf. lineare Verläufe der Flächenlasten in konstante Flächenmassen „verschmiert“.

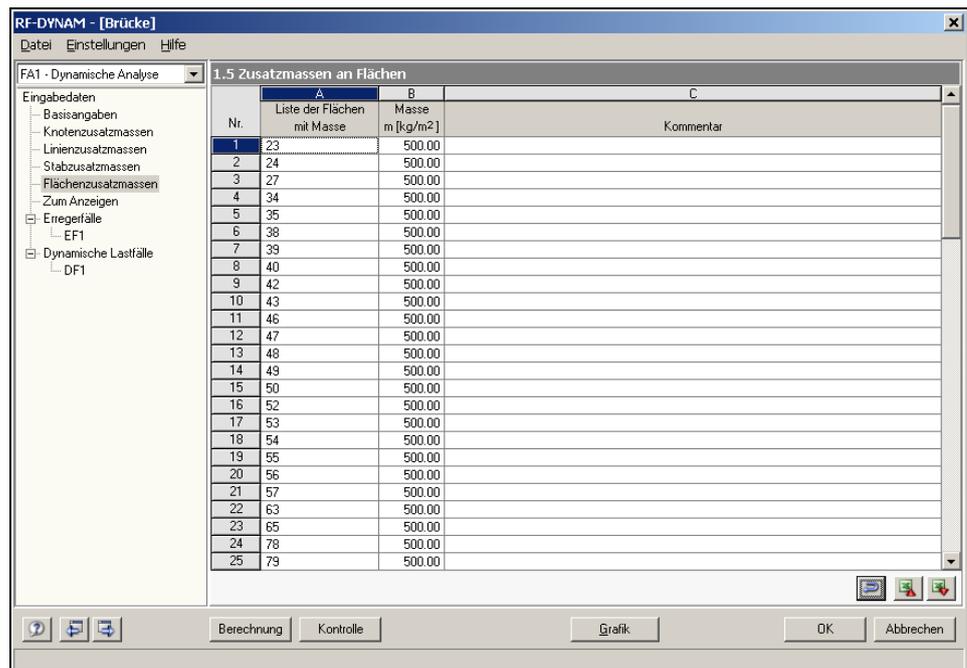


Bild 3.8: Maske 1.5 Flächenzusatzmassen

3.3.6 Maske 1.6 Zum Anzeigen

In Maske 1.6 *Zu Berechnen* können zusätzliche Ergebnisse für die Ausgabe ausgewählt werden. Diese Maske wird je nach Auswahl in der Maske 1.1 *Basisangaben* unterschiedlich aufgebaut. Bei einer reinen Eigenfrequenzanalyse erscheint die Maske ohne die Auswahl der Ergebnisse aus erzwungenen Schwingungen. Hier stehen die Eigenschwingungen in FE-Netzpunkten, die Massen in FE-Netzpunkten sowie die Ersatzmassenfaktoren zur Auswahl.

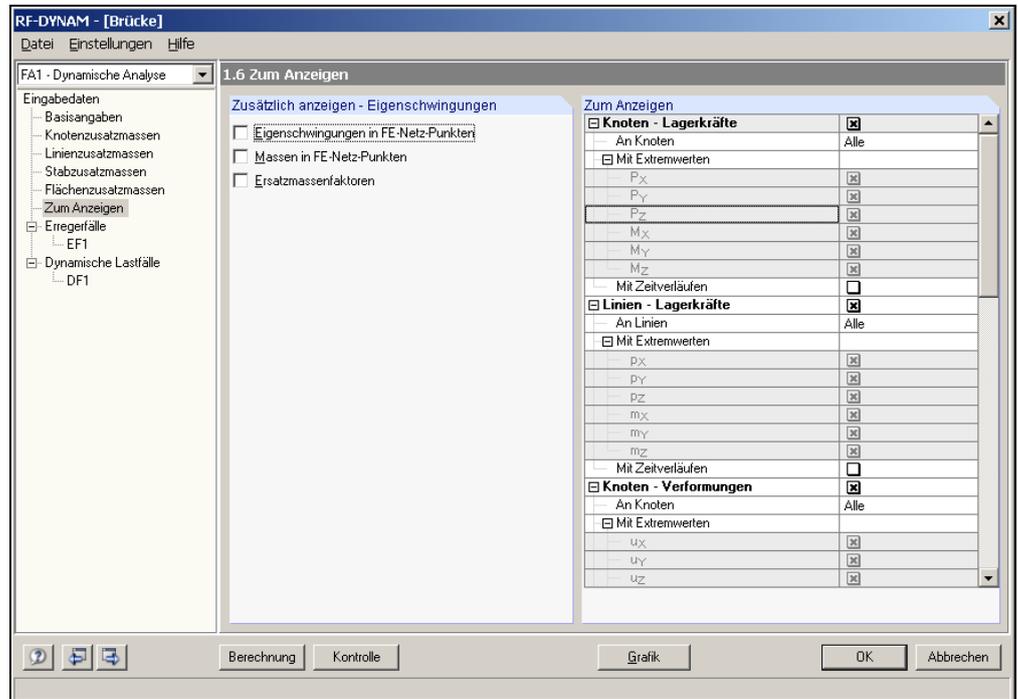


Bild 3.9: Maske 1.6 Zu berechnen für Eigenschwingungen

Eigenschwingung FE-Netzpunktweise

Als weitere Ergebnismaske steht in diesem Fall die Maske 2.5 zur Verfügung. Die Verschiebung der Eigenformen wird im Unterschied zu der Darstellung der Eigenformen in Maske 2.2 bis 2.4 in allen FE-Netzpunkten ausgegeben.

FE-Netz Punktmassen

RF-DYNAM 2007 teilt die Gesamtmasse der Struktur den FE-Netzpunkten zu. In der Berechnung finden jedoch die aktiven Massen (auf das dynamische Verhalten der Struktur einflussnehmende Massen) Eingang. Die Ausgabe der Knotenmassen erfolgt in Maske 2.6.

Ersatzmassenfaktoren

Mit dieser Option werden in der Ergebnismaske 2.7 die Ersatzmassen und Ersatzmassenfaktoren in den Richtungen X, Y und Z ausgegeben. Weitere Einzelheiten hierzu sind in den Kapiteln 3.4 und 4 zu finden.

Falls in der Maske 1.1 *Basisangaben* eine erzwungene Schwingung ausgewählt wurde, erscheint die Maske 1.6 inklusive der rechten Auswahlspalte.

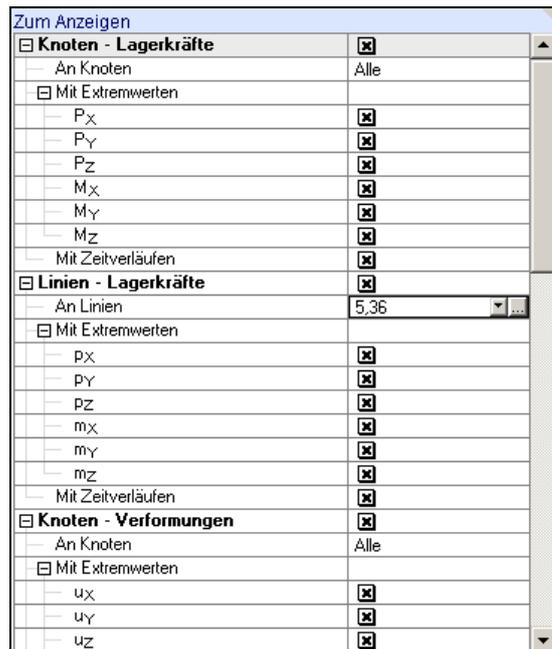


Bild 3.10: Abschnitt *Zum Anzeigen* zur Steuerung der Ausgabeinformationen nach dem Rechengang

Zeitauswertung

Hier lässt sich beispielsweise definieren, ob die Ergebnisse jedes Zeitschrittes ausgegeben werden sollten oder nur bei jedem fünften Zeitschritt.

In der Baumstruktur auf der rechten Seite lässt sich die Ausgabe für die *Auflagerkräfte*, *Schnittgrößen*, *Knotengeschwindigkeiten*, *Knotenverformungen*, *Knotenbeschleunigungen* steuern.

Mit Hilfe der Option *Mit Zeitverläufen* lässt sich definieren, ob nur die Maximal- bzw. Minimalwerte und der zugehörige Zeitpunkt ausgegeben werden, oder ob die Ergebnisse zu jedem Zeitpunkt angezeigt werden. Durch diese Option lässt sich aus naheliegenden Gründen die Datenmenge auf ein Minimum reduzieren.

Mit Hilfe einer [Pick]-Funktion lassen sich die Knoten und Stäbe, deren Ergebnisse ausschließlich angezeigt werden sollen, auch grafisch auswählen. Natürlich lassen sich die Stab- oder Knotennummern auch direkt in die jeweilige Zelle eintragen.

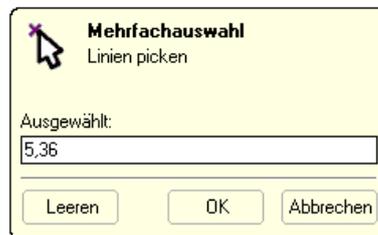


Bild 3.11: Knoten grafisch auswählen

212,217

Mit der Schaltfläche gelangen Sie wieder zurück in das RFEM Arbeitsfenster. Nachdem Sie Ihre Auswahl der Knoten bzw. Stäbe vorgenommen haben (Mehrfachauswahl mit Umschalt-Taste \uparrow), werden die Knoten- bzw. Stabnummern mit [OK] übernommen.

3.3.7 Maske 1.7 Erregerfälle

Diese Maske und die folgende Eingabemaske 1.8 können lediglich geöffnet werden, wenn das Modul RF-DYNAM ZUSATZ I lizenziert ist.

Erregerfall

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, verschiedene Erregerarten gleichzeitig für eine Struktur zu definieren und als jeweils eigenen Erregerfall *EF* abzuspeichern.

Erregertyp

Vier Erregerformen stehen im Programm DYNAM ZUSATZ I zur Auswahl. Nach Definition des Erregertyps werden alle weiteren Eingabetabellen automatisch angepasst.

Nach Auswahl des *Zeitverlaufsverfahrens* stehen in Maske 1.7 folgende drei Erregertypen zur Verfügung:

- Akzelerogramm
- Harmonische Lasten
- Tabellierte Lasten

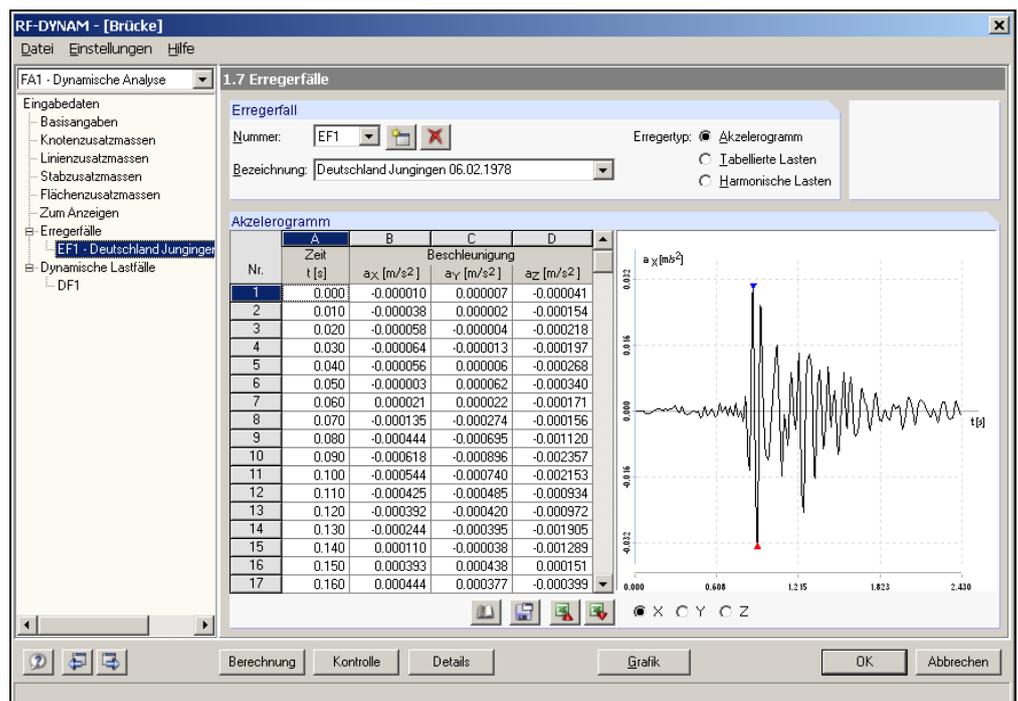
Antwortspektren lassen sich ebenfalls in der Maske 1.7 definieren, hierzu muss aber in Maske 1.1 *Basisangaben* das Antwortspektrenverfahren ausgewählt worden sein.

Akzelerogramm

Ein oder mehrere Auflagerknoten lassen sich durch Eingabe von Zeit-Beschleunigungstabellen anregen. Diese Form der Erregung verwendet man im Allgemeinen, um Erdbebenlasten zu beschreiben.

Die Zeit wird hierbei in Sekunden eingegeben. Es ist darauf zu achten, dass die Zeitangaben immer bei $t = 0$ beginnen. Die Zeitpunkte müssen in aufsteigender Reihenfolge eingegeben werden, wobei die Zeitschritte beliebig groß sein dürfen. Aus numerischen Gründen wird zudem empfohlen, den letzten Zeitpunkt immer etwas höher als die obere Zeitgrenze der Integration T_I zu setzen:

$$T_1 = 0 < T_2 < \dots < T_{n-1} < T_I < T_n$$



1.7 Erregerfälle

Erregerfall
 Nummer: EF1
 Bezeichnung: Deutschland Jungingen 06.02.1978
 Erregertyp: Akzelerogramm
 Tabellierte Lasten
 Harmonische Lasten

Akzelerogramm

Nr.	A		Beschleunigung		
	Zeit t [s]	a _x [m/s ²]	a _y [m/s ²]	a _z [m/s ²]	D
1	0.000	-0.000010	0.000007	-0.000041	
2	0.010	-0.000038	0.000002	-0.000154	
3	0.020	-0.000058	-0.000004	-0.000218	
4	0.030	-0.000064	-0.000013	-0.000197	
5	0.040	-0.000056	0.000006	-0.000268	
6	0.050	-0.000003	0.000062	-0.000340	
7	0.060	0.000021	0.000022	-0.000171	
8	0.070	-0.000135	-0.000274	-0.000156	
9	0.080	-0.000444	-0.000695	-0.001120	
10	0.090	-0.000618	-0.000896	-0.002357	
11	0.100	-0.000544	-0.000740	-0.002153	
12	0.110	-0.000425	-0.000485	-0.000934	
13	0.120	-0.000392	-0.000420	-0.000972	
14	0.130	-0.000244	-0.000395	-0.001905	
15	0.140	0.000110	-0.000038	-0.001289	
16	0.150	0.000393	0.000438	-0.000151	
17	0.160	0.000444	0.000377	-0.000399	

Graph: a_x [m/s²] vs t [s]. The graph shows a sharp initial peak followed by a series of smaller oscillations that decay over time.

Bild 3.12: Maske 1.7 Erregerfälle beim Zeitverlaufsverfahren



Das Programm RF-DYNAM ZUSATZ I bietet Ihnen über die Schaltfläche [Bibliothek] eine sehr große Anzahl an bestehenden bzw. gemessenen Akzelerogrammen an. Bis zum jetzigen Entwicklungsstand handelt es sich um 1018 Akzelerogramme, die in dieser Bibliothek gesammelt wurden. Zudem lassen sich eigendefinierte Akzelerogramme ebenfalls in einer Bibliothek ablegen.

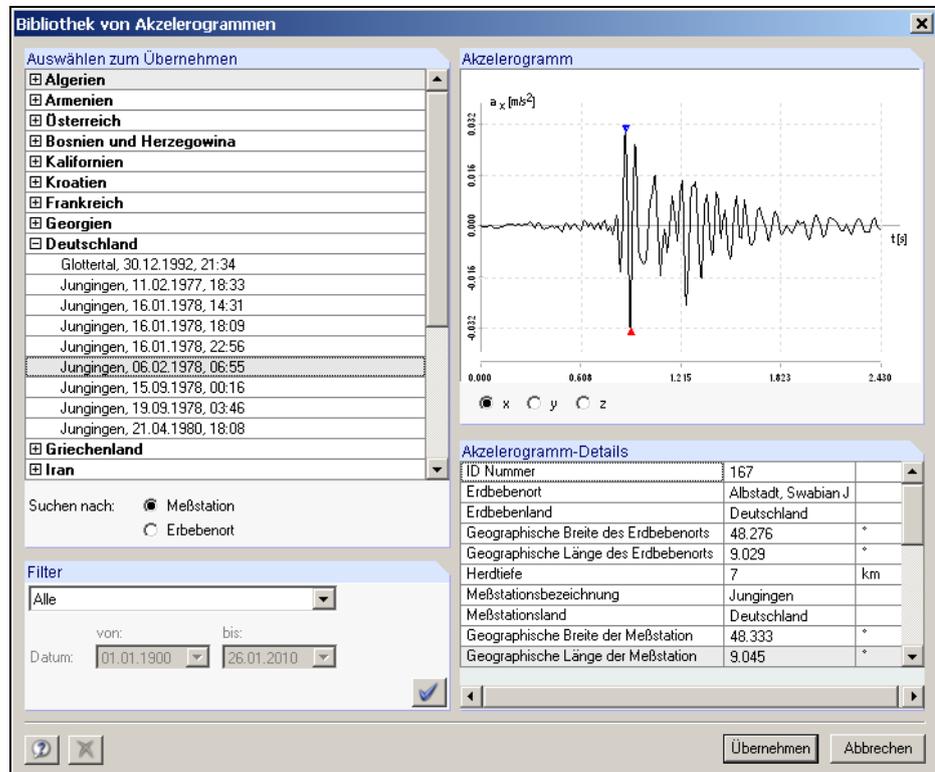


Bild 3.13: Akzelerogramm-Bibliothek

Die Akzelerogramme lassen sich auf der linken Seite in einer Baumstruktur auswählen. Die Sortierung kann hier gemäß *Messstation* oder *Erdbebenort* erfolgen. Zusätzlich stehen noch weitere Filtermöglichkeiten zur Verfügung. Die Akzelerogramme könnten beispielsweise auf einen bestimmten Zeitraum beschränkt werden.

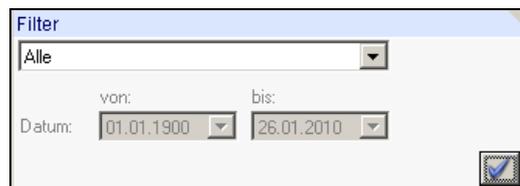


Bild 3.14: Filterfunktion der Akzelerogramme

Um eigene Akzelerogramme zu speichern, kann nach deren Eingabe in Maske 1.7 mit der Schaltfläche [Sichern] folgendes Fenster geöffnet werden.



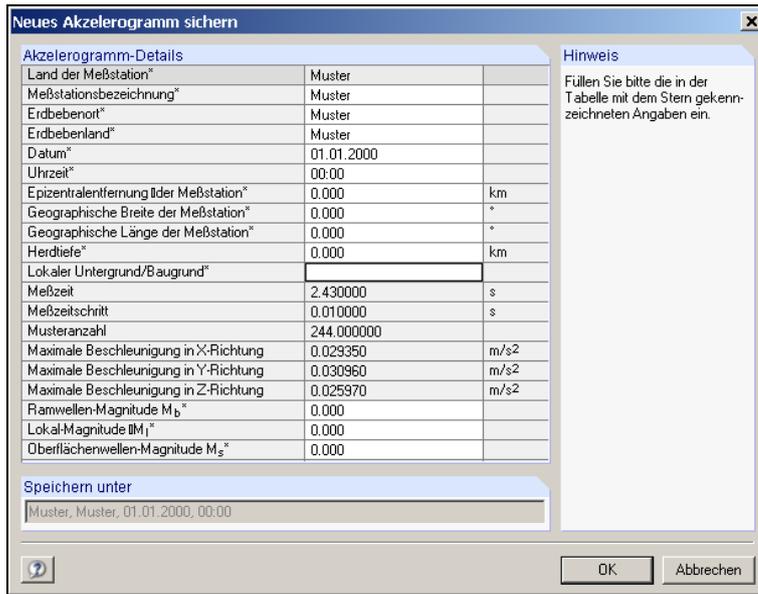


Bild 3.15: Eigene Akzelerogramme speichern

Hierbei können Sie in den zur Verfügung stehenden Zellen Bezeichnungen für die Messstation, den Erdbebenort, das Erdbebenland usw. festlegen. Der Name, unter dem das Akzelerogramme abgelegt wird, erscheint bei *Speichern unter*.

Eigene	
Iran , 01.01.2000, 00:00	
Japan, 02.05.2000, 00:00	
Mexico, 11.08.1980, 00:00	
Test, 01.01.2000, 00:00	

Bild 3.16: Gespeicherte Eigene Akzelerogramme

Die gespeicherten Akzelerogramme erscheinen in der Baumstruktur der Bibliothek unter der Rubrik *Benutzerdefiniert*.

Übernehmen

Um eigendefinierte oder auch bestehende Akzelerogramme in die Maske 1.7 zu übernehmen, wird über die Schaltfläche [Übernehmen] folgender Dialog geöffnet. Über eine *Winkel*-Angabe oder direktes Editieren der *Transformationsmatrix* kann hier auch die *Richtung* der Beschleunigung zur Übernahme eingestellt werden.

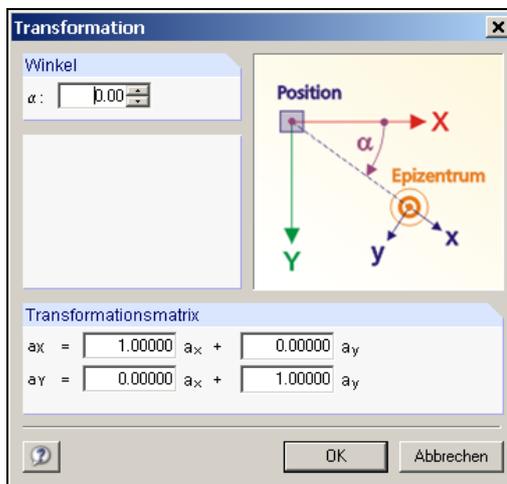


Bild 3.17: Erdbebenwirkung übernehmen

Tabellierte Lasten

Die Erregerart der tabellierten Lasten dient der Eingabe von zeitabhängigen Kraftgrößen (Einzelkräfte und Momente) in tabellierter Form.

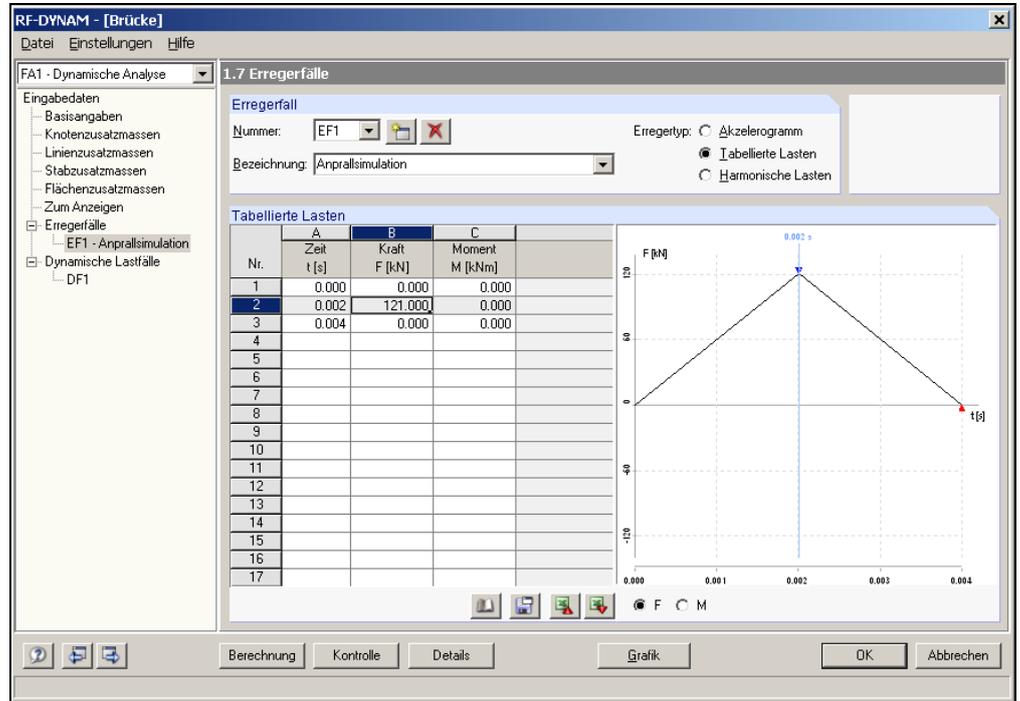


Bild 3.18: Maske 1.7 Erregerfälle des Typs Tabellierte Lasten

Alle Eingaben lassen sich wie auch bei den Akzelerogrammen in einer Bibliothek ablegen und jederzeit wieder einlesen. Über die Schaltfläche [Sichern] öffnet sich ein Fenster. Wenn ein Name vergeben ist, werden die Daten in der Bibliothek abgelegt.



Bild 3.19: Tabellierte Last sichern

Übernehmen

Mit der Schaltfläche [Übernehmen] können gesicherte Daten wieder in Maske 1.5 als Erregerfall eingelesen werden.

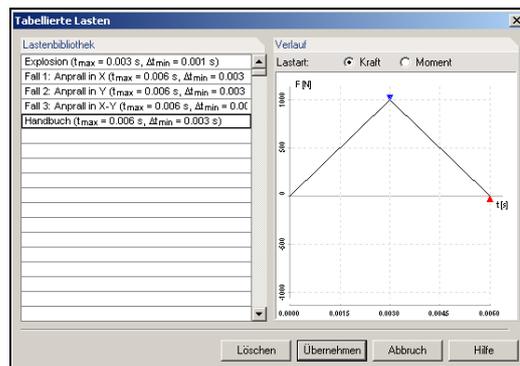


Bild 3.20: Bibliothek der tabellierten Lasten

Harmonische Lasten

Hiermit lassen sich beispielsweise die dynamischen Lasten von Maschinen, die als Erreger auf ein Bauwerk einwirken, mit Hilfe der Amplitude, Kreisfrequenz und Phasenverschiebung definieren.

Die Kraft-Funktion $f(t)$ und Moment-Funktion $m(t)$ haben in diesem Falle die Form:

$$f(t) = A_f \sin(\omega_f t + \phi_f) \text{ bzw.}$$

$$m(t) = A_m \sin(\omega_m t + \phi_m)$$

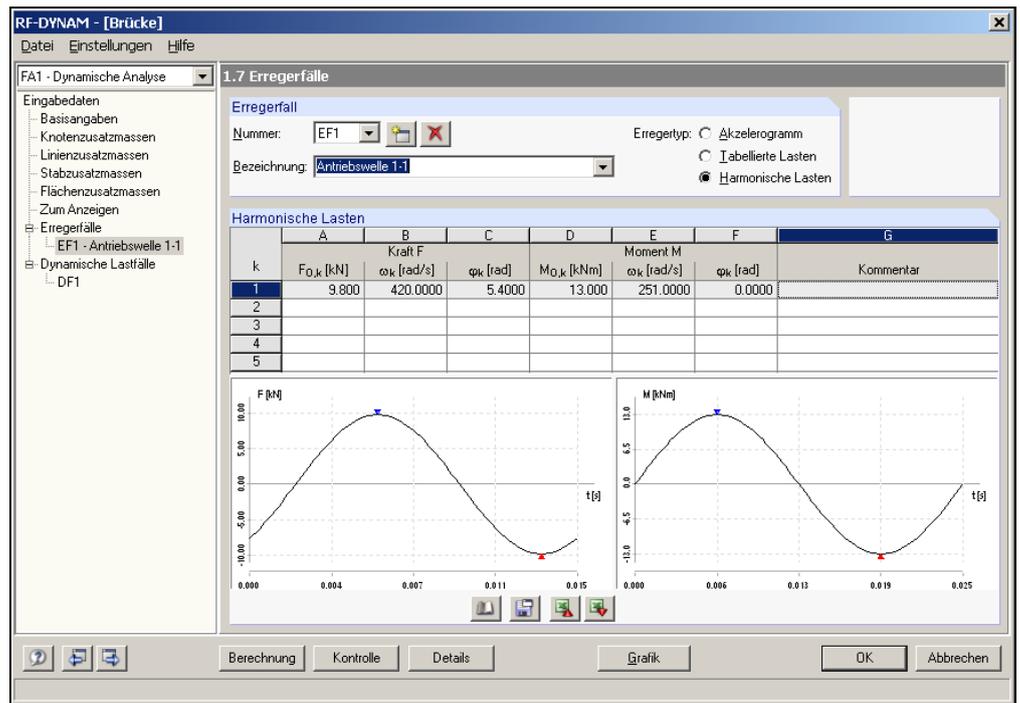


Bild 3.21: Erregerfall *Harmonische Lasten*



Das [Sichern] und [Übernehmen] der *Harmonischen Lasten* wird wie bei den Akzelerogrammen und Tabellierten Lasten über die [Bibliothek] gehandhabt.

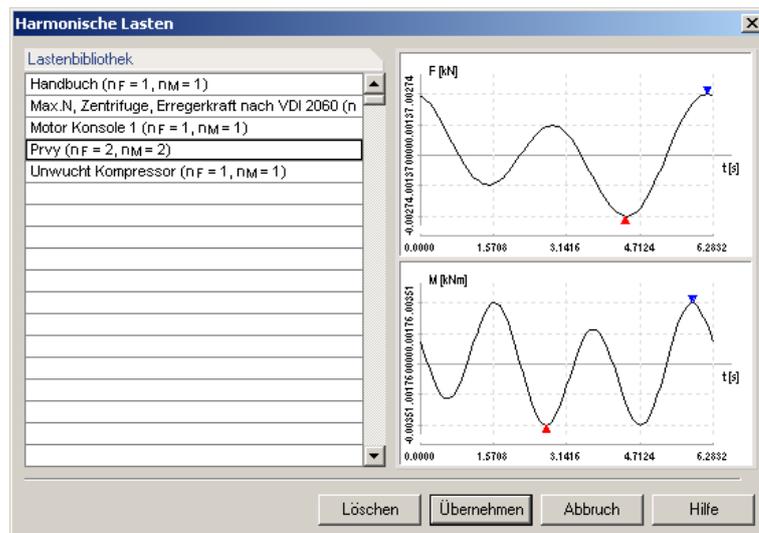


Bild 3.22: Bibliothek der *Harmonischen Lasten*

Antwortspektrum

Beliebig viele Auflagerknoten lassen sich durch die Eingabe von Perioden-Beschleunigungs-Tabellen seismisch nach dem Modalanalytischen Antwortspektrumverfahren erregen.

Die Eingabemaske 1.7 der Beschleunigungs-Antwortspektren wird nur aktiv, wenn in Maske 1.1 unter *Erzwungene Schwingungen* das *Antwortspektrumverfahren* ausgewählt wurde.

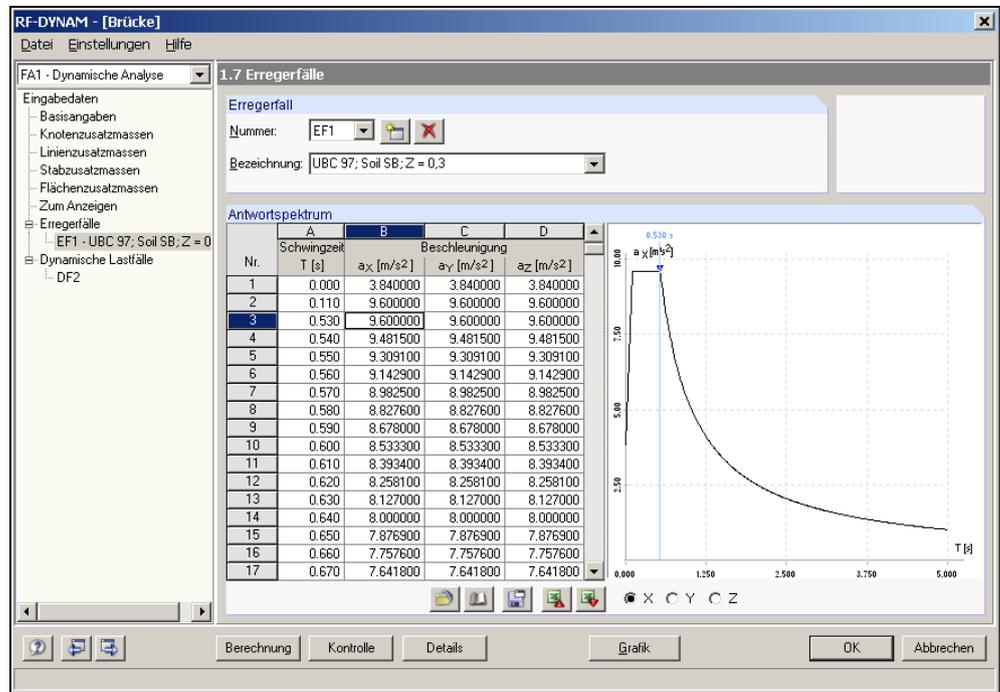


Bild 3.23: Maske 1.5 Erregerfälle *Antwortspektrum*



Die Schaltflächen [Sichern] und [Bibliothek] bieten hier wieder die bereits bekannten Optionen der anderen Erregerarten an.

In der Bibliothek der Antwortspektren stehen fertige elastische Spektren aus der DIN 4149, dem EC 8 und dem UBC 97 zur Verfügung. Bitte beachten Sie hierbei, dass es sich bei diesem Spektren um eine bestimmte Auswahl handelt, die über fest gewählte Normparameter generiert wurden. Diese Spektren sind natürlich jederzeit editier- und erweiterbar.

Die Schaltfläche [Akzelerogramm aus Bibliothek wählen] öffnet zunächst die Akzelerogramm-Bibliothek, in der Sie jetzt die Möglichkeit haben, Antwortspektren aus Ihren bestehenden Akzelerogrammen automatisch generieren zu lassen. Hierbei stehen Ihnen neben den bereits vorhandenen Akzelerogrammen natürlich auch die eigendefinierten Akzelerogramme zur Verfügung.

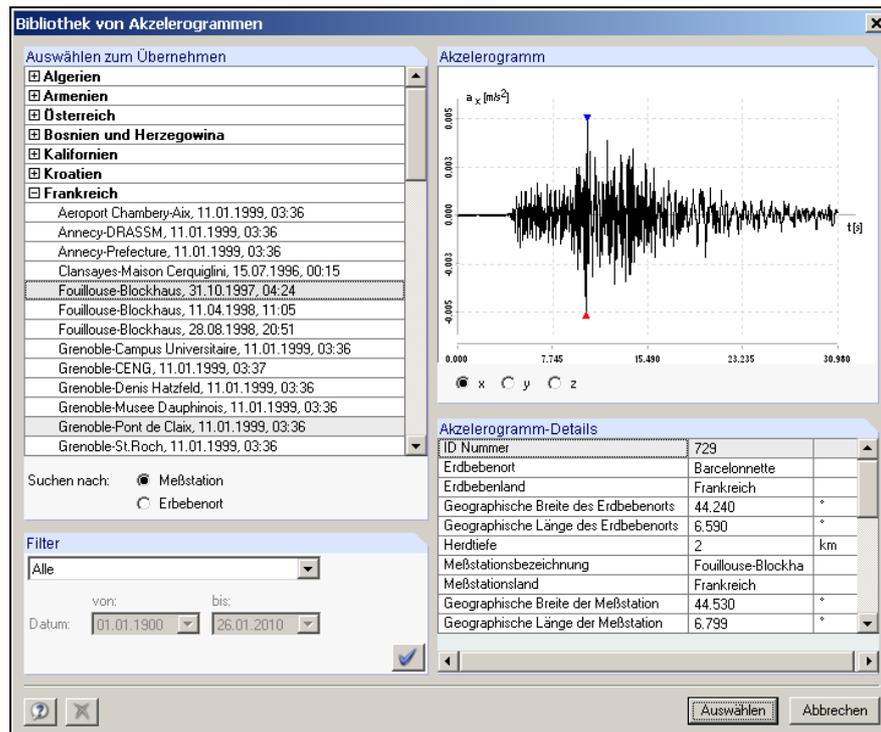


Bild 3.24: Akzelerogramm-Bibliothek mit Option [Antwortspektrum generieren]

Nachdem das Akzelerogramm ausgewählt wurde und im Grafikenfenster dargestellt wird, lassen sich bezüglich der Generierung des Spektrums weitere Parameter einstellen. Die Schaltfläche [Auswählen] öffnet folgenden Dialog:

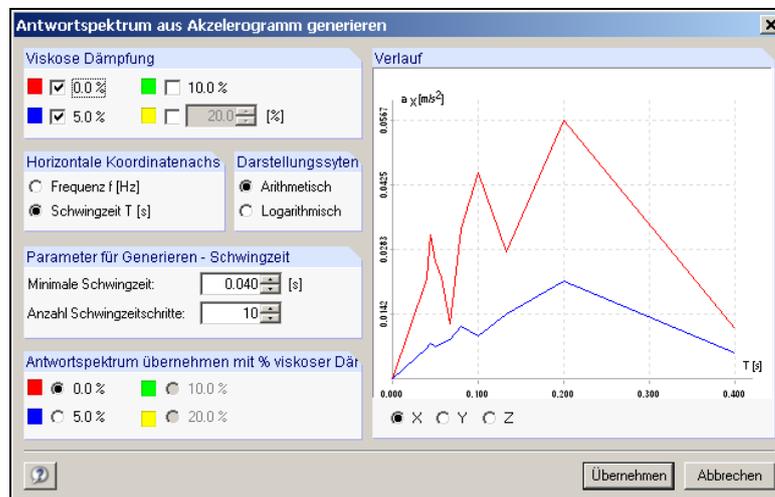


Bild 3.25: Parameter für die Generierung der Antwortspektren

Werte der viskosen Dämpfung

Über den zu definierenden Wert der viskosen Dämpfung lässt sich der grafische Antwortspektren-Verlauf im Vorschaufenster farblich darstellen. Wird die viskose Dämpfung geändert, kann die Vorschaugrafik mittels [Aktualisieren] angepasst werden.

Horizontale Koordinatenachse

Der grafische Verlauf der Antwortspektren lässt sich im Vorschaufenster entweder über die Frequenz oder die Periode darstellen.

Darstellungssystem

Der grafische Antwortspektren-Verlauf lässt sich im Vorschauenfenster entweder *Arithmetisch* oder *Logarithmisch* darstellen.

Perioden

Für die Generierung ist es wichtig, eine ausreichende Perioden-Inkrementierung sowie eine maximale Periodenanzahl festzulegen. Hierbei unterstützt Sie die Vorschaugrafik interaktiv.

Antwortspektrum übernehmen

Hier wird festgelegt, welches Spektrum der Vorschau in die Maske 1.5 übernommen werden soll. Ist die Auswahl getroffen, kann der Export mit [Übernehmen] erfolgen.

Übernehmen

3.3.8 Maske 1.8 Dynamische Lastfälle

Je nach Definition des Erregertyps in Maske 1.7 (Akzelerogramm, Antwortspektrum oder harmonische bzw. tabellierte Lasten) öffnet sich eine Eingabemaske zur Definition der *Akzelerogramm-Faktoren*, *Antwortspektrum-Faktoren* bzw. *Belastungsfaktoren*.

DF-Nummer

Ein oder mehrere Erregerfälle lassen sich beispielsweise mit verschiedenen Faktoren behaften und als eigener dynamischer Lastfall *DF* abspeichern. Je nachdem, ob in Maske 1.7 ein Akzelerogramm, Antwortspektrum oder Erregerkräfte definiert wurden, öffnet sich in Maske 1.8 die entsprechende Eingabemaske zur Definition der jeweiligen Faktoren.

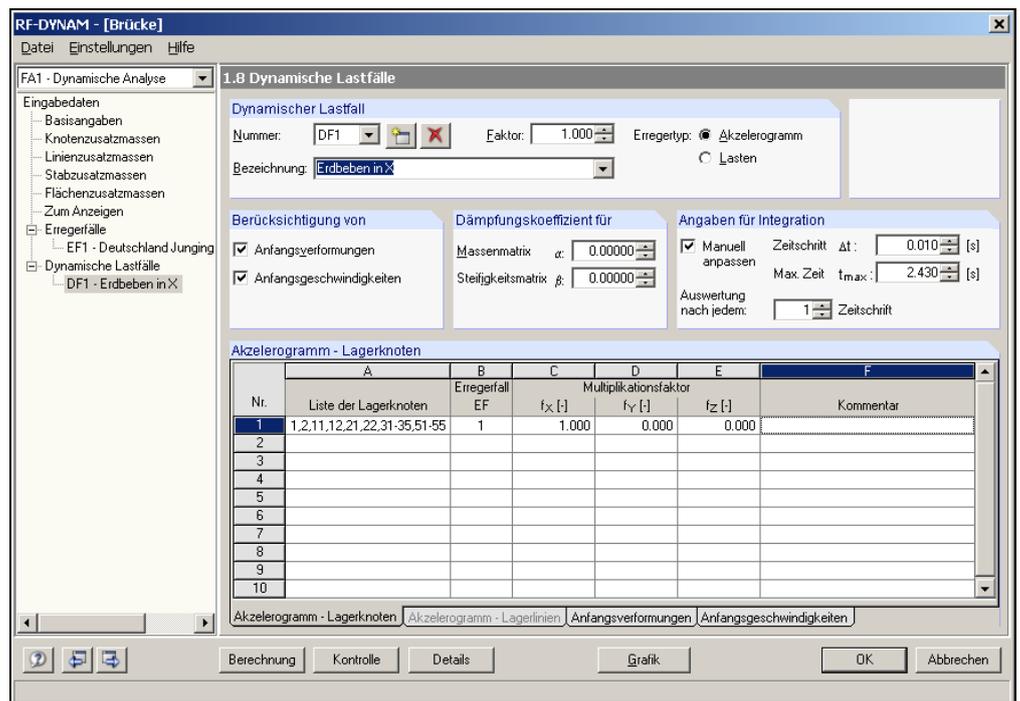


Bild 3.26: Maske 1.8 *Dynamische Lastfälle* - Akzelerogramm-Faktoren

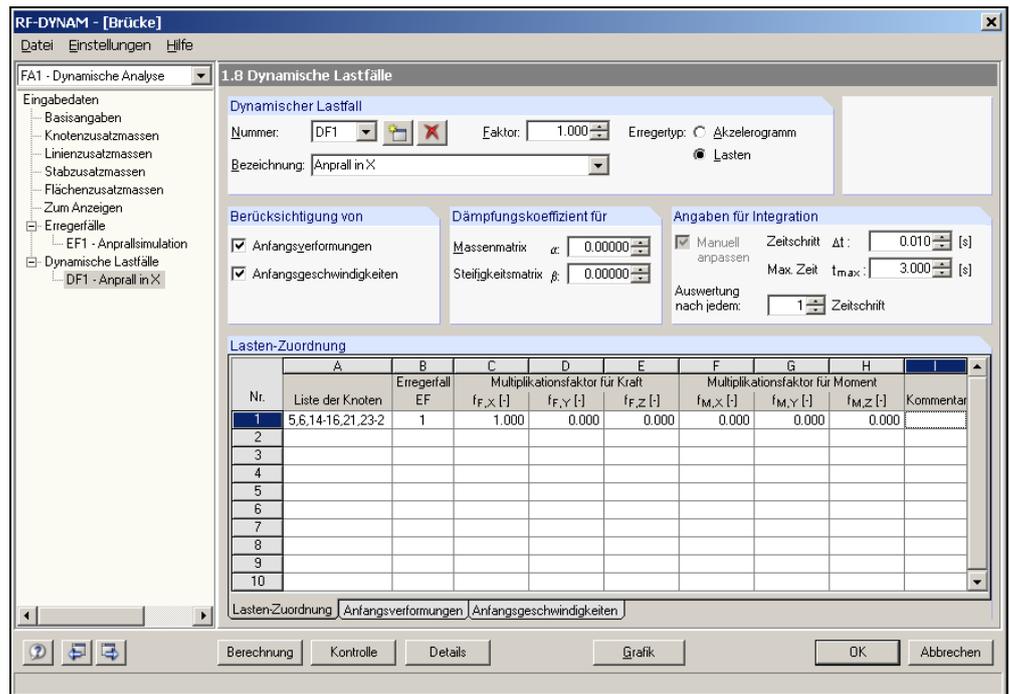


Bild 3.27: Maske 1.8 Dynamische Lastfälle - Belastungsfaktoren

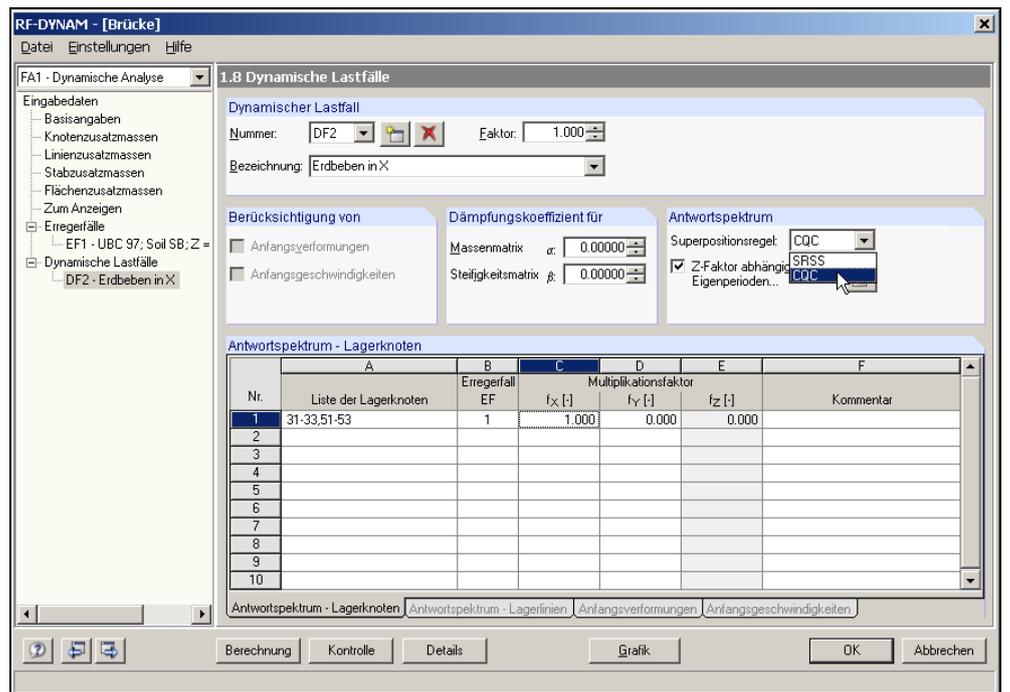


Bild 3.28: Maske 1.8 Dynamische Lastfälle - Antwortspektrum-Faktoren

Antwortspektrum-Faktoren

Als *Superpositions-Regel* stehen zwei Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung:

- Quadratsummenwurzel – Regel (SRSS – Regel): Hier wird Quadratwurzel der Summe der quadrierten Modalkomponenten gebildet.
- Vollständige quadratische Kombination (‘Complete Quadratic Combination’, CQC – Regel): Diese ist anzuwenden, falls bei der Untersuchung räumlicher Modelle mit gemischten Torsions-/Translations–Eigenformen benachbarte Modalformen vorhanden sind, deren Perioden sich um weniger als 10 % unterscheiden.

Z-Faktoren...

Z-Faktor abhängig von Eigenperioden

Durch Aktivieren des Kontrollfeldes und anschließendem Klick auf die Schaltfläche [Z-Faktoren] wird folgendes Fenster geöffnet, indem die Eigenperioden-abhängigen Z-Faktoren definiert werden können.

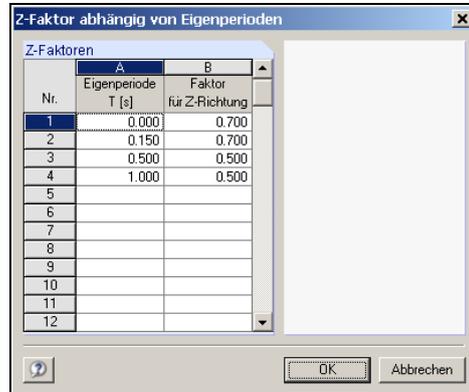


Bild 3.29: Eigenperioden abhängiger Z-Faktor

Anfangsverformungen

Hier lassen sich Anfangsverschiebungen bzw. Anfangsverdrehungen definieren, die den Einschwingvorgang maßgeblich beeinflussen. Allerdings dürfen in diesem Falle nur die ungebundenen Freiheitsgrade zugeordnet werden, also an jenen Knoten und jenen Richtungen, an denen keine Stützung die Bewegung des Systems behindert. Eingaben, die dieser Regel widersprechen, werden ignoriert. Da RF-DYNAM die Methode der Projektion auf den Unterraum der Eigenvektoren anwendet, können die Anfangsbedingungen nicht beliebig sein. Der vorgeschriebene Vektor der Anfangsbedingungen muss eine lineare Kombination der Eigenvektoren darstellen (siehe Kapitel 5 dieses Handbuchs).

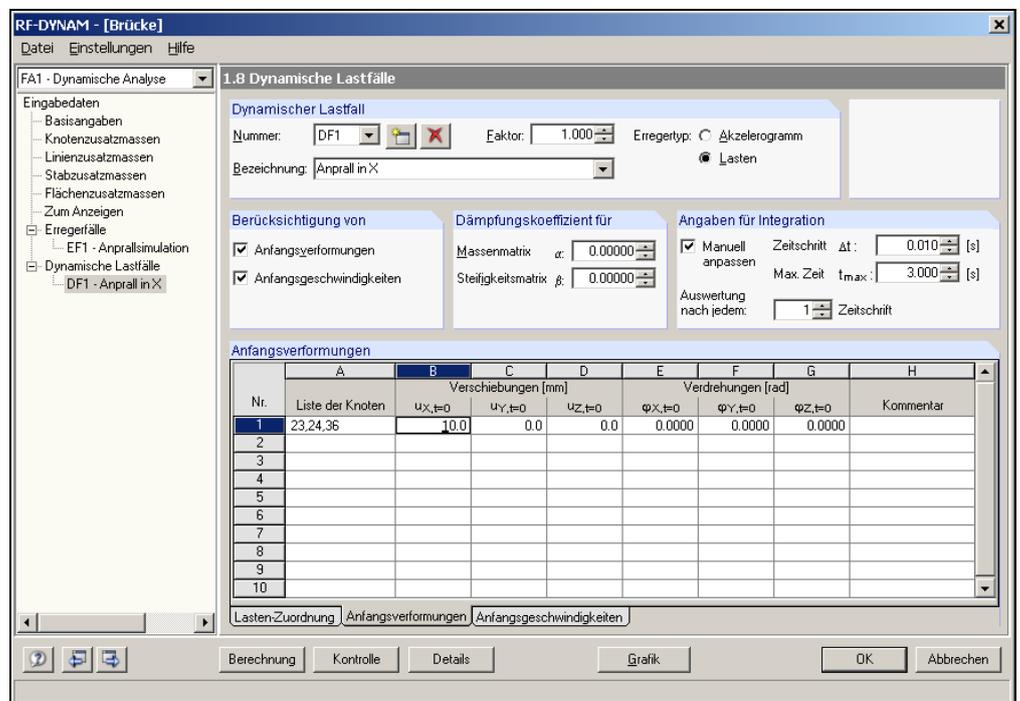


Bild 3.30: Maske 1.5 Dynamische Lastfälle - Anfangsverformungen

Anfangsgeschwindigkeiten:

Hier lassen sich Anfangsverschiebungs- bzw. Anfangsverdrehgeschwindigkeiten eingeben. Identisch zu den Anfangsverformungen müssen auch hier ungebundene Freiheitsgrade vorliegen, da die Geschwindigkeit die erste Ableitung der Verformung darstellt.

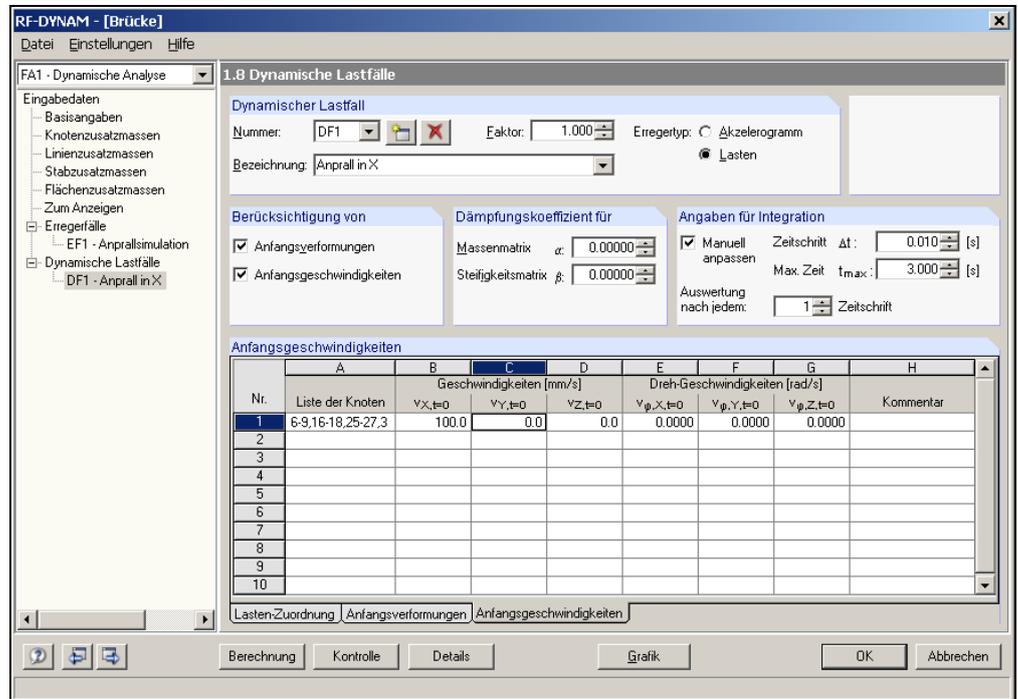


Bild 3.31: Maske 1.5 *Dynamische Lastfälle* - Anfangsgeschwindigkeiten

Bezüglich der *Anfangsverformungen* und *Anfangsgeschwindigkeiten* ist zu beachten, dass diese bei einer periodischen Erregung über ein Antwortspektrum nicht definiert werden können.

Dämpfungskoeffizient für

Massenmatrix α

In diesem Eingabefeld kann der Koeffizient α der massenproportionalen Dämpfung festgelegt werden. Die Maßeinheit für α ist [1/s].

Steifigkeitsmatrix β

Hier wird der Koeffizient β der steifigkeitsproportionalen Dämpfung bestimmt. Die Maßeinheit für β ist [s].

Die Dämpfungsmatrix hat die Form: $\alpha M + \beta K$

Das Dämpfungsmaß einschließlich des Lehrschen Dämpfungsmaßes D_i für die i -te Eigenkreisfrequenz ω_i lautet:

$$d_i = D_i + \frac{1}{2} [\alpha / \omega_i + \beta \omega_i]$$

Angaben für Integration

Zeitauswertung

Über den *Zeitschritt* und die *maximale Zeit* lassen sich die Genauigkeit und Dauer der Integration festlegen. Hierbei sollte man darauf achten, dass die maximale Zeit die Größe des Zeitintervalls, das in Maske 1.5 definiert wurde, nicht überschreitet.

Zeitschritt

Die richtige Wahl des Zeitschritts hängt von der Eigenfrequenz des Systems bzw. der Frequenz der erregenden Kräfte ab. Um eine ausreichende Genauigkeit zu erreichen, sollte die maßgebende Periode $T = 1/f$ in etwa 10 Schritte unterteilt werden, d. h. der Zeitschritt Δt ist so zu wählen, dass

$$\Delta t \triangleq T/10 = 1/(10f) = 2 \pi / (10 \omega)$$

Automatisch ermitteln



Angaben für Integration	
<input checked="" type="checkbox"/> Manuell anpassen	Zeitschritt Δt : 0.010 [s]
	Max. Zeit t_{max} : 3.000 [s]

Bild 3.32: Automatisch ermitteln

Die automatische Ermittlung der maximalen Zeit und des Zeitschritts ist nur bei Akzelerogrammen möglich. Hierbei wird als *Zeitschritt* die kürzeste Zeiteingabe aus der Maske 1.7 übernommen. Als *Max. Zeit* wird das Zeitende der Eingabe aus Maske 1.7 angesetzt.

3.3.9 Maske 1.9 Ersatzlasten

Diese Maske kann nur dann geöffnet werden, wenn der ZUSATZ II von RF-DYNAM erworben wurde.

Ersatzlast



Bild 3.33: Auswahl der Norm

Die Auswahlliste *Generieren nach Norm* eröffnet den Zugang zur Eingabemaske unterhalb, in der die Eingabeparameter nach **DIN 4149: 1981-04**, **DIN 4149: 2005-04**, **EUROCODE 8: 1998-1-1**, **EUROCODE 8: 2004-11** oder **IBC 2000** festgelegt werden können.

Wahl der Eigenformen

Zuordnung des Bemessungsspektrums für lineare Berechnung						
A	B	C	D	E		G
Zu generieren	Eigenform Nr.	Generieren in RFEM-LF Nr.	Auto	Ordinate des Bemessungsspektrums		Kommentar
				S_{dH} [m/s ²]	S_{dV} [m/s ²]	
<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 0.50 Hz	2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2510	0.1757	
<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 1.42 Hz	3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.7091	0.4963	
<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 1.87 Hz	4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.9362	0.6554	
<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 3.84 Hz	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9196	1.3437	
<input checked="" type="checkbox"/>	5 - 8.31 Hz	6	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	
<input checked="" type="checkbox"/>	6 - 10.62 Hz	7	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	1.7500	

Bild 3.34: Zuordnung des Bemessungsspektrums

Zu generieren und Eigenform Nr.

In diesen beiden Spalten wird festgelegt, welche der in RF-DYNAM BASIS ermittelten Eigenfrequenzen zur Bestimmung der Ersatzlasten herangezogen werden sollen.

Generieren in RFEM-LF Nr.

Hier wird angezeigt, in welchen RFEM-Lastfall die generierten Ersatzlasten übernommen werden sollen. Die Wirkungsrichtung des Erdbebens entspricht hierbei immer der Richtung der Eigenschwingung. Die Nummer des ersten Lastfalls in RFEM kann unter Export in RFEM eingestellt werden



Bild 3.35: Lastfall-Nummerierung

Auto

Die Bestätigung dieses Eingabefeldes hat zur Folge, dass die Beiwerte S_{dH} und S_{dV} des Bemessungsspektrums automatisch ermittelt werden. Eine freie Eingabe dieser Werte ist jedoch auch möglich, um eine Ermittlung der Ersatzlasten mit Eingangswerten, die außerhalb der DIN 4149 liegen, zu ermöglichen.

Ordinate des Bemessungsspektrums

Dieser Wert ergibt sich als Funktion der Eigenperiode T.

Kommentar

Jeder generierte Lastfall kann hier mit einem Kommentar versehen werden.

Norm-Parameter DIN 4149: 1981-04

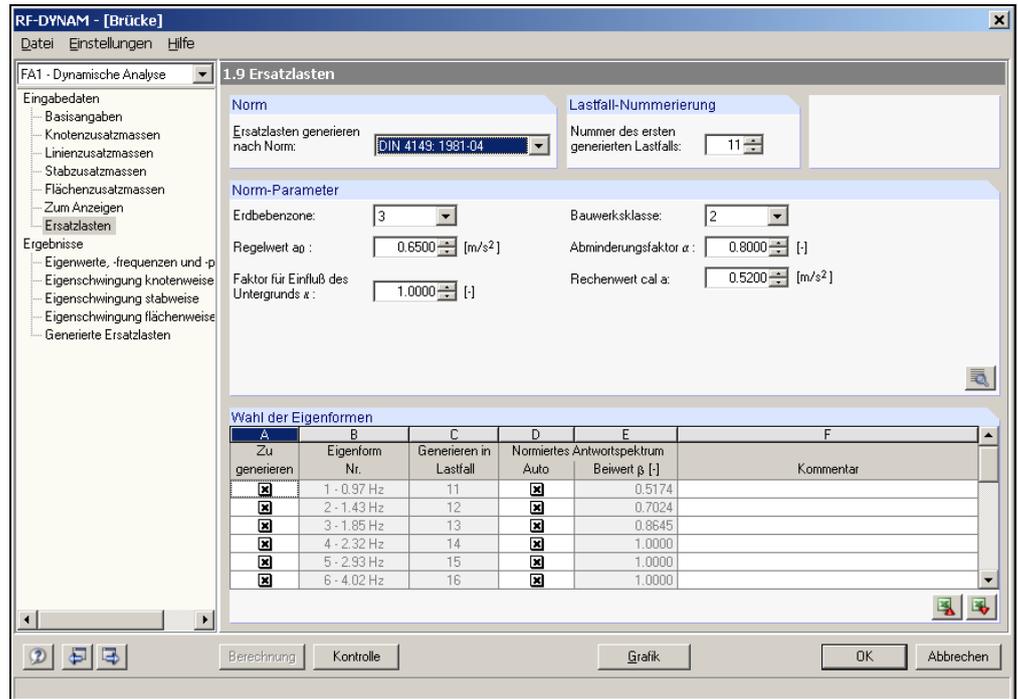


Bild 3.36: Maske 1.9 *Ersatzlasten* nach DIN 4149: 1981-04

Erdbebenzone

Bedingt durch den Aufbau der Erdbebenkruste aus kontinentalen Platten treten auf der Erdoberfläche an verschiedenen Orten unterschiedliche Erdbebenzonen auf. Die charakteristische Größe für eine Erdbebenzone ist der Regelwert a_0 , der der zu erwartenden Beschleunigung entspricht.

Regelwert a_0

Der Beschleunigungswert wird je nach Erdbebenzone automatisch vom Programm angesetzt, sofern eine Erdbebenzone zwischen 1 und 4 festgelegt wurde.

Faktor für Einfluss des Untergrundes κ

Dieser Beiwert liegt im Extremfall bei 1.0 (hartes Gestein) oder 1.4 (Lockergestein).

Bauwerksklasse

Über die Bauwerksklasse wird die Schutzwürdigkeit und die gesellschaftliche Bedeutung des Gebäudes angesprochen. Die Einteilung erfolgt in drei Kategorien, über die die Norm näheren Aufschluss gibt. Für Mitteleuropa ist die Berücksichtigung der Bauwerksklassen 1 bis 4 in der Regel ausreichend. Über die baulichen Bestimmungen hinsichtlich der Erdbebenzone gibt die Norm Aufschluss. Es kann auch eine andere Bauwerksklasse für andere Normen und Erdbebenzonen eingegeben werden, wobei die dann gültigen Beschleunigungswerte durch den Anwender anzugeben sind.

Abminderungsfaktor α

Die Regelwerte der Beschleunigung a_0 dürfen in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse und der Erdbebenzone mit einem Abminderungsfaktor α multipliziert werden. Näheres hierzu siehe DIN 4149, Kapitel 7.2.3.

Rechenwert $cal a$

Dieser Wert setzt sich aus dem Regelwert a_0 , dem Abminderungsfaktor α und dem Faktor für den Untergrund κ zusammen. Nach Eingabe dieser Parameter wird $cal a$ automatisch berechnet, kann jedoch auch nachträglich editiert werden.

Spektrum

Über die Schaltfläche [Spektrum] wird das jeweilige Spektrum mit den eingegebenen Parametern grafisch dargestellt. Diese Schaltfläche ist erst nach erfolgreicher Berechnung der Eigenfrequenzen aktiv. Wenn hier in der Spalte *Auto* das Kreuz deaktiviert wird, besteht die Möglichkeit, die Richtungsfaktoren für das Spektrum zu ändern.

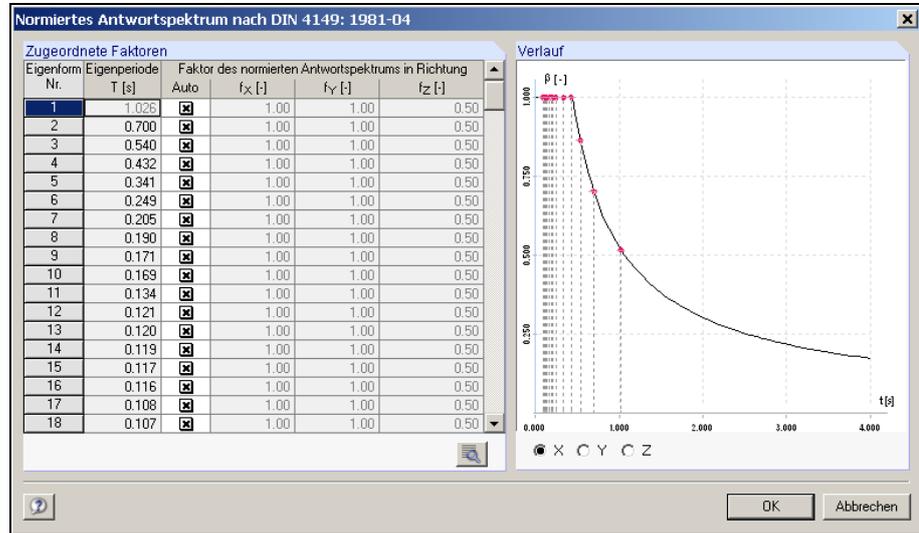


Bild 3.37: Normiertes Antwortspektrum nach DIN 4149: 1981-04

Z-Faktoren

Die Faktoren für die Z-Richtung können zudem über eine Tabelle beschrieben werden. Die Voreinstellung gemäß DIN 4149 für die Z-Richtung beträgt hier 50 % der horizontalen Erdbebeneinwirkung.



Bild 3.38: Z-Faktoren

Norm-Parameter DIN 4149: 2005-04

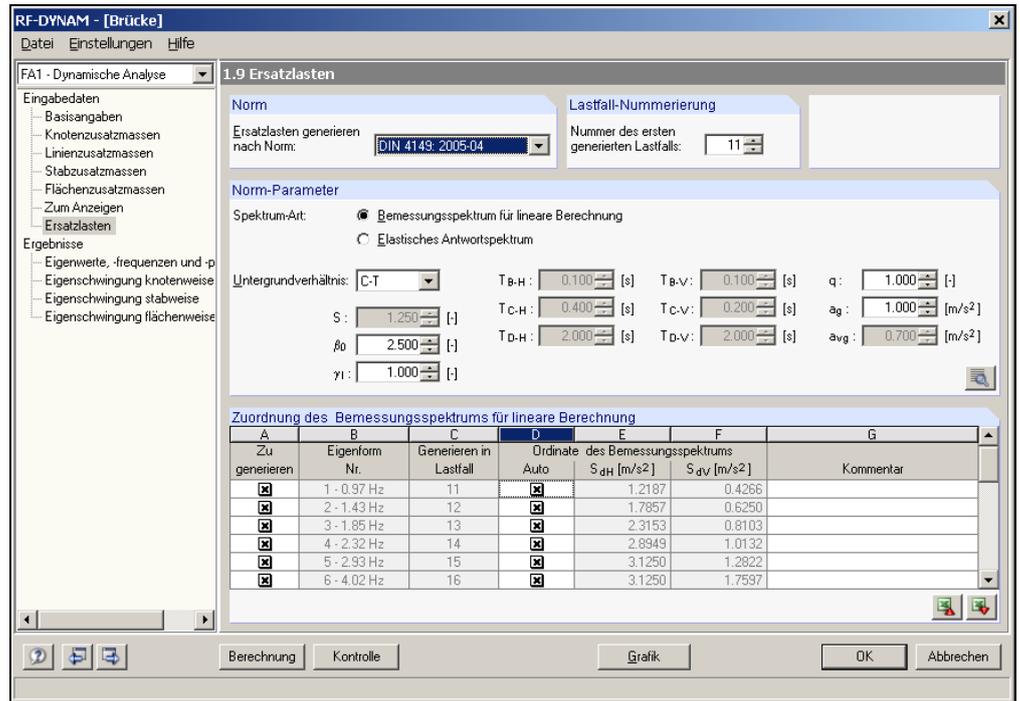


Bild 3.39: Maske 1.9 Ersatzlasten DIN 4149: 2005-04, Option Bemessungsspektrum für die lineare Berechnung

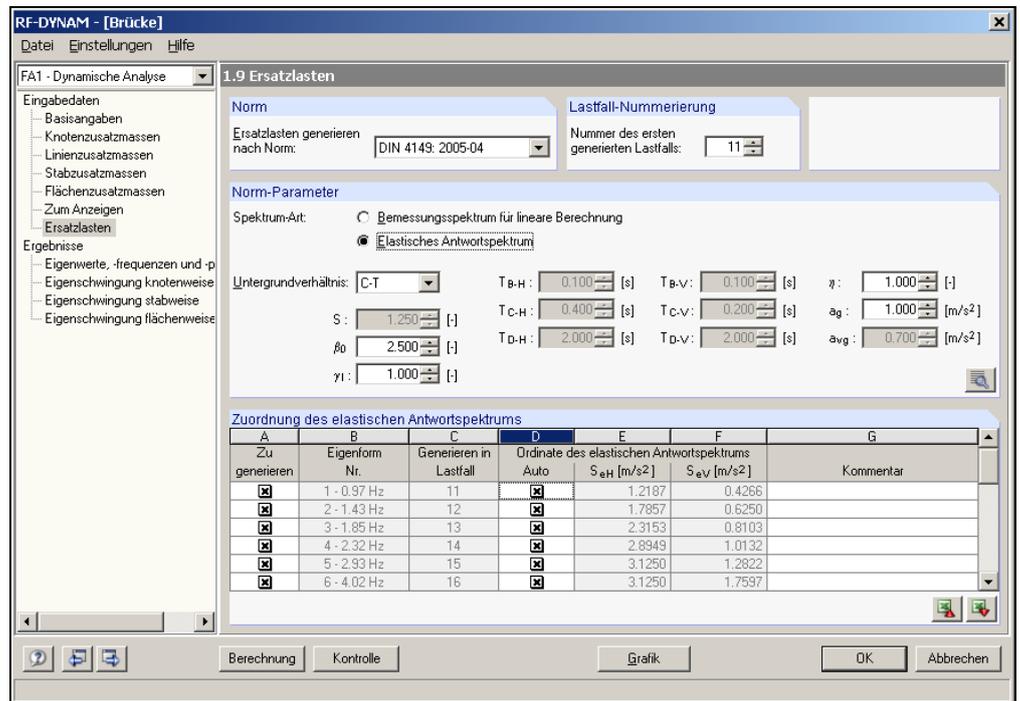


Bild 3.40: Maske 1.9 Ersatzlasten nach DIN 4149: 2005-04, Option Elastisches Antwortspektrum

Wenn die Ersatzlasten nach DIN 4149: 2005-04 generiert werden sollen, steht entweder das *Bemessungsspektrum für lineare Berechnung* oder das *Elastische Antwortspektrum* zur Verfügung. Die einzelnen Parameter der DIN 4149: 2005-04 werden wie folgt beschrieben.

Geologische Untergrundklassen

R	Gebiete mit Felsartigem Gesteinsuntergrund
T	Übergangsbereiche zwischen den Gebieten der Untergrundklasse R und der Untergrundklasse S sowie Gebiete relativ flachgründiger Sedimentbecken
S	Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung

Baugrundklassen

A	Unverwitterte (bergfrische) Festgesteine mit hoher Festigkeit Dominierende Scherwellengeschwindigkeit: > 800 m/s
B	Mäßig verwitterte Festgesteine bzw. Festgesteine mit geringer Festigkeit oder grobkörnige (rollige) bzw. gemischtkörnige Lockergesteine mit hohen Reibungseigenschaften in dichter Lagerung bzw. in fester Konsistenz (z. B. glazial belastete Lockergesteine) Dominierende Scherwellengeschwindigkeit: 350 m/s bis 800 m/s
C	Stark bis völlig verwitterte Festgesteine oder grobkörnige (rollige) bzw. gemischtkörnige Lockergesteine in mitteldichter Lagerung bzw. in mindestens steifer Konsistenz oder feinkörnige (bindige) Lockergesteine in mindestens steifer Konsistenz Dominierende Scherwellengeschwindigkeit: 150 m/s bis 350 m/s

Für die Eingangswerte A, B oder C sowie R, T oder S ergeben sich folgende Eingangsparameter für das Bemessungsspektrum:

Werte der Parameter zur Beschreibung des horizontalen Spektrums

Untergrundverhältnisse	S	T _B [s]	T _C [s]	T _D [s]
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,01	0,30	2,0
C-T	1,25	0,01	0,40	2,0
C-S	0,75	0,01	0,50	2,0

Werte der Parameter zur Beschreibung des vertikalen Spektrums

Untergrundverhältnisse	S	T _B [s]	T _C [s]	T _D [s]
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,20	2,0
C-R	1,50	0,05	0,20	2,0
B-T	1,00	0,01	0,20	2,0
C-T	1,25	0,01	0,20	2,0
C-S	0,75	0,01	0,20	2,0

- S Untergrundparameter
- T_B, T_C, T_D Kontrollperioden des Antwortspektrums
- β₀ Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung mit Referenzwert
β₀ = 2,5 für 5 % viskose Dämpfung

Verhaltensbeiwert q

Der Verhaltensbeiwert q variiert zwischen 1,50 und 5,00, wobei dieser durch den Tragwerkstyp, die Duktilität des Gebäudes, die Regelmäßigkeit des Gebäudes im Aufriss und die Versagensart der verschiedenen Aussteifungssysteme bestimmt wird. Dieser unterliegt der Gleichung:

$$q = q_o * k_R * k_w \geq 1,5$$

Dämpfungs-Korrekturbeiwert η

Der Dämpfungs-Korrekturbeiwert mit dem Referenzwert $\eta = 1$ für 5 % viskose Dämpfung ermittelt sich wie folgt.

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

Bemessungswert der Bodenbeschleunigungen a_g

Der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung ist von der Erdbebenzone abhängig und kann der Nachstehenden Tabelle, in Verbindung mit dem Bild 2 – Erdbebenzonen der Bundesrepublik Deutschland der DIN 4149: 2005-04, entnommen werden.

Erdbebenzonen	Intensitätsintervalle	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g [m/s ²]
0	$6,0 \leq I < 6,5$	-
1	$6,5 \leq I < 7,0$	0,4
2	$7,0 \leq I < 7,5$	0,6
3	$7,5 \leq I$	0,8

Bedeutungsbeiwert γ_I

Hochbauten sind entsprechend ihrer Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit einer der vier Bedeutungskategorien zuzuordnen:

Bedeutungskategorie	Bauwerke	Bedeutungsbeiwert γ_I
I	Bauwerk von geringer Bedeutung für die öffentliche Sicherheit, z. B. landwirtschaftliche Bauten	0,8
II	Gewöhnliche Bauten, die nicht zu den anderen Kategorien gehören, z. B. Wohngebäude	1,0
III	Bauwerke, deren Widerstandsfähigkeit gegen Erdbeben im Hinblick auf die mit Einsturz verbundenen Folgen wichtig ist, z. B. große Wohnanlagen, Verwaltungsgebäude, Schulen, Versammlungshallen, kulturelle Einrichtungen, Kaufhäuser etc.	1,2
IV	Bauwerke, deren Unversehrtheit im Erdbebenfall von Bedeutung für den Schutz der Allgemeinheit ist, z. B. Krankenhäuser, wichtige Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Sicherheitskräfte, Feuerwehrhäuser usw.	1,4

Spektrum

Über die Schaltfläche [Spektrum] wird das jeweilige Spektrum mit den eingegebenen Parametern grafisch dargestellt. Wenn hier in der Spalte *Auto* das Kreuz deaktiviert wird, besteht die Möglichkeit, die Richtungsfaktoren für das Spektrum zu ändern.

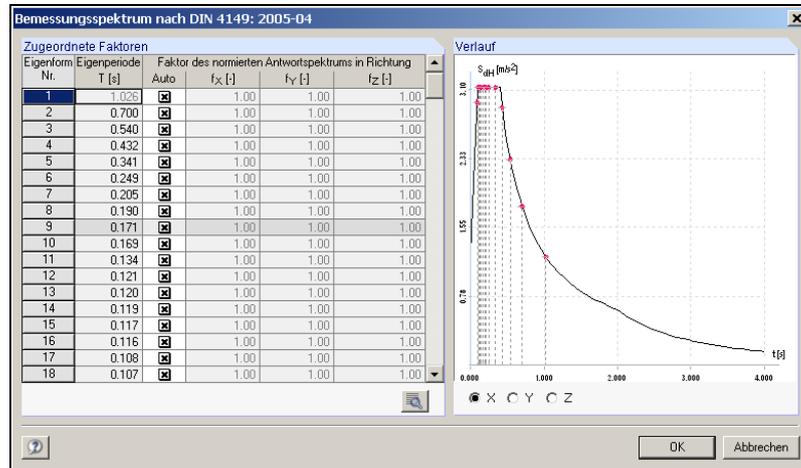


Bild 3.41: Bemessungsspektrum für lineare Berechnung

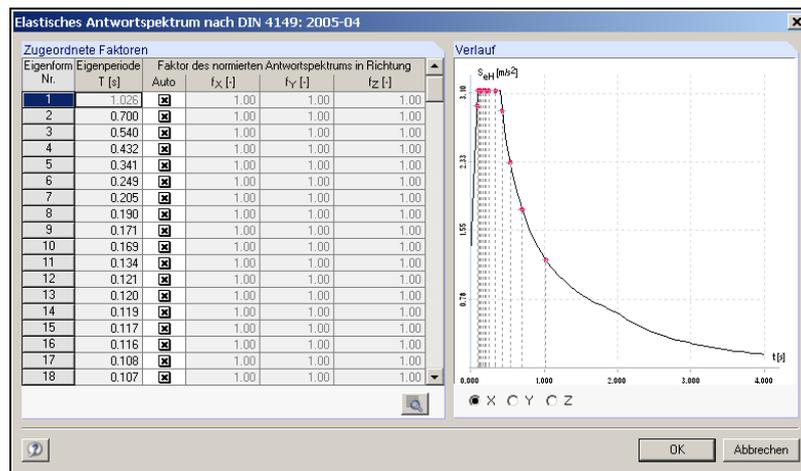


Bild 3.42: Elastisches Antwortspektrum

Z-Faktoren

Die Faktoren für die Z-Richtung können zudem über eine Tabelle beschrieben werden, die über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist. Die Voreinstellung gemäß DIN 4149: 2005-04 für die Z-Richtung beträgt hier:

- für Schwingzeiten gleich 0,0 s gleich 100 %
- für Schwingzeiten gleich 10,0 s gleich 100 %

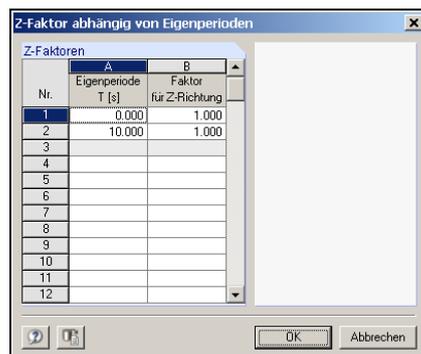


Bild 3.43: Z-Faktoren

Norm-Parameter EUROCODE 8: 1998-1-1

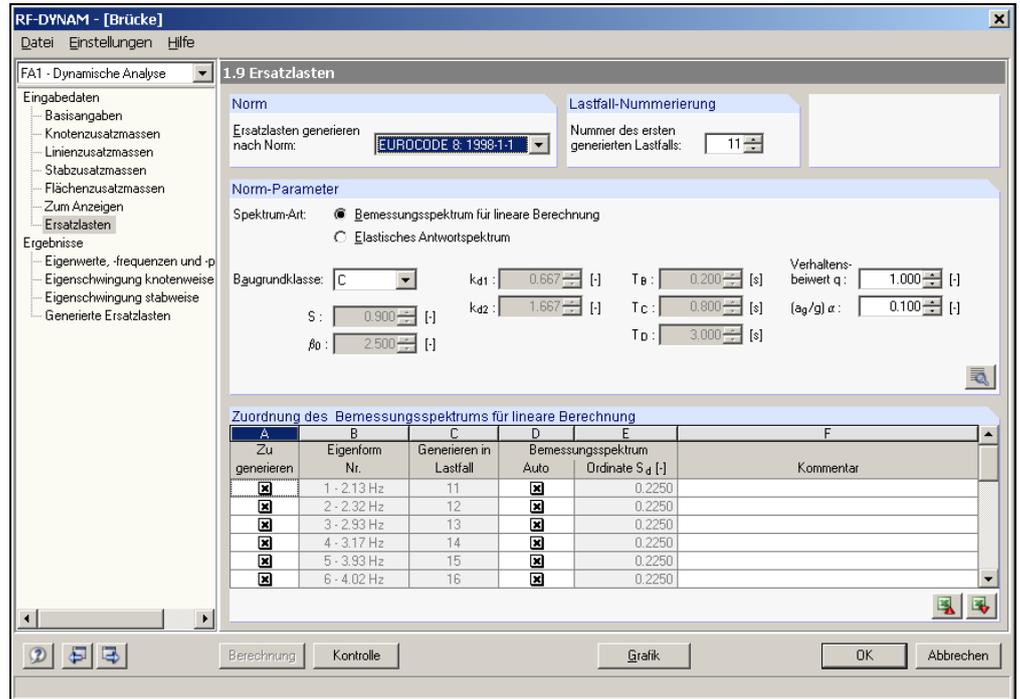


Bild 3.44: Maske 1.9 Ersatzlasten nach EUROCODE 8: 1998-1-1, Option Bemessungsspektrum für lineare Berechnung

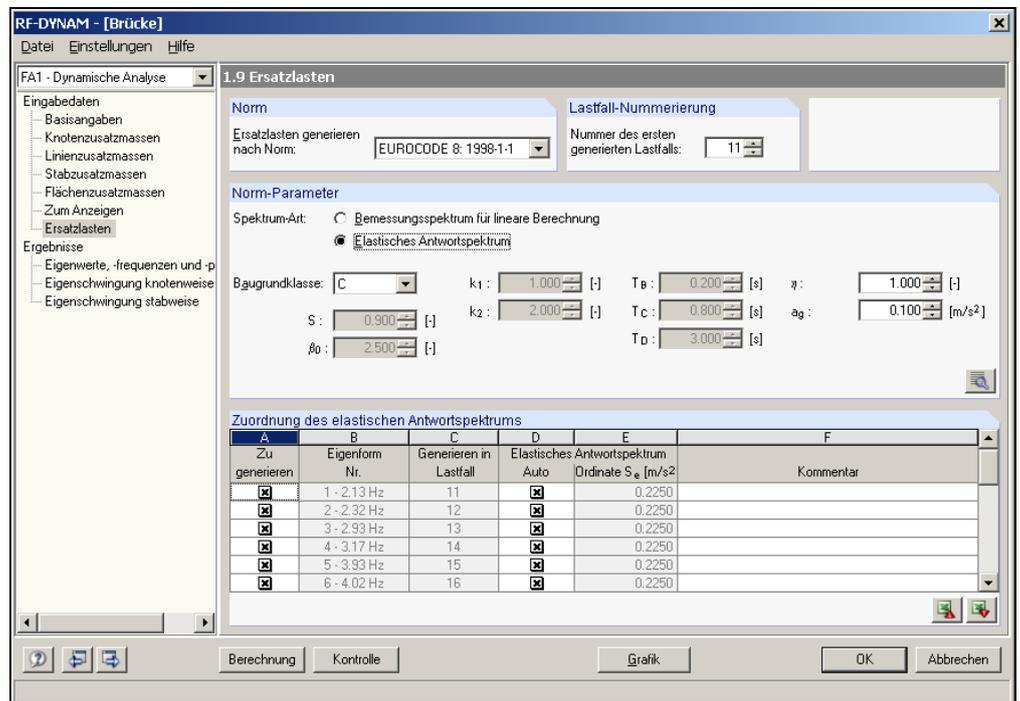


Bild 3.45: Maske 1.9 Ersatzlasten nach EUROCODE 8: 1998-1-1, Option Elastisches Antwortspektrum

Sollen die Ersatzlasten nach Eurocode 8: 1998-1-1 generiert werden, steht entweder das *Bemessungsspektrum für lineare Berechnung* oder das *Elastische Antwortspektrum* zur Verfügung. Die einzelnen Parameter des Eurocode 8: 1998-1-1 werden wie folgt beschrieben.

Baugrundklassen

A	Felsuntergrund mit v_s mindestens 800 m/s Steife Böden mit v_s mindestens 400 m/s in 10 m Tiefe
B	Mitteldicht gelagerte Kiese und Sande oder bindige Böden v_s mindestens 200 m/s in 10 m Tiefe
C	Böden mit v_s unter 200 m/s in den obersten 20 m Tiefe

Für die Eingangswerte A, B oder C ergeben sich folgende Eingangsparameter für das Bemessungsspektrum:

Baugrund	S	β_0	k_{d1}	k_{d2}	k_1	k_2	T_b [s]	T_c [s]	T_D [s]
A	1,0	2,5	2/3	5/3	1,0	2,0	0,10	0,40	3,0
B	1,0	2,5	2/3	5/3	1,0	2,0	0,15	0,60	3,0
C	0,9	2,5	2/3	5/3	1,0	2,0	0,20	0,80	3,0

S Bodenparameter

β_0 Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung für 5 % viskose Dämpfung

k_{d1}, k_{d2} Exponenten, die die Form des Bemessungsspektrums für eine Schwingzeit größer als T_c bzw. T_D beeinflussen

k_1, k_2 Exponenten, die die Form des Spektrums für eine Schwingzeit größer als T_c bzw. T_D beeinflussen

T_b, T_c Grenzen des Bereichs mit konstanter Spektralbeschleunigung

T_D Wert, der den Beginn des Bereichs mit konstanter Verschiebung im Spektrum bestimmt

Verhaltensbeiwert q

Der Verhaltensbeiwert q variiert zwischen 1,50 und 5,00, wobei dieser durch den Tragwerkstyp, die Duktilität des Gebäudes, die Regelmäßigkeit des Gebäudes im Aufriss und die Versagensart der verschiedenen Aussteifungssysteme bestimmt wird. Dieser unterliegt der Gleichung:

$$q = q_0 * k_D * k_R * k_W$$

Dämpfungs-Korrekturbeiwert η

Der Dämpfungs-Korrekturbeiwert mit dem Referenzwert $\eta = 1$ für 5 % viskose Dämpfung ermittelt sich wie folgt.

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7$$

Verhältnis der Beschleunigungen (a_g / g)

Der Faktor α stellt das Verhältnis zwischen dem Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g für die Referenz-Wiederkehrperiode und der Erdbeschleunigung g dar.

Über die Schaltfläche [Spektrum] wird das jeweilige Spektrum mit den eingegebenen Parametern grafisch dargestellt. Wenn hier in der Spalte *Auto* das Kreuz deaktiviert wird, besteht die Möglichkeit, die Richtungsfaktoren für das Spektrum zu ändern.

Spektrum

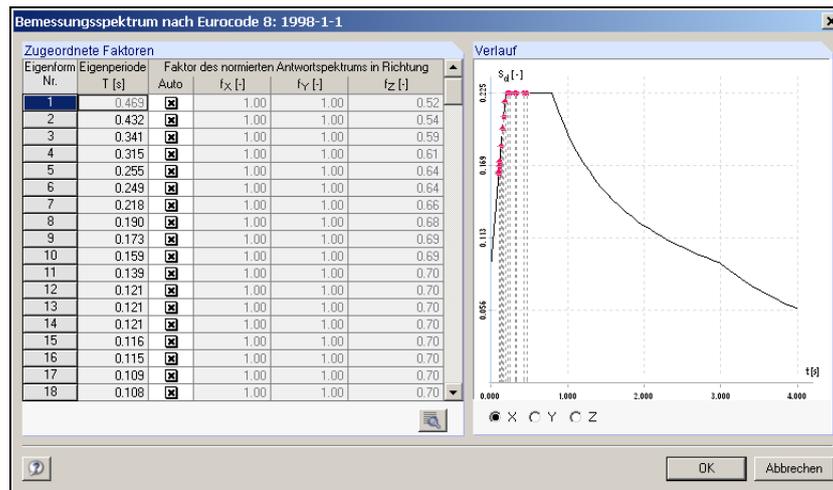


Bild 3.46: Bemessungsspektrum für lineare Berechnung

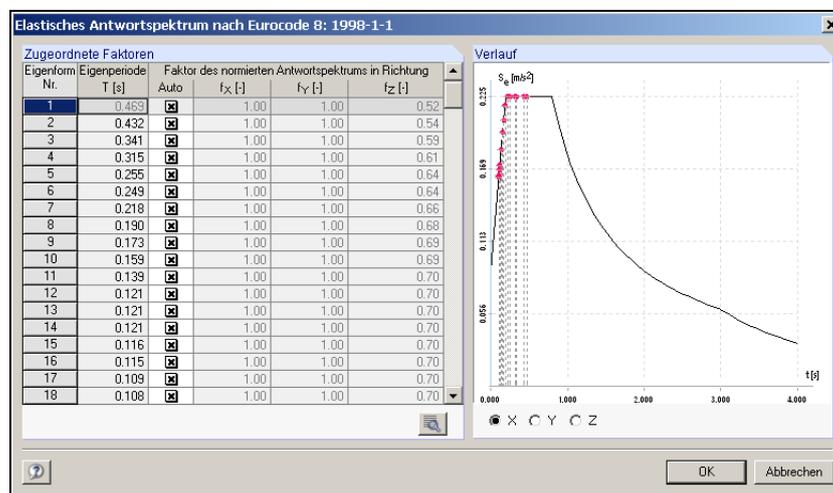


Bild 3.47: Elastisches Antwortspektrum

Z-Faktoren

Die Faktoren für die Z-Richtung können zudem über eine Tabelle beschrieben werden, die über die entsprechende Schaltfläche zugänglich ist. Die Voreinstellung gemäß EC 8 für die Z-Richtung beträgt hier:

- für Schwingzeiten kleiner als 0,15 s gleich 70 %
- für Schwingzeiten größer als 0,5 s gleich 50 %
- für Schwingzeiten zwischen 0,15 s und 0,5 s wird automatisch linear interpoliert

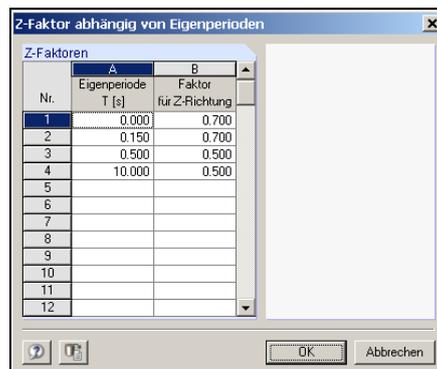


Bild 3.48: Z-Faktoren

Norm-Parameter IBC 2000

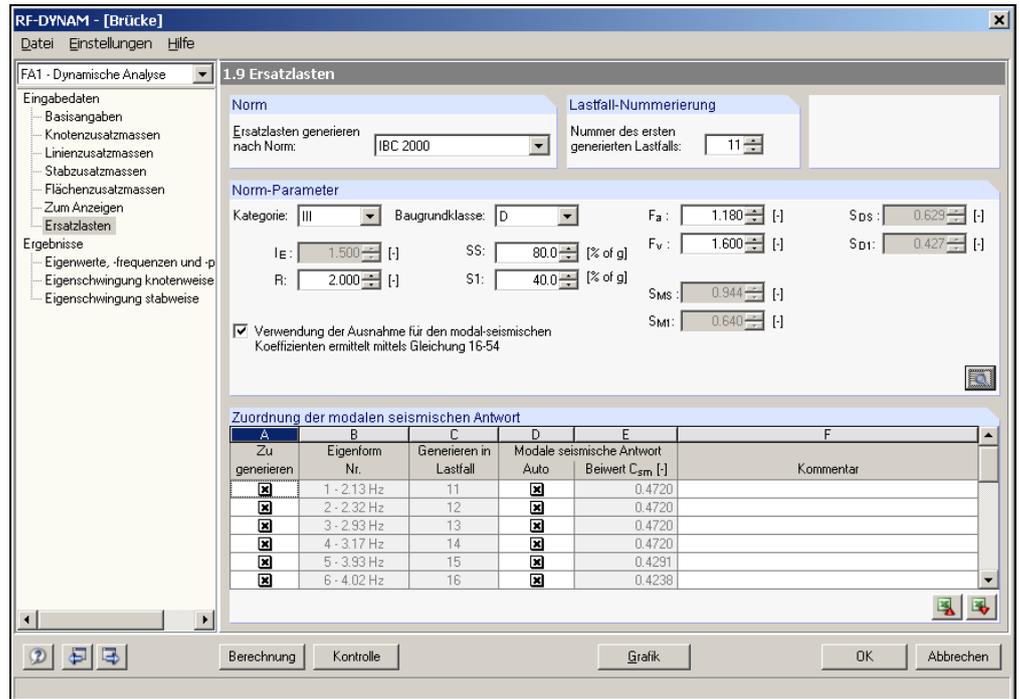


Bild 3.49: Maske 1.9 Ersatzlasten nach IBC 2000

Spektrum

Über die Schaltfläche [Spektrum] wird das jeweilige Spektrum mit den eingegebenen Parametern grafisch dargestellt. Wenn hier in der Spalte *Auto* das Kreuz deaktiviert wird, besteht die Möglichkeit, die Richtungs-faktoren für das Spektrum zu ändern.

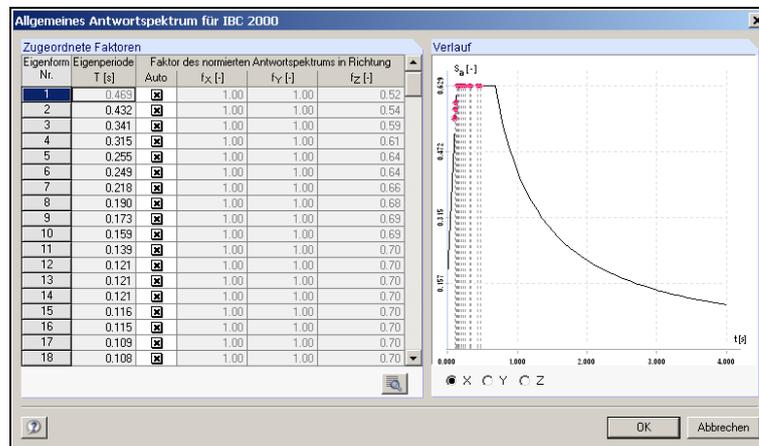


Bild 3.50: General Response Spektrum

Category

Diese Kategorien entsprechen den *Seismic Use Groups* des IBC 2000:

1616.2.1 Seismic Use Group I. Seismic Use Group I structures are those not assigned to either Seismic Use Group II or III.

1616.2.2 Seismic Use Group II. Seismic Use Group II structures are those, the failure of which would result in a sub-Table 1604.5, or as designated by the building official.

1616.2.3 Seismic Use Group III. Seismic Use Group III structures are those, the failure of which would result in having essential facilities that are required for postearthquake recovery and those containing substantial quantities of hazardous substances, as indicated in Table 1604.5, or as designated by the building official.

Where operational access to a Seismic Use Group III structure is required through an adjacent structure, the adjacent structure shall conform to the requirements for Seismic Use Group III structures. Where operational access is less than 10 feet (3048 mm) from an interior lot line or less than 10 feet (3048 mm) from another structure, access protection from potential falling debris shall be provided by the owner of the Seismic Use Group III structure.

Occupancy Importance Factor I_E

TABLE 1604.5
CLASSIFICATION OF BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FOR IMPORTANCE FACTORS

CATEGORY ^a	NATURE OF OCCUPANCY	SEISMIC FACTOR I_E	SNOW FACTOR I_S	WIND FACTOR I_W
I	Buildings and other structures except those listed in Categories II, III and IV	1.00	1.0	1.00
II	Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area • Buildings and other structures with elementary school, secondary school or day-care facilities with capacity greater than 250 • Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities • Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities • Jails and detention facilities • Any other occupancy with an occupant load greater than 5,000 • Power-generating stations, water treatment for potable water, waste water treatment facilities and other public utility facilities not included in Category III • Buildings and other structures not included in Category III containing sufficient quantities of toxic or explosive substances to be dangerous to the public if released 	1.25	1.1	1.15
III	Buildings and other structures designated as essential facilities including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities • Fire, rescue and police stations and emergency vehicle garages • Designated earthquake, hurricane or other emergency shelters • Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response • Power-generating stations and other public utility facilities required as emergency back-up facilities for Category III structures • Structures containing highly toxic materials as defined by Section 307 where the quantity of the material exceeds the exempt amounts of Table 307.7(2) • Aviation control towers, air traffic control centers and emergency aircraft hangars • Buildings and other structures having critical national defense functions • Water treatment facilities required to maintain water pressure for fire suppression 	1.50	1.2	1.15
IV	Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultural facilities • Certain temporary facilities • Minor storage facilities 	1.00	0.8	0.87 ^b

a. "Category" is equivalent to "Seismic Use Group" for the purposes of Section 1616.2.
 b. In hurricane-prone regions with $V > 100$ miles per hour, I_W shall be 0.77.

Site Class

TABLE 1615.1.1
SITE CLASS DEFINITIONS

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, AS PER SECTION 1615.1.5		
		Soil shear wave velocity, \bar{v}_s , (ft/s)	Standard penetration resistance, \bar{N}	Soil undrained shear strength, \bar{s}_u , (psf)
A	Hard rock	$\bar{v}_s > 5,000$	Not applicable	Not applicable
B	Rock	$2,500 < \bar{v}_s \leq 5,000$	Not applicable	Not applicable
C	Very dense soil and soft rock	$1,200 < \bar{v}_s \leq 2,500$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$600 \leq \bar{v}_s \leq 1,200$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Soft soil profile	$\bar{v}_s < 600$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$
E	—	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$; 2. Moisture content $w \geq 40\%$, and 3. Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ($H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where H = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ($H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$) 4. Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ ft)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m², 1 pound per square foot = 0.0479 kPa.

$$S_{MS} = F_a * S_5$$

$$S_{M1} = F_V * S_1$$

$$S_{DS} = 2/3 * S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 * S_{M1}$$

Hierin bedeuten:

F_a Site coefficient defined in Table 1615.1.2(1)

F_V Site coefficient defined in Table 1615.1.2(2)

S_5 The mapped spectral accelerations for short periods as determined in Section 1615.1

S_1 The mapped spectral accelerations for a 1 second period as determined in Section 1615.1

S_{MS} The maximum considered earthquake spectral response acceleration for short period as determined in Section 1615.1.2

S_{M1} The maximum considered earthquake spectral response acceleration for 1 second period as determined in Section 1615.1.2

S_{DS} The design spectral response acceleration at short periods as determined in Section 1615.1.3

S_{D1} The design spectral response acceleration at 1 second period as determined in Section 1615.1.3

TABLE 1615.1.2(1)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_a AS A FUNCTION OF SITE CLASS
AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS (S_s)^a

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	Note b
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight line interpolation for intermediate values of mapped spectral acceleration at short period, S_s .
- b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values.

TABLE 1615.1.2(2)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_v AS A FUNCTION OF SITE CLASS
AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT 1 SECOND PERIOD (S_1)^a

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT 1 SECOND PERIOD				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	Note b
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight line interpolation for intermediate values of mapped spectral acceleration at 1-second period, S_1 .
- b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values.

Seismic design category

TABLE 1616.3(1)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON
SHORT PERIOD RESPONSE ACCELERATIONS

VALUE OF S_{DS}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{DS} < 0.167g$	A	A	A
$0.167g \leq S_{DS} < 0.33g$	B	B	C
$0.33g \leq S_{DS} < 0.50g$	C	C	D
$0.50g \leq S_{DS}$	D ^a	D ^a	D ^a

TABLE 1616.3(2)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON
1 SECOND PERIOD RESPONSE ACCELERATION

VALUE OF S_{D1}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{D1} < 0.067g$	A	A	A
$0.067g \leq S_{D1} < 0.133g$	B	B	C
$0.133g \leq S_{D1} < 0.20g$	C	C	D
$0.20g \leq S_{D1}$	D ^a	D ^a	D ^a

Response modification coefficient R^a

TABLE 1617.6
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

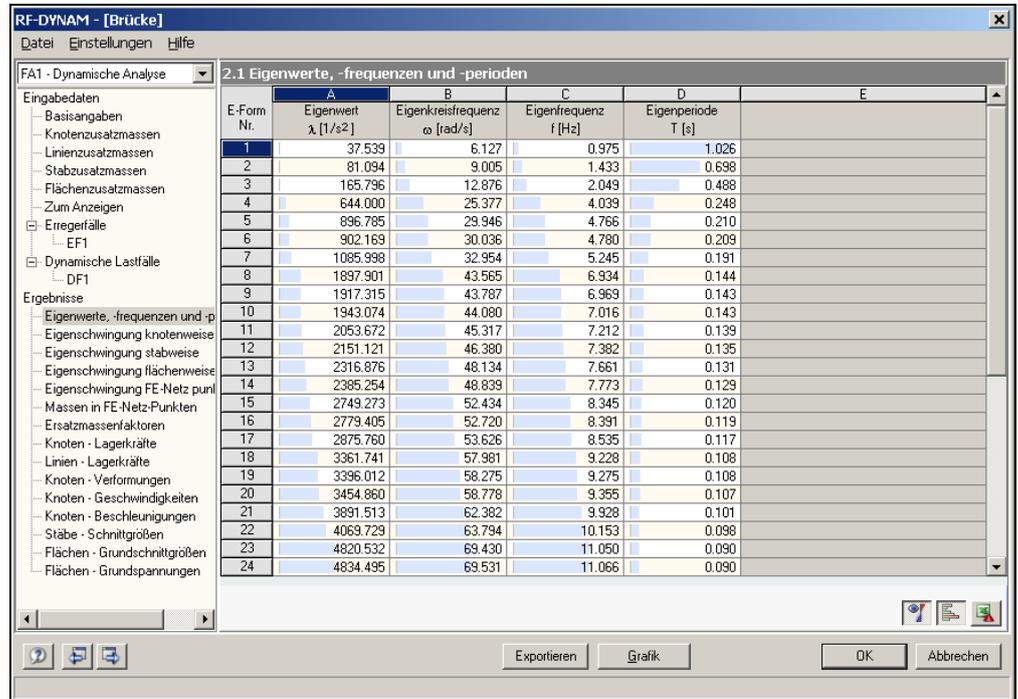
BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R^a	SYSTEM OVER-STRENGTH FACTOR, Ω_{ov}^b	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, C_d^b	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY ^c AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D ^d	E ^e	F ^e
1. Bearing Wall Systems									
A. Ordinary steel braced frames	(14) ^j 2211	4	2	3/2	NL	NL	160	160	160
B. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	5 1/2	2 1/2	5	NL	NL	160	160	160
C. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	4 1/2	2 1/2	4	NL	NL	NP	NP	NP
D. Detailed plain concrete shear walls	1910.2.2	2 1/2	2 1/2	2	NL	NP	NP	NP	NP
E. Ordinary plain concrete shear walls	1910.2.1	1 1/2	2 1/2	1 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
F. Special reinforced masonry shear walls	2106.1.1.5	5	2 1/2	3 1/2	NL	NL	160	160	100
G. Intermediate reinforced masonry shear walls	2106.1.1.4	3 1/2	2 1/2	2 1/4	NL	NL	NP	NP	NP
H. Ordinary reinforced masonry shear walls	2106.1.1.2	2 1/2	2 1/2	1 3/4	NL	160	NP	NP	NP
I. Detailed plain masonry shear walls	2106.1.1.3	2	2 1/2	1 3/4	NL	NP	NP	NP	NP
J. Ordinary plain masonry shear walls	2106.1.1.1	1 1/2	2 1/2	1 1/4	NL	NP	NP	NP	NP
K. Light frame walls with shear panels—wood structural panels/sheet steel panels	2306.4.1/2211	6	3	4	NL	NL	65	65	65
L. Light frame walls with shear panels—all other materials	2306.4.5	2	2 1/2	2	NL	NL	35	NP	NP
2. Building Frame Systems									
A. Steel eccentrically braced frames, moment-resisting, connections at columns away from links	(15) ^j	8	2	4	NL	NL	160	160	100
B. Steel eccentrically braced frames, nonmoment-resisting, connections at columns away from links	(15) ^j	7	2	4	NL	NL	160	160	100
C. Special steel concentrically braced frames	(13) ^j	6	2	5	NL	NL	160	160	100
D. Ordinary steel concentrically braced frames	(14) ^j	5	2	4 1/2	NL	NL	160	100	100
E. Special reinforced concrete shear walls	1910.2.4	6	2 1/2	5	NL	NL	160	160	100
F. Ordinary reinforced concrete shear walls	1910.2.3	5	2 1/2	4 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
G. Detailed plain concrete shear walls	1910.2.2	3	2 1/2	2 1/2	NL	NP	NP	NP	NP
H. Ordinary plain concrete shear walls	1910.2.1	2	2 1/2	2	NP	NP	NP	NP	NP
I. Composite eccentrically braced frames	(14) ^k	8	2	4	NL	NL	160	160	100

(continued)

3.4 Ergebnismasken

3.4.1 Maske 2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen

Nach der erfolgreich durchgeführten RF-DYNAM-Berechnung wird die erste Ausgabemaske 2.1 *Eigenwerte, -frequenzen und -perioden* angezeigt.



E-Form Nr.	A Eigenwert λ [1/s ²]	B Eigenkreisfrequenz ω [rad/s]	C Eigenfrequenz f [Hz]	D Eigenperiode T [s]	E
1	37.539	6.127	0.975	1.026	
2	81.094	9.005	1.433	0.698	
3	165.796	12.876	2.049	0.488	
4	644.000	25.377	4.039	0.248	
5	896.785	29.946	4.766	0.210	
6	902.169	30.036	4.780	0.209	
7	1085.998	32.954	5.245	0.191	
8	1897.901	43.565	6.934	0.144	
9	1917.315	43.787	6.969	0.143	
10	1943.074	44.080	7.016	0.143	
11	2053.672	45.317	7.212	0.139	
12	2151.121	46.380	7.382	0.135	
13	2316.876	48.134	7.661	0.131	
14	2385.254	48.839	7.773	0.129	
15	2749.273	52.434	8.345	0.120	
16	2779.405	52.720	8.391	0.119	
17	2875.760	53.626	8.535	0.117	
18	3361.741	57.981	9.228	0.108	
19	3396.012	58.275	9.275	0.108	
20	3454.860	58.778	9.355	0.107	
21	3891.513	62.382	9.928	0.101	
22	4069.729	63.794	10.153	0.098	
23	4820.532	69.430	11.050	0.090	
24	4834.495	69.531	11.066	0.090	

Bild 3.51: Maske 2.1 *Eigenwerte, -frequenzen und -perioden*

Die Ergebnisse werden zeilenweise nach Eigenfrequenzen sortiert in mehreren Spalten ausgegeben.

Eigenwert

Der Eigenwert λ_i [1/sec²] berechnet sich aus der Bewegungsgleichung ohne Dämpfung. Über den theoretischen Hintergrund lesen Sie bitte im Kapitel 5 dieses Handbuchs nach.

Eigenkreisfrequenz

Zwischen der Eigenkreisfrequenz ω_i [1/sec] und dem Eigenwert besteht folgender Zusammenhang: $\lambda_i = \omega_i^2$

Eigenfrequenz

Die Eigenfrequenz f_i [Hz] ist ein Maß für die Häufigkeit der Eigenschwingung pro Sekunde. Die Eigenfrequenz und die Eigenperiode stehen im direkten reziproken Verhältnis zueinander. Eigenfrequenz und Eigenkreisfrequenz stehen in folgender Beziehung zueinander:

$$\omega_i = 2 \cdot \pi f$$

Eigenperiode

Die Eigenperiode T_i [s] beschreibt die Zeitdifferenz, die die Struktur zum Durchlaufen einer Schwingung benötigt. Es gilt der folgende Zusammenhang: $f_i = 1/T_i$.

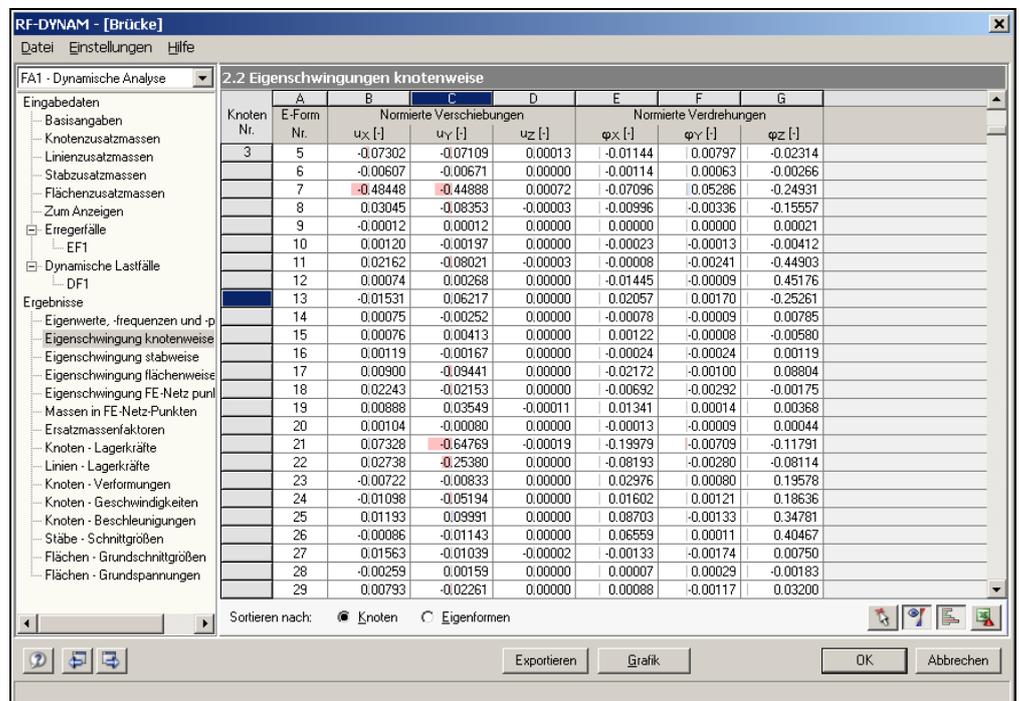
3.4.2 Maske 2.2 Eigenschwingungen knotenweise

Zu jeder Eigenfrequenz gehört eine Eigenfunktion $u(x)$. Diese Funktion beschreibt die Eigenschwingungsform der Struktur.

Die Ergebnisse sind auf 1 normiert, wobei in Abhängigkeit von der Einstellung in Maske 1.1 *Basisangaben* entweder der Betrag der größten Verschiebung u_i bzw. Verdrehung ϕ_i betrachtet wird oder der Betrag des größten Produkts aus Masse und der Verschiebung zum Quadrat $m_i * u_i^2$.

Sortieren nach Knoten-, Stab-, Flächen-, Eigenwert-Nummern, FE-Netz-Punkten oder Raster-Knoten: Die Verschiebungen und Verdrehungen der Strukturknoten werden in Bezug auf einen Objekttyp zeilenweise nach Knotennummern, Stabnummern, Flächennummern, Eigenwertnummern, FE-Netz-Punkten oder Raster-Knoten geordnet ausgegeben.

In Maske 2.2 erfolgt die Ausgabe der Eigenschwingungen knotenweise.



Knoten Nr.	E-Form Nr.	Normierte Verschiebungen			Normierte Verdrehungen		
		u_x [.]	u_y [.]	u_z [.]	ϕ_x [.]	ϕ_y [.]	ϕ_z [.]
3	5	-0.07302	-0.07109	0.00013	-0.01144	0.00797	-0.02314
6	6	-0.00607	-0.00671	0.00000	-0.00114	0.00063	-0.00266
7	7	-0.48448	-0.44888	0.00072	-0.07096	0.05286	-0.24931
8	8	0.03045	-0.08353	-0.00003	-0.00996	-0.00336	-0.15557
9	9	-0.00012	0.00012	0.00000	0.00000	0.00000	0.00021
10	10	0.00120	-0.00197	0.00000	-0.00023	-0.00013	-0.00412
11	11	0.02162	-0.08021	-0.00003	-0.00008	-0.00241	-0.44903
12	12	0.00074	0.00268	0.00000	-0.01445	-0.00009	0.45176
13	13	-0.01531	0.06217	0.00000	0.02057	0.00170	-0.25261
14	14	0.00075	-0.00252	0.00000	-0.00078	-0.00009	0.00785
15	15	0.00076	0.00413	0.00000	0.00122	-0.00008	-0.00580
16	16	0.00119	-0.00167	0.00000	-0.00024	-0.00024	0.00119
17	17	0.00900	-0.09441	0.00000	-0.02172	-0.00100	0.08804
18	18	0.02243	-0.02153	0.00000	-0.00692	-0.00292	-0.00175
19	19	0.00888	0.03549	-0.00011	0.01341	0.00014	0.00368
20	20	0.00104	-0.00080	0.00000	-0.00013	-0.00009	0.00044
21	21	0.07328	-0.64769	-0.00019	-0.19979	-0.00709	-0.11791
22	22	0.02738	-0.25380	0.00000	-0.08193	-0.00280	-0.08114
23	23	-0.00722	-0.00833	0.00000	0.02976	0.00080	0.19578
24	24	-0.01098	-0.05194	0.00000	0.01602	0.00121	0.18636
25	25	0.01193	0.09991	0.00000	0.08703	-0.00133	0.34781
26	26	-0.00086	-0.01143	0.00000	0.06559	0.00011	0.40467
27	27	0.01563	-0.01039	-0.00002	-0.00133	-0.00174	0.00750
28	28	-0.00259	0.00159	0.00000	0.00007	0.00029	-0.00183
29	29	0.00793	-0.02261	0.00000	0.00088	-0.00117	0.03200

Bild 3.52: Maske 2.2 Eigenschwingungen knotenweise

3.4.3 Maske 2.3 Eigenschwingungen stabweise

In Maske 2.3 erfolgt die Ausgabe der Eigenschwingungen stabweise.

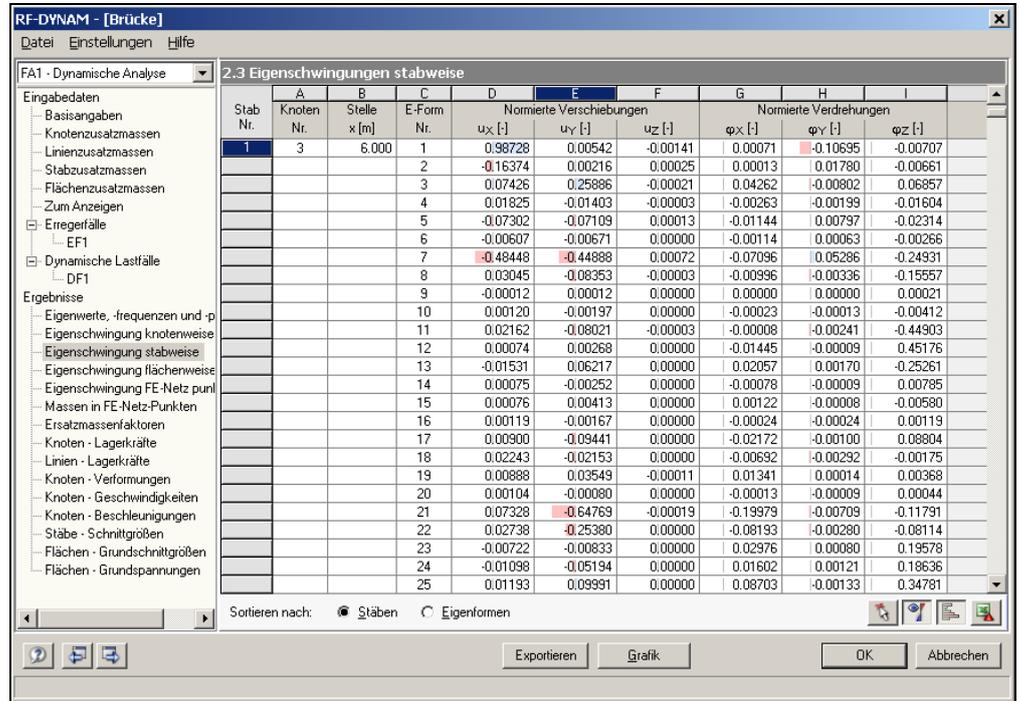


Bild 3.53: Maske 2.3 Eigenschwingungen stabweise

3.4.4 Maske 2.4 Eigenschwingungen flächenweise

In Maske 2.4 erfolgt die Ausgabe der Eigenschwingungen flächenweise.

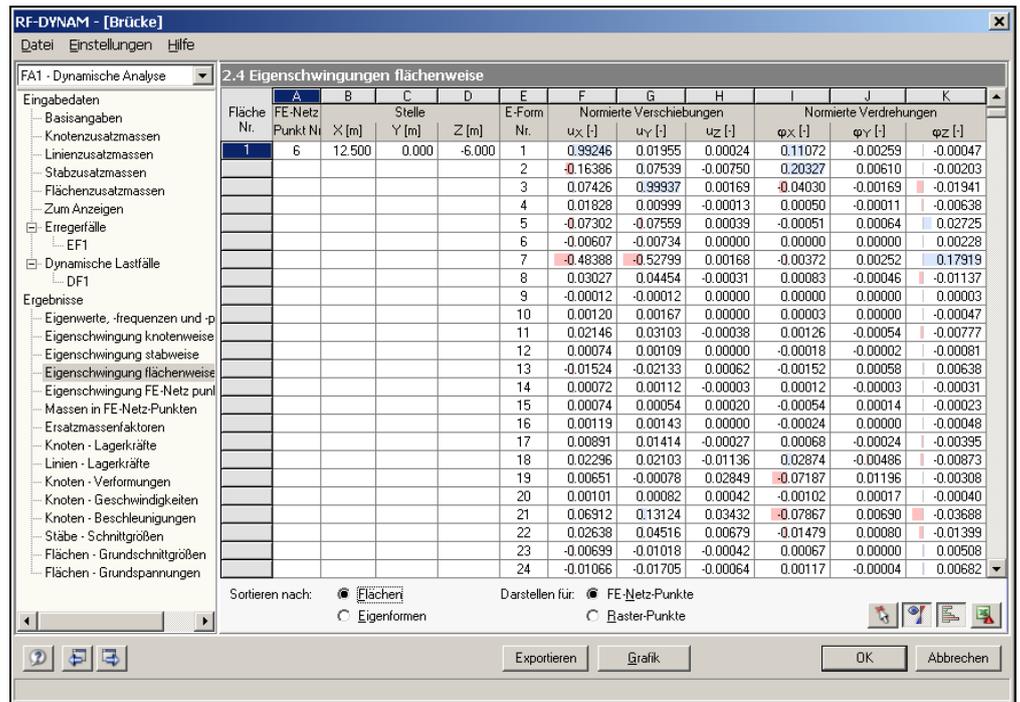
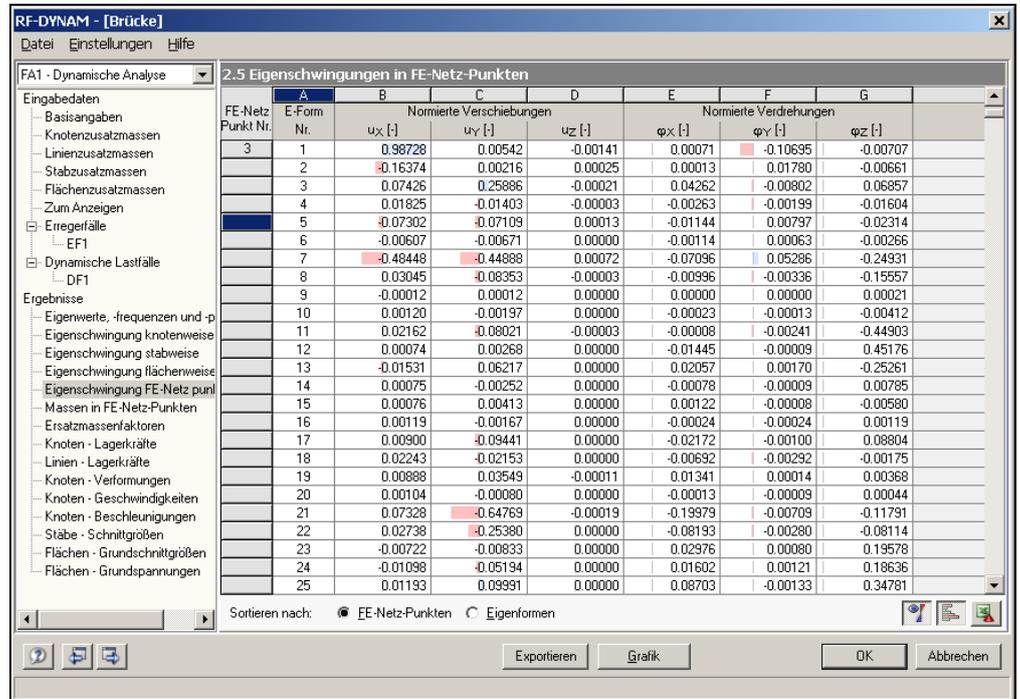


Bild 3.54: Maske 2.4 Eigenschwingungen flächenweise

3.4.5 Maske 2.5 Eigenschwingungen in FE-Netz-Punkten

In Maske 2.5 erfolgt die Ausgabe der Eigenschwingungen netzpunktweise. Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.6 das Auswahlfeld für die Berechnung der Eigenschwingungen in FE-Netz-Punkten aktiviert wurde.



FE-Netz Punkt Nr.		E-Form Nr.	Normierte Verschiebungen			Normierte Verdrehungen		
			u_x [-]	u_y [-]	u_z [-]	φ_x [-]	φ_y [-]	φ_z [-]
3	1		0.98728	0.00542	-0.00141	0.00071	-0.10695	-0.00707
	2		-0.16374	0.00216	0.00025	0.00013	0.01780	-0.00661
	3		0.07426	0.25886	-0.00021	0.04262	-0.00802	0.06857
	4		0.01825	-0.01403	-0.00003	-0.00263	-0.00199	-0.01604
	5		-0.07302	-0.07109	0.00013	-0.01144	0.00797	-0.02314
	6		-0.00607	-0.00671	0.00000	-0.00114	0.00063	-0.00266
	7		-0.48448	-0.44888	0.00072	-0.07096	0.05286	-0.24931
	8		0.03045	-0.08353	-0.00003	-0.00996	-0.00336	-0.15557
	9		-0.00012	0.00012	0.00000	0.00000	0.00000	0.00021
	10		0.00120	-0.00197	0.00000	-0.00023	-0.00013	-0.00412
	11		0.02162	-0.08021	-0.00003	-0.00008	-0.00241	-0.44903
	12		0.00074	0.00268	0.00000	-0.01445	-0.00009	0.45176
	13		-0.01531	0.06217	0.00000	0.02057	0.00170	-0.25261
	14		0.00075	-0.00252	0.00000	-0.00078	-0.00009	0.00785
	15		0.00076	0.00413	0.00000	0.00122	-0.00008	-0.00580
	16		0.00119	-0.00167	0.00000	-0.00024	-0.00024	0.00119
	17		0.00900	-0.09441	0.00000	-0.02172	-0.00100	0.08804
	18		0.02243	-0.02153	0.00000	-0.00692	-0.00292	-0.00175
	19		0.00888	0.03549	-0.00011	0.01341	0.00014	0.00368
	20		0.00104	-0.00080	0.00000	-0.00013	-0.00009	0.00044
	21		0.07328	-0.64769	-0.00019	-0.19979	-0.00709	-0.11791
	22		0.02738	-0.25380	0.00000	-0.08193	-0.00280	-0.08114
	23		-0.00722	-0.00833	0.00000	0.02976	0.00080	0.19578
	24		-0.01098	-0.05194	0.00000	0.01602	0.00121	0.18636
	25		0.01193	0.09991	0.00000	0.06703	-0.00133	0.34781

Bild 3.55: Maske 2.5 Eigenschwingungen in FE-Netz-Punkten

3.4.6 Maske 2.6 Knotenmassen

Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.6 das Auswahlfeld für die Berechnung der Massen in FE-Netz-Punkten aktiviert wurde.

Die Massen werden sortiert nach FE-Netzpunktnummern oder nach Strukturobjekten und bezogen auf das globale Koordinatensystem ausgegeben. Dieses Koordinatensystem ist das von der Strukturdefinition in RFEM her bekannte. Die Knotenmassen sind die Massen, die für die dynamische Berechnung relevant sind. So wird beispielsweise für einen Knoten, der in Y- und Z-Richtung gelagert ist, nur die dynamisch in X-Richtung wirkende Masse m_x angegeben. Am Ende der Liste erscheint die Summe der jeweiligen Massen.

RF-DYNAM - [Brücke]

FA1 - Dynamische Analyse

2.6 Massen in FE-Netz-Punkten

FE-Netz Punkt	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Objekt	Nr.	Stab x [m]	X [m]	Y [m]	Z [s]	m _x [kg]	m _y [kg]	m _z [kg]	
691	Fläche	10	13.462	-19.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
692	Fläche	10	13.462	-18.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
693	Fläche	10	13.462	-18.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
694	Fläche	10	13.462	-17.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
695	Fläche	10	13.462	-17.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
696	Fläche	10	13.462	-16.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
697	Fläche	10	13.462	-16.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
698	Fläche	10	13.462	-15.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
699	Fläche	10	13.942	-20.000	-2.200	188.70	188.70	188.70	
700	Fläche	10	13.942	-19.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
701	Fläche	10	13.942	-19.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
702	Fläche	10	13.942	-18.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
703	Fläche	10	13.942	-18.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
704	Fläche	10	13.942	-17.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
705	Fläche	10	13.942	-17.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
706	Fläche	10	13.942	-16.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
707	Fläche	10	13.942	-16.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
708	Fläche	10	13.942	-15.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
709	Fläche	10	14.423	-20.000	-2.200	188.70	188.70	188.70	
710	Fläche	10	14.423	-19.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
711	Fläche	10	14.423	-19.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
712	Fläche	10	14.423	-18.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
713	Fläche	10	14.423	-18.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	
714	Fläche	10	14.423	-17.500	-2.200	377.40	377.40	377.40	
715	Fläche	10	14.423	-17.000	-2.200	377.40	377.40	377.40	

Sortieren nach: FE-Netz-Punkten Objekten

Exportieren Grafik OK Abbrechen

Bild 3.56: Maske 2.6 Massen in FE-Netz-Punkten

3.4.7 Maske 2.7 Ersatzmassenfaktoren

Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.6 das Auswahlfeld zur Berechnung der *Ersatzmassenfaktoren* aktiviert wurde. **Modale Massen, Beteiligungsfaktoren, Ersatzmassen und Ersatzmassenfaktoren** werden nach Eigenfrequenzen geordnet aufgelistet.

Die Ersatzmassenfaktoren können über *Sortieren nach* entweder einzeln oder summiert dargestellt werden. Durch die Summierung der Ersatzmassenfaktoren kann z. B. gemäß EC 8 leichter festgestellt werden, ob die Summe der Ersatzmassen (der „effektiven modalen Massen“) mindestens 90 % der Gesamtmasse des Tragwerks beträgt.

RF-DYNAM - [Brücke]

FA1 - Dynamische Analyse

2.7 Ersatzmassenfaktoren

E-Form Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Modale Masse	Beteiligungsfaktor			Ersatzmasse			Ersatzmassenfaktor			
M _i [kg]	L _{ix} [kg]	L _{iy} [kg]	L _{iz} [kg]	m _{ex} [kg]	m _{ey} [kg]	m _{ez} [kg]	f _{mex} [-]	f _{mey} [-]	f _{mез} [-]	
1	55492.22	50718.64	748.32	-13325.60	46355.69	10.09	3199.93	0.084	0.000	0.006
2	16160.16	-8784.74	3277.67	-22312.69	4775.43	664.78	30807.63	0.009	0.001	0.056
3	44515.55	1072.84	47744.12	5244.17	25.86	51206.84	617.79	0.000	0.092	0.001
4	705.64	13.50	-753.47	860.78	0.26	804.55	1050.03	0.000	0.001	0.002
5	16526.51	-3.46	-223.77	245.90	0.00	3.03	3.66	0.000	0.000	0.000
6	16013.22	-0.58	-45.10	14.54	0.00	0.13	0.01	0.000	0.000	0.000
7	14367.46	-78.99	235.17	387.50	0.43	3.85	10.45	0.000	0.000	0.000
8	950.06	11.86	-573.21	-11.26	0.15	345.84	0.13	0.000	0.001	0.000
9	879.74	-884.60	1.25	-0.03	889.49	0.00	0.00	0.002	0.000	0.000
10	1120.06	0.41	-4.77	-0.30	0.00	0.02	0.00	0.000	0.000	0.000
11	657.56	9.31	-405.18	-2.01	0.13	249.66	0.01	0.000	0.000	0.000
12	534.20	0.25	-14.46	0.58	0.00	0.39	0.00	0.000	0.000	0.000
13	1315.80	-6.11	344.37	1.22	0.03	90.12	0.00	0.000	0.000	0.000
14	971.54	0.27	11.53	0.32	0.00	0.14	0.00	0.000	0.000	0.000
15	800.10	0.11	8.77	-2.47	0.00	0.10	0.01	0.000	0.000	0.000
16	56919.53	0.52	-41.34	-1.32	0.00	0.03	0.00	0.000	0.000	0.000
17	871.03	7.56	-789.01	0.61	0.07	714.72	0.00	0.000	0.001	0.000
18	562.35	74.32	134.81	136.98	9.82	32.32	33.37	0.000	0.000	0.000
19	1252.15	-180.71	163.47	-354.69	26.08	21.34	100.47	0.000	0.000	0.000
20	360.25	-2.62	7.71	-5.20	0.02	0.16	0.07	0.000	0.000	0.000
21	8941.00	-369.91	-1041.78	-337.76	15.30	121.38	12.76	0.000	0.000	0.000
22	39930.70	-85.83	-323.58	-60.66	0.18	2.62	0.09	0.000	0.000	0.000
23	1019.34	98.25	-77.67	6.26	9.47	5.32	0.04	0.000	0.000	0.000
24	1261.94	206.63	-207.07	12.08	33.83	33.98	0.12	0.000	0.000	0.000
25	1453.17	-307.16	211.88	-19.54	64.92	30.89	0.26	0.000	0.000	0.000

Sortieren nach: Ersatzmassenfaktoren Summen der Ersatzmassenfaktoren

Exportieren Grafik OK Abbrechen

Bild 3.57: Maske 2.7 Ersatzmassenfaktoren

3.4.8 Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Auflagerkräfte mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfangs in Maske 1.6 keine Ausgabe der Auflagerkräfte über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird nur die maximale bzw. minimale Auflagerkraft und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

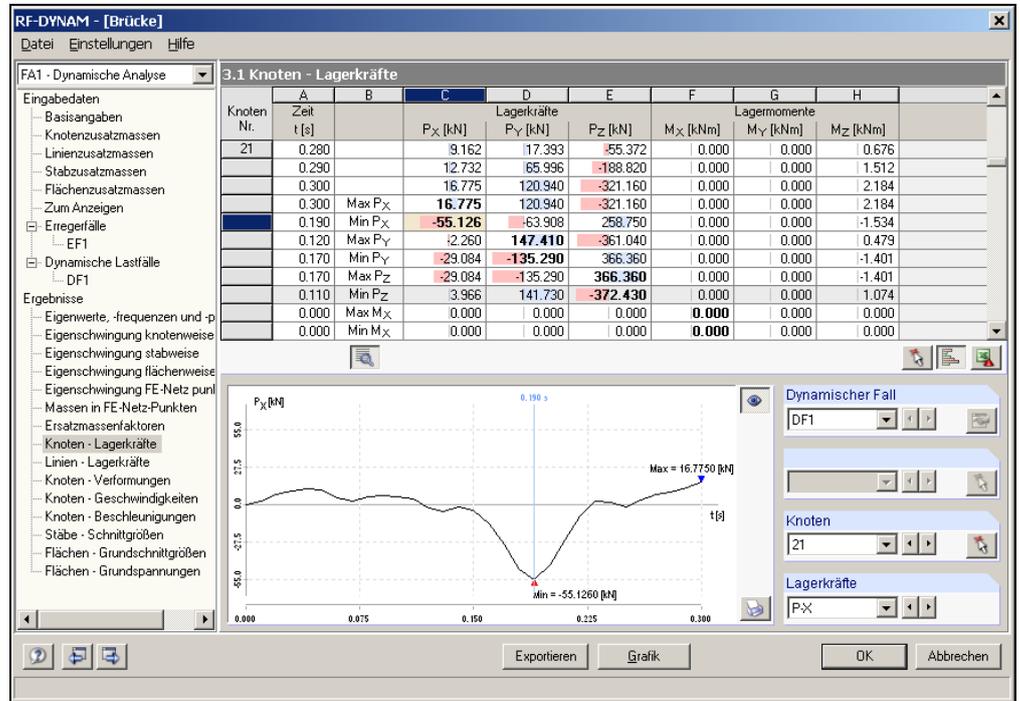
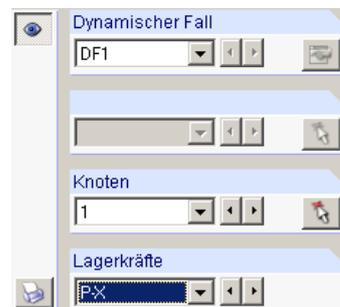


Bild 3.58: Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte

Unterhalb der Ergebnisstabelle kann jede einzelne Auflagergröße grafisch über den Zeitverlauf dargestellt werden. Zur Auswahl dienen hierzu die Optionen rechts neben der Grafik oder ein Mausklick auf die gewünschte Auflagergröße der Tabelle.

Diese grafische Auflagerdarstellung ist allerdings nur dann möglich, wenn in Maske 1.6 die Zeitverläufe für die jeweilige Schnittgröße aktiviert wurden.



Dynamischer Fall: In dieser Liste lassen sich die berechneten Fälle DF auswählen.

Knoten: Die Auswahl der Knoten kann über die Liste oder die [Pick] Funktion erfolgen.

Lagerkräfte: Bei räumlichen Strukturen lassen sich hier die Lagerkräfte P-X, P-Y, P-Z, M-X, M-Y und M-Z auswählen.

Bild 3.59: Auswahl der Lagerkräfte

Über den Button lässt sich die grafische Darstellung über die Zeit ein- und ausschalten.

Alle grafischen Verläufe lassen sich über die Druck Funktionen sowohl direkt, ins Ausdruckprotokoll als auch in die Zwischenablage drucken.

Die Exportfunktion wird im Kapitel 3.4.16 *Export der DYNAM-Ergebnisse* im Detail beschrieben.



Export...

3.4.9 Maske 3.2 Linien - Lagerkräfte

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Auflagerkräfte mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.6 keine Ausgabe der Auflagerkräfte über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird nur die maximale bzw. minimale Auflagerkraft und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte.

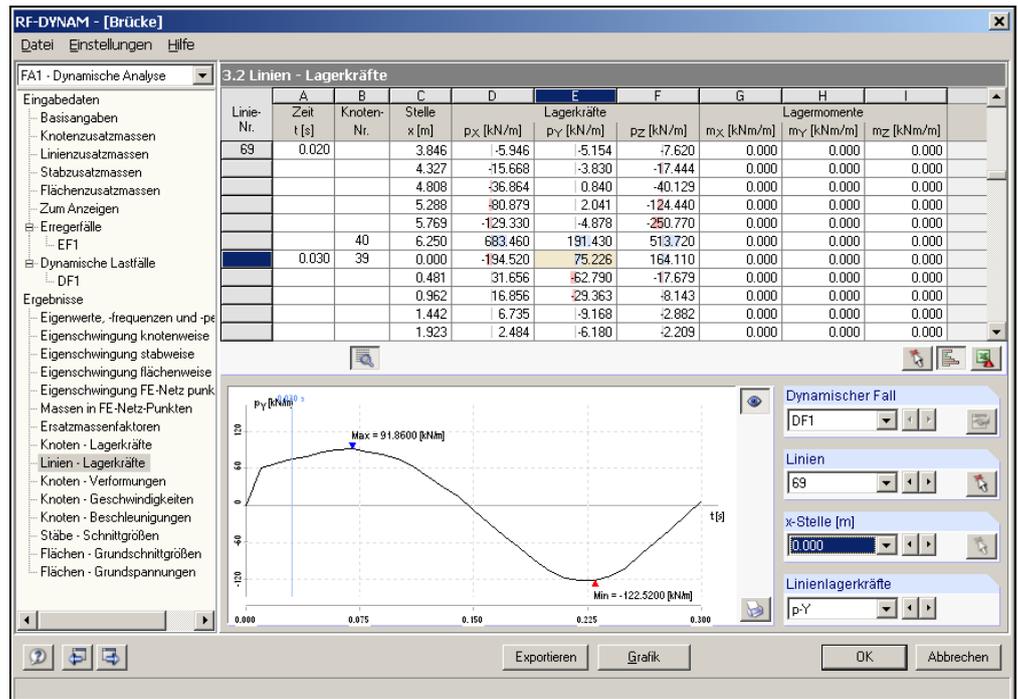


Bild 3.60: Maske 3.2 Linien - Lagerkräfte

3.4.10 Maske 3.3 Knoten - Verformungen

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Knotenverformungen mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.6 keine Ausgabe der Knotenverformungen über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird lediglich die maximale bzw. minimale Knotenverformung und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte.

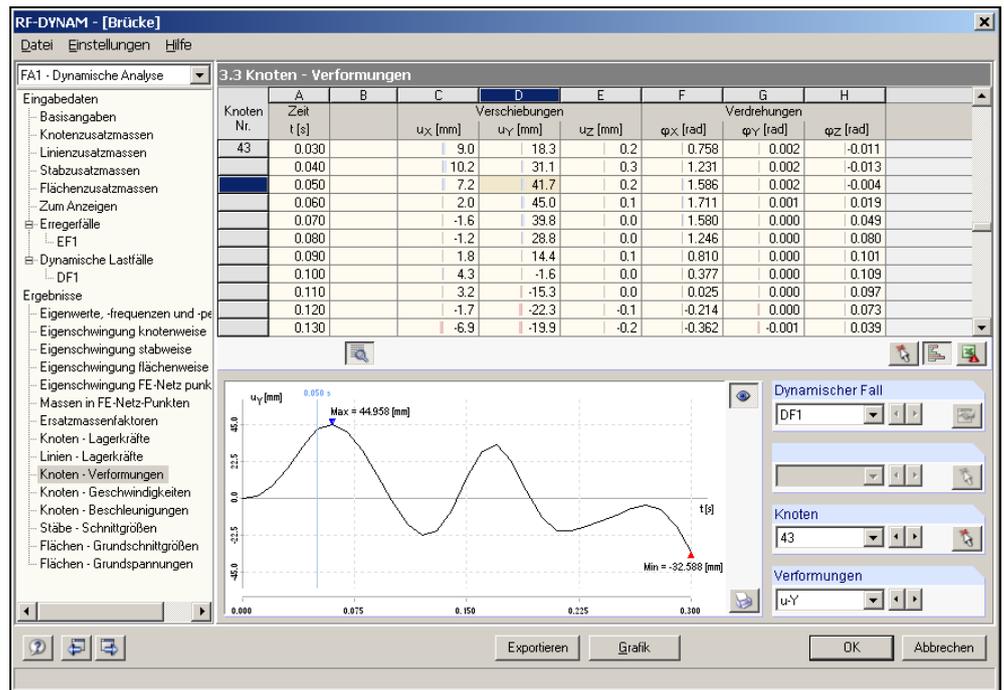


Bild 3.61: Maske 3.3 Knoten - Verformungen

3.4.11 Maske 3.4 Knoten - Geschwindigkeiten

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Knotengeschwindigkeiten mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Wurde zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.6 keine Ausgabe der Knotengeschwindigkeiten über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird lediglich die maximale bzw. minimale Knotengeschwindigkeit und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte.

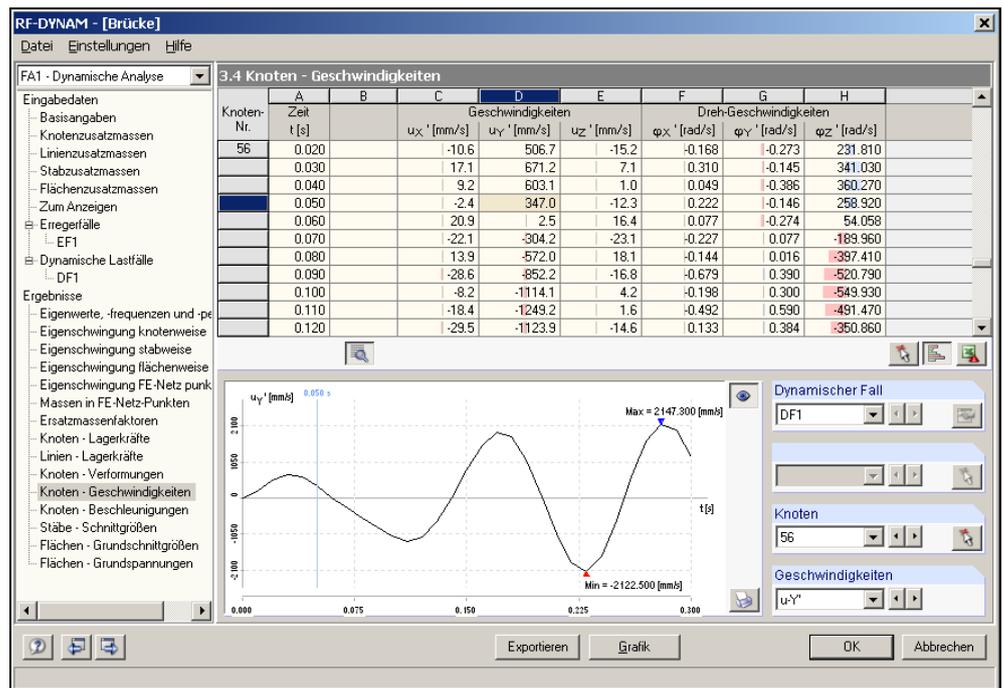


Bild 3.62: Maske 3.4 Knoten - Geschwindigkeiten

3.4.12 Maske 3.5 Knoten - Beschleunigungen

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Knotenbeschleunigungen mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.6 keine Ausgabe der Knotenbeschleunigungen über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird lediglich die maximale bzw. minimale Knotenbeschleunigung und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 *Knoten - Lagerkräfte*.

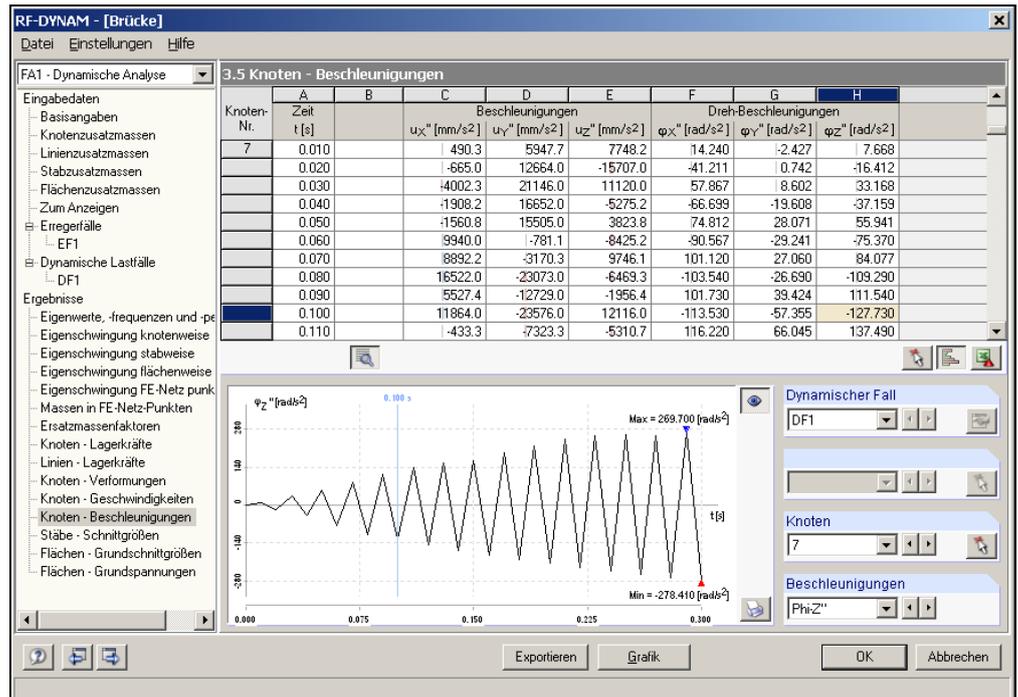


Bild 3.63: Maske 3.5 Knoten – Beschleunigungen

3.4.13 Maske 3.6 Stäbe - Schnittgrößen

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Schnittgrößen mit oder ohne zugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Wurde zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.6 keine Ausgabe der Schnittgrößen über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird nur die Maximal- bzw. Minimalschnittgröße und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 *Knoten - Lagerkräfte*.

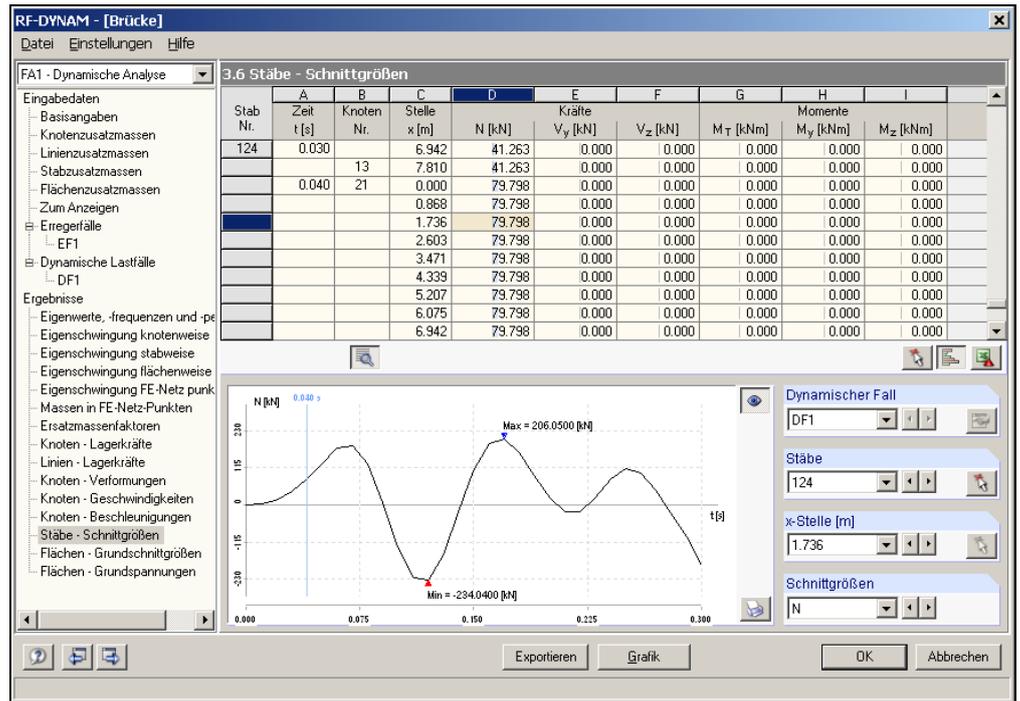


Bild 3.64: Maske 3.6 Stäbe - Schnittgrößen

3.4.14 Maske 3.10 Flächen - Grundschnittgrößen

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Schnittgrößen mit oder ohne zugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Wurde zur Reduzierung des Datenumfangs in Maske 1.6 keine Ausgabe der Schnittgrößen über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird nur die Maximal- bzw. Minimalschnittgröße und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte.

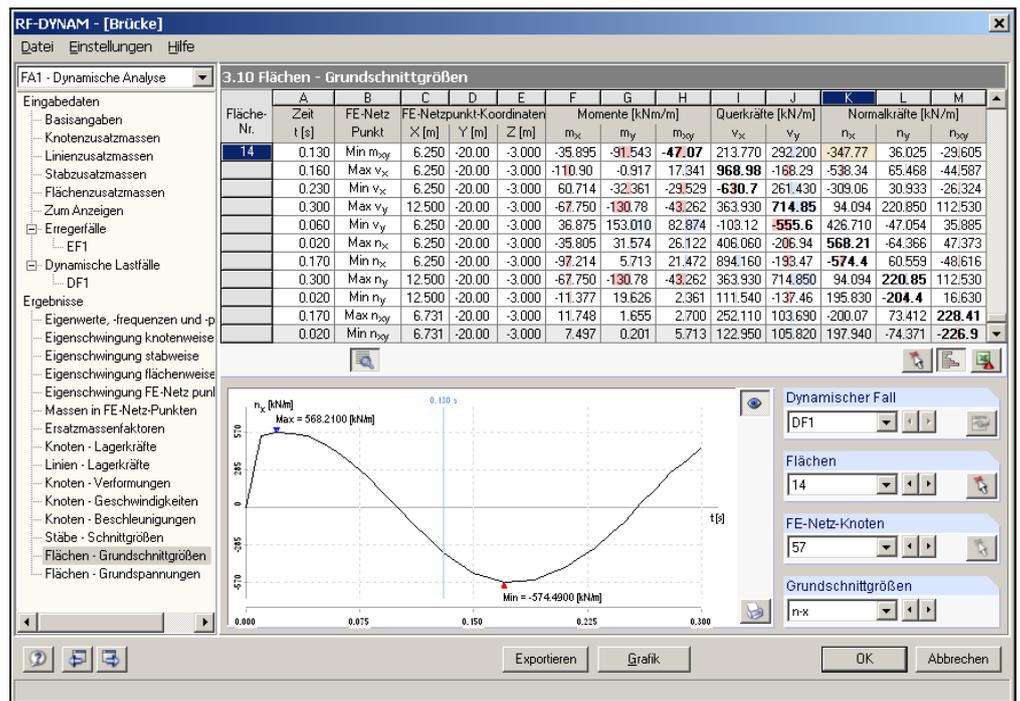


Bild 3.65: Maske 3.10 Flächen - Grundschnittgrößen

3.4.15 Maske 3.13 Flächen - Grundspannungen

Je nach Definition in Maske 1.6 werden die gewählten Spannungen mit oder ohne zugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Wurde zur Reduzierung des Datenumfangs in Maske 1.6 keine Ausgabe der Spannungen über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird nur die Maximal- bzw. Minimalspannung und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.

Die einzelnen Optionen bezüglich der Handhabung und der grafischen Darstellung sind identisch mit der oben beschriebenen Maske 3.1 Knoten - Lagerkräfte.

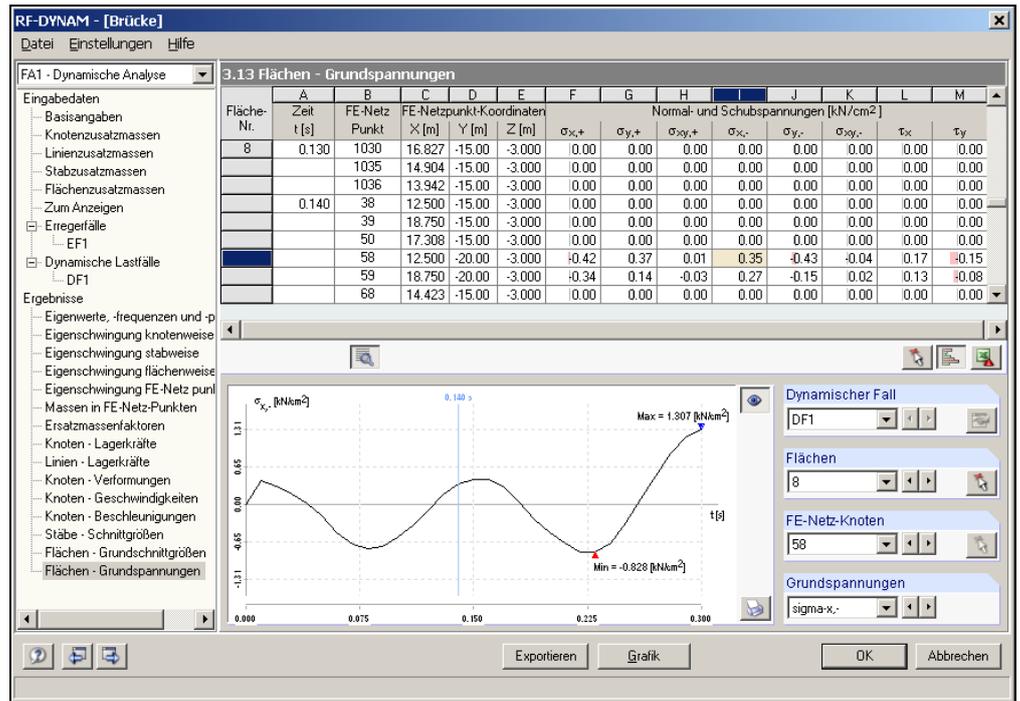


Bild 3.66: Maske 3.13 Flächen - Grundspannungen

Export...

3.4.16 Export der DYNAM-Ergebnisse

Über die Schaltfläche [Export] in den Ergebnismasken 3.1 *Knoten - Lagerkräfte* bis 3.13 *Flächen - Grundspannungen* gelangen Sie in folgendes Fenster.



Bild 3.67: Export der DYNAM-Ergebnisse in RFEM

Legen Sie unter *Export von* den entsprechenden Dynamischen Fall *DF* fest. Es bestehen nun drei verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse zu exportieren:

Von Zeit

Hier werden alle bestehenden Ergebnisse des gewählten Zeitschritts in einem RSTAB Lastfall zusammengefasst.

Herausfiltern der ungünstigsten Ergebnisse von allen Zeitschritten

Es wird eine Lastfallkombination aus allen Zeitschritten generiert, die die ungünstigsten Ergebnisse enthält.

Herausfiltern der ungünstigsten Ergebnisse von festgelegten Zeitschritten

Diese Funktion beinhaltet quasi die Möglichkeiten der ersten beiden Exportarten.

Zeitschritte...

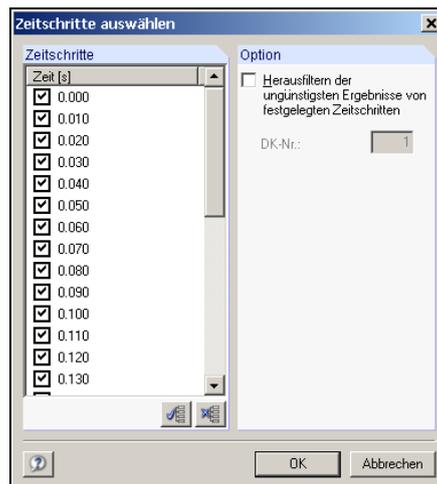


Bild 3.68: Zeitschritte auswählen

Aus den im Dialog *Zeitschritte auswählen* festgelegten Zeitpunkten werden Lastfälle generiert. Diese können durch die Funktion *Erzeugung der maßgebenden Kombination der ausgewählten Zeitschritte in RFEM* in geeigneter Weise kombiniert werden.

Im Abschnitt *Exportieren in RFEM-DK* bzw. *RFEM-DF* werden Nummerierung und Bezeichnung der zu generierenden Kombination bzw. des Lastfalls festgelegt.

3.4.17 Maske 4.1 Generierte Ersatzlasten

Nach Eingabe der in Maske 1.9 erforderlichen Parameter und Wahl der Eigenformen werden nach der Berechnung die generierten Ersatzlasten in dieser Maske aufgelistet. Als Ausgabe-werte erhält man die Punktlasten in die entsprechende Richtung.

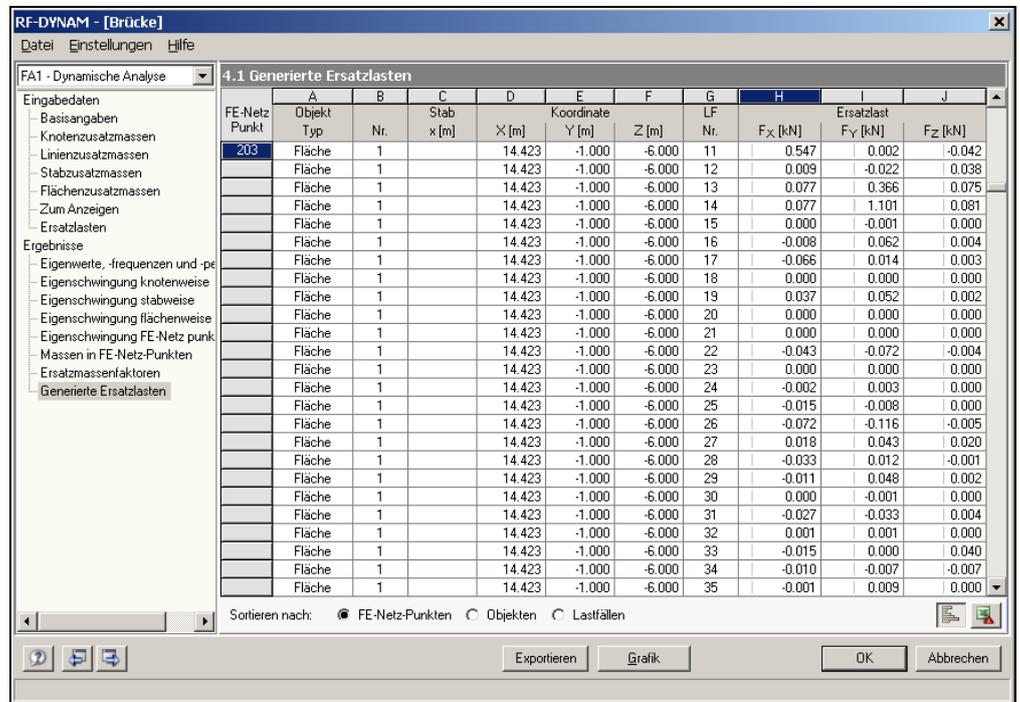


Bild 3.69: Bild 3.70: Maske 4.1 Generierte Ersatzlasten

Die Ersatzlasten lassen sich *Sortieren nach* FE-Netz-Punkt-Nummer, Objekttyp oder Eigenform / Lastfall-Nummer.

3.4.18 Export der RF-DYNAM-Ergebnisse

Export...

Über die Schaltfläche [Export] in der Ergebnismaske 4.1 *Generierte Ersatzlasten* gelangen Sie in folgendes Fenster.



Bild 3.71: Export der RF-DYNAM-Ergebnisse in RFEM

Es besteht die Möglichkeit, direkt die modalen Beiträge quadratisch (nach der SRSS-Regel) oder linear in einer Lastfallkombination zu überlagern. Nehmen Sie unter *LK-Einstellungen* die gewünschten Einstellungen vor.

3.5 Pulldownmenüs

Die Pulldownmenüs enthalten alle notwendigen Funktionen zur Verwaltung der RF-DYNAM-Fälle und -Resultate. Sie können ein Pulldownmenü durch Anklicken des Menünamens aktivieren oder auch durch Drücken von [Alt], gefolgt von der Taste des im Menütitel unterstrichenen Buchstabens.

3.5.1 Datei

...dient der Handhabung der RF-DYNAM-Fälle.

[Alt+D]

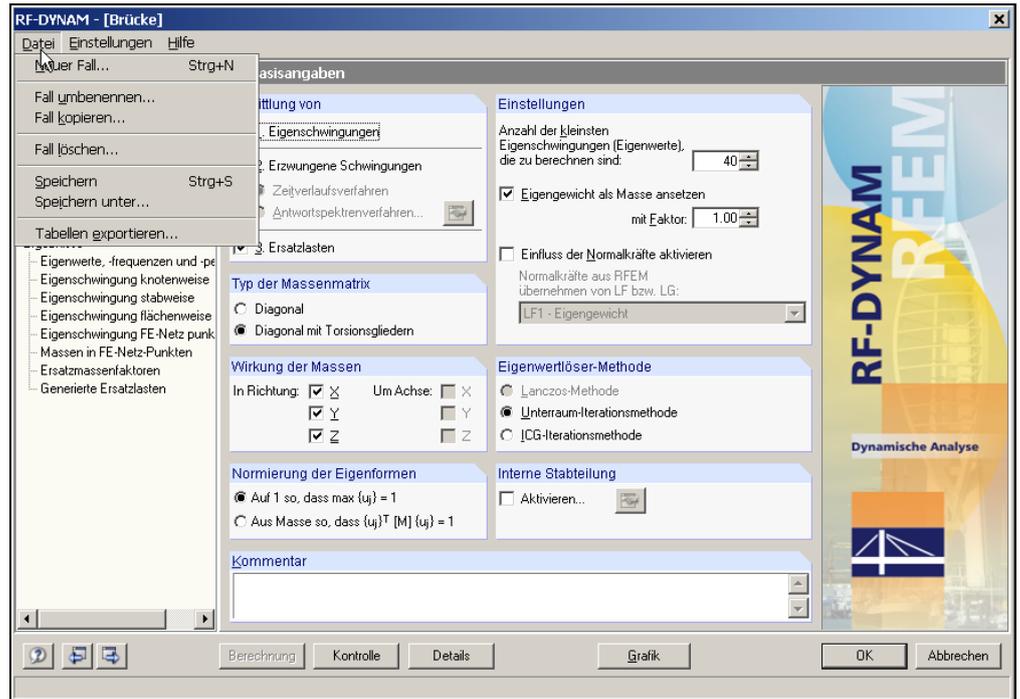


Bild 3.72: Pulldownmenü Datei

Neuer Fall... [Alt+N]

...erlaubt das Anlegen eines neuen RF-DYNAM-Falles.

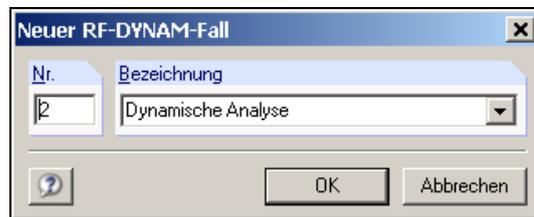


Bild 3.73: Dialog Neuer RF-DYNAM -Fall

Vergeben Sie für den neuen RF-DYNAM-Fall eine Nr. und eine Bezeichnung. Die Schaltfläche [▼] listet alle bereits verwendeten Bezeichnungen auf, sodass Sie auf eine davon zurückgreifen können. Mit [OK] wird der neue Fall dann angelegt.

Fall Umbenennen... [Alt+U]

...können Sie den aktuellen RF-DYNAM-Fall, indem Sie die Bezeichnung ändern und eventuell auch eine andere Nr. wählen. In letzterem Fall ist zu beachten, dass keine Nummer zugewiesen werden kann, die bereits anderweitig vergeben ist.





Bild 3.74: Dialog RF-DYNAM -Fall umbenennen

Fall Kopieren... [Alt+K]

... ermöglicht das Kopieren eines bereits angelegten RF-DYNAM-Falls.



Bild 3.75: Dialog RF-DYNAM -Fall kopieren

Der zu kopierenden RF-DYNAM-Fall wird mit [▼] aus der Liste *Kopieren von Fall* ausgewählt. Die Bezeichnung lässt sich ebenfalls mit [▼] aus einer Liste wählen oder aber neu eintragen. Wird die vorgeschlagene *Nr.* des neuen Falls geändert, ist darauf zu achten, dass diese Nummer nicht bereits vergeben ist.



[OK] legt die Kopie des Falls an.

Fall Löschen... [Alt+L]

...zeigt nach Aufruf zunächst alle vorhandenen RF-DYNAM-Fälle in einer Liste an.



Bild 3.76: Dialog Fall löschen



Den zu löschenden Fall markieren Sie durch Anklicken, um ihn dann mit [OK] zu löschen.

Exportieren in MS Excel und OpenOffice... [Alt+E]

...ermöglicht den Export einzelner oder aller Tabellen von RF-DYNAM zu MS-Excel..



Bild 3.77: Dialog *Export - MS-Excel*

3.5.2 Einstellungen

[Alt+E]

Das Pulldownmenu *Einstellungen* dient der Handhabung der in RF-DYNAM verwendeten Einheiten.

Einheiten und Dezimalstellen [Alt+E]

Es wird der aus RFEM bekannte Dialog zum Anpassen der Einheiten und Dezimalstellen aufgerufen. Das Modul *RF-DYNAM* ist voreingestellt.

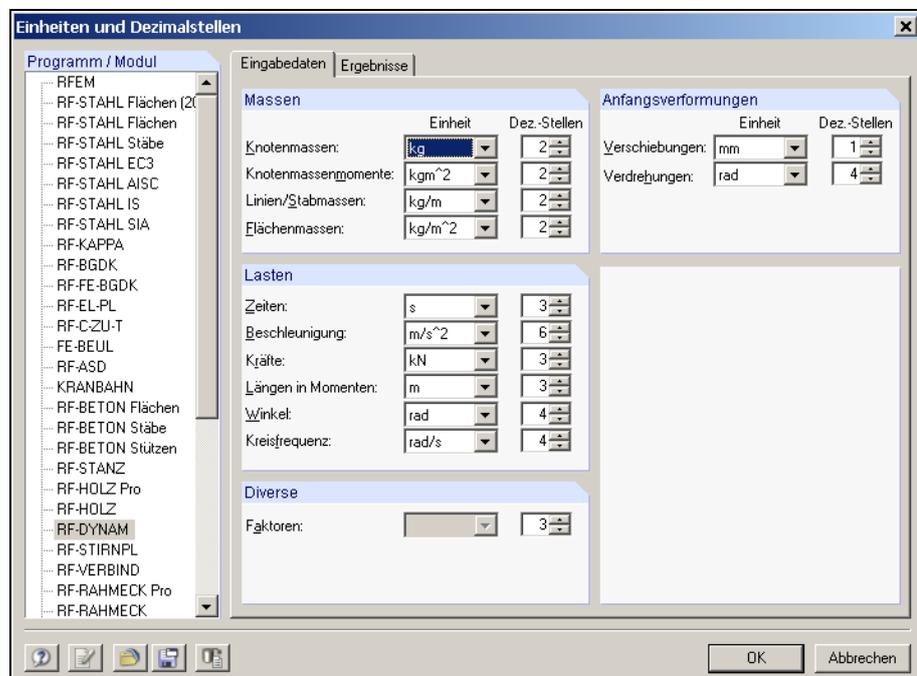


Bild 3.78: Dialog *Einheiten und Dezimalstellen*

3.5.3 Hilfe

[Alt+H]

...öffnet die Hilfefunktion als Handbuch.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisgrafik

Grafik

Nach der Berechnung können Sie mit der Schaltfläche [Grafik] in die grafische Ergebnisanzeige wechseln. Der aktuelle RF-DYNAM-Fall ist hier automatisch voreingestellt.

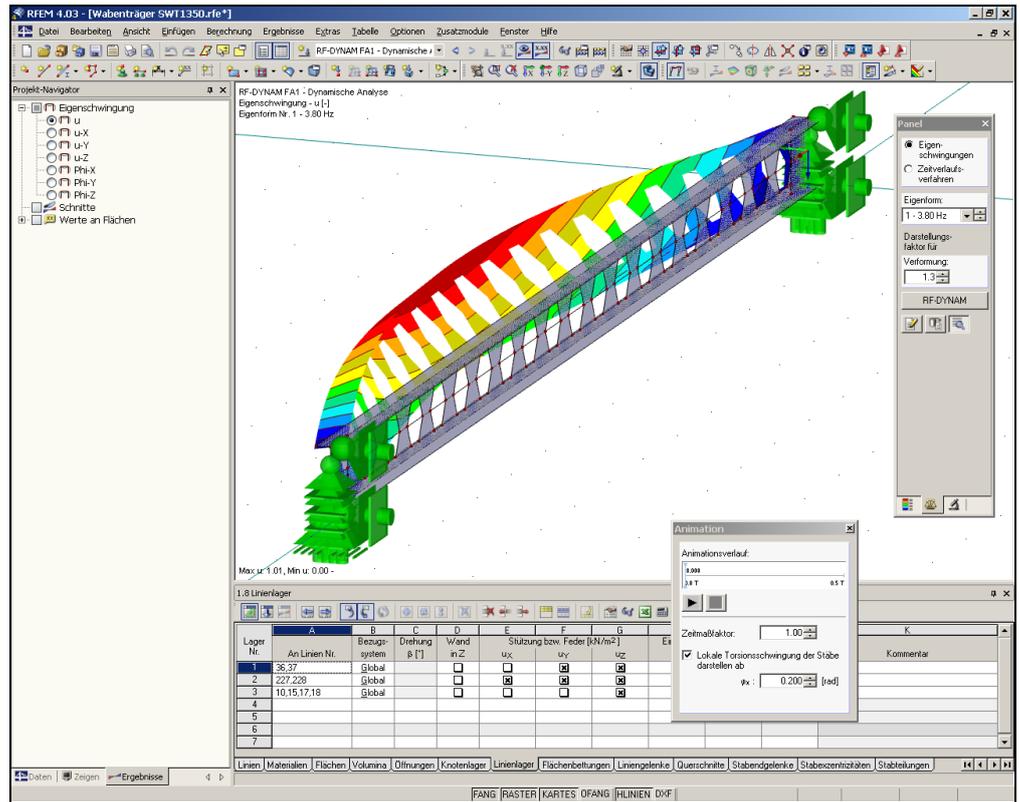


Bild 4.1: Grafische Ergebnisanzeige im RFEM Arbeitsfenster



Wenn [Ergebnisse ein/aus] aktiviert ist, sehen Sie hier den Verlauf der ersten Eigenfrequenz der Struktur und das Ergebnis-Panel.

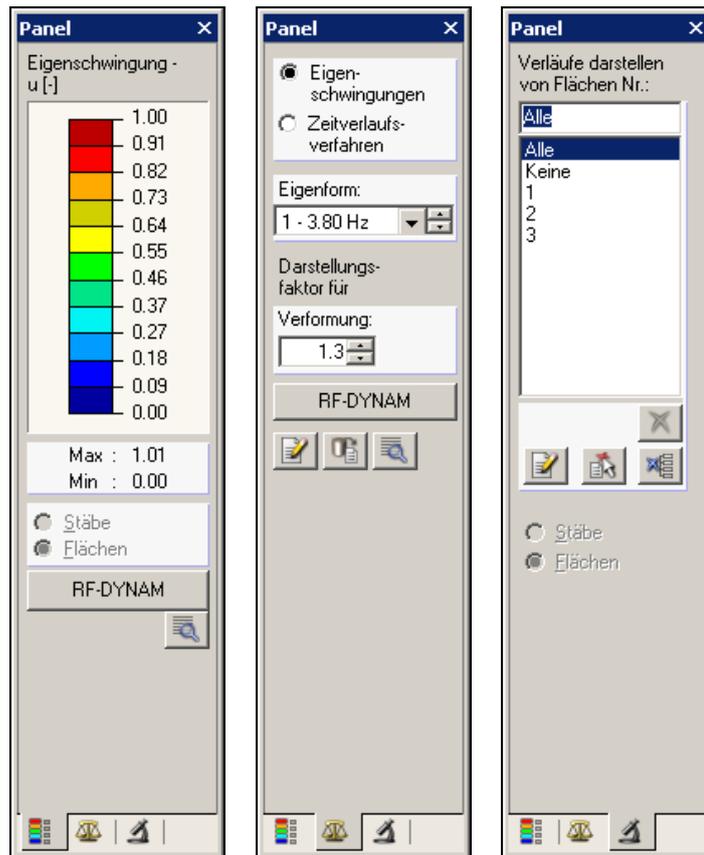


Bild 4.2: Ergebnis-Panel von RF-DYNAM

Das Panel ist aus drei Registern aufgebaut. Im ersten Register ist die auf 1 normierte Skala der Gesamtverformung der Eigenformen zu sehen.

Unter *Eigenform* und *Verformung* können die anzuzeigende Eigenform und der Vergrößerungsfaktor für die Darstellung eingestellt werden.

Im letzten Register können einzelne Objekte für die Darstellung ein- bzw. ausgeblendet werden.

Mit der Schaltfläche [RF-DYNAM] im Panel erfolgt die Rückkehr in das Dynamikmodul.

Mit [Drucken] können Sie die Ergebnisgrafik – wie jede andere Grafik in RFEM – entweder direkt ausdrucken oder in das Ausdruckprotokoll integrieren.

RF-DYNAM

4.2 Ausdrucken



Um die numerischen Ergebnisse ausdrucken zu können, müssen Sie zunächst in das Programm RFEM zurückkehren und dort [Aktives Ausdruckprotokoll] aufrufen.



Bild 4.3: Dialog *Neues Ausdruckprotokoll*



Nachdem Sie die Entscheidungen hinsichtlich der aus RFEM bekannten Möglichkeiten bezüglich *Ausdruckprotokoll* und *Ausdruckprotokoll-Muster* getroffen haben, lassen Sie mit [OK] Ihr Ausdruckprotokoll mit den RF-DYNAM-Ergebnissen erstellen.

Beachten Sie bitte, dass das Ausdruckprotokoll insgesamt eine Einheit aller Daten aus RFEM, RF-DYNAM und den weiteren Zusatzmodulen ist. Beugen Sie deshalb auch im eigenen Interesse durch eine entsprechende Selektion des Inhalts einer unnötigen Datenflut vor.

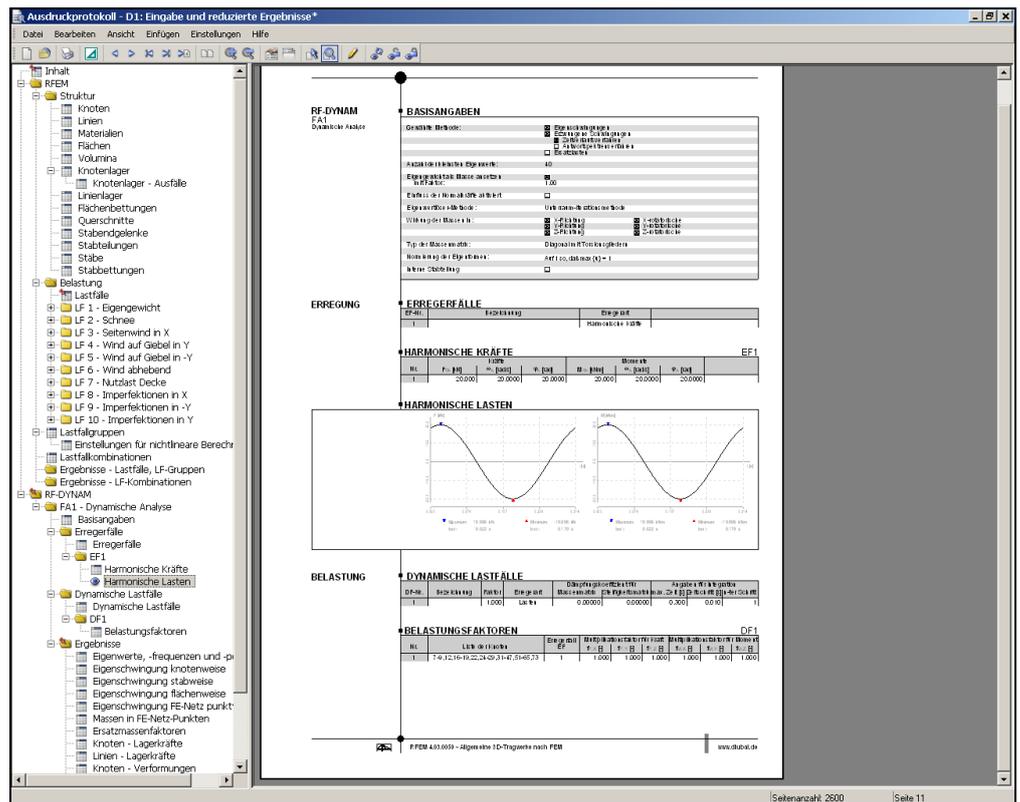


Bild 4.4: RF-DYNAM-Daten und -Ergebnisse im Ausdruckprotokoll



Sie haben im Ausdruckprotokoll sämtliche Bearbeitungs- und Gestaltungsmöglichkeiten, wie sie ausführlich im RFEM-Handbuch beschrieben sind. Zusätzlich gibt es für das Modul RF-DYNAM ein weiteres Ausdruckprotokoll-Selektionsregister, das Sie mit der Schaltfläche [Themen für Ausdruckprotokoll wählen] aufrufen und bearbeiten können. Gegebenenfalls ist im Dialog *Ausdruckprotokoll-Selektion* zuvor links das *Programm RF-DYNAM* zu aktivieren.

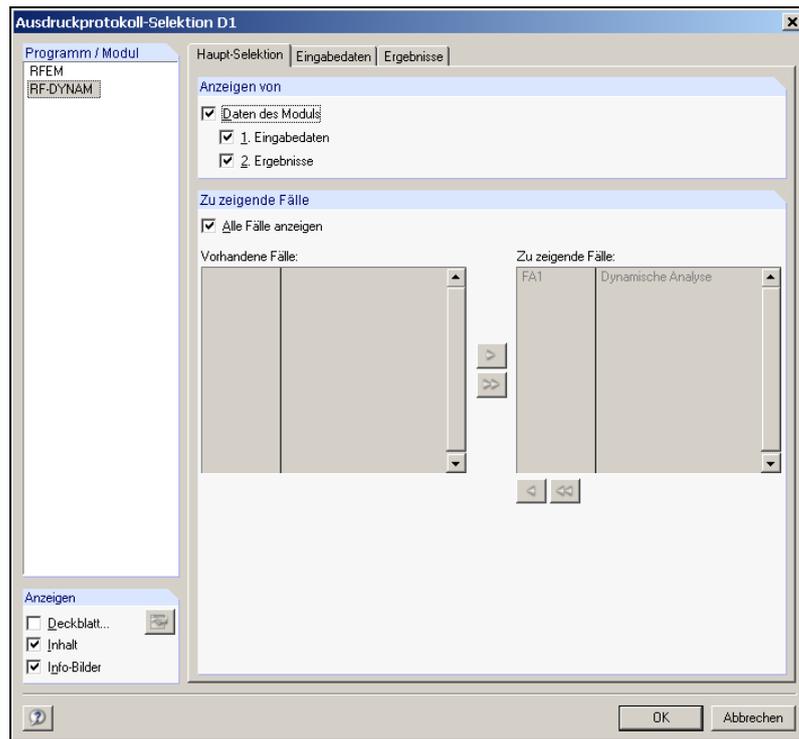
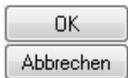


Bild 4.5: Selektion Ausdruckprotokoll RF-DYNAM 2007, Register *Haupt-Selektion*

Im Register *Haupt-Selektion* legen Sie unter *Anzeigen von* global die anzuzeigenden Oberkapitel fest. Sofern Sie nicht *Alle Fälle anzeigen* lassen möchten, kann aus der Liste *Vorhandene Fälle* eine Auswahl für *Zu zeigende Fälle* vorgenommen werden. Die Übertragung der Fälle von einer Liste in die andere geschieht mit den links dargestellten Schaltflächen [Hinzufügen →], [Alle hinzufügen], [← Entfernen] und [Alle entfernen].

In jedem Register lässt sich die Selektion mit [OK] übernehmen bzw. mit [Abbrechen] verwerfen. Der Dialog wird geschlossen.



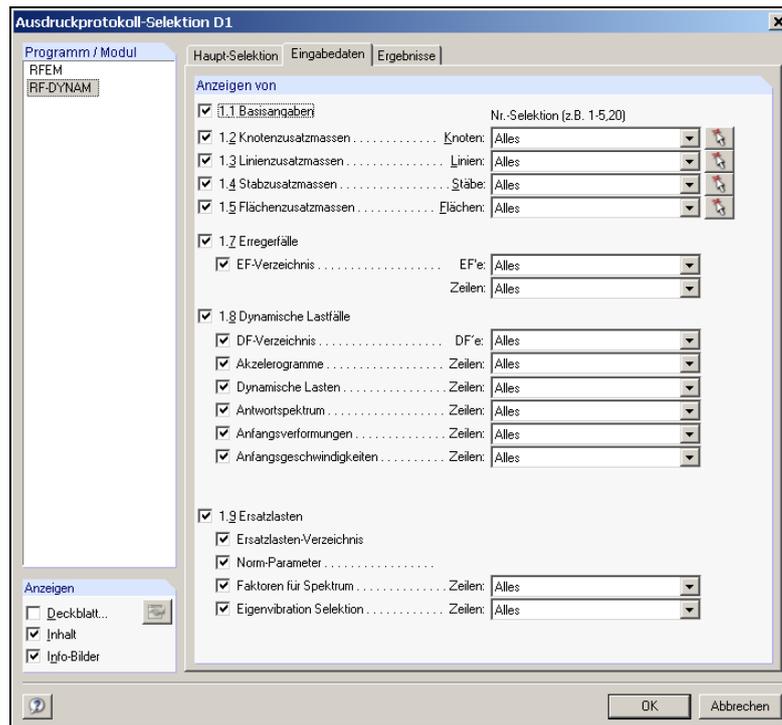


Bild 4.6: Selektion RF-DYNAM, Register *Eingabedaten*

Im Register *Eingabedaten* entscheiden Sie über die Anzeige der Basisangaben, der Zusatzmassen sowie der Normalkräfte. Zusätzlich ist eine detaillierte *Nr.-Selektion* möglich: Klicken Sie hierzu einfach auf die Schaltfläche [▼], wählen die Leerzeile an und tragen dann die gewünschten Nummern der Objekte ein.

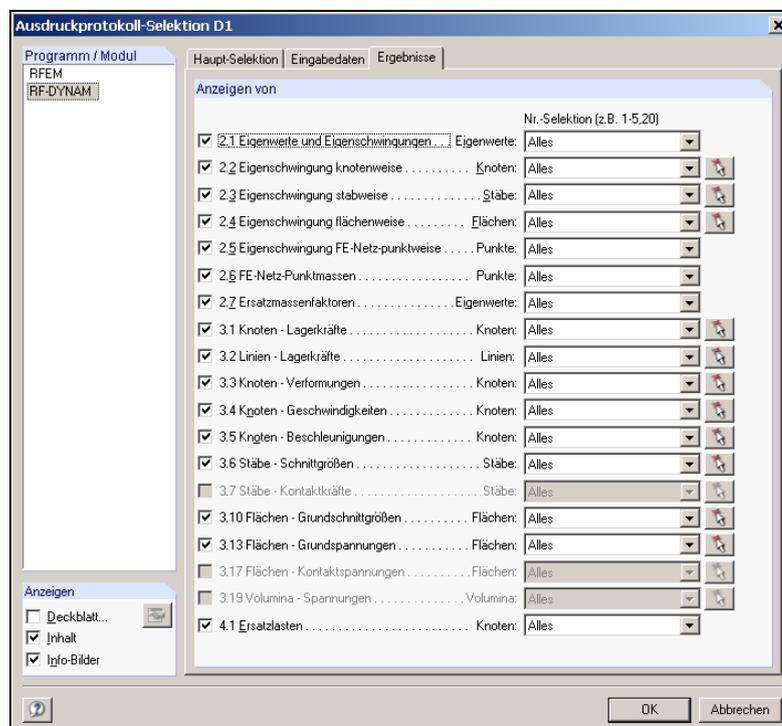


Bild 4.7: Selektion RF-DYNAM, Register *Ergebnisse*

Im Register *Ergebnisse* können Sie hinsichtlich der möglichen Ergebnisse wahlweise *Alles* oder einzeln gewählte Teile bestimmen.

5. Theorie

In diesem Kapitel werden in knapper Form einige theoretische Hintergründe zum besseren Verständnis von RF-DYNAM beleuchtet. Deshalb ist dieses Kapitel kein Ersatz für ein Lehrbuch der Dynamik, sondern möchte vielmehr einige Zusammenhänge in Erinnerung rufen oder Anstoß für weitere Recherchen sein. Der Leser möchte bitte Verständnis dafür haben, dass eine lehrbuchähnliche Aufarbeitung der Materie den Rahmen dieser Programmbeschreibung sprengen würde, ohne gleichzeitig erschöpfend diese Thematik zu behandeln.

Zunächst wird kurz auf die Grundgleichung der Eigenwertanalyse eingegangen. Im Anschluss daran wird in separaten Abschnitten auf die Berechnung der kinetisch äquivalenten Massen, der Beteiligungsfaktoren und Ersatzmassen eingegangen. Den Abschluss dieses Kapitels bildet ein themenbezogenes Beispiel.

Gleichgewichtsgleichung für statische Systeme

Eine Struktur reagiert auf statisch einwirkende Kräfte durch Verformung. Von dem System wird angenommen, dass es sich sowohl vor der Lastaufbringung als auch nach der Lastaufbringung in Ruhe befindet.

Im Allgemeinen lässt sich ein proportionaler Zusammenhang zwischen der Belastung und der Verformung des Systems beobachten. Die Beziehung der beiden Größen ist grundsätzlich nichtlinear, kann aber in den meisten Anwendungsfällen als linear angenommen werden. Als Proportionalitätsfaktor tritt zwischen der Belastung und der Verformung die Steifigkeit k des Systems, so dass die Beziehung für den statischen Fall gilt:

$$K_{ij} x_i = f_j$$

mit

K_{ij}	Steifigkeitsmatrix
x_i	Verformung
f_i	Belastung

Im Falle eines Systems mit einem Freiheitsgrad ist $i = j = 1$.

Berechnung der Eigenfrequenzen

Wurde eine Struktur zum Schwingen angeregt und einige Zeit sich selbst überlassen, beobachtet man, dass das System stets zwischen zwei Energiezuständen pendelt. Es gilt also:

$$E_{\text{kinetisch}} = E_{\text{potentiell}}$$

Dies lässt sich in folgender Gleichung ausdrücken:

Gleichung 4.1:

$$M_{ij} \ddot{x}_i + K_{ij} \cdot x_i = \underline{0}$$

In dieser Gleichung bleibt die Dämpfung unberücksichtigt, da dieser Dissipationseffekt zur Bestimmung der Eigenfrequenz und -form nicht relevant ist.

Gleichung (4.1) wird gelöst, indem für x_i folgender Ansatz eingeführt wird:

Gleichung 4.2:

$$x_i = C_i e^{\lambda t} = u_i(x) c \cos(\omega t - \alpha)$$

Ansatz (2) in Gleichung (4.1) eingesetzt, ergibt unter Berücksichtigung, dass der Ausdruck $c \cos(\omega t - \alpha)$ im Allgemeinen ungleich Null ist:

Gleichung 4.3:

$$\left[M_{ij} (-\omega^2) + K_{ij} \right] u_i(x) = \underline{0}$$

Da die Gleichung der Eigenform $u_i(x)$ ungleich Null ist, bestimmen sich die Eigenfrequenzen aus folgender Gleichung.

Gleichung 4.4:

$$\det(\mathbf{K}_{ij} - \omega^2 \mathbf{M}_{ij}) = 0$$

Bereits in der Gleichung (4.3) ist uns die Eigenkreisfrequenz ω begegnet. Sie hängt mit der Eigenfrequenz der Struktur über die Beziehung $f = 2\pi\omega$ zusammen.

Nach dem Einsetzen einer Eigenfrequenz in Gleichung (4.3) ergibt sich die zugehörige Eigenform $u_i(x)$.

Kinetisch äquivalente Massen

Strukturen mit mehreren Freiheitsgraden, die entweder über konzentrierte oder kontinuierliche Massenverteilung verfügen, lassen sich durch energetische Betrachtungen in einen Einmassenschwinger mit äquivalenter kinetischer Masse überführen. Typische Anwendungsfälle sind Strukturen mit Schwingungsdämpfer oder schlanke, turmartige Konstruktionen. RF-DYNAM berechnet diese kinetisch äquivalente Masse für jede einzelne Eigenfrequenz.

Am Beispiel eines Rohrmastes soll die Theorie näher beleuchtet werden.

Die Bewegung eines Rohrmastes wird durch folgende Beziehung beschrieben:

$$y(x, t) = y(x) \cdot \sin(\omega t) = Y \cdot \eta(x) \cdot \sin(\omega t)$$

mit	$y(x, t)$	Auslenkung einer Stelle x des Mastes in Anhängigkeit von der Zeit
	ω	Kreisfrequenz der Struktur
	$\eta(x)$	die auf 1 im Ort der größten Verschiebung normierte Eigenform
	Y	Auslenkung im Ort der gesuchten kinetisch äquivalenten Massen. RF-DYNAM nimmt hierfür immer die Auslenkung im Ort der maximalen Verschiebung. Dieser ist in der Darstellung der Eigenformen stets auf 1 normiert.

Daraus ergibt sich die kinetische Energie der Struktur:

Gleichung 4.5:

$$E_{\text{kin}} = \frac{\omega^2 Y^2}{2} \left[\int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx \right] \cos^2 \omega t$$

mit	$\mu(x)$	kontinuierliche Massenbelegung, Einheit [kg/m].
-----	----------	---

Die Gleichung 4.5 drückt die kinetische Energie des Eigengewichts der Struktur und der Stabzusatzmassen aus. Dieser ist noch die Energie der einzelnen Knoten-Zusatzmassen m_i hinzuzuzählen:

Gleichung 4.6:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i \omega^2 Y^2 \eta^2(x_i) \cos^2 \omega t$$

Die Summe ist über alle n Zusatzmassen zu bilden.

Die gesamte kinetische Energie der Struktur wird dann zu:

Gleichung 4.7:

$$E_{\text{kin}} = \omega^2 Y^2 \cdot \frac{1}{2} \left[\int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx \right] \cos^2 \omega t + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N m_i \cdot \omega^2 \eta^2(x) \cos^2 \omega t$$

Die kinetische Energie der Ersatzstruktur eines Einmassenschwingers wird beschrieben durch:

Gleichung 4.8:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} M \omega^2 Y^2 \cos^2 \omega t$$

Nach Gleichsetzen von (4.7) und (4.8) ergibt sich für die kinetisch äquivalente Masse:

Gleichung 4.9:

$$M = \int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx + \sum_{i=1}^n m_i \eta^2(x_i)$$

Um die kinetisch äquivalente Massen in einem anderen Ort zu berechnen, ist die Gleichung (4.9) mit $Y^2/\eta^2(x)$ durchzumultiplizieren.

Beispiel

Für einen eingespannten Rohrmast soll die kinetisch äquivalente Masse berechnet werden. In den folgenden Beispielen KINEQ1 bis KINEQ3 wird davon ausgegangen, dass der Stab ungeteilt ist. Im Beispiel KINEQ4 wird eine Teilung angesetzt.

Daten des Mastes:

Querschnitt: ROHR 508x11 mit der Querschnittsfläche $A=0.0172 \text{ m}^2$

Höhe: $l = 20 \text{ m}$

Spez. Gewicht DYNAM $\gamma = 7.85 \cdot 10^4 \text{ N/m}^3$

Kontinuierliche Massenbelegung: $\mu = \gamma / g \cdot A = 135 \text{ kg/m}$

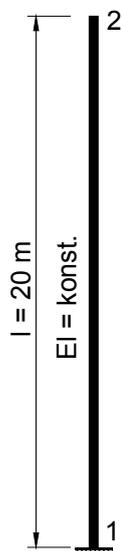


Bild 5.1: Eingespannter Rohrmast

KINEQ1:

Das Eigengewicht des Mastes $M = l \mu = 20 \text{ m} \cdot 135 \text{ kg/m} = 2700 \text{ kg}$ ist kontinuierlich über den Mast verteilt.

KINEQ2:

Die Gesamtmasse des Mastes $M = l \mu = 20 \text{ m} \cdot 135 \text{ kg/m} = 2700 \text{ kg}$ ist auf die beiden Endknoten 1 und 2 gleichmäßig verteilt.

KINEQ3:

Das Eigengewicht des Mastes ist als äußere Last kontinuierlich auf den Mast aufgetragen.

Da in allen Systemen von einer diagonalen Massenmatrix ausgegangen wird, ist die Summe der kinetisch äquivalenten Massen in jedem Fall gleich der wirkenden Masse, also 1350 kg im Knoten 2.

KINEQ4:

Der Rohrmast wird einer Teilung von 5 unterworfen. Daraus folgt eine genauere Berechnung der kinetisch äquivalenten Masse. Zur Berechnung der kinetisch äquivalenten Masse nach Gleichung (4.7) gilt für die Eigenform:

$$\eta(\xi) = \frac{1}{2,72423} \left[\sin \lambda \xi - \sinh \lambda \xi + (\cos \lambda \xi - \cosh \lambda \xi) \frac{\sinh \lambda - \sin \lambda}{\cosh \lambda - \cos \lambda} \right]$$

mit $\lambda = 1.875$, woraus sich das Integral

$$\int_0^L \mu(x) \eta^2(x) dx = 0,25$$

und somit die Größe der kinetisch äquivalenten Masse zu

$$M = \mu \cdot L \int_0^L \eta^2(x) dx = 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 20\text{m} \cdot 0,25 = 675 \text{ kg}$$

ergibt. Die Berechnung der kinetisch äquivalenten Massen in RF-DYNAM 2007 führt zu dem Zahlenwert von $M = 675,1 \text{ kg}$.

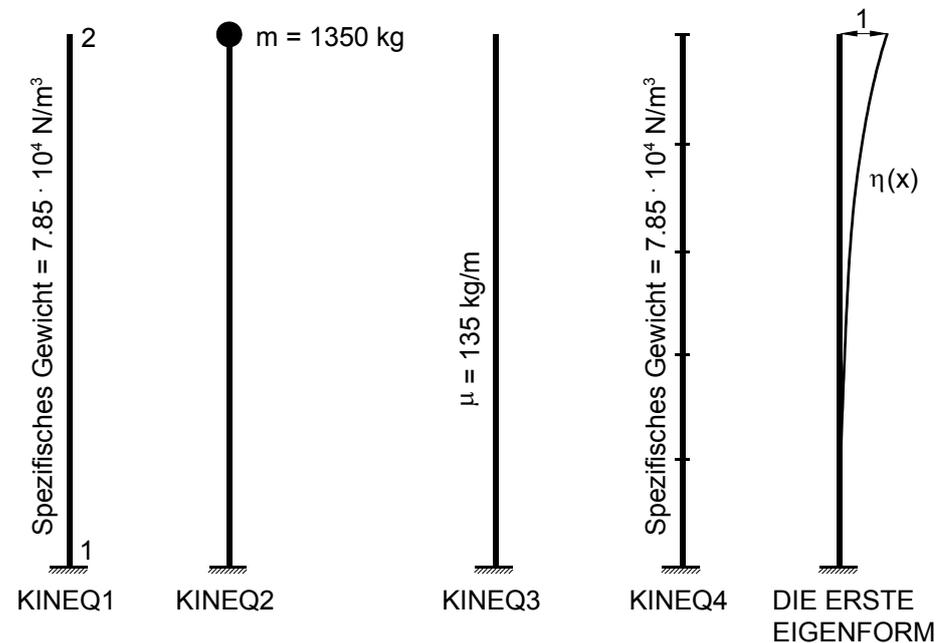


Bild 5.2: Massenverteilung des Stabes in den Beispielen KINEQ1 bis KINEQ4

Ersatzmassen und Beteiligungsfaktoren

Wurde vor der Berechnung in Maske 1.6 *Zu berechnen* die Ermittlung der Ersatzmassenfaktoren angewählt, werden in Maske 2.7 *Ersatzmassenfaktoren* die Werte für folgende Größen ausgegeben: Modale Masse, Beteiligungsfaktor, Ersatzmasse und Ersatzmassenfaktor.

Die wichtigste Information über die Struktur stellt die Verteilung der Trägheitskräfte H_i dar, die in Abhängigkeit von der Eigenform V_i eine typische Ausprägung erhält.

Die Trägheitskräfte genügen folgender Beziehung:

Gleichung 4.10

$$H_i = \frac{(V_i^T M)^2}{(V_i^T M V_i)} \cdot S_a \cdot (T_i)$$

mit V_i Eigenform
 M Massenmatrix
 $S_a(T_i)$ Beschleunigungsspektrum der Eigenkreisfrequenz ω_i

Mit den Ausdrücken

$$M_i = V_i^T M V_i \text{ modale Masse}$$

$$L_i = V_i^T M \text{ Beteiligungsfaktor}$$

erhält man aus Gleichung (4.10)

Gleichung 4.11

$$H_i = \frac{L_i^2}{M_i} \cdot S_a \cdot (T_i) = m_{ei} \cdot S_a \cdot (T_i)$$

mit $m_{ei} = L_i^2 / M_i$ Ersatzmasse der Eigenform V_i

Wie aus den Gleichungen (4.10) und (4.11) ersichtlich, ist die Ersatzmasse unabhängig von der normierten Eigenform V_i . RF-DYNAM normiert die Eigenform V_i im Ort der größten Verschiebung auf 1 entsprechend

Gleichung 4.12

$$\sum_{j=1}^n V_{ij}^2 = 1$$

mit i, j alle Verschiebungsfreiheitsgrade der Eigenform V_i

und berechnet mit dieser als Grundlage die modale Massenmatrix, die Beteiligungsfaktoren und die Ersatzmassen mit den Ersatzmassenfaktoren als Verhältnis der Ersatzmasse zur Gesamtmasse.

Ein praktischer Anwendungsfall hierzu stellt das nachfolgende Beispiel dar. Weiterführende Informationen enthält [11], Seite 678.

Beispiel

Ein ebener dreigeschossiger Rahmen besteht aus masselosen Stielen und Riegeln. Das Flächenträgheitsmoment für alle Stiele beträgt $I_{z, \text{Stiel}} = 25\,000 \text{ cm}^4$, das der Riegel beträgt $I_{z, \text{Riegel}} = 150\,000 \text{ cm}^4$.

Die Fläche der Stiele ist mit $A_{\text{Stiele}} = 100 \text{ cm}^2$, die der Riegel mit $A_{\text{Riegel}} = 10\,000 \text{ cm}^2$ angesetzt.

Die Masse der Riegel wird in gleichen Teilen auf die beiden Endknoten mit jeweils $12\,500 \text{ kg}$ angesetzt.

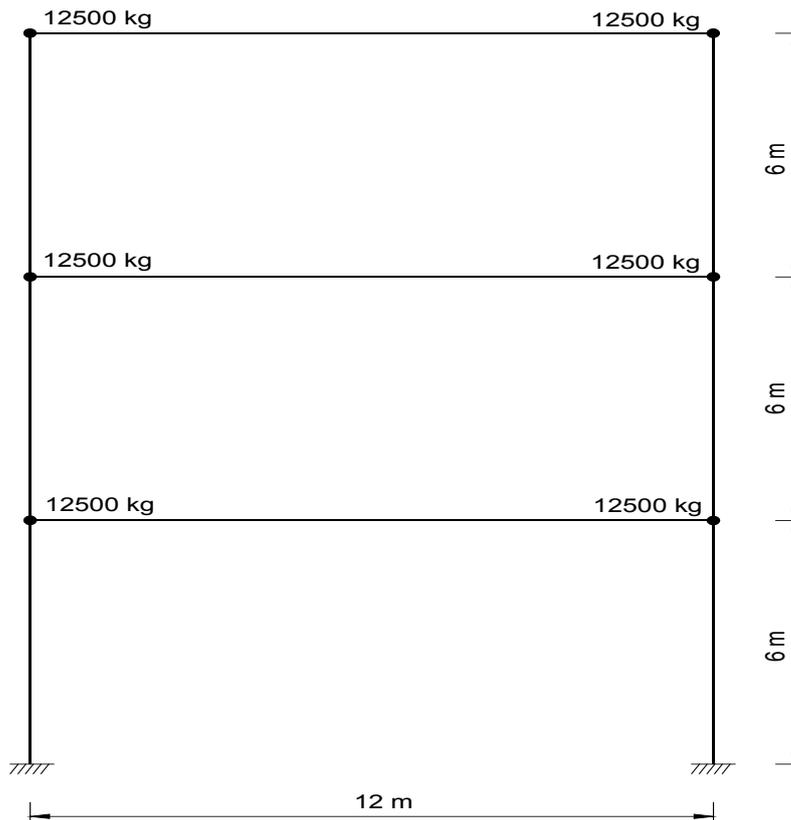


Bild 5.3: Berechnung der Ersatzmassen an einem Dreigeschossrahmen

Ergebnisvergleich zwischen RF-DYNAM und Literatur:

Eigenform Nr.	Ersatzmasse [kg]	
	RF-DYNAM	Literatur [11]
1	66592,9	$2,66369 \cdot 25000 = 66592,25$
2	6989,7	$0,2769 \cdot 25000 = 6990,00$
3	1417,4	$0,05669 \cdot 25000 = 1417,25$

6. Beispiele

Das folgende Kapitel beinhaltet eine Reihe von Beispielen, die die Funktionalität des Moduls RF-DYNAM näher beleuchten.

Ein weiteres Rechenbeispiel demonstriert die Berechnung der Grundfrequenz eines Turmes mit gevoutetem Querschnitt.

Die Beispiele sind Literaturstellen entliehen. Hierbei steht der Vergleich zwischen den in der Literatur angegebenen Ergebnissen mit denen von RF-DYNAM im Vordergrund.

6.1 Balken

Dieses Beispiel greift ein Beispiel aus [12], S. 20 auf.

Ein Durchlaufträger gemäß untenstehender Skizze wird der dynamischen Analyse unterworfen. Die Gesamtlänge des Balkens beträgt 10 m. Der Durchlaufträger besteht aus 20 Einzelbalken, die biegesteif miteinander verbunden sind.

Der Querschnitt ist ein Rechteckquerschnitt mit den Abmessungen $d = 0.4$ m und $b = 0.2$ m. Daraus folgt für diesen Querschnitt ein $I_y = 1.067E-3$ m⁴ und eine Fläche von $A = 8.0E-2$ m². Der Elastizitätsmodul ist $E = 3.0E+7$ kN/m².

Da das spezifische Gewicht $\gamma = 25$ kN/m³ beträgt, hat jeder Einzelbalken ein Gewicht von $G_i = \gamma A l / g = 25000 \cdot 0.08 \cdot 0.5 / 10$ kg = 100 kg.

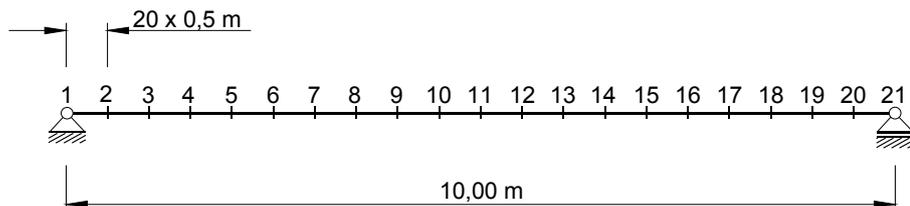


Bild 6.1: Skizze zum Beispiel Nr. 1: Balken

Aus der Ergebnisauflistung von RF-DYNAM liest man eine aktive Masse von 100 kg in die Z-Richtung für die Knoten 2 bis 20 ab. Die Knoten 1 und 21 sind in Z-Richtung gelagert, so dass deren Massen nicht als dynamische in Z-Richtung mitwirkende Masse beachtet wird. Die in X-Richtung aktive Masse ist am Knoten 1 aufgrund der Lagerdefinition (Festhaltung in X-Richtung) gleich Null.

Da die Struktur am Knoten 21 in X-Richtung nicht gehalten ist, weist die aktive Masse einen endlichen Wert kleiner 100 kg auf.

Beachtenswert ist die Genauigkeit der Eigenfrequenzen, die RF-DYNAM im Vergleich zur Literaturstelle erzielt. Folgende Tabelle stellt die Ergebnisse gegenüber.

Sechs niedrigste Eigenfrequenzen f [Hz]		
Nr. der Eigenfrequenz	RF-DYNAM	Literaturstelle
1	6,284	6,283
2	25,137	25,133
3	56,556	56,547
4	86,580	86,580
5	100,535	100,519
6	157,056	157,032

6.2 Fachwerkträger

Dieses Beispiel greift ein Beispiel aus [12], S. 29 auf.

Die Eigenwerte des in untenstehender Skizze dargestellten Fachwerksystems sollen bestimmt werden. Das Material hat einen Elastizitätsmodul von $E = 2.06E+8 \text{ kN/m}^2$, eine Querdehnzahl $\nu = 0.29$ und ein spezifisches Gewicht von 7.88 t/m^3 .

Es wird ein rundes Profil mit einem Durchmesser von 4 cm verwendet.

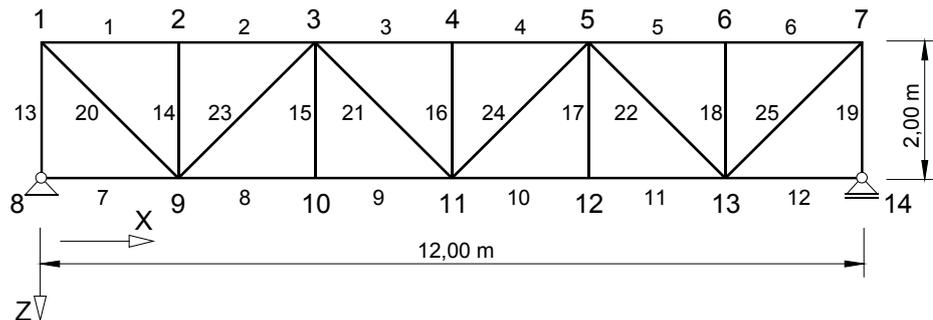


Bild 6.2: Skizze zum Beispiel Nr. 2: Fachwerkträger

RF-DYNAM 2007 berechnet im Vergleich zu der Literaturstelle folgende Eigenfrequenzen:

Fünf niedrigste Eigenfrequenzen f [Hz]		
Nr. der Eigenfrequenz	RF-DYNAM	Literaturstelle
1	13,30	13,15
2	22,77	22,57
3	36,20	35,82
4	50,23	49,81
5	51,72	51,37

6.3 Betonschornstein

Dieses Beispiel ist der Literatur [11], S. 213 entnommen. Anhand dieses Beispiels wird der Einfluss der *Teilung der Stäbe wegen Vouten/elast. Bettung* verdeutlicht. In Abhängigkeit von der gewählten Teilung nähert sich das von RF-DYNAM erzielte Ergebnis an die in der Literatur angegebene Lösung an.

Ein Betonschornstein verjüngt sich in seinem Verlauf etwa im Verhältnis 3:1. Er kann deshalb als Voutenstab angenommen werden. Der E-Modul beträgt $E = 2E+7 \text{ kN/m}^2$, das spezifische Gewicht $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

Folgende Werte gelten für den Fußbereich des Schornsteins:

Die Fläche A_A beträgt 14.78 m^2 , woraus sich eine kontinuierliche Massenbelegung

$$\mu = \gamma A / g = 25000 \cdot 14.78 / 10 \text{ kg/m} = 36.95E+3 \text{ kg/m}$$

Das Flächenträgheitsmoment beträgt $I_A = 122.9 \text{ m}^4$.

Folgende Werte gelten für den Kopfbereich des Schornsteins:

Die Fläche A_E beträgt 4.79 m^2 , woraus sich eine kontinuierliche Massenbelegung

$$\mu = \gamma A / g = 25000 \cdot 4.79 / 10 \text{ kg/m} = 11.973E+3 \text{ kg/m}$$

Das Flächenträgheitsmoment beträgt $I_E = 22.2 \text{ m}^4$.

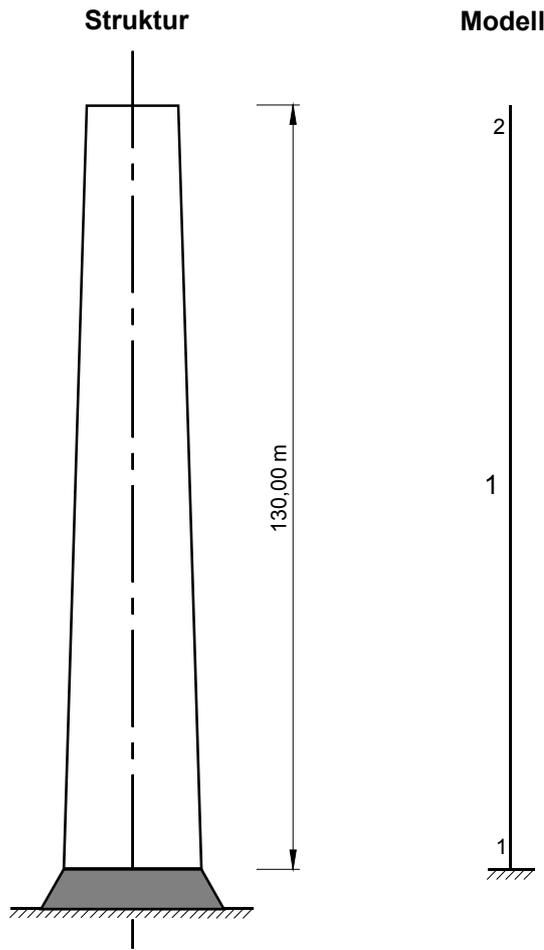


Bild 6.3: Skizze zum Beispiel Nr. 3: Betonschornstein

Die Literatur gibt für die Grundfrequenz des Schornsteins den Wert $f = 0.367 \text{ Hz}$ an.

Grundfrequenz f [Hz] des Stahlbetonschornsteins	
Anzahl der Teilungen	Errechnete Grundfrequenz
2	0,3291
6	0,3600
10	0,3673
20	0,3657
50	0,3641

6.4 Erdbebenersatzlasten nach DIN 4149

Dieses Beispiel vergleicht die mit RF-DYNAM gemäß DIN 4149 ermittelten Erdbebenersatzlasten mit einer Handrechnung. Die RFEM-Eingabedaten können den folgenden Tabellen entnommen werden.



Bild 6.4: Strukturmodell zu Beispiel Nr. 6.4: Erdbebenersatzlasten

KNOTEN

Knoten Nr.	Knotentyp	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten		Kommentar
				X [m]	Z [m]	
1	Standard	-	Kartesisch	0.000	-100.000	
2	Standard	-	Kartesisch	0.000	-87.500	
3	Standard	-	Kartesisch	0.000	-62.500	
4	Standard	-	Kartesisch	0.000	-37.500	
5	Standard	-	Kartesisch	0.000	-12.500	
6	Standard	-	Kartesisch	0.000	0.000	Feste Einspannung

LINIEN

Linie Nr.	Linientyp	Knoten Nr.	Linienlänge		Kommentar
			l [m]	Z	
1	Polylinie	2,1	12.500	Z	
2	Polylinie	3,2	25.000	Z	
3	Polylinie	4,3	25.000	Z	
4	Polylinie	5,4	25.000	Z	
5	Polylinie	6,5	12.500	Z	

MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Querdehnz. my [-]	Sp. Gewicht [kN/m ³]	Wärmedehnz. alpha [1/°C]	Beiwert gamma-M
1	Beton B 25	3000.00	1400.00	0.200	25.00	1.0000E-05	1.000

KNOTENLAGER

Lager Nr.	Knoten Nr.	Lagerdrehung [°] um Y	Stütze ln Z	Stützung bzw. Einspannung		
				u-X'	u-Z'	phi-Y'
1	6	0.00		X	X	X

QUERSCHNITTE

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I-T [m ⁴] A [m ²]	I-y [m ⁴] A-y [m ²]	I-z [m ⁴] A-z [m ²]	Kommentar
1		Q1	1 100.000	12.667		
2		Q2	1 100.000	19.000		
3		Q3	1 100.000	25.333		
4		Q4	1 100.000	31.667		

STÄBE

Stab Nr.	Linie Nr.	Stabtyp	Drehung		Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	
			Typ	Knoten / Ebene	Anfang	Ende	Anfang	Ende				
1	1	Balkenstab	-	-	4	4	-	-	-	-	12.500	Z
2	2	Balkenstab	-	-	4	4	-	-	-	-	25.000	Z
3	3	Balkenstab	-	-	3	3	-	-	-	-	25.000	Z
4	4	Balkenstab	-	-	2	2	-	-	-	-	25.000	Z
5	5	Balkenstab	-	-	1	1	-	-	-	-	12.500	Z

Gemäß DIN 4149 wurden für dieses Beispiel folgende Parameter ausgewählt:

Untergrundverhältnis: A-R

Bedeutungsbeiwert γ_i : 1,0

Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g : 1,00 m/s²

Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung β_0 : 2,5

Dämpfungs-Korrekturbeiwert η : 1,00

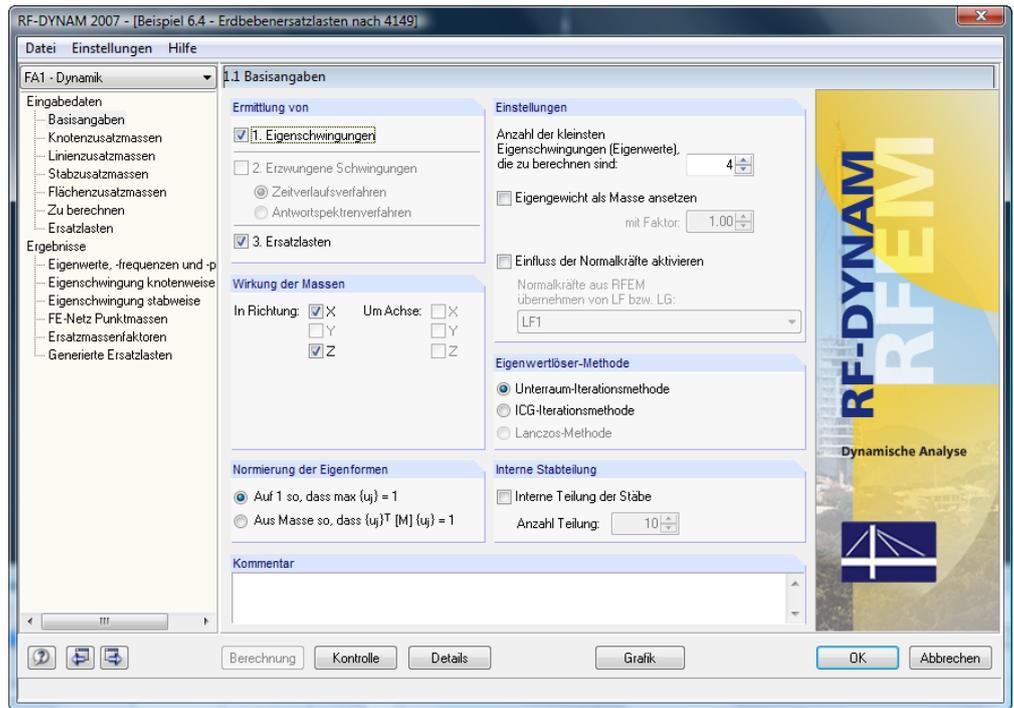


Bild 6.5: Basisangaben ohne Berücksichtigung des Eigengewichts und mit Wirkung der Massen in Richtung X und Z

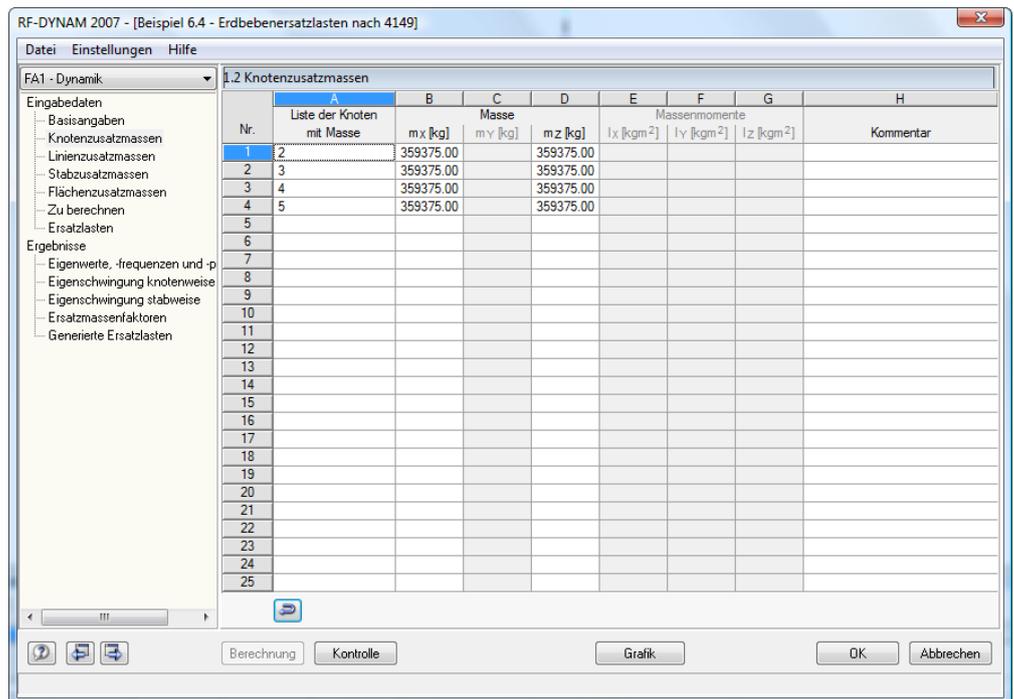


Bild 6.6: Massenbelegung der Knoten 2 bis 5 mit je 359 375 kg

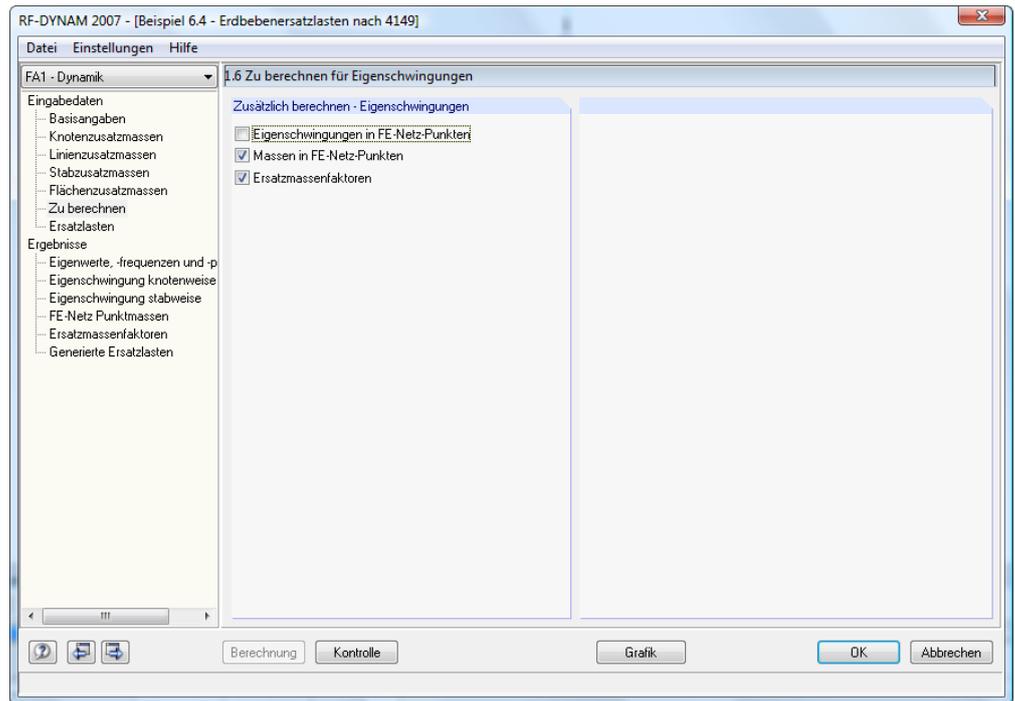


Bild 6.7: Maske 1.6 Zu berechnen

Um festzustellen, wie viele Eigenformen berücksichtigt werden müssen, ist es hilfreich, in Maske 1.6 *Zu berechnen* die Ersatzmassenfaktoren und Massen in FE-Netz-Punkten zusätzlich berechnen zu lassen. Denn grundsätzlich sollen so viele Modalformen mitgenommen werden, dass die Summe der effektiven Ersatzmassen mindestens 90 % der effektiven Gesamtmasse beträgt. Dies entspricht einer Summe der Ersatzmassenfaktoren von 0,90.

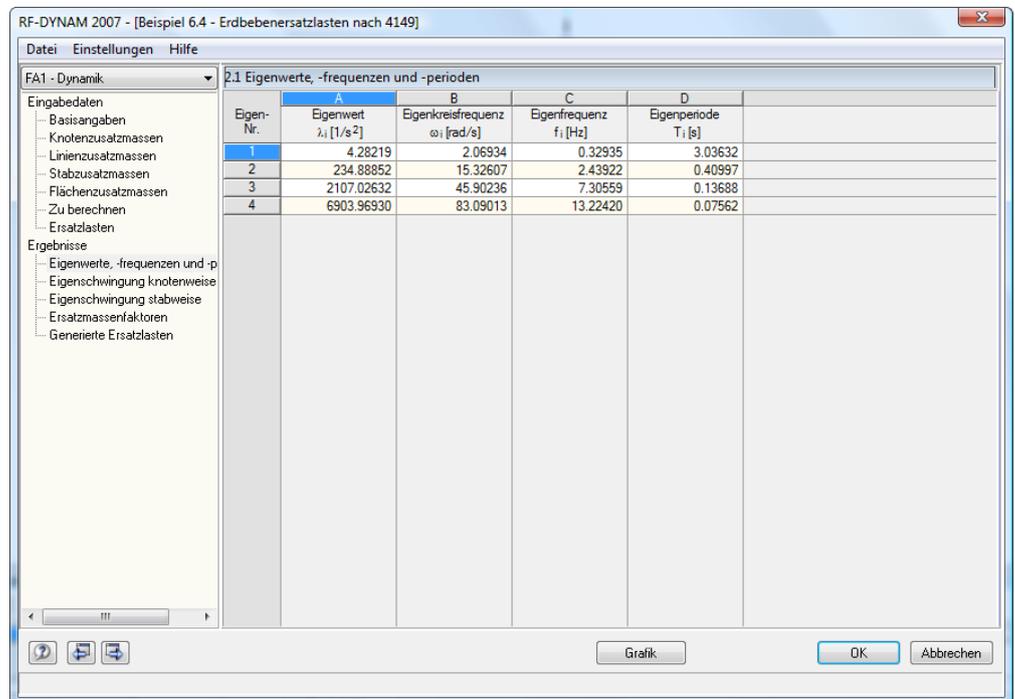


Bild 6.8: Maske 2.1 Eigenwerte, -frequenzen und -perioden

RF-DYNAM 2007 - [Beispiel 6.4 - Erdbebensatzlasten nach 4149]

FA1 - Dynamik

2.2 Eigenschwingungen knotenweise

Eigen-Nr.	Knoten-Nr.	Normierte Verschiebung			Normierte Verdrehung		
		ux []	uy []	uz []	ϕx []	ϕy []	ϕz []
1	1	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01284	0.00000
	2	0.84046	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01284	0.00000
	3	0.52506	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01222	0.00000
	4	0.23716	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01039	0.00000
	5	0.03423	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00550	0.00000
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	1	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04120	0.00000
	2	-0.48264	0.00000	0.00000	0.00000	0.04120	0.00000
	3	0.44026	0.00000	0.00000	0.00000	0.02825	0.00000
	4	0.70924	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00706	0.00000
	5	0.18481	0.00000	0.00000	0.00000	-0.02472	0.00000
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	1	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.05906	0.00000
	2	-0.26261	0.00000	0.00000	0.00000	0.05906	0.00000
	3	0.66743	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00631	0.00000
	4	-0.48796	0.00000	0.00000	0.00000	-0.04415	0.00000
	5	-0.40310	0.00000	0.00000	0.00000	0.03899	0.00000
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	1	-0.42300	0.00000	0.00000	0.00000	0.02859	0.00000
	2	-0.06238	0.00000	0.00000	0.00000	0.02859	0.00000
	3	0.23522	0.00000	0.00000	0.00000	-0.02209	0.00000
	4	-0.43925	0.00000	0.00000	0.00000	0.02664	0.00000
	5	0.96101	0.00000	0.00000	0.00000	-0.03574	0.00000
	6	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Sortieren nach: Knoten-Nummern Eigenwert-Nummern

Grafik OK Abbrechen

Bild 6.9: Maske 2.2 Eigenschwingungen knotenweise

RF-DYNAM 2007 - [Beispiel 6.4 - Erdbebensatzlasten nach 4149]

FA1 - Dynamik

2.6 Massen in FE-Netz-Punkten

FE-Netz Punkt-Nr.	Objekt	Nr.	x-Stelle [m]	Lage		FE-Netz Punktmasse			
				X [m]	Y [m]	Z [m]	m _x [kg]	m _y [kg]	m _z [kg]
1	Knoten	1		0.000	0.000	-100.000	0.00	0.00	0.00
2	Knoten	2		0.000	0.000	-87.500	359375.00	0.00	359375.00
3	Knoten	3		0.000	0.000	-62.500	359375.00	0.00	359375.00
4	Knoten	4		0.000	0.000	-37.500	359375.00	0.00	359375.00
5	Knoten	5		0.000	0.000	-12.500	359375.00	0.00	359375.00
6	Knoten	6		0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
Summe							1437500.00	0.00	1437500.00

Sortieren nach: FE-Netz-Punkt-Nummern Objekt

Grafik OK Abbrechen

Bild 6.10: Maske 2.6 FE-Netz-Punktmassen

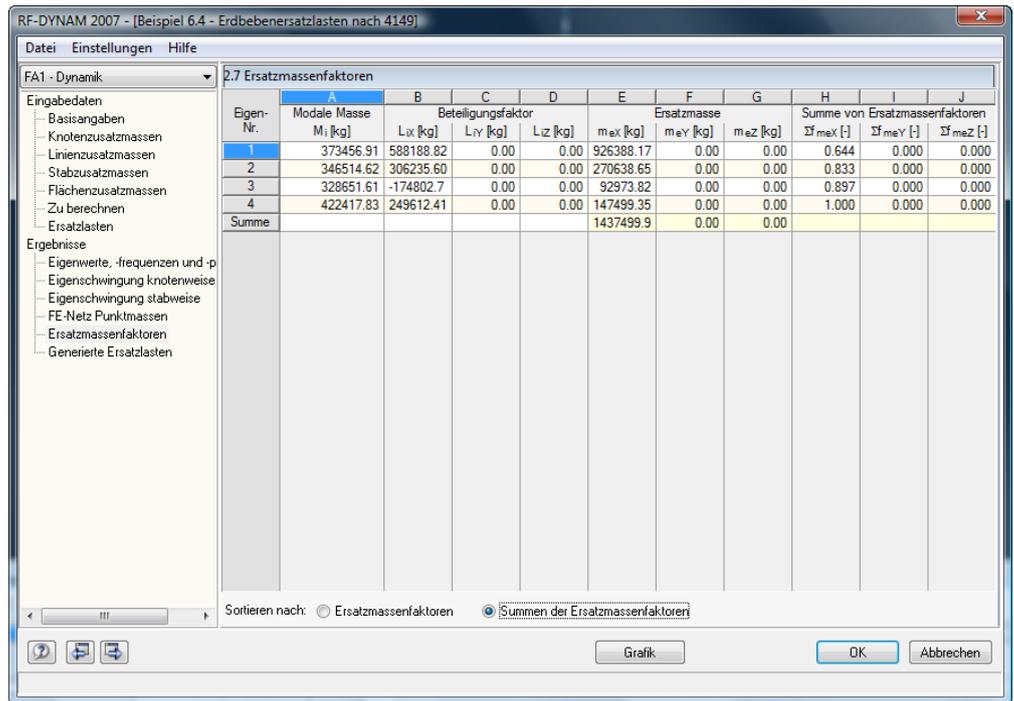


Bild 6.11: Maske 2.5 Ersatzmassenfaktoren

In Maske 2.7 Ersatzmassenfaktoren kann in Spalte H die Summe der Ersatzmassenfaktoren gebildet werden. Es wird deutlich, dass mindestens 90 % der effektiven Gesamtmasse mit vier Modalformen erreicht wird.

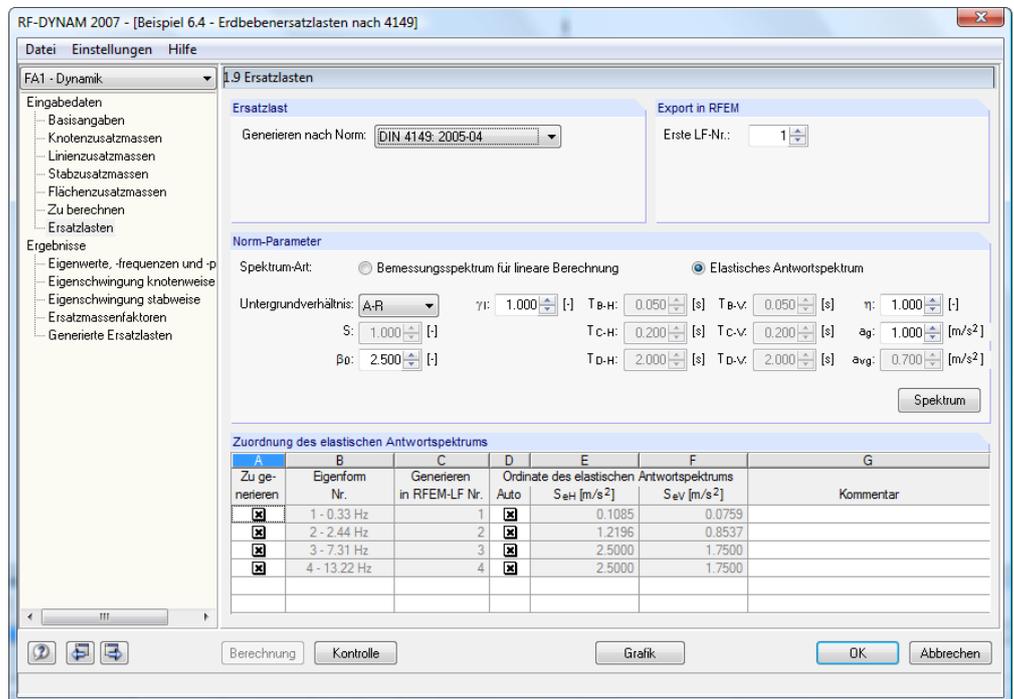


Bild 6.12: Maske 1.9 Ersatzlasten

In Maske 1.9 Ersatzlasten werden nach der Festlegung der Norm-Parameter alle vier Eigenformnummern in Spalte A ausgewählt. Die Ersatzlasten werden weiter automatisch in die RFEM-Lastfälle 1 bis 4 geschrieben (Spalte C).

RF-DYNAM 2007 - [Beispiel 6.4 - Erdbebensatzlasten nach 4149]

FA1 - Dynamik

2.13 Generierte Ersatzlasten

FE-Netz Punkt-Nr.	Objekt Typ	Nr.	x-Stelle [m]	D X [m]	E Y [m]	F Z [m]	G LF Nr.	H F _x [kN]	I F _y [kN]	J F _z [kN]
1	Knoten	1		0.000	0.000	-100.000	1	0.000	0.000	0.000
2	Knoten	2		0.000	0.000	-87.500	1	51.614	0.000	0.000
3	Knoten	3		0.000	0.000	-62.500	1	32.235	0.000	0.000
4	Knoten	4		0.000	0.000	-37.500	1	14.550	0.000	0.000
5	Knoten	5		0.000	0.000	-12.500	1	2.115	0.000	0.000
6	Knoten	6		0.000	0.000	0.000	1	0.000	0.000	0.000
1	Knoten	1		0.000	0.000	-100.000	2	0.000	0.000	0.000
2	Knoten	2		0.000	0.000	-87.500	2	-186.940	0.000	0.000
3	Knoten	3		0.000	0.000	-62.500	2	170.619	0.000	0.000
4	Knoten	4		0.000	0.000	-37.500	2	274.727	0.000	0.000
5	Knoten	5		0.000	0.000	-12.500	2	71.665	0.000	0.000
6	Knoten	6		0.000	0.000	0.000	2	0.000	0.000	0.000
1	Knoten	1		0.000	0.000	-100.000	3	0.000	0.000	0.000
2	Knoten	2		0.000	0.000	-87.500	3	-125.488	0.000	0.000
3	Knoten	3		0.000	0.000	-62.500	3	318.796	0.000	0.000
4	Knoten	4		0.000	0.000	-37.500	3	-233.135	0.000	0.000
5	Knoten	5		0.000	0.000	-12.500	3	-192.608	0.000	0.000
6	Knoten	6		0.000	0.000	0.000	3	0.000	0.000	0.000
1	Knoten	1		0.000	0.000	-100.000	4	0.000	0.000	0.000
2	Knoten	2		0.000	0.000	-87.500	4	-33.108	0.000	0.000
3	Knoten	3		0.000	0.000	-62.500	4	124.754	0.000	0.000
4	Knoten	4		0.000	0.000	-37.500	4	-233.096	0.000	0.000
5	Knoten	5		0.000	0.000	-12.500	4	510.200	0.000	0.000
6	Knoten	6		0.000	0.000	0.000	4	0.000	0.000	0.000

Sortieren nach: FE-Netz-Punkt-Nummern Objekttyp LF-Nr.

Buttons: Export..., Grafik, OK, Abbrechen

Bild 6.13: Maske 2.13 Generierte Ersatzlasten

In der RFEM-Grafik der Lastfälle 1 bis 4 lassen sich die einzelnen Ersatzlasten übersichtlich darstellen.

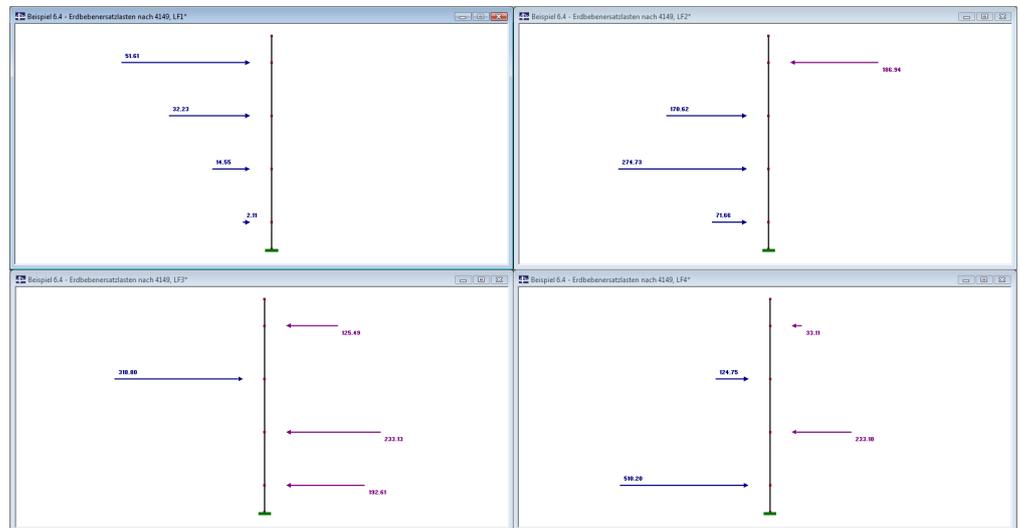


Bild 6.14: Grafik der exportierten Ersatzlastfälle 1 bis 4

Die ermittelten Erdbebensatzlasten können jetzt mit den manuell berechneten Werten verglichen werden.

Knoten	Masse [kg]	Normierte Verschiebung Ψ_{1i} EF1	Normierte Verschiebung Ψ_{2i} EF2	Normierte Verschiebung Ψ_{3i} EF3	Normierte Verschiebung Ψ_{4i} EF4
1	0.00	1.00000	-1.00000	-1.00000	-0.42300
2	359375.00	0.84046	-0.48264	-0.26261	-0.06238
3	359375.00	0.52506	0.44026	0.66743	0.23522
4	359375.00	0.23716	0.70924	-0.48796	-0.43925
5	359375.00	0.03423	0.18481	-0.40310	0.96101
6	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
$\Sigma m_j \cdot \Psi_{ji}$		588265	306069	-174743	249622
$\Sigma m_j \cdot \Psi_{ji}^2$		373562	346418	328836	422517
ω_i [Hz]		2.06934	15.32607	45.90236	83.09013
f_i [Hz]		0.32935	2.43922	7.30559	13.22420
T_i [s]		3.03632	0.40997	0.13688	0.07562
S_e		0,1085	1,2196	2.5000	2.5000

Mit der Ersatzmasse $m_{e,j}$ und dem Beteiligungsfaktor L_j

$$m_{e,j} = \frac{(\sum m_i \cdot \Psi_{j,i})^2}{\sum m_i \cdot \Psi_{j,i}^2}$$

$$L_j = \sum m_i \cdot \Psi_{j,i}$$

und der Ersatzlast

$$F_{j,i} = \frac{m_{e,i}}{L_j} \cdot m_i \cdot \Psi_{j,i} \cdot S_e$$

ergeben sich folgende Ersatzlasten, die vollständig mit den in RF-DYNAM ermittelten Ersatzlasten übereinstimmen:

Knoten	Eigenform 1	Eigenform 2	Eigenform 3	Eigenform 4
	$m_{e,j}=926365[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]	$m_{e,j}=270419[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]	$m_{e,j}=92858[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]	$m_{e,j}=147476[\text{kg}]$ $F_{j,i}$ [N]
1	0	0	0	0
2	51606.496	-186899.042	125377.2	-33110.9255
3	32240.0909	170487.677	-318649.346	124853.349
4	14562.2595	274648.344	232965.457	-233151.235
5	2101.81372	71566.4098	192450.971	510098.276
6	0	0	0	0

6.5 Modalanalyse eines Rahmens

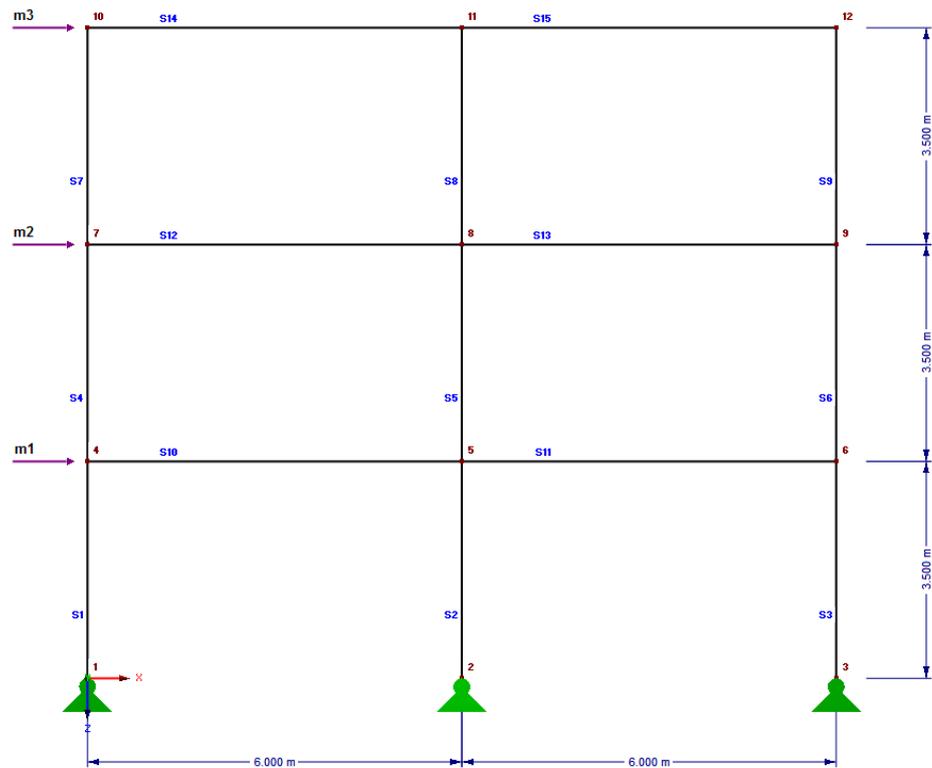


Bild 6.15: Skizze zum Beispiel Nr. 6.5 *Modalanalyse Rahmen*

Dieses Beispiel ist der Literatur [13], S. 99 ff. und 117 ff. entnommen.

Stäbe 14, 15: $EI_R = 32\,000\text{ KNm}^2$

Stäbe 10, 11, 12, 13: $2 EI_R = 64\,000\text{ KNm}^2$

Stäbe 1, 4, 7 und 3, 6, 9: $EI_S = 30\,000\text{ KNm}^2$

Stäbe 2, 5, 8: $2 EI_S = 60\,000\text{ KNm}^2$

$m_1 = 8\text{ t}$

$m_2 = m_3 = 30\text{ t}$

In diesem Beispiel werden die ersten drei Eigenformen ermittelt.

Ermittlung der ersten drei Eigenperioden:

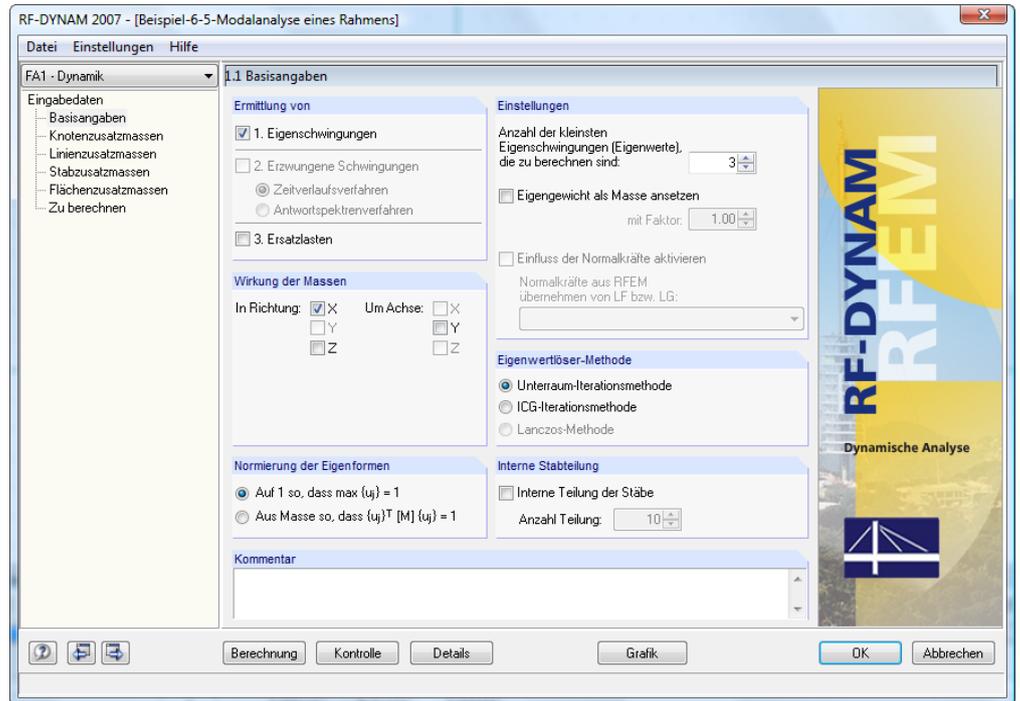


Bild 6.16: Maske 1.1 *Basisangaben* ohne Berücksichtigung des Eigengewichts

Umrechnung der Massen m_1 , m_2 und m_3 in Knoten-Zusatzmassen:

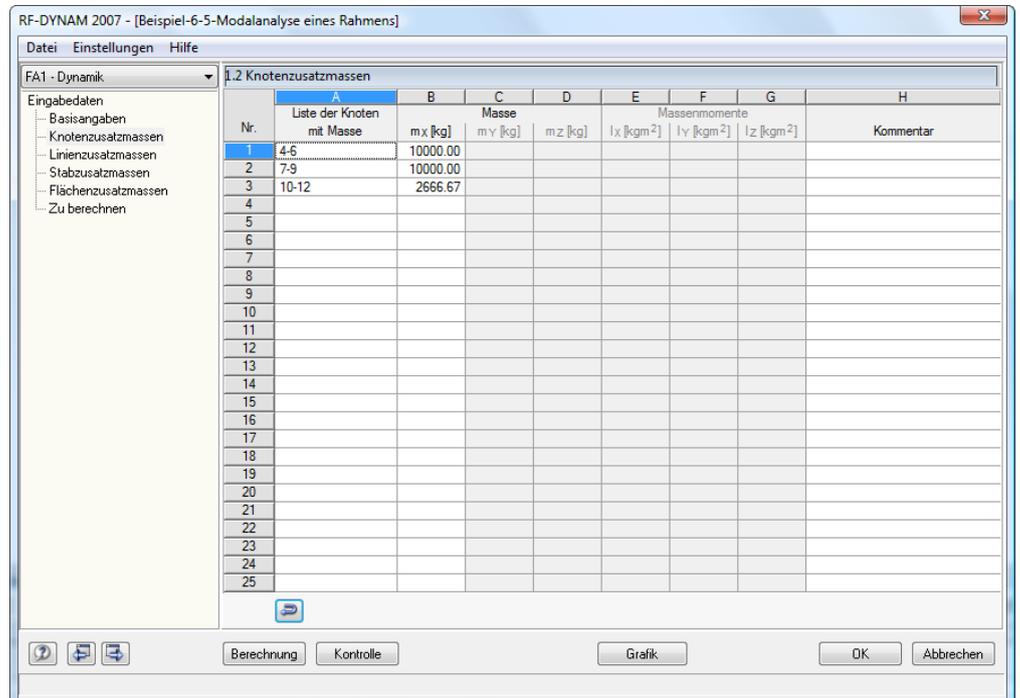


Bild 6.17: Maske 1.2 *Knoten-Zusatzmassen*

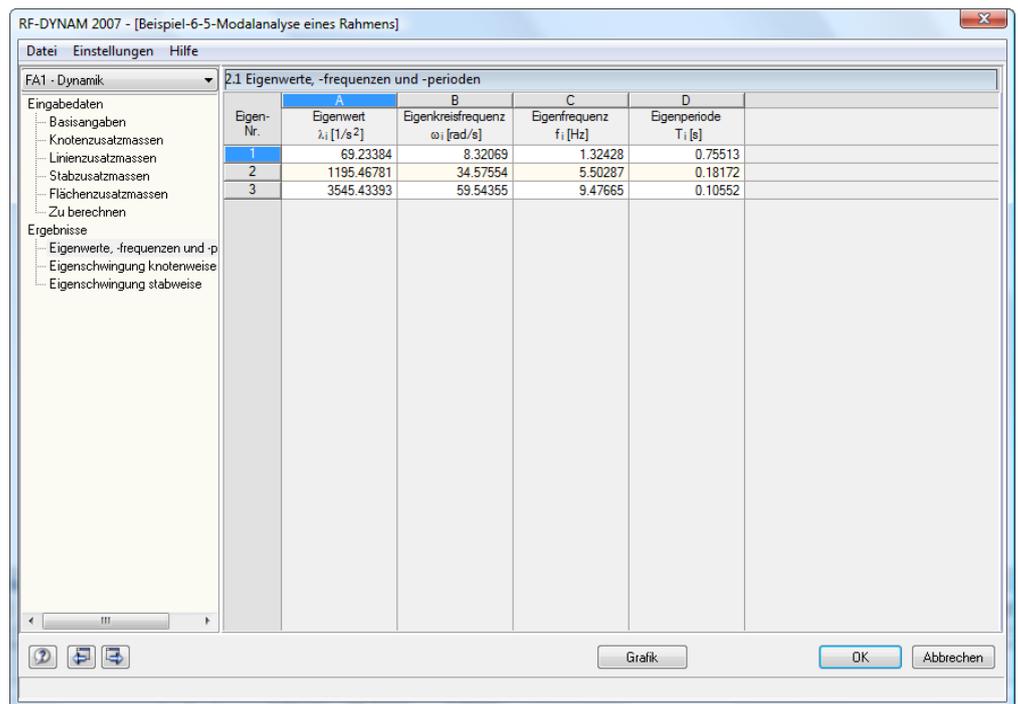


Bild 6.18: Maske 2.1 Eigenwerte

Folgende Tabelle vergleicht die RF-DYNAM-Ergebnisse mit den Literaturergebnissen:

Eigenform Nr.	Eigenperiode T_i [sec]	
	DYNAM	Literatur [13]
1	0.75513	0.755128
2	0.18172	0.181723
3	0.10552	0.105522

A: Literatur

- [1] Klingmüller, O. Lawo, M., Thierauf, G. (1983)
Stabtragwerke, Matrizenmethoden der Statik und Dynamik, Teil 2: Dynamik
Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- [2] Klotter, K. (1981)
Technische Schwingungslehre, Bd. 1, Teil A: Lineare Schwingungen, Teil B:
Nichtlineare Schwingungen, Bd. 2: Schwinger von mehreren Freiheitsgraden,
Springer, Berlin
- [3] Kolousek, V. (1962)
Dynamik der Baukonstruktionen
VEB-Verlag f. Bauwesen, Berlin
- [4] Krämer, E. (1984)
Maschinendynamik
Springer, Berlin
- [5] Lehmann, T. (1979)
Elemente der Mechanik IV: Schwingungen, Variationsprinzip
Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig
- [6] Lipinski, J. (1972)
Fundamente und Tragkonstruktionen für Maschinen
Bauverlag, Wiesbaden
- [7] Lorenz, H. (1960)
Grundbau-Dynamik
Springer, Berlin
- [8] Müller, F. P. (1978)
Baudynamik, Betonkalender 1978
Ernst & Sohn, Berlin
- [9] Natke, H. G. (1989)
Baudynamik
B. G. Teubner, Stuttgart
- [10] Nowacki, W. (1974)
Baudynamik
Springer, Berlin
- [11] Petersen, Ch. (1996)
Dynamik der Baukonstruktion
Vieweg Verlag, Wiesbaden
- [12] Flesch, R. (1993)
Baudynamik, praxisgerecht
Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin
- [13] Meskouris, K. (1999)
Baudynamik, Modelle Methoden Praxisbeispiele
Ernst & Sohn, Berlin
- DIN 1311 Schwingungslehre
 - Bl. 1 Kinematische Begriffe, Febr. 1974
 - Bl. 2 Einfache Schwinger, Dez. 1974
 - Bl. 3 Schwingungssysteme mit endlich vielen Freiheitsgraden, Dez. 1974
 - Bl. 4 Schwingende Kontinua, Wellen, Febr. 1974

- DIN 4024 Maschinenfundamente
Bl. 1 Elastische Stützkonstruktionen für Maschinen mit Entwurf rotierender Massen, Mai 1983
- DIN 4024 Stützkonstruktionen für rotierende Maschinen
(vorzugsweise Tisch-Fundamente für Dampfturbinen), Jan. 1955
- DIN 4025 Fundamente für Amboßhämmer (Schabotte-Hämmer).
Hinweise für die Bemessung und Ausführung, Okt. 1958
- DIN 4112 Fliegende Bauten. Richtlinie für Bemessung und Ausführung, Febr. 1983
- DIN 4131 Antennentragwerke aus Stahl. Berechnung und Ausführung, März 1969
- DIN 4132 Kranbahnen, Stahltragwerke. Grundsätze für Berechnung, bauliche Durchführung und Ausführung, Febr. 1981
Beiblatt Erläuterungen, Febr. 1981
- DIN 4133 Schornsteine aus Stahl. Statische Berechnung und Ausführung, Aug. 1973
- DIN 4149 Bauten in deutschen Erdbebengebieten
Teil 1: Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, April 1981, Beiblatt 1
Teil 1: Zuordnung von Verwaltungsgebieten zu den Erdbebenzonen, April 1981
- DIN 4150 Erschütterung im Bauwesen
Teil 1: Grundsätze, Vorermittlung und Messung von Schwingungsgrößen
Vornorm, Sept. 1975
Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, März 1986
Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Mai 1986
- DIN 4178 Glockentürme. Berechnung und Ausführung, Aug. 1978
- VDI 205 Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von Maschinen,
Okt. 1964
- VDI 2057 Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen,
Mai 1987
Bl. 1 Grundlagen, Gliederung, Begriffe
Bl. 2 Bewertung
Bl. 3 Beurteilung
Bl. 4.1 Messung und Bewertung von Arbeitsplätzen in Gebäuden
Bl. 4.2 Messung und Bewertung von Arbeitsplätzen auf Landfahrzeugen
Bl. 4.3 Messung und Beurteilung für Wasserfahrzeuge
- VDI 2062 Schwingungsisolierung
Bl. 1 Begriffe und Methoden, Jan. 1976
Bl. 2 Isolierelemente, Jan. 1976
- VDI 3831 Schutzmaßnahmen gegen die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, allgemeine Schutzmaßnahmen, Beispiele, Nov. 1985
- KTA 2201 (Kerntechnische Anlagen): Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen
Teil 1 Grundsätze, Jan. 1975
Teil 2 Baugrund, Nov. 1982
Teil 4 Auslegung der maschinenelektrotechnischen Anlagenteile, Nov. 1983
Teil 5 Seismische Instrumentierung, Jan. 1977