

**Fassung  
Juni 2006**

**Programm**

# **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 Programmbeschreibung oder  
Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

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

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0  
Fax: +49 (0) 9673 1770  
E-Mail: [info@dlubal.com](mailto:info@dlubal.com)  
[www.dlubal.de](http://www.dlubal.de)

# Inhalt

Seite	Inhalt	Seite	Inhalt
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>	
1.1	Über DYNAM für Windows	3	
1.2	Das DYNAM-Team	3	
<b>2.</b>	<b>Installation von DYNAM</b>	<b>4</b>	
2.1	Systemanforderungen	4	
2.2	Installationsvorgang	4	
<b>3.</b>	<b>Arbeiten mit DYNAM</b>	<b>6</b>	
3.1	DYNAM starten	6	
3.2	Masken	6	
3.3	Eingabemasken	7	
3.3.1	Maske 1.1 Basisangaben	7	
3.3.2	Maske 1.2 Zusatzmassen	10	
3.3.3	Maske 1.3 Stab-Normalkräfte	11	
3.3.4	Maske 1.4 Zu berechnen	12	
3.3.5	Maske 1.5 Erregerfälle	14	
3.3.6	Maske 1.6 Dynamische Lastfälle	21	
3.3.7	Maske 1.7 Ersatzlasten	26	
3.4	Ergebnismasken	37	
3.4.1	Maske 2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen	37	
3.4.2	Maske 2.2 Eigenschwingungen	38	
3.4.3	Maske 2.3 Normierte Knotenverformungen	38	
3.4.4	Maske 2.4 Knotenmassen	39	
3.4.5	Maske 2.5 Ersatzmassenfaktoren	40	
3.4.6	Maske 2.6 Vergrößerungsfaktoren	40	
3.4.7	Maske 2.7 Schnittgrößen	41	
3.4.8	Maske 2.8 Auflagerkräfte	42	
3.4.9	Maske 2.9 Knotenverformungen	43	
3.4.10	Maske 2.10 Knotengeschwindigkeiten	44	
3.4.11	Maske 2.11 Knotenbeschleunigungen	44	
3.4.12	Export der DYNAM – Ergebnisse	45	
3.4.13	Maske 2.12 Generierte Ersatzlasten	46	
3.5	Pulldownmenüs	47	
3.5.1	Datei	47	
3.5.2	Hilfe	48	
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>49</b>	
4.1	Ergebnisgrafik	49	
4.2	Ausdrucken	50	
<b>5.</b>	<b>Theorie</b>	<b>53</b>	
<b>6.</b>	<b>Beispiele</b>	<b>59</b>	
6.1	Balken	59	
6.2	Fachwerkträger	60	
6.3	Betonschornstein	60	
6.4	Stahlrahmen unter Stoßbelastung	62	
6.5	Erdbebenersatzlasten nach DIN 4149	66	
6.6	Modalanalyse eines Rahmens	75	
<b>A:</b>	<b>Literatur</b>	<b>88</b>	

# 1. Einleitung

## 1.1 Über DYNAM für Windows

Sehr verehrte Anwenderinnen und Anwender von RSTAB und DYNAM!

Am Anfang dieses Handbuches möchten wir noch ein paar grundsätzliche Worte zu DYNAM 2004 sagen sowie einige Hinweise anbringen. Egal, ob Sie schon kundiger Benutzer einer Vorgängerversion sind oder das erste Mal mit 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 sind selbstverständlich auch in DYNAM 2004 in vollem Umfang zum Tragen gekommen.

DYNAM 2004 präsentiert sich Ihnen in der Windows-Fassung nicht nur rein optisch als ein fester Bestandteil von RSTAB. Die Ergebnisse der Eigenfrequenzermittlung (DYNAM BASIS), Fremderregung (DYNAM ZUSATZ I) und Erdbebenersatzlastgenerierung (DYNAM ZUSATZ II) können inklusive Grafiken in das Ausdruckprotokoll von RSTAB 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 RSTAB und DYNAM wünscht Ihnen

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

## 1.2 Das DYNAM-Team

- Programmkoordinierung:  
Dipl.-Ing. Georg Dlubal  
Ing. Josef Simicek  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
- Programmierung:  
Dr.-Ing. Jaroslav Lain  
Ing. Vaclav Sycora
- Programmkontrolle:  
Dipl.-Ing. Georg Dlubal  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann  
Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
- Handbuch und Hilfesystem:  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann

## 2. Installation von DYNAM

### 2.1 Systemanforderungen

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

- Benutzeroberfläche Windows WIN 2000/XP
- Prozessor mit 1000 Mhz (2000 Mhz)
- 256 MB Arbeitsspeicher (512 MB)
- CD-ROM- und 3,5-Zoll-Diskettenlaufwerk für die Installation
- 5 GB Festplattenkapazität, davon zirka 500 MB für die Installation
- Grafikkarte mit 64 MB und einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel (Open GL)

Mit Ausnahme des Betriebssystems sprechen wir aber bewusst keine Produktempfehlungen aus, da RSTAB und seine Zusatzmodule grundsätzlich auf allen Systemen laufen, die vorgenannte Leistungsanforderungen erfüllen. Da RSTAB und 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 RSTAB-CD automatisch gestartet. Da das Zusatzmodul DYNAM 2004 vollkommen in RSTAB 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 RSTAB-Installation mit installiert.



Abbildung 2.1: Aufforderung zum Einlegen der Autorisierungsdiskette

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



Abbildung 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 RSTAB 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 entsprechende Lizenz auf der Autorisierungsdiskette verzeichnet ist. Eine Ausnahme bildet RSTAB 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 RSTAB-CD verfügbaren Programme manuell festlegen. Module, die nicht direkt in RSTAB integriert sind und deren Lizenz nicht vorliegt, sind in dieser benutzerdefinierten Installationsart mit [Demo] gekennzeichnet.

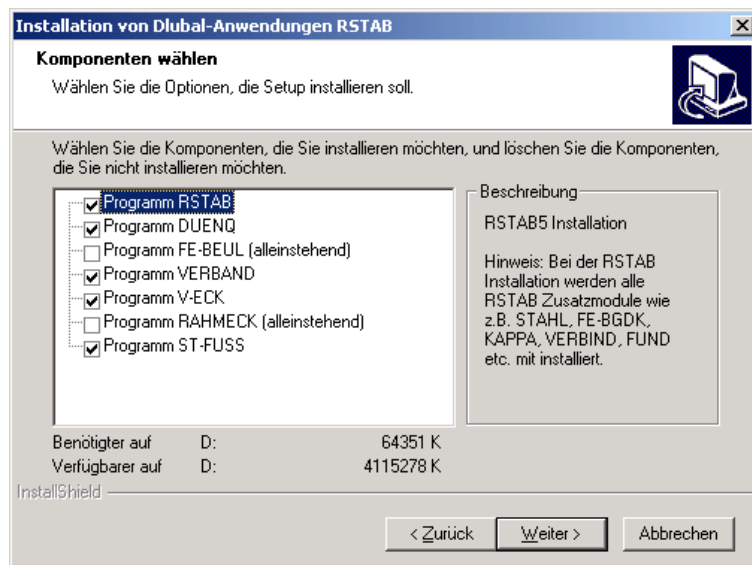
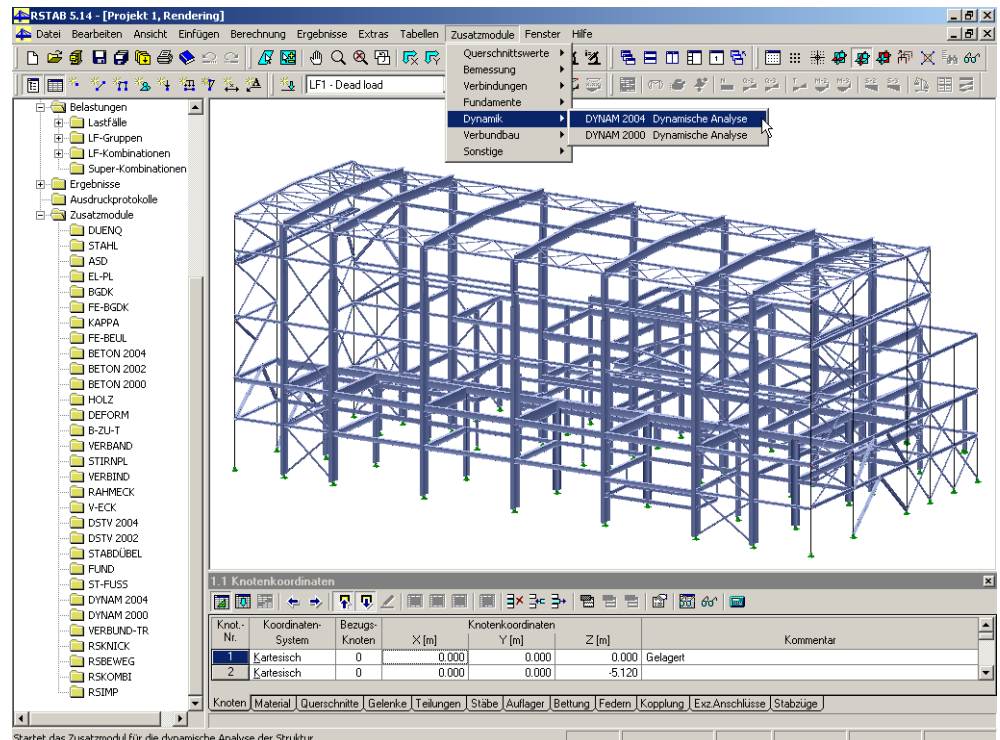


Abbildung 2.3 Benutzerdefinierte Installation bei vorhandener Autorisierung

## 3. Arbeiten mit DYNAM

### 3.1 DYNAM starten

Das Modul DYNAM kann entweder aus dem Pulldownmenü *Zusatzmodule* → *Dynamik* aufgerufen werden oder über den entsprechenden Eintrag unter [Zusatzmodule] im *Positions-* bzw. *Projekt-Navigator* (links in der RSTAB-Oberfläche).

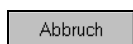
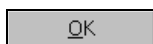


Aufruf von DYNAM 2004 über das Pulldownmenü Zusatzmodule oder den Navigator

### 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 DYNAM 2004 den DYNAM-Navigator, der alle aktuell anwählbaren Masken anzeigt. Unterhalb der Titelleiste befinden sich die zwei Pulldownmenüs *Datei* 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 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 DYNAM die Eingaben und Ergebnisse, während [Abbruch] ein Beenden ohne Sicherung zur Folge hat. [Hilfe] beziehungsweise die Taste [F1] aktivieren die Online-Hilfe.

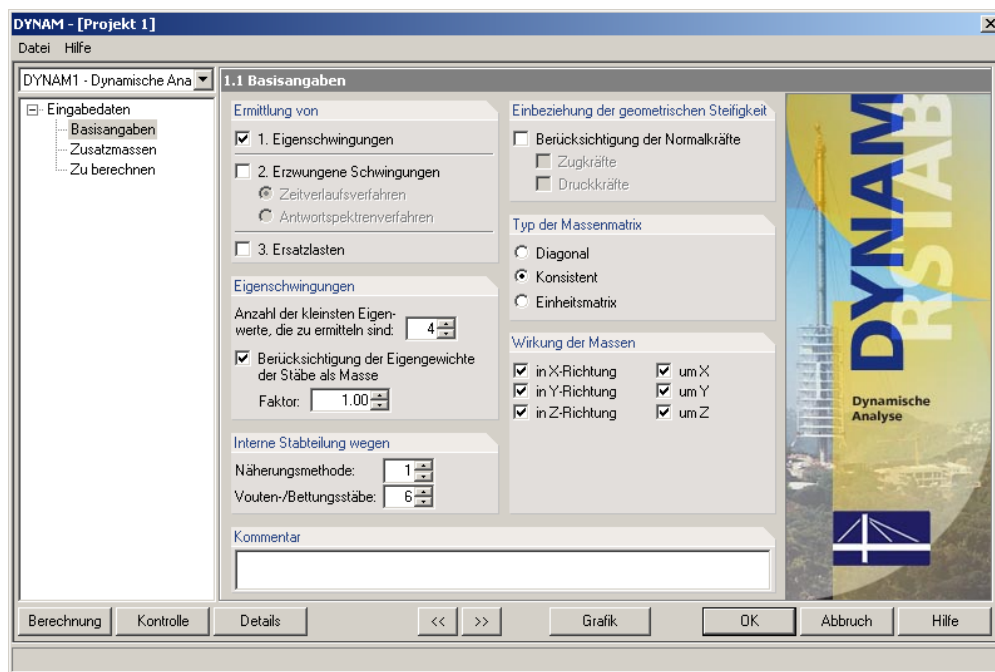


## 3.3 Eingabemasken

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

### 3.3.1 Maske 1.1 Basisangaben

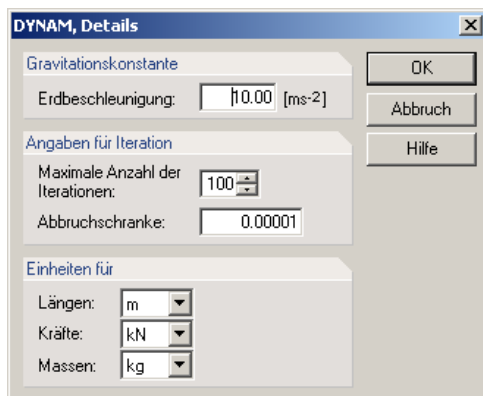
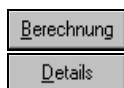
Nach dem Aufruf von DYNAM 2004 wird das DYNAM-Fenster mit der Maske 1.1 *Basisangaben* eingeblendet.



Maske 1.1 Basisangaben

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

Den aktuellen DYNAM-Fall können Sie zudem mit einem *Kommentar* versehen. Bevor Sie die [Berechnung] starten, bietet Ihnen [Details] eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten hinsichtlich der Berechnung.



DYNAM, Details

#### Ermittlung von

Unter diesem Punkt können Sie zwischen Ihren erworbenen Modulen **DYNAM Basis** (= *Eigenschwingungen*), **DYNAM Zusatz I** (= *Erzwungene Schwingungen*) sowie **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 DYNAM ZUSATZ I voll nutzbar und lässt eine Definition von Erregerlasten in Maske 1.5 und 1.6 zu. Sollte Ihnen nur DYNAM BASIS vorliegen, so kann in diesem Kontrollfeld ein Häkchen gesetzt werden und DYNAM ZUSATZ I als Demoversion gestartet werden.

#### Ersatzlasten

Diese Option ist nur bei Vorhandensein einer Lizenz von 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 DYNAM BASIS vorliegen, kann dieses Teilbereich nur als Demo gestartet werden.

#### Eigenschwingungen

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 Eigenwerte* kann festgelegt werden, wie viele Eigenwerte DYNAM berechnen soll. Es lassen sich maximal die 200 niedrigsten Eigenfrequenzen eines Systems ermitteln.

#### Berücksichtigung der Eigengewichte der Stäbe als Masse

Aus den in RSTAB definierten Strukturdaten kann DYNAM die aus den Stäben resultierenden Masse des Systems ermitteln. Über dieses Eingabefeld wird ein Faktor definiert, mit dem die Masse multipliziert wird. Bei Eingabe des Wertes *Null* wird die Masse aus den Stäben bei der dynamischen Analyse nicht berücksichtigt.

#### Interne Stabteilung wegen

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 Einfeldbalken 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 dasselbe durch eine äquivalente Strukturdefinition in RSTAB erreichen, wäre der Balken durch einen Zwischenknoten zu teilen.

#### Einbeziehung der geometrischen Steifigkeit

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

Über die beiden Kontrollfelder wird geregelt, ob *Zugkräfte* und/oder *Druckkräfte* berücksichtigt werden sollen. Zugkräfte führen in einem Stab zur Erhöhung der Eigenfrequenz. Falls diese Option bestätigt wird, ist die Maske 1.3 zugänglich.



#### Typ der Massenmatrix

Der Typ der Massenmatrix bestimmt maßgeblich die Genauigkeit der ermittelten Eigenfrequenzen – aber auch die dazu benötigte Rechenzeit. Bei der Wahl der konsistenten Massenmatrix werden dieselben mathematischen Formeln zur Aufstellung der Massenmatrix herangezogen wie bei der Zusammenstellung der Steifigkeitsmatrix. Die Genauigkeit ist hier am größten, dies führt jedoch zu längeren Rechenzeiten.

Im Falle der diagonalen Massenmatrix wird die Matrix im Gegensatz zur konsistenten soweit vereinfacht, dass die Massen an den Strukturknoten konzentriert werden.

Die Einheitsmatrix weist denselben Aufbau wie die Diagonalmassenmatrix auf, enthält jedoch nur die Einheitsmasse, aber nicht die tatsächliche Masse des Systems. Mit anderen Worten: Es wird nur die Verschiebungskomponente der Masse berücksichtigt. Die Einheitsmatrix dient der Berechnung der Spektralwerte der Steifigkeitsmatrix. Wird die Einheitsmatrix vorgewählt, so erfolgt keine Normierung mehr, da die Massenmatrix bereits als Einheitsmatrix vorliegt. Die berechneten Werte sind deshalb einheitenbehaftet.

Die Einheit entspricht der der Steifigkeitsmatrix. Nach Wahl der Einheitsmassenmatrix ist die Berechnung der Knoten- und Ersatzmassen nicht möglich. Die dynamischen Module DYNAM ZUSATZ I und DYNAM ZUSATZ II können nicht gestartet werden, da die Spektralwerte der Steifigkeitsmatrix nicht als Eigenwerte der Struktur angesehen werden können und somit falsche Ergebnisse aus der weiterführenden dynamischen Analyse folgen würden.

#### Wirkung der Massen

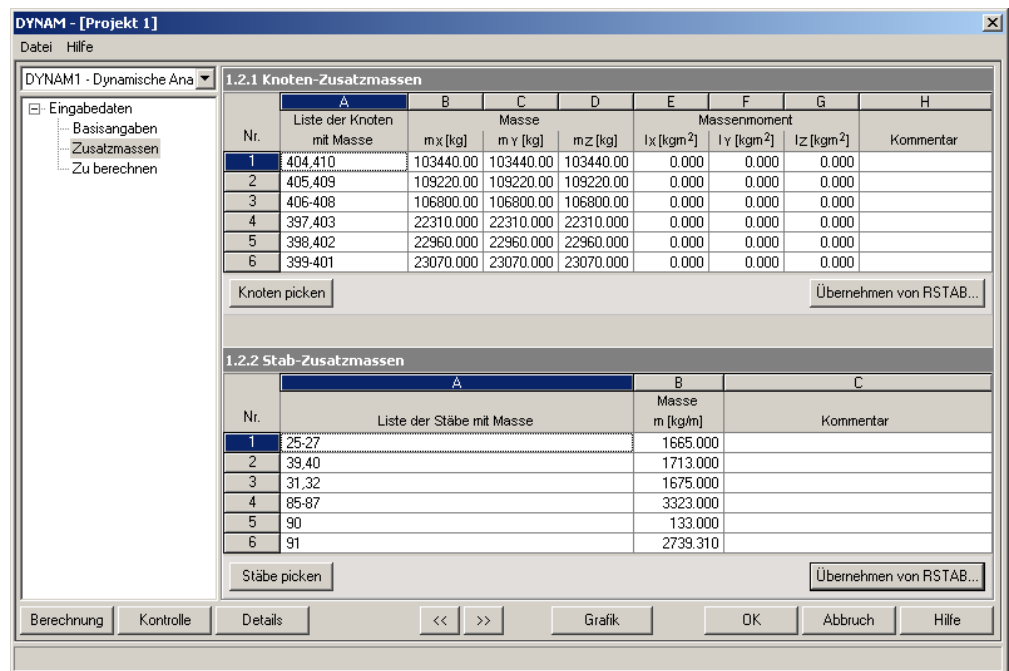
In diesem Dialogabschnitt wird festgelegt, in welchen globalen Raumrichtungen die Massen berücksichtigt werden sollen. Als Massen werden in DYNAM sowohl die aus den Stäben resultierende Masse als auch die in den Masken 1.2.1 *Knotenmassen* und 1.2.2 *Stab-Zusatzmassen* definierten Vorgaben berücksichtigt.

#### Kommentar

Hier besteht eine Eingabemöglichkeit für benutzerdefinierte Anmerkungen.

### 3.3.2 Maske 1.2 Zusatzmassen

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



**1.2.1 Knoten-Zusatzmassen**

Nr.	Liste der Knoten mit Masse	Masse			Massenmoment			Kommentar
		m <sub>x</sub> [kg]	m <sub>y</sub> [kg]	m <sub>z</sub> [kg]	I <sub>x</sub> [kgm <sup>2</sup> ]	I <sub>y</sub> [kgm <sup>2</sup> ]	I <sub>z</sub> [kgm <sup>2</sup> ]	
1	404.410	103440.00	103440.00	103440.00	0.000	0.000	0.000	
2	405.409	109220.00	109220.00	109220.00	0.000	0.000	0.000	
3	406.408	106800.00	106800.00	106800.00	0.000	0.000	0.000	
4	397.403	22310.000	22310.000	22310.000	0.000	0.000	0.000	
5	398.402	22960.000	22960.000	22960.000	0.000	0.000	0.000	
6	399.401	23070.000	23070.000	23070.000	0.000	0.000	0.000	

Knoten picken Übernehmen von RSTAB...

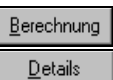
**1.2.2 Stab-Zusatzmassen**

Nr.	Liste der Stäbe mit Masse	Masse m [kg/m]	Kommentar
1	25-27	1665.000	
2	39.40	1713.000	
3	31.32	1675.000	
4	85-87	3323.000	
5	90	133.000	
6	91	2739.310	

Stäbe picken Übernehmen von RSTAB...

Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 1.2 Knoten- und Stab-Zusatzmassen



Eine komfortable Übernahme der RSTAB-Lasten ist mit der Schaltfläche [Übernehmen von RSTAB] möglich. Hierbei werden jedoch nur diejenigen Lasten übernommen, die in Richtung der Z-Achse beziehungsweise als G definiert wurden. Sollten nur einzelne Knoten- bzw. Stablasten in DYNAM definiert werden, so kann dies mit Hilfe der jeweiligen Auswahlfunktion [Stäbe picken] geschehen oder per Hand erfolgen.

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.

#### 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

#### Liste der Stäbe mit Masse

Nummern der belasteten Stäbe, auf die eine Zusatzmasse aufgebracht werden soll

#### Masse [kg/Längeneinheit]

Betrag der Masse, mit dem die jeweiligen Stäbe behaftet werden sollen

### 3.3.3 Maske 1.3 Stab-Normalkräfte

Damit die in den Stäben wirkenden Normalkräfte in die Eigenfrequenzberechnung einfließen, ist zunächst in Maske 1.1 *Basisangaben* die Option *Berücksichtigung der Normalkräfte* zu aktivieren. Damit wird die Maske 1.3 *Stab-Normalkräfte* zugänglich. Die Normalkraft ist analog den Stab-Zusatzmassen in Maske 1.2 einem oder mehreren Stäben zuzuordnen.

Nr.	Liste der Stäbe mit Normalkräfte	Normalkraft N1 [N]	Kommentar
1	1,2	-340.0	
2	3,4	-280.0	
3	5,7	-240.0	
4	8-10	-180.0	
5	11,12	-120.0	
6	13-17	-50.0	
7	24	340.0	
8	25,26	310.0	
9	27-29	260.0	
10	30,31	210.0	
11	32-34	150.0	
12	35-38	90.0	
13	39-45	20.0	
14	47	-30.0	
15	48	60.0	
16	49	-50.0	
17	50	50.0	
18	51	-50.0	
19	52	50.0	
20	53	-50.0	

Maske 1.3 Stab-Normalkräfte

#### Liste der Stäbe mit Normalkräften

In diesen Eingabefeldern sind die Nummern der Stäbe einzutragen, die mit der in Spalte B eingetragenen bezogenen Normalkraft zusätzlich belegt werden sollen.

#### Normalkraft N<sub>1</sub>

Hier ist die Größe der Normalkraft einzutragen, die den in den ersten Spalten dieser Maske festgelegten Stäben zugeordnet werden soll.

Mit der Option [Übernehmen von RSTAB] lassen sich Normalkräfte bestimmter Lastfälle automatisch einlesen.

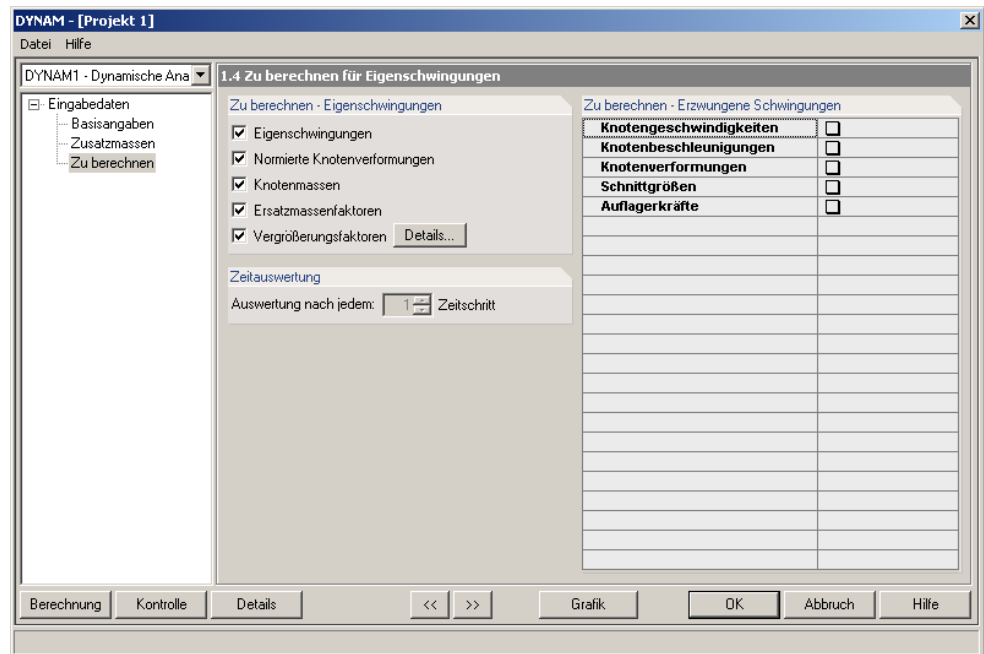
Normalkräfte aus RSTAB übernehmen

Die zu übernehmenden Normalkräfte können zudem mit einem globalen Faktor versehen werden.

Wenn in der Maske 1.1 *Basisangaben* nur Druck- oder Zugkräfte aktiviert wurden, so sind die deaktivierten Kräfte grau hinterlegt und werden in der Analyse nicht mit berücksichtigt.

### 3.3.4 Maske 1.4 Zu berechnen

Diese Maske wird je nach Auswahl in der Maske 1.1 *Basisangaben* unterschiedlich aufgebaut. Bei einer reinen Eigenfrequenzanalyse erscheint die Maske wie folgt. Die Auswahl der Ergebnisse aus erzwungenen Schwingungen wird grau hinterlegt.



Maske 1.4 Zu berechnen für Eigenschwingungen

#### Normierte Knotenverformungen

Als weitere Ergebnismaske steht in diesem Fall die Maske 2.3 zur Verfügung. Die Verschiebung der Knoten wird im Unterschied zu der Darstellung der Eigenformen in Maske 2.2 normiert auf die größte Verschiebung dargestellt.

#### Knotenmassen

Nach Wahl der Massenmatrix teilt DYNAM die Gesamtmasse der Struktur den Strukturknoten 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 2.4.

#### Ersatzmassenfaktoren

Mit dieser Option werden in der Ergebnismaske 2.5 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.

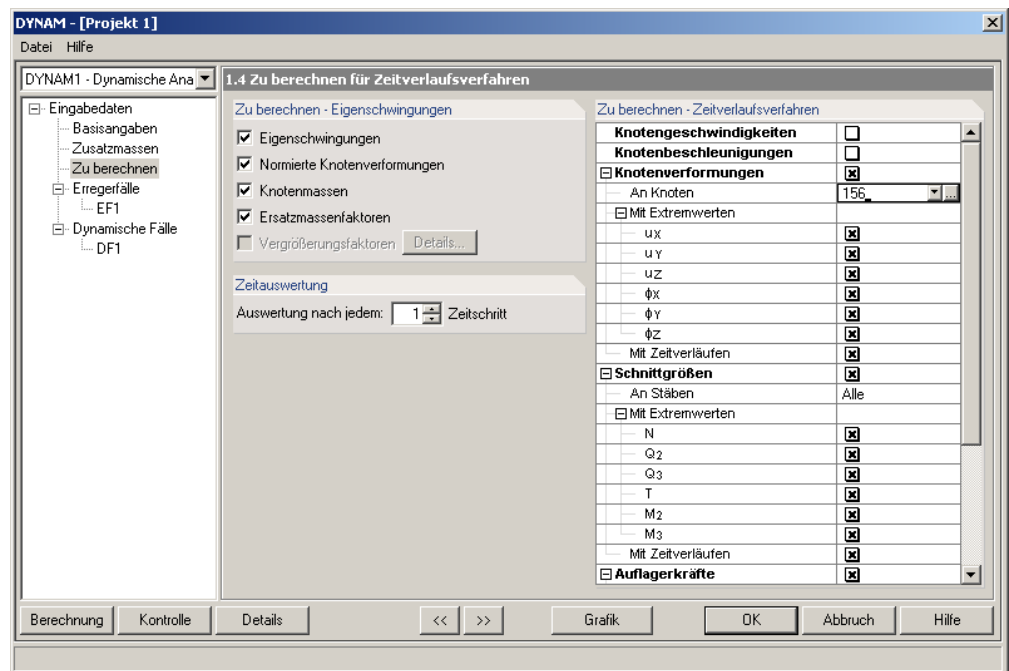
#### Vergrößerungsfaktoren

Hiermit lässt sich das Resonanzspektrum von Erregerfrequenzen erfassen. Über die Schaltfläche [Details] werden das Lehrsche Dämpfungsmaß und die Erregerfrequenz der Lasteinwirkung definiert.



Vergrößerungsfaktoren, Details

Falls in Maske 1.1 *Basisangaben* eine erzwungene Schwingung ausgewählt wurde, erscheint die Maske 1.4 wie folgt.



Maske 1.4 Zu berechnen für Zeitverlaufsverfahren

In dieser Eingabemaske legt der Anwender fest, welche Informationen nach dem Rechengang ausgegeben werden sollen.

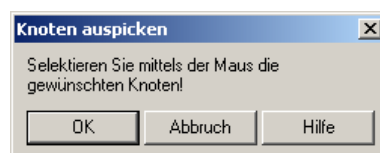
#### Zeitauswertung

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.



Knoten grafisch auswählen

212,217

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

### 3.3.5 Maske 1.5 Erregerfälle

Diese Maske und die folgende Eingabemaske 1.6 kann lediglich geöffnet werden, wenn das Modul 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 1.5 folgende drei Erregertypen zur Verfügung:

- Akzelerogramm
- Harmonische Lasten
- Tabellierte Lasten

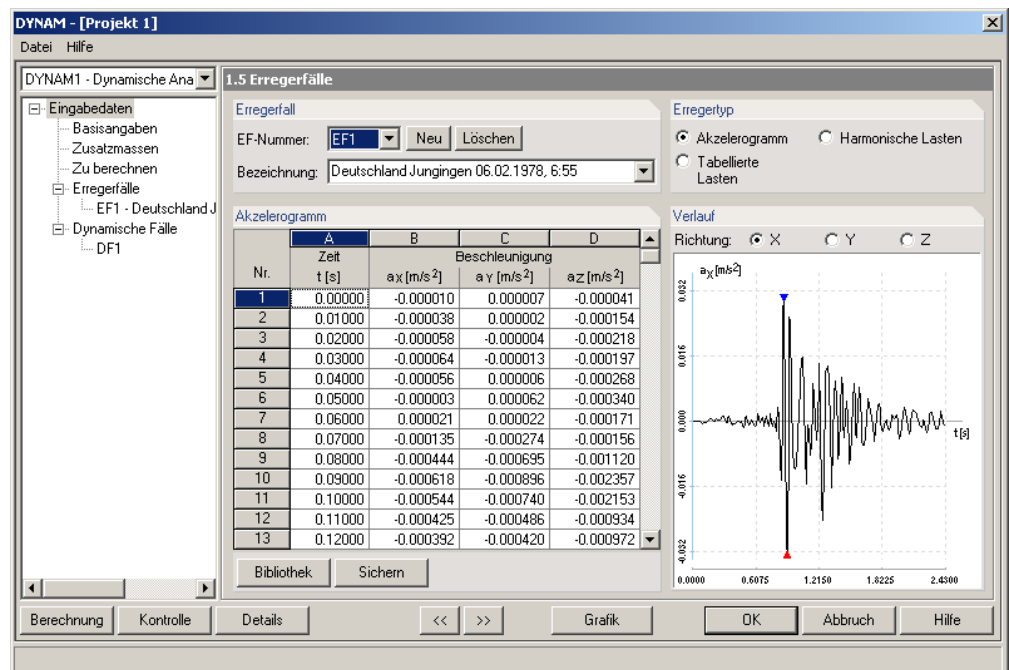
*Antwortspektren* lassen sich ebenfalls in der Maske 1.5 definieren, hierzu muss aber in Maske 1.1 *Basisangaben* das Antwortspektrenverfahren ausgewählt worden sein.

#### Akzelerogramm

Ein oder mehrere Auflagerknoten lassen sich durch Eingabe von Zeit-Beschleunigungs-Tabellen 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:

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



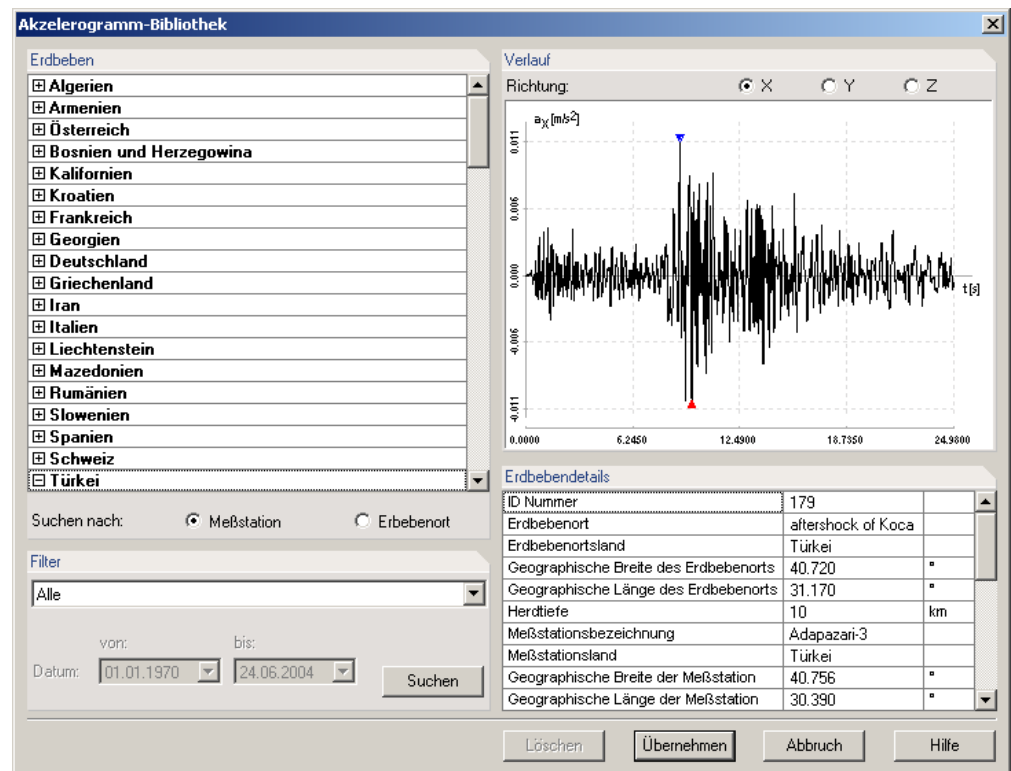
Maske 1.5 Erregerfälle beim Zeitverlaufsverfahren

### 3.3 Eingabemasken

Bibliothek

Sichern

Das Programm 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.



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.

Filter

Datum

von: 01.01.1990 bis: 28.06.2004

Datum: 01.01.1990 28.06.2004

Suchen

Filterfunktion der *Akzelerogramme*

Sichern

Um eigene Akzelerogramme zu speichern, kann nach deren Eingabe in Maske 1.5 mit der Schaltfläche [Sichern] folgendes Fenster geöffnet werden.

Meßstationsland *	Test	
Meßstationsbezeichnung *	Test	
Erdbebenort *	Test	
Erdbebenortsland *	Test	
Datum *	01.01.2000	
Uhrzeit *	00:00	
Epizentralentfernung der Meßstation	0.000	km
Geographische Breite der Meßstation	0.000	°
Geographische Länge der Meßstation	0.000	°
Herdiefe	0.000	km
Lokaler Untergrund/Baugrund	Mustergrund	
Meßzeit	20.970000	s
Meßzeitschritt	0.010000	s
Musteranzahl	2098.000000	
Maximale Beschleunigung in X-Richtung	1.327000	m/s <sup>2</sup>

Speichern unter: Test, Test, 01.01.2000, 00:00

OK Abbruch Hilfe

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*.

<input checked="" type="checkbox"/> 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

Gespeicherte *Eigene Akzelerogramme*

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

Übernehmen

Um eigendefinierte oder auch bestehende *Akzelerogramme* in die Maske 1.5 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.

Richtung definieren

Winkel

$\alpha$ : 0.00

Transformationsmatrix

$a_x =$  1.00000  $x' +$  0.00000  $y'$

$a_y =$  0.00000  $x' +$  1.00000  $y'$

OK Abbruch Hilfe

Erdbebenwirkung übernehmen



#### Tabellierte Lasten

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

Nr.	A Zeit t [s]	B Kraft F [N]	C Moment M [Nm]
1	0.00000	0.0	0.000
2	0.00300	1000.0	0.000
3	0.00600	0.0	0.000
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Maske 1.5 Erregerfälle des Typs *Tabellierte Lasten*

Bibliothek  
Sichern

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.

Tabellierte Last sichern

Übernehmen

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

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:

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

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

Erregerfall *Harmonische Lasten*

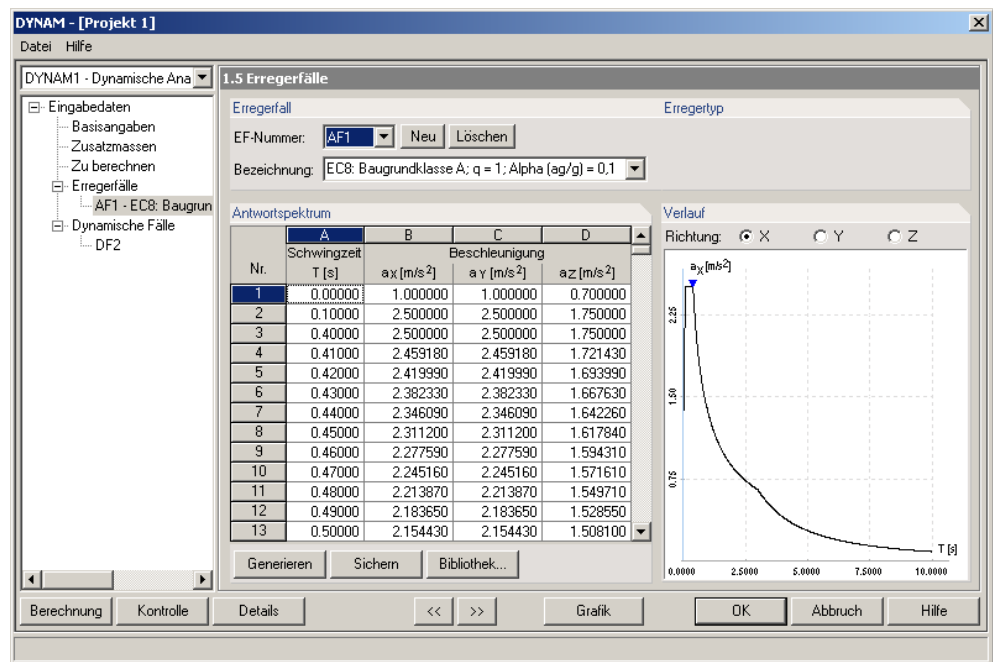
Das [Sichern] und [Übernehmen] der *Harmonischen Lasten* wird wie bei den Akzelerogrammen und Tabellierten Lasten über die [Bibliothek] gehandhabt.

Bibliothek der *Harmonischen Lasten*

#### Antwortspektrum

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

Die Eingabemaske 1.5 der Beschleunigungs-Antwortspektren wird nur aktiv, wenn in Maske 1.1 unter *Erzwungene Schwingungen* das *Antwortspektrenverfahren* ausgewählt wurde.



Maske 1.5 Erregerfälle *Antwortspektrum*

Die Erregerfallnummern werden hier nicht mehr als EF1, EF2 etc. bezeichnet, sondern als AF1, AF2 etc. (für **Antwortspektren-Fall**).

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

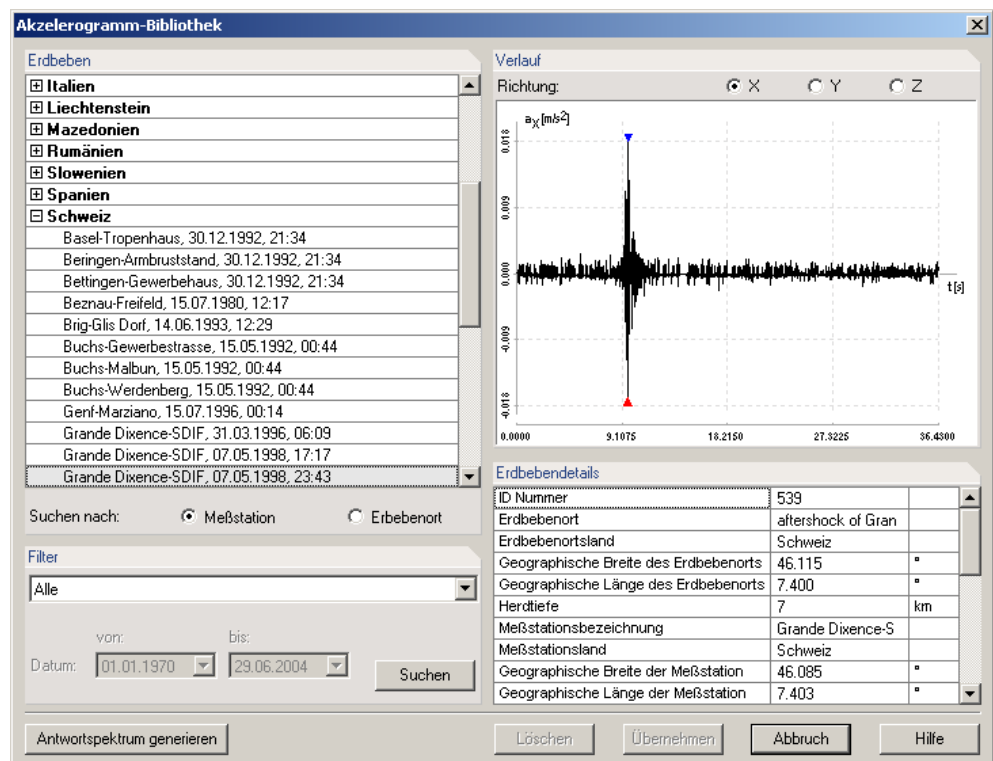
In der Bibliothek der Antwortspektren stehen fertige Spektren aus der DIN 4149, dem EC 8 und dem UBC 97 zur Verfügung. Bitte beachten Sie hierbei, dass es sich bei diesem Spektren um eine bestimmte Auswahl handelt, die über fest gewählte Normparameter generiert wurden. Diese Spektren sind natürlich jederzeit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

Die Schaltfläche [Generieren] 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.

Sichern

Bibliothek

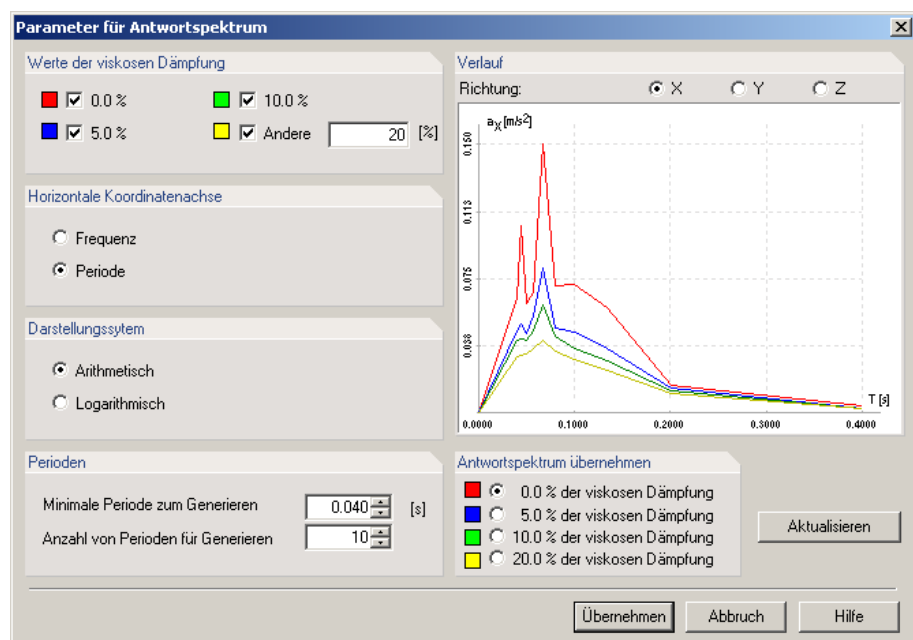
Generieren



Akzelerogramm-Bibliothek mit Option [Antwortspektrum generieren]

Antwortspektrum generieren

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



Parameter für die Generierung der Antwortspektren

#### Werte der viskosen Dämpfung

Aktualisieren

Über den zu definierenden Wert der viskosen Dämpfung lässt sich der grafische Antwortspektren-*Verlauf* im Vorschauenfenster 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 Vorschaufenster 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 Vorschau-grafik 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.

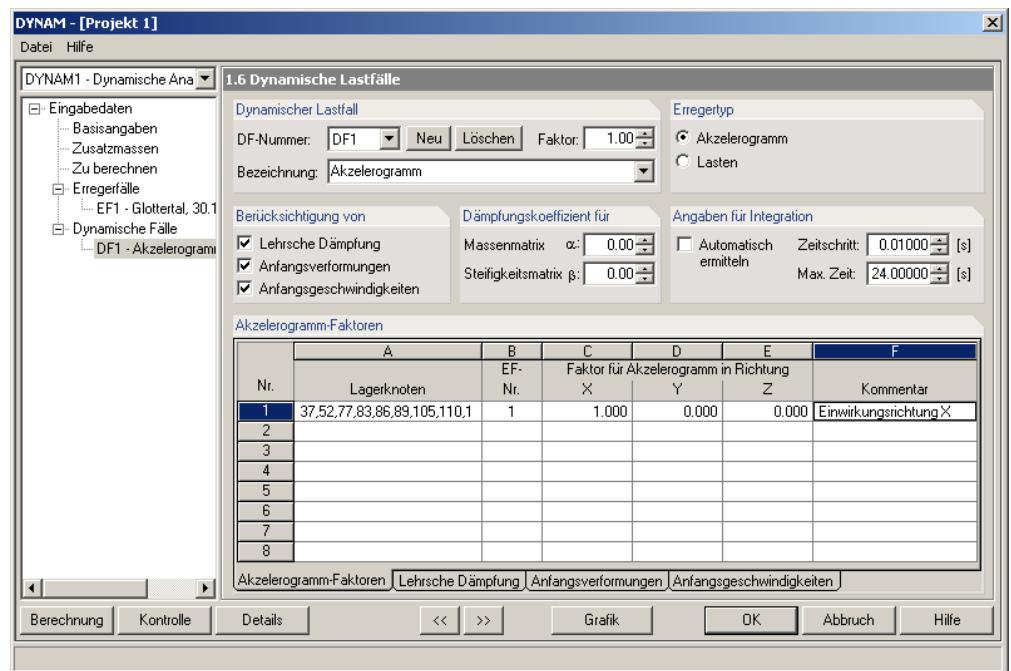
Übernehmen

### 3.3.6 Maske 1.6 Dynamische Lastfälle

Je nach Definition des Erregertyps in Maske 1.5 (Akzelerogramm, Antwortspektrum oder harmonische bzw. tabellierte Lasten) öffnet sich eine Eingabemaske zur Definition der *Akzelerogramm-Faktoren*, *Antwortspektrum-Faktoren* bzw. *Belastungs-faktoren*.

#### 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 1.5 ein Akzelerogramm, Antwortspektrum oder Erregerkräfte definiert wurden, öffnet sich in Maske 1.6 die entsprechende Eingabemaske zur Definition der jeweiligen Faktoren.



**1.6 Dynamische Lastfälle**

Dynamischer Lastfall

DF-Nummer:    Faktor:

Bezeichnung:

Erregertyp

☒ Akzelerogramm

☐ Lasten

Berücksichtigung von

☒ Lehrsche Dämpfung

☒ Anfangsverformungen

☒ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für

Massenmatrix  $\alpha$ :

Steifigkeitsmatrix  $\beta$ :

Angaben für Integration

☐ Automatisch ermitteln

Zeitschritt:  [s]

Max. Zeit:  [s]

Akzelerogramm-Faktoren

Nr.	Lagerknoten	EF-Nr.	Faktor für Akzelerogramm in Richtung X	Y	Z	Kommentar
1	37,52,77,83,86,89,105,110,1	1	1.000	0.000	0.000	Einwirkungsrichtung X
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Maske 1.6 Dynamische Lastfälle – Akzelerogramm-Faktoren

**DYNAM - [Projekt 1]**  
Datei Hilfe

**DYNAM1 - Dynamische Ana**

**1.6 Dynamische Lastfälle**

Dynamischer Lastfall  
DF-Nummer: **DF1**   Faktor: 1.00  
Bezeichnung: **Unwucht Kompressor**

Erregetyp  
☐ Akzelerogramm  
☒ Lasten

Berücksichtigung von  
☒ Lehrsche Dämpfung  
☒ Anfangsverformungen  
☒ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für  
Massenmatrix  $\alpha$ : 0.00  
Steifigkeitsmatrix  $\beta$ : 0.00

Angaben für Integration  
☐ Automatisch ermitteln  
Zeitschritt: 0.01000 [s]  
Max. Zeit: 5.00000 [s]

Belastungsfaktoren

Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Knoten	EF-Nr.	Faktor für Kraft in Richtung			Faktor für Moment um Achse			
			X	Y	Z	X	Y	Z	Kommentar
1	3,42,45,49,67,72,7	1	0.000	0.000	1.250	0.000	0.000	0.000	
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

Belastungsfaktoren | Lehrsche Dämpfung | Anfangsverformungen | Anfangsgeschwindigkeiten

Maske 1.6 Dynamische Lastfälle – Belastungsfaktoren

**DYNAM - [Projekt 1]**  
Datei Hilfe

**DYNAM1 - Dynamische Ana**

**1.6 Dynamische Lastfälle**

Dynamischer Lastfall  
DF-Nummer: **DF2**   Faktor: 1.00  
Bezeichnung: **EC8: Baugrundklasse A; q = 1; Alpha (ag/g) = 0,1**

Berücksichtigung von  
☒ Lehrsche Dämpfung  
☐ Anfangsverformungen  
☐ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für  
Massenmatrix  $\alpha$ : 0.00  
Steifigkeitsmatrix  $\beta$ : 0.00

Antwortspektrum  
Superposition-Regel: **SRSS**  
☒ Z-Faktor abhängig von Eigenperioden **CQC**

Antwortspektrum-Faktoren

Nr.	A	B	C	D	E	F
	Lagerknoten	AF-Nr.	Faktor für Antwortspektrum in Richtung			
			X	Y	Z	Kommentar
1	1,4,7,37,40,43,47,52,64,70,7	1	1.000	0.000		
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Antwortspektrum-Faktoren | Lehrsche Dämpfung | Anfangsverformungen | Anfangsgeschwindigkeiten

Maske 1.6 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.

Nr.	Eigenperiode [sec]	Faktor für Z-Richtung
1	0.000	0.700
2	0.150	0.700
3	0.500	0.500
4	1.000	0.500
5		
6		
7		
8		

Eigenperioden abhängiger Z-Faktor

#### Lehrsche Dämpfung

Das einer Eigenfrequenz zugehörige Dämpfungsmaß ist ein dimensionsloser Koeffizient der proportionalen Dämpfung der entsprechenden Eigenform des Stabwerks. Es beschreibt das Verhältnis von vorhandener zu kritischer Dämpfung. Bei praktischen Berechnungen muss man die Tatsache berücksichtigen, dass die Anwendung der Lehrschen Dämpfung von der Voraussetzung ausgeht, dass die Eigenformen des gedämpften Systems gleich den Eigenformen des ungedämpften Systems sind. Diese Voraussetzung ist nur für kleine Werte des Dämpfungsmaßes annehmbar.

Nr.	Eigenfrequenz-Nr.	Lehrsches Dämpfungsmaß $D_i$ [-]	Kommentar
1	1	0.020	
2	2	0.020	
3	3	0.020	
4	4	0.020	
5			
6			
7			
8			

Maske 1.5 Dynamische Lastfälle – Lehrsche Dämpfung

#### 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 DYNAM die Methode

der Projektion auf den Unterraum der Eigenvektoren angewendet, können die Anfangsbedingungen nicht beliebig sein. Der vorgeschriebene Vektor der Anfangsbedingungen muss eine lineare Kombination der Eigenvektoren darstellen (siehe Kapitel 5 dieses Handbuchs).

Nr.	Knoten	Verschiebung [m]			Verdrehung [rad]			Kommentar
		$u_x(t=0)$	$u_y(t=0)$	$u_z(t=0)$	$\phi_x(t=0)$	$\phi_y(t=0)$	$\phi_z(t=0)$	
1	5	0.100	0.150	0.050	0.000	0.000	0.000	
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

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.

Nr.	Knoten	Geschwindigkeit [m/s]			Dreh-Geschwindigkeit [rad/s]			Kommentar
		$u'_x(t=0)$	$u'_y(t=0)$	$u'_z(t=0)$	$\phi'_x(t=0)$	$\phi'_y(t=0)$	$\phi'_z(t=0)$	
1	22,28,46	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

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 $\alpha$

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

##### Steifigkeitsmatrix $\beta$

Hier wird der Koeffizient  $\beta$  der steifigkeitsproportionalen Dämpfung bestimmt. Die Maßeinheit für  $\beta$  ist [s].

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

Das Dämpfungsmaß einschließlich des Lehrschen Dämpfungsmaßes  $D_i$  für die  $i$ -te Eigenkreisfrequenz  $\omega_i$  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  $\Delta t$  ist so zu wählen, dass

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

##### Automatisch ermitteln



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 1.5 übernommen. Als *Max. Zeit* wird das Zeitende der Eingabe aus Maske 1.5 angesetzt.

### 3.3.7 Maske 1.7 Ersatzlasten

Diese Maske kann nur dann geöffnet werden, wenn der Anwender den ZUSATZ II von DYNAM erworben hat.

#### Ersatzlast

**Ersatzlast**

EL-Nummer:

Bezeichnung (der LK)

Generieren nach Norm: 

- DIN 4149
- EUROCODE 8
- IBC 2000

In diesem Abschnitt können Sie neue Ersatzlast-Nummern (*EL*) festlegen, *Bezeichnungen* vergeben oder bereits vorhandene Ersatzlast-Fälle löschen.

Die Auswahlliste *Generieren nach Norm* eröffnet den Zugang zur Eingabemaske unterhalb, in der die Eingabeparameter nach **DIN 4149**, **EUROCODE 8** oder **IBC 2000** festgelegt werden können.

#### Wahl der Eigenformen

**Wahl der Eigenformen**

Nr.	A Zu generieren	B Eigenform Nr.	C Generieren in RSTAB-LF Nr.	D Auto	E Beiwert des normierten Antwortspektrums $\beta$ [-]	F LF-Bezeichnung Kommentar
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 1.20093 Hz	1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6113	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 2.06888 Hz	2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.9445	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 2.64449 Hz	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0000	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 2.76724 Hz	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0000	

#### Zu generieren und Eigenform Nr.

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

#### Generieren in RSTAB-LF Nr.

Hier wird angegeben, in welchen RSTAB-Lastfall die generierten Ersatzlasten übernommen werden sollen. Die Wirkungsrichtung des Erdbebens entspricht hierbei immer der Richtung der Eigenschwingung.

#### Auto

Die Bestätigung dieses Eingabefeldes hat zur Folge, dass der Beiwert  $\beta$  des normierten Antwortspektrums automatisch ermittelt wird. Eine freie Eingabe von  $\beta$  ist jedoch auch möglich, um eine Ermittlung der Ersatzlasten mit Eingangswerten, die außerhalb der DIN 4149 liegen, zu ermöglichen.

#### Beiwert $\beta$ des normierten Antwortspektrums

Dieser Wert ergibt sich als Funktion der Eigenperiode  $T$ .

#### LF-Bezeichnung Kommentar

Jeder generierte Lastfall kann hier bereits benannt werden, d. h. die Bezeichnung des RSTAB-Lastfalls lässt sich hier festlegen.

#### Export in RSTAB

Export in RSTAB

☒ Generierte Lastfälle  
zusammenfassen in LK:

Überlagerungsart:

☐ Linear ☒ Quadratisch

Alle im Abschnitt *Wahl der Eigenformen* angegebenen Lastfallnummern der Spalte C können hier automatisch in einer Lastfallkombination zusammengefasst werden. Als *Überlagerungsart* steht dabei eine *Lineare* sowie eine *Quadratische* Möglichkeit zur Verfügung. Falls keine Generierung der Lastfälle als auch der Kombination erwünscht ist, kann diese Option deaktiviert werden. Die Spalte C wird dann grau hinterlegt.

#### Norm-Parameter DIN 4149

DYNAM - [Projekt 1]

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

1.7 Ersatzlasten

Ersatzlast

EL-Nummer:

Bezeichnung (der LK):

Generieren nach Norm:

Export in RSTAB

☒ Generierte Lastfälle  
zusammenfassen in LK:

Überlagerungsart:

☐ Linear ☒ Quadratisch

Norm-Parameter

Erdbebenzone:  Bauwerksklasse:

Regelwert  $a_0$ :  [m/s<sup>2</sup>] Abminderungsfaktor  $\alpha$ :

Faktor für Einfluss des Untergrundes  $\kappa$ :  Rechenwert  $\alpha$ :  [m/s<sup>2</sup>]

Wahl der Eigenformen

Nr.	Zu generieren	Eigenform Nr.	Generieren in RSTAB-LF Nr.	Beiwert des normierten Antwortspektrums $\beta$ [-]	LF-Bezeichnung
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 1.20093 Hz	1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6113 Eigenform 1
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 2.06888 Hz	2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.9445 Eigenform 2
3	<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 2.64449 Hz	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0000 Eigenform 3
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 2.76724 Hz	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0000 Eigenform 4

Maske 1.7 Ersatzlasten nach DIN 4149

#### 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 $\kappa$

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 $\alpha$

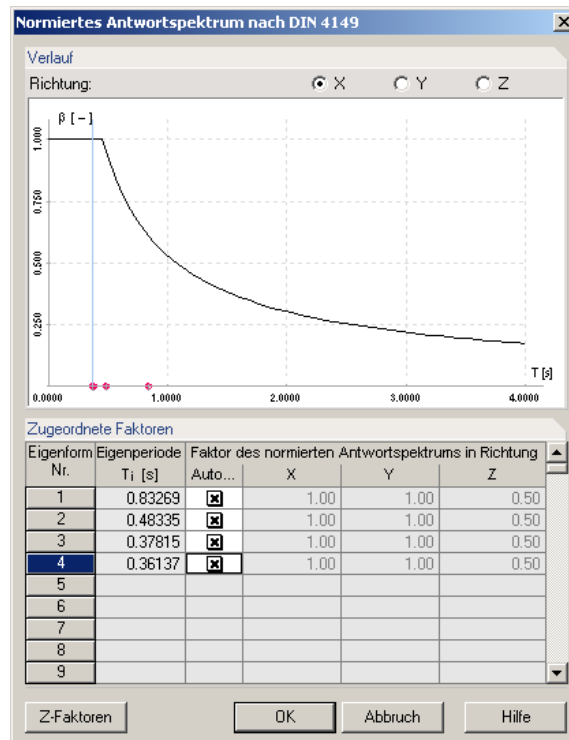
Die Regelwerte der Beschleunigung  $a_0$  dürfen in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse und der Erdbebenzone mit einem Abminderungsfaktor  $\alpha$  multipliziert werden. Näheres hierzu siehe DIN 4149, Kapitel 7.2.3.

#### Rechenwert $cal a$

Dieser Wert setzt sich aus dem Regelwert  $a_0$ , dem Abminderungsfaktor  $\alpha$  und dem Faktor für den Untergrund  $\kappa$  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. Wenn hier in der Spalte *Auto* das Kreuz deaktiviert wird, besteht die Möglichkeit, die Richtungsfaktoren für das Spektrum zu ändern.



Normiertes Antwortspektrum nach DIN 4149

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.

**Eigenperioden abhängiger Z-Faktor**

Nr.	A		B	
	Eigenperiode $T_i [s]$	Faktor für Z-Richtung		
1	0.000	0.500		
2	10.000	0.500		
3				
4				
5				
6				
7				
8				

OK Abbruch Hilfe Standard

Z-Faktoren

## Norm-Parameter EUROCODE 8

**DYNAM - [Projekt 1]**

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

Eingabedaten

- Basisangaben
- Zusatzmassen
- Zu berechnen
- Ersatzlasten
  - EL1 - Erdbeben
- Ergebnisse
  - Eigenwerte und Eigenfr
  - Eigenschwingungen

**1.7 Ersatzlasten**

Ersatzlast

EL-Nummer:

Bezeichnung (der LK)

Generieren nach Norm:

Export in RSTAB

☒ Generierte Lastfälle zusammenfassen in LK:

Überlagerungsart: ☐ Linear ☒ Quadratisch

Norm-Parameter

Spektrum-Art: ☒ Bemessungsspektrum für lineare Berechnung ☐ Elastisches Antwortspektrum

Baugrund-klasse	Bodenparameter S [-]	Beiwert $\beta_0$ [-]	Exponenten $k_{d1}$ [-]	Exponenten $k_{d2}$ [-]	Antwortspektrum-Parameter		
					$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
B	1.000	2.500	2/3	5/3	0.150	0.600	3.000

Verhaltensbeiwert  $q$ :  Verhältnis der Beschleunigungen ( $a_g/g$ )  $\alpha$ :

Wahl der Eigenformen

Nr.	A	B	C	D	E	F
	Zu ge-nerieren	Eigenform Nr.	Generieren in RSTAB-LF Nr.	Ordinate des Bemessungsspektrums $S_d$ [m/s <sup>2</sup> ]	Auto	LF-Bezeichnung
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 1.20093 Hz	1	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2009	Eigenform 1
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 2.06888 Hz	2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2500	Eigenform 2
3	<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 2.64449 Hz	3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2500	Eigenform 3
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 2.76724 Hz	4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2500	Eigenform 4

Maske 1.7 Ersatzlasten nach EUROCODE 8, Option *Bemessungsspektrum für die lineare Berechnung*

**DYNAM - [Projekt 1]**

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

Eingabedaten

- Basisangaben
- Zusatzmassen
- Zu berechnen
- Ersatzlasten
  - EL1 - Erdbeben
- Ergebnisse
  - Eigenwerte und Eigenfr
  - Eigenschwingungen

**1.7 Ersatzlasten**

Ersatzlast

EL-Nummer:

Bezeichnung (der LK)

Generieren nach Norm:

Export in RSTAB

☒ Generierte Lastfälle zusammenfassen in LK:

Überlagerungsart: ☐ Linear ☒ Quadratisch

Norm-Parameter

Spektrum-Art: ☐ Bemessungsspektrum für lineare Berechnung ☒ Elastisches Antwortspektrum

Baugrund-klasse	Bodenparameter S [-]	Beiwert $\beta_0$ [-]	Exponenten $k_1$ [-]	Exponenten $k_2$ [-]	$T_B$ [s]	$T_C$ [s]	$T_D$ [s]
A	1.000	2.500	1.000	2.000	0.100	0.400	3.000

Dämpfungs-Korrekturbeiwert  $\eta$ :  Bemessungswert der Bodenbeschleunigung für die Referenz-Wiederkehrperiode  $a_g$ :  [m/s<sup>2</sup>]

Wahl der Eigenformen

Nr.	A	B	C	D	E	F
	Zu ge-nerieren	Eigenform Nr.	Generieren in RSTAB-LF Nr.	Ordinate des elastischen Antwortspektrums $S_e$ [-]	Auto	Kommentar
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 1.20093 Hz	18	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2009	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 2.06888 Hz	19	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0689	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 2.64449 Hz	20	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 2.76724 Hz	21	<input checked="" type="checkbox"/>	2.5000	

Maske 1.7 Ersatzlasten nach EUROCODE 8, Option *Elastisches Antwortspektrum*

Sollen die Ersatzlasten nach Eurocode 8 generiert werden, steht entweder das *Bemessungsspektrum für lineare Berechnung* oder das *Elastische Antwortspektrum* zur Verfügung. Die einzelnen Parameter des EC 8 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	$\beta_0$	$k_{d1}$	$k_{d2}$	$k_1$	$k_2$	$T_b$ [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

**$\beta_0$**  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 $\eta$

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

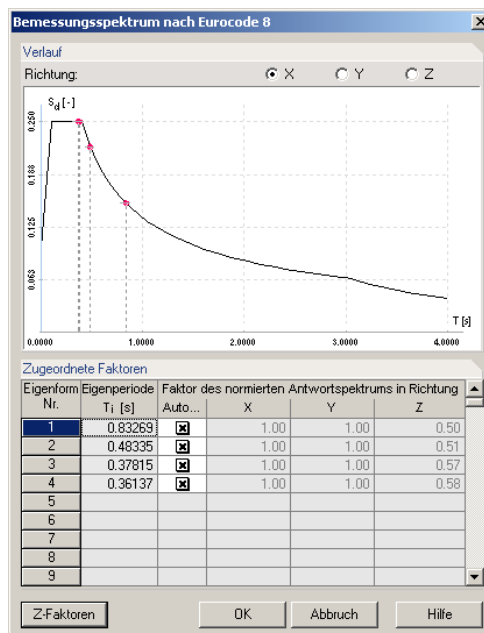
$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7$$

#### Verhältnis der Beschleunigungen ( $a_g / g$ )

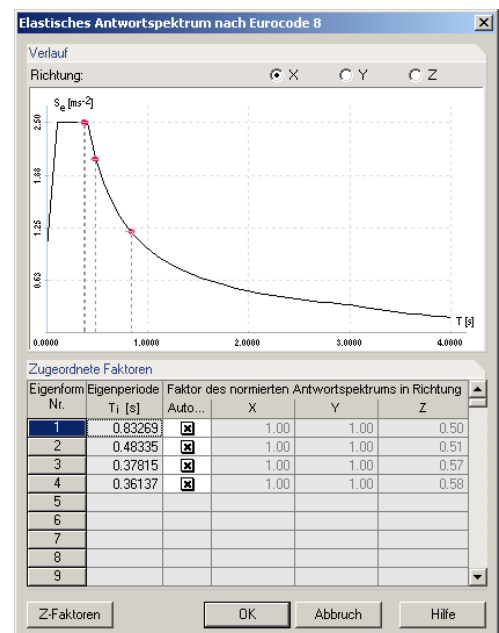
Der Faktor  $\alpha$  stellt das Verhältnis zwischen dem Bemessungswert der Bodenbeschleunigung  $a_g$  für die Referenz-Wiederkehrperiode und der Erdbeschleunigung  $g$  dar.

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.



Bemessungsspektrum für lineare Berechnung



Elastisches Antwortspektrum

Z-Faktoren

Die Faktoren für die Z-Richtung können zudem über eine Tabelle beschrieben werden, 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

Nr.	A Eigenperiode $T_i$ [s]	B Faktor für Z-Richtung
1	0.000	0.700
2	0.150	0.700
3	0.500	0.500
4	10.000	0.500
5		
6		
7		
8		

Z-Faktoren

## Norm-Parameter IBC 2000

**DYNAM - [Projekt 1]**

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

**1.7 Ersatzlasten**

**Ersatzlast**

EL-Nummer:

Bezeichnung (der LK)

Generieren nach Norm:

**Export in RSTAB**

☒ Generierte Lastfälle zusammenfassen in LK:

Überlagerungsart: ☐ Linear ☒ Quadratisch

**Norm-Parameter**

Procedure Type: ☒ Modal analysis procedure ☐ Equivalent lateral force procedure

Category:  I<sub>E</sub>:  Site Class:

		Mapped spectral response acceleration	Site coefficients	Adjusted spectral response acceleration	Spectral response acceleration
Short period	S <sub>s</sub> [% of g]	80.000	F <sub>a</sub> [-]	1.000	S <sub>ps</sub> [-]
1 sec period	S <sub>1</sub> [% of g]	40.000	F <sub>v</sub> [-]	1.000	S <sub>d1</sub> [-]
				S <sub>ms</sub> [-]	0.800
				S <sub>mt</sub> [-]	0.400
					0.533
					0.267

R:  ☒ Use Exception for Modal seismic coefficient determined by Equation 16-54

**Eigenvibration Selection**

Nr.	To generate	Eigenvalue No.	Generate in RSTAB-LC No.	Auto	Coefficient for modal seismic response C <sub>sm</sub> [-]	LC-Description
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 1.20093 Hz	18	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4003	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 2.07077 Hz	19	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6667	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 2.64463 Hz	20	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6667	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 2.90602 Hz	21	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6667	

Maske 1.7 Ersatzlasten nach IBC 2000, Option *Modal analysis procedure*

**DYNAM - [Projekt 1]**

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

**1.7 Ersatzlasten**

**Ersatzlast**

EL-Nummer:

Bezeichnung (des LFs)

Generieren nach Norm:

**Export in RSTAB**

☒ Generierte Ersatzlasten zusammenfassen in LF:

**Norm-Parameter**

Procedure Type: ☐ Modal analysis procedure ☒ Equivalent lateral force procedure

Category:  I<sub>E</sub>:  Site Class:  Footpoint Z coordinate:

		Mapped spectral response acceleration	Site coefficients	Adjusted spectral response acceleration	Spectral response acceleration
Short period	S <sub>s</sub> [% of g]	80.000	F <sub>a</sub> [-]	1.000	S <sub>ps</sub> [-]
1 sec period	S <sub>1</sub> [% of g]	40.000	F <sub>v</sub> [-]	1.000	S <sub>d1</sub> [-]
				S <sub>ms</sub> [-]	0.800
				S <sub>mt</sub> [-]	0.400
					0.533
					0.267

R:  k:  Seismic design category:  C<sub>s</sub>:

**Vertical Distribution**

No.	A	B	C	D	E
	Node No.	Mass w <sub>x</sub> [kg]	Height h <sub>x</sub> [ft]	Vertical Distribution Factor C <sub>vx</sub> [-]	Comments
1	1	0.00	0.0000	0.0000	
2	2	21417.86	16.7979	0.0065	
3	3	12372.53	39.3373	0.0102	
4	4	0.00	0.0000	0.0000	

Maske 1.7 Ersatzlasten nach IBC 2000, Option *Equivalent lateral force procedure*

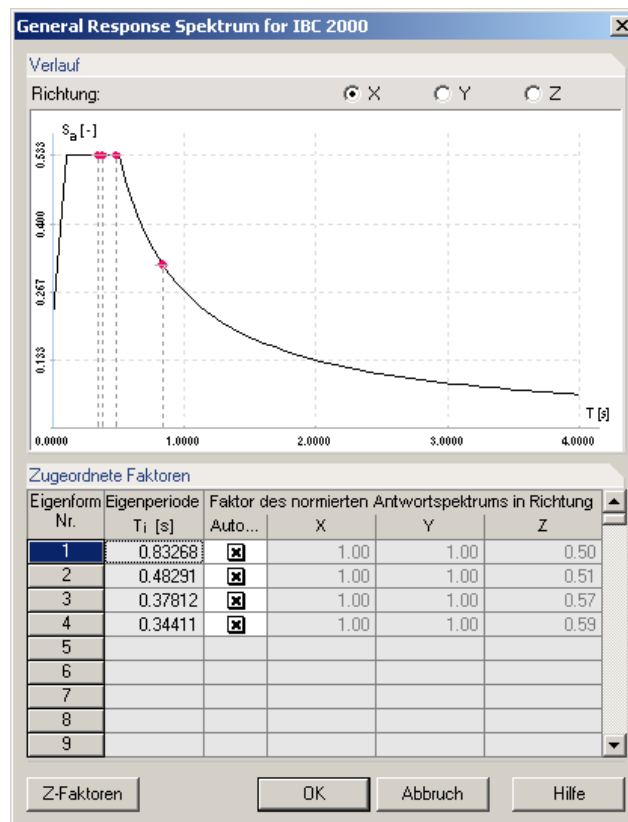
Als *Procedure Type* kann für den International Building Code 2000 zwischen *Modal analyses procedure* gemäß Section 1618 und die *Equivalent lateral force procedure* gemäß Section 1617 gewählt werden. In welchen Fällen welcher *Procedure Type* angewendet werden kann, lässt sich der Tabelle 16.6.3 des IBC 2000 entnehmen.

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



Bitte beachten Sie hierbei, dass die Ermittlung der Erdebeneersatzlasten mit diesem Spektrum nur für die *Modal analysis procedure* vorgenommen wird.



General Response Spektrum für *Modal analysis procedure*

#### 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 substantial public hazard due to occupancy or use as indicated by 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 <sup>a</sup>	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"> <li>Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area</li> <li>Buildings and other structures with elementary school, secondary school or day-care facilities with capacity greater than 250</li> <li>Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities</li> <li>Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities</li> <li>Jails and detention facilities</li> <li>Any other occupancy with an occupant load greater than 5,000</li> <li>Power-generating stations, water treatment for potable water, waste water treatment facilities and other public utility facilities not included in Category III</li> <li>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</li> </ul>	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"> <li>Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities</li> <li>Fire, rescue and police stations and emergency vehicle garages</li> <li>Designated earthquake, hurricane or other emergency shelters</li> <li>Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response</li> <li>Power-generating stations and other public utility facilities required as emergency back-up facilities for Category III structures</li> <li>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)</li> <li>Aviation control towers, air traffic control centers and emergency aircraft hangars</li> <li>Buildings and other structures having critical national defense functions</li> <li>Water treatment facilities required to maintain water pressure for fire suppression</li> </ul>	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"> <li>Agricultural facilities</li> <li>Certain temporary facilities</li> <li>Minor storage facilities</li> </ul>	1.00	0.8	0.87 <sup>b</sup>

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: <ol style="list-style-type: none"> <li>Plasticity index <math>PI &gt; 20</math>;</li> <li>Moisture content <math>w \geq 40\%</math>, and</li> <li>Undrained shear strength <math>\bar{s}_u &lt; 500</math> psf</li> </ol>		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: <ol style="list-style-type: none"> <li>Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils.</li> <li>Peats and/or highly organic clays (<math>H &gt; 10</math> feet of peat and/or highly organic clay where <math>H</math> = thickness of soil)</li> <li>Very high plasticity clays (<math>H &gt; 25</math> feet with plasticity index <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>Very thick soft/medium stiff clays (<math>H &gt; 120</math> ft)</li> </ol>		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m<sup>2</sup>, 1 pound per square foot = 0.0479 kPa.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1$$

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{M1}$$

Hierin bedeuten:

- $F_a$  Site coefficient defined in Table 1615.1.2(1)
- $F_v$  Site coefficient defined in Table 1615.1.2(2)
- $S_s$  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 ( $S_s$ )<sup>a</sup>

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 ( $S_1$ )<sup>a</sup>

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 <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>

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 <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>	D <sup>a</sup>

#### Response modification coefficient $R_a$

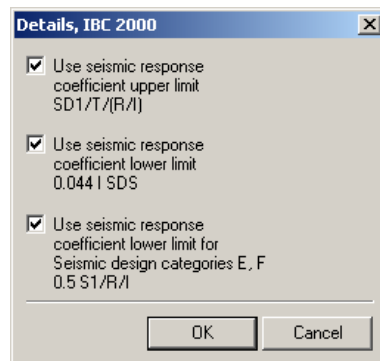
TABLE 1617.6  
DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEMS

BASIC SEISMIC-FORCE-RESISTING SYSTEM	DETAILING REFERENCE SECTION	RESPONSE MODIFICATION COEFFICIENT, R <sup>a</sup>	SYSTEM OVER- STRENGTH FACTOR, Ω <sub>0</sub> <sup>b</sup>	DEFLECTION AMPLIFICATION FACTOR, C <sub>d</sub> <sup>b</sup>	SYSTEM LIMITATIONS AND BUILDING HEIGHT LIMITATIONS (FEET) BY SEISMIC DESIGN CATEGORY <sup>c</sup> AS DETERMINED IN SECTION 1616.3				
					A or B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>e</sup>
<b>1. Bearing Wall Systems</b>									
A. Ordinary steel braced frames	(14) 2211	4	2	3 1/2	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
<b>2. Building Frame Systems</b>									
A. Steel eccentrically braced frames, moment-resisting, connections at columns away from links	(15) <sup>j</sup>	8	2	4	NL	NL	160	160	100
B. Steel eccentrically braced frames, nonmoment resisting, connections at columns away from links	(15) <sup>j</sup>	7	2	4	NL	NL	160	160	100
C. Special steel concentrically braced frames	(13) <sup>j</sup>	6	2	5	NL	NL	160	160	100
D. Ordinary steel concentrically braced frames	(14) <sup>j</sup>	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	NL	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) <sup>k</sup>	8	2	4	NL	NL	160	160	100

(continued)

Details

Über die Schaltfläche [Details] können noch normspezifische Einstellungen getroffen werden.



Details *Equivalent lateral force procedure*

Diese drei Kontrollfelder beziehen sich auf folgende Gleichungen:

$$\text{Use (Equation 16-36) } C_s = \frac{S_{D1}}{\left( \frac{R}{I_E} \right)^T}$$

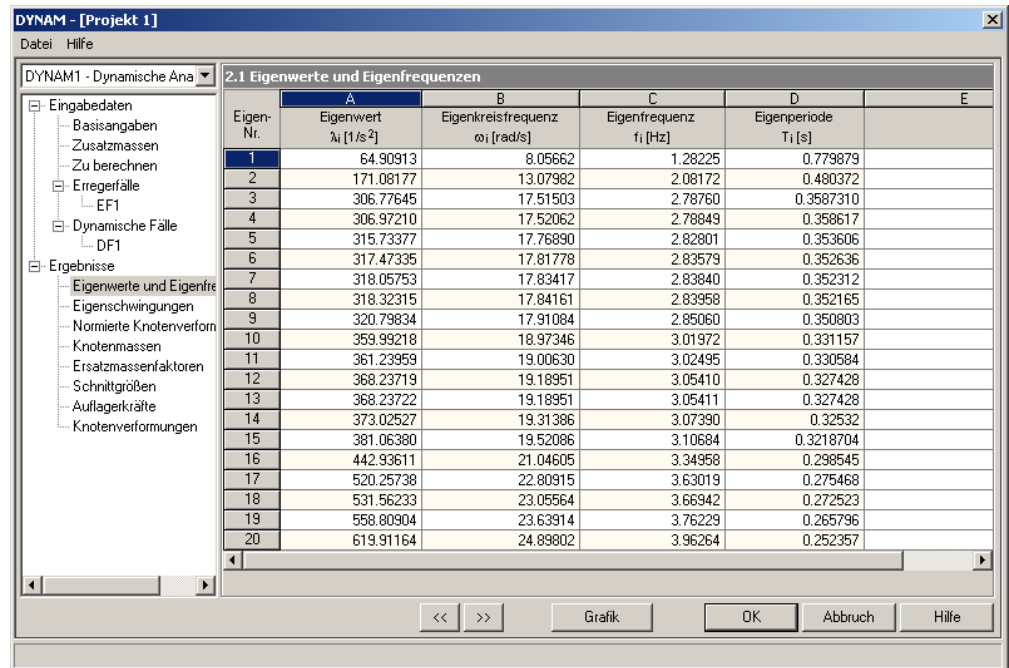
$$\text{Use (Equation 16-37) } C_s = 0,044 S_{DS} \cdot I_E$$

$$\text{Use (Equation 16-38) } C_s = \frac{0,5 \cdot S_1}{\frac{R}{I_E}}$$

## 3.4 Ergebnismasken

### 3.4.1 Maske 2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen

Nach der erfolgreich durchgeführten DYNAM-Berechnung wird die erste Ausgabemaske 2.1 *Eigenwerte und Eigenfrequenzen* angezeigt.



Eigen-Nr.	A Eigenwert $\lambda_i$ [1/s <sup>2</sup> ]	B Eigenkreisfrequenz $\omega_i$ [rad/s]	C Eigenfrequenz $f_i$ [Hz]	D Eigenperiode $T_i$ [s]	E
1	64.90913	8.05662	1.28225	0.779879	
2	171.08177	13.07982	2.08172	0.480372	
3	306.77645	17.51503	2.78760	0.3587310	
4	306.97210	17.52062	2.78849	0.358617	
5	315.73377	17.76890	2.82801	0.353606	
6	317.47335	17.81778	2.83579	0.352636	
7	318.05753	17.83417	2.83840	0.352312	
8	318.32315	17.84161	2.83958	0.352165	
9	320.79834	17.91084	2.85060	0.350803	
10	359.99218	18.97346	3.01972	0.331157	
11	361.23959	19.00630	3.02495	0.330584	
12	368.23719	19.18951	3.05410	0.327428	
13	368.23722	19.18951	3.05411	0.327428	
14	373.02527	19.31386	3.07390	0.32532	
15	381.06380	19.52086	3.10684	0.3218704	
16	442.93611	21.04605	3.34958	0.298545	
17	520.25738	22.80915	3.63019	0.275468	
18	531.56233	23.05564	3.66942	0.272523	
19	558.80904	23.63914	3.76229	0.265796	
20	619.91164	24.89802	3.96264	0.252357	

Maske 2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen

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

#### Eigenwert

Der Eigenwert  $\lambda_i$  [1/sec<sup>2</sup>] berechnet sich aus der Bewegungsgleichung ohne Dämpfung. Über den theoretischen Hintergrund lesen Sie bitte im Kapitel 5 dieses Handbuchs nach.

#### Kreisfrequenz

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

#### Frequenz

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:  $\omega_i = 2\pi f_i$ .

#### Eigenperiode

Die Eigenperiode  $T_\omega$  [s] beschreibt die Zeitdifferenz, die die Struktur zum Durchlaufen einer Schwingung benötigt.

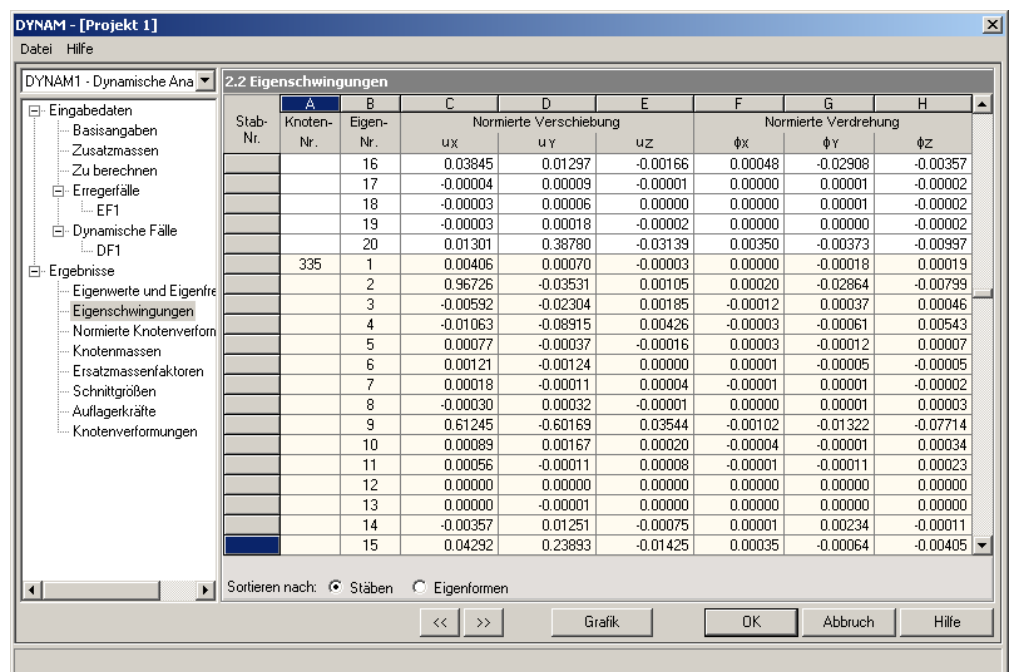
### 3.4.2 Maske 2.2 Eigenschwingungen

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

*Sortieren nach Stäben:* Die Verschiebungen und Verdrehungen der Strukturknoten werden zeilenweise nach Stabnummer, Knotennummer und Eigenformnummer geordnet ausgegeben.

*Sortieren nach Eigenformen:* Die Verschiebungen und Verdrehungen der Strukturknoten werden zeilenweise nach Eigenformnummer, Stabnummer und Knotennummer geordnet ausgegeben.

Die Ergebnisse sind auf 1 normiert, d. h. der Betrag der größten Verschiebung oder Verdrehung ist 1.



Stab-Nr.	Knoten-Nr.	Eigen-Nr.	Normierte Verschiebung			Normierte Verdrehung		
			$u_x$	$u_y$	$u_z$	$\phi_x$	$\phi_y$	$\phi_z$
		16	0.03845	0.01297	-0.00166	0.00048	-0.02908	-0.00357
		17	-0.00004	0.00009	-0.00001	0.00000	0.00001	-0.00002
		18	-0.00003	0.00006	0.00000	0.00000	0.00001	-0.00002
		19	-0.00003	0.00018	-0.00002	0.00000	0.00000	-0.00002
		20	0.01301	0.38780	-0.03139	0.00350	-0.00373	-0.00997
335	1		0.00406	0.00070	-0.00003	0.00000	-0.00018	0.00019
	2		0.96726	-0.03531	0.00105	0.00020	-0.02864	-0.00799
	3		-0.00592	-0.02304	0.00185	-0.00012	0.00037	0.00046
	4		-0.01063	-0.08915	0.00426	-0.00003	-0.00061	0.00543
	5		0.00077	-0.00037	-0.00016	0.00003	-0.00012	0.00007
	6		0.00121	-0.00124	0.00000	0.00001	-0.00005	-0.00005
	7		0.00018	-0.00011	0.00004	-0.00001	0.00001	-0.00002
	8		-0.00030	0.00032	-0.00001	0.00000	0.00001	0.00003
	9		0.61245	-0.60169	0.03544	-0.00102	-0.01322	-0.07714
	10		0.00089	0.00167	0.00020	-0.00004	-0.00001	0.00034
	11		0.00056	-0.00011	0.00008	-0.00001	-0.00011	0.00023
	12		0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	13		0.00000	-0.00001	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	14		-0.00357	0.01251	-0.00075	0.00001	0.00234	-0.00011
	15		0.04292	0.23893	-0.01425	0.00035	-0.00064	-0.00405

Maske 2.2 Eigenschwingungen

### 3.4.3 Maske 2.3 Normierte Knotenverformungen

Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.4 *Zu berechnen* das Auswahl-feld für die Berechnung der *Normierten Knotenverformungen* aktiviert wurde.

*Sortieren nach Knoten:* Die normierten Knotenverschiebungen werden nach Knotennummer und Eigenfrequenz geordnet aufgelistet.

*Sortieren nach Eigenformen:* Die normierten Knotenverschiebungen werden nach Eigenfrequenz und Knotennummer geordnet aufgelistet.

**DYNAM - [Projekt 1]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

2.3 Normierte Knotenverformungen

Knoten-Nr.	Eigen-Nr.	Normierte Verschiebung	ux	uy	uz
8			0.08762	0.20351	0.02911
9			-0.53253	-0.49454	-0.06824
10			0.06628	0.08507	0.01289
11			0.04224	-0.02972	-0.00575
12			0.00264	0.00423	0.00077
13			-0.02536	-0.01222	-0.00183
14			0.00783	0.01019	0.00144
15			-0.02587	0.20044	0.02616
16			-0.07719	0.01371	0.00096
17			-0.00017	0.00008	0.00001
18			-0.00013	0.00005	0.00001
19			-0.00012	0.00016	0.00002
20			0.01068	0.35319	0.03999
369	1		0.00549	0.00054	0.00007
2			0.73410	-0.03169	-0.00297
3			0.02803	-0.26345	-0.02460
4			0.07318	-0.28954	-0.03199
5			-0.07296	-0.08443	-0.02106
6			-0.01463	-0.37639	-0.04843
7			0.00934	-0.03986	0.00183

Sortieren nach: ☒ Knoten ☐ Eigenformen

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.3 Normierte Knotenverformungen

### 3.4.4 Maske 2.4 Knotenmassen

Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.4 *Zu berechnen* das Auswahl-feld für die Berechnung der *Knotenmassen* aktiviert wurde.

Die Massen werden sortiert nach Knotennummer und bezogen auf das globale Koordinatensystem ausgegeben. Dieses Koordinatensystem ist das von der Strukturdefinition in RSTAB 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.

**DYNAM - [Projekt 1]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

2.4 Knotenmassen

Knoten-Nr.	mx [kg]	my [kg]	mz [kg]
391	83.8	83.8	83.8
392	65.0	65.0	65.0
393	8438.1	8438.1	8438.1
394	8482.5	8482.5	8482.5
395	8526.2	8526.2	8526.2
396	8482.5	8482.5	8482.5
397	1208.7	1208.7	1208.7
398	1388.0	1388.0	1388.0
399	1388.0	1388.0	1388.0
400	1510.5	1510.5	1510.5
401	1510.5	1510.5	1510.5
402	1270.8	1270.8	1270.8
403	1270.8	1270.8	1270.8
404	1208.7	1208.7	1208.7
405	1388.0	1388.0	1388.0
406	1388.0	1388.0	1388.0
407	1589.7	1589.7	1589.7
408	1780.0	1780.0	1780.0
409	1485.2	1485.2	1485.2
410	1485.2	1485.2	1485.2
Summe	1003712.6	1003712.6	1003712.6

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.4 Knotenmassen

### 3.4.5 Maske 2.5 Ersatzmassenfaktoren

Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.4 *Zu berechnen* das Auswahl-feld zur Berechnung der *Ersatzmassenfaktoren* aktiviert wurde. Die **Modalen Massen**, **Beteiligungsfaktoren**, **Ersatzmassen** und **Ersatzmassenfaktoren** werden nach Eigenfrequenzen geordnet aufgelistet.

Die Ersatzmassenfaktoren können über *Zu zeigen* entweder einzeln oder summiert 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.

DYNAM - [Projekt 1]

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

2.5 Ersatzmassenfaktoren

Eigen-Nr.	Modale Masse $M_i$ [kg]	Beteiligungsfaktor			Ersatzmasse			Ersatzmassenfaktor		
		$L_{ix}$ [kg]	$L_{iy}$ [kg]	$L_{iz}$ [kg]	$m_{ex}$ [kg]	$m_{ey}$ [kg]	$m_{ez}$ [kg]	$f_{mex}$ [-]	$f_{mey}$ [-]	$f_{mez}$ [-]
1	12678.6	24366.5	0.3	0.8	46828.7	0.0	0.0	0.062	0.000	0.000
2	1982.4	35886.7	267.7	23.4	649640.7	36.1	0.3	0.855	0.000	0.003
3	9073.3	1434.2	33810.8	261.6	226.7	125993.7	7.5	0.000	0.188	0.071
4	2450.0	1191.7	34203.6	270.5	579.7	477513.4	29.9	0.001	0.713	0.279
5	3596738.5	3314.0	14871.2	149.4	3.1	61.5	0.0	0.000	0.000	0.000
6	5807218.7	3089.8	14328.3	182.6	1.6	35.4	0.0	0.000	0.000	0.000
7	93546038.6	527.2	20117.1	60.7	0.0	4.3	0.0	0.000	0.000	0.000
8	63063400.1	3257.0	10975.9	140.3	0.2	1.9	0.0	0.000	0.000	0.000
9	2486.8	4982.8	8592.8	139.5	9983.7	29690.6	7.8	0.013	0.044	0.073
10	1214125.5	9508.0	3492.5	321.3	74.5	10.0	0.1	0.000	0.000	0.001
11	4969069.8	7401.5	5366.2	883.5	11.0	5.8	0.2	0.000	0.000	0.001
12	16.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
13	77501676.0	7813.8	881.9	32.5	0.8	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000
14	852.0	2787.3	992.9	38.5	9118.6	1157.0	1.7	0.012	0.002	0.016
15	1882.0	488.7	6970.7	294.1	126.9	25817.7	46.0	0.000	0.039	0.430
16	1751.1	8294.6	580.8	20.3	39289.3	192.6	0.2	0.052	0.000	0.002
17	1003.8	1151.2	14.5	0.8	1320.2	0.2	0.0	0.002	0.000	0.000
18	960.0	1121.5	16.7	0.1	1310.3	0.3	0.0	0.002	0.000	0.000
19	873.3	1087.9	24.6	1.3	1355.3	0.7	0.0	0.002	0.000	0.000

Zu zeigen: ☒ Ersatzmassenfaktoren ☐ Summen von Ersatzmassenfaktoren

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.5 Ersatzmassenfaktoren

### 3.4.6 Maske 2.6 Vergrößerungsfaktoren

Diese Ausgabemaske erscheint nur, wenn in Maske 1.4 *Zu berechnen* das Auswahl-feld zur Berechnung der *Vergrößerungsfaktoren* aktiviert wurde.

Als berechnete Werte erhält man den **Vergrößerungsfaktor** und den **Nacheilwinkel** (Phasenverschiebung). Der Vergrößerungsfaktor kennzeichnet die dynamische Überhöhung gegenüber der statischen Beanspruchung. Aufgrund der Trägheit der Masse hat die Erregung der Struktur im Allgemeinen einen gewissen Nachlauf gegenüber der Eigenkreisfrequenz der Erregerkraft. Diesen bezeichnet man als Nacheilwinkel oder Phasenverschiebung.



**DYNAM - [Projekt 1]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

2.6 Vergrößerungsfaktoren

Eigen-Nr.	Eigenkreisfrequenz $\omega_i$ [rad/s]	Vergrößerungsfaktor $V_i$ [-]	Nachteilwinkel $\phi_i$ [rad]	Erregekreisfrequenz für maximale Vergrößerung $\omega_E$ [rad/s]
1	8.05662	1.01532	0.02521	7.975647
2	13.07982	1.00576	0.01538	12.948364
3	17.51503	1.00320	0.01146	17.339000
4	17.52062	1.00320	0.01145	17.344528
5	17.76890	1.00311	0.01129	17.590313
6	17.81778	1.00310	0.01126	17.638704
7	17.83417	1.00309	0.01125	17.654925
8	17.84161	1.00309	0.01124	17.662296
9	17.91084	1.00306	0.01120	17.730831
10	18.97346	1.00273	0.01057	18.782767
11	19.00630	1.00272	0.01055	18.8152810
12	19.18951	1.00267	0.01045	18.996643
13	19.18951	1.00267	0.01045	18.996644
14	19.31386	1.00263	0.01038	19.119748
15	19.52086	1.00258	0.01027	19.3246609
16	21.04605	1.00222	0.00952	20.834524
17	22.80915	1.00189	0.00879	22.579908
18	23.05564	1.00185	0.00869	22.823915

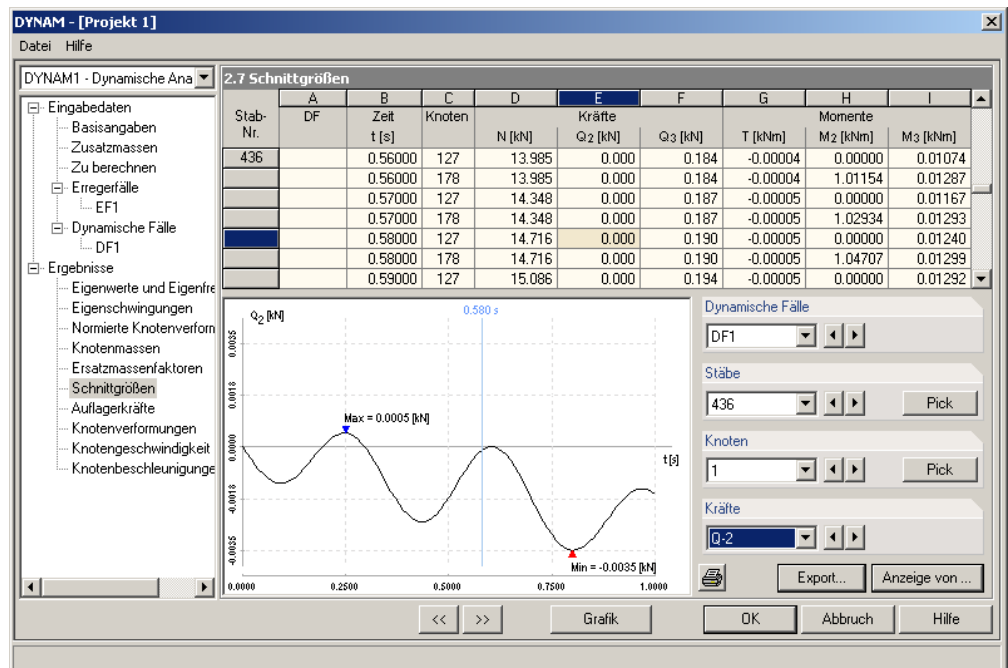
Vergrößerungsfaktoren  
Maximaler Vergrößerungsfaktor: 5.02519 Details...

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.6 Vergrößerungsfaktoren

### 3.4.7 Maske 2.7 Schnittgrößen

Je nach Definition in Maske 1.4 werden die gewählten Schnittgrößen mit oder ohne zugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Wurde zur Reduzierung des Datenumfangs in Maske 1.4 keine Ausgabe der Schnittgrößen über den Zeitverlauf der Integration definiert, so wird nur die Maximal- bzw. Minimalschnittgröße und der dazugehörige Zeitpunkt dargestellt.



Maske 2.7 Schnittgrößen

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

Diese grafische Schnittgrößendarstellung ist allerdings nur dann möglich, wenn in Maske 1.4 *Zu berechnen* die Zeitverläufe für die jeweilige Schnittgröße aktiviert wurden.

**Dynamische Fälle:** In dieser Liste lassen sich die berechneten Fälle *DF* auswählen.

**Stäbe:** Die Auswahl der Stäbe kann entweder über die Liste oder die [Pick]-Funktion erfolgen.

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

**Kräfte:** Bei räumlichen Strukturen lassen sich hier die Schnittgrößen  $N$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $T$ ,  $M_2$  und  $M_3$  auswählen.



Export...

Anzeige von ...

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

Die Exportfunktion wird im Kapitel 3.4.12 *Export* im Detail beschrieben.

Über die Schaltfläche [Anzeige von] öffnet sich folgendes Fenster:

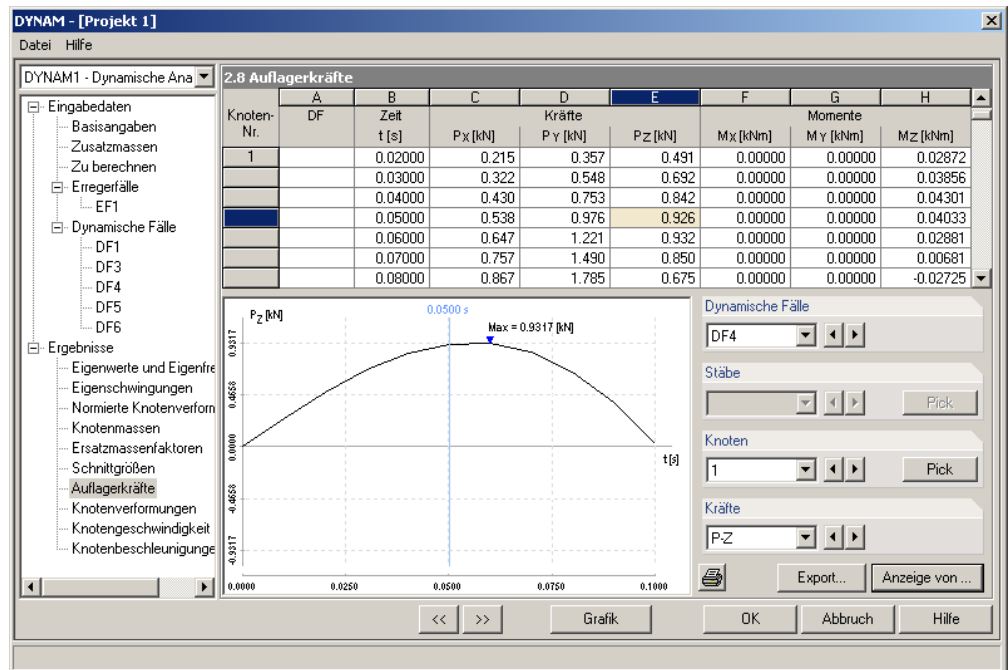
Ergebnisse anzeigen

In diesem Dialog können die einzelnen dynamischen Fälle *DF* für die jeweilige Ergebnismaske komplett ein- oder ausgeblendet werden.

### 3.4.8 Maske 2.8 Auflagerkräfte

Je nach Definition in Maske 1.4 werden die gewählten Auflagerkräfte mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfangs in Maske 1.4 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 2.7 *Schnittgrößen*.

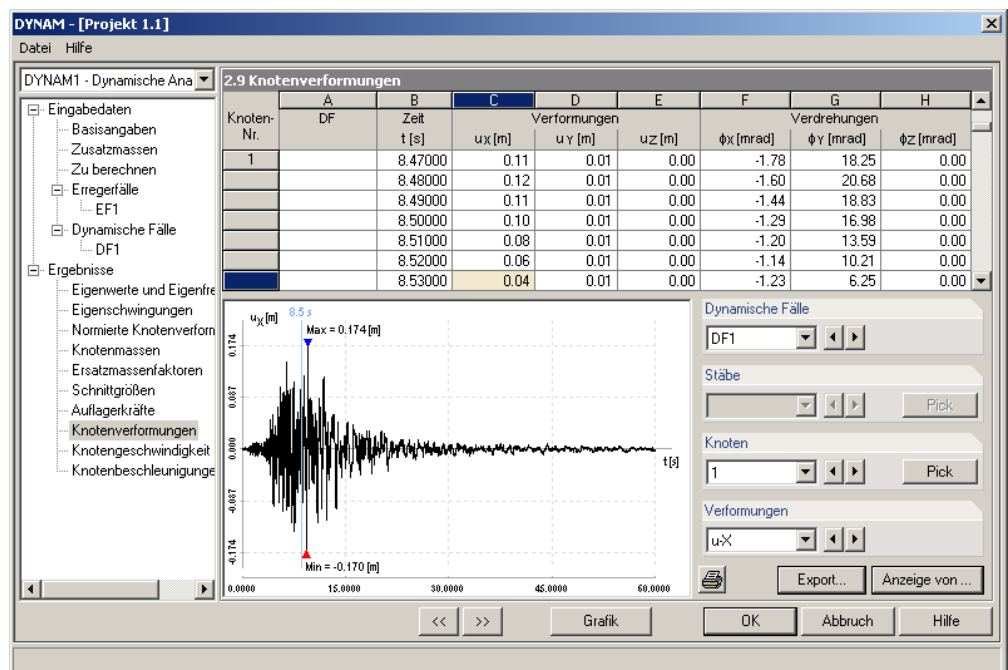


Maske 2.8 Auflagerkräfte

### 3.4.9 Maske 2.9 Knotenverformungen

Je nach Definition in Maske 1.4 werden die gewählten Knotenverformungen mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.4 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 Maske 2.7 *Schnittgrößen*.

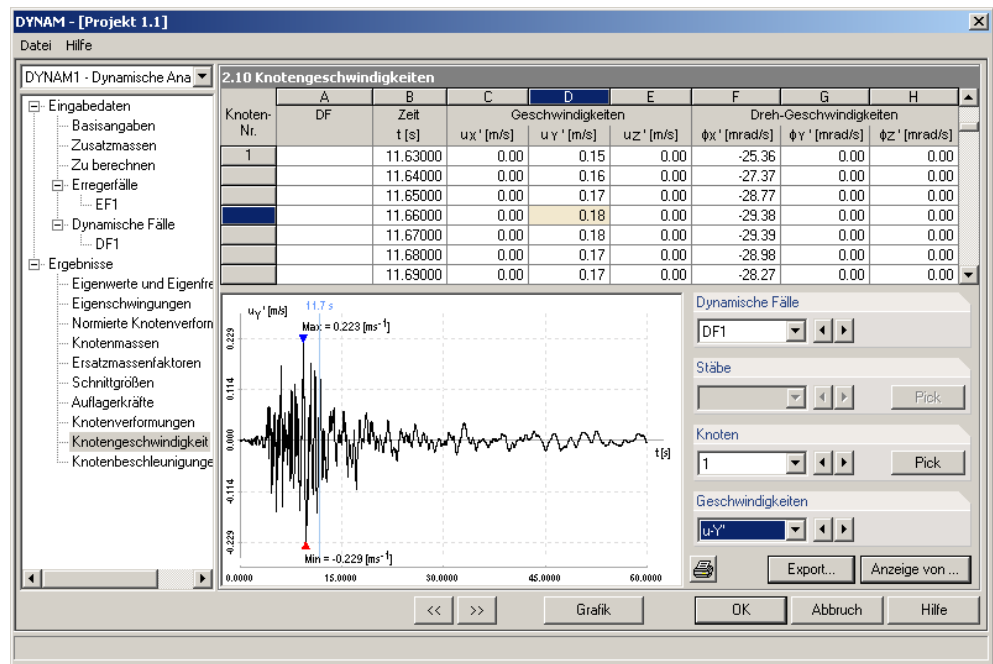


Maske 2.9 Knotenverformungen

### 3.4.10 Maske 2.10 Knotengeschwindigkeiten

Je nach Definition in Maske 1.4 werden die gewählten Knotengeschwindigkeiten mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Wurde zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.4 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 Maske 2.7 *Schnittgrößen*.

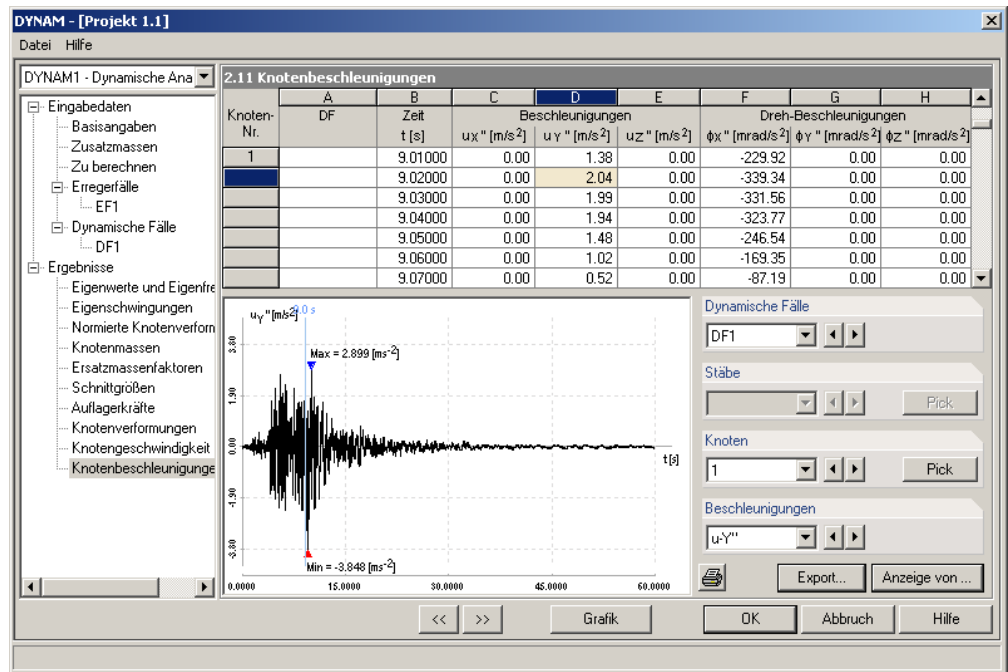


Maske 2.10 Knotengeschwindigkeiten

### 3.4.11 Maske 2.11 Knotenbeschleunigungen

Je nach Definition in Maske 1.4 werden die gewählten Knotenbeschleunigungen mit oder ohne dazugehörigen Zeitverlauf ausgegeben. Hat man zur Reduzierung des Datenumfanges in Maske 1.4 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 Maske 2.7 *Schnittgrößen*.



Maske 2.11 Knotenbeschleunigungen

### 3.4.12 Export der DYNAM – Ergebnisse

Export...

Über die Schaltfläche [Export] in den Ergebnismasken 2.7 *Schnittgrößen* bis 2.11 *Knotenbeschleunigungen* gelangen Sie in folgendes Fenster.

**Export der DYNAM-Ergebnisse in RSTAB**

Exportart

Exportieren von DF: DF1

☐ Von Zeit: 0.00000 [s]

☒ Herausfiltern der ungünstigsten Ergebnisse von allen Zeitschritten

☐ Herausfiltern der ungünstigsten Ergebnisse von festgelegten Zeitschritten Zeitschritte...

Exportieren in RSTAB-DK:

1 Erdbeben in X

Export Abbruch Hilfe

Export der DYNAM-Ergebnisse in RSTAB

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

#### Von Zeit

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

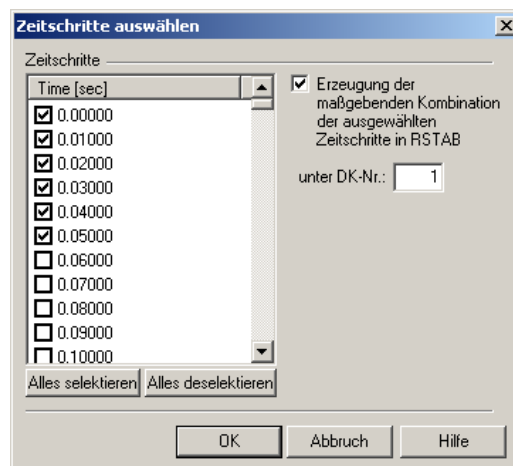
#### Herausfiltern der ungünstigsten Ergebnisse von allen Zeitschritten

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...



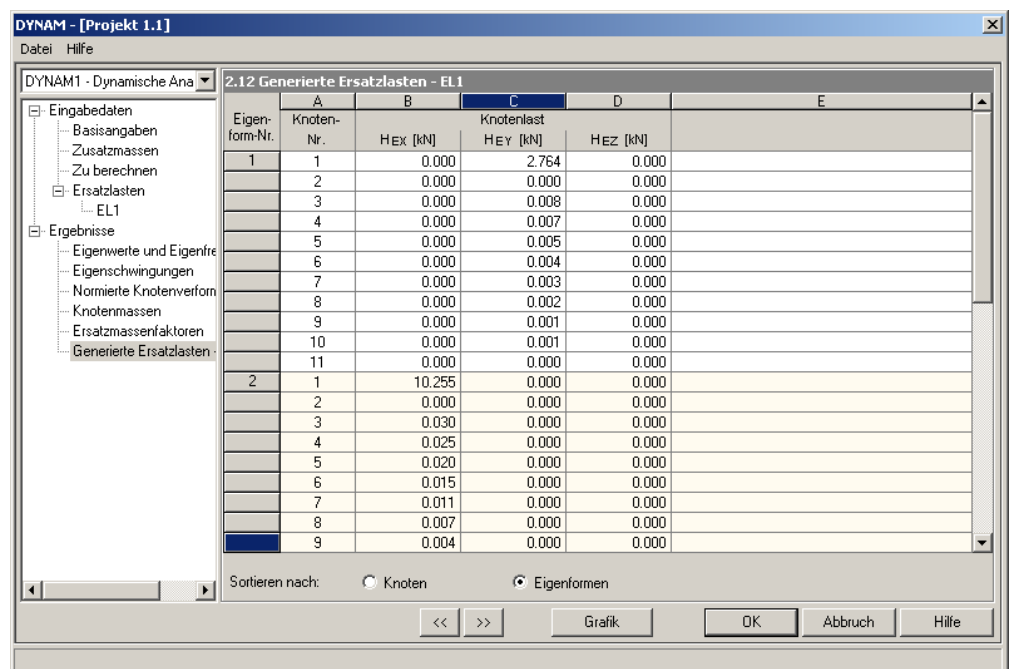
Zeitschritte auswählen

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

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

### 3.4.13 Maske 2.12 Generierte Ersatzlasten

Nach Eingabe der in Maske 1.7 erforderlichen Parameter und Wahl der Eigenformen werden nach der Berechnung die generierten Ersatzlasten in dieser Maske aufgelistet. Als Ausgabewerte erhält man die Knotenlasten in die entsprechende Richtung.



Maske 2.12 Generierte Ersatzlasten

Die Ersatzlasten lassen sich *Sortieren nach* Knotennummern oder Eigenformen.

Der Export bzw. das Generieren von RSTAB-Lastfällen aus den ermittelten Erdbebenersatzlasten erfolgt bereits in Maske 1.7 *Ersatzlasten*.

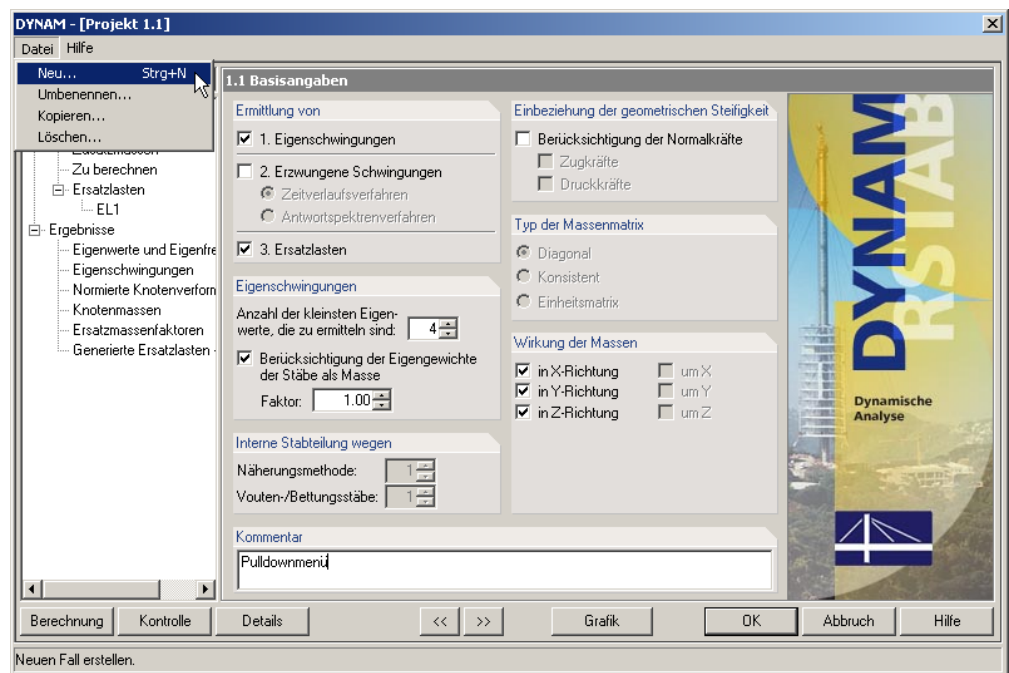
## 3.5 Pulldownmenüs

Die Pulldownmenüs enthalten alle notwendigen Funktionen zur Verwaltung der 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 DYNAM-Fälle.

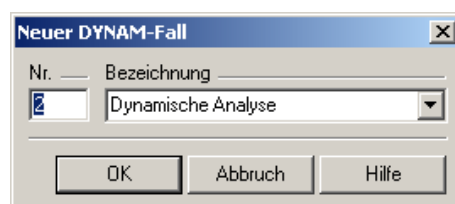
[Alt+D]



Pulldownmenü *Datei*

### Neu [Strg+N]

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



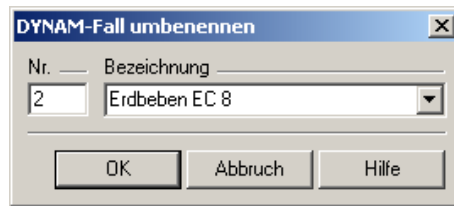
Neuer DYNAM-Fall

Vergeben Sie für den neuen *DYNAM-Fall* eine *Nr.* und eine *Bezeichnung*. Die Schaltfläche [▼] listet alle bereits verwendeten Bezeichnungen auf, sodass Sie auf eine davon zurückgreifen können. [OK] legt den neuen Fall an.

### Umbenennen

...können Sie den aktuellen 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.

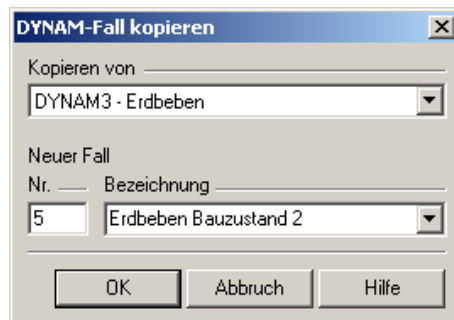




DYNAM-Fall umbenennen

### Kopieren

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



DYNAM-Fall kopieren

Der zu kopierenden DYNAM-Fall wird mit [▼] aus der Liste *Kopieren von* 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.

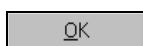
[OK] legt die Kopie des Falls an.

### Löschen

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



Fälle löschen



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

### 3.5.2 Hilfe

...öffnet die Hilfefunktion.

[Alt+H]

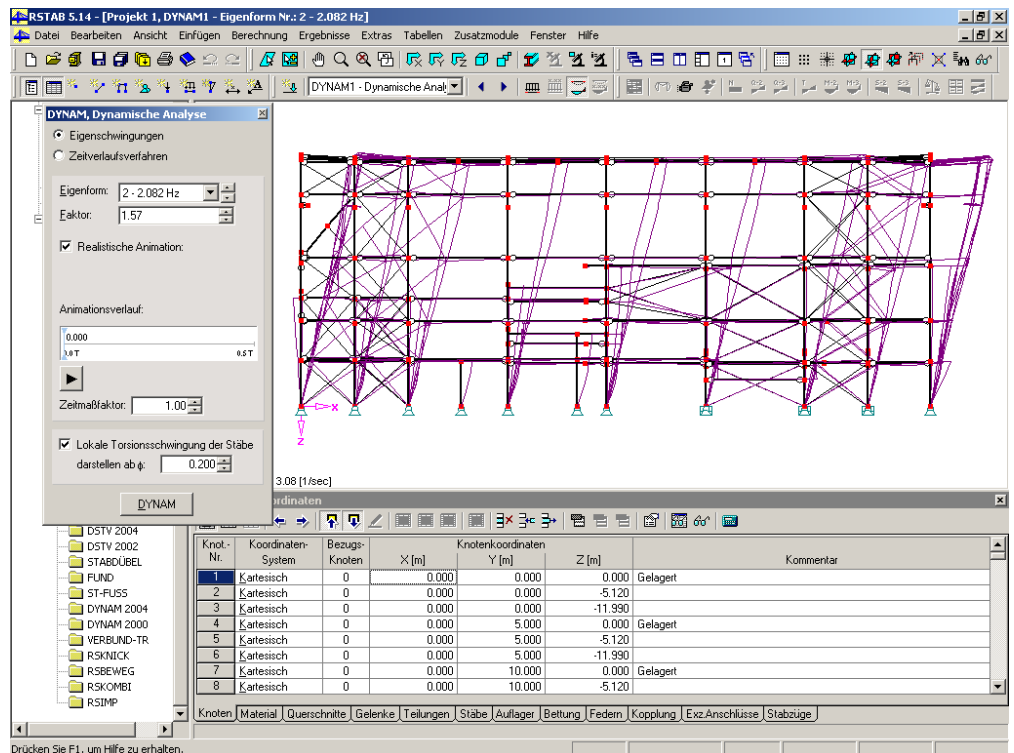


## 4. Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisgrafik

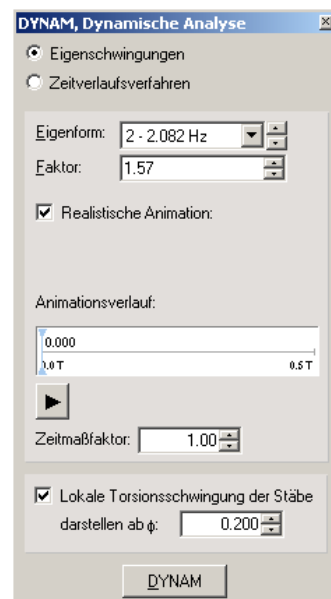
Grafik

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



Grafische Ergebnisanzeige im RSTAB Arbeitsfenster

Wenn die [Anzeige der Ergebnisse] aktiviert ist, sehen Sie hier den Verlauf der ersten Eigenfrequenz der Struktur und das Panel **DYNAM, Dynamische Analyse**.



Über *Eigenschwingungen* oder *Zeitverlaufsverfahren* können sowohl die Eigenformen als auch die Ergebnisse aus DYNAM Zusatz I angezeigt werden.

Unter *Eigenform* und *Faktor* kann die anzuzeigende Eigenform und der Abstand der Eigenformlinien von den Stäben der Struktur eingestellt werden.

Die aktuelle Eigenfrequenz kann als *Realistische Animation* als Ablauf in Echtzeit dargestellt werden. Da diese Animation nur für bestimmte Frequenzbereiche sinnvoll ist, kann die zeitliche Animation auch über den *Zeitmaßfaktor* gesteuert werden.

Die [Play]-Schaltfläche startet die Animation mit den vorgenommenen Einstellungen.

Die grafische Darstellung der *Torsionsschwingungen* kann hier für Verdrehungen kleiner des zu definierenden Wertes ausgeblendet werden.

DYNAM

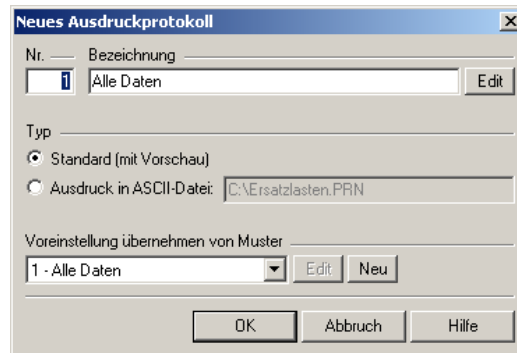


Über die Schaltfläche [DYNAM] im Panel kehren Sie in das Modul DYNAM zurück.

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

## 4.2 Ausdrucken

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

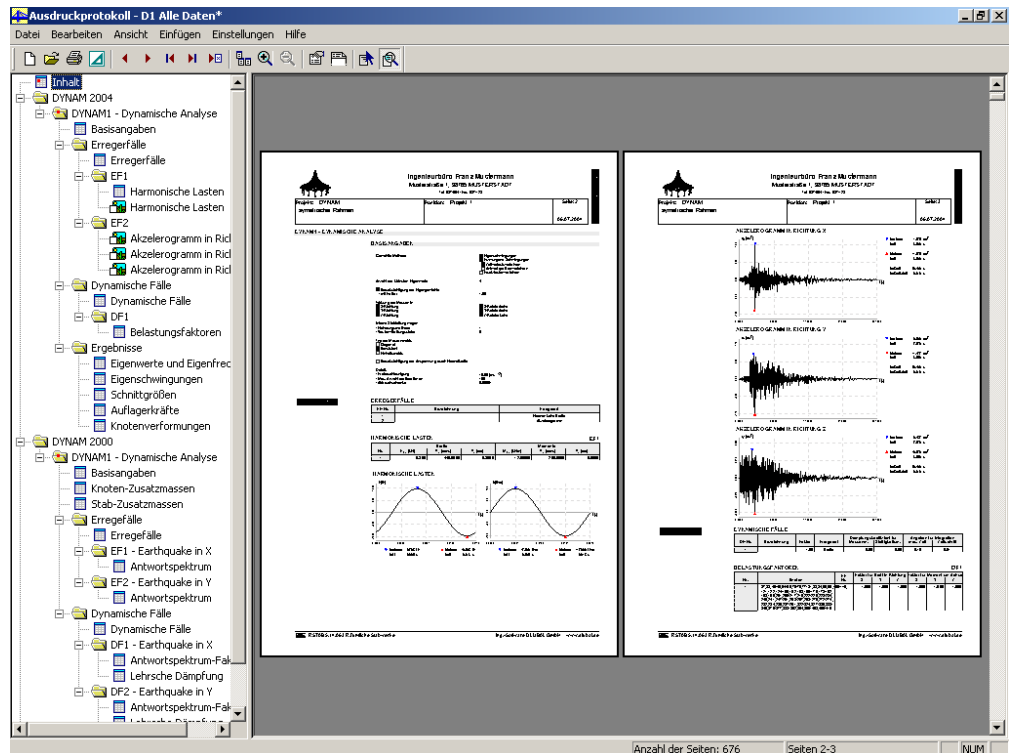


Neues Ausdruckprotokoll

OK

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

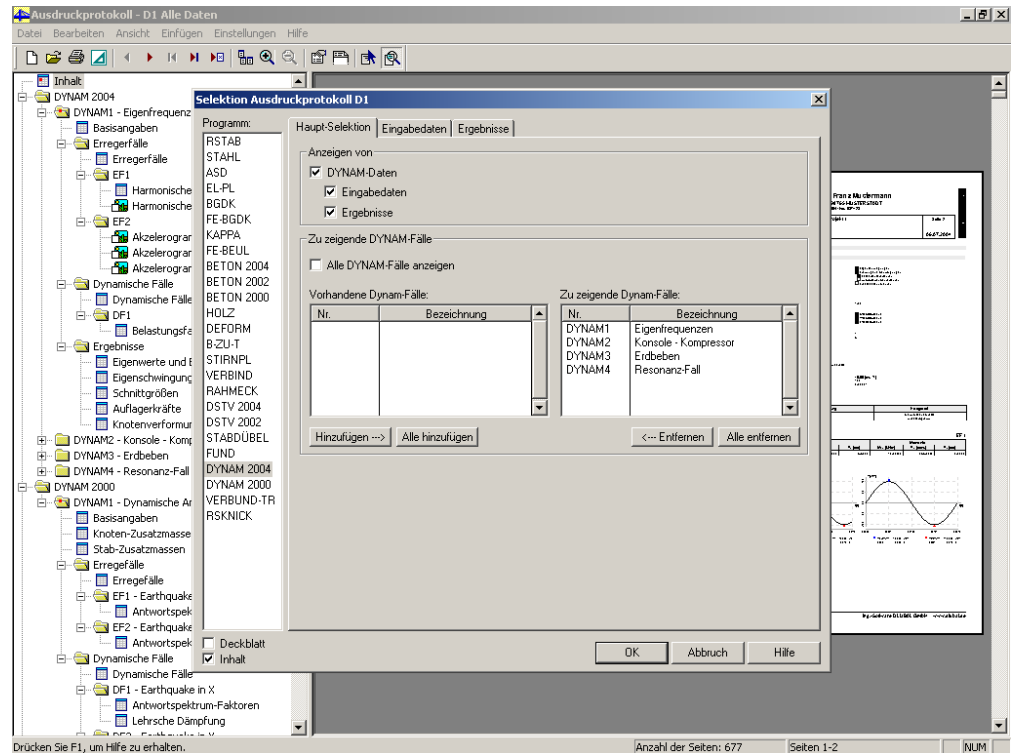
Beachten Sie bitte, dass das Ausdruckprotokoll insgesamt eine Einheit aller Daten aus RSTAB, DYNAM und den weiteren Zusatzmodulen ist. Beugen Sie deshalb auch im eigenen Interesse durch entsprechende Selektion des Ausdruckprotokollinhalts einer unnötigen Datenflut vor.



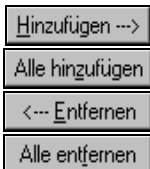
DYNAM-Daten und -Ergebnisse im Ausdruckprotokoll



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



Selektion Ausdruckprotokoll DYNAM, Register *Haupt-Selektion*



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

**Selektion Ausdruckprotokoll D1**

Programm: RSTAB, STAHL, ASD, EL-PL, BGDK, FE-BGDK, KAPPA, FE-BEUL, BETON 2004, BETON 2002, BETON 2000, HOLZ, DEFORM, B-ZU-T, STIRNPL, VERBIND, RAHMECK, DSTV 2004, DSTV 2002, STABDÜBEL, FUND, **DYNAM 2004**, DYNAM 2000, VERBUND-TR, RSKNICK

**Eingabedaten**

- ☒ 1.1 Basisangaben Nr.-Selektion [z. B. 1-5,20]
- ☒ 1.2.1 Knoten-Zusatzmassen Knoten: Alles
- ☒ 1.2.2 Stab-Zusatzmassen Stäbe: Alles
- ☒ 1.3 Normalkräfte Stäbe: Alles
- ☒ 1.4 Erregerfälle
  - ☒ Erregerfälle-Verzeichnis Erregerfälle: Alles
  - Zeilen: Alles
- ☒ 1.5 Dynamische Lastfälle
  - ☒ Dynam. Lastfälle-Verzeichnis DF'e: Alles
  - ☒ Akzelerogramme Zeilen: Alles
  - ☒ Dynamische Lasten Zeilen: Alles
  - ☒ Antwortspektrum Zeilen: Alles
  - ☒ Lehrsche Dämpfung Zeilen: Alles
  - ☒ Anfangsverformungen Zeilen: Alles
  - ☒ Anfangsgeschwindigkeiten Zeilen: Alles
- ☒ 1.7 Ersatzlasten
  - ☒ Ersatzlasten-Verzeichnis EL'e: Alles
  - ☒ DIN 4149 Zeilen: Alles
  - ☒ Eurocode 8 Zeilen: Alles
  - ☒ IBC 2000 Zeilen: Alles

☐ Deckblatt ☒ Inhalt OK Abbruch Hilfe

Selektion DYNAM, Register *Eingabedaten*

Im Register *Eingabedaten* entscheiden Sie über die Anzeige der Basisangaben, Knoten- und Stab-Zusatzmassen sowie 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.

**Selektion Ausdruckprotokoll D1**

Programm: RSTAB, STAHL, ASD, EL-PL, BGDK, FE-BGDK, KAPPA, FE-BEUL, BETON 2004, BETON 2002, BETON 2000, HOLZ, DEFORM, B-ZU-T, STIRNPL, VERBIND, RAHMECK, DSTV 2004, DSTV 2002, STABDÜBEL, FUND, **DYNAM 2004**, DYNAM 2000, VERBUND-TR, RSKNICK

**Ergebnisse**

- ☒ 2.1 Eigenwerte Eigenwerte: Alles
- ☒ 2.2 Eigenschwingungen Stäbe: Alles
- ☒ 2.3 Normierte Knotenverformungen Knoten: Alles
- ☒ 2.4 Knotenmassen Knoten: Alles
- ☒ 2.5 Ersatzmassenfaktoren Eigenwerte: Alles
- ☒ 2.6 Vergrößerungsfaktoren Eigenwerte: Alles
- ☒ 2.7 Schnittgrößen Stäbe: Alles
- ☒ 2.8 Auflagerkräfte Knoten: Alles
- ☒ 2.9 Knotenverformungen Knoten: Alles
- ☒ 2.10 Knotengeschwindigkeiten Knoten: Alles
- ☒ 2.11 Knotenbeschleunigungen Knoten: Alles
- ☒ 2.12 Ersatzlasten EL: Alles

☐ Deckblatt ☒ Inhalt OK Abbruch Hilfe

Selektion DYNAM, Register *Ergebnisse*

Im Register *Ergebnisse* können Sie hinsichtlich der möglichen Ergebnisse wahlweise *Alles* oder einzeln gewählte Teile bestimmen. In jedem Register lässt sich die Selektion mit [OK] übernehmen bzw. mit [Abbruch] verwerfen. Der Dialog wird geschlossen.

## 5. Theorie

In diesem Kapitel werden in knapper Form einige theoretische Hintergründe zum besseren Verständnis von 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 lehrbuchähnlich 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:

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

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

Gleichung 4.4:

$$\det(K_{ij} - \omega^2 M_{ij}) = 0$$

Bereits in der Gleichung (4.3) ist uns die Eigenkreisfrequenz  $\omega$  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. 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 Abhängigkeit von der Zeit
	$\omega$	Kreisfrequenz der Struktur
	$\eta(x)$	die auf 1 im Ort der größten Verschiebung normierte Eigenform
	$Y$	Auslenkung im Ort der gesuchten kinetisch äquivalenten Massen DYNAM nimmt hierfür immer 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  $m_i$  hinzuzuaddieren:

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



Eingespannter Rohrmast

## KINEQ1:

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

## KINEQ2:

Die Gesamtmasse des Mastes  $M = l \cdot \mu = 20\text{ m} \cdot 135\text{ kg/m} = 2700\text{ kg}$  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:

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

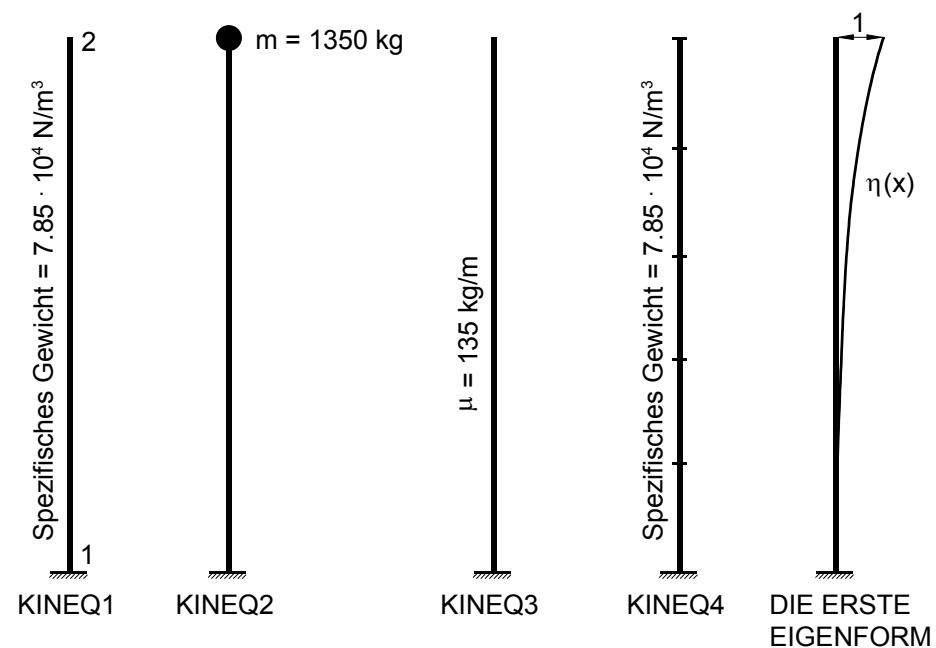
mit  $\lambda = 1.875$ , woraus sich das Integral

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

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 DYNAM führt zu dem Zahlenwert von  $M = 675,1\text{ kg}$ .



Massenverteilung des Stabes in den Beispielen KINEQ1 bis KINEQ4



### Ersatzmassen und Beteiligungsfaktoren

Wurde vor der Berechnung in Maske 1.4 *Zu berechnen* die Ermittlung der Ersatzmassen angewählt, werden in Maske 2.5 *Ersatzmassen* die Werte für folgende Größen ausgegeben: Kinetisch äquivalente Masse, Modale Masse, Beteiligungsfaktor und Ersatzmasse.

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  $\omega_i$

Mit den Ausdrücken

$M_i = V_i^T m V_i$  modale Masse

$L_i = V_i^T m$  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  $V_i$ . 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 und die Beteiligungsfaktoren.

Ein praktischer Anwendungsfall hierzu stellt das nachfolgende Beispiel dar.

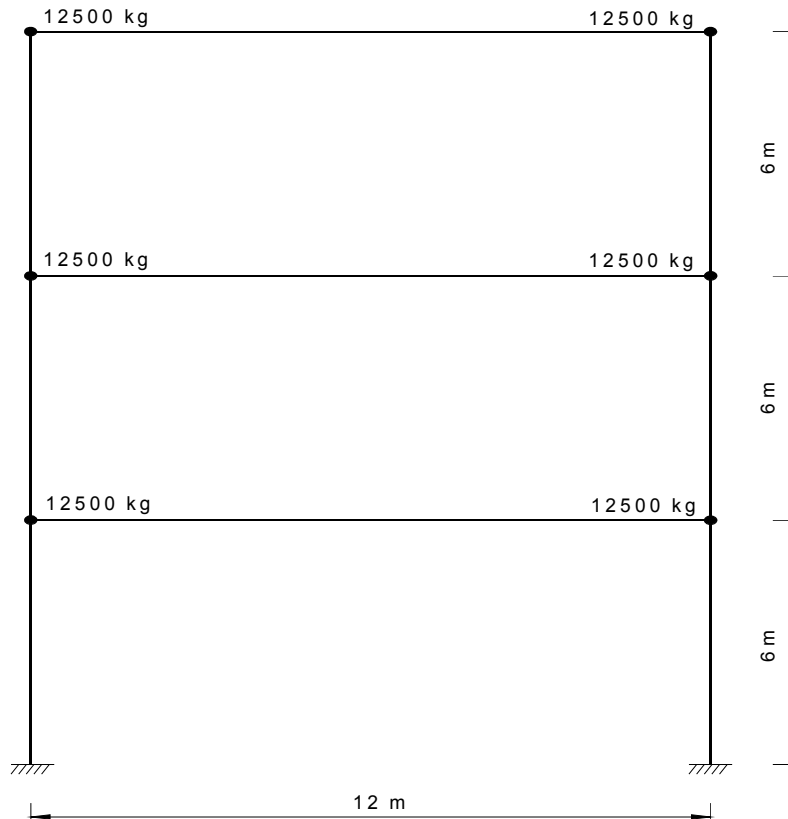
Weiterführende Informationen enthält [11], Seite 678.

### 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.



Berechnung der Ersatzmassen an einem Dreigeschossrahmen

Da eine zweidimensionale, symmetrische Struktur vorliegt, erhalten wir für die Knoten der linken Seite dieselben Ersatzmassen wie für die Knoten der rechten Seite.

Eigenform Nr.	Ersatzmasse [kg]	
	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 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 DYNAM im Vordergrund.

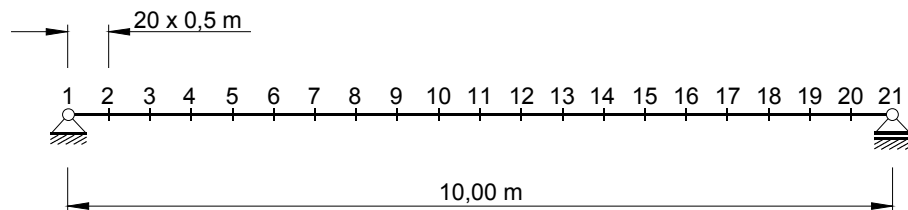
### 6.1 Balken

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  $I_y = 1.067E-3$  m<sup>4</sup> und eine Fläche von  $A = 8.0E-2$  m<sup>2</sup>. Der Elastizitätsmodul ist  $E = 3.0E+7$  kN/m<sup>2</sup>.

Da das spezifische Gewicht  $\gamma = 25$  kN/m<sup>3</sup> beträgt, hat jeder Einzelbalken ein Gewicht von  $G_i = \gamma A l / g = 25000 \cdot 0.08 \cdot 0.5 / 10$  kg = 100 kg.



Skizze zum Beispiel Nr. 1: Balken

Aus der Ergebnisauflistung von 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 DYNAM im Vergleich zu der Literaturstelle erzielt. Folgende Tabelle stellt die Ergebnisse gegenüber.

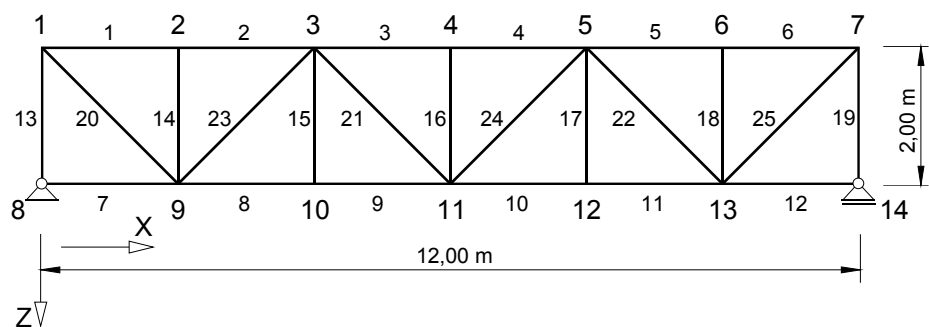
Sechs niedrigste Eigenfrequenzen f [Hz]		
Nr. der Eigenfrequenz	DYNAM1	Literaturstelle
1	6.284	6,283
2	25,137	25,133
3	56,556	56,547
4	86,580	86,580
5	100,535	100,519
6	157,056	157,032

## 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  $7.88 \text{ t/m}^3$ .

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



Skizze zum Beispiel Nr. 2: Fachwerkträger

DYNAM berechnet im Vergleich zu der Literaturstelle folgende Eigenfrequenzen:

Fünf niedrigste Eigenfrequenzen $f$ [Hz]		
Nr. der Eigenfrequenz	DYNAM1	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 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  $14.78 \text{ m}^2$ , woraus sich eine kontinuierliche Massenbelegung

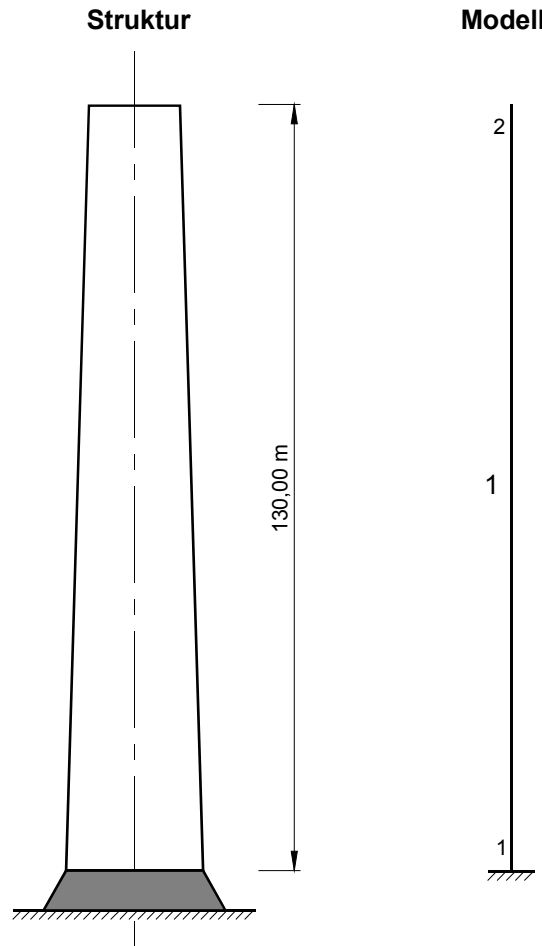
$\mu = \gamma A / g = 25000 \cdot 14.78 / 10 \text{ kg/m} = 36.95E+3 \text{ kg/m}$  ergibt.

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

Folgende Werte gelten für den Kopfbereich des Schornsteins:

Die Fläche  $A_E$  beträgt  $4.79 \text{ m}^2$ , woraus sich eine kontinuierliche Massenbelegung  $\mu = \gamma A / g = 25000 \cdot 4.79 / 10 \text{ kg/m} = 11.973\text{E}+3 \text{ kg/m}$  ergibt.

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



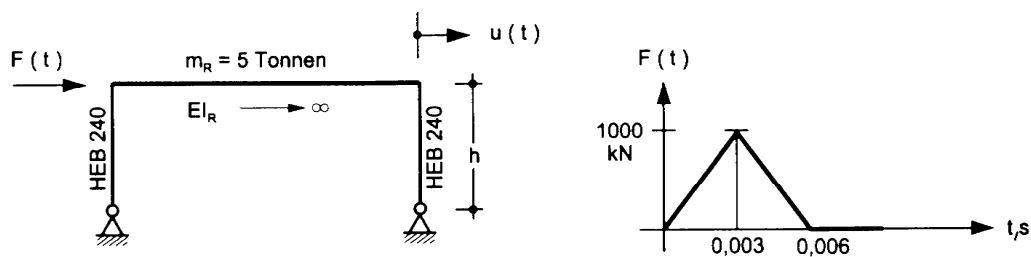
Skizze zum Beispiel Nr. 3: Betonschornstein

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

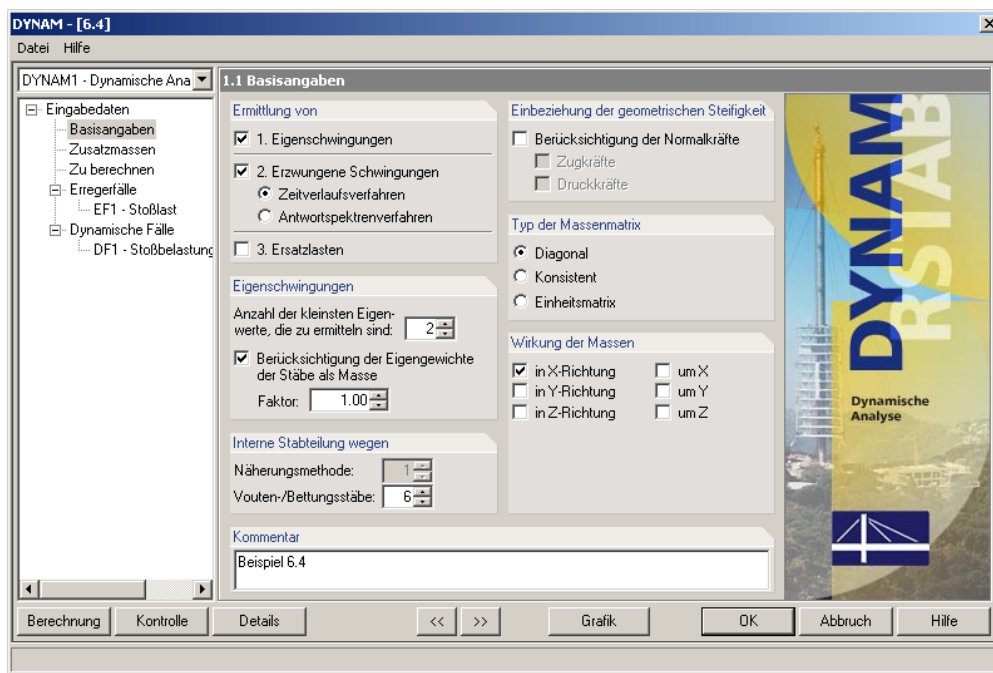
## 6.4 Stahlrahmen unter Stoßbelastung

Es handelt sich um das in [13] auf S. 45 behandelte Beispiel 3.1 – Stahlrahmen unter Stoßbelastung. Es soll den Zusammenhang zwischen den maximalen Schnittgrößen und der gewählten Integrationszeit verdeutlichen. Diese ist nicht unerheblich, da die maximalen Schnittgrößen erst nach einer gewissen Einschwingphase, also erst nach dem eigentlichen Einwirken des Kraftstoßes, auftreten.



Skizze zum Beispiel Nr. 4: Stahlrahmen

Das obige Bild zeigt einen einstöckig-einfeldrigen Stahlrahmen, der durch eine kurzzeitige Stoßlast  $F(t)$  auf Riegelhöhe belastet wird. Der Rahmen ist 4,50 m breit und 3,0 m hoch. Seine Masse beträgt 5 Tonnen, welche „verschmiert“ mit 10,90 kN/m als Linienlast definiert wird. Die Stiele aus Stahl werden als masselos angesetzt.



Basisangaben ohne Berücksichtigung des Eigengewichtes

**DYNAM - [6.4]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

1.2.1 Knoten-Zusatzmassen

Nr.	Liste der Knoten mit Masse	Masse m <sub>x</sub> [kg] m <sub>y</sub> [kg] m <sub>z</sub> [kg]	Massenmoment I <sub>x</sub> [kgm <sup>2</sup> ] I <sub>y</sub> [kgm <sup>2</sup> ] I <sub>z</sub> [kgm <sup>2</sup> ]	Kommentar
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Knoten picken Übernehmen von RSTAB...

1.2.2 Stab-Zusatzmassen

Nr.	Liste der Stäbe mit Masse	Masse m [kg/m]	Kommentar
1	3	1090.000	Masse Riepel = 5 t
2			
3			
4			
5			
6			

Stäbe picken Übernehmen von RSTAB...

Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Übernahme der Riegelmasse als Stab-Zusatzmasse

Integrationszeitraum 0.000 bis 0.006 sek:

**DYNAM - [6.4]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

1.5 Erregerfälle

Erregerfall  
EF-Nummer: EF1 Neu Löschen  
Bezeichnung: Stoßlast

Erreger typ  
☐ Akzelerogramm ☐ Harmonische Lasten  
☒ Tabellierte Lasten

Tabellierte Lasten

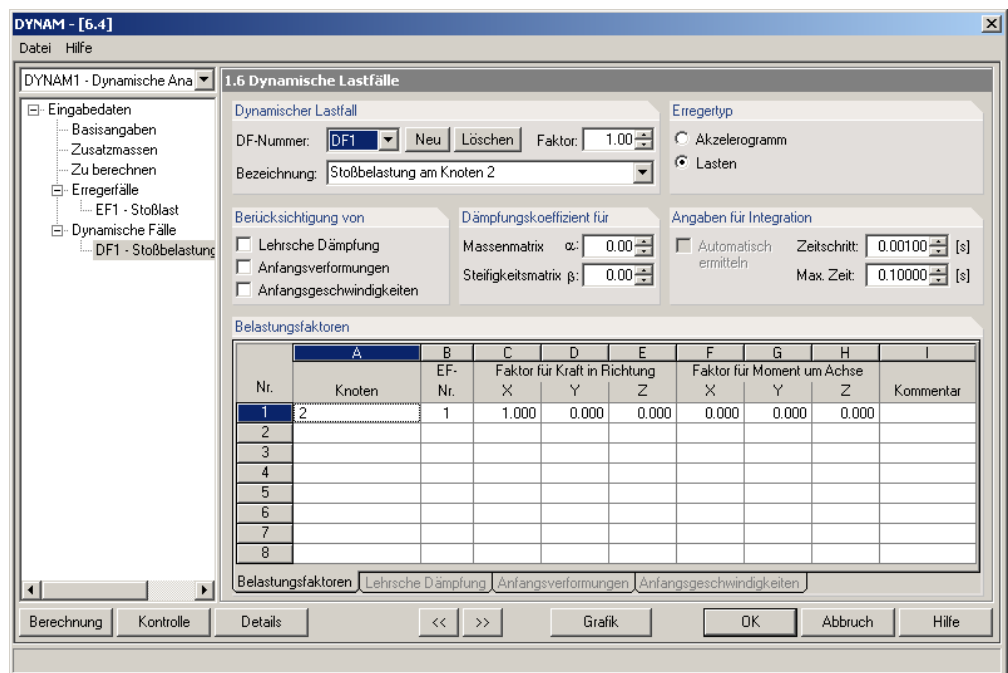
Nr.	Zeit t [s]	Kraft F [kN]	Moment M [kNm]
1	0.00000	0.000	0.00000
2	0.00300	1000.000	0.00000
3	0.00600	0.000	0.00000
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Bibliothek Sichern

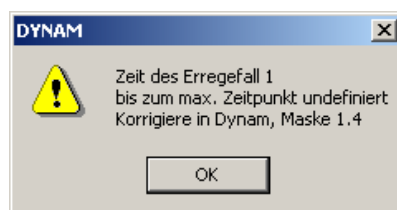
Verlauf  
Lastart: ☒ Kraft ☐ Moment

Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Lasteinwirkung 0.000 bis 0.006 sek



Stoßbelastung am Knoten 2, Einwirkungszeit 0.00 bis 0.1 sek



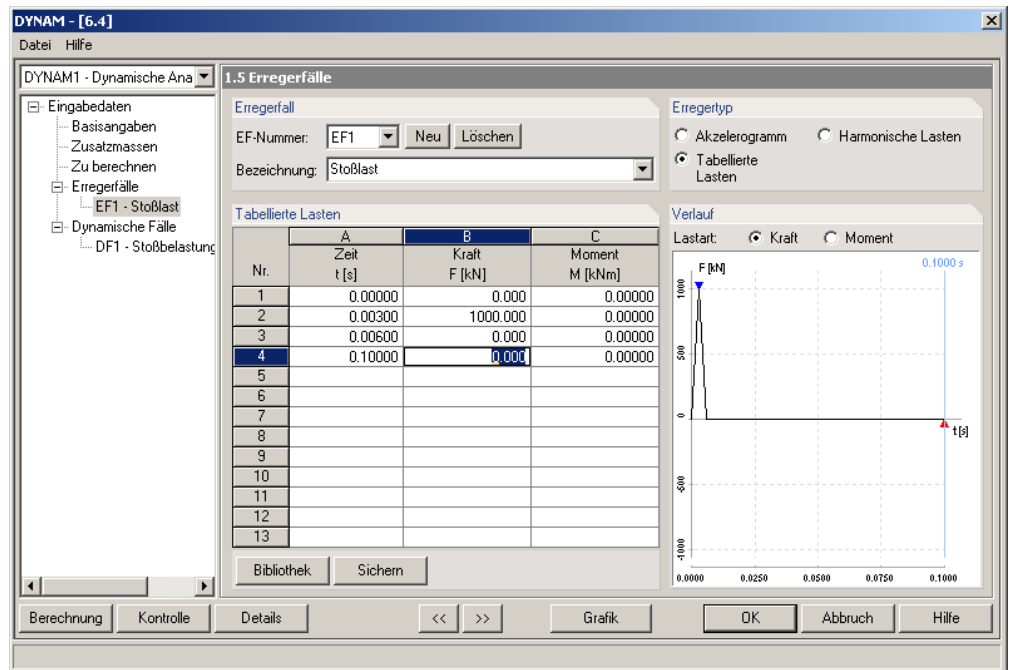
Meldung, dass die Integrationszeit erhöht werden muss

Das Programm lässt einen Integrationszeitraum über die Dauer des eigentlichen Kraftstoßes gar nicht zu, da dieser keinesfalls die maximal auftretenden Schnittgrößen erfassen würde (diese liegen bei 10 % der Maximalschnittgröße). Aus diesem Grunde verändern wir den Lasteinwirkungszeitraum.

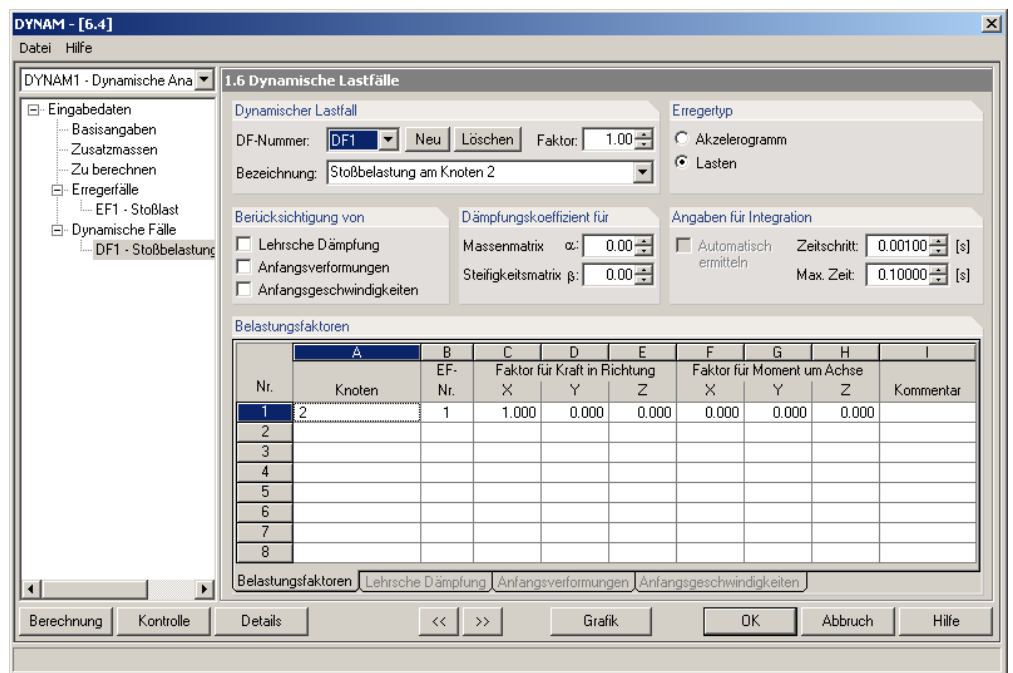
### Integrationszeitraum 0.000 bis 0.100 sek

Da das Programm lediglich einen maximalen Integrationszeitraum, welcher der Belastungseinwirkung entspricht, zulässt, sollte dieser sozusagen durch einen „Trick“ verlängert werden. Dies lässt sich am besten durchführen, indem man die Zeit der Belastungseinwirkung derart verlängert, dass einfach ein weiterer späterer Einwirkungszeitpunkt mit der Belastungsgröße 0 definiert wird.

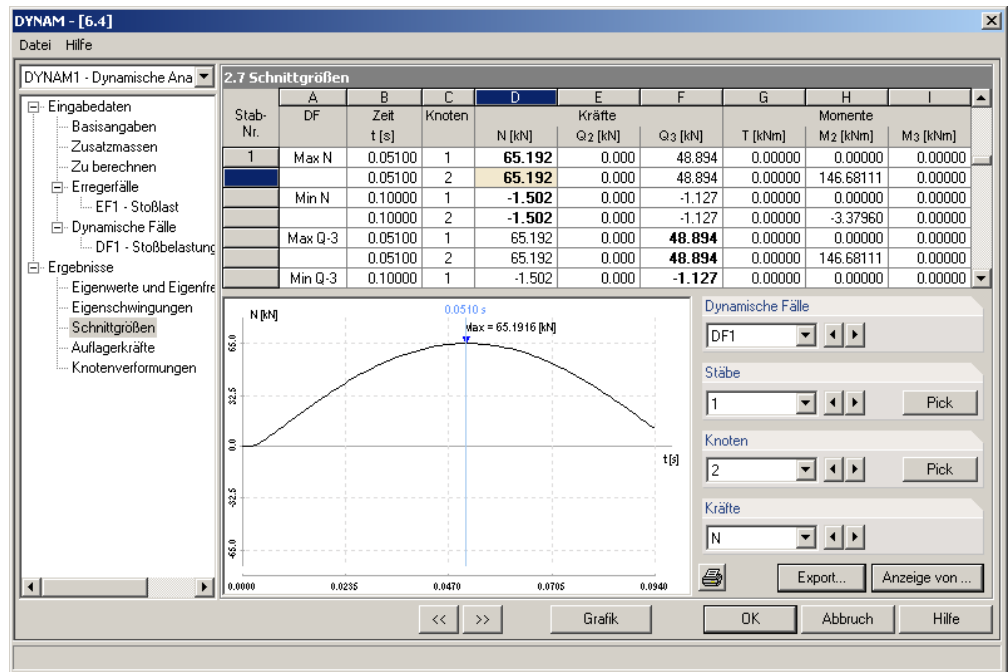




Lasteinwirkung 0.000 bis 0.100 sek

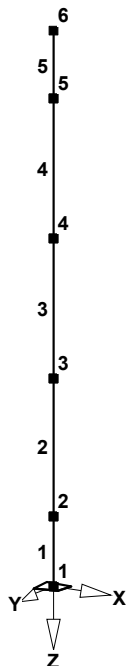


Einwirkungszeit 0.00 bis 0.10 sek der Stoßbelastung als Integrationszeitraum



## 6.5 Erdbebenersatzlasten nach DIN 4149

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



Strukturmodell zu Beispiel Nr. 5: Erdbebenersatzlasten

**BASISANGABEN**

## BERECHNUNGSART

x Statik	Theorie I. Ordnung
Nachweis	Theorie II. Ordnung
Dynamik	Seiltheorie

x Lastfälle	Bemessungsfälle
LF-Gruppen	Dynamikfälle
LF-Kombinationen	Knickfiguren

## STRUKTURKENNWERTE

1D-Durchlaufträger	6Knoten	5Stäbe
x 2D-Stabwerk	1Materialien	0Seilstäbe
3D-Stabwerk	4Querschnitte	0Voutenstäbe
Trägerrost	0Stabendgelenke	0El. gebet. Stäbe
	0Stabteilungen	0Stabzüge

**KNOTEN**

Knoten-Nr.	Koordinaten-system	Bezugs-Knoten	X [m]	Knotenkoordinaten Y [m]	Z [m]
1	Kartesisch	-	0.000		100.000
	Gelagert				
2	Kartesisch	-	0.000		87.500
3	Kartesisch	-	0.000		62.500
4	Kartesisch	-	0.000		37.500
5	Kartesisch	-	0.000		12.500
6	Kartesisch	-	0.000		0.000

**MATERIALIEN**

Mater.-Nr.	Material-Bezeichnung	E-Modul [kN/m <sup>2</sup> ]	Schubmodul [kN/m <sup>2</sup> ]	Sp. Gewicht [kN/m <sup>3</sup> ]	Wärmedehn. [1/°C]
1	Beton B 25	3.000E+07	1.400E+07	2.500E+01	1.000E-05

**QUERSCHNITTE**

Quer.-Nr.	Mater.-Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	I-2 [m <sup>4</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	A-3 [m <sup>2</sup> ]
1	1	Q1	12.6667	10000.	
2	1	Q2	19.0000	10000.	
3	1	Q3	25.3333	10000.	
4	1	Q4	31.6667	10000.	

**STÄBE**

Stab-Nr.	Stab-typ	Knoten Anf. Ende	Beta [°]	Querschnitt Anf. Ende	Gelenk Anf. Ende	Teil.-Nr.	Länge [m]	Stab-lage
1	Balken	1 2	0.0	1 1	- -	-	12.500	VERT
2	Balken	2 3	0.0	2 2	- -	-	25.000	VERT
3	Balken	3 4	0.0	3 3	- -	-	25.000	VERT
4	Balken	4 5	0.0	4 4	- -	-	25.000	VERT
5	Balken	5 6	0.0	4 4	- -	-	12.500	VERT

**AUFLAGER**

Lager-Nr.	Gelagerte Knoten	Drehung [°] Alpha Beta	Festes Auflager bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad] in X in Y in Z um X um Y um Z					
1	1	0.0 0.0	Ja		Ja		Ja	

Gemäß DIN 4149 wurden für dieses Beispiel folgende Parameter ausgewählt:

Erdbebenzone: 1

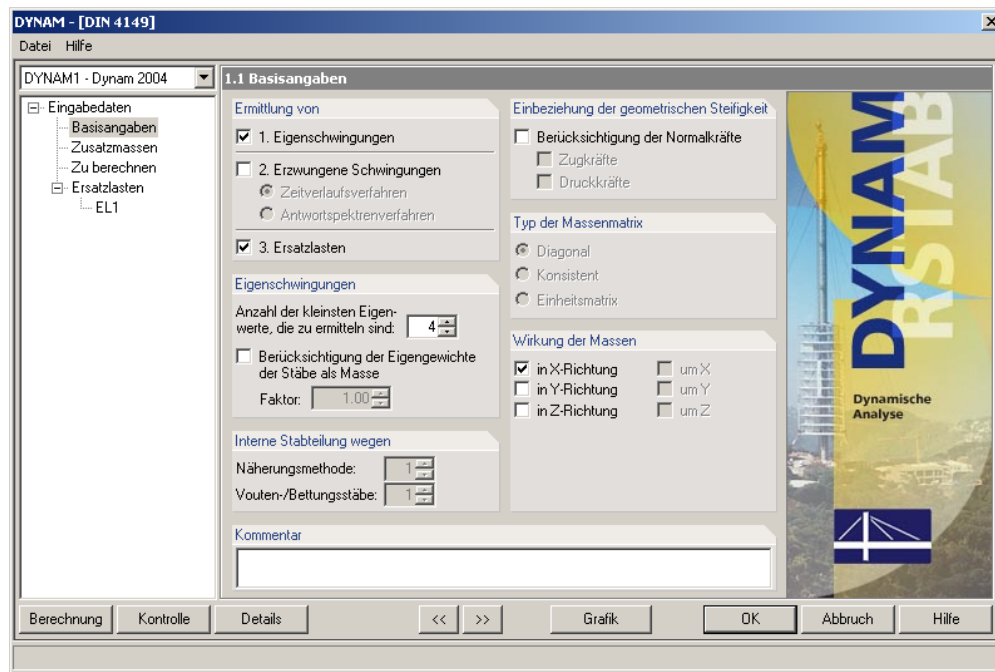
Bauwerksklasse: 1

Regelwert für die Horizontalbeschleunigung  $a_0$ : 0.25 m/s<sup>2</sup>

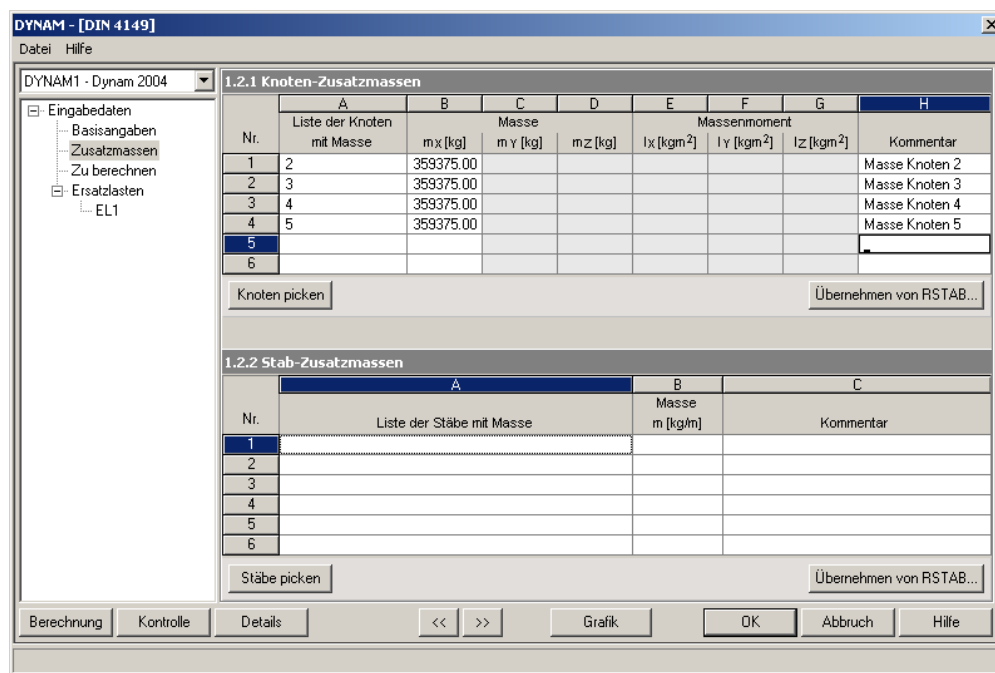
Abminderungsfaktor  $\alpha$ : 0.5

Baugrundfaktor  $\kappa$ : 1.2

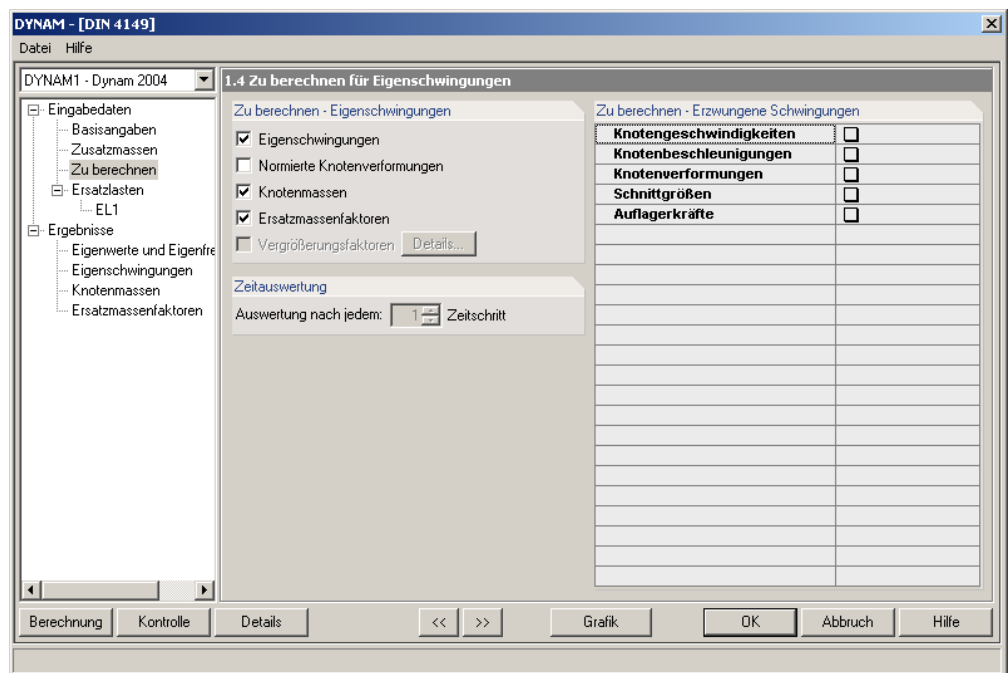
Hieraus ergibt sich nach Abschnitt 7.2.4 als Rechenwert der Horizontalbeschleunigung:  $\text{cal } a = 0,15 \text{ m/s}^2$



Basisangaben ohne Berücksichtigung des Eigengewichts und mit Wirkung der Massen in X-Richtung



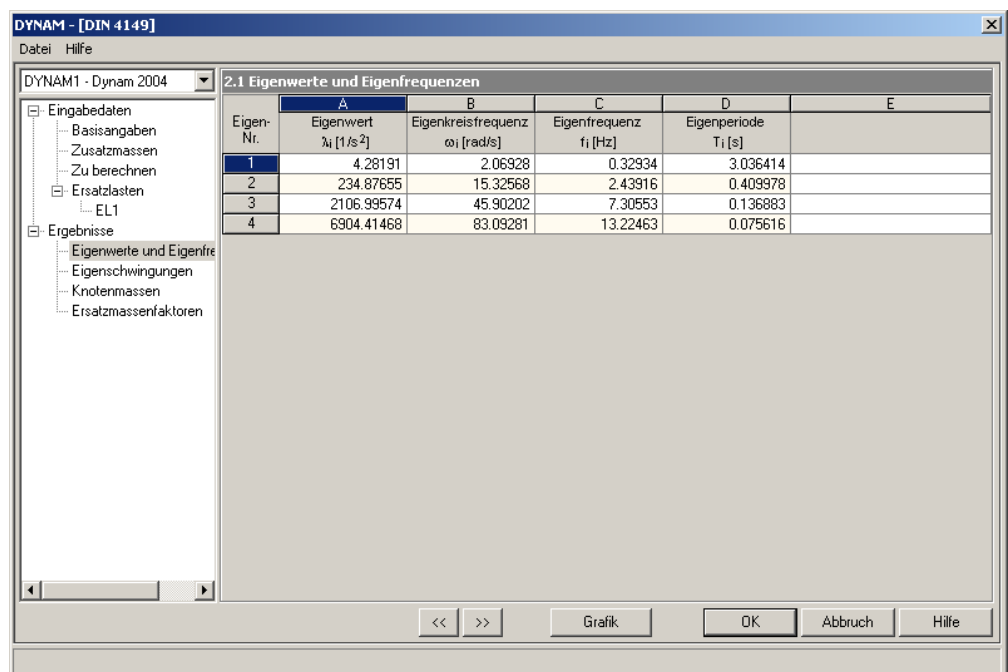
Massenbelegung der Knoten 2 bis 5 mit je 359 375 kg



Maske 1.4 Zu berechnen

Um festzustellen, wie viele Eigenformen berücksichtigt werden müssen, ist es hilfreich, in Maske 1.4 *Zu berechnen* die Ersatzmassen und Knotenmassen zusätzlich berechnen zu lassen. Denn grundsätzlich sollen so viele Modalformen mitgenommen werden, dass die Summe der effektiven modalen Massen (d. h. bei einer vorgenommenen Normierung  $M_i = 1$  die Summe der Quadrate der Anteilsfaktoren) mindestens 90 % der effektiven Gesamtmasse beträgt.

Wenn jetzt in Maske 1.7 *Ersatzlasten* gewechselt wird, werden automatisch die Eigenfrequenzen, normierten Eigenschwingungen, Knotenmassen und Ersatzmassenfaktoren ermittelt.



Maske 2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen

**DYNAM - [DIN 4149]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynam 2004

**2.2 Eigenschwingungen**

Eigen-Nr.	Stab-Nr.	Knoten-Nr.	Normierte Verschiebung			Normierte Verdrehung		
			u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	u <sub>z</sub>	φ <sub>x</sub>	φ <sub>y</sub>	φ <sub>z</sub>
1	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	2	0.03444	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00534	0.00000
	3	3	0.23692	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01041	0.00000
	4	4	0.23692	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01041	0.00000
	5	5	0.84045	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01276	0.00000
	6	6	1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.01276	0.00000
2	1	1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	2	2	0.18501	0.00000	0.00000	0.00000	-0.02467	0.00000
	3	3	0.18501	0.00000	0.00000	0.00000	-0.02467	0.00000
	4	4	0.44048	0.00000	0.00000	0.00000	0.02799	0.00000
	5	5	-0.48261	0.00000	0.00000	0.00000	0.04139	0.00000
	6	6	-1.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.04139	0.00000

Sortieren nach: ☐ Stäben ☒ Eigenformen

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.2 Eigenschwingungen

**DYNAM - [DIN 4149]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynam 2004

**2.4 Knotenmassen**

Knoten-Nr.	Knotenmasse		
	m <sub>x</sub> [kg]	m <sub>y</sub> [kg]	m <sub>z</sub> [kg]
1	0.0	0.0	0.0
2	359400.0	0.0	0.0
3	359400.0	0.0	0.0
4	359400.0	0.0	0.0
5	359400.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0
Summe	1437600.0	0.0	0.0

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.4 Knotenmassen

DYNAM - [6.5-Erdbenenlasten DIN 4149 05.02.08]

File Help

DYNAM1 - Dynam 2004

- Eingabedaten
  - Basisangaben
  - Zusatzmassen
  - Zu berechnen
  - Ersatzlasten
    - EL1 - Erdbeben
- Ergebnisse
  - Eigenwerte und Eigenfre
  - Eigenschwingungen
  - Knotenmassen
  - Ersatzmassenfaktoren

### 2.5 Ersatzmassenfaktoren

Eigen-Nr.	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]	$f_{max}$ [-]	$f_{meY}$ [-]	$f_{meZ}$ [-]
1	373482.3	588229.0	0.0	0.0	926451.8	0.0	0.0	0.644	0.000	0.000
2	346534.8	306254.5	0.0	0.0	270656.3	0.0	0.0	0.188	0.000	0.000
3	328654.1	-174807.7	0.0	0.0	92978.4	0.0	0.0	0.065	0.000	0.000
4	457414.6	259759.2	0.0	0.0	147513.5	0.0	0.0	0.103	0.000	0.000
Summe					1437600.	0.0	0.0	1.000	0.000	0.000

Zu zeigen: ☒ Ersatzmassenfaktoren ☐ Summen von Ersatzmassenfaktoren

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 2.5 Ersatzmassenfaktoren

In Maske 2.5 *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.

DYNAM - [DIN 4149]

File Help

DYNAM1 - Dynam 2004

- Eingabedaten
  - Basisangaben
  - Zusatzmassen
  - Zu berechnen
  - Ersatzlasten
    - EL1 - Erdbeben
- Ergebnisse
  - Eigenwerte und Eigenfre
  - Eigenschwingungen
  - Knotenmassen
  - Ersatzmassenfaktoren

### 1.7 Ersatzlasten

Ersatzlast

EL-Nummer:

Bezeichnung (der LK):

Generieren nach Norm:

Export in RSTAB

☒ Generierte Lastfälle zusammenfassen in LK:

Überlagerungsart: ☐ Linear ☒ Quadratisch

Norm-Parameter

Erdbebenzone:  Bauwerksklasse:

Regelwert  $a_g$ :  [m/s<sup>2</sup>] Abminderungsfaktor  $\alpha$ :

Faktor für Einfluß des Untergrundes  $\kappa$ :  Rechenwert  $\alpha_1$ :  [m/s<sup>2</sup>]

Wahl der Eigenformen

Nr.	Eigenform		Generieren in RSTAB-LF Nr.	Beiwert des normierten Antwortspektrums $\beta$ [-]	LF-Bezeichnung
	Zu generieren	Nr.			
1	<input checked="" type="checkbox"/>	1 - 0.32934 Hz	1	0.2171	Ersatzlasten Eigf.1
2	<input checked="" type="checkbox"/>	2 - 2.43916 Hz	2	1.0000	Ersatzlasten Eigf.2
3	<input checked="" type="checkbox"/>	3 - 7.30553 Hz	3	1.0000	Ersatzlasten Eigf.3
4	<input checked="" type="checkbox"/>	4 - 13.22463 Hz	4	1.0000	Ersatzlasten Eigf.4

Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Maske 1.7 Ersatzlasten

In Maske 1.7 *Ersatzlasten* werden nach der Festlegung der *Norm-Parameter* alle vier Eigenformnummern in Spalte A ausgewählt. Die Ersatzlasten werden weiter automatisch in die RSTAB Lastfälle 1 bis 4 geschrieben (Spalte C). Die Lastfälle werden im Abschnitt *Export in RSTAB* in der Lastfallkombination 1 zusammengefasst.

Zur Berechnung wird die Ersatzlast-Nummer *EL 1* ausgewählt.

**Zu berechnen**

Nicht berechnete DF'e:		Zur Berechnung gewählte DF'e:	
Nr.	Bezeichnung	Nr.	Bezeichnung
		EL1	Erdbeben

☒ Alle noch nicht berechneten

Zu berechnen

**DYNAM - [DIN 4149]**

Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynam 2004

2.12 Generierte Ersatzlasten - EL 1

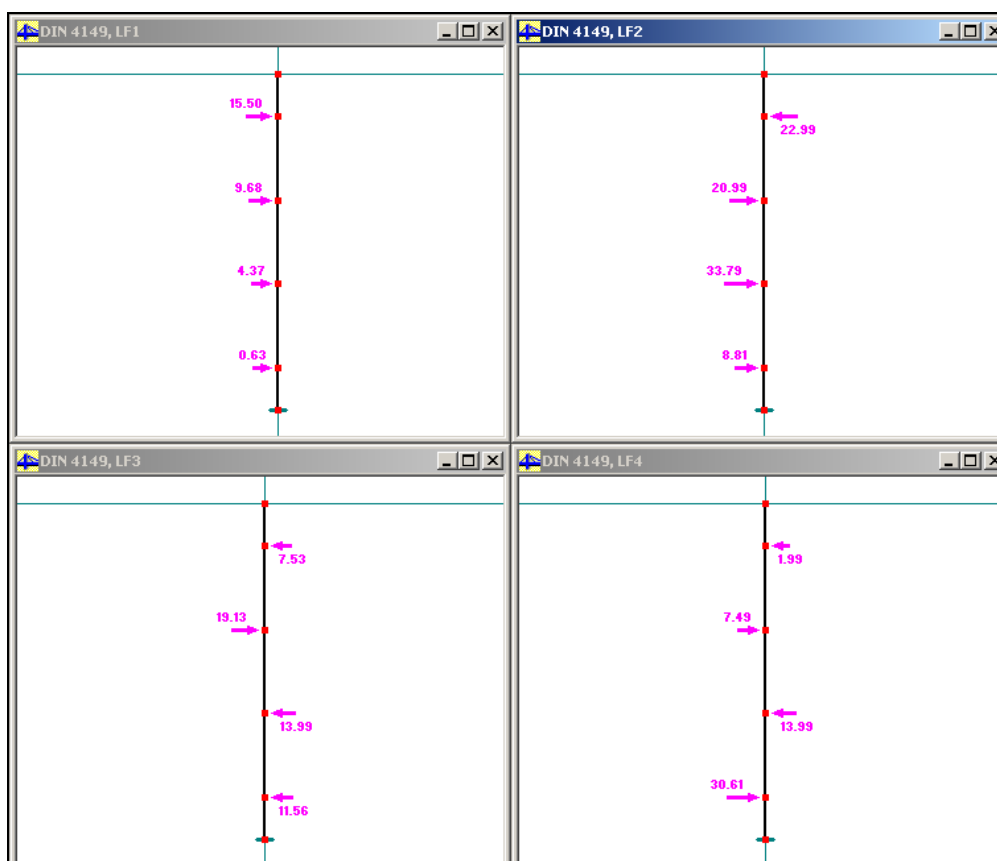
Knoten-Nr.	Eigenform-Nr.	Knotenlast		HEZ [N]
		HEX [N]	HEY [N]	
1	3	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.0	0.0
2	1	634.9	0.0	0.0
	2	8814.5	0.0	0.0
	3	-11556.9	0.0	0.0
	4	30614.7	0.0	0.0
3	1	4368.1	0.0	0.0
	2	33791.2	0.0	0.0
	3	-13989.1	0.0	0.0
	4	-13986.7	0.0	0.0
4	1	9677.4	0.0	0.0
	2	20986.2	0.0	0.0
	3	19128.9	0.0	0.0
	4	7485.6	0.0	0.0
5	1	15495.4	0.0	0.0
	2	-22993.5	0.0	0.0
	3	-7529.7	0.0	0.0
	4	-1986.6	0.0	0.0
6	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0

Sortieren nach: ☒ Knoten ☐ Eigenformen

Maske 2.12 Generierte Ersatzlasten

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





Grafik der exportierten Ersatzlastfälle 1 bis 4

Die ermittelten Erdbebenersatzlasten können jetzt mit den manuell berechneten verglichen werden.

Knoten	Masse [kg]	Normierte Verschiebung $\psi_{ji}$ EF1	Normierte Verschiebung $\psi_{ji}$ EF2	Normierte Verschiebung $\psi_{ji}$ EF3	Normierte Verschiebung $\psi_{ji}$ EF4
1	0.0	0	0	0	0
2	359400.0	0.03444	0.18501	-0.40304	1.00000
3	359400.0	0.23692	0.70925	-0.48786	-0.45686
4	359400.0	0.52489	0.44048	0.66711	0.24451
5	359400.0	0.84045	-0.48261	-0.26260	-0.06489
6	0.0	1.00000	-1.00000	-1.00000	-0.44029
$\Sigma m_j \cdot \psi_{ji}$		588182	306231	174793	259738
$\Sigma m_j \cdot \psi_{ji}^2$		373450	346504	328626	457381
$\omega_i$ [Hz]		2.06928	15.32568	45.90202	83.09281
$f_i$ [Hz]		0.32934	2.43916	7.30553	13.22463
$T_i$ [s]		3.036414	0.409978	0.136883	0.075616
$\beta_i$		0.2171	1.0000	1.0000	1.0000

Mit

$$\gamma_{j,i} = \psi_{j,i} \cdot \frac{\sum m_i \cdot \psi_{j,i}}{\sum m_i \cdot \psi_{j,i}^2}$$

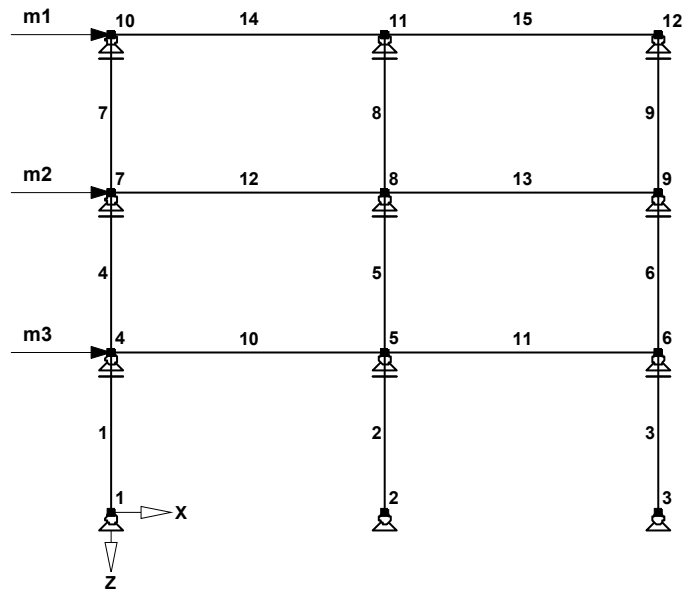
und

$$H_{E,j,i} = m_i \cdot \beta \cdot \gamma_{j,i} \cdot c_{al}$$

ergeben sich folgende Ersatzlasten, die vollständig mit den in DYNAM ZUSATZ II ermittelten Ersatzlasten übereinstimmen.

Knoten	Eigenform 1		Eigenform 2		Eigenform 3		Eigenform 4	
	$\gamma_{j,i}$	$H_{E,j,i}$ [N]	$\gamma_{j,i}$	$H_{E,j,i}$ [N]	$\gamma_{j,i}$	$H_{E,j,i}$ [N]	$\gamma_{j,i}$	$H_{E,j,i}$ [N]
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,05423	635	0,16351	8814	0,21437	11556	0,56788	30612
3	0,37315	4368	0,62681	33790	0,25949	13988	-0,25944	-13986
4	0,82670	9678	0,38928	20985	-0,35483	-19128	0,13885	7485
5	1,32369	15496	-0,42652	-22992	0,13967	7529	-0,06489	-1986
6	0	0	0	0	0	0	0	0

## 6.6 Modalanalyse eines Rahmens



Skizze zum Beispiel Nr. 6: 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, 14:  $2 EI_R = 64\,000\text{ KNm}^2$

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

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

$m_1 = m_2 = 30\text{ t}$

$m_3 = 8\text{ t}$

In diesem Beispiel werden zuerst die ersten drei Eigenformen ermittelt. Anschließend wird das Verhalten des Rahmens infolge der Belastung

$$P(t) = \begin{bmatrix} 10,0 \\ 10,0 \\ 5,0 \end{bmatrix} f(t); \quad f(t) = (0\text{ sec} = 0\text{ KN} ; 0,5\text{ sec} = 1\text{ KN} ; 1\text{ sec} = 0\text{ KN})$$

an den Knoten 4, 7 und 10 untersucht.

Für alle drei Modalbeiträge wird ein Dämpfungswert von 2 % gewählt.

Weiterhin soll der Rahmen unter einer seismischen Fußpunkterregung in horizontaler Richtung nach der modalanalytischen Antwortspektrum-Methode betrachtet werden.

Ermittlung der ersten drei Eigenperioden:

Basisangaben ohne Berücksichtigung des Eigengewichts

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

Nr.	Liste der Knoten mit Masse	Masse $m_x$ [kg]	Masse $m_y$ [kg]	Masse $m_z$ [kg]	Massenmoment $I_x$ [kgm <sup>2</sup> ]	Massenmoment $I_y$ [kgm <sup>2</sup> ]	Massenmoment $I_z$ [kgm <sup>2</sup> ]	Kommentar
1	4-6	10000.000						
2	7-9	10000.000						
3	10-12	2677.000						
4								
5								
6								

The '1.2.2 Stab-Zusatzmassen' (Bar Additional Masses) section is also visible but empty.

Knoten-Zusatzmassen

DYNAM - [6.6]  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

2.1 Eigenwerte und Eigenfrequenzen

Eigen-Nr.	A Eigenwert $\lambda_i$ [1/s <sup>2</sup> ]	B Eigenkreisfrequenz $\omega_i$ [rad/s]	C Eigenfrequenz $f_i$ [Hz]	D Eigenperiode $T_i$ [s]	E
1	69.15796	8.31613	1.32355	0.755542	
2	1193.21816	34.54299	5.49769	0.181895	
3	3537.46032	59.47655	9.46599	0.105641	

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Eigenwerte und Eigenfrequenzen

Folgende Tabelle vergleicht die DYNAM-Ergebnisse mit den Literaturergebnissen:

Eigenform Nr.	Eigenperiode $T_i$ [sec]	
	DYNAM	Literatur [13]
1	0.755542	0.755128
2	0.181895	0.181723
3	0.105641	0.105522

Weiter wird nun die eingangs beschriebene Zeitfunktion der Tragwerksbelastung als *Tabellierte Kraft* definiert.

DYNAM - [6.6]  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

1.5 Erregerfälle

Erregerfall  
EF-Nummer: EF1 Neu Löschen  
Bezeichnung: Tabellierte Last

Erregerart  
☒ Akzelerogramm ☐ Harmonische Lasten  
☒ Tabellierte Lasten

Verlauf  
Lastart: ☒ Kraft ☐ Moment

Tabellierte Lasten

Nr.	A Zeit $t$ [s]	B Kraft $F$ [kN]	C Moment $M$ [kNm]
1	0.00000	0.000	0.00000
2	0.50000	1.000	0.00000
3	1.00000	0.000	0.00000
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

Bibliothek Speichern

Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Zeitfunktion der Tragwerksbelastung

Der definierte Erregerfall *EF1* wird jetzt mit den oben beschriebenen Belastungsfaktoren den Knoten 4, 7 und 10 zugeordnet.

In Maske 1.6 *Dynamische Lastfälle* wird für die Integration ein *Zeitschritt* von 0.01 s festgelegt, dies entspricht einem Zehntel der kleinsten Eigenperiode. Die *Maximale Zeit* beträgt 1.00 s.

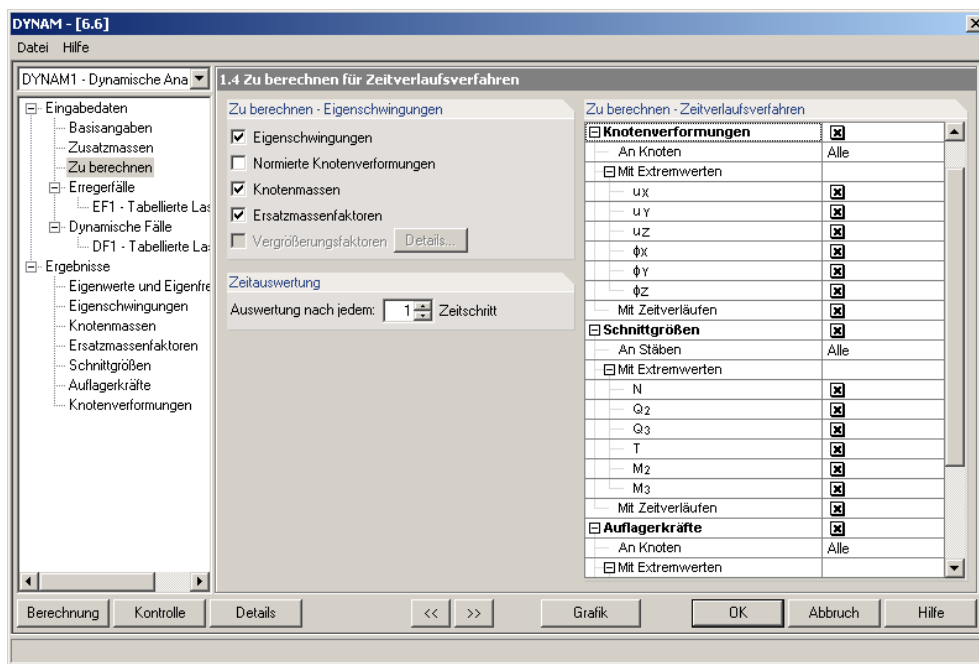
Nr.	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Knoten	EF-Nr.	Faktor für Kraft in Richtung			Faktor für Moment um Achse			
			X	Y	Z	X	Y	Z	Kommentar
1	4	1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
2	7	1	10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	10	1	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
4									
5									
6									
7									
8									

Belastungsfaktoren

Gewählt wird für alle drei Modalbeiträge ein Dämpfungswert von 2 %.

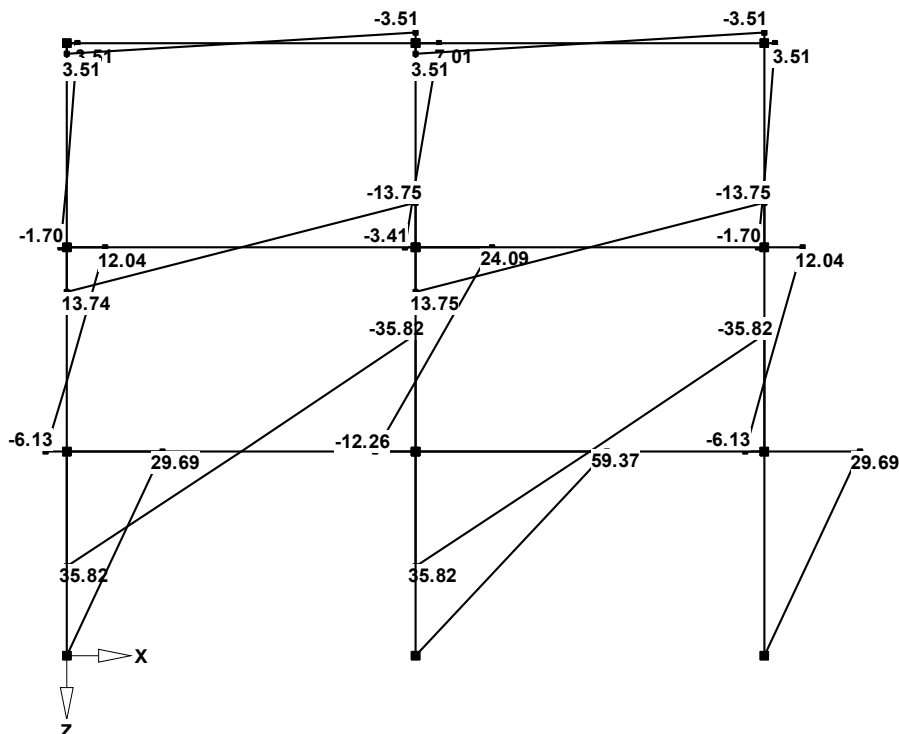
Nr.	A	B	C
	Eigenfrequenz-Nr.	Lehrsches Dämpfungsmaß $D_i$ [-]	Kommentar
1	1 - 1.3236 Hz	0.020	
2	2 - 5.4977 Hz	0.020	
3	3 - 9.4660 Hz	0.020	
4			
5			
6			
7			
8			

Lehrsche Dämpfung



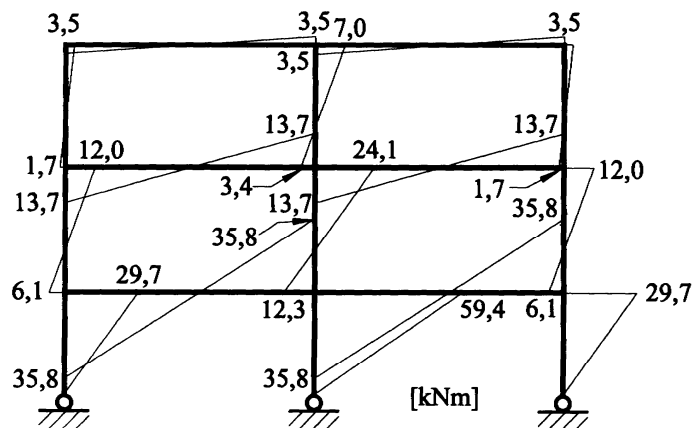
Maske 1.4 Zu berechnen

Die folgenden Schnittgrößenverläufe stellen die DYNAM-Ergebnisse den Literaturergebnissen gegenüber. Dabei ist die Trägheit des Systems sehr gut erkennbar, da die maximalen Schnittgrößen erst zum Zeitpunkt  $t = 0.61$  sec auftreten.

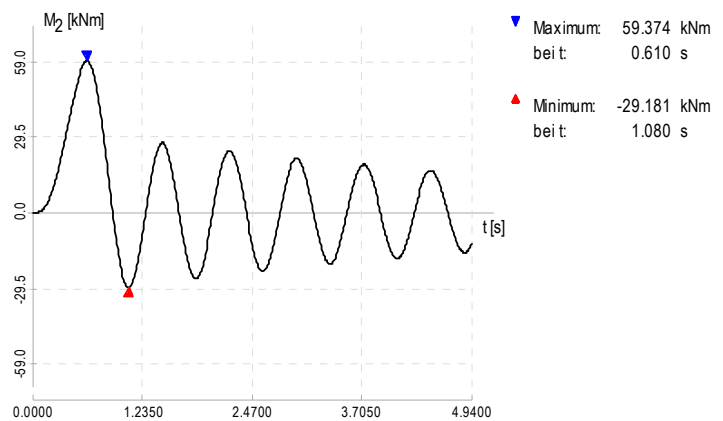


Max M-2: 59.37339 kNm

Biegemomente M-2 in kNm aus DYNAM zum Zeitpunkt  $t = 0.61$  sec



Biegemomente M-2 in kNm aus [13] zum Zeitpunkt  $t = 0.61$  sec



Zeitverlauf des Biegemoments am Kopf der mittleren Erdgeschoßstütze

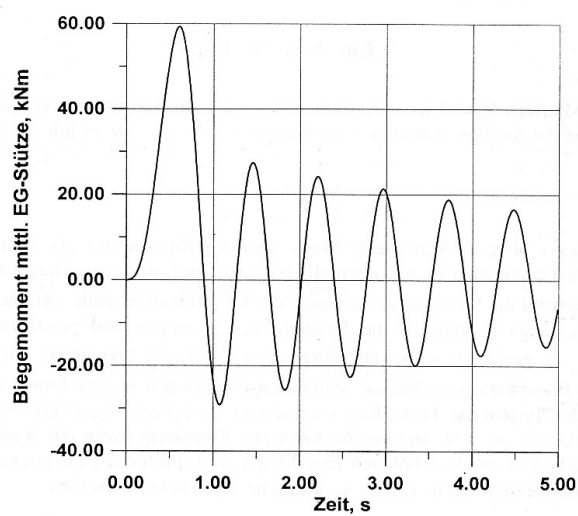
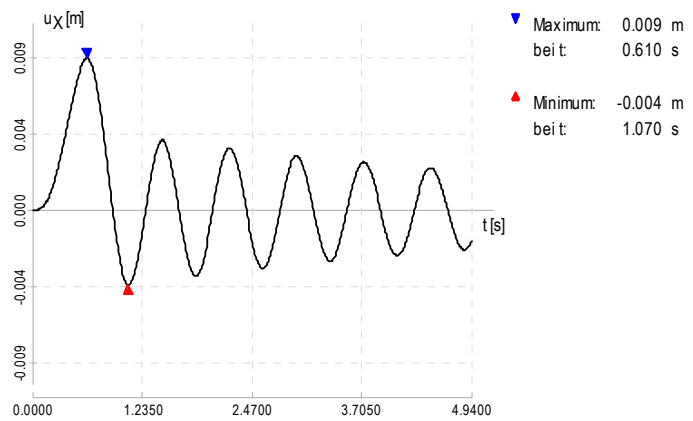


Bild 4.5-7: Zeitverlauf des Biegemoments am Kopf der mittleren Erdgeschoßstütze





Verschiebungszeitverlauf für den obersten Riegel

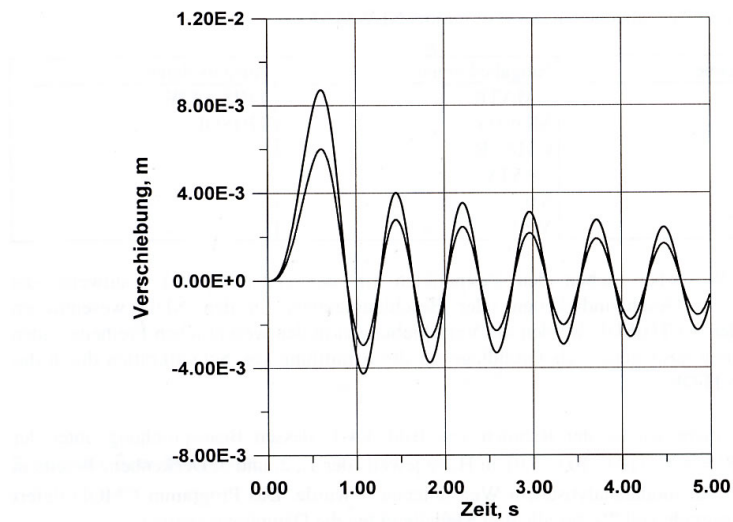
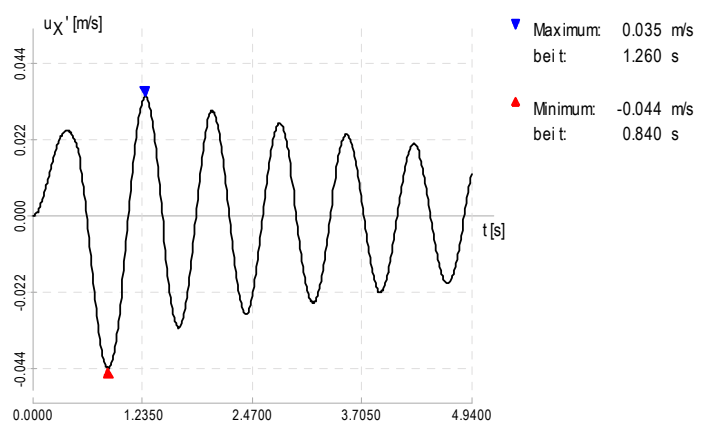


Bild 4.8-1: Verschiebungszeitverläufe für den untersten und den obersten Riegel



Geschwindigkeitszeitverlauf des obersten Riegels

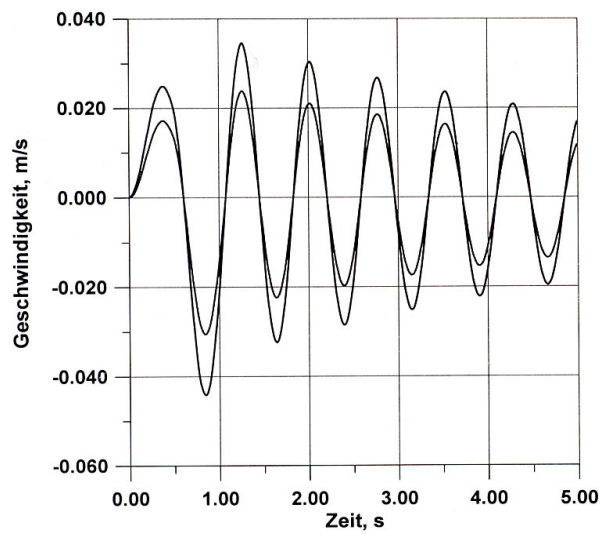


Bild 4.8-2: Geschwindigkeitszeitverläufe für den untersten und den obersten Riegel

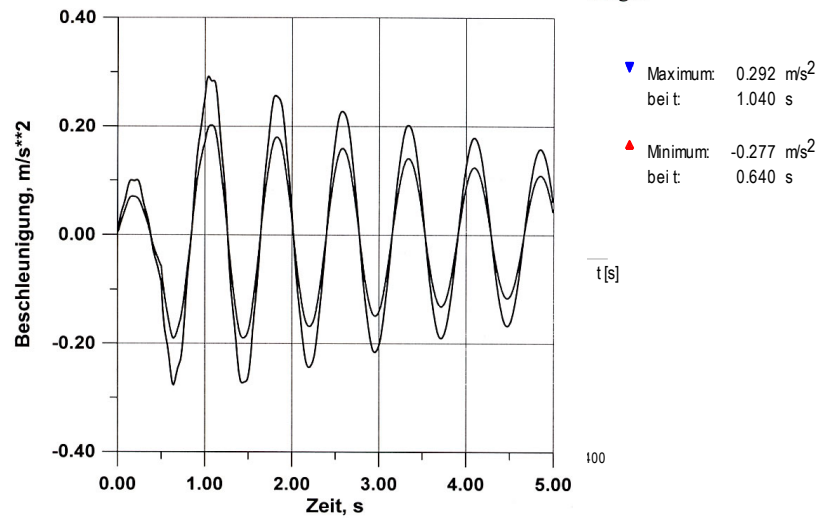


Bild 4.8-3: Beschleunigungszeitverläufe für den untersten und den obersten Riegel

Der Rahmen wird nun nach dem modalanalytischen Antwortspektrumverfahren seismisch an seinen Fußpunkten in horizontaler Richtung erregt. Es wird der folgende Erregerfall *AF1* in Form einer Zeit-Beschleunigungs-Tabelle definiert.

Die anschließenden Dynamischen Lastfälle 2 bis 5 sollen die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Superpositionsregeln verdeutlichen.

**1.5 Erregerfälle**

Erregerfall

EF-Nummer:

Bezeichnung:

Nr.	Schwingzeit T [s]	Beschleunigung		
		a <sub>x</sub> [m/s²]	a <sub>y</sub> [m/s²]	a <sub>z</sub> [m/s²]
1	0.00000	1.000000	0.000000	0.000000
2	100.00000	1.000000	0.000000	0.000000
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

Verlauf

Richtung: ☒ X ☐ Y ☐ Z

100.0 s

1.000  
0.750  
0.500  
0.250  
0.000

0.0000 25.0000 50.0000 75.0000 100.0000

Erregerfall AF1, Antwortspektrum

**1.6 Dynamische Lastfälle**

Dynamischer Lastfall

DF-Nummer:    Faktor:

Bezeichnung:

Berücksichtigung von

☐ Lehrsche Dämpfung

☐ Anfangsverformungen

☐ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für

Massenmatrix  $\alpha$ :

Steifigkeitsmatrix  $\beta$ :

Antwortspektrum

Superposition-Regel:

☐ Z-Faktor abhängig von Eigenperioden

Nr.	Lagerknoten	AF-Nr.	Faktor für Antwortspektrum in Richtung			Kommentar
			X	Y	Z	
1	1-3	1	1.000	1.000	1.000	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Antwortspektrum-Faktoren

DF2: Antwortspektrum nach der Quadratsummenwurzel-Regel (SRSS)

**DYNAM - [6.6]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

**1.6 Dynamische Lastfälle**

Dynamischer Lastfall  
DF-Nummer: **DF3**   Faktor: 1.00  
Bezeichnung: Antwortspektrum nach der CQC Methode

Erregertyp

Berücksichtigung von  
☒ Lehrsche Dämpfung  
☐ Anfangsverformungen  
☐ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für  
Massenmatrix  $\alpha$ : 0.00  
Steifigkeitsmatrix  $\beta$ : 0.00

Antwortspektrum  
Superposition-Regel: CQC  
☐ Z-Faktor abhängig von Eigenperioden

Antwortspektrum-Faktoren

Nr.	A Lagerknoten	B AF- Nr.	C Faktor für Antwortspektrum in Richtung X	D Y	E Z	F Kommentar
1	1-3	1	1.000	1.000	1.000	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Antwortspektrum-Faktoren

DF3: Antwortspektrum nach der Complete Quadratic Combination - Regel (CQC)

Lehrsche Dämpfung

Nr.	A Eigenfrequenz- Nr.	B Lehrsches Dämpfungsmaß $D_i$ [-]	C Kommentar
1	1 - 1.3236 Hz	0.050	
2	2 - 5.4977 Hz	0.050	
3	3 - 9.4660 Hz	0.050	
4			
5			
6			
7			
8			

Antwortspektrum-Faktoren

Modales Dämpfungsmaß generell 5 %

**DYNAM - [6.6]**  
Datei Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

**1.6 Dynamische Lastfälle**

Dynamischer Lastfall  
DF-Nummer: **DF4**   Faktor: 1.00  
Bezeichnung: Simulation des ersten Beitrags nach der CQC Meth

Erregertyp

Berücksichtigung von  
☒ Lehrsche Dämpfung  
☐ Anfangsverformungen  
☐ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für  
Massenmatrix  $\alpha$ : 0.00  
Steifigkeitsmatrix  $\beta$ : 0.00

Antwortspektrum  
Superposition-Regel: CQC  
☐ Z-Faktor abhängig von Eigenperioden

Antwortspektrum-Faktoren

Nr.	A Lagerknoten	B AF- Nr.	C Faktor für Antwortspektrum in Richtung X	D Y	E Z	F Kommentar
1	1-3	1	1.000	0.000	0.000	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Antwortspektrum-Faktoren

DF4: Simulation des ersten Beitrags nach CQC-Methode

## 6.6 Modalanalyse eines Rahmens

Lehrsche Dämpfung

Nr.	A Eigenfrequenz- Nr.	B Lehrsches Dämpfungsmaß $D_i$ [-]	C Kommentar
1	1 - 1.3236 Hz	1.000	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Antwortspektrum-Faktoren   Lehrsche Dämpfung   Anfangsverformungen   Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungsmaß des ersten Modalbeitrags: 100 %

**DYNAM - [6.6]**

Datei   Hilfe

DYNAM1 - Dynamische Ana

1.6 Dynamische Lastfälle

Erregertyp

DF-Nummer: DF5   Neu   Löschen   Faktor: 1.00

Bezeichnung: Simulation des zweiten Beitrags nach der CQC Met

Berücksichtigung von

☒ Lehrsche Dämpfung

☐ Anfangsverformungen

☐ Anfangsgeschwindigkeiten

Dämpfungskoeffizient für

Massenmatrix  $\alpha$ : 0.00

Steifigkeitsmatrix  $\beta$ : 0.00

Antwortspektrum

Superposition-Regel: CQC

☐ Z-Faktor abhängig von Eigenperioden   Definieren...

Antwortspektrum-Faktoren

Nr.	A Lagerknoten	B AF- Nr.	C Faktor für Antwortspektrum in Richtung X	D Y	E in Richtung Z	F Kommentar
1	1-3	1	1.000	0.000	0.000	
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Antwortspektrum-Faktoren   Lehrsche Dämpfung   Anfangsverformungen   Anfangsgeschwindigkeiten

Berechnung   Kontrolle   Details   <<   >>   Grafik   OK   Abbruch   Hilfe

DF5: Simulation des zweite Beitrags nach der CQC Methode

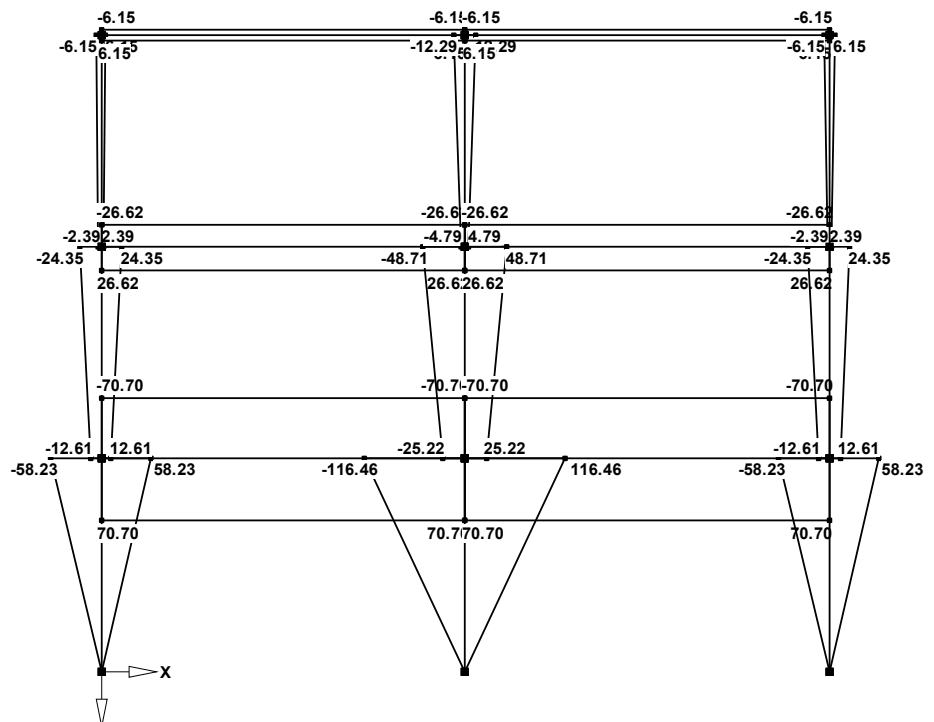
Lehrsche Dämpfung

Nr.	A Eigenfrequenz- Nr.	B Lehrsches Dämpfungsmaß $D_i$ [-]	C Kommentar
1	2 - 5.4977 Hz	1.000	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Antwortspektrum-Faktoren   Lehrsche Dämpfung   Anfangsverformungen   Anfangsgeschwindigkeiten

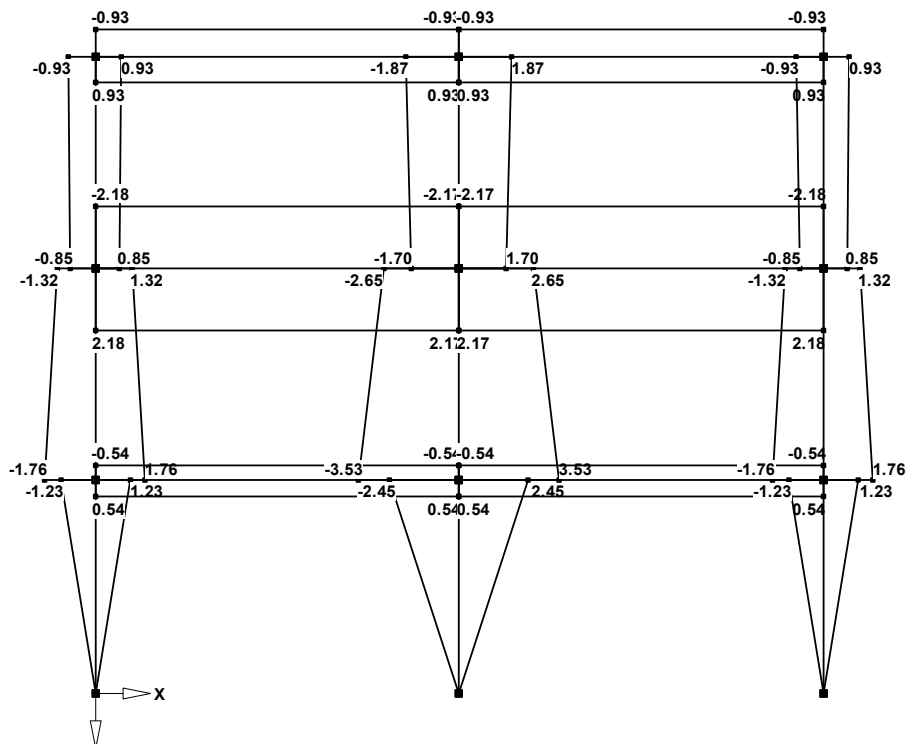
Dämpfungsmaß des zweiten Modalbeitrags: 100 %

Folgende Grafik stellt die Ergebnisse der Grundmodalform des Dynamischen Falls 2 (DF2, Antwortspektrum nach der SRSS Methode) dar.



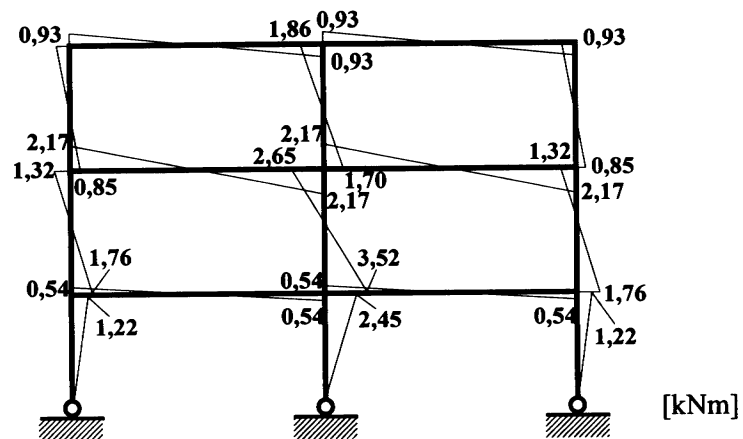
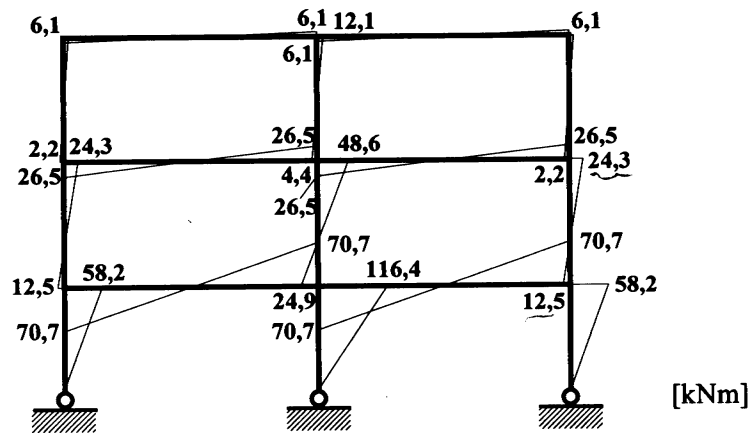
Max M-2: 116.46, Mn M-2: -116.46 kNm

Dieser Momentenverlauf stellt die 2. Modalform dar, die dem Dynamischen Fall 5 (DF5, Simulation des zweiten Beitrags nach der CQC Methode) entspricht.



Max M-2: 3.53, Mn M-2: -3.53 kNm

Im Vergleich hierzu der Biegemomentenverlauf in der Grundmodalform nach [13], Bild 7.5-3. Der zweite Biegemomentenverlauf stellt die 2. Modalform dar, die dem Dynamischen Fall 5 (DF5, Simulation des zweiten Beitrags nach der CQC Methode) entspricht.



## 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 Schwingun-  
gen,  
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, Variationsprinzipie  
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  
DIN 4149, 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, allgem. 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