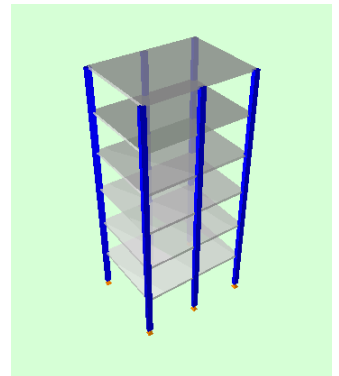


Thema

Die Beurteilung der Erdbebensicherheit von Tragwerken in MicroFe basiert auf der Antwortspektrenmethode. Für jede eingegebene Erregung werden seismische Ersatzlasten generiert. Nach einer statischen Berechnung werden die einzelnen modalen Ergebnisse aus den seismischen Lastfällen je Erregung in einer Lastgruppe zusammengefasst. Innerhalb jeder dieser Lastgruppen erfolgt eine normgerechte Extremierung, deren Ergebnisse mit den statischen Lastfällen in Lastkombinationen überlagert werden.

An neben dargestelltem System soll das prinzipielle Vorgehen bei der Untersuchung der Erdbebensicherheit gezeigt werden.



Dynamische Berechnung

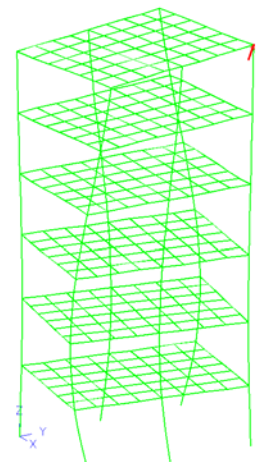


Der erste Schritt ist die dynamische Berechnung, um die Eigenfrequenzen und Eigenvektoren des Systems zu ermitteln.

Vorsicht: Die dynamische Berechnung sollte **ohne Berücksichtigung von konstruktiven Nichtlinearitäten** durchgeführt und auf den Einsatz der **Bodenmodellierung mit Volumenelementen verzichtet** werden! Zudem sollte die Vernetzung **knotenabhängig** vorgenommen werden.

Zusätzlich zu den Massen aus Eigengewicht ist es auch möglich, statische Lasten als Massen zu berücksichtigen (über Schaltfläche „Bearbeiten“).

Als Ergebnis der dynamischen Berechnung können im Ergebnismodus unter „Ergebnisse / Eigenform“ die zu



den Eigenvektoren zugehörigen Eigenformen grafisch dargestellt werden.

Die tabellarische Ausgabe der Eigenwerte und Eigenformen erfolgt über „FE-Daten / Ergebnisse / Eigenwerte bzw. Eigenformen“.

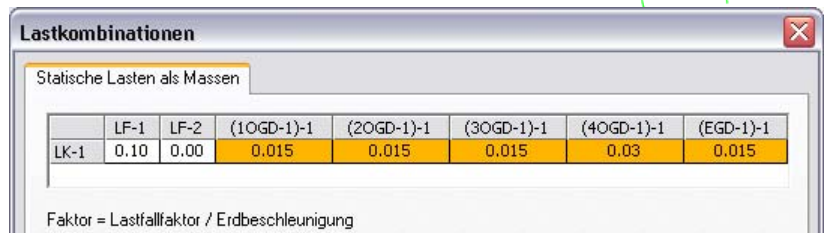
DIN 4149:2005-04:

Für die Berücksichtigung der statischen Lasten als Massen ist für jeden Lastfall der Faktor (ψ_E / g) anzugeben mit

- $g =$ Erdbeschleunigung in $[m/s^2]$
- $\psi_E = \varphi \cdot \psi_2$
- φ nach Tab. 6
- ψ_2 nach DIN 1055-100, Tab. A.2

In diesem Beispiel wurde mit folgenden Werten gerechnet:

- $g = 10 \text{ m/s}^2$ (vereinfacht)
- $\varphi = 1,0$ (oberstes Geschoss),
 $\varphi = 0,5$ (andere Geschosse)
- $\psi_2 = 0,3$ (Nutzlasten (EGD-1)-1 bis (4OGD-1)-1 als Einwirkung Kategorie A: Wohnräume),
 $\psi_2 = 0,0$ (Schneelast LF-2, Ort < 1000 m NN-Höhe)



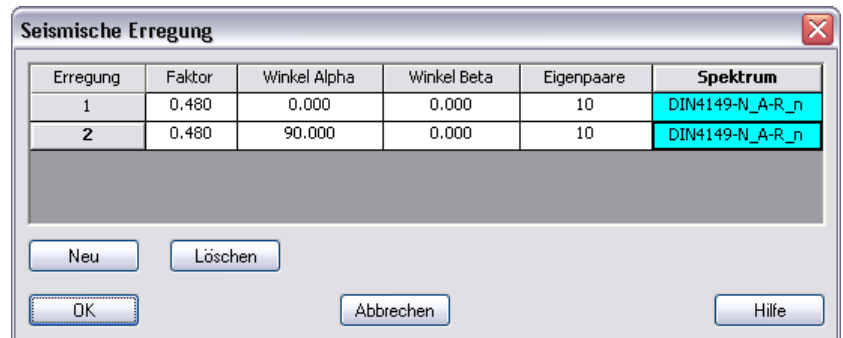
Statische Lasten als Massen							
	LF-1	LF-2	(1OGD-1)-1	(2OGD-1)-1	(3OGD-1)-1	(4OGD-1)-1	(EGD-1)-1
LK-1	0.10	0.00	0.015	0.015	0.015	0.03	0.015

Faktor = Lastfallfaktor / Erdbeschleunigung

Definition der seismischen Erregung

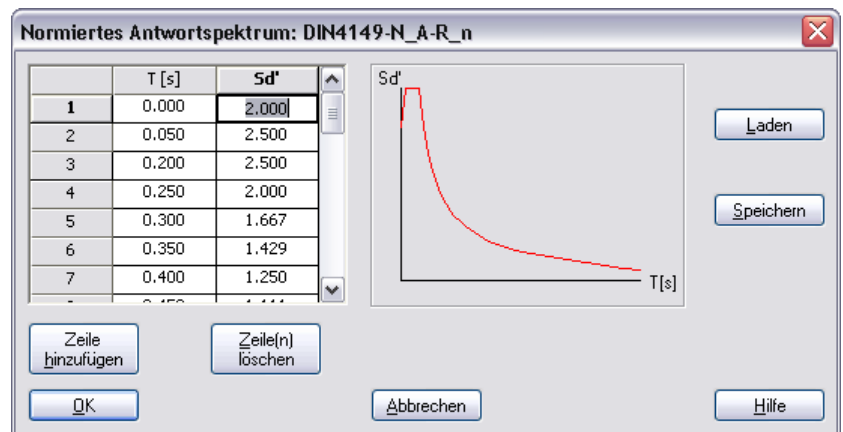
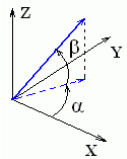
Nach der dynamischen Berechnung werden im Ergebnismodus unter "Ergebnisse / Seismische Erregung" eine oder mehrere Erregungen definiert.

Durch Mausklick auf die Schaltfläche "Neu" wird in diesem Dialog eine neue Erregung angelegt.



Folgende Parameter sind zu belegen:

- **Faktor** dient zur Skalierung der einzelnen Antwortspektren. Dieser ist normanhängig.
- **Winkel Alpha** und **Winkel Beta** bestimmen die Richtung der Erregung bezogen auf das globale Koordinatensystem. *Winkel Alpha* dreht die Richtung in der XY-Ebene, *Winkel Beta* richtet die Erregung vertikal auf.
- **Eigenpaare** ist die Anzahl der zu berücksichtigenden Eigenformen. Diese Anzahl muss kleiner oder gleich den berechneten Eigenpaaren der vorangehenden dynamischen Berechnung sein.
- **Spektrum** ist das Antwortspektrum, das als Grundlage für die Erregung dienen soll. Durch Doppelklick auf das farbig hinterlegte Feld wird der Dialog "Normiertes Antwortspektrum" aufgerufen, um ein Spektrum zu laden oder ein neues Spektrum zu erstellen und zu speichern. Die Wertepaare *Eigenperiode T[s]* und die *normierte Beschleunigung S_d'* werden in Tabellenform ausgewiesen und das Antwortspektrum grafisch ausgewertet.



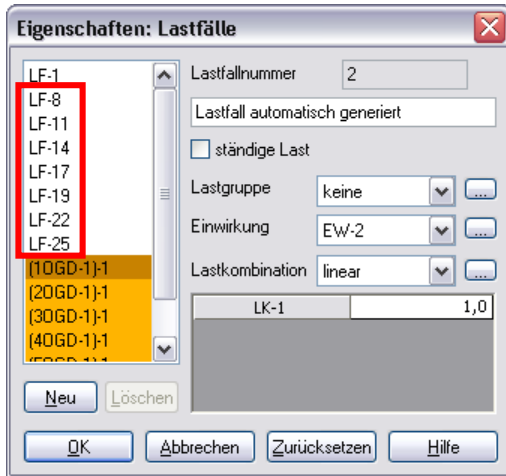
DIN 4149:2005-04:

- *Faktor* entspricht dem Wert $(a_g \cdot \gamma_1 / q)$; die Ordinaten des Bemessungsspektrums ergeben sich dann zu $S_d(T) = Faktor \cdot S'_d(T)$.
- Für alle nach DIN 4149:2005-04 ausgelieferten Antwortspektren wurde die viskose Dämpfung zu 5 % angenommen¹.
- Falls der Verhaltensbeiwert $q > 1,0$ ist, dann muss die erste Ordinate des normierten Bemessungsspektrums $S'_d(0)$ mit diesem Verhaltensbeiwert multipliziert und das Antwortspektrum unter neuem Namen gespeichert werden.

Für das oben gezeigte Modell ist je eine Erregung in X- und in Y- Richtung definiert mit einem modifizierten Standardspektrum nach DIN 4149:2005-04. Der *Faktor* wurde in diesem Beispiel mit den Werten $a_g = 0,8 \text{ m/s}^2$, $\gamma_1 = 1,2$ und $q = 2,0$ zu $0,480 \text{ m/s}^2$ ermittelt. Das verwendete Antwortspektrum „DIN4149-N_A-R_n“ wurde durch Anpassung des Standardspektrums „DIN4149-N_A-R“ erzeugt, indem die Daten für $T > 2.6 \text{ s}$ entfernt wurden und $S'_d(0)$ mit $q = 2,0$ multipliziert wurde.

¹ Damit ergibt sich der Verstärkungsbeiwert der Spektralbeschleunigung zu $\beta_0 = 2,5$ und Dämpfungs-Korrekturbeiwert $\eta = 1$.

Erstellung von statischen Ersatzlasten



Nach dem Verlassen des Dialogs "Seismische Erregung" mit "OK" werden die statischen Ersatzlasten für jede eingegebene Erregung und untersuchte Eigenform ermittelt. Diese Lasten werden in jeweils eigene Lastfälle eingetragen und hinsichtlich der Lastfallnummer an den letzten statischen Lastfall angehängt.

Die Lastfälle sind nicht im Eingabemodus, sondern nur im Ergebnismodus (unter „Belastung / Lastfälle...“) verfügbar, da diese Lastfälle keine Lastpositionen beinhalten.

Eine grafische Darstellung der generierten Ersatzlasten ist in der grafischen Ausgabe unter „Belastung / Punktlasten“ (global, FE) möglich.

Protokoll der Berechnung der seismischen Lasten

Das Berechnungsprotokoll dient zur Kontrolle der eingegebenen Erregungen und zur Beurteilung des Einflusses der einzelnen Eigenformen.

Für jede Erregung werden die generierten Lastfälle protokolliert und die Beteiligung der jeweiligen Eigenform in [%] ausgewiesen. Es sollten so viele Eigenformen berücksichtigt werden, dass die Summe jeweils mindestens 90 % beträgt.

--Seismische Erregungen		Antwortspektrum	Skalierungs-	Winkel	Winkel
Erregung	Anzahl Eigenpaare		faktor	Alpha	Beta
1	10	DIN4149-N_A-R_n	0.480	0.0	0.0
2	10	DIN4149-N_A-R_n	0.480	90.0	0.0

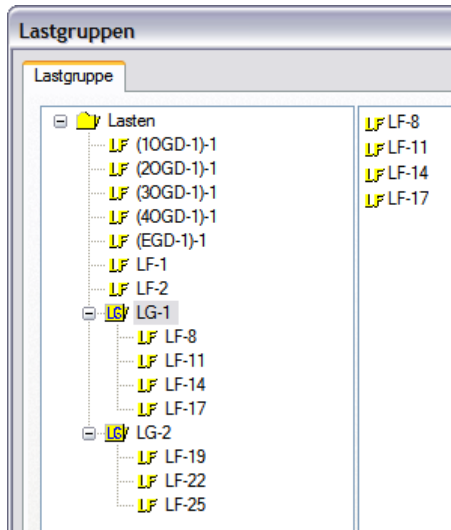
--Seismische Ersatzlasten		Periode	Sd'	Beteiligungs-	Beteiligung
Lastfall	Erregung	[s]		faktor	[%]
8	1	1.939	0.2579	14.45	90.16
9	1	1.718	0.2912	**	
10	1	1.297	0.3860	**	
11	1	0.555	0.9020	-3.88	6.49
12	1	0.475	1.0547	**	
13	1	0.361	1.3889	**	
14	1	0.275	1.8330	1.98	1.70
15	1	0.227	2.2301	**	
16	1	0.177	2.5000	**	
17	1	0.165	2.5000	-1.24	0.67
					Summe = 99.02
18	2	1.939	0.2579	**	
19	2	1.718	0.2912	-14.37	89.22
20	2	1.297	0.3860	**	
21	2	0.555	0.9020	**	
22	2	0.475	1.0547	-4.01	6.95
23	2	0.361	1.3889	**	
24	2	0.275	1.8330	**	
25	2	0.227	2.2301	2.14	1.98
26	2	0.177	2.5000	**	
27	2	0.165	2.5000	**	
					Summe = 98.15

Warnung:
** - für diesen Lastfall wurden keine Ersatzlasten generiert, da der Beteiligungsfaktor sehr klein oder gleich Null ist

Wichtig: Falls diese Empfehlung (90 %) nicht erreicht wird, so muss die dynamische Berechnung mit einer erhöhten Anzahl von Eigenvektoren erneut durchgeführt werden. Damit die bisher generierten Ersatzlasten gelöscht werden, ist vor der dynamischen Berechnung eine erneute Generierung erforderlich.

Für unser System werden bei Erregung 1 die Lastfälle 8, 11, 14, 17 und bei Erregung 2 die Lastfälle 19, 22, 25 generiert.

Statische Berechnung und Überlagerung der Ergebnisse



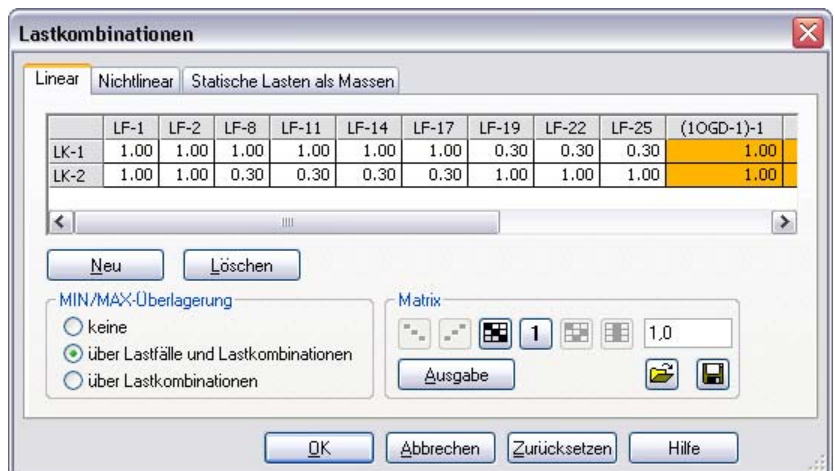
Nun kann eine statische Berechnung mit den seismischen und den übrigen statischen Lasten durchgeführt werden.

Vorsicht: Es darf nicht neu generiert werden, ansonsten werden die statischen Ersatzlasten gelöscht!

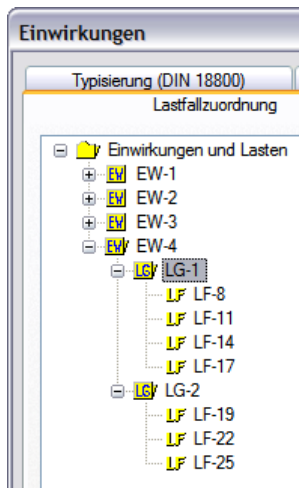
Alle Lastfälle einer Erregung sind im Ergebnismodus (da diese nur hier verfügbar sind!) jeweils in einer Lastgruppe vom Typ „+/-Wurzel aus Summe der Quadrate“ zusammenzufassen (in „Belastung / Lastfälle... / Lastgruppe“). Eine Lastgruppe mit dieser Bezeichnung fungiert nicht wie eine sonst übliche Lastgruppe, sondern in diesem Fall werden die Ergebnisse (modale Verformungen, Schnittgrößen, usw.) der Lastfälle dieser Lastgruppe über die SRSS-Regel (**S**quare **R**oot of the **S**um of the **S**quares = Wurzel aus Summe der Quadrate) zu jeweils einem Ergebnis zusammengefasst, welches dann bei einer MIN/MAX-Überlagerung mit positivem und negativem Vorzeichen berücksichtigt wird.

Die Lastgruppenauswertung funktioniert nur nach einer linearen Berechnung mit MIN/MAX-Überlagerung über Lastfälle und Lastkombinationen.

Wichtig: Innerhalb einer Lastkombination sollen die Lastfälle einer Erregung alle den gleichen Lastfaktor erhalten, damit die SRSS-Regel korrekt funktioniert. Die MIN/MAX-Überlagerung „über Lastkombinationen“ darf in diesem Fall nicht verwendet werden.



Bemessung



Bevor eine Bemessung nach DIN 1045-1 durchgeführt werden kann, muss die zu jeder Erregung angelegte Lastgruppe einer Einwirkung zugeordnet werden, welche dann als „Erdbeben“ nach DIN 1055-100 zu typisieren ist.

Die automatische (Erdbeben-)Kombinatorik in MicroFe kann bis zu zwei Erregungen je Einwirkung behandeln. Gemäß DIN 4149: 2005-04, 6.2.4.1(3) müssen diese beiden Erregungen orthogonal zueinander wirken und bei der Kombination wird eine der beiden Erregungen mit dem Faktor 0,3 abgemindert.

Da die Bemessungsschnittgrößen in MicroFe unabhängig von den linearen Lastkombinationen (siehe obiger Dialog) automatisch ermittelt werden, sind dort die Lastfaktoren für die seismischen Lastfälle der beiden Erregungen manuell mit 1,0 und 0,3 zu berücksichtigen.

Sind mehrere Einwirkungen vom Typ „Erdbeben“ vorhanden, so schließen diese sich gegenseitig aus.

