

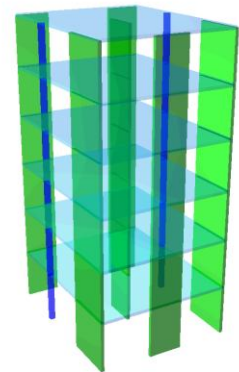
Thema

In MicroFe werden die Schnittgrößen für die Bemessung und der Nachweis der Erdbebensicherheit von Bauwerken mit Hilfe linear-elastischer Verfahren durchgeführt. Das multimodale Antwortspektrenverfahren bildet das Standard-Rechenverfahren, bei dem alle maßgeblich zur Bauwerksreaktion (Bauwerksantwort) beitragenden Modalanteile bei der Berechnung der Kraft- und Verformungsgrößen des Tragwerks berücksichtigt werden.

Weitere Informationen zum Thema "Erdbebensicherung von Bauwerken" wurden in der mb-news vom März 2011 veröffentlicht.

Zur Bearbeitung von Erdbebennachweisen in MicroFe sind unabhängig von der verwendeten Erdbebennorm folgende Schritte durchzuführen:

1. **Dynamische Analyse**
2. **Definition von Erdbebenlastpositionen**
3. **Definition der seismischen Erregung**
4. **Erstellung von statischen Ersatzlasten**
5. **Statische Analyse**



Beispiel

Das prinzipielle Vorgehen mit den wesentlichen Eingabeschritten wird an einem sechsgeschossigen Gebäude vorgestellt. Der Erdbebennachweis wird in diesem Beispiel nach DIN 4149:2005-04 geführt.

1. Dynamische Analyse

Um die Eigenformen und die Eigenschwingzeiten des Systems zu ermitteln, ist als erster Schritt eine dynamische Berechnung erforderlich (im Eingabemodus in Menüleiste *Ergebnisse* → *Dynamische Berechnung*). Für die Berücksichtigung der statischen Lasten als Massen ist für jeden Lastfall ein Faktor (= Lastfallfaktor ψ_E / Erdbeschleunigung g) anzugeben, mit dem die Kräfte in Massen und Momente in Trägheitsmassen umgerechnet werden. Die Wirkungsrichtung der Massen und Trägheitsmassen wird in alle Richtungen berücksichtigt und ist somit unabhängig von der Wirkungsrichtung der ursprünglichen Belastung. Im Berechnungsdialog sind über die Schaltfläche *Bearbeiten* diese Faktoren für jeden zu berücksichtigenden Lastfall anzugeben.

DIN 4149:2005-04

- g = Erdbeschleunigung in [m/s²]
- $\psi_E = \varphi \cdot \psi_2$
- φ nach DIN 4149, Tabelle 6
- ψ_2 nach DIN 1055-100, Tabelle A.2

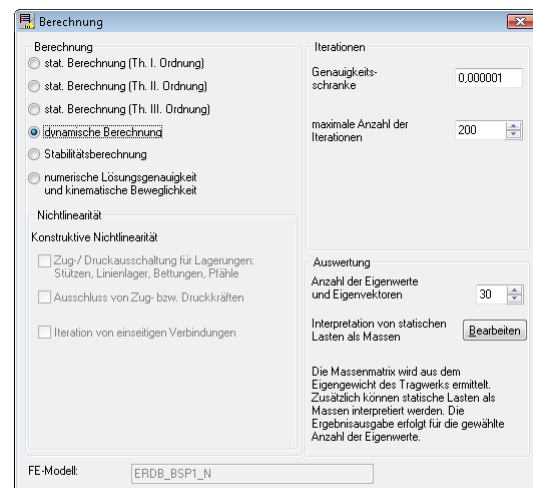
Beispiel

In diesem Beispiel wird mit folgenden Werten gerechnet:

- $g = 10 \text{ m/s}^2$ (vereinfacht)
- $\varphi = 1.0$ für das oberste Geschoss
- $\varphi = 0.7$ für die übrigen Geschosse
- $\psi_2 = 0.3$ für Nutzlasten (gemäß DIN 1055-100)
- $\psi_E = 0.5$ für Schneelasten (gemäß Einführungserslass der DIN 4149 für Baden-Württemberg)

Damit ergeben sich die in nebenstehender Tabelle eingetragenen Faktoren.

Für dieses Beispiel lassen wir die ersten 30 Eigenformen ermitteln.



Lastkombinationen											
Statische Lasten als Massen											
	Gk	Qk-N	AEd	AEd	AEd	Qk-N	Qk-N	Qk-N	Qk-N	Qk-S	Qk-N
LK-1	LF-1	LF-2	LF-3	LF-4	LF-5	(10GD-1)-1	(20GD-1)-1	(30GD-1)-1	(40GD-1)-1	(50GD-1)-1	(EGD-1)-1
	0.10	0.01	0.10	-	-	0.021	0.021	0.021	0.021	0.05	0.021

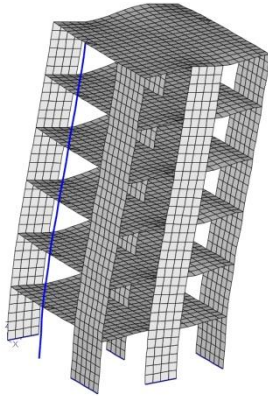
Hinweis: Die dynamische Berechnung sollte

- **ohne Berücksichtigung von konstruktiven Nichtlinearitäten** und
- **ohne Einsatz der Bodenmodellierung mit Volumenelementen** durchgeführt und

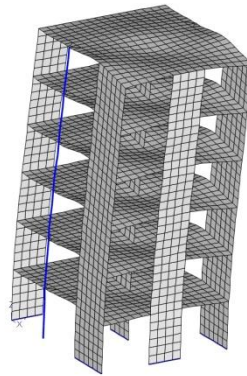
Als Ergebnis der dynamischen Berechnung stehen die Eigenvektoren und die zugehörigen Eigenformen zur Verfügung. Diese können sowohl tabellarisch als auch grafisch ausgegeben werden.

Beispiel

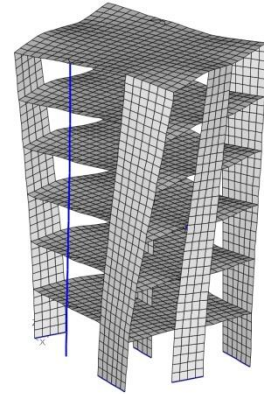
Es sind die ersten drei Eigenformen des Beispielgebäudes dargestellt:



1. Eigenform



2. Eigenform



3. Eigenform

2. Definition von Erdbebenlastpositionen 

Seit MicroFe-Version 2011 steht der neue Positionstyp *Erdbebenlast* zur Verfügung (im Eingabemodus in Menüleiste *Belastung* → *Erdbebenlast* → *Setzen*). Die Erdbebenlastposition dient dazu, die Bereiche des Tragwerks festzulegen, in deren FE-Knoten Ersatzlasten erzeugt werden sollen. Um Ersatzlasten für alle Bauteilpositionen des Tragwerks zu ermitteln, müssen diese Positionen mit mindestens einer Erdbebenlastposition erfasst werden. Der Auswertungsbereich ist jeweils in den Positionseigenschaften entweder durch Auswahl einer zuvor angelegten *Positionsgruppe* oder durch Angabe einer *3D-Box* durch globale Koordinaten zu definieren.

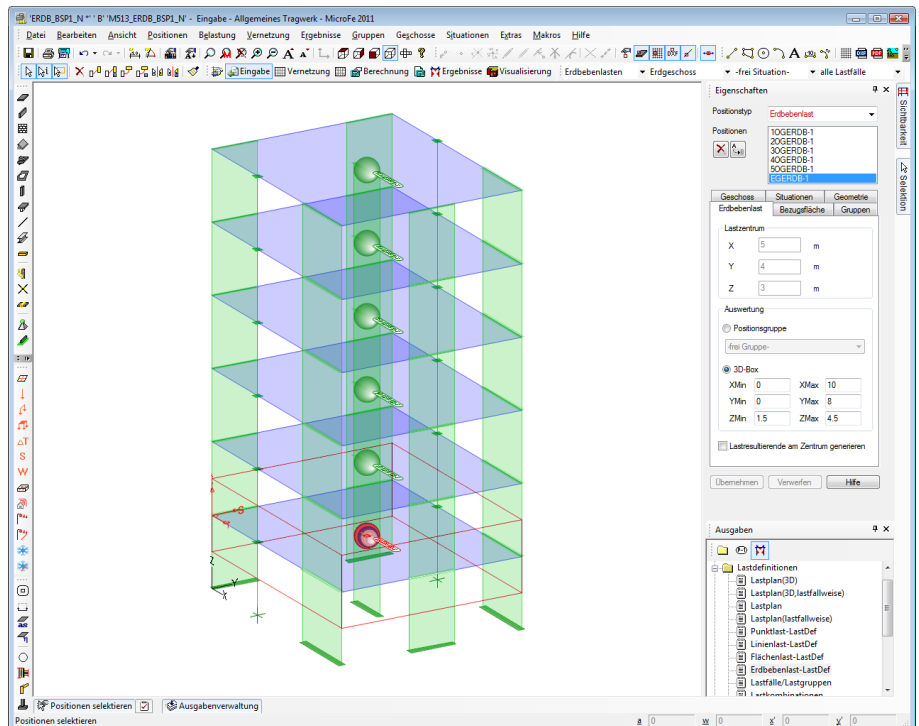
Um gezielt Massen und Ersatzlasten in unterschiedlichen Teilbereichen des Tragwerks auswerten zu können, sind mehrere Erdbebenlastpositionen (sinnvollerweise je Geschoss) mit entsprechenden Auswertungsbereichen zu definieren. Überschneiden sich zwei Auswertungsbereiche, werden Massen und Ersatzlasten nur in einem der beiden Bereiche ausgewertet.

Mit der Ausgabe *Erdbebenlast-LastDef* lassen sich nach Ermittlung der Ersatzlasten die Massen und Ersatzlasten als Resultierende im Definitionspunkt der Erdbebenlastposition dokumentieren.

Beispiel

Wir möchten nun je Geschossdecke eine Erdbebenlast setzen, welche als Auswertungsbereich jeweils die halbe Geschosshöhe unter- und oberhalb der Geschossdecke beinhaltet. Hierzu kehren wir nach der dynamischen Berechnung in den Eingabemodus zurück und setzen zunächst eine Erdbebenlast im Erdgeschoss und definieren den Auswertungsbereich per 3D-Box.

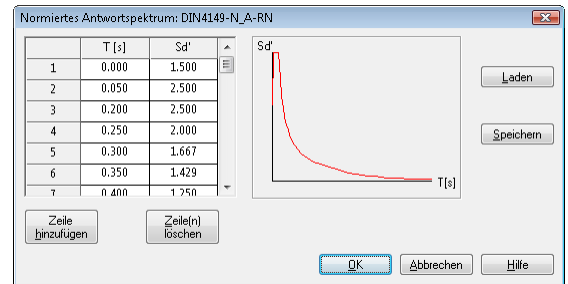
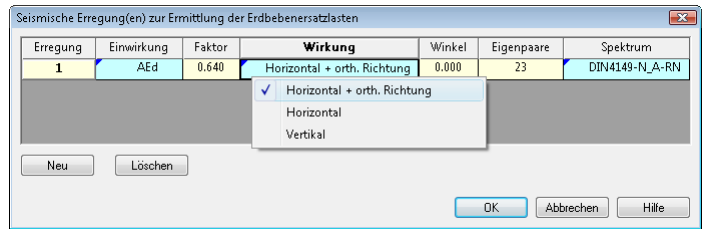
Hinweis: Bei regelmäßiger Geschosshöhe bietet es sich an, durch mehrfaches Kopieren der Erdbebenlastposition des Erdgeschosses die Erdbebenlasten der übrigen Geschosse zu erzeugen. Dabei werden die Koordinaten des Auswertungsbereichs entsprechend angepasst. In einem Geschossmodell (wie in unserem Beispiel) sollte nach dem Kopieren die Geschoszugehörigkeit der neuen Erdbebenlasten angepasst werden.



3. Definition der seismischen Erregung

Um die statischen Ersatzlasten ermitteln zu können, sind zuvor eine oder mehrere seismische Erregungen zu definieren (im Eingabemodus in Menüleiste *Belastung* → *Erdbebenlast* → *Ersatzlasten ermitteln*). Dazu sind folgende Parameter zu belegen:

- Es ist eine **Einwirkung** vom Typ *Erdbeben* zu wählen, zu der alle nachfolgend erzeugten Lasten zugeordnet werden. Standardmäßig ist die Einwirkung *AEd* voreingestellt. Über einen rechten Mausklick kann diese auch verändert werden.
- Der **Faktor** dient zur Skalierung des Bemessungs-Antwortspektrums. Alle Ordinaten des gewählten Antwortspektrums werden mit diesem Faktor multipliziert. Deshalb ist die Größe des Faktors abhängig vom vorliegenden Antwortspektrum. Bspw. liegen die ausgelieferten Spektren nach DIN 4149 in normierter Form vor, so dass der Faktor entsprechend ermittelt werden muss (s.u.). Falls das gewählte Antwortspektrum nicht in normierter Form vorliegt, ist der Faktor zu 1.0 zu setzen.
- Die **Wirkung** der seismischen Erregung kann dabei *horizontal*, *vertikal* oder als *horizontal + orthogonale Richtung* festgelegt werden.
- Die horizontale Erregungsrichtung wird durch Eingabe des **Winkels** zur x-Achse in der xy-Ebene definiert. Bei vertikaler Erregung ist der Winkel ohne Bedeutung.
- Unter **Eigenpaare** ist die Anzahl der zu berücksichtigenden Eigenpaare bzw. Eigenformen festzulegen. Diese Anzahl muss kleiner oder gleich den berechneten Eigenpaaren der vorangegangenen dynamischen Berechnung sein.
- Unter **Spektrum** ist das Bemessungs-Antwortspektrum, das als Grundlage für die Erregung dienen soll, anzugeben. Durch rechten Mausklick 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 Beschleunigung **S_d** werden in Tabellenform ausgewiesen und das Antwortspektrum grafisch ausgewertet. U.a. stehen verschiedene normierte Antwortspektren (A-R, B-R, C-R, B-T, C-T und C-S) nach DIN 4149:2005-04 zur Verfügung.



DIN 4149:2005-04

- Aufgrund der Normierung der vorliegenden Spektren nach DIN 4149 entspricht der einzutragende **Faktor** dem Wert $(a_g \cdot \gamma_1 / q)$. Die Ordinaten des Bemessungsspektrums ergeben sich dann zu $S_d(T) = Faktor \cdot S'_d(T)$.
- Bei den nach DIN 4149 definierten Antwortspektren wird generell die viskose Dämpfung mit 5% berücksichtigt.
- 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.

Beispiel

Für das Beispielmodell sollen die nachfolgenden Parameter gelten:

- Bodenbeschleunigung $a_g = 0.8 \text{ m/s}^2$ (Erdbebenzone 3)
- Untergrundverhältnisse A-R (Baugrundklasse A, Untergrundklasse R)
- Bedeutungsbeiwert $\gamma_1 = 1.2$ (Bedeutungskategorie III)
- Verhaltensbeiwert $q = 1.5$ (Duktilitätsklasse 1)

Hier bietet sich die Verwendung des vorhandenen Spektrums *DIN4149-N_A-R* an, welches in normierter Form vorliegt. Da der Verhaltensbeiwert $q > 1.0$ ist, muss der Wert $S'_d(0)$ mit $q = 1.5$ multipliziert und in die Tabelle eingetragen werden. Anschließend speichern wir das Spektrum unter neuem Namen *DIN4149-N_A-RN*.

Zu diesem normierten Spektrum ist der Faktor $(a_g \cdot \gamma_1 / q) = (0.8 \cdot 1.2 / 1.5) = 0.64 \text{ m/s}^2$ einzutragen.

Wir definieren eine Erregung vom Typ *horizontal + orthogonale Richtung* bei einem Winkel von 0° . Hiermit wird je eine Erregung in globaler x- und in y-Richtung erzeugt.

Wie sich später herausstellt, sind in diesem Beispiel mindestens 23 Eigenformen bzw. Eigenpaare zu berücksichtigen.

4. Erstellung von statischen Ersatzlasten

Nach dem Verlassen des Dialogs *Seismische Erregung(en)* über OK werden die statischen Ersatzlasten für jede eingegebene Erregung und jede zu untersuchende Eigenform erzeugt und ein *Protokoll der Berechnung der seismischen Lasten* erstellt. Die Ersatzlasten bleiben solange bestehen, bis diese erneut erzeugt werden oder alle Erdbebenlasten gelöscht werden und das Modell neu generiert wird.

Protokoll der Berechnung der seismischen Lasten

Systemwerte

Anzahl Elemente = 3052
Anzahl Knoten = 3294
Lastfälle = 1
Eigenpaare = 30
Konsistente Massen : Nein

Seismische Erregungen

Einwirkung	Erregung	Eigenpaare	Spektrum	Faktor	Wirkung	Winkel
AEd	1	23	DIN4149-N_A-RN	0.640	Höfz.	0.00
	2	23	DIN4149-N_A-RN	0.640	Horiz.	90.00

Seismische Ersatzlasten

Lastfall	Periode [s]	Sd'	Faktor	Beteiligung [%]
(ERR-1)-1	0.618	0.8099		**
(ERR-1)-2	0.469	1.0687	18.4601	69.33
(ERR-1)-3	0.382	1.3152		**
(ERR-1)-4	0.151	2.5000		**
(ERR-1)-5	0.106	2.5000	9.5079	18.39
(ERR-1)-6	0.086	2.5000		**
(ERR-1)-7	0.071	2.5000		**
(ERR-1)-8	0.067	2.5000		**
(ERR-1)-9	0.062	2.5000		**
(ERR-1)-10	0.057	2.5000		**
(ERR-1)-11	0.055	2.5000		**
(ERR-1)-12	0.053	2.5000		**
(ERR-1)-13	0.053	2.5000		**
(ERR-1)-14	0.052	2.5000		**
(ERR-1)-15	0.052	2.5000		**
(ERR-1)-16	0.051	2.5000	1.0724	0.23
(ERR-1)-17	0.051	2.5000		**
(ERR-1)-18	0.050	2.5000		**
(ERR-1)-19	0.049	2.4734		**
(ERR-1)-20	0.049	2.4709		**
(ERR-1)-21	0.048	2.4549		**
(ERR-1)-22	0.047	2.4376	2.5457	1.32
(ERR-1)-23	0.047	2.4330	3.4921	2.48
Summe = 91.75				
(ERR-2)-1	0.618	0.8099	18.7258	71.34
(ERR-2)-2	0.469	1.0687		**
(ERR-2)-3	0.382	1.3152		**
(ERR-2)-4	0.151	2.5000	8.9397	16.26
(ERR-2)-5	0.106	2.5000		**
(ERR-2)-6	0.086	2.5000		**
(ERR-2)-7	0.071	2.5000		**
(ERR-2)-8	0.067	2.5000	-5.5967	6.37
(ERR-2)-9	0.062	2.5000		**
(ERR-2)-10	0.057	2.5000		**
(ERR-2)-11	0.055	2.5000		**
(ERR-2)-12	0.053	2.5000		**
Summe = 93.97				

Protokoll der Berechnung der seismischen Lasten

Das erstellte Berechnungsprotokoll (Ausgabe *Seismisches-Protokoll*) 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 effektiven modalen Masse der jeweiligen Eigenform an der Gesamtmasse des Tragwerks prozentual ausgewiesen.

DIN 4149:2005-04

Nach Norm sind so viele Eigenformen zu berücksichtigen, dass die Summe der effektiven modalen Massen je Erregungsrichtung mindestens 90% der Gesamtmasse des Tragwerks entspricht.

Hinweis: Falls diese Forderung (90%) nicht erreicht wird, muss nach erneuter Generierung die dynamische Berechnung mit einer erhöhten Anzahl von Eigenvektoren durchgeführt werden.

Protokoll der Berechnung der seismischen Lasten

Seismische Ersatzlasten

Lastfall	Periode [s]	Sd'	Faktor	Beteiligung [%]
(ERR-2)-13	0.053	2.5000		**
(ERR-2)-14	0.052	2.5000		**
(ERR-2)-15	0.052	2.5000		**
(ERR-2)-16	0.051	2.5000		**
(ERR-2)-17	0.051	2.5000		**
(ERR-2)-18	0.050	2.5000		**
(ERR-2)-19	0.049	2.4734		**
(ERR-2)-20	0.049	2.4709		**
(ERR-2)-21	0.048	2.4549		**
(ERR-2)-22	0.047	2.4376		**
(ERR-2)-23	0.047	2.4330		**
Summe = 93.97				

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

Beispiel

Für das betrachtete Beispiel werden bei der Erregung 1 die Lastfälle 2, 5, 16, 22 und 23 und bei Erregung 2 die Lastfälle 1, 4 und 8 generiert. Mit den 23 berücksichtigten Eigenformen beträgt die Summe der Beteiligung der effektiven modalen Massen für beide Erregungsrichtungen über 90%.

Lastfallzuordnung

Die erstellten Ersatzlasten werden je Erregung (x- bzw. y-Richtung) automatisch zu einer Erdbebenlastgruppe vom Typ *+/-Wurzel aus Summe der Quadrate* zugeordnet.

Einwirkungen

Lastfallzuordnung | Einwirkungstabelle

EW LG LF X A+ S

Übernahme aus BauStatik

- Einwirkungen und Lasten
 - Gk - Ständige Einwirkung
 - Qk.N - Veränderliche Einwirkung
 - Qk.S - Schneeeinwirkung
 - Qk.W - Windeinwirkung
 - AEd - Erdbebeeinwirkung
 - LG:ERR-1 - Erdbebenlastgruppe
 - LF (ERR-1)-2 - Generiert aus Erregung 1
 - LF (ERR-1)-5 - Generiert aus Erregung 1
 - LF (ERR-1)-16 - Generiert aus Erregung 1
 - LF (ERR-1)-22 - Generiert aus Erregung 1
 - LF (ERR-1)-23 - Generiert aus Erregung 1
 - LG:ERR-2 - Erdbebenlastgruppe
 - LF (ERR-2)-1 - Generiert aus Erregung 2
 - LF (ERR-2)-4 - Generiert aus Erregung 2
 - LF (ERR-2)-8 - Generiert aus Erregung 2
 - Pk - Vorspannungseinwirkung
 - Qk.T - Temperatureinwirkung

Norm: DIN1045-1 | Einwirkungstyp: Erdbebeeinwirkung

Lastgruppentyp: +/-Wurzel aus Summe der Quadrate (für LF aus seism. Erregung)

Lastfalltyp: nur als Masse zu berücksichtigen
 zufällige Torsionswirkung

OK Abbrechen Zurücksetzen Hilfe

Kontrolle und Dokumentation der Ersatzlasten

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die erzeugten Ersatzlasten zu kontrollieren.

A) Grafische Kontrolle im Eingabemodus

Im Eingabemodus lassen sich die aus einer Erdbebenlastposition erzeugten Ersatzlasten grafisch darstellen. Hierzu existiert die Funktion *Belastung* → *Erdbebenlast* → *Info*. Ein anschließender Mausklick auf eine Erdbebenlast zeigt die Ersatzlasten zu dieser Position an.

B) Grafische Kontrolle im Ergebnismodus

Eine lastfallweise Darstellung der Ersatzlasten kann im Ergebnismodus mit der grafischen Ausgabe *Belastung* → *Punktlasten* erfolgen. In den Ergebnisoptionen ist die Anzeige der Lasten *global definiert* und *FE-Darstellung* zu wählen. Somit lassen sich die Punktlasten und Einzelmomente der einzelnen Erregungslastfälle mit Wert der Lastgröße anzeigen.

C) Ausgabe *Erdbebenlast-LastDef*

Mit der Ausgabe *Erdbebenlast-LastDef* lassen sich je Erdbebenlastposition die Massen und Ersatzlasten als Resultierende im Definitionspunkt der Position tabellarisch dokumentieren.

Zufällige (nicht planmäßige) Torsionswirkung

Soll die nicht planmäßige Torsionswirkung erfasst werden, ist dies über die Definition von zusätzlichen Lasten je Erregung oder durch Definition von zusätzlichen Massen möglich. Hierzu sind entsprechende Lasten in neuen Lastfällen anzulegen, diese Lastfälle im Dialog *Belastung* → *Einwirkungen* der Erdbeneinwirkung zuzuordnen und dort als Lastfalltyp *zufällige Torsionswirkung* oder *nur als Masse zu berücksichtigen* zu wählen.

A) Lastfalltyp *zufällige Torsionswirkung*

Die Lasten aus zufälliger Torsionswirkung sind je Erregungsrichtung in einem einzigen Lastfall vom Typ *zufällige Torsionswirkung* in allen Geschossen gleichgerichtet zu definieren. Diese Lastfälle sind in der jeweiligen Erdbebenlastgruppe anzuordnen. Bei der späteren Überlagerung werden diese Lastfälle in ungünstiger Richtung angesetzt, so dass die Lasten nicht auch zusätzlich in negativer Wirkungsrichtung anzusetzen sind.

B) Lastfalltyp *nur als Masse zu berücksichtigen*

Die Lastfälle vom Typ *nur als Masse zu berücksichtigen* werden nur bei der dynamischen Berechnung zur Berücksichtigung zusätzlicher Massen angesetzt, nicht aber bei der anschließenden statischen Berechnung.

Pos. 1.0GERDB-1 - Erdbebenlast (1. Obergeschoss)

X = 5.00 m, y = 4.00 m, z = 6.00 m
 Volumenauswahl numerisch
 XMin = 0.00 m, YMin = 0.00 m, ZMin = 4.50 m
 XMax = 10.00 m, YMax = 8.00 m, ZMax = 7.50 m
 Massen am Zentrum:
 Mx = 81.0 t, My = 81.0 t, Mz = 81.0 t
 Rmx = 561.0 tm², Rmy = 852.4 tm², Rmz = 1377.8 tm²

Punktlasten

LF	Lastgröße [kN], [kNm]	LF	Lastgröße [kN], [kNm]
(ERR-1)-2 Px	0.668	(ERR-1)-23 Pz	6.001
(ERR-1)-2 Mz	1.029	(ERR-1)-23 Mx	-5.561
(ERR-1)-5 Px	62.952	(ERR-1)-23 My	12.832
(ERR-1)-5 My	6.864	(ERR-1)-23 Mz	1.000
(ERR-1)-5 Mz	7.998	(ERR-2)-1 Py	0.498
(ERR-1)-16 Pz	-0.074	(ERR-2)-1 Mz	-0.066
(ERR-1)-16 Mx	-0.222	(ERR-2)-4 Px	-0.086
(ERR-1)-16 My	0.222	(ERR-2)-4 Py	58.534
(ERR-1)-22 Px	0.143	(ERR-2)-4 Mx	5.906
(ERR-1)-22 Pz	0.082	(ERR-2)-4 Mz	31.664
(ERR-1)-22 Mx	0.165	(ERR-2)-8 Px	-0.078
(ERR-1)-22 My	0.559	(ERR-2)-8 Py	37.463
(ERR-1)-22 Mz	0.429	(ERR-2)-8 Mx	-0.741
(ERR-1)-23 Px	0.655	(ERR-2)-8 Mz	24.105

Pos. 2.0GERDB-1 - Erdbebenlast (2. Obergeschoss)

X = 5.00 m, y = 4.00 m, z = 9.00 m
 Volumenauswahl numerisch
 XMin = 0.00 m, YMin = 0.00 m, ZMin = 7.50 m
 XMax = 10.00 m, YMax = 8.00 m, ZMax = 10.50 m
 Massen am Zentrum:
 Mx = 81.0 t, My = 81.0 t, Mz = 81.0 t
 Rmx = 560.7 tm², Rmy = 852.0 tm², Rmz = 1377.2 tm²

Punktlasten

LF	Lastgröße [kN], [kNm]	LF	Lastgröße [kN], [kNm]
(ERR-1)-2 Px	28.776	(ERR-1)-22 My	-8.114
(ERR-1)-2 My	3.781	(ERR-1)-23 Pz	-3.976
(ERR-1)-2 Mz	4.659	(ERR-1)-23 Mx	-5.828
(ERR-1)-5 Px	74.241	(ERR-1)-23 My	-11.494
(ERR-1)-5 My	4.325	(ERR-2)-1 Py	17.654
(ERR-1)-5 Mz	8.955	(ERR-2)-1 Mx	0.274
(ERR-1)-16 Pz	-3.038	(ERR-2)-1 Mz	2.094
(ERR-1)-16 Mx	-2.067	(ERR-2)-4 Px	-0.088
(ERR-1)-16 My	9.758	(ERR-2)-4 Py	68.192
(ERR-1)-22 Pz	-1.035	(ERR-2)-4 Mx	3.518
(ERR-1)-22 Mx	2.590	(ERR-2)-4 Mz	34.838

Einwirkungen

Lastfallzuordnung: Einwirkungstabelle

Norm: DIN1055-100 | Einwirkungstyp: Erdbeneinwirkung

Lastgruppentyp: +)Wurzel aus Summe der Quadrate (für LF aus seism. Erregung)

Lastfalltyp: nur als Masse zu berücksichtigen zufällige Torsionswirkung

Beispiel

In unserem Modell sind beispielhaft in den Lastfällen LF-4 und LF-5 Lasten aus zufälliger Torsionswirkung getrennt nach x- und y-Richtung als horizontale Trapezlinienlasten auf jeder Geschossdecke angelegt. In Lastfall LF-3 wurden Lasten angeordnet, die nur als Masse bei der dynamischen Berechnung berücksichtigt werden sollen. Der jeweilige Lastfalltyp für diese Lastfälle (LF-3 bis LF-5) ist einsprechend eingestellt.

DIN 4149:2005-04

Die Beanspruchungen aus nicht planmäßigen Torsionswirkung sind nach Abschnitt 6.2.3.3 der DIN 4149 zu ermitteln.

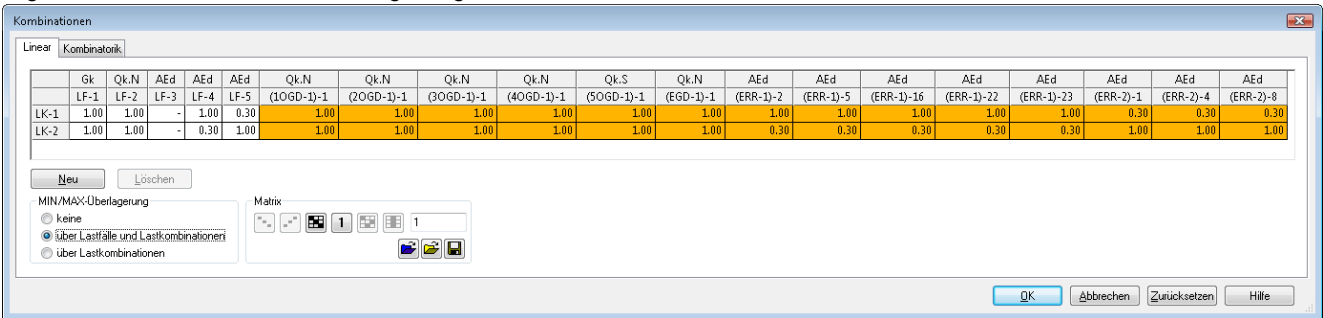
Hinweis: Die dort anzusetzende Horizontalkraft F_i je Geschoss ist bei Berücksichtigung mehrerer Eigenformen nicht mehr eindeutig. Es ist zu empfehlen, diese Horizontalkraft entweder aus der Eigenform mit der größten Beteiligung zu entnehmen oder diese aus allen Eigenformen über die SRSS-Regel (s.u.) zu ermitteln. Die Horizontalkräfte je Geschoss und je Eigenform können direkt der Ausgabe *Erdbebenlast-LastDef* entnommen werden, falls je Geschoss eine Erdbebenlast definiert wurde. Alternativ können auch Horizontalkräfte auf Basis eines vereinfachten Ersatzsystems mit dem BauStatik-Modul S040 ermittelt werden.

5. Statische Analyse

Nach der Erstellung aller Lasten aus Erdbebenbeanspruchung ist eine erneute Generierung des Modells erforderlich. Anschließend kann eine statische Berechnung nach Theorie I. Ordnung ausgeführt werden, die neben den statischen Lasten auch die Lasten aus Erdbebenbeanspruchung berücksichtigt.

Die Ergebnisse (modale Verformungen, Schnittgrößen, Auflagerkräfte) der Lastfälle einer Lastgruppe vom Typ *+/-Wurzel aus Summe der Quadrate* werden über die **SRSS-Regel** (**S**quare **R**oot of the **S**um of the **S**quares) zu jeweils einem Ergebnis zusammengefasst. Hierzu sind die linearen Lastkombinationen vorzugeben und die *MIN/MAX-Überlagerung über Lastfälle und Lastkombinationen* zu wählen. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Lastfälle einer Erregung den gleichen Lastfaktor erhalten.

Die Lastfälle vom Typ *zufällige Torsionswirkung* innerhalb der Erdbebenlastgruppe werden nicht mit der SRSS-Regel überlagert, sondern anschließend mit ungünstigem Vorzeichen aufaddiert.



	Gk	Qk.N	AEd	AEd	AEd	Qk.N	Qk.N	Qk.N	Qk.N	Qk.S	Qk.N	AEd	AEd	AEd	AEd	AEd	AEd	AEd	AEd
	LF-1	LF-2	LF-3	LF-4	LF-5	(10GD-1)-1	(20GD-1)-1	(30GD-1)-1	(40GD-1)-1	(50GD-1)-1	(EGD-1)-1	(ERR-1)-2	(ERR-1)-5	(ERR-1)-16	(ERR-1)-22	(ERR-1)-23	(ERR-2)-1	(ERR-2)-4	(ERR-2)-8
LK-1	1.00	1.00	-	1.00	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30
LK-2	1.00	1.00	-	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	1.00	1.00	1.00

Hinweis: Mit einer *nichtlinearen* Berechnung können keine sinnvollen Ergebnisse erzielt werden, da keine Überlagerung nach der SRSS-Regel möglich ist.

DIN 4149:2005-04

Um die Überlagerungsvorschrift nach DIN 4149, Abschnitt 6.2.4.1(3) anzuwenden, ist je eine Lastkombination anzulegen, in der alle Lastfälle der einen Erregung den Lastfaktor 1.0 und die der anderen (orthogonalen) Erregung den Lastfaktor 0.3 erhalten.

Bemessung (nach DIN 4149:2005-04)

Auch bei automatischer Kombinatorik zur Ermittlung der maßgebenden Bemessungskombinationen wird die SRSS-Regel zum Zusammenfassen der Schnittgrößen innerhalb einer Erregung angewendet. Die in einer Erdbebeneinwirkung definierten, zweier zueinander orthogonal wirkenden Erregungen werden anschließend gemäß DIN 4149, Abschnitt 6.2.4.1(3) überlagert.

Hinweis: Mit *manuell* definierten Lastfallkombinationen können keine sinnvollen Bemessungsergebnisse erzielt werden, da auch hier keine Überlagerung nach der SRSS-Regel möglich ist.