



Berechnung mithilfe der Finite-Elemente-Methode

Topologie

Projekt

Aktion : EARTHQUAKE
Datum : 01.12.2020

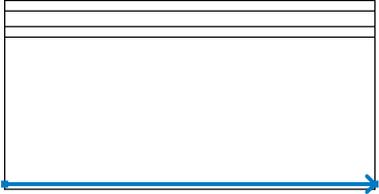
Gesamteinstellung der Berechnung

| | |
|---|-----------------------|
| Aufgabengeometrie : | Eben |
| Berechnungstyp : | Spannungszustand |
| Tunnel : | ja |
| Wasser mithilfe der Berechnung der stationären Strömung eingeben zu ermöglichen : | nein |
| Dynamische Berechnung von Erdbeben : | ja |
| Betonbauten : | EN 1992-1-1 (EC2) |
| Berechnung des Primärspannungszustandes (1. Phase) : | Ko Prozedur verwenden |
| Detailparameter der Netzerzeugung : | ja |
| Detailbodenparameter : | ja |
| Erweiterte Bodenmodelle : | ja |
| Temperaturbelastung : | nein |
| Detaillierte Ergebnisse : | ja |

Schnittstelle

| Numme | Schnittstellenpositionierung | Koordinaten der Schnittstellenpunkte [m] | | | | | |
|-------|------------------------------|--|-------|-------|-------|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 1 | | -35,00 | 0,00 | 35,00 | 0,00 | | |
| 2 | | -35,00 | -2,00 | 35,00 | -2,00 | | |
| 3 | | -35,00 | -5,00 | 35,00 | -5,00 | | |
| 4 | | -35,00 | -7,00 | 35,00 | -7,00 | | |



| Numme | Schnittstellenpositionierung | Koordinaten der Schnittstellenpunkte [m] | | | | | |
|-------|---|--|--------|-------|--------|---|---|
| | | x | z | x | z | x | z |
| 5 |  | -35,00 | -35,00 | 35,00 | -35,00 | | |

Bodenparameter

Soil no.2

| | |
|--|---------------------------------------|
| Materialmodell : | Mohr - Coulomb modifiziert |
| Wichte : | $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Poissonzahl : | $\nu = 0,15$ |
| Elastizitätsmodul : | $E = 25,00 \text{ MPa}$ |
| Biot-Zahl : | $\alpha = 1,00$ |
| Koeffizient des Seitendrucks in Ruhe : | $K_o = 0,610$ |
| Modul der Entlastung/Auflast : | $E_{ur} = 75,00 \text{ MPa}$ |
| Winkel der inneren Reibung : | $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$ |
| Kohäsion des Gesteins : | $c_{ef} = 5,00 \text{ kPa}$ |
| Dilatationswinkel : | $\psi = 0,00^\circ$ |
| Wichte des gesättigten Bodens : | $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Dynamischer Elastizitätsmodul : | $E_{dyn} = 185,00 \text{ MPa}$ |
| Bezugene Dämpfung : | $\xi = 5,0 \%$ |

Soil no.1

| | |
|--|---------------------------------------|
| Materialmodell : | Mohr - Coulomb modifiziert |
| Wichte : | $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Poissonzahl : | $\nu = 0,25$ |
| Elastizitätsmodul : | $E = 15,00 \text{ MPa}$ |
| Biot-Zahl : | $\alpha = 1,00$ |
| Koeffizient des Seitendrucks in Ruhe : | $K_o = 0,570$ |
| Modul der Entlastung/Auflast : | $E_{ur} = 45,00 \text{ MPa}$ |
| Winkel der inneren Reibung : | $\varphi_{ef} = 25,00^\circ$ |
| Kohäsion des Gesteins : | $c_{ef} = 5,00 \text{ kPa}$ |
| Dilatationswinkel : | $\psi = 0,00^\circ$ |
| Wichte des gesättigten Bodens : | $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Dynamischer Elastizitätsmodul : | $E_{dyn} = 100,00 \text{ MPa}$ |
| Bezugene Dämpfung : | $\xi = 5,0 \%$ |

Soil no.3

| | |
|--|---------------------------------|
| Materialmodell : | Mohr - Coulomb modifiziert |
| Wichte : | $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$ |
| Poissonzahl : | $\nu = 0,28$ |
| Elastizitätsmodul : | $E = 75,00 \text{ MPa}$ |
| Biot-Zahl : | $\alpha = 1,00$ |
| Koeffizient des Seitendrucks in Ruhe : | $K_o = 0,530$ |
| Modul der Entlastung/Auflast : | $E_{ur} = 190,00 \text{ MPa}$ |



Winkel der inneren Reibung : $\varphi_{ef} = 28,00^\circ$
 Kohäsion des Gesteins : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Dilatationswinkel : $\psi = 0,00^\circ$
 Wichte des gesättigten Bodens $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 :
 Dynamischer Elastizitätsmodul $E_{dyn} = 650,00 \text{ MPa}$
 :
 Bezogene Dämpfung : $\xi = 5,0 \%$

Soil no.4

Materialmodell : Mohr - Coulomb modifiziert
 Wichte : $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$
 Poissonzahl : $\nu = 0,24$
 Elastizitätsmodul : $E = 150,00 \text{ MPa}$
 Biot-Zahl : $\alpha = 1,00$
 Koeffizient des Seitendrucks in Ruhe : $K_o = 0,370$
 Modul der Entlastung/Auflast : $E_{ur} = 415,00 \text{ MPa}$
 Winkel der inneren Reibung : $\varphi_{ef} = 42,00^\circ$
 Kohäsion des Gesteins : $c_{ef} = 15,00 \text{ kPa}$
 Dilatationswinkel : $\psi = 0,00^\circ$
 Wichte des gesättigten Bodens $\gamma_{sat} = 22,00 \text{ kN/m}^3$
 :
 Dynamischer Elastizitätsmodul $E_{dyn} = 875,00 \text{ MPa}$
 :
 Bezogene Dämpfung : $\xi = 5,0 \%$

Soil no.5

Materialmodell : elastisch modifiziert
 Wichte : $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$
 Poissonzahl : $\nu = 0,21$
 Biot-Zahl : $\alpha = 1,00$
 Koeffizient des Seitendrucks in Ruhe : $K_o = 0,320$
 Verformungsmodul : $E_{def} = 450,00 \text{ MPa}$
 Modul der Entlastung/Auflast : $E_{ur} = 1250,00 \text{ MPa}$
 Wichte des gesättigten Bodens $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$
 :
 Dynamischer Elastizitätsmodul $E_{dyn} = 3250,00 \text{ MPa}$
 :
 Bezogene Dämpfung : $\xi = 5,0 \%$

Zuordnungen und Flächen

| Numme | Flächenpositionierung | Koordinaten der Flächenpunkte [m] | | | | Zugeordnet Boden |
|-------|-----------------------|-----------------------------------|-------|--------|-------|------------------|
| | | x | z | x | z | |
| 1 | | 35,00 | -2,00 | 35,00 | 0,00 | Soil no.1 |
| | | -35,00 | 0,00 | -35,00 | -2,00 | |
| | | | | | | |



| Numme | Flächenpositionierung | Koordinaten der Flächenpunkte [m] | | | | Zugeordnet Boden |
|-------|-----------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|------------------|
| | | x | z | x | z | |
| 2 | | 35,00 | -5,00 | 35,00 | -2,00 | Soil no.2 |
| | | -35,00 | -2,00 | -35,00 | -5,00 | |
| 3 | | 35,00 | -7,00 | 35,00 | -5,00 | Soil no.3 |
| | | -35,00 | -5,00 | -35,00 | -7,00 | |
| 4 | | 35,00 | -35,00 | 35,00 | -7,00 | Soil no.4 |
| | | -35,00 | -7,00 | -35,00 | -35,00 | |
| 5 | | -35,00 | -35,00 | -35,00 | -36,00 | Soil no.5 |
| | | 35,00 | -36,00 | 35,00 | -35,00 | |

Freie Punkte

| Numme | Positionierung | | Numme | Positionierung | | Numme | Positionierung | | Numme | Positionierung | |
|-------|----------------|--------|-------|----------------|--------|-------|----------------|--------|-------|----------------|-------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] |
| 1 | -3,00 | -15,00 | 2 | 3,00 | -15,00 | 3 | 0,00 | -15,00 | | | |

Freie Linien

| Numme | Typ Linie | Typ Eingabe | Linientopologie |
|-------|-----------|-------------|---|
| 1 | Bogen | Radius | Ursprung (-3,00; -15,00) [m] , Ende (3,00; -15,00) [m], Radius 3,00 [m] , Ausrichtung negativ , Winkel stumpf |
| 2 | Bogen | Radius | Ursprung (3,00; -15,00) [m] , Ende (-3,00; -15,00) [m], Radius 3,00 [m] , Ausrichtung negativ , Winkel spitz |

Punkteverfeinerung

| Numme | Positionierung | Radius r [m] | Länge l [m] |
|-------|--------------------|--------------|-------------|
| 1 | Freier Punkt Nr. 3 | 10,00 | 0,60 |



Netzerzeugung

Parameter der Netzerzeugung

Kantenlänge der Elemente : 1,50 [m]

Netz glätten : ja

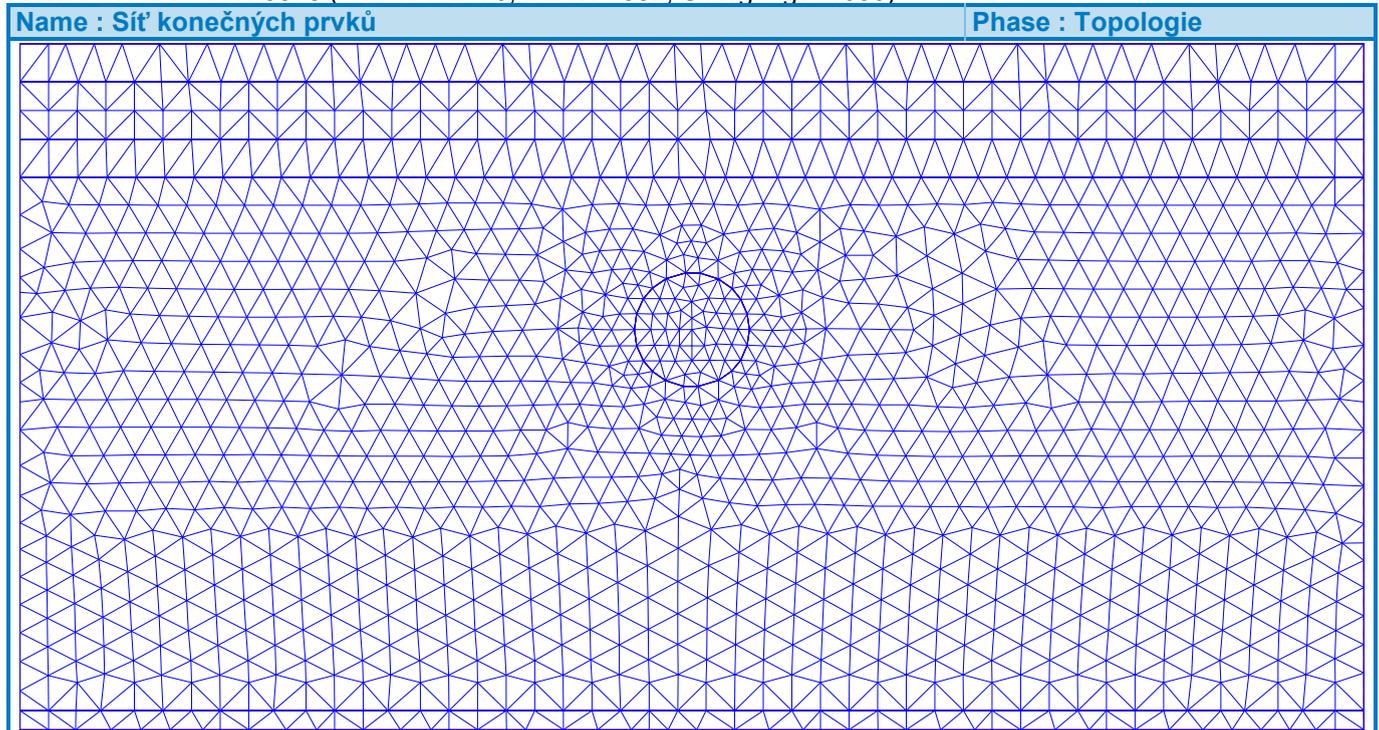
Mehr-Knoten-Elemente erzeugen : nein

Ergebnis der Netzerzeugung

Das Finite-Elemente-Netz wurde erfolgreich erzeugt.

Anzahl der Knoten 2045

Anzahl der Elemente 3878 (Flächen- 2470, Balken- 352, Übergangs- 1056)



Eingangsdaten (Bauphase 1)

Zuordnung und Aktivierung

| Numme | Bereich | Aktiv / inaktiv | Zugeordneter Boden |
|-------|---------|-----------------|--------------------|
| 1 | | Aktiv | Soil no.1 |
| | | | |
| 2 | | Aktiv | Soil no.2 |
| | | | |
| 3 | | Aktiv | Soil no.3 |
| | | | |
| 4 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 5 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 6 | | Aktiv | Soil no.5 |
| | | | |

Berechnungseinstellung

Spannungszust.

Methode :

Newton - Raphson

Steifigkeitsmatrix :

nach jeder Iteration

Höchstanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt :

100

Ursprünglicher Berechnungsschritt :

0,25

Toleranz des Verschiebungsfehlers :

0,0100

Fehlertoleranz der unausgeglichenen Kräfte :

0,0100

Toleranz des Energiefehlers :

0,0100



Materialienschnittstellen beachten : ja
Plastizität
 Fehlertoleranz des Rückkehrs zur Plastizitätsfläche : 0,00100
 Höchstanz. der Iterationen für einen plastischen Schritt : 20
Newton - Raphson
 Relaxationsfaktor des Berechnungsschrittes : 2
 Maximale Anzahl der Relaxationen des Berechnungsschrittes : 2
 Mindestanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : 1
Line search
 Lösungstyp : nicht iterieren
 Line search Limit - Minimum : 0,100
 Line search Limit - Maximum : 1,000

Ergebnisse (Bauphase 1)

Die Berechnung des Spannungszustandes wurde erfolgreich beendet.

Berechnungseinstellung : **benutzerdefiniert**

Ko Prozedur.

Erreichte Belastung = 100,00 %

Extreme

Spannung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|---|----------------|-------|------|----------------|--------|--------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Gesamtspannung $\sigma_{z, tot}$ [kPa] | -32,61 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 781,00 |
| Effektive Spannung $\sigma_{z, eff}$ [kPa] | -32,61 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 781,00 |
| Gesamtspannung $\sigma_{x, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 280,46 |
| Effektive Spannung $\sigma_{x, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 280,46 |
| Schubspannung τ_{xz} [kPa] | -35,00 | -2,00 | 0,00 | -35,00 | -2,00 | 0,00 |
| Mittlere Gesamtspannung $\sigma_{m, tot}$ [kPa] | -31,13 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 439,64 |
| Mittlere effektive Spannung $\sigma_{m, eff}$ [kPa] | -31,13 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 439,64 |
| Vergleichsspannung J [kPa] | -25,24 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 306,62 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{1, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 280,46 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{1, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 280,46 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{2, tot}$ [kPa] | -32,61 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 781,00 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{2, eff}$ [kPa] | -32,61 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 781,00 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{3, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 280,46 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{3, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -35,00 | -35,00 | 280,46 |

Maß der Mobilisierung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-----------------------------|----------------|--------|------|----------------|--------|-------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 35,00 | -35,00 | 60,76 |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 35,00 | -35,00 | 60,76 |



Eingangsdaten (Bauphase 2)

Zuordnung und Aktivierung

| Numme | Bereich | Aktiv / inaktiv | Zugeordneter Boden |
|-------|---------|-----------------|--------------------|
| 1 | | Aktiv | Soil no.1 |
| | | | |
| 2 | | Aktiv | Soil no.2 |
| | | | |
| 3 | | Aktiv | Soil no.3 |
| | | | |
| 4 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 5 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 6 | | Aktiv | Soil no.5 |
| | | | |

Auflast

| Numme | Auflast | | Typ | Positionierung | Ursprung | Länge / | Breite / | Neigung | Größe | | |
|-------|---------|----------|------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|-------|-------------------|
| | neu | Änderung | | / Punkt 1 | / Punkt 1 | Punkt 2 | Punkt 2 | | q, q_1, f, F | q_2 | Einheit |
| | | | | z [m] / x ₁ [m] | x [m] / z ₁ [m] | l [m] / x ₂ [m] | b [m] / z ₂ [m] | α [°] | | | |
| 1 | Ja | | Band | auf der Oberfläche | x = -35,00 | l = 70,00 | | 0,00 | 25,00 | | kN/m ² |



Berechnungseinstellung

Spannungszust.

| | |
|---|----------------------|
| Methode : | Newton - Raphson |
| Steifigkeitsmatrix : | nach jeder Iteration |
| Höchstanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : | 100 |
| Ursprünglicher Berechnungsschritt : | 0,25 |
| Toleranz des Verschiebungsfehlers : | 0,0100 |
| Fehlertoleranz der unausgeglichenen Kräfte : | 0,0100 |
| Toleranz des Energiefehlers : | 0,0100 |
| Materialienschnittstellen beachten : | ja |

Plastizität

| | |
|--|---------|
| Fehlertoleranz des Rückkehrs zur Plastizitätsfläche : | 0,00100 |
| Höchstanz. der Iterationen für einen plastischen Schritt : | 20 |

Newton - Raphson

| | |
|---|---|
| Relaxationsfaktor des Berechnungsschrittes : | 2 |
| Maximale Anzahl der Relaxationen des Berechnungsschrittes : | 2 |
| Mindestanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : | 1 |

Line search

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Lösungstyp : | nicht iterieren |
| Line search Limit - Minimum : | 0,100 |
| Line search Limit - Maximum : | 1,000 |

Ergebnisse (Bauphase 2)

Die Berechnung des Spannungszustandes wurde erfolgreich beendet.

Berechnungseinstellung : **benutzerdefiniert**

Erreichte Belastung = 100,00 %

Extreme

Verformung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-------------------|----------------|-------|-----|----------------|-------|------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Verformung x [mm] | 0,00 | 0,00 | 0,0 | -35,00 | -2,00 | 0,0 |
| Verformung z [mm] | -35,00 | -2,00 | 0,0 | -33,51 | 0,00 | 10,1 |

Spannung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|---|----------------|-------|-------|----------------|--------|--------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Gesamtspannung $\sigma_{z, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 806,00 |
| Effektive Spannung $\sigma_{z, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 0,00 | -33,51 | -36,00 | 806,00 |
| Gesamtspannung $\sigma_{x, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 8,33 | -35,00 | -35,00 | 288,35 |
| Effektive Spannung $\sigma_{x, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 8,33 | -35,00 | -35,00 | 288,35 |
| Schubspannung τ_{xz} [kPa] | -35,00 | -2,00 | 0,00 | -35,00 | -2,00 | 0,00 |
| Mittlere Gesamtspannung $\sigma_{m, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 13,89 | -35,00 | -35,00 | 453,24 |
| Mittlere effektive Spannung $\sigma_{m, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 13,89 | -35,00 | -35,00 | 453,24 |
| Vergleichsspannung J [kPa] | -33,51 | 0,00 | 9,62 | -33,51 | -36,00 | 317,22 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{1, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 8,33 | -35,00 | -35,00 | 288,35 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{1, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 8,33 | -35,00 | -35,00 | 288,35 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{2, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 25,00 | -33,51 | -36,00 | 806,00 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{2, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 25,00 | -33,51 | -36,00 | 806,00 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{3, tot}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 8,33 | -35,00 | -35,00 | 288,35 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{3, eff}$ [kPa] | -33,51 | 0,00 | 8,33 | -35,00 | -35,00 | 288,35 |



Maß der Mobilisierung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-----------------------------|----------------|--------|------|----------------|-------|-------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | -31,97 | -2,00 | 70,92 |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | -31,97 | -2,00 | 70,92 |

Eingangsdaten (Bauphase 3)

Zuordnung und Aktivierung

| Numme | Bereich | Aktiv / inaktiv | Zugeordneter Boden |
|-------|---------|-----------------|--------------------------------------|
| 1 | | Aktiv | Soil no.1 |
| | | | |
| 2 | | Aktiv | Soil no.2 |
| | | | |
| 3 | | Aktiv | Soil no.3 |
| | | | |
| 4 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 5 | | Exkavation | Exkavation Nr. 1 (Exkavace 3 - 1) |
| | | | Restliche Bodenwirkung: 55,0 % |
| 6 | | Aktiv | Soil no.5 |
| | | | |

Auflast

| Numme | Auflast | | Typ | Positionierung | Ursprung | Länge / Punkt 2 | Breite / Punkt 2 | Neigung | Größe | | |
|-------|---------|----------|------|--|--|--------------------|---------------------|---------|-------|-----------------------------|-------------------|
| | neu | Änderung | | / Punkt 1 z [m] / x ₁ [m] | / Punkt 1 x [m] / z ₁ [m] | | | | α [°] | q, q ₁ , f, F | q ₂ |
| 1 | Nein | Nein | Band | auf der Oberfläche | x = -35,00 | l = 70,00 | | 0,00 | 25,00 | | kN/m ² |



Berechnungseinstellung

Spannungszust.

| | |
|---|----------------------|
| Methode : | Newton - Raphson |
| Steifigkeitsmatrix : | nach jeder Iteration |
| Höchstanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : | 100 |
| Ursprünglicher Berechnungsschritt : | 0,25 |
| Toleranz des Verschiebungsfehlers : | 0,0100 |
| Fehlertoleranz der unausgeglichenen Kräfte : | 0,0100 |
| Toleranz des Energiefehlers : | 0,0100 |
| Materialienschnittstellen beachten : | ja |

Plastizität

| | |
|--|---------|
| Fehlertoleranz des Rückkehrs zur Plastizitätsfläche : | 0,00100 |
| Höchstanz. der Iterationen für einen plastischen Schritt : | 20 |

Newton - Raphson

| | |
|---|---|
| Relaxationsfaktor des Berechnungsschrittes : | 2 |
| Maximale Anzahl der Relaxationen des Berechnungsschrittes : | 2 |
| Mindestanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : | 1 |

Line search

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Lösungstyp : | nicht iterieren |
| Line search Limit - Minimum : | 0,100 |
| Line search Limit - Maximum : | 1,000 |

Ergebnisse (Bauphase 3)

Die Berechnung des Spannungszustandes wurde erfolgreich beendet.

Berechnungseinstellung : **benutzerdefiniert**

Erreichte Belastung = 100,00 %

Extreme

Verformung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-------------------|----------------|-------|------|----------------|-------|------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Verformung x [mm] | 0,00 | 0,00 | -1,3 | 8,01 | 0,00 | 1,3 |
| Verformung z [mm] | 8,01 | 0,00 | 0,0 | -0,92 | 0,00 | 13,1 |

Spannung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|---|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Gesamtspannung $\sigma_{z, tot}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 0,00 | 21,60 | -36,00 | 807,13 |
| Effektive Spannung $\sigma_{z, eff}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 0,00 | 21,60 | -36,00 | 807,13 |
| Gesamtspannung $\sigma_{x, tot}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 4,63 | -23,09 | -35,00 | 288,69 |
| Effektive Spannung $\sigma_{x, eff}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 4,63 | -23,09 | -35,00 | 288,69 |
| Schubspannung τ_{xz} [kPa] | 2,54 | -13,41 | -78,92 | -2,52 | -13,38 | 77,88 |
| Mittlere Gesamtspannung $\sigma_{m, tot}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 12,34 | -23,09 | -35,00 | 453,90 |
| Mittlere effektive Spannung $\sigma_{m, eff}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 12,34 | -23,09 | -35,00 | 453,90 |
| Vergleichsspannung J [kPa] | 0,45 | 0,00 | 8,05 | 21,60 | -36,00 | 317,70 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{1, tot}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 4,63 | -23,09 | -35,00 | 288,69 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{1, eff}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 4,63 | -23,09 | -35,00 | 288,69 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{2, tot}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 24,79 | 21,60 | -36,00 | 807,13 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{2, eff}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 24,79 | 21,60 | -36,00 | 807,13 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{3, tot}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 7,40 | -23,09 | -35,00 | 288,74 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{3, eff}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 7,40 | -23,09 | -35,00 | 288,74 |



Maß der Mobilisierung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-----------------------------|----------------|--------|------|----------------|--------|-------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 3,00 | -15,00 | 84,09 |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 3,00 | -15,00 | 84,09 |



Eingangsdaten (Bauphase 4)

Zuordnung und Aktivierung

| Numme | Bereich | Aktiv / inaktiv | Zugeordneter Boden |
|-------|---------|-----------------|--------------------------------------|
| 1 | | Aktiv | Soil no.1 |
| | | | |
| 2 | | Aktiv | Soil no.2 |
| | | | |
| 3 | | Aktiv | Soil no.3 |
| | | | |
| 4 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 5 | | Exkavation | Exkavation Nr. 1 (Exkavace 3 - 1) |
| | | | Restliche Bodenwirkung: 0,0 % |
| 6 | | Aktiv | Soil no.5 |
| | | | |



Balken

| Numme | Balken | | Positionierung | Auflagerung [m] | | Betrachtete Längengewichte | Querschnitt / Degradation in der aktuellen Phase [%] | Material / Aktuelle Balkenwirkung [%] | Kontakte | |
|-------|--------|----------|--------------------------|-----------------|------|-------------------------------|--|--|-----------------------|-----------------------|
| | neu | Änderung | | Anfang | Ende | | | | links | rechts |
| 1 | Ja | | Die freie Linie Nr. 1 | ┌ | ┌ | Ja | 1,00 (b) x 0,30 (h) m | C 40/50 | (nicht eingegeben) | (nicht eingegeben) |
| 2 | Ja | | Die freie Linie Nr. 2 | ┌ | ┌ | Ja | 1,00 (b) x 0,30 (h) m | C 40/50 | (nicht eingegeben) | (nicht eingegeben) |

| Numme | Querschnitt | | Material | |
|-------|---------------------------|-----------------------|----------|----------|
| | I_y [m ⁴ /m] | A [m ² /m] | E [MPa] | G [MPa] |
| 1 | 2,25E-03 | 3,00E-01 | 35000,00 | 14583,00 |
| 2 | 2,25E-03 | 3,00E-01 | 35000,00 | 14583,00 |

Auflast

| Numme | Auflast | | Typ | Positionierung / Punkt 1 | Ursprung / Punkt 1 | Länge / Punkt 2 | Breite / Punkt 2 | Neigung | Größe | | |
|-------|---------|----------|------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | neu | Änderung | | | | | | | z [m] / x ₁ [m] | x [m] / z ₁ [m] | l [m] / x ₂ [m] |
| 1 | Nein | Nein | Band | auf der Oberfläche | x = -35,00 | l = 70,00 | | 0,00 | 25,00 | | kN/m ² |

Berechnungseinstellung

Spannungszust.

| | |
|---|----------------------|
| Methode : | Newton - Raphson |
| Steifigkeitsmatrix : | nach jeder Iteration |
| Höchstanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : | 100 |
| Ursprünglicher Berechnungsschritt : | 0,25 |
| Toleranz des Verschiebungsfehlers : | 0,0100 |
| Fehlertoleranz der unausgeglichenen Kräfte : | 0,0100 |
| Toleranz des Energiefehlers : | 0,0100 |
| Materialienschnittstellen beachten : | ja |

Plastizität

| | |
|--|---------|
| Fehlertoleranz des Rückkehrs zur Plastizitätsfläche : | 0,00100 |
| Höchstanz. der Iterationen für einen plastischen Schritt : | 20 |

Newton - Raphson

| | |
|---|---|
| Relaxationsfaktor des Berechnungsschrittes : | 2 |
| Maximale Anzahl der Relaxationen des Berechnungsschrittes : | 2 |
| Mindestanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : | 1 |

Line search

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Lösungstyp : | nicht iterieren |
| Line search Limit - Minimum : | 0,100 |
| Line search Limit - Maximum : | 1,000 |

Ergebnisse (Bauphase 4)

Die Berechnung des Spannungszustandes wurde erfolgreich beendet.

Berechnungseinstellung : **benutzerdefiniert**

Erreichte Belastung = 100,00 %

Extreme

Verformung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-------------------|----------------|-------|------|----------------|-------|------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Verformung x [mm] | 0,00 | 0,00 | -1,7 | 8,01 | 0,00 | 1,7 |
| Verformung z [mm] | 8,01 | 0,00 | -0,6 | -0,92 | 0,00 | 14,0 |

Spannung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|---|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Gesamtspannung $\sigma_{z, tot}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 0,00 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Effektive Spannung $\sigma_{z, eff}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 0,00 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Gesamtspannung $\sigma_{x, tot}$ [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Effektive Spannung $\sigma_{x, eff}$ [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Schubspannung τ_{xz} [kPa] | -2,21 | -17,98 | -88,00 | 2,21 | -17,99 | 88,79 |
| Mittlere Gesamtspannung $\sigma_{m, tot}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 11,72 | -23,09 | -35,00 | 454,17 |
| Mittlere effektive Spannung $\sigma_{m, eff}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 11,72 | -23,09 | -35,00 | 454,17 |
| Vergleichsspannung J [kPa] | 0,45 | 0,00 | 7,62 | 21,60 | -36,00 | 317,91 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{1, tot}$ [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{1, eff}$ [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{2, tot}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 24,70 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{2, eff}$ [kPa] | 1,57 | 0,00 | 24,70 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Totale Hauptspannung $\sigma_{3, tot}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 7,03 | -23,09 | -35,00 | 288,90 |
| Effektive Hauptspannung $\sigma_{3, eff}$ [kPa] | -14,86 | 0,00 | 7,03 | -23,09 | -35,00 | 288,90 |

Maß der Mobilisierung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-----------------------------|----------------|--------|------|----------------|-------|-------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 13,44 | 0,00 | 91,57 |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 13,44 | 0,00 | 91,57 |

Balkenverläufe (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-----------|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| N [kN/m] | 3,00 | -15,00 | -486,4 | -0,31 | -12,02 | -183,8 |
| M [kNm/m] | -3,00 | -15,00 | -46,7 | -3,00 | -15,00 | 46,7 |
| Q [kN/m] | -2,52 | -16,63 | -34,3 | 2,54 | -16,60 | 34,2 |

Eingangsdaten (Bauphase 5)

Zuordnung und Aktivierung

| Numme | Bereich | Aktiv / inaktiv | Zugeordneter Boden |
|-------|---------|-----------------|--------------------|
| 1 | | Aktiv | Soil no.1 |
| | | | |
| 2 | | Aktiv | Soil no.2 |
| | | | |
| 3 | | Aktiv | Soil no.3 |
| | | | |
| 4 | | Aktiv | Soil no.4 |
| | | | |
| 5 | | Inaktiv | |
| | | | |
| 6 | | Aktiv | Soil no.5 |
| | | | |



Balken

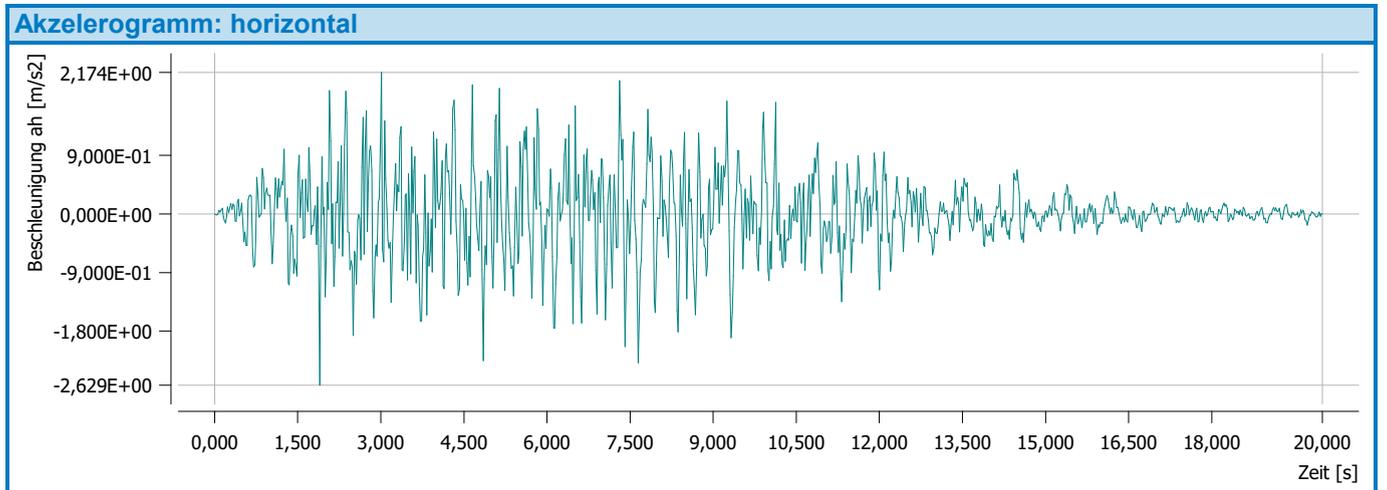
| Numme | Balken | | Positionierung | Auflagerung [m] | | Betrachte Gegengewicht | Querschnitt / Degradation in der aktuellen Phase [%] | Material / Aktuelle Balkenwirkung [%] | Kontakte | |
|-------|--------|----------|--------------------------|-----------------|------|---------------------------|---|--|-----------------------|-----------------------|
| | neu | Änderung | | Anfang | Ende | | | | links | rechts |
| 1 | Nein | Nein | Die freie Linie Nr. 1 | ┌ | ┌ | Ja | unverändert | unverändert | (nicht eingegeben) | (nicht eingegeben) |
| 2 | Nein | Nein | Die freie Linie Nr. 2 | ┌ | ┌ | Ja | unverändert | unverändert | (nicht eingegeben) | (nicht eingegeben) |

| Numme | Querschnitt | | Material | |
|-------|---------------------------|-----------------------|----------|----------|
| | I_y [m ⁴ /m] | A [m ² /m] | E [MPa] | G [MPa] |
| 1 | 2,25E-03 | 3,00E-01 | 35000,00 | 14583,00 |
| 2 | 2,25E-03 | 3,00E-01 | 35000,00 | 14583,00 |

Auflast

| Numme | Auflast | | Typ | Positionierung / Punkt 1 | Ursprung / Punkt 1 | Länge / Punkt 2 | Breite / Punkt 2 | Neigung | Größe | | |
|-------|---------|----------|------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | neu | Änderung | | | | | | | z [m] / x ₁ [m] | x [m] / z ₁ [m] | l [m] / x ₂ [m] |
| 1 | Nein | Nein | Band | auf der Oberfläche | x = -35,00 | l = 70,00 | | 0,00 | 25,00 | | kN/m ² |

Erdbeben



Berechnungseinstellung

Spannungszust.

Methode : Newton - Raphson
 Steifigkeitsmatrix : nach jeder Iteration
 Höchstanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : 100
 Ursprünglicher Berechnungsschritt : 0,25
 Toleranz des Verschiebungsfehlers : 0,0100
 Fehlertoleranz der unausgeglichenen Kräfte : 0,0100
 Toleranz des Energiefehlers : 0,0100
 Materialienschnittstellen beachten : ja



Plastizität

Fehlertoleranz des Rückkehrs zur Plastizitätsfläche : 0,00100
Höchstanz. der Iterationen für einen plastischen Schritt : 20

Newton - Raphson

Relaxationsfaktor des Berechnungsschrittes : 2
Maximale Anzahl der Relaxationen des Berechnungsschrittes : 2
Mindestanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : 1

Line search

Lösungstyp : nicht iterieren
Line search Limit - Minimum : 0,100
Line search Limit - Maximum : 1,000

Erdbeben

Methode : Newton - Raphson
Steifigkeitsmatrix : nach jeder Iteration
Höchstanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : 100
Ursprünglicher Zeitschritt : 0,05000 [s]
Toleranz des Verschiebungsfehlers : 0,0100
Fehlertoleranz der unausgeglichene Kräfte : 0,0100
Toleranz des Energiefehlers : 0,0100
Materialienschnittstellen beachten : ja

Plastizität

Fehlertoleranz des Rückkehrs zur Plastizitätsfläche : 0,00100
Höchstanz. der Iterationen für einen plastischen Schritt : 20

Newton - Raphson

Relaxationsfaktor des Berechnungsschrittes : 2
Maximale Anzahl der Relaxationen des Berechnungsschrittes : 2
Mindestanz. der Iterationen für einen Berechnungsschritt : 1

Line search

Lösungstyp : nicht iterieren
Line search Limit - Minimum : 0,100
Line search Limit - Maximum : 1,000

Zeitintegrationsmethode

Methode : Newmark
Geschwindigkeitsintegrationsparameter : $\gamma = 0,50$
Verschiebungsintegrationsfaktor : $\beta = 0,25$

Eigene Werte

Methode : Jacobi
Gewünschte Anzahl der Eigenformen : 6
Max. Anzahl der Iterationen der Unterraum-Iterationsmethode : 100
Fehlertoleranz der Unterraum-Iterationsmethode : 1,000E-05
Max. Anzahl der Drehungen des Jacobi-Verfahrens : 100
Vertikale Unterstützung für eigene Frequenz : keiner

Ergebnisse (Bauphase 5)

Die Berechnung des Spannungszustandes wurde erfolgreich beendet.

Berechnungseinstellung : **benutzerdefiniert**

Erreichte Belastung = 100,00 %

Die Berechnung der eigenen Formen wurde erfolgreich durchgeführt.

12 Eigenformen von 6 geforderten gefunden.

Die Berechnung von Free Field wurde erfolgreich durchgeführt.

Die Berechnung des Spannungszustandes beim Erdbeben wurde erfolgreich durchgeführt.

Eigene Werte

Gewünschte Anzahl der Eigenformen : 6
Anzahl der gefundenen Eigenformen : 12
Gesamtgewicht : $m = 5560,14 \text{ t}$
Effektive modale Gesamtmasse x : $m_x = 4745,79 \text{ t}$

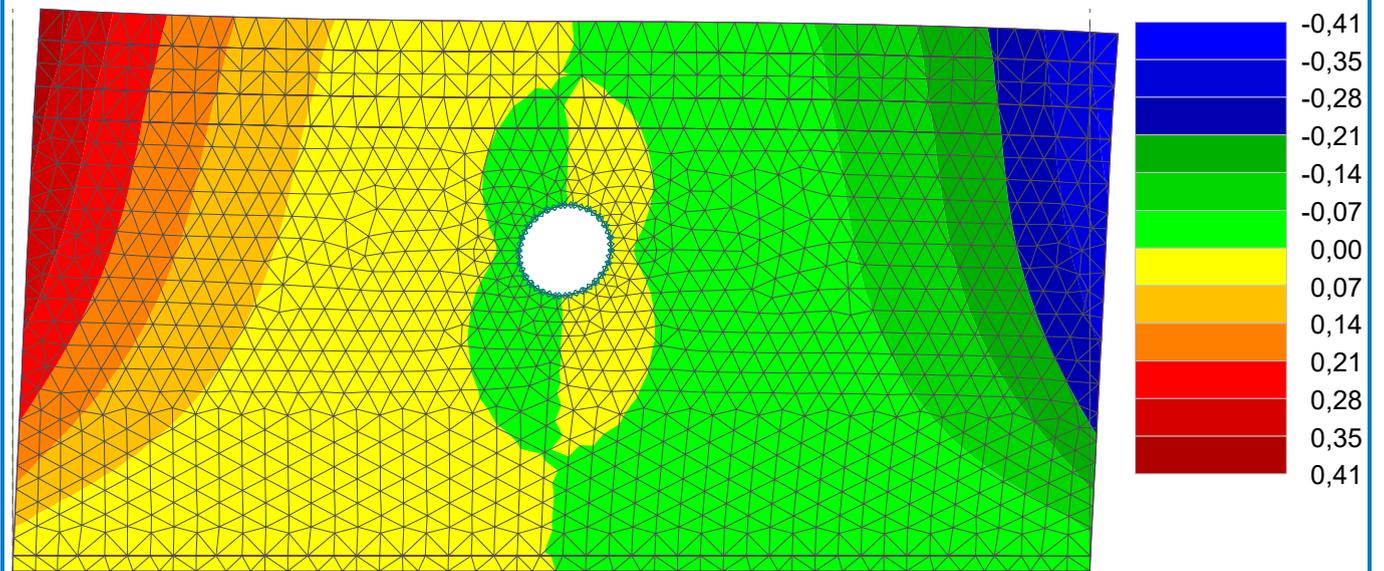
Effektive modale Gesamtmasse z : $m_z = 4329,29 \text{ t}$

| genform α | Eigene Winkelfrequenz ω_α [rad/s] | Eigene Frequenz f_α [Hz] | Modaler Beteiligungsfaktor x $\Gamma_{\alpha, x}$ [t ^{0.5}] | Modaler Beteiligungsfaktor z $\Gamma_{\alpha, z}$ [t ^{0.5}] | Effektive modale Masse x $m_{\alpha, x}$ [t] | Effektive modale Masse z $m_{\alpha, z}$ [t] |
|---------------------|---|---------------------------------------|--|--|---|---|
| 1 | 14,83 | 93,20 | 61,22 | 0,01 | 3747,44 | 0,00 |
| 2 | 24,00 | 150,81 | 0,01 | 20,00 | 0,00 | 399,85 |
| 3 | 29,91 | 187,93 | 0,02 | 59,13 | 0,00 | 3496,31 |
| 4 | 30,86 | 193,89 | 23,21 | 0,05 | 538,87 | 0,00 |
| 5 | 34,86 | 219,06 | 13,46 | 0,02 | 181,16 | 0,00 |
| 6 | 36,85 | 231,56 | 0,01 | 19,24 | 0,00 | 370,27 |
| 7 | 44,17 | 277,50 | 0,01 | 6,36 | 0,00 | 40,42 |
| 8 | 47,81 | 300,42 | 13,98 | 0,00 | 195,56 | 0,00 |
| 9 | 50,62 | 318,07 | 1,80 | 0,01 | 3,22 | 0,00 |
| 10 | 57,80 | 363,15 | 0,01 | 4,09 | 0,00 | 16,75 |
| 11 | 59,10 | 371,36 | 8,92 | 0,00 | 79,53 | 0,00 |
| 12 | 60,85 | 382,31 | 0,01 | 2,38 | 0,00 | 5,68 |

Name : Výpočet

Phase : 5

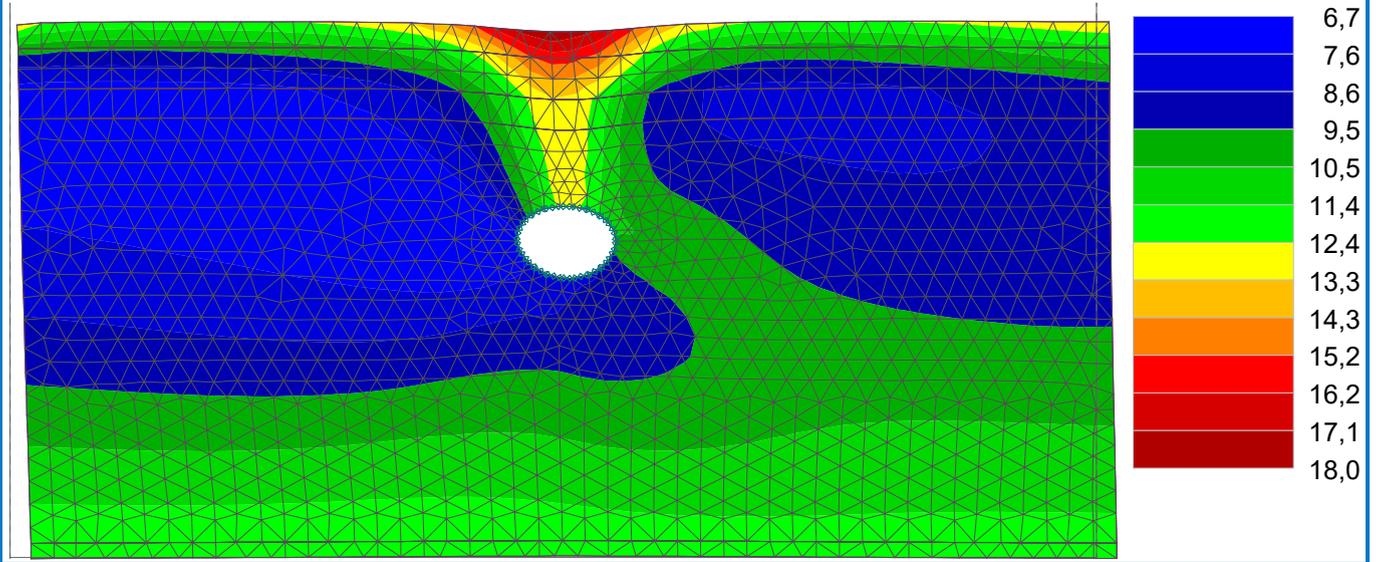
Ergebnisse : Erdbeben : eigene Form 1; Größe : Normierung der Eigenform $d_{\alpha, z}$; Bereich : <-0,41; 0,41>



Name : Výpočet

Phase : 5

Ergebnisse : Erdbeben : zum Zeitpunkt 9,990 s; Größe : Resultierende Verschiebung |d|; Bereich : <6,7; 18,0> mm



Extreme

Spannung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|--|----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Gesamtspannung σ_z, tot [kPa] | 1,57 | 0,00 | 0,00 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Effektive Spannung σ_z, eff [kPa] | 1,57 | 0,00 | 0,00 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Gesamtspannung σ_x, tot [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Effektive Spannung σ_x, eff [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Schubspannung τ_{xz} [kPa] | -2,21 | -17,98 | -88,00 | 2,21 | -17,99 | 88,79 |
| Mittlere Gesamtspannung σ_m, tot [kPa] | -14,86 | 0,00 | 11,72 | -23,09 | -35,00 | 454,17 |
| Mittlere effektive Spannung σ_m, eff [kPa] | -14,86 | 0,00 | 11,72 | -23,09 | -35,00 | 454,17 |
| Vergleichsspannung J [kPa] | 0,45 | 0,00 | 7,62 | 21,60 | -36,00 | 317,91 |
| Totale Hauptspannung σ_1, tot [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Effektive Hauptspannung σ_1, eff [kPa] | 13,44 | 0,00 | 3,07 | -23,09 | -35,00 | 288,83 |
| Totale Hauptspannung σ_2, tot [kPa] | 1,57 | 0,00 | 24,70 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Effektive Hauptspannung σ_2, eff [kPa] | 1,57 | 0,00 | 24,70 | -21,14 | -36,00 | 807,63 |
| Totale Hauptspannung σ_3, tot [kPa] | -14,86 | 0,00 | 7,03 | -23,09 | -35,00 | 288,90 |
| Effektive Hauptspannung σ_3, eff [kPa] | -14,86 | 0,00 | 7,03 | -23,09 | -35,00 | 288,90 |

Maß der Mobilisierung (Extreme)

| | Positionierung | | Min | Positionierung | | Max |
|-----------------------------|----------------|--------|------|----------------|-------|-------|
| | x [m] | z [m] | | x [m] | z [m] | |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 13,44 | 0,00 | 91,57 |
| Mobilisierte Festigkeit [%] | -33,51 | -35,00 | 0,00 | 13,44 | 0,00 | 91,57 |