

Elastische Bereiche (Bereiche ohne Plastizität)

Programm: FEM

Datei: Demo_manual_34.gmk

Einleitung

Wenn der Boden mit Spannung belastet wird und der Wert die Plastizitätsgrenze erreicht, treten im Boden Verformungen auf, die auch nach der Entlastung im Material bestehen bleiben. Wir nennen diese bleibende Verformung eine plastische Verformung des Materials und sie kann mit Standardmodellen vom Typ Mohr-Coulomb, Drucker-Prager oder fortgeschrittenen Modellen vom Typ Cam-Clay modelliert werden.

Wenn wir die Entwicklung plastischer Verformungen an einem bestimmten Ort und in einer bestimmten Berechnungsphase während der Finite-Elemente-Modellierung unterdrücken möchten, können wir die Funktion *Elastische Bereiche* verwenden.

Wann sind *Elastische Bereiche* zu verwenden

Die Unterdrückung der Entwicklung plastischer Verformungen kann nützlich in den Fällen erscheinen, wenn:

- Übermäßige plastische Verformungen, die in einem bestimmten, typischerweise kleinen Bereich entwickelt werden, keinen Einfluss auf das Verhalten der analysierten Konstruktion haben, aber den Konvergenzverlust der nichtlinearen numerischen Berechnung verursachen können.
- Die Vereinfachungen, die in den Berechnungsmodellen übernommen wurden, verursachen die Entstehung und Entwicklung (großer) unrealistischer plastischer Verformungen. Dies kann beispielsweise am Fuß einer Spundwand oder am Ankerfuß auftreten.

Wir wollen feststellen, wie das plastische Verhalten des Bodens zu den Gesamtverschiebungen und Spannungen beeinflusst, indem wir das elastisch-plastische Verhalten mit einer rein elastischen Reaktion der analysierten Konstruktion vergleichen.

Für welche Materialmodelle können wir die *elastische Bereiche* verwenden

Die Funktion "*Elastische Bereiche*" ist verwendbar für die folgenden Modelle.

- Mohr-Coulomb
- Modifiziertes Mohr-Coulomb
- Drucker-Prager

Das Verhalten anderer Materialmodelle wird durch die Einführung des *Elastischen Bereichs* nicht beeinflusst.

Bodeneigenschaften in den *Elastischen Bereichen*

Die Elemente im *Elastischen Bereich* behalten ihre Eigenschaften bei, die die elastische Steifheit des Materials bestimmen (Elastizitätsmodul, Poissonzahl, Schubmodul). Die Festigkeitsparameter, d. h. die Kohäsion c und der Reibungswinkel φ , nehmen jedoch solche Werte an, dass die Spannung niemals die Fließfläche (Grenzbedingung) erreichen kann und somit keine dauerhaften plastischen Verformungen entstehen.

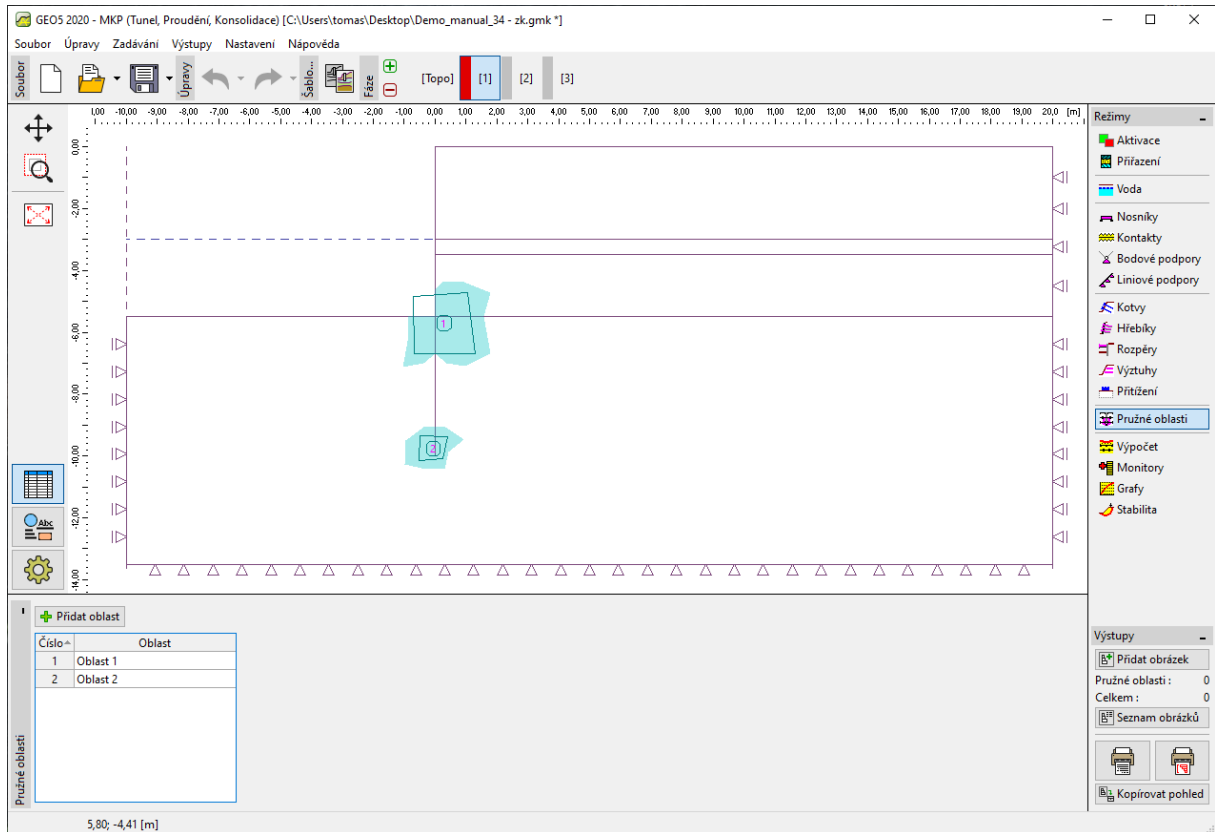
Das erzwungene elastische Verhalten wird nur in der Phase wirksam, in dem die elastische Region festgelegt wird. Innerhalb dieser Berechnungsphase erfahren die Elemente im elastischen Bereich keine Entwicklung der plastischen Verformungen und behalten somit ihre aktuellen Werte aus der vorherigen Phase bei.

Was ist bei der Verwendung *elastischer Bereiche* zu vermeiden

Bei der Verwendung *elastischer Bereiche* sollten wir bedenken, dass die Plastizitätsbedingung bei den ausgewählten finiten Elementen nicht erreicht werden kann. Das bedeutet, dass die globale Gleitfläche, die den gesamten Stabilitätsverlust der gesamten Konstruktion verursachen kann, nicht durch diesen elastischen Bereich verlaufen kann.

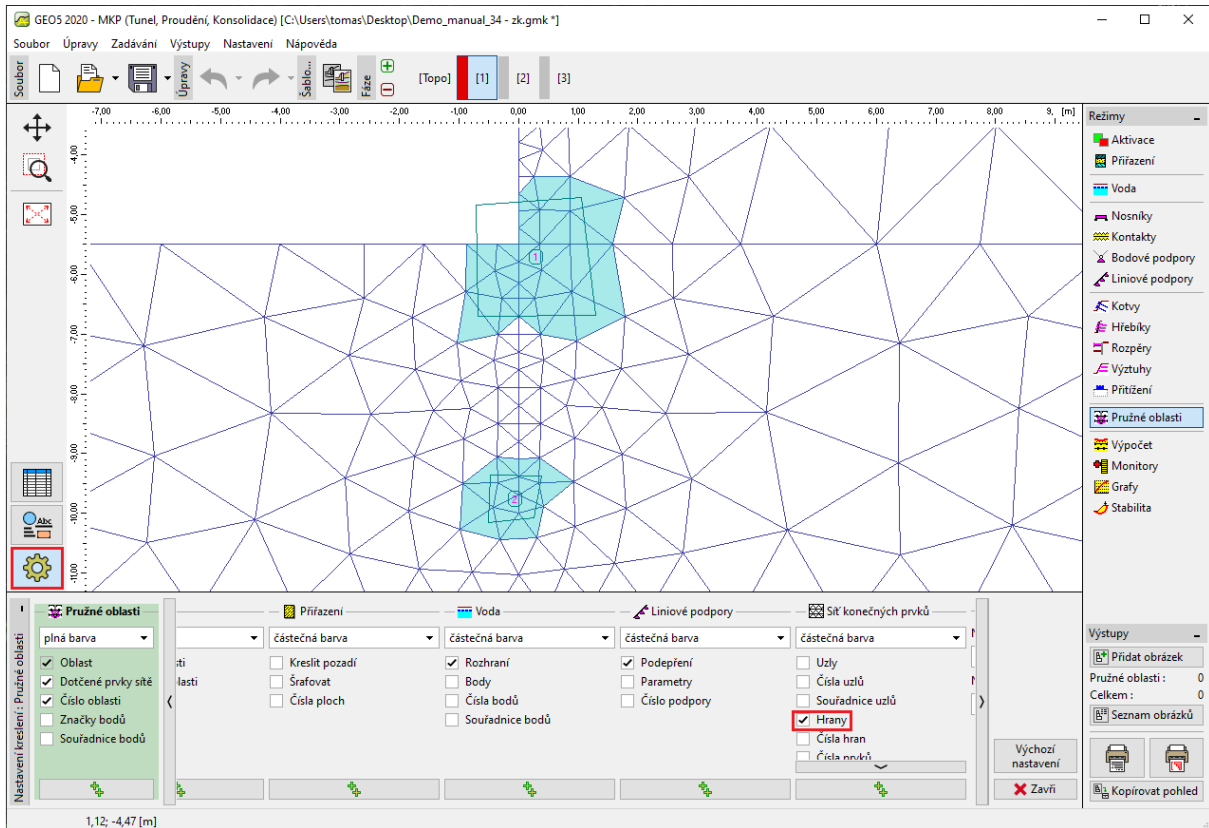
Wie *elastische Bereiche* eingegeben werden

Der elastische Bereich wird in der ausgewählten Berechnungsphase eingegeben. Polygonpunkte werden auf dem Bildschirm eingegeben. Alle Elemente, die sich zumindest teilweise in den Bereich eingreifen, werden auf dem Bildschirm hervorgehoben.



Eingabebildschirm für elastische Bereiche

Hinweis: Bei der Eingabe eines flexiblen Bereichs ist es praktisch, ein Finite-Elemente-Netz anzuzeigen. Um die Kanten von Elementen anzuzeigen, klicken Sie auf die Zeichnungseinstellung -> Finite-Elemente-Netz -> Kanten (siehe Abbildung).



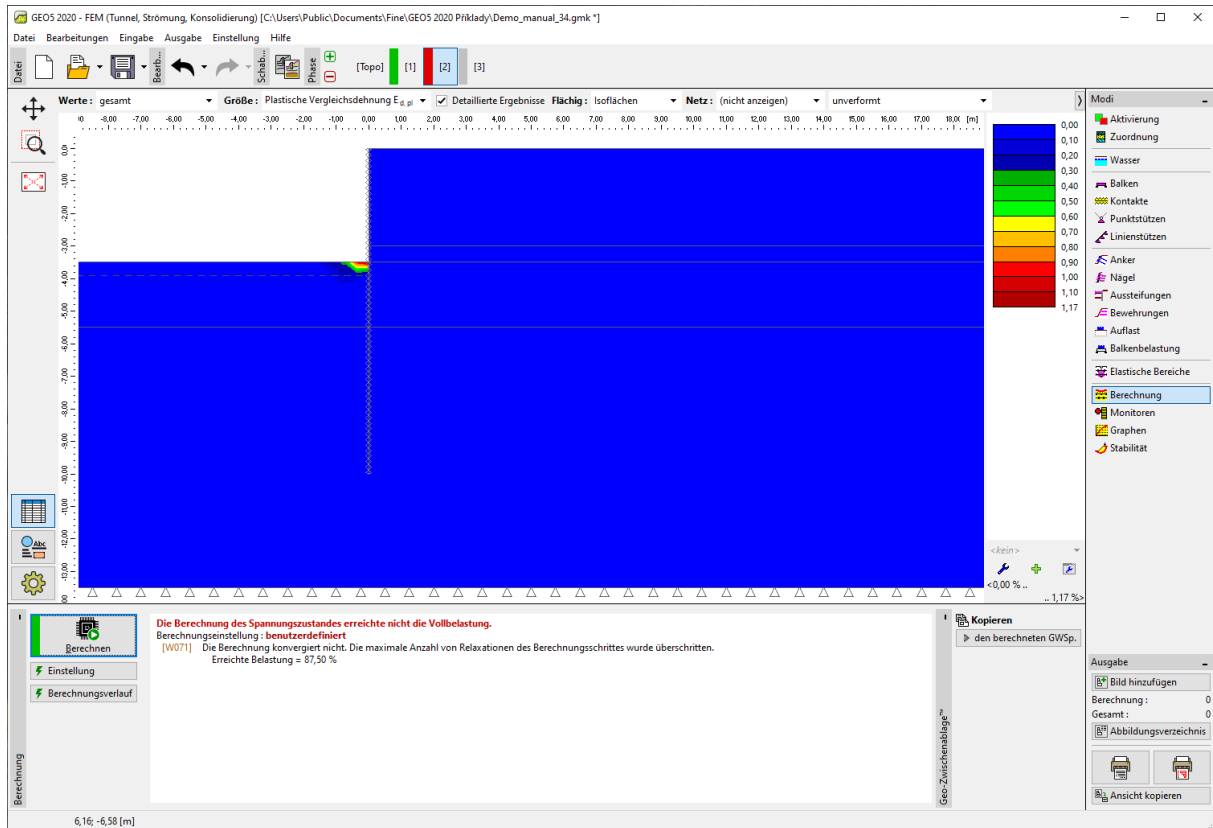
Einstellung für die Anzeige von Finite-Elemente-Netz

Der elastische Bereich verbleibt auch in den folgenden Berechnungsphasen, kann jedoch entfernt werden. Wenn wir in der nächsten Phase den elastischen Bereich entfernen, können wir wieder plastische Verformungen berechnen. In der Praxis bedeutet dies, dass nach dem Entfernen des elastischen Bereichs die Spannung im Modell neu verteilt wird und die plastische Verformung zunimmt, auch wenn keine Belastung definiert ist.

Beispiel für die Verwendung des *elastischen Bereichs*

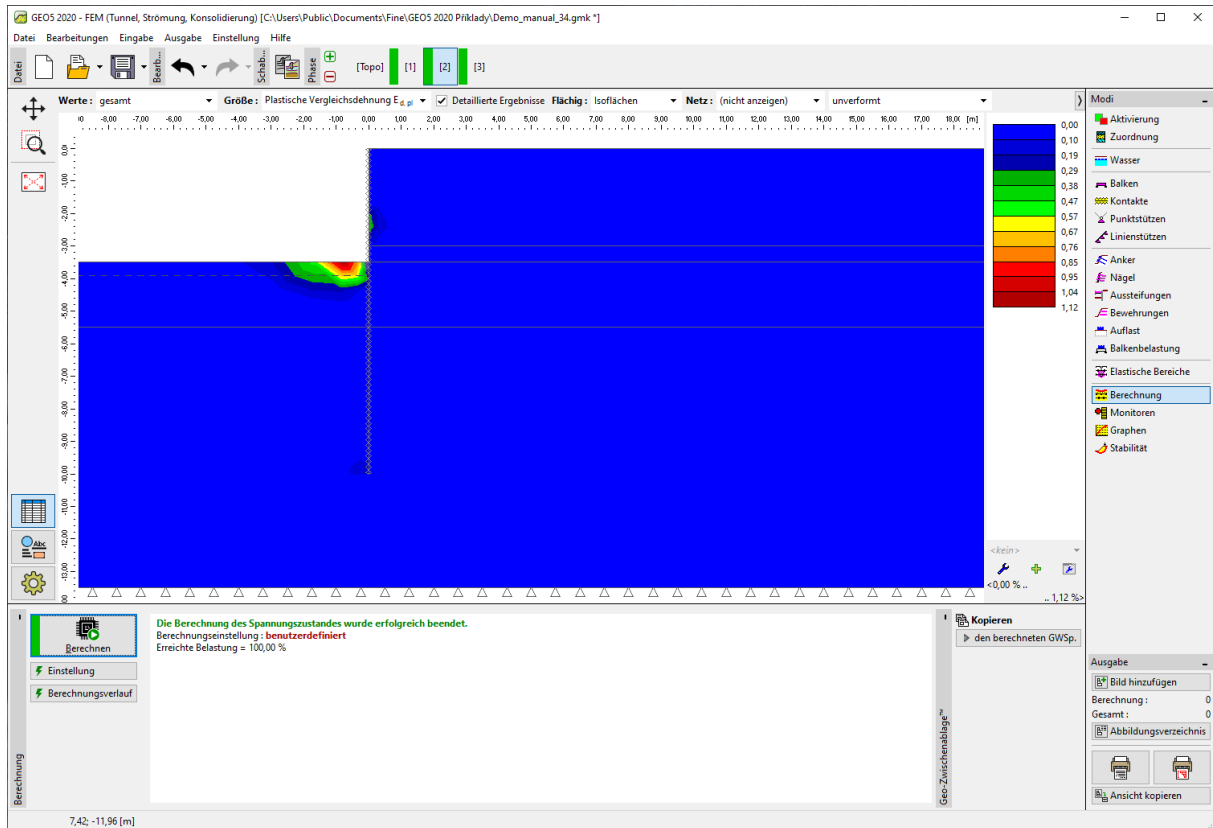
Die Anwendung von elastischen Bereichen kann bei der Berechnung einer verankerten Spundwand veranschaulicht werden. Geometrie, Bodenprofil und Berechnungsphasen sind in der Datei Demo_manual_34.gmk eingegeben. Die erste Phase dient zur Bestimmung der geostatischen Spannung. In der zweiten Phase führen wir das um Schnittstellenelemente erweiterte Balkenelement ein und führen den Bodenaushub in der Baugrube durch, indem wir die entsprechenden Elemente bis zur Ebene der Anker deaktivieren. Diese werden in der dritten Berechnungsphase zusammen mit dem Aushub des Bodens bis zur endgültigen Grabensohle eingeführt.

In der zweiten Berechnungsphase wurden nur 87,5% der Belastung erreicht und die Berechnung erreichte kein Gleichgewicht. Die Plastizität entwickelt sich nur in einem Element in der Ebene der vorläufigen Grabensohle und es gibt keine Umverteilung (siehe Bild).



Divergierende Berechnung in der 2. Berechnungsphase

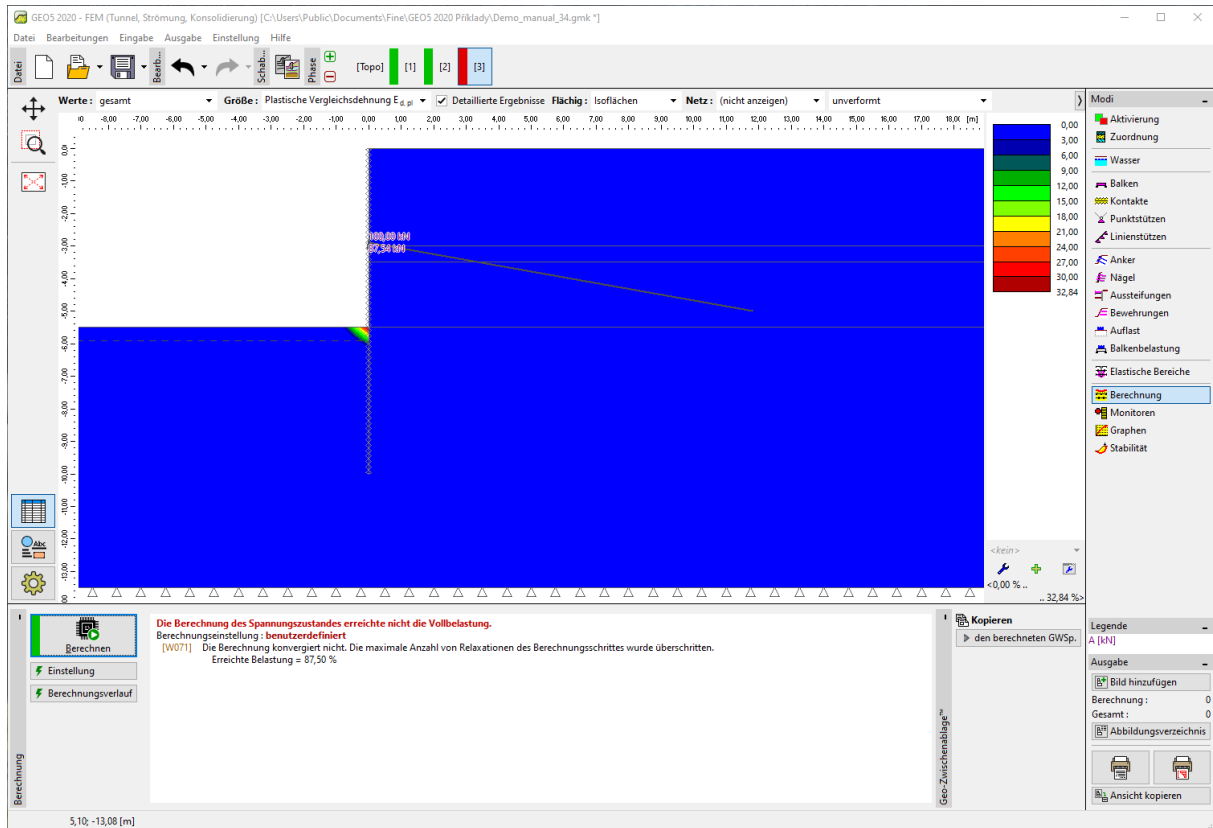
Da es in dem Modell zu keiner Entwicklung einer globalen Versagensfläche kommt, können wir dieses Ergebnis der numerischen statt strukturellen Instabilität zuschreiben. Als Abhilfe nutzen wir die Funktion *Elastische Bereiche*. Dieses problematische Element an der Grubensohle wird als elastischer Bereich spezifiziert und die Berechnung wird erneut durchgeführt. Während der Berechnung wird diesmal die gesamte Last aufgebracht und die plastische Verformung wird auf die umgebenden Elemente umverteilt, siehe Abbildung.



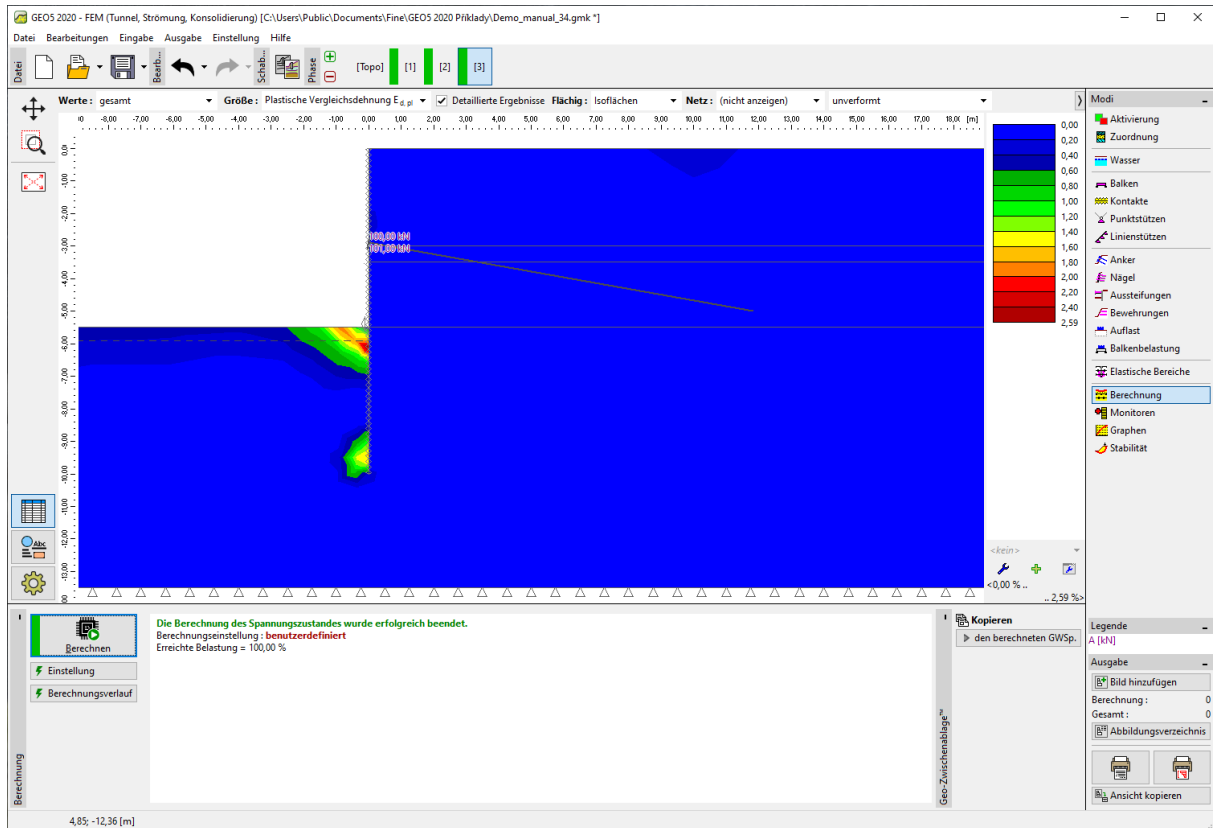
Erreichen des Gleichgewichts unter Verwendung eines elastischen Bereichs, der ein einzelnes Element enthält

Hinweis: Das problematische Element wird in horizontaler Richtung belastet (es überträgt eine horizontale Reaktion der Verbauwand, die durch aktiven Druck im Boden rechts hinter der Wand verursacht wird). In vertikaler Richtung wird dieses Element dagegen entlastet. Ein resultierender Unterschied zwischen der vertikalen und der horizontalen Spannung verursacht eine signifikante Erhöhung der abweichenden Spannung und folglich das Auftreten von äquivalenten plastischen Verformungen.

In der dritten Berechnungsphase ist das Ergebnis ähnlich - aufgrund der Plastizität eines einzelnen Elements an der Baugrubensohle wird kein Gleichgewicht für die Gesamtlast erreicht. Die Lösung besteht wiederum darin, dass das problematische Element als elastischer Bereich markiert wird.



In der dritten Berechnungsphase wird kein Gleichgewicht für die Gesamtlast erreicht – es kommt zu keiner Umverteilung der plastischen Verformungen - die Berechnung divergiert



Erreichen des Gleichgewichts in der dritten Berechnungsphase unter Verwendung eines elastischen Bereichs

Schlussfolgerung

Die Funktion *Elastische Bereiche* ermöglicht es, ein elastisches Verhalten des Bodens in den ausgewählten Elementen zu erzwingen und so die Entwicklung plastischer Verformungen in diesen Elementen zu unterdrücken. Dieser Ad-hoc-Ansatz bietet eine Lösung in Fällen, in denen für die vorgegebene Belastung kein Gleichgewicht erreicht werden kann. Wir können diesen Ansatz nur verwenden, wenn die Divergenz oder Schwingung der Berechnung aus numerischen Gründen auftritt, d. h. die Verformungen keinen globalen Verlust der strukturellen Stabilität anzeigen.