

# Elastische Bereiche (Bereiche ohne Plastizität)

Programm: FEM

Datei: Demo\_manual\_34.gmk

## Einleitung

Bei der Belastung kann die im Boden entstehende Spannung die Fließspannung übersteigen, was dazu führt, dass im Bodenkörper auch nach der Entlastung bleibende Dehnungen auftreten. Eine solche permanente Dehnung wird auch als plastische Dehnung bezeichnet, und ihre Entwicklung kann mit Hilfe von Standardkonstitutionsmodellen wie dem Mohr-Coulomb- oder dem Drucker-Prager-Modell oder mit fortgeschritteneren Modellen wie dem Cam-Ton-Modell beschrieben werden.

Wie im Folgenden beschrieben, kann es sinnvoll sein, die Entwicklung solcher Dehnungen innerhalb einer bestimmten Region in einem bestimmten Berechnungsstadium zu unterdrücken. Dies kann durch die Nutzung der Funktion *Elastische Regionen* erreicht werden.

## Wann sind *Elastische Bereiche* zu verwenden

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

- Übermäßige plastische Dehnungen, die sich in einem bestimmten, in der Regel kleinen Bereich entwickeln, haben keinen Einfluss auf das Verhalten der analysierten Struktur, können aber dazu führen, dass die Konvergenz der nichtlinearen numerischen Analyse verloren geht.
- Die in den Berechnungsmodellen angenommenen Vereinfachungen führen zum Auftreten und zur Entwicklung unrealistischer plastischer Dehnungen. Dies kann z. B. an den Abspannungen der Schottwand oder an dem Knotenpunkt, an dem der Ankerfuß befestigt ist, auftreten.
- Wir möchten feststellen, wie die plastischen Dehnungen die Gesamtverschiebungen und -spannungen beeinflussen, indem wir die elastisch-plastische Analyse mit einer rein elastischen Reaktion der analysierten Struktur vergleichen. 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, die die elastische Steifigkeit des Materials bestimmen, d. h. Elastizitätsmodul, Poissonzahl und Schermodul. Die Festigkeitsparameter des Bodens, d. h. die Kohäsion und der innere Reibungswinkel, nehmen jedoch solche Werte an, dass die Spannung niemals die Fließgrenze erreichen kann und daher keine plastischen Dehnungen entstehen.

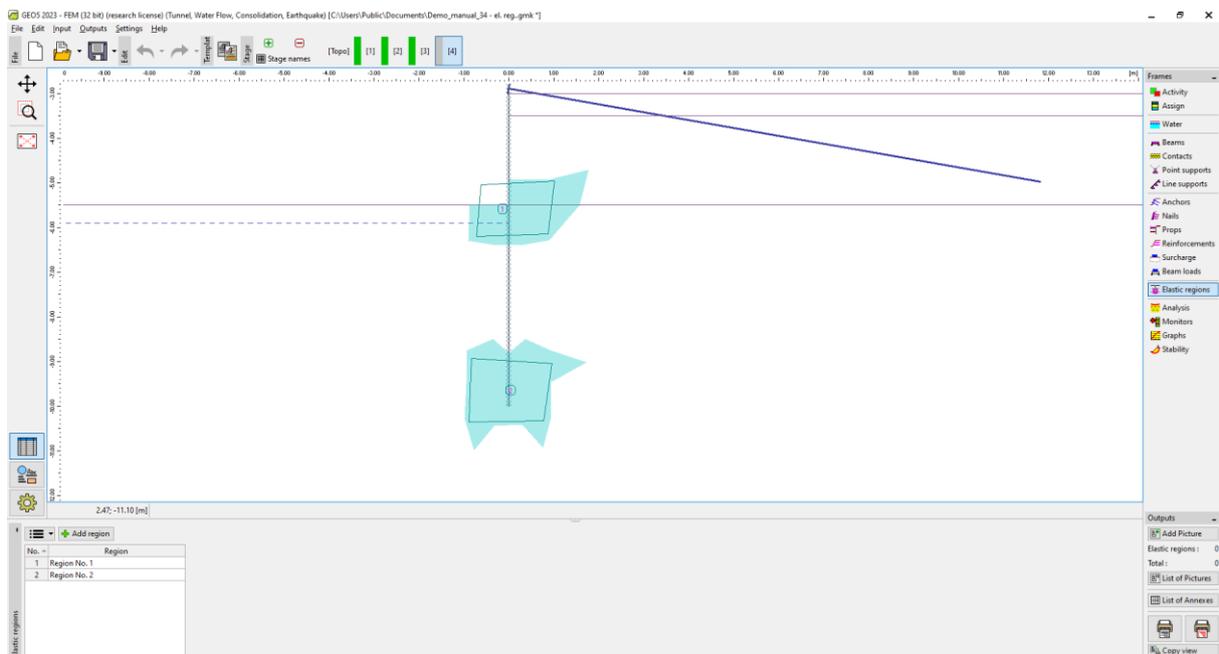
Das erzwungene elastische Verhalten wird nur in dem Stadium wirksam, in dem der elastische Bereich festgelegt wird. In diesem Berechnungsstadium erfahren die Elemente im elastischen Bereich keine Entwicklung der plastischen Dehnungen und behalten somit ihre aktuellen Werte bei.

## 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.

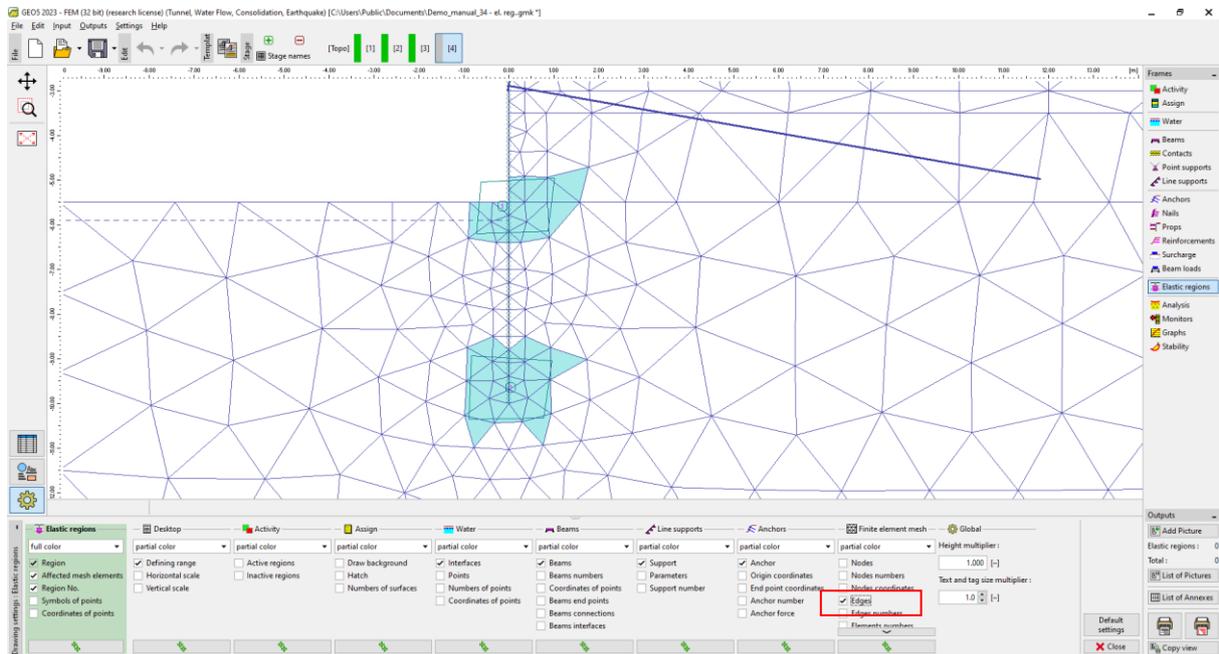
## Wie man elastische Regionen definiert

Der elastische Bereich wird in der gewählten Berechnungsstufe als polygonaler Bereich durch am Bildschirm eingegebene Punkte festgelegt. Alle Elemente, die zumindest teilweise in diesen Bereich fallen, werden hervorgehoben.



*Definition von elastischen Regionen*

Hinweis: Bei der Definition einer elastischen Region erscheint es sinnvoll, das Finite-Elemente-Netz durch Aktivieren von Zeichnungseinstellungen -> Finite-Elemente-Netz -> Kanten anzuzeigen, (siehe Abbildung.)



Einstellung der Finite-Elemente-Netzvisualisierung

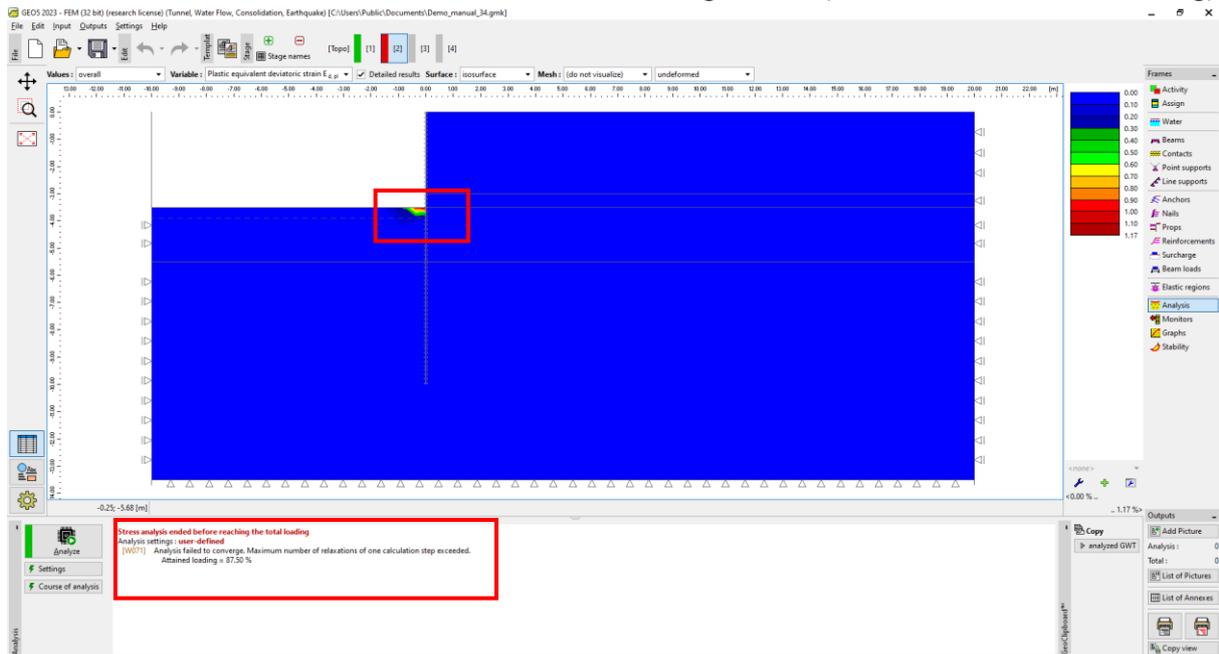
Der elastische Bereich verbleibt auch in den folgenden Berechnungsphasen, kann jedoch entfernt werden. Wenn wir in der nächsten Phase den elastischen Bereich entfernen, können wir wieder plastische Verformungen berechnen. In der Praxis bedeutet dies, dass nach dem Entfernen des elastischen Bereichs die 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 der elastischen Bereiche kann anhand der Analyse einer verankerten Verbauwand veranschaulicht werden. Geometrie, Bodenprofil und Berechnungsschritte sind in der Datei Demo\_manual\_34.gmk festgelegt. Die erste Stufe dient der Ermittlung der geostatischen Spannung. In der zweiten Stufe wird das durch Schnittstellenelemente ergänzte Balkenelement eingeführt und der Bodenaushub in der Baugrube durch Deaktivierung der entsprechenden Elemente bis auf die Ebene der Anker durchgeführt. In der dritten Berechnungsstufe werden die Anker eingeführt und in der vierten Stufe wird der Aushub des Bodens bis zur endgültigen Sohle durchgeführt.

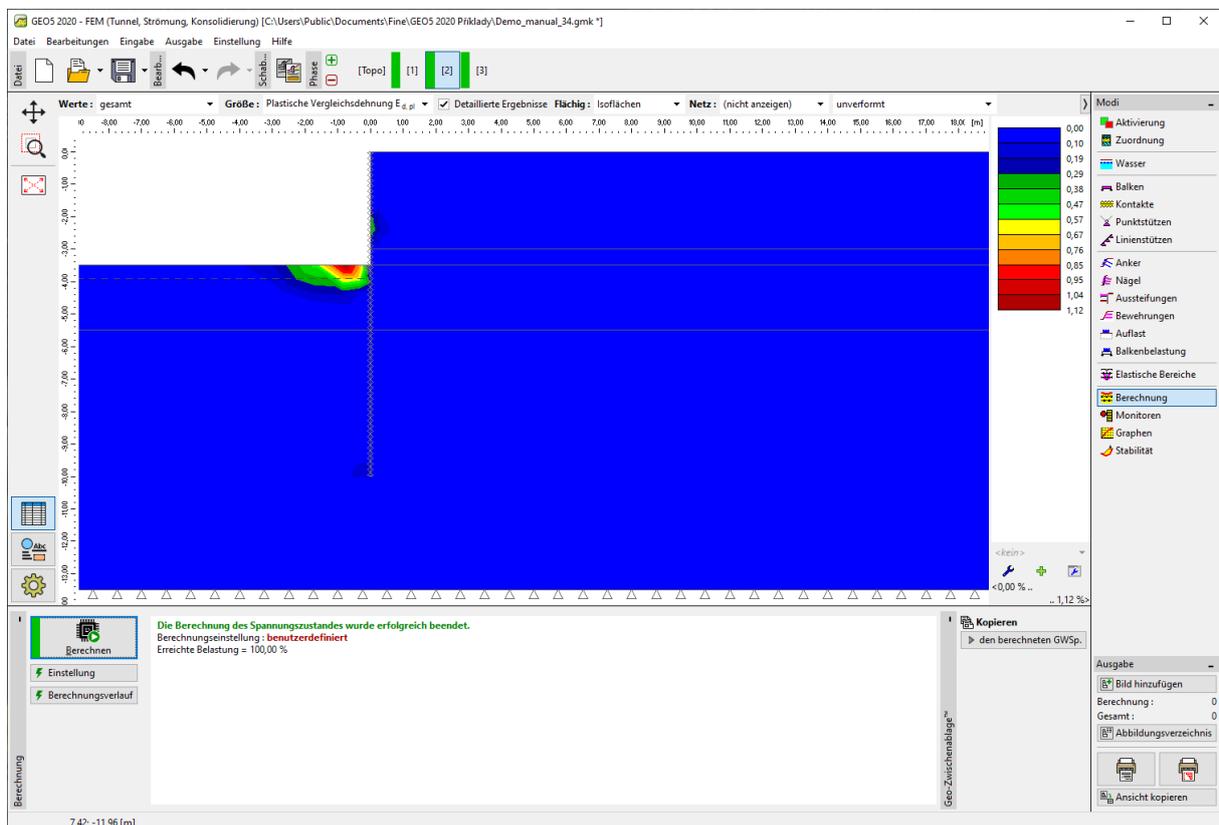
Wenn keine Maßnahmen ergriffen werden, wird die Analyse in der zweiten Stufe bei 87,5 % der Gesamtlast beendet, d. h. bei der maximalen Last, für die das Gleichgewicht erreicht wurde. Es ist jedoch zu beachten, dass sich die plastischen Dehnungen nur in einigen wenigen Elementen

entwickeln, ohne dass es zu einer weiteren Umverteilung kommt (siehe nachstehende Abbildung).



### Divergierende Berechnung in der 2. Berechnungsphase

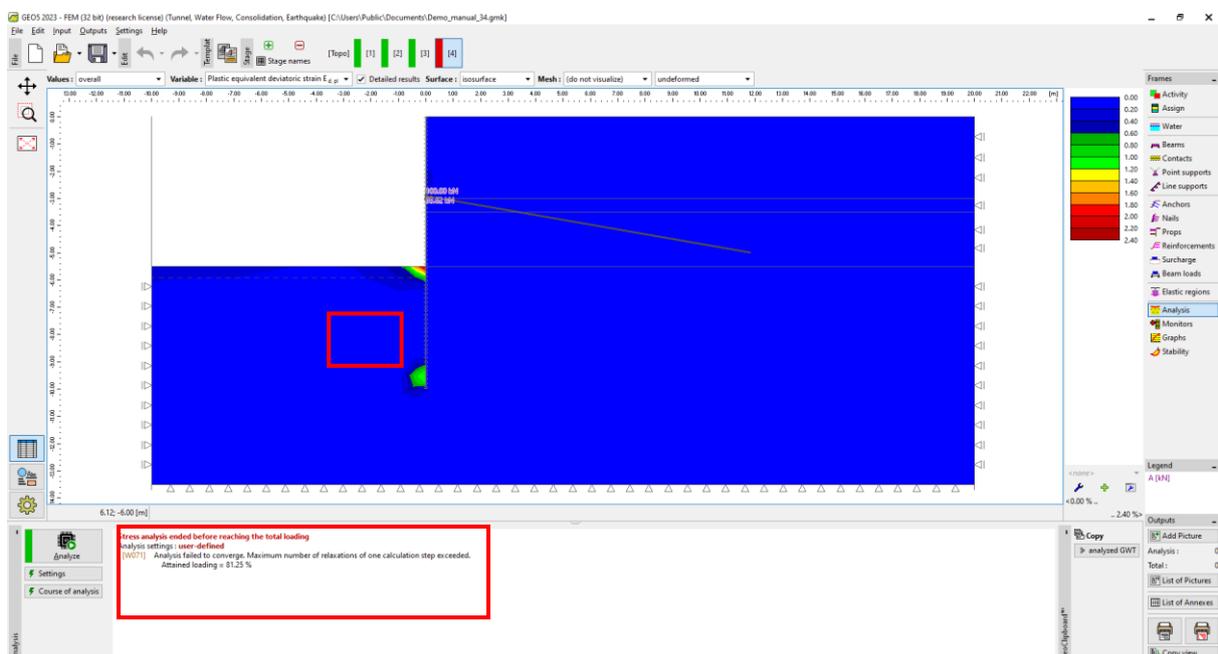
Da in dem Modell keine Entwicklung der globalen Versagensfläche stattfindet, können wir dieses Ergebnis auf numerische statt auf strukturelle Instabilität zurückführen. Als Abhilfe nutzen wir die Funktion Elastische Regionen. Dieses Element wird als elastischer Bereich spezifiziert und die Analyse wird erneut durchgeführt. In diesem Fall konnten wir die gesamte Last aufnehmen, was mit einer Umverteilung der plastischen Dehnungen in benachbarte Elemente einherging, siehe Abbildung.



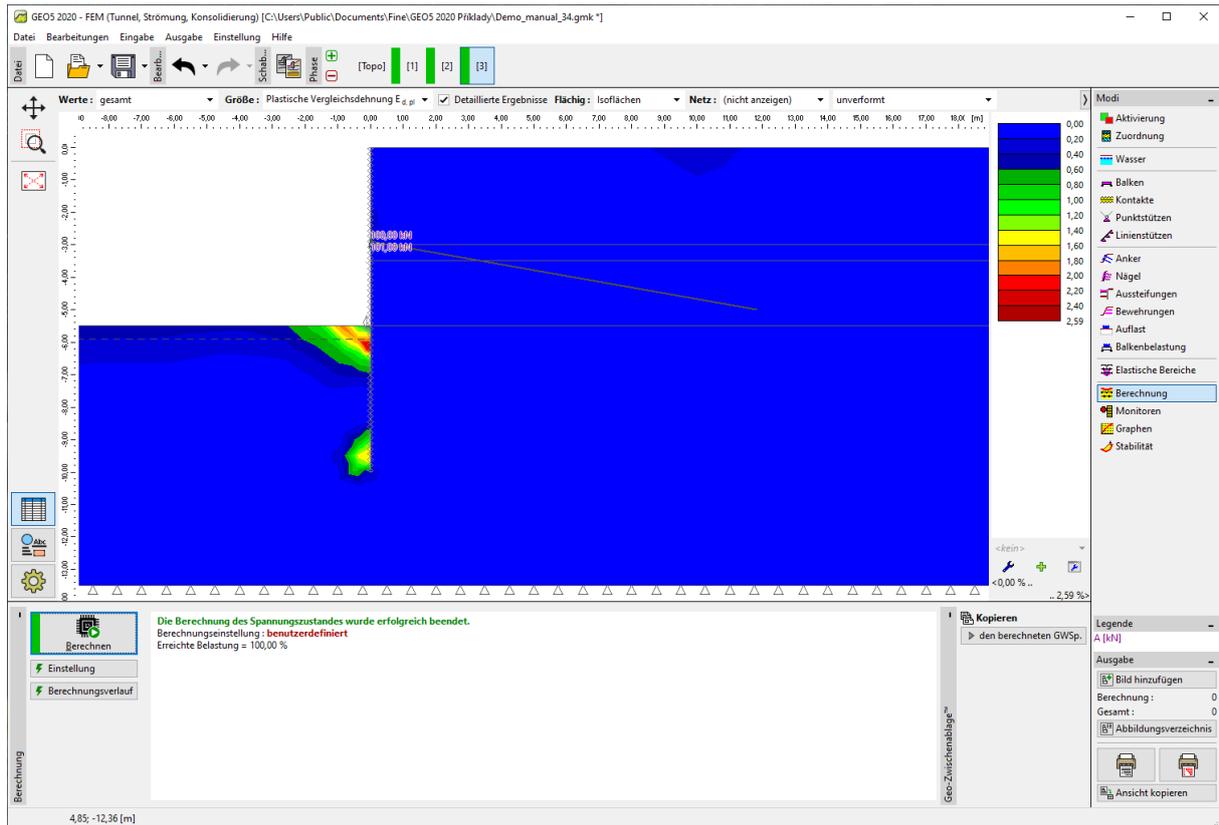
## Erreichen des Gleichgewichts durch einen elastischen Bereich mit einem einzigen Element

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.



Gleichgewicht für die Gesamtlast in der 4. Berechnungsstufe nicht erreicht - es findet keine Umverteilung der plastischen Dehnungen statt, die Analyse divergiert



*Erreichen des Gleichgewichts in der 4. Berechnungsstufe mit Hilfe des elastischen Bereichs*

## Schlussfolgerung

Die Funktion Elastische Bereiche ermöglicht es, ein elastisches Verhalten des Bodens in den ausgewählten Elementen zu erzwingen und somit die Entwicklung plastischer Dehnungen in diesen Elementen zu unterdrücken. Dieser Ad-hoc-Ansatz bietet eine Lösung für Fälle, in denen das Gleichgewicht für die angegebene Last nicht erreicht werden kann. Diese Strategie kann jedoch nur verwendet werden, wenn der Verlust der Konvergenz oder das Auftreten von Schwingungen auf numerische Gründe zurückzuführen ist, d. h. die lokalisierten plastischen Dehnungen nicht auf einen globalen Verlust der strukturellen Stabilität hindeuten.