

# Simulation von tektonischen Ueberschiebungen mit Hilfe der Methode der endlichen Elemente

**Doctoral Thesis**

**Author(s):**

Müller, Walter Helmuth

**Publication date:**

1974

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000128235>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Diss. ETH 5349

# **Simulation von tektonischen Überschiebungen mit Hilfe der Methode der endlichen Elemente**

**ABHANDLUNG**

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der Naturwissenschaften

der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN**

**HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

**WALTER HELMUT MÜLLER**

Dipl. Geol. ETHZ

geboren am 24. Mai 1942

von Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. K. J. Hsu, Referent

PD. Dr. G. Milnes, Korreferent

aku-Fotodruck

Zürich

1974

## 8. ZUSAMMENFASSUNG

Die "Finite Element Method" ist ein neues Rechenverfahren, das ausschliesslich auf die Benutzung von Grosscomputern ausgerichtet ist und sich besonders für die Lösung von Spannungs- und Verformungsproblemen in der Kontinuumsmechanik eignet. Diese Methode hat in den letzten Jahren in alle Ingenieurwissenschaften Einzug genommen und wird in jüngster Zeit auch in der Felsmechanik und in der Geologie mit Erfolg angewandt. Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Berechnungen wurden mit der Finite Element Version "STAUB" (Statische Analyse von Untertags-Bauten), die am Institut für Strassen- und Untertagsbau der ETHZ entwickelt wurde, durchgeführt.

Rechnerisch untersucht wurde die Stabilität eines Blocks (Ebener Verformungszustand) von der Dicke von 1 km, von einer Länge von 50 km und von der Höhe von 5 km. Für das Material wurden Stoffparameter gewählt, die denjenigen eines kalkigen dichten Sediments entsprechen. Der Block wurde von links nach rechts sukzessive verschoben, wobei die rechte Kante oben durch ein Widerlager festgehalten, die unterste Schicht aber weiter verschoben wurde. Damit wurde eine eigentliche Unterschiebung simuliert. Mit dem angewandten Rechenverfahren ist es nur möglich, die Anfangssituation, die initiale Phase einer Ueberschiebung, bzw. eines tektonischen Vorgangs, zu erfassen. Was man aber aus den Resultaten erhält, sind die sich zu Beginn bildenden Schwächezonen und Strukturen, die aber doch schon eine gewisse Aussage über den "Endzustand" des tektonischen Vorganges erlauben.

Im einzelnen sind dabei folgende Stabilitätsuntersuchungen durchgerechnet worden.

- Homogener Körper bei Variation des Stoffparameters  $\sigma_0$ , der Kohäsion, und des Stoffparameters  $\phi$ , des Winkels der inneren Reibung.
- Zwei-Schichten-Fall mit einer Zwischenschicht, in der die Festigkeit durch Herabsetzen des Kohäsionsanteils vermindert wurde.
- Mehr-Schichten-Fall, bei dem in zwei Schichten die Festigkeit entweder durch Herabsetzen der Kohäsion, oder durch Verkleinern des Winkels der inneren Reibung, verringert wurde.

Zusammenfassend kann man nach den für die homogenen Beispiele erhaltenen Resultaten aussagen, dass sich ausser bei den Fällen, in welchen der Winkel der inneren Reibung vermindert wurde, an der Basis des Körpers bei fortschreitender Deformation ein kürzerer Ueberschiebungs- oder Anschierungshorizont bildet. Zur gleichen Zeit, also noch in der gleichen initialen Phase, wird bei allen Beispielen die rechte Partie des Körpers, die der grössten Beanspruchung ausgesetzt ist, zuerst instabil. Nach einiger Zeit bildet sich bei allen Beispielen des homogenen Falls ein zungenartiger Instabilitätsbereich heraus, der durch eine Gerade begrenzt wird, die in einem Winkel von ca.  $30^{\circ}$  gegen die Horizontale nach rechts unten zum Ueberschiebungshorizont an der Basis abfällt. Bei weiterer Deformation des Körpers pflanzt sich diese Zunge ruckweise nach links fort.

Im Zwei-Schichten-Fall entsteht in der Schicht mit verminderter Festigkeit zunächst ein langer Ueberschiebungshorizont, ausserdem entwickelt sich in der rechten Körperparie ebenfalls wieder ein zungenartiger Instabilitätsbereich, der durch alle Schichten bis zur Basis geht und sich bei weiterer Deformation des Körpers nach links fortpflanzt.

Im Mehr-Schichten-Fall entwickeln sich, wenn hier die Festigkeit durch Herabsetzen der Kohäsion in zwei Schichten verringert wurde, in diesen Schichten zwei sehr lange parallele Ueberschiebungshorizonte. Im Gegensatz dazu entstehen bei den anderen zwei Beispielen keine parallelen Ueberschiebungshorizonte; hier war die Minderung der Festigkeit in den zwei Schichten durch Verkleinern des Winkels der inneren Reibung bewirkt worden. In allen Fällen bildet sich aber stets die zungenartige Instabilitätsregion im rechten Teil des Körpers, die durch sämtliche Schichten geht.

Das Zwei-Schichten Modell konnte mit den von ihrem Tegment abgescherten Jurafalten verglichen werden, wobei in allen wesentlichen Punkten Ueber-einstimmung herrscht.

Weitere mögliche Anwendungen der Finite Element Version "STAUB" ergeben sich in der Tektonik überall dort, wo wir es mit der Entstehung von Mohr-Coulomb'schen Brüchen, sowie elastischer bis elastisch-idealplastischer Verformung zu tun haben, wobei, um ein Beispiel zu nennen, die Fernschubhypothese des Juras damit nachgeprüft werden könnte.

9. ABSTRACT

The finite element method, a new computing system made possible by the advent of large computers, is especially suitable for the solution of stress-strain problems in continuum mechanics. The present computations were carried out with the programme "STAUB" (Kovari, 1969), which enables elastic/ideal plastic behavior to be simulated, and were aimed at gaining an insight into the behavior of large crustal blocks (5 x 50 km in crosssection) under tangential compression. For the simulation, the stability of a block is considered, which is displaced from left to right, whereby the right hand edge is fixed except for the lowermost 1 km thick layer. The cases of a completely homogeneous body, a body with one layer of lower strength, and a body with two low strength layers, were considered in different experiments. Deformation of the homogeneous body produced instability in the lower layer always a short distance leftwards from the main region of instability in the layers above. This latter extended from the right hand side of the block upwards with a tongue-like form. In the one-layer block, instability in the low strength layer extended much further than the instability "tongue" above - the layer acted as a "thrust zone". In the two layer case, the situation was more complex. If the layer strength was reduced by lowering the cohesion, two "thrust zones" developed, one along each layer; if reduced by reducing the angle of internal friction no such zones were produced. The instability "tongue" was present in both cases, however, extending through all layers from the right side. The deformation of the simulation models can best be compared with the structural picture of the Jura mountains.