

# IN-SITU-VERSUCHE ZUR BESTIMMUNG DES VERFORMUNGSMODULS VON FELS

von  
Dr.-Ing. P. P. Rossi, Bergamo  
I.S.M.E.S.

## Zusammenfassung

Für viele felsmechanische Problemstellungen (z.B. beim Entwurf großer unterirdischer Felshohlräume) ist es außerordentlich wichtig, die Verformungseigenschaften sowohl des aufgelockerten als auch des ungestörten Gebirges zu bestimmen.

Es wird eine Versuchseinrichtung beschrieben, die bei Plattendruckversuchen und bei Druckkammerversuchen mit Erfolg angewendet wurde und sich für die Bestimmung der Verformbarkeit sowohl in Auflockerungszonen als auch im ungestörten Gebirge als sehr geeignet erwiesen hat.

## Summary

For many rock mechanic problems (for instance for the design of large underground openings) it is extremely important to determine deformability characteristics of undisturbed rock, as distinct from those of "loose" zone.

An instrumentation is described, which has been successfully used in plate bearing test and in pressure chamber test, and has proved particularly suitable for the determination of deformability characteristic of both superficial loose zone and of the undisturbed one.

## 1. Einleitung

Die nachstehend beschriebene Versuchstechnik wird vom ISMES (Versuchsinstitut für Modelle und Bauwerke, Bergamo) <sup>+</sup> benutzt, um die Verformbarkeit von Fels durch In-situ-Versuche zu bestimmen.

Mit einer speziellen Meßeinrichtung ist es möglich, während des Belastungsversuches die Verformungen im Fels zu messen. Mit Hilfe der vom ISMES entwickelten Versuchseinrichtung können nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in größerer Tiefe wertvolle Informationen über das Verformungsverhalten von Fels gewonnen werden.

Bekanntlich entsteht beim Auffahren unterirdischer Felshohlräume in deren Umgebung eine Auflockerungszone, für die die mechanischen Kennwerte gegenüber denen des ungestörten Gebirges deutlich abgemindert sind.

Für viele felsmechanische Problemstellungen (z.B. beim Entwurf großer unterirdischer Hohlräume) ist es außerordentlich wichtig, die Verformungseigenschaften sowohl des aufgelockerten wie auch des ungestörten Gebirges zu bestimmen.

Die hier beschriebene Versuchseinrichtung wurde bei Plattendruckversuchen und bei Druckkammerversuchen mit Erfolg eingesetzt und hat sich für die Bestimmung der Verformbarkeit sowohl in Auflockerungszonen als auch im ungestörten Gebirge als sehr geeignet erwiesen.

Zur Auswertung der Versuchsergebnisse wurde von der geotechnischen Abteilung des ENEL-DCO für ein zweischichtiges Medium auf der Grundlage der Finite Element Methode ein Rechenmodell entwickelt, das schon bei mehreren In-situ-Versuchen mit sehr zufriedenstellenden Ergebnissen erprobt worden ist [2].

---

<sup>+</sup>) Diese Arbeiten des ISMES wurden in Zusammenarbeit mit der Staatlichen Italienischen Elektrizitätsgesellschaft (ENEL) durchgeführt

## 2. Plattendruckversuch

Das Versuchsprinzip ist in Abb. 1 dargestellt. Die Belastungsvorrichtung besteht aus einer Stahlrohrspindel mit zwei aufgesetzten steifen Kopfplatten unter denen zwei Druckkissen angeordnet sind. Die Belastungsvorrichtung ist auf einem kleinen Montagewagen montiert und kann um zwei zueinander senkrechte Achsen gedreht werden, so daß die Einrichtung leicht von einem Ort zum nächsten transportiert und die Belastung schnell aufgebracht werden kann.

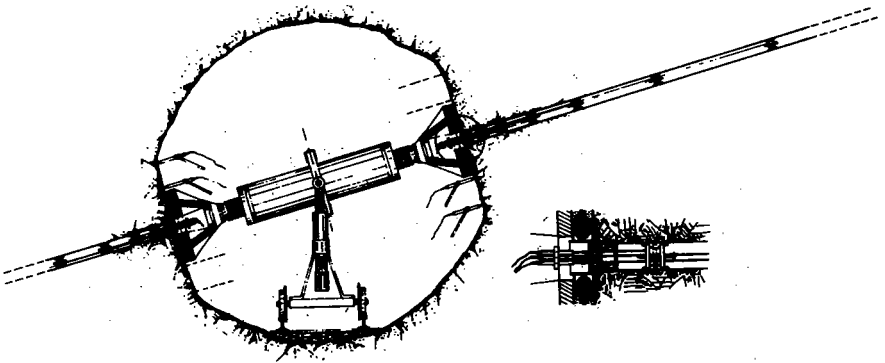


Abb. 1: Plattendruckversuch

Die Druckkissen haben einen äußeren Durchmesser von 50 cm und einen inneren von 16 cm. Zur Zeit wird eine ähnliche Belastungseinrichtung gebaut, bei der die Druckkissen einen äußeren Durchmesser von 80 cm haben.

Die Felsoberfläche wird mit Hilfe eines kleinen Preßlufthammers eingeebnet und anschließend mit einer dünnen Mörtelschicht geglättet, um so die Herstellung größerer Betonblöcke auf der Felsoberfläche zu vermeiden.

Wegen der großen Verformbarkeit der Druckkissen kann bei der Auswertung der Ergebnisse von der Vorstellung einer vollkommen biegeweichen Platte ausgegangen werden.

Die Meßeinrichtung besteht aus an der Oberfläche montierten Verformungsmessern, die an einer starren Metallkonstruktion befestigt sind, und speziellen Extensometern, die im Zentrum der Belastungsbereiche in Bohrlöchern mit 75 mm Durchmesser eingebaut sind. Diese Extensometer besitzen Verankerungen (Abb. 2) in verschiedenen Tiefen des Bohrlochs, die über Metallstangen mit Wegaufnehmern verbunden sind, die sich an einer Haltevorrichtung am Bohrlochkopf befinden. Die Wegaufnehmer messen die Relativverschiebungen zwischen den Verankerungspunkten und dem Bohrlochkopf.



Abb. 2: Verankerungsteil eines Bohrlochextensometers

Wenn der tiefste Verankerungspunkt sich in einem Bereich befindet, der durch den Versuch nicht mehr beeinflusst wird, kann er als Fixpunkt angesehen werden und somit die Absolutverschiebungen jedes einzelnen Verankerungspunktes ermittelt werden.

In Abb. 2 ist ein Spreizanker und die zugehörige Verspannvorrichtung dargestellt. Dieses Werkzeug wird ebenfalls benötigt, um den Anker nach dem Versuch wiederzugewinnen.

In Abb. 3 ist die Lastplatte im Detail mit dem Meßkopf des Extensometers dargestellt. Abb. 4 zeigt die gesamte Versuchseinrichtung einschließlich der automatischen Datenaufzeichnungsanlage.



Abb. 3: Lastplatte mit dem im Zentrum sichtbaren Meßkopf des Extensometers



Abb. 4: Druckplattenversuch, Versuchseinrichtung

Einige Versuchsergebnisse sind in Abb. 5 aufgezeichnet. In Abb. 5 a sind Diagramme für die Felsdeformationen in Abhängigkeit von der Tiefe für verschiedene Laststufen bis zu  $120 \text{ kp/cm}^2$  dargestellt. Abb. 5 b zeigt für verschiedene Laststufen die an der Felsoberfläche gemessenen Verschiebungen.

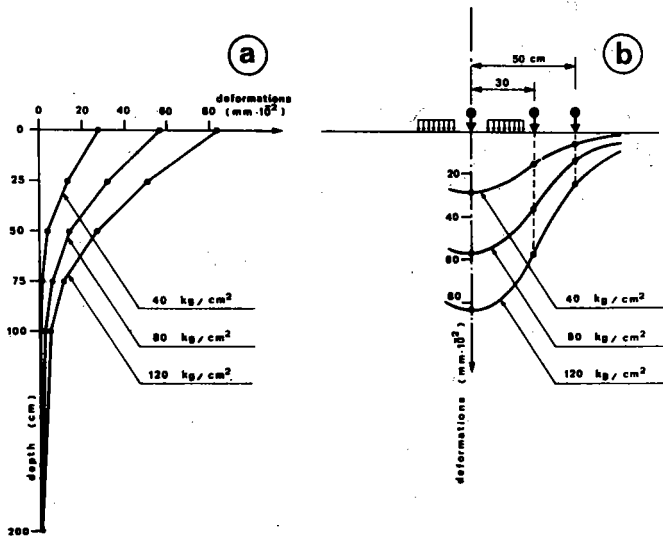


Abb. 5: Bei einem Plattendruckversuch gemessene Verformungen  
 a Deformationen in Abhängigkeit von der Tiefe  
 b Verschiebungen an der belasteten Felsoberfläche

### 3. Druckkammerversuch

Dieser Versuch ist von besonderer Bedeutung, da hiermit die Verformungseigenschaften eines größeren Felsvolumens ermittelt werden können. Der einzige Nachteil sind die hohen Kosten.

In Abb. 6 ist das Versuchsprinzip dargestellt. Der für die Durchführung des Versuchs ausgewählte Tunnelabschnitt ist mit Stahlbeton ausgekleidet und durch zwei Plomben abgeschlossen, so daß ein zylindrischer Hohlraum mit einem Durchmesser von 1,70 m und 5 m Länge entsteht. Um zu verhindern, daß die Betonauskleidung Kräfte

aus dem Gebirge aufnimmt, ist sie durch zahlreiche Fugen durchtrennt. Die Wasserdichtigkeit wird durch eine PVC-Folie erreicht, die Verpreßdrücke von mehr als  $60 \text{ kp/cm}^2$  ermöglicht.

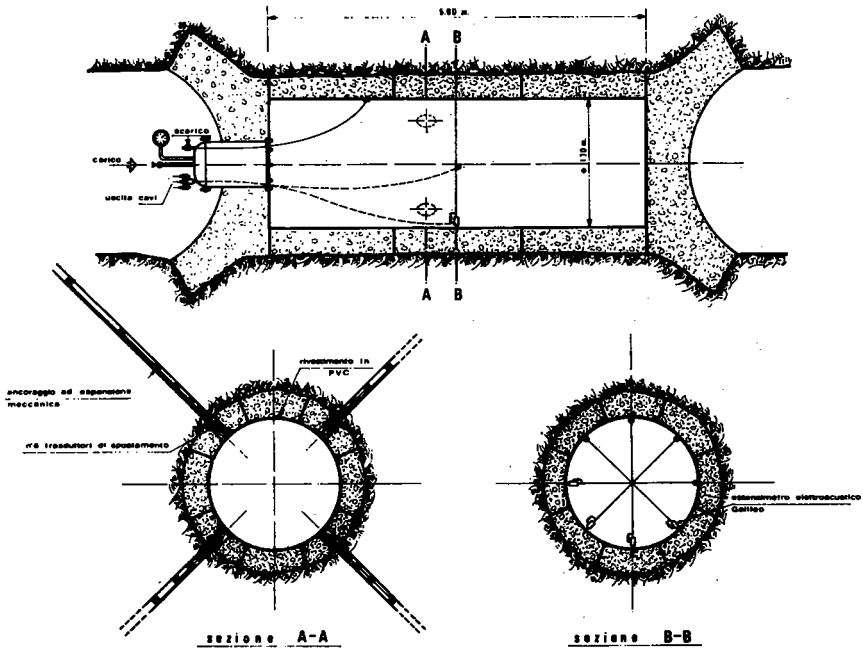


Abb. 6: Druckkammerversuch

Die Meßeinrichtung besteht aus elektroakustischen Dehnungsmessern, die in der Druckkammer montiert werden (Abb. 7), und aus Extensometern der oben beschriebenen Ausführung, die in radial angeordneten Bohrlöchern in einem in der Mitte der Kammer liegenden Querschnitt eingebaut werden.

Die Meßköpfe der Extensometer sind in der Betonauskleidung in zylindrischen Löchern untergebracht, die derart verschlossen sind, daß die Meßelemente vollständig außerhalb der unter Wasserdruck stehenden Kammer liegen.



Abb. 7: Blick in das  
Innere der  
Druckkammer

Die wichtigsten Ergebnisse liefern die Extensometermessungen. In Abb. 8 sind einige typische Verformungsdiagramme in Abhängigkeit von der Tiefe aus einem Versuch im Sardinischen Granit dargestellt. In diesem Fall wurde der Nullpunkt durch einen 6 m von der belasteten Oberfläche entfernt liegenden Verankerungspunkte vorgegeben und man sieht, daß die Deformationen in einer Tiefe von 4 m bereits abgeklungen sind.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die für die Extensometer benötigten Bohrlöcher auch noch für andere Zwecke benutzt werden können (z.B. Probenentnahme, Ultraschallversuche, Dilatometerversuche).

Mit diesen verschiedenen Kenntnissen ist es möglich, die mechanischen Eigenschaften des untersuchten Gebirges ausreichend genau zu bestimmen. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, Kriterien zu gewinnen, mit denen die Ergebnisse auf Gebirgsbereiche übertragen werden können, in denen aus technischen und wirtschaftlichen Gründen keine derartigen Versuche durchgeführt werden können.



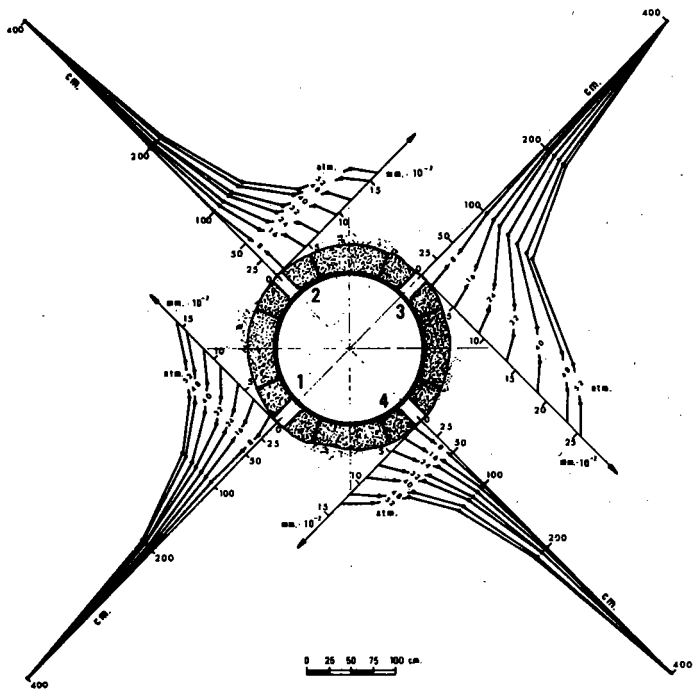


Abb. 8: Ergebnisse der Extensometermessungen eines Druckkammerversuchs

## Schrifttum

- [1] Benson, R.P., Murphy, D.K., McCreath, D.R.: Modulus Testing of Rock at the Churchill Falls Underground Powerhouse, Labrador. ASTM Special Technical Publication 477, 1969
- [2] Manfredini, G., Martinetti, S., Rossi, P.P., Sampaolo, A.: Observation on the procedures and on the interpretation of the plate bearing test. III Congr. Int. Soc. Rock Mech. Denver, Colorado (USA) - September 1974, Vol. IIA, pp. 451-457.
- [3] Oberti, G.: Experimentelle Untersuchungen über die Charakteristiken der Verformbarkeit der Felsen. Kolloquium IAFG Salzburg, Oktober 1959. ISMES Bulletin n. 15.
- [4] Oberti, G., Rebaudi, A., Goffi, L.: Comportement statique des massifs rocheux (calcaires) dans la réalisation de grandes ouvrages souterrains. II Cong. Int. Soc. Rock. Mech., Belgrade 1970. Vol. II, pp. 705 - 713.
- [5] Stagg, K.G.: In situ tests on the Rock Mass, in: Rock Mechanics in Engineering practice, edited by Stagg and Zienkiewicz; J. Wiley & Sons, London 1968.
- [6] Wallace, G.B., Slebir, E.J., Anderson, F.A.: In situ methods for determining deformation modulus used by the Bureau of Reclamation. ASTM Special Technical publication 477, 1969.