



Bei dem Verfahren des steifen Einschlusses (hard-inclusion) werden Spannungsaufnehmer mit i. a. hoher Steifigkeit in einem Bohrloch eingebracht, um auftretende Spannungsänderungen zu registrieren. Die Methode benutzt Messgeber, deren E-Modul hoch ist im Vergleich zum E-Modul des Gebirges an der Messstelle. Dabei geht man von folgenden grundlegenden theoretischen Zusammenhängen aus:

Bringt man in einen elastisch beanspruchten Gebirgskörper mit dem E-Modul  $E_G$  einen Messgeber mit dem E-Modul  $E_M > E_G$  kraftschlüssig ein, so wird sich die Spannung im Messgeber von der im umgebenden Gebirgskörper unterscheiden; es treten Spannungskonzentrationen im Messgeber auf. Ist das Verhältnis der Moduli  $E_M/E_G$  bekannt, so lassen sich die im Geber gemessenen Spannungen korrigieren.

Nach dem Prinzip der Messwertumformung bzw. der Messwertübertragung lassen sich eine Reihe von Verfahren unterscheiden:

- hydraulisches Messprinzip
- elektrisches Messprinzip
- mechanisches Messprinzip
- optisches Messprinzip

Als Spannungsaufnehmer haben sich flache Druckkissen hoher Normalsteifigkeit besonders bewährt. Die Druckmessgeber (Abb. 1) werden orientiert in Messbohrlöcher eingebaut. Gemessen wird die Spannungskomponente normal zu den Druckkissen.

Zur Herstellung des Kraftschlusses zwischen Druckkissen und dem Gebirge werden die Bohrlöcher mit einem geeigneten, auf das Gebirgsverhalten abgestimmten Mörtel verfüllt. Nach Abbinden des Verfüllmörtels kann eine Vorspannung durch Hochdruckinjektion von Epoxydharzen vorgenommen werden.

Das Verfahren ist geeignet zur Erfassung auch relativ geringer Spannungsänderungen. In viskosem oder in plastisch beanspruchten Gebirgsbereichen kann man damit rechnen, dass der Geber durch Fließen des Gebirges "einwächst", d. h., dass sich die im Gebirge herrschenden Spannungen allmählich auch im Messgeber aufbauen. Bei solchen Gebirgsverhältnissen und entsprechend gewähltem Verfüllmörtel können dann



außer Spannungsänderungen auch die tatsächlichen Größen der Normalspannungskomponenten ermittelt werden.

Der Standard-Gebirgsspannungsaufnehmer besteht aus:

Drei richtungsorientierten, flachen Stahl-Druckkissen mit drei Ventilgebern, Typ BB 10/20 KF 50, um je  $120^\circ$  gedreht angeordnet. Belastbarkeit 0 – 50 bar (erforderlichenfalls auch höher). Injektionsleitung um die Druckkissen und Vierkant-Gestängeanschluss. Verbindungsleitungen für die Messung der Ventilgeber und Injektionsleitungen für die Nachinjektion.

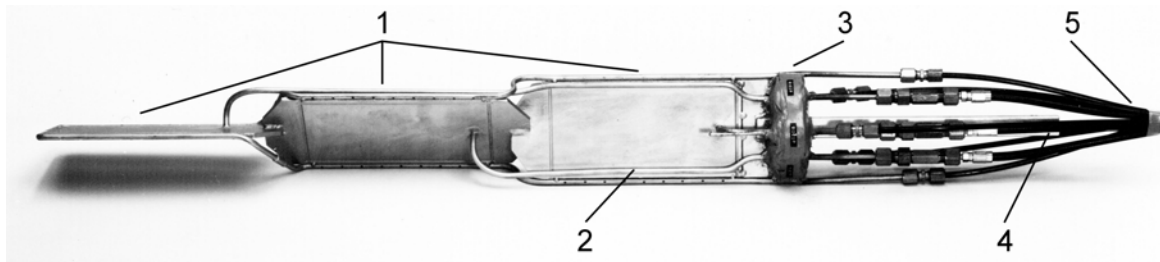


Abb. 1 Druckmessgeber mit drei hydraulischen Druckkissen

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| 1 Druckkissen          | 2 Injektionsleitung         |
| 3 Ventilgeber          | 4 Vierkantgestängeanschluss |
| 5 Verbindungsleitungen |                             |

Die Messung des Drucks in den Druckkissen wird hydraulisch über Ventilgeber System Glözl oder elektrisch mit Druckaufnehmern vorgenommen. Die in den Druckkissen herrschende Spannung wird am Messgerät direkt in bar angezeigt.

Die gelochten Hochdruck-Injektionsleitungen, die randlich um die Druckkissen angeordnet sind, werden mit Klebeband verschlossen, um ein Eindringen von Verfüllmaterial beim Einbau zu verhindern. Nach Verfestigung des Verfüllmaterials kann über diese Injektionsleitungen durch Einpressen von z. B. Kunstharzen eine Vorspannung des Füllmaterials und der darin eingeschlossenen Spannungsaufnehmer erfolgen.