

# Quellung in Mergel, Opalinuston und Anhydrit

Autor(en): **Huder, J. / Amberg, G.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 43

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84648>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Literaturverzeichnis

- [1] Yeh, Y., and Cummins, H.Z.: Localized fluid flow measurements with an He-Ne Laser Spectrometer. «Appl. Phys. Lett.» 4, (1964) 176.
- [2] Angus, J.C., Morrow, D.L., Dunning, J.W. and French, M.J.: Motion Measurement by Laser Doppler Techniques. «Industrial and Engineering Chemistry» 61, (1969) 8. (Übersichtsartikel).
- [3] Knapp Boetticher, C.: Geschwindigkeits- und Mengenmessung strömender Flüssigkeiten mittels Ultraschall. Dissertation ETH Nr. 2795 (1958).
- [4] Dag, H.J. and Villemonte, J.R.: Liquid turbulent investigations with an electromagnetic probe. 9th Midwestern Mech. Conf. 1965, p. 473.
- [5] Wuest, W.: Strömungsmesstechnik. Braunschweig 1969, Vieweg-Verlag.

# Quellung in Mergel, Opalinuston und Anhydrit

DK 624.131.414.3

Von J. Huder und G. Amberg

## Zusammenfassung

Die Quellung von stark vorbelasteten Tonen wird als rheologischer Vorgang erklärt und es werden anhand von Messergebnissen an einem Mergel aus der Süsswassermolasse und an einem Opalinuston das Quellmass und die Quelldrücke besprochen. Weiter wird die Grösse des Quelldruckes eines Anhydrites, der sich bei Wasserzufuhr chemisch in Gips umwandelt, anhand von Beispielen erläutert. Die Untersuchungen umfassen sowohl Laboratoriumsversuche als auch Messungen im Felde.

## 1. Quellmass und Quelldruck

Mit zunehmender Bautätigkeit wächst auch die Anzahl der Baugruben in quellfähigen Materialien. Die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau (VAWE) wird immer häufiger mit der Messung von Quellungen betraut. Der Jubilar als ihr Direktor war an den Ergebnissen solcher Messungen stets stark interessiert und unterstützte jeden Versuch, dem Verständnis dieser komplexen Erscheinung durch Untersuchungen im Laboratorium und im Felde näher zu kommen. Über einige interessante Beispiele soll hier berichtet werden.

Unter Quellung wird die Volumenänderung verstanden, die ein Material bei Zutritt von Wasser erleidet. Wird die Quellung ganz oder teilweise verhindert, so stellt sich im Material eine Druckspannung ein, die man als Quelldruck bezeichnet. Sowohl das Quellmass als auch der Quelldruck müssen in ihrer Grössenordnung bekannt sein, soll der Ingenieur ein Bauwerk in einem quellfähigen Material sicher und wirtschaftlich erstellen können. Während die Quellung in Mergel und Opalinuston einen rheologischen Vorgang der stark verdichteten Tone darstellt, ist sie im Anhydrit ein chemischer Prozess, bei dem Anhydrit und Wasser in Gips umgewandelt werden. Sowohl der Mergel (hier sei nur der Mergel aus der Süsswassermolasse betrachtet) als auch der Opalinuston sind Tone, die unter grossen Drücken belastet worden sind. Findet dabei keine Diagenese statt, dann wird ein Teil der beim Zusammendrücken aufgewendeten Energie bei der Entlastung wieder frei und zwar in Form einer Entlastungsdeformation, durch welche das Material seine inneren Spannungen verliert. Schon bei kleiner Diagenese kann eine Entlastungsdeformation nicht oder nur teilweise erfolgen, wobei die remanente Zusammendrückungsenergie durch Anziehungskräfte aufgenommen werden muss. Diese Kräfte können durch Wasserzutritt aufgehoben werden, wodurch die Quellung entsteht. Ändern sich dagegen die Kräfte bei Wasserzutritt nicht, d.h. handelt es sich um Bindungen, dann unterbleibt das Quellen. So wie die Zusammendrückungszahl eines Tones von seiner Plastizität abhängt, wird auch der Verlauf der Entlastung davon beeinflusst. Dieser weist je nach Material unterschiedlichen Charakter auf, der a priori nicht bekannt ist. Hinzu kommt, dass die Grösse der Anziehungskräfte bzw. der diagenetischen Bindungen des Materials, die der Volumenvergrößerung während der Entlastung entgegenwirken, unbekannt sind, so dass eine Prognose über den Quellvorgang nur anhand umfangreicher Untersuchungen möglich ist.

Solche Untersuchungen können wertvolle Hinweise auf das Verhalten des Materials liefern. Dies darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Messungen nur am entlasteten Verband oder an entlasteten Proben vorgenommen werden können. Die Deformation, die durch das Freilegen des Materials, sei es in einer Baugrube oder in einem Stollen oder bei der Gewinnung von Bohrkernen, eintritt, ist unbekannt. Je nach Verspannungsart kann die horizontale Dehnung die vertikale überwiegen. Obwohl der jeweils herrschende Spannungszustand des entlasteten Materials vor dem Eingriff weitgehend unbekannt ist, müssen die Grundwasserverhältnisse in den verschiedenen Schichten genau ermittelt werden.

Durch den Quellvorgang wird die Scherfestigkeit stark vorbelasteter Tone herabgesetzt, so dass Böschungen leicht instabil werden. Das Kriechen von Böschungen aus solchen Tonen ist also eng mit deren Quellung verbunden [1].

Wohl sind die Auswirkungen der Quellung eines Mergels oder Opalinustones gross, nehmen sich aber im Vergleich zur Quellung eines Anhydrits relativ bescheiden aus. Durch die chemische Umwandlung von reinem Anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ) und Wasser in Gips ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) vergrössert sich das Volumen um rund 60%. Von den Schwierigkeiten, die beim Durchstossen von Schichten mit Anhydrit aufgetreten sind, wird in der Literatur wohl berichtet, doch fehlen weitgehend Angaben über die Grössenordnung der Drücke, die auftreten und die kompensiert werden müssen, will man der Deformation Herr werden.

## 2. Laboratoriumsversuche

Die Versuchsanordnung im Laboratorium ist auf das gestellte Problem auszurichten. Interessiert man sich nur für das Quellmass, so kann dies durch die Messung der Längenänderung am Probekörper senkrecht, parallel oder schief zur Schichtung bestimmt werden. Dazu werden die Proben vor und während ihrer Lagerung im Wasser gemessen, wobei die Quellung unbehindert eintreten kann. Ist dagegen der Quelldruck zu bestimmen, wird der Probekörper so eingebaut, dass bei der Lagerung im Wasser eine Volumenänderung weit-

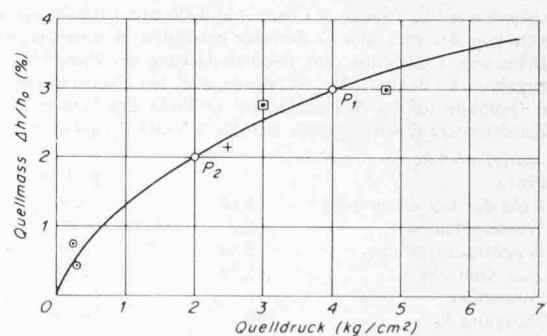


Bild 1. Wechselbeziehung zwischen Quellmass und Quelldruck an entlasteten Mergelproben.  $h_0$  ist die Höhe der unbelasteten Probe,  $\Delta h$  die Höhenzunahme infolge Quellung.

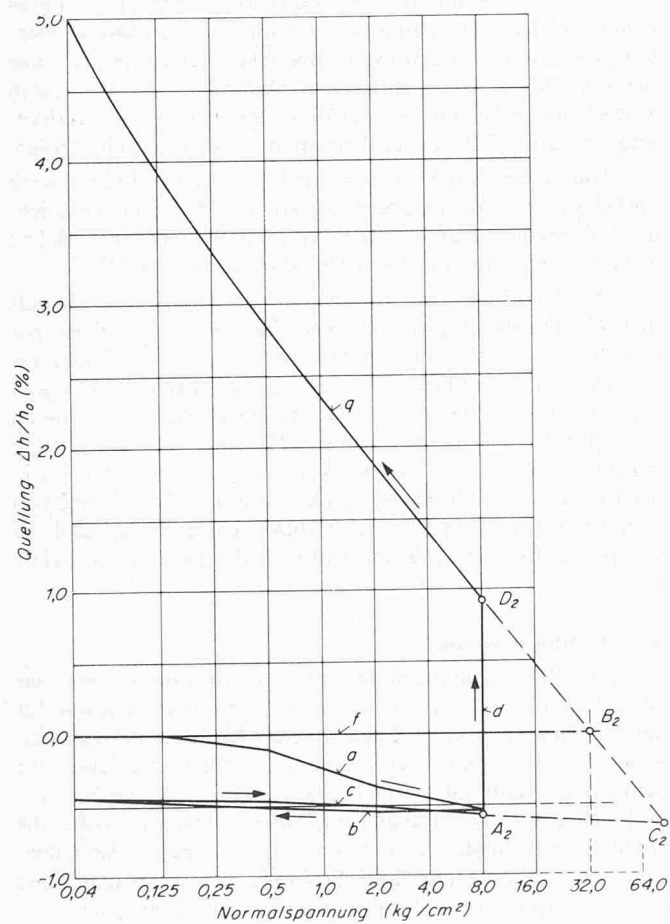
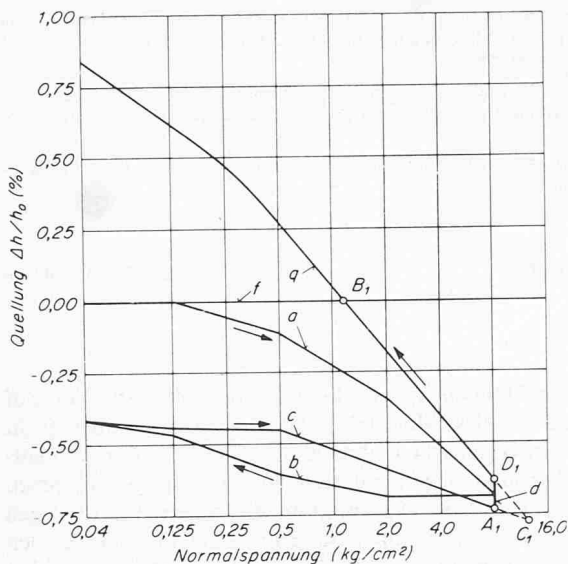


Bild 2. Mit dem Oedometer festgestelltes Verhalten von zwei verschiedenen Mergelproben 1 (oben) und 2 (unten) (Quellung in Abhängigkeit von der mit dem Oedometer erzeugten Normalspannung). a, b, c Belastung, Entlastung und Wiederbelastung der Probe vor der Wasserzugabe. A Beginn der Wasserzugabe bei konstantem Quelldruck. d Quellung infolge Wasserzugabe. D Ende der Wasserzugabe, bei der keine weitere Quellung mehr auftritt. q Entlastungskurve.

**Materialdaten:**

Probe	1	2	m
Kote der Entnahmestelle	-14,60	-39,50	
Wassergehalt $w$	6,9	6,3	%
Feuchtraumgewicht $\gamma$	2,44	2,46	t/m <sup>3</sup>
spez. Gewicht $\gamma_s$	2,76	2,71	t/m <sup>3</sup>
Porenziffer $e$	21	17	%
Sättigung $S_r$	90	100	%
Karbonatgehalt	48	54	%
Fliessgrenze $W_L$	28	38	%
Ausrollgrenze $W_P$	16	16	%
Aktivität $A$	2,8	2,2	

gehend verhindert wird. Die Kraft am Druckgeber, der zur Verhinderung der Volumenänderung notwendig ist, geteilt durch die Fläche des Druckkolbens, ist gleich dem Quelldruck. Werden aus der gleichen Formation sowohl Quellmass als auch Quelldruck an den Proben gemessen, dann kann die Wechselbeziehung zwischen diesen beiden Grössen aufgezeichnet werden.

**a. Mergel**

In Bild 1 sind die Versuchsergebnisse für einen Mergel dargestellt. Wie ersichtlich, steigen bei diesen Proben mit zunehmendem möglichen Quellmass auch die potentiellen Quelldrücke stark an. Soll bei einem Mergel mit einem Quellmass von z.B. 3% (Punkt P<sub>1</sub>) eine Quellung verhindert werden, so ist dazu ein Quelldruck von rund 4 kg/cm<sup>2</sup> erforderlich. Wird dagegen bei der gleichen Probe eine Quellung von 1% zugelassen, so sinkt der Quelldruck auf etwa 2 kg/cm<sup>2</sup> d.h. der Punkt P<sub>1</sub> wandert nach P<sub>2</sub>. Eine solche Bestimmung verlangt für jeden Versuch zwei gleiche Proben, damit eine zuverlässige Aussage möglich ist.

Oft ist die Gewinnung zweier gleicher Proben nicht möglich, so dass die Messung sowohl des Quellmasses als auch des Quelldruckes an derselben Probe vorgenommen werden muss. Dies ist im Oedometer möglich. Nach dem Einbau werden die Proben stufenweise belastet z.B. bis 8 kg/cm<sup>2</sup>, wie in Bild 2 an den Proben 1 und 2 gezeigt ist (Linien a), anschliessend entlastet (Linien b), dann wieder belastet (Linien c). Dadurch lässt sich der Einfluss der Probenentnahme teilweise kompensieren, und überdies wird der Verlauf der Entlastung bzw. Wiederbelastung im ungestörten Zustand ohne Wasserzutritt festgestellt.

Bei einer Belastung von 8 kg/cm<sup>2</sup> erfolgt dann die Wasserzugabe (Punkt A), wobei man die Deformation infolge Quellung aufzeichnet (Linie d). Nach dem Abklingen der Quellung wird die Probe stufenweise entlastet, wobei die Last bei jeder Entlastungsstufe bis zum Abklingen des zu dieser Stufe gehörigen Quellvorganges konstant bleibt. Die Verbindung der jeweiligen Endpunkte der Quellung ergibt die Entlastungskurve q.

Aus dem Diagramm lässt sich der Quelldruck ermitteln, der notwendig ist, um eine Quellung auszuschliessen. Er ergibt sich durch Extrapolation der Entlastungskurve q bis zum Schnittpunkt C mit der verlängerten Linie c. Wie ersichtlich beträgt dieser Druck bei der Probe 1 etwa 12 kg/cm<sup>2</sup>; bei der Probe 2 steigt er hingegen auf rund 84 kg/cm<sup>2</sup>. Lässt man bei der Probe 2 eine Quellung von 1,5% zu, so wandert der Punkt C<sub>2</sub> nach D<sub>2</sub>; d.h. es genügt dann eine Normalspannung von 8,0 kg/cm<sup>2</sup>, um eine weitere Quellung auszuschliessen. Diese Normalspannung ist gleich dem Quelldruck.

Weiter ist aus dem Diagramm die Wirkung der Vorbelastung, also der durch die Linien a, b und c gekennzeichneten Prozesse, zu ersehen. Würden diese Prozesse weggelassen und erfolgte die Wasserzugabe wiederum ohne Volumenänderung, so würde der Vorgang der Linie f bis zum Schnittpunkt B mit der Entlastungskurve q folgen. Es würde sich demnach bei der Probe 1 ein Quelldruck von 1,2 kg/cm<sup>2</sup> und bei der Probe 2 ein solcher von 32 kg/cm<sup>2</sup> einstellen. Hieraus wird deutlich, wie wichtig es ist, den Grad der Entlastung und die erfolgte Deformation zu kennen, wenn man das Quellverhalten bei Zutritt von Wasser abschätzen will.

**b. Opalinuston**

Anhand der Ergebnisse von vier Opalinustonproben, die alle ähnliche geotechnische Daten aufweisen, sich aber in der Lagerungsdichte bzw. Entnahmetiefe unterscheiden, soll die Abhängigkeit des Quelldruckes von der Porenziffer e gezeigt werden. Der Tonschicht sind aus verschiedenen Tiefen mittels Bohrungen vier Proben (Proben 1 und 2 aus rund 30 m, 3 und 4 aus rund 5 m Tiefe) entnommen worden. Diese wurden, wie

die Proben 1 und 2 der vorher beschriebenen Versuche mit Mergel, zuerst belastet, und zwar bis auf 16 kg/cm<sup>2</sup>, anschliessend entlastet und dann wiederbelastet. Nach diesem Vorgang hat man bei 16 kg/cm<sup>2</sup> Normalspannung Wasser zugegeben und anschliessend stufenweise entlastet. Aus dem unterschiedlichen Verhalten der Proben bei der Entlastung ohne Wasser und der Entlastung nach der Wasserzugabe lässt sich der Quelldruck ermitteln. Für die einzelnen Proben sind diese Werte in Funktion der Porenziffern in Bild 3 dargestellt (Kurven a). Die Kurven a, die den Kurven q in Bild 2 entsprechen, zeigen mit zunehmender Porenziffer e eine starke Abnahme des Quelldruckes. Weiter geht aus den Versuchsergebnissen auch der Einfluss der Porenziffer e<sub>0</sub> auf den Quelldruck hervor. e<sub>0</sub> bezieht sich auf den Zustand der Probe vor dem Einbau in den Oedometer. Der gemessene Quelldruck an den mit 16 kg/cm<sup>2</sup> wiederbelasteten Proben unterschiedlicher Porenziffer e<sub>0</sub> ist in Kurve b gezeigt. Kurve c gibt den Quelldruck der Proben bei der jeweiligen Porenziffer e<sub>0</sub> an und ist gleich zu verstehen wie die Kurve in Bild 1; dabei gilt

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Ausser geringen Unterschieden im Materialaufbau der hier besprochenen Proben ist der Grad der Verwitterung aus dem unterschiedlichen Verlauf der Kurven a gegenüber der Kurve b deutlich erkennbar.

Die Quellung bzw. der Druckanstieg erfolgt sowohl beim Mergel als auch beim Opalinuston rasch. Bei Proben mit Abmessungen von 3 bis 4 cm Höhe ist der Vorgang der Quellung nach rund 2 bis 3 Tagen nahezu abgeklungen, d.h. der Quelldruck bleibt nach dieser Zeit annähernd konstant. Wie bei der Setzung eines Tones zwischen einer Hauptsetzung und einer Nachsetzung unterschieden wird, so kann auch beim Quellvorgang eine Hauptquellung und eine Nachquellung beobachtet werden. Damit die Versuche nicht zu lange dauern, muss oft auf die Messung der Nachquellung verzichtet werden. In Bild 4 ist der zeitliche Verlauf des Quelldruckanstieges über 40 Tage in weiteren Opalinustonproben angegeben, wobei auch ein Teil der Nachquellung erfasst wurde. Dabei hat man den Quelldruck senkrecht sowie unter einem Winkel von 42° zur Schichtung geneigt gemessen. Diese Proben stammen aus der Liasformation und weisen eine feine Schichtung auf. Neben 4 bis 20 Gewichtsprozent Karbonat kommen darin vor allem Illite und Kaolinite vor, während Montmorillonit mengenmässig eine untergeordnete Rolle spielt.

### c. Anhydrit

Die Deformationsmessung von Anhydrit ist in der Praxis kaum interessant, da seine Quellung so gross ist, dass sie Bauwerken kaum zugemutet werden kann. Auch ist hier kein beachtlicher Abfall des Quelldruckes bei kleinen Deformatio-

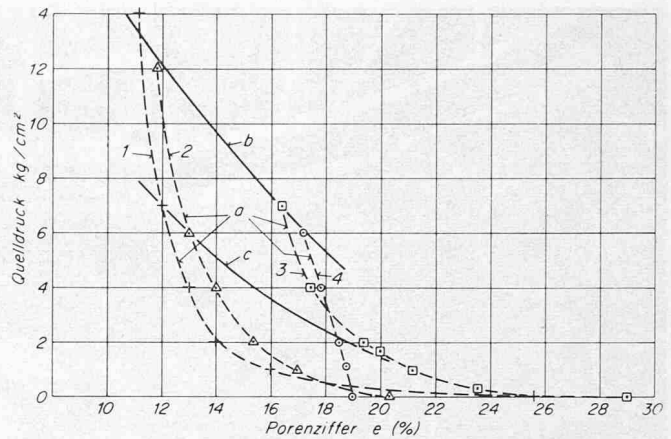


Bild 3. Quelldruck von vier verschiedenen Proben 1, 2, 3 und 4 von Opalinuston in Abhängigkeit von der ursprünglichen Porenziffer e. Kenndaten der Proben: Fließgrenze W<sub>L</sub> = 41%, Ausrollgrenze W<sub>p</sub> = 18%; Aktivität A = 1. Porenziffer e<sub>0</sub>, gemessen vor dem Einbau in den Oedometer bei Probe 1 12%, bei Probe 2 13%, bei Probe 3 20% und bei Probe 4 18,5%

nen, wie er bei Mergel und Opalinuston auftritt, in tolerierbaren Grenzen feststellbar. Der Quellvorgang oder der Druckanstieg ist von der chemischen Reaktion abhängig, wobei für den zeitlichen Verlauf auch die Geschwindigkeit, mit der das Wasser zum Reaktionsherd vordringt, massgebend ist. In Bild 5 ist der zeitliche Verlauf des Quelldruckanstieges einiger Anhydritproben angegeben. Diese stammen von Bohrkernen aus der Formation des Gipskeupers. Die Anhydritschichten weisen Stärken von einigen Millimetern bis einigen Zentimetern auf und sind im schwarzen Mergel eingelagert. Die gemessenen Quelldrücke liegen zwischen 13 und 38 kg/cm<sup>2</sup>. Der Druckanstieg ist für die einzelnen Proben unterschiedlich, wie aus Bild 5 hervorgeht. Während es sich bei den Proben 1 bis 4 um intakte Bohrkern handelt, sind die Proben 5 und 6 aus feingebrochenem Bohrkernmaterial künstlich aufbereitet worden. Dazu wurde das Materialmehl mit 16 kg/cm<sup>2</sup> belastet, nach der Entlastung gab man Wasser bei. Obwohl es sich um gleiche Proben handelt, sind Druckanstieg und Druckgrösse unterschiedlich.

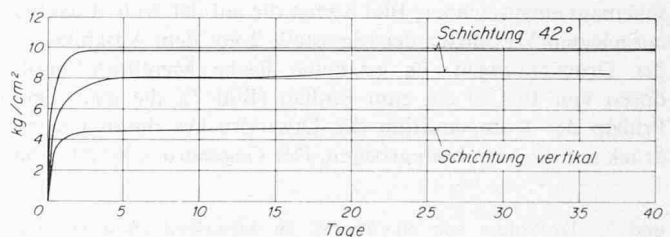


Bild 4. Zeitlicher Verlauf des Quelldruckes an drei Opalinustonproben

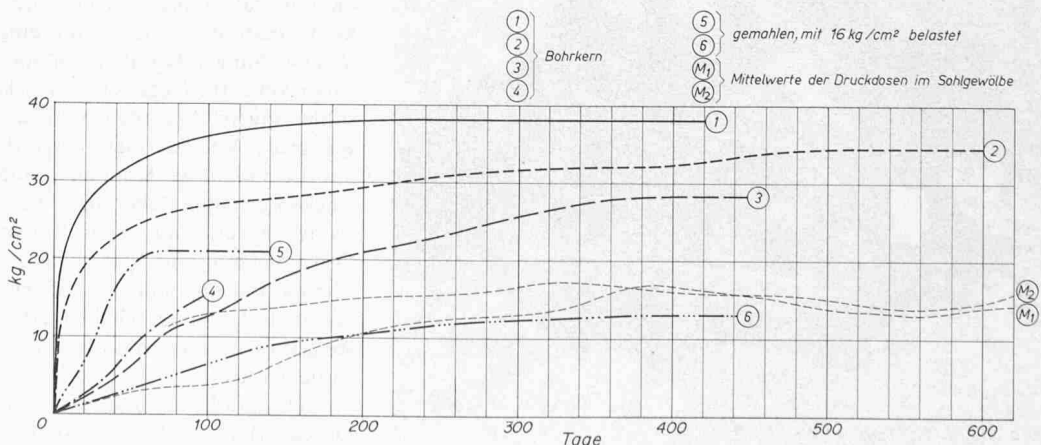


Bild 5. Zeitlicher Verlauf des Quelldruckes an verschiedenen Anhydritproben

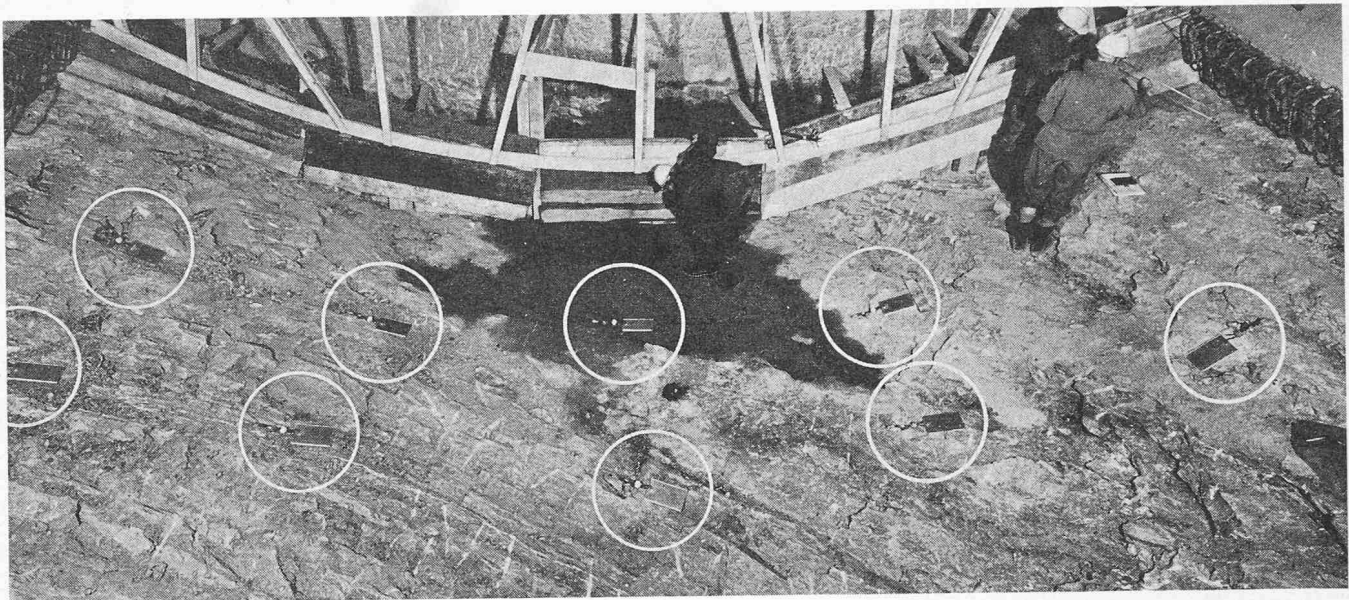


Bild 6. Die in der aus Anhydrit bestehenden Sohle eines Autotunnels verlegten Messdosen

### 3. Feldversuche

Ein Teil der Opalinustonproben und die Anhydritproben für die vorgängig erwähnten Laboriumsversuche stammten von Bohrungen aus einem Autobahntunnel. Bei der Erstellung dieses Bauwerkes konnte die VAWE, parallel zu den Laboriumsuntersuchungen, auch die Auswirkungen der Quellung der beiden Materialien am Objekt selbst messen. Dazu hat sie Druckdosen eingebaut, und zwar an einer Messstelle in der Opalinustonstrecke und an zwei Messstellen in der Anhydritstrecke. Aus bautechnischen Gründen konnten die Dosen nur noch im Sohlgewölbe angebracht werden. Insgesamt wurden 37 Dosen zwischen Fels und Gewölbe verlegt und 24 Dosen in das Sohlgewölbe einbetoniert.

Von den 37 Dosen wurden an der Messstelle 1 (Anhydrit) 12 Dosen auf 120 m<sup>2</sup>, an der Messstelle 2 (Anhydrit) 10 Dosen auf 60 m<sup>2</sup> und an der Messstelle 3 (Opalinuston) 15 Dosen auf 120 m<sup>2</sup> verlegt. In den Bildern 8, 9 und 10 sind die Verlegeschemata eingezeichnet; Bild 6 zeigt die auf der Anhydritsohle ausgelegten Messdosen der Messstelle 2 vor dem Anschliessen der Druckleitungen. Es gelangten flache Membran-Ventildosen von 10×20 cm zum Einbau (Bild 7), die nach dem Prinzip der Kompensation des Dosedruckes durch Gegendruck auf die Membran arbeiten. Der Gegendruck konnte von

einer seitlich am Gewölbe angebrachten zentralen Messstation aus gemessen werden.

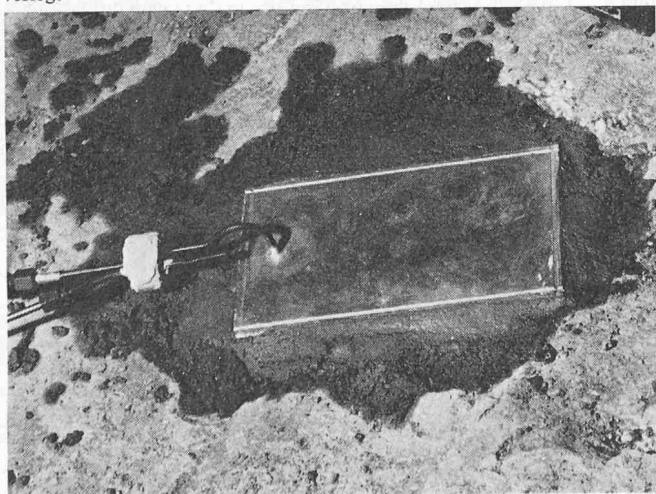
An den Messstellen 2 und 3 ist bis heute nach 800 Messungen nur eine Dose ausgefallen. An der Messstelle 1 dagegen erfolgte in der Zeit vom 600. bis zum 900. Tag ein allmählicher Ausfall von 9 der 12 auf der Sohle verlegten Dosen. An dieser Stelle konnten beachtliche Deformationen festgestellt werden, die offenbar eine Zerstörung der Druckzuleitungen zu den Dosen zur Folge hatten.

Bild 8 stellt den zeitlichen Verlauf der gemessenen Dosen drücke an der Messstelle 3 im Opalinuston dar. Die Kurven A, B und C veranschaulichen die Mittelwerte aus dem jeweiligen Messprofil, Kurve M zeigt den Verlauf des Mittelwertes aller Dosen.

Ein Vergleich der im Laboriumsversuch an Bohrproben gemessenen Quelldrücke (Bild 4) mit den an der Messstelle selber festgestellten Drücken (Bild 8) zeigt einen erheblichen Grössenunterschied. Der Mittelwert der Messungen am Gewölbe liegt bei 1,25 kg/cm<sup>2</sup>, der Maximalwert bei 2,4 kg/cm<sup>2</sup>, während die im Laborium gemessenen Werte zwischen 5 und 10 kg/cm<sup>2</sup> liegen. Auch ist der aus den Laboriumsversuchen charakteristische rasche Anstieg bei Wasserzugabe zur Probe an den Messungen am Sohlgewölbe nicht eindeutig festzustellen, erstreckte sich hier der Hauptanstieg entsprechend dem längeren Weg des Wassers doch über einen Zeitraum von 60 Tagen. Die geringeren Drücke werden durch die unterschiedlichen Einbaubedingungen der Proben im Versuch und an der Messstelle verursacht. Die Proben für die Laboriumsversuche wurden kurze Zeit nach der Bohrkernentnahme in die Geräte eingebaut und die Quelldrücke und Quellungen konnten sich unter genügender Wasserbeigabe entwickeln. Im Gegensatz dazu lag die provisorische Tunnelsohle längere Zeit offen, und der Zeitraum zur Entspannung war gross. Vor dem Betonieren des Sohlgewölbes wurde dann auf die endgültige Kote ausgehoben und die Sohle möglichst trocken gehalten. Aber auch diese Phase dauerte längere Zeit. Es ist sicher, dass beim Einbau von Messwertgebern zur Druckmessung in Materialien, die einen Quellverlauf wie Mergel und Opalinuston aufweisen, nur noch ein Ausschnitt aus dem Gesamtgeschehen erfasst wird. Dies ist auch der Ausgangszustand, von dem aus das Bauwerk selber beansprucht wird.

Die Bilder 9 und 10 veranschaulichen den zeitlichen Druckverlauf an den Messstellen 1 und 2 im Anhydrit. Auch

Bild 7. Druckdose von 10×20 cm, im Mörtelbett (Schnellbinder) verlegt



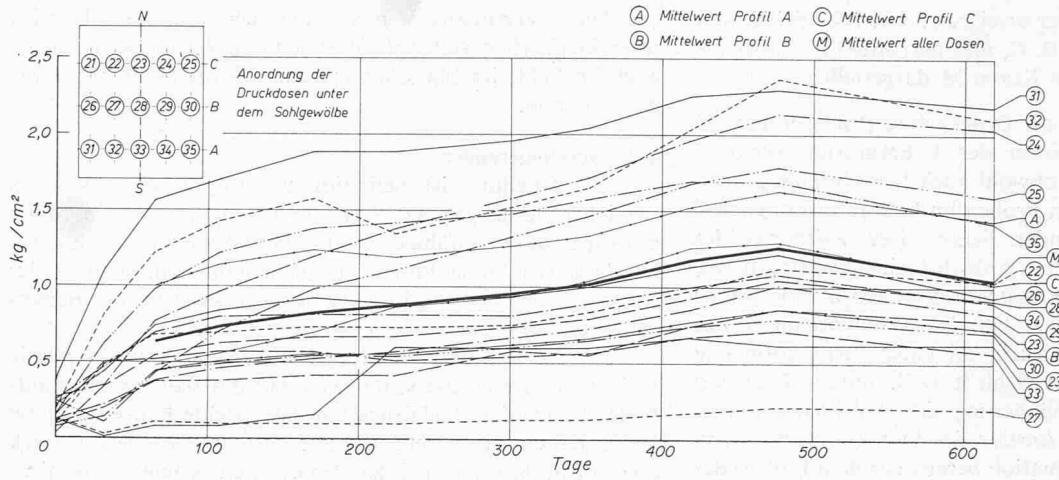


Bild 8. Zeitlicher Verlauf des Quelldruckes an der Messstelle 3 (Opalinuston)

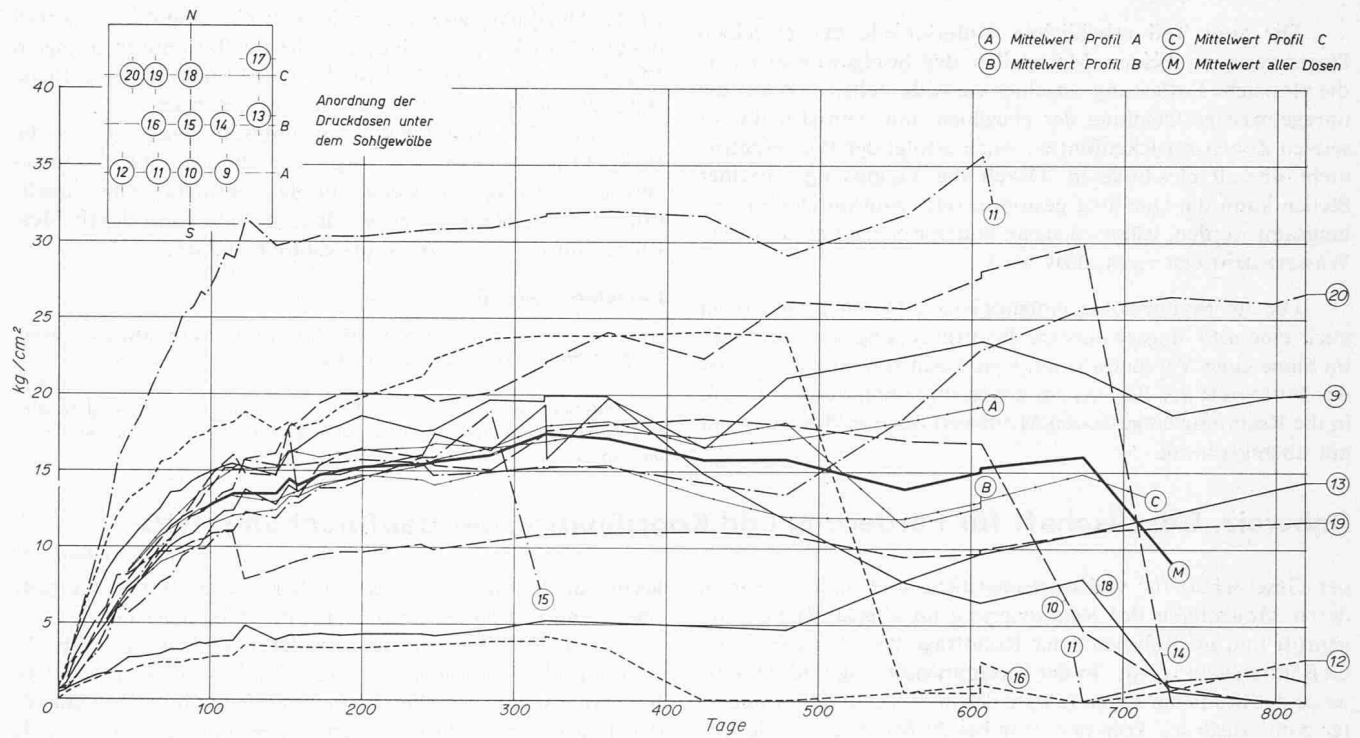


Bild 9. Zeitlicher Verlauf des Quelldruckes an der Messstelle 1 (Anhydrit)

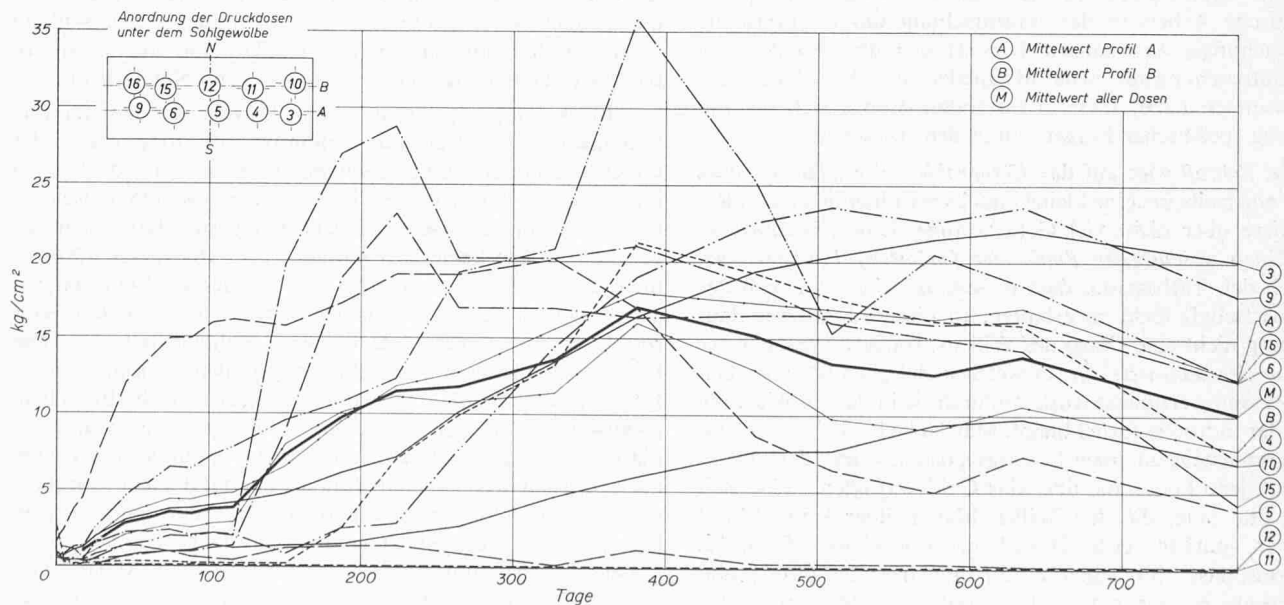


Bild 10. Zeitlicher Verlauf des Quelldruckes an der Messstelle 2 (Anhydrit)

hier sind die Mittelwerte der zwei bzw. drei Messprofile mit den Kurven A, B bzw. A, B, C, und der Mittelwert über die ganze Messfläche durch die Kurve M dargestellt.

Der Druckverlauf und die Druckgrösse (Bilder 9 und 10) stimmen mit den Ergebnissen der Laboratoriumsversuche (Bild 5) recht gut überein, obwohl auch hier einzelne an den Dosen im Felde und an den Proben im Laboratorium gemessene Werte weit auseinander liegen. Der Zeitpunkt des Einbaus der Dosen spielt im Anhydrit eine kleinere Rolle, ebenso ist die Druckentwicklung von der Deformationsgrösse nicht so stark abhängig wie bei den Quellvorgängen mit rheologischem Charakter. Auch bei einer verhältnismässig wenig mächtigen, gestörten Schicht (z.B. durch Sprengen) ergibt die grosse Volumenänderung des Anhydrites immer noch einen beträchtlichen Anstieg des Druckes, selbst wenn z.B. eine beachtliche Deformation bereits vor dem Einbau des Messgerätes eingetreten ist.

Die zum Teil erheblichen Unterschiede der einzelnen Dosenwerte an beiden Messstellen des Sohlgewölbes sowie die plötzliche Entlastung einzelner Gewölbstellen sind auf die unregelmässige Quellung der einzelnen, mit Anhydrit durchsetzten Zonen zurückzuführen. Auch erfolgt der Wasserzutritt nicht überall gleichmässig. Durch die Vergipsung einzelner Stellen kann die Quellung gestoppt, oder zum mindesten verlangsamt werden, während sie an anderen Stellen durch neuen Wasserzutritt erst recht aktiv wird.

Die im Sohlgewölbe einbetonierten Dosen zeigen denn auch eine sehr unregelmässige Beanspruchung des Gewölbes im Sinne einer Verwindung an. Eine Nachrechnung zeigt, dass der Mittelwert der Betonspannungen im Sohlgewölbe mit dem in die Rechnung eingesetzten Mittelwert des Sohldruckes recht gut übereinstimmt.

Diese Versuchsserie macht deutlich, wie wertvoll es ist, wenn im gleichen Material neben den Laboratoriumsversuchen auch im Felde im Massstab 1:1 eine Messreihe durchgeführt werden kann.

#### 4. Schlussfolgerungen

Die Quellung ist definitionsgemäss mit einer Wasseranreicherung verbunden. Soll sie vermieden werden, dann muss man das quellfähige Material vor Wasserzutritt schützen. Oft lässt sich diese Forderung nicht einhalten, so dass der Ingenieur die Quellung in seine Vorkehrungen bei der Bemessung der Bauwerke einbeziehen muss.

Da die Quellung in Mergel wie in Opalinuston relativ klein ist und teilweise schon während des Bauzustandes auftritt, ist auch der Quelldruck auf das erstellte Bauwerk relativ klein. Durch die bereits erfolgte Deformation ist er stark abgefallen, darf aber bei der Bemessung des Bauwerkes nicht vernachlässigt werden. Bei Material mit Anhydriteinschlüssen ist das Quellmass gross; überdies tritt ein wesentlicher Abfall des Quelldruckes durch eine mögliche Quellung nur in geringem Masse ein. In diesem Fall ist der Quelldruck als wesentliche Belastungsgrösse in die Berechnung einzuführen.

Durch den Einbezug von Quellungsuntersuchungen in die Prospektion können dem Ingenieur durch Laboratoriumsversuche wichtige Hinweise auf das Verhalten eines quellfähigen Materials gegeben werden, die sich dann durch Messungen im Feld ergänzen und bestätigen lassen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] L. Bjerrum: Kriechen von Böschungen in vorbelasteten Tonen. SBZ 86 (1968), H. 31, S. 545-547.

Adresse der Verfasser: Prof. Dr. sc. techn. J. Huder und G. Amberg, dipl. Masch.-Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zürich, Gloriastrasse 37-39.

## Schweiz. Gesellschaft für Förderung und Koordination der Bauforschung (GfB)

Schluss von Seite 970

der Gesellschaft für volkswirtschaftliche und andere Fragen, deren Möglichkeit der Reaktivierung im abgelaufenen Jahre geprüft und im Rahmen einer Rundfrage bei Mitgliedern der GfB untersucht wurde. In der Zusammensetzung und Arbeitsweise der Studiengruppen müsste der interdisziplinäre Charakter zum Ausdruck kommen, was bei 29 Mitgliedern, die sich für diese Aufgabe zur Verfügung stellten, möglich sein sollte. Auch im Bauforschungsrat gehe die Zielsetzung dahin, die theoretische Arbeit in der Bauforschung durch praxisnahe Untersuchungen zu ergänzen. Dies sei auch der Grund, wieso der Bauforschungsrat neue Mitglieder aus dem Bausektor aufgenommen habe. Unter Umständen dränge sich die Behandlung spezifischer Fragen durch den Ausschuss auf.

Dr. Schraft wies auf das *Kernproblem der GfB* hin, dass es sich einerseits um eine kleine Gesellschaft handle und andererseits diese über nicht viel Geld verfüge. Damit berührte er auch einen *wesentlichen Punkt der (privaten) Bauforschung*, nämlich den Tatbestand, dass es sehr schwierig sei, von der Privatwirtschaft Geld zu erhalten. In diesem Sinne sei Bauforschung nicht eine Frage des Willens, sondern vielmehr der *Struktur der Bauwirtschaft*, in welcher viel produktiv erarbeitet, aber wenig erforscht wird, wodurch sie in der Entwicklung hinter der Industrie zurückbleibt. Man stehe heute in der Phase des Herantastens an einen Lösungsversuch, wobei das Dilemma, dass jene Leute, die über das Geld verfügten, keine Zeit hätten und jene, die den Willen hätten, über keine Mittel verfügten, spürbar werde. Dazu käme in gewisser Masse das Hindernis, dass – im Gegensatz zur Industrie – der direkte und realisierbare Nutzen nicht sofort greifbar werde. Aus dieser Lage heraus erschalle der Ruf nach der Hilfe und dem Ein-

greifen des Staates, der in verschiedenen Institutionen mit mehr oder weniger sicheren Grundlagen das Mögliche tue.

In seiner Grussadresse wies der Präsident der GfB, U. Meyer-Boller, Nationalrat, darauf hin, dass der Weg der Bauforschung steinig sei. Das theoretische Bauvolumen im laufenden Jahr sei mit 18 Mrd Fr. bereits überschritten, und es stelle sich die Frage, ob es bei der vorhandenen und äusserst angespannten Kapazität sich durchführen liesse (vermutlich lägen die tatsächlichen Ergebnisse unter der Prognose). Deutschland wies ein Bauvolumen von 80 Mrd DM auf, die westeuropäischen Staaten sogar ein solches von rund 500 Mrd Fr.

In Anknüpfung an die vom Präsidenten des Bauforschungsrates dargelegte Zielsetzung der Information wies der Geschäftsleiter der GfB, Jean Piller, darauf hin, dass er zu interessierten Kreisen der Bauforschung Kontakt gesucht habe, aber immer wieder feststellen musste, dass die massgebenden Leute keine Zeit hätten. Er streifte dieses «Phänomen unserer Zeit» am Beispiel des von der GfB erarbeiteten *Verzeichnisses der Stellen* in der Schweiz, die sich mit Bauforschung im weiteren oder engeren Rahmen befassen. Die Publikation mit dem Verzeichnis der Stellen (Einzelpersonen, Firmen, Verbände) – geordnet einerseits nach Branchen, andererseits alphabetisch eingereiht – könnte erscheinen, wenn die leidige Frage der Finanzierung nicht bestünde. Wir sollten nach Ansicht des Geschäftsführers der GfB dazu kommen, dass sich die schweizerische Bauwirtschaft dazu entschliessen könnte, einen in irgendeiner Form vollzogenen Beitrag zu leisten (Finanzierung z.B. auf dem Wege einer Abgabe von  $\frac{1}{2} \text{‰}$  der verbauten Bausumme grösserer Firmen zur Äufnung eines Fonds).