

# Sondierbohrungen und Injektionen

Autor(en): **Schnitter, Gerold**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **123/124 (1944)**

Heft 11

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53905>

## **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.

INHALT: Sondierbohrungen und Injektionen. — Gruppenwaschanlagen mit Waschbrunnen. — 150 kV-Leitung Innertkirchen-Mühleberg. — Die Renovation des Freulerpalastes in Näfels. — Technische Einrichtung kriegsbedingter Sammellager. — Mitteilungen: Eidg. Techn. Hochschule. Der interkontinentale Flughafen der Schweiz. Persönliches. Fabriken für

Fertigbeton. — Nekrologe: Walter Sailer. — Wettbewerbe: Ideenwettbewerb für ein «Centre municipal d'éducation phys. et des sports» in Genf. SWB-Ideenwettbewerb für Hotelzimmer. — Literatur. Mitteilungen der Vereine. Vortrags-Kalender.

Band 123

Der S. i. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 11

### Sondierbohrungen und Injektionen

Von Dipl. Ing. GEROLD SCHNITZER, in Firma Swissboring, Zürich

Beim Bau von Wasserkraftanlagen mit ihren Wehren, Staudämmen, Stollen und Maschinenhäusern hat sich immer mehr die Notwendigkeit gezeigt, dem Baugrund ganz besondere Sorgfalt zuzuwenden. Einerseits soll er durch Sondierungen (Schlitze, Schächte, Sondierstollen und Bohrungen) bereits vor der Detailprojektierung möglichst aufgeschlossen werden, wenn man sich vor Fehldispositionen hüten will, wie sie bei Nichtbeachtung dieses Grundsatzes immer wieder auftreten. Andererseits sollen durch direkte Eingriffe in den Untergrund dessen Eigenschaften dem Bauzweck entsprechend verbessert, beispielsweise die Durchlässigkeitsverhältnisse geändert werden. Innerhalb der verschiedenen Sondierarten nehmen die Bohrungen eine immer wichtiger werdende Stellung ein. Ueber sie und die damit im Zusammenhang stehenden Injektionen soll deshalb im Folgenden etwas eingehender berichtet werden<sup>1)</sup>.

Es sind schon 20 Jahre her, seit die entsprechenden Methoden sich zu entwickeln begannen. Vor allem war es Prof. M. Lugeon, der in seinem bekannten Buche «Barrages et Géologie» auf Grund seiner langjährigen praktischen Tätigkeit auch auf diesem Gebiete als erster eine zusammenfassende Darstellung der dabei auftretenden mannigfachen Probleme vermittelte. In der Folge haben sich die Sondier- und Injektionsverfahren weiter entwickelt, Spezialunternehmungen haben sich herausgebildet, die ausschliesslich derartige Arbeiten ausführen. Es dürfte heute wohl keinen grösseren Kraftwerkbau mehr geben, wo die Erfahrungen dieses neuen Teilgebietes des Tiefbaues nicht ausgiebig in Anspruch genommen werden. Amerika ist auch auf diesem Gebiete dank seiner vielen neuzeitlichen Wehr- und Staumauerbauten sehr weit gegangen, aber auch in Europa, beispielsweise bei den zahlreichen Talsperren in Italien, wurden Sondierungen und Injektionen zur Erforschung des Baugrundes und zu dessen Abdichtung weitgehend angewendet.

Aber auch bei uns hat man die Notwendigkeit dieser Arbeiten im allgemeinen erkannt. Bekannt ist die ausgedehnte Anwendung von Felsinjektionen bei der Staumauer im Wäggitäl<sup>2)</sup>, an der Barberine, an der Garichte<sup>3)</sup>, an den Staumauern der Grimsel<sup>4)</sup> usw. Im Folgenden sollen einige in den letzten zwei Jahren durchgeführte Sondierungen und Injektionen dargestellt werden, die unter der Leitung des Verfassers zum grössten Teile in der Schweiz ausgeführt wurden.

Bohrungen sollten bei sämtlichen grösseren Bauvorhaben vorgenommen werden. Wenn sie sorgfältig genug durchgeführt werden, so ergeben sie bereits einen sehr guten Einblick in den Untergrund. Dabei sollte die ausführende Bohrunternehmung auch in erdbaumechanischen Fragen geschult sein und immer den Beistand des technischen Geologen verlangen.

Bohrungen im Lockergestein werden im allgemeinen als Schlagbohrungen ausgeführt, wobei das Bohrloch verrohrt wird. Mit Erfolg wurden in neuester Zeit auch rotationsgebohrte unverrohrte Bohrlöcher im sandigen Boden hergestellt, wobei die aus der Ölbohrung bekannte Dickspülung zur Festigung der Rohrwandungen angewendet wurde. Bei uns sind die Schlagbohrungen meist untiefe Bohrungen, bis rd. 20 m. Sehr zu Unrecht herrscht oft noch das Vorurteil, man sollte nur grosse Durchmesser von 300 bis 400 mm verwenden; auch kleine Durchmesser von 100 bis 150 mm ergeben die selben Resultate mit geringerem Aufwand und geringeren Kosten. Als Beispiel einer tieferen Schlagbohrung im Lockergestein möge die in Abb. 1 dargestellte Ausführung aus der Schweiz dienen. Die Aufgabe bestand darin, die Natur des durchfahrenen Untergrundes und die Tiefe des Felsuntergrundes zu bestimmen. Aus dem Profil geht gleichzeitig die Darstellungsart der Bohrergebnisse hervor. Das Bohrloch wurde durch das Lockergestein (Gerölle, Kies, Kiessand und Sand) bis auf 94,75 m Tiefe in drei Durchmessern 7", 4 1/2" und 3" verrohrt abgeteuft. Anschliessend ergab eine Kernbohrung den gewünschten Felsaufschluss.

<sup>1)</sup> Siehe auch Erdbaukurs E. T. H. 1938: «Neuere Bohrmethoden» von Dr. h. c. H. Fehlmann.

<sup>2)</sup> Siehe SBZ Bd. 98, S. 219\* ff. (1931).

<sup>3)</sup> Siehe SBZ Bd. 106, S. 1\* ff. (1935).

<sup>4)</sup> Siehe SBZ Bd. 85, S. 13\* ff. (1926); Bd. 92, S. 155\* (1928); Bd. 107, S. 229\* ff. (1936).

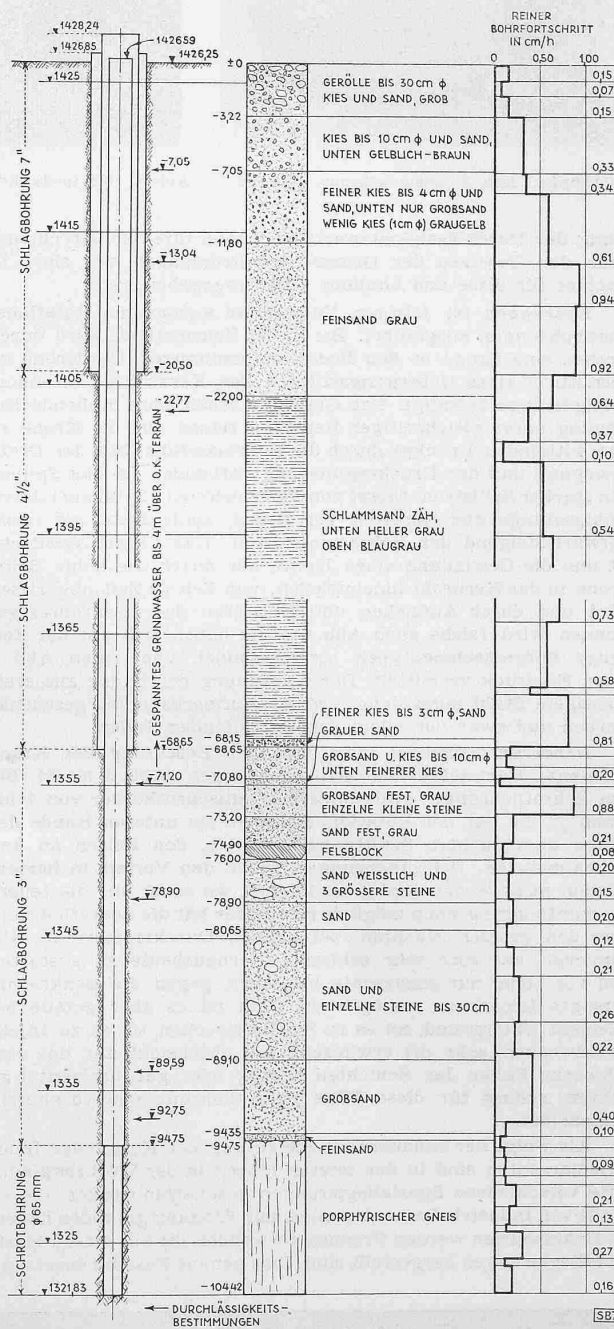
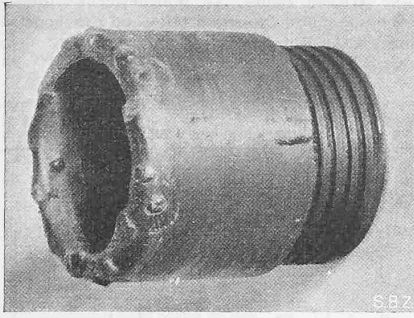


Abb. 1. Bohrung in Lockergestein 94,75 m tief, Ø 7", 4 1/2" und 3"

Mit Vorteil lässt sich bei der Ausführung einer Bohrung im Lockergestein auf einfachste Art ohne Pumpversuch der Durchlässigkeitskoeffizient des Untergrundes mit einer für Feldmessungen genügenden Genauigkeit bestimmen. Es geschieht dies durch die Anordnung von Absenk- oder Steigversuchen<sup>5)</sup>. Bei diesen Versuchen wird das Rohr oberhalb des Grundwasserspiegels mit Wasser angefüllt, hierauf lässt man den Wasserspiegel im Rohr sich langsam senken und misst die Höhendifferenz des Spiegels und die für die Senkung gebrauchte Zeit. Oder man hält den Wasserspiegel unter Zugießen von Wasser konstant auf der selben Höhe und misst die in der Zeiteinheit zugegossene Wassermenge. Die Auswertung erfolgt nach den von Maag im genannten Aufsatz entwickelten Formeln zur Bestim-

<sup>5)</sup> Siehe auch E. Maag in «Strasse und Verkehr» 1941, Nr. 19.



Bohrköpfe: Abb. 3. Diamantkrone, Ø 45 mm

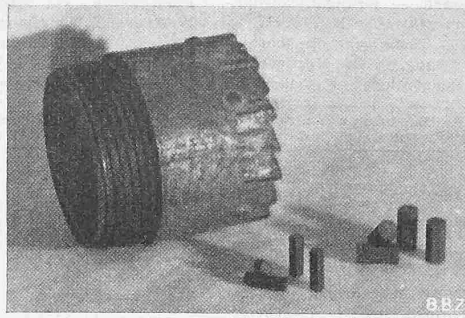


Abb. 4. Hartmetallkrone mit Hartmetall-Prismen

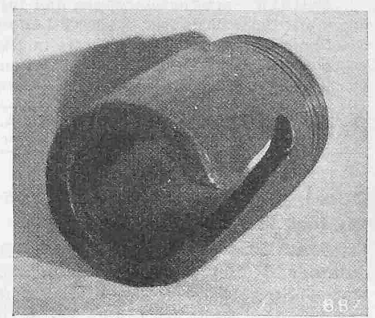


Abb. 5. Schrotkrone Ø 65 mm

mung der Durchlässigkeitswerte oder unter direkter Berechnung nach den Gesetzen der Grundwasserströmungen, wie sie z. B. Dachler für diese und ähnliche Fälle angegeben hat.

*Bohrungen im felsigen Untergrund* werden als Rotations-Kernbohrungen ausgeführt. Bei dieser Bohrmethode wird durch Drehen eine Krone in den Boden eingeschnitten. Die Krone ist vermitteltst eines Uebergangsstückes, des Kernrohres, an einem Hohlgestänge befestigt. Das Gestänge erhält seine drehende Bewegung unter gleichzeitiger Regelung seines auf die Krone zu übermittelnden Druckes durch die Bohrmaschine. Mit der Drehbewegung und der Druckregulierung verbunden ist das Spülen. Ein starker Spülstrom fliesst vom Bohrlochkopf (Spülkopf) durch Hohlgestänge und Kernrohr zur Krone, spült diese und reisst aufwärtssteigend den Bohrschmand mit. Das Charakteristische ist nun die Gewinnung eines Kerns, der durch die hohle Bohrkronen in das Kernrohr hineinwächst, von Zeit zu Zeit abgerissen wird und durch Aufziehen und Entleeren des Kernrohres gewonnen wird (siehe auch Abb. 6). Es haben sich mit der Zeit einige Bohrmaschinentypen herausgebildet, von denen Abb. 2 einen Eindruck vermittelt. Der Ausbildung der Krone aus erstklassigem Stahl muss dabei grösste Aufmerksamkeit geschenkt werden und zwar vor allem den angreifenden Teilen.

Dabei unterscheidet man nach der Besetzung der Krone Diamant-, Hartmetall- und Schrotbohrungen (Abb. 3 bis 5). Bei den Schrotbohrungen greifen kleine Stahlschrotkörner von 1 bis 3 mm Ø, die bei der Rotation aus dem am unteren Rande der Krone angebrachten Schlitz herausfallen, den Felsen an und zermahlen ihn. Schrotbohrungen haben den Vorteil, in hartem Gestein angewendet werden zu können, wo sonst nur die teure Diamantbohrung noch möglich ist. Leider hat die Schrotbohrung aber den grossen Nachteil, bei kleinen Durchmessern im allgemeinen nur eine sehr schlechte Kernaussbeute zu gestatten und vor allem nur senkrechte bis leicht gegen die Senkrechte geneigte Löcher zu ermöglichen. Nun ist es aber gerade bei felsigem Untergrund, sei es zu Sondierzwecken, sei es zu Injektionszwecken, sehr oft erwünscht, mit Rücksicht auf das verschiedene Fallen der Schichten schräg oder gar horizontal zu bohren, sodass für diese Fälle Schrotbohrung von vornherein ausscheidet.

Als Folge der andauernden Steigerung der Kosten der Industriediamanten sind in den letzten Jahren in der Werkzeugindustrie verschiedene Speziallegierungen geschaffen worden, die an Stelle von Industriediamanten allgemein Eingang gefunden haben. Zu Bohrzwecken werden Prismen verwendet, die aus diesen Hartmetalllegierungen hergestellt sind. Ihre genaue Zusammensetzung

ist Fabrikationsgeheimnis; sie besitzen eine Härte von 9,8. Aber nicht immer, und in unseren Berggegenden sehr selten, lässt sich der Fels mit Hartmetall bohren. Da hilft allein die mit Diamanten besetzte Krone. Das Besetzen der Krone verlangt besonders bei Verwendung von Diamanten grosse Erfahrung und Uebung seitens des Spezialisten, Kenntnis der zu verwendenden

Diamanten und Mittel zu ihrer Befestigung in der Stahlkrone.

Kernbohrungen werden im allgemeinen für Sondierungen und Injektionszwecke mit Bohrl Lochdurchmessern von 46 bis 86 mm ausgeführt, entsprechend der Grösse der Kerndurchmesser von 32 bis 72 mm. Damit sind bei uns schon Bohrungen bis 300 m Tiefe im harten Granit ausgeführt worden. Abb. 6 zeigt ein Stück Granitkern aus einem Loch von 300 m Tiefe. Ein bei einer anderen derartigen Bohrung aufgenommenes Bohrprofil zeigt Abb. 7. Daraus sind ersichtlich, neben den Tiefenanlagen, die Angaben über die durchfahrenen Schichten, der Bohrfortschritt und die Kernverluste. Aus dem Bohrfortschritt (nur für die reine Bohrung benötigte Zeit) und den Kernverlusten ergeben sich Rückschlüsse auf die Natur des Gesteins. Dass auch tiefe Horizontalbohrungen möglich sind, mögen die Photographien einer Baustelle belegen (Abb. 2 und 8): Bohrlochlänge 160 m, Durchmesser 45 mm; Gestein: Kalkstein und Dolomit.

Wie eingangs erwähnt, ist auch bei felsigem Untergrund die Kenntnis der Durchlässigkeit von ganz besonderem Interesse, hängt doch von ihr sehr oft der Standort eines Bauwerkes in erster Linie ab. Im Zusammenhang mit der Ausführung von Kernbohrungen lassen sich nun auch im Fels sehr leicht Durchlässigkeitsmessungen ausführen, wie sie bereits Prof. Lugeon beschrieben hat. Dabei wird während des Abtreibens des Bohrloches dieses stufenweise mit einem besondern Abpresskolben abgeschlossen und mit Wasser unter Druck ausgepresst. Die in der Zeiteinheit pro Meter Bohrlochlänge verlorene Wassermenge ist dabei ein Mass für die Durchlässigkeit bzw. Undurchlässigkeit des Gesteins. Es sollte dabei darauf geachtet werden, dass

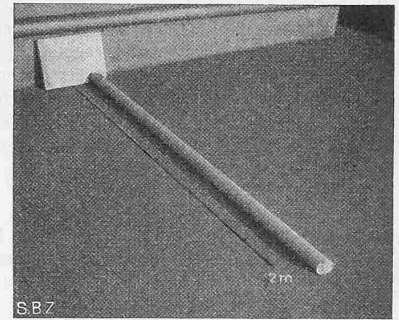


Abb. 6. Granitkern aus Bohrloch Ø 85 mm

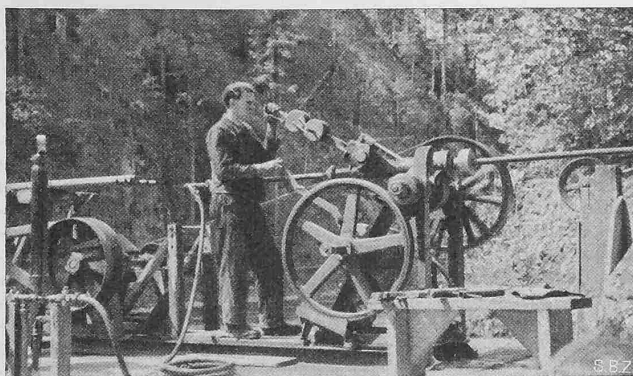


Abb. 2. Rotationskernbohrmaschine bei Horizontalbohrung

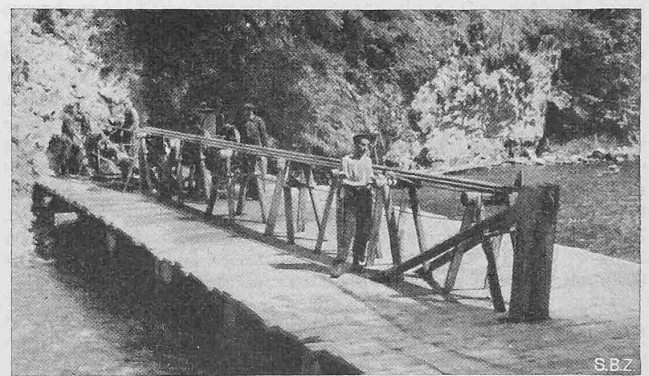


Abb. 8. Gestänge-Lagerung und -Führung für 160 m Horizontalbohrung

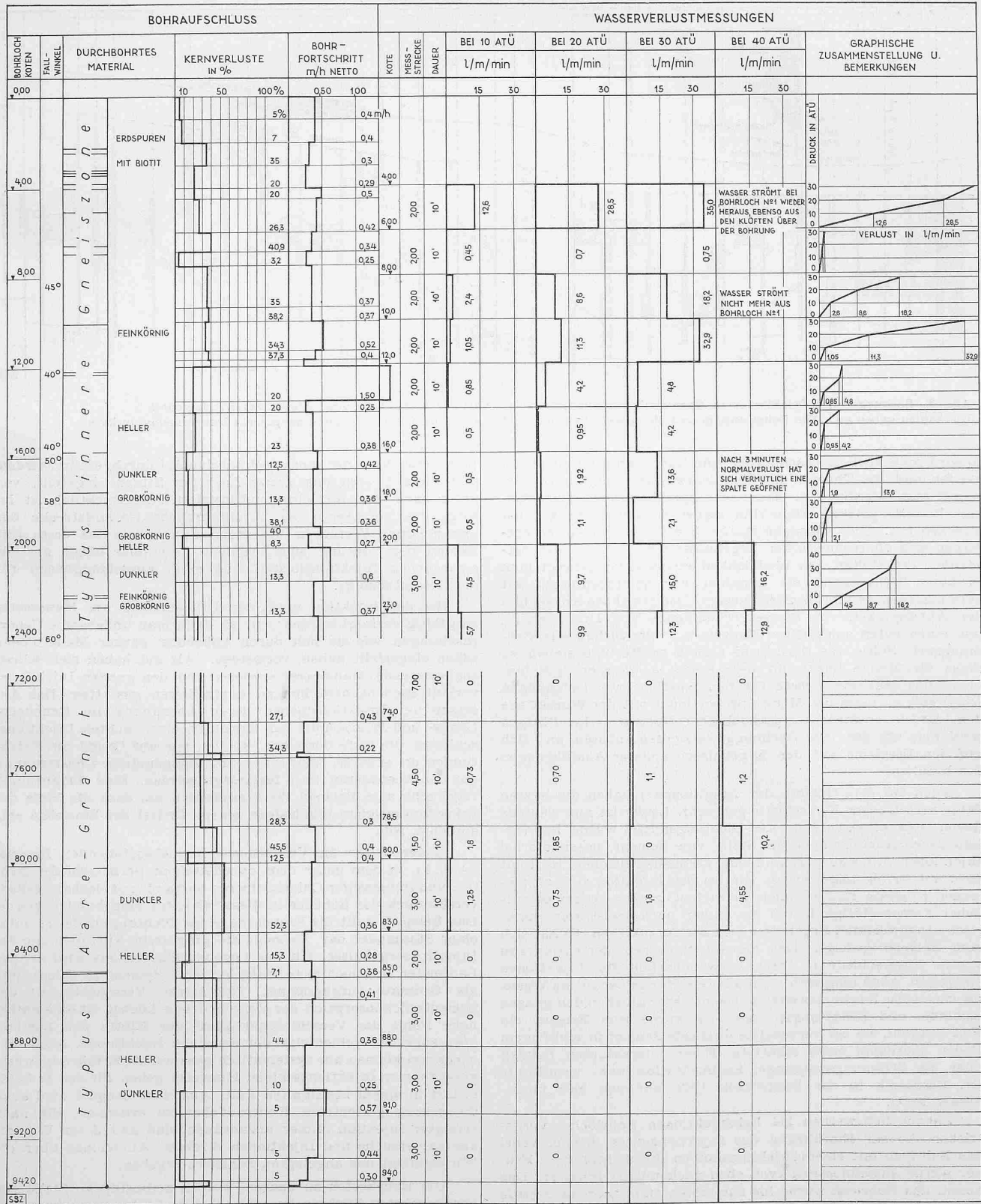


Abb. 7. Bohrprofil einer Kernbohrung in Gneis und Granit, 94,20 m tief, Bohr  $\varnothing$  44 mm, Kern  $\varnothing$  32 mm, Neigung 45°

die einzelnen Stufen nicht zu gross genommen werden (rd. 2,00 bis 3,00 m), und dass der einzelne Versuch nicht zu kurze Zeit läuft (rd. 10 Minuten). Auch ist es von besonderem Interesse, den Versuch bei verschiedenen Drücken zu wiederholen. Aus dem Verlauf der Wasserverluste bei steigenden Drücken können ebenfalls Rückschlüsse gezogen werden auf Klüfte und Spalten. Als Beispiel diene das Bohrprofil der Abb. 7, in dem die Ergebnisse der Wasserverlustmessungen aufgetragen sind; als Ordina-

naten dienen die Bohrlochtiefen, als Abszissen die auf die Zeiteinheit bezogene verlorene Wassermenge. Rechts aussen sind in Kurvenbildern die Wassermengen als Funktion der Drücke dargestellt.

Der verschiedentlich gemachte Versuch, diesem Problem auch rechnerisch zu genügen, hat noch zu keinen befriedigenden Lösungen geführt. Handelt es sich um einermassen gleichmässig durchlässiges Gestein, ohne ausgesprochene Einzelklüfte,

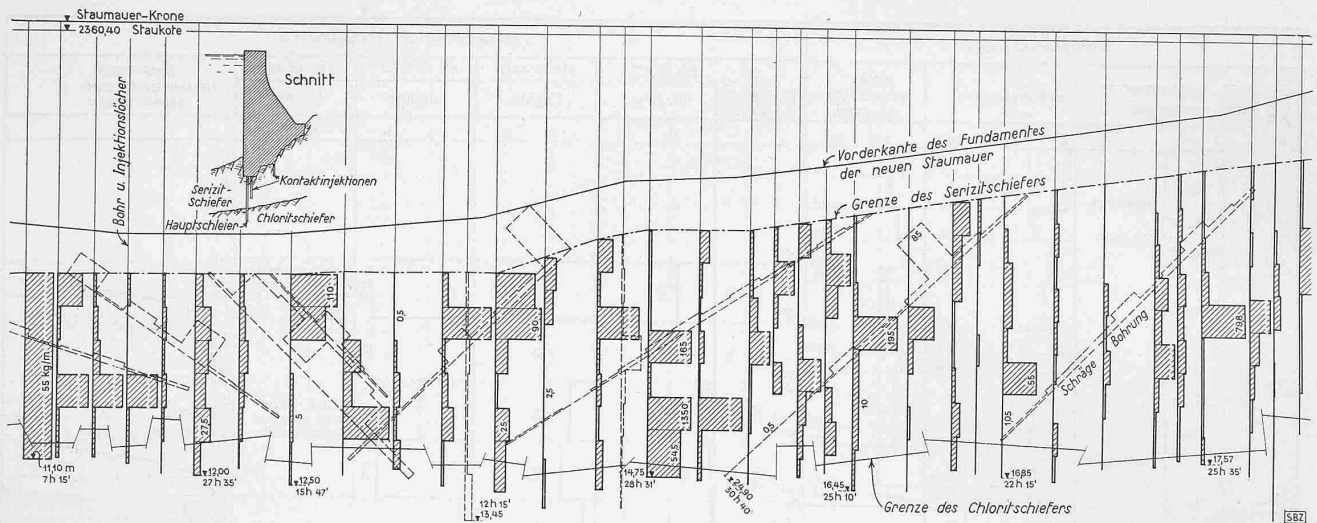


Abb. 9. Bohrungen und Injektionen (s. Querschnitt) bis in den dichten Fels zur Abdichtung eines Staumauer-Fundamentes  
Die Zahlen geben an: Die Bohrlochtiefe und die Injektionsdauer, rechts neben dem Bohrloch die eingepresste Zementmenge in kg/m

so wird man auch in diesen Fällen zum Darcy'schen Grundgesetz greifen und die Theorie der Grundwasserströmung anwenden, womit man allerdings zu einem sehr hypothetischen «Durchlässigkeitswert» gelangt. Immerhin eignet er sich zu Vergleichszwecken gut. Sind hingegen starke Klüfte vorhanden, so entfernen sich die rechnerischen Ergebnisse sehr weit von den tatsächlich ermittelten. Der Wirklichkeit etwas näher gelangt man in diesen Fällen durch die Annahme von Schichtenfolgen mit verschiedenen Durchlässigkeitswerten. Das erwähnte Kurvenbild der Abhängigkeit von Wasserverlustmenge und Druck ergibt nun einen guten qualitativen Hinweis über die vorhandene Strömungsart. Sollte das Darcy'sche Gesetz zu Recht bestehen, so muss die Menge linear mit dem Druck anwachsen, gilt hingegen das bekannte Gesetz für den Ausfluss aus Oeffnungen (Spalten), so muss die Menge proportional mit der Wurzel aus dem Druck anwachsen (parabolischer Verlauf). Im Übrigen wird man oft auf jede Rechnung verzichten müssen und sich auf den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Ausführungen beschränken.

Auch auf dem Gebiete der Injektionen<sup>6)</sup> haben die letzten Jahre verschiedene Fortschritte gebracht. Leider ist nur wenig davon bekannt geworden. Als Dichtungsmittel wurde bei verschiedenen Ausführungen an Stelle von Zement, besonders bei Injektionen in Lockergestein, Lehm, Lehmsuspensionen, Bentonit usw. mit Erfolg angewendet. Die bei der Injektion sich abspielenden Prozesse sind ziemlich verwickelt und es bedarf eigentlicher Forschertätigkeit, um die immer noch meist rein empirisch ausgewerteten Ergebnisse genauer aufzuklären. Es hat sich zum Beispiel gezeigt, dass die verschiedenen Zementmarken starke Unterschiede in ihrer Verwendbarkeit für Injektionen aufweisen. Auch reagieren nicht alle Gesteine in der selben Weise, die chemische Zusammensetzung beeinflusst natürlich den ganzen Abbinde- und Erhärtungsprozess. Es wurde zum Beispiel ein Fall bekannt, wo der verwendete injizierte Zement in schluffigem Boden überhaupt nicht erhärtete. Einen interessanten Beitrag über die Strömungsvorgänge, Sedimentation usw. vermittelte Dr. Bernatzik in der Bautechnik 1942, auf den hier hingewiesen sei<sup>7)</sup>.

Bekanntlich werden bei Felsinjektionen Bohrlöcher vorgerieben, die zur Einführung des Injektionsgutes dienen, wobei das Bohrloch mit einem Injektionskolben abgedichtet wird. Früher wurde ausschliesslich «von oben nach unten» injiziert. Das heisst, das Bohrloch wurde bis zur ersten zu injizierenden Stufe abgebohrt, injiziert und hierauf unter Durchbohrung der eben injizierten Strecke die zweite Stufe abgebohrt, diese wiederum injiziert und hierauf beide injizierten Stufen durchbohrt und die dritte Stufe abgebohrt usw. Heute wird vielfach und nicht mit geringerem Erfolg, von einzelnen seltenen Ausnahmen abgesehen, von «unten nach oben» injiziert. Das heisst, das ganze Bohrloch wird zuerst gebohrt, wobei mit Vorteil gleichzeitig Wasserab-

pressversuche in der oben geschilderten Art durchgeführt werden, und hierauf wird das ganze Loch, in Stufen eingeteilt, von unten nach oben fortschreitend injiziert. Offensichtlich ist infolge der geringeren zu durchfahrenden Gesamtstrecke das letztgenannte Verfahren bedeutend billiger als das erste (die Kosten der Bohrung sind meistens bedeutend höher als die eigentlichen Injektionskosten und somit ausschlaggebend für die Gesamtkosten).

Bei der Injektion muss der Druckanstieg am Manometer sorgfältig verfolgt werden; nur so kann man unliebsame Ueberaschungen, wie sie sich durch Abhebung ganzer Mauerblöcke schon eingestellt haben, vermeiden. Als gut haben sich selbstregistrierende Manometer erwiesen, die den ganzen Injektionsverlauf auch nachträglich zu kontrollieren gestatten. Das Ansetzen der Injektionslöcher, deren Anordnung im Grundriss, Längs- und Querschnitt zur Erzielung eines dichten Injektionschleiers, die Tiefe derselben, können nur auf Grund von Erfahrungen an anderen Bauwerken und sinngemässer Uebertragung auf den besonderen Fall festgelegt werden. Eine Erfahrungsregel gibt zum Beispiel für Staumauern an, dass die Tiefe des Injektionsschleiers mindestens einem Drittel der Stauhöhe entsprechen soll.

Anders lagen die Verhältnisse im nebenstehenden Beispiel (Abb. 9), in dem unter dem durchlässigen Serizitschiefer dichter, undurchlässiger Chloritschiefer anstand und deshalb selbstverständlich der Schleier in diese Schichten eingebunden wurde. Das Beispiel stellt die Erstellung eines Dichtungsschleiers unter einer Staumauer dar. Es zeigt die graphische Aufzeichnung der Injektionsergebnisse. Mit der Lochaxe als Abszisse wird der pro Laufmeter Bohrlochlänge aufgebrauchte Zement in Kilogramm als Ordinate aufgezeichnet. Die starke Verschiedenheit der Zementmilchabsorption der verschiedenen Löcher ist eine natürliche Folge der Verschiedenartigkeit der Klüfte und Spalten, aber auch der Reihenfolge der einzelnen Injektionen. Auch hier wiederum können nur systematisch gesammelte Erfahrungswerte ausgeführter Injektionsschleier Hinweise geben für den Zementbedarf in einem bestimmten Fall. Aus dem Beispiel sind auch die schräg gerichteten Kontrolllöcher zu erkennen, die nach erfolgter Injektion immer anzuordnen sind und deren Wasserabpressversuche und Injektionen direkten Aufschluss über die Wirksamkeit des angelegten Schleiers ergeben.

Um Bohrkosten zu sparen, werden zeitweilig an Stelle von kerngebohrten Löchern hammergebohrte Löcher verwendet. Wir halten diese Ersparnis bei einigermaßen tiefen Löchern für verfehlt, weil es sehr schwierig ist, tiefere hammergebohrte Löcher vom Bohrstaub dermassen zu säubern, dass das Injektionsgut noch in die Lochwandungen eindringt. Es besteht vielmehr die Gefahr, dass der Bohrstaub das Eindringen der Zementmilch zum mindesten erschwert, wenn nicht überhaupt verunmöglicht. Wir meinen deshalb, dass für wichtige Bauten und tiefere Injektionen nur kerngebohrte Löcher verwendet werden sollten, dies auch deshalb, weil es im allgemeinen schwer fällt, hammergebohrte Löcher derart gleichmässig abzubohren, dass der Dichtungskolben gut zu sitzen kommt.

<sup>6)</sup> Vgl. C. F. Kollbrunner und Ch. Blatter: Injektionen. Zürich 1941, Leemann & Co.

<sup>7)</sup> Dr. W. Bernatzik: Die Zementeinpressung und ihre Ueberprüfung durch Zementbohrkerne. «Die Bautechnik» Bd. 20, Hefte 13 bis 16, 27. März und 3. April 1942.