

Injektionen im Fels

Autor(en): **Boesch, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **80 (1962)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66083>

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.

verschiedenartigen Nischen erweitert, von denen die des Hochaltars zu einem eigenen Kreisraum sich verselbständigte. Sein nächster Bau innerhalb der vom Zentralraum ausgehenden Reihe, die leider durch den zweiten Weltkrieg völlig zerstörte Franziskanerkirche in *Ingolstadt* (1735), vernachlässigte zwar architektonisch das Altarhaus, gestaltete aber dafür um so reicher das Laienhaus. Hier war nun nicht mehr

das Oval, sondern der Kreis durch die breite Ausladung der Hauptaxen zum griechischen Kreuz erweitert. Dieses wurde zudem in den Diagonalen gleichsam zum Stern ergänzt durch Kapellen und darüberliegende Emporen, die als kleine Kreisräume gleich Trabanten dem Hauptraum entsprachen und in ihn mit ihren vorspringenden Brüstungen — wie schon in Osterhofen — eindringen. *Schluss folgt.*

Injektionen im Fels

Von Kurt Boesch, dipl. Ing. ETH, S. I. A., Zürich¹⁾

DK 624.138.24

Unter dieser Bezeichnung verstehen wir, im Gegensatz zu der Poreninjektion im Lockergestein, das Füllen und Verpressen von Hohlräumen und Klüften in Fels, Beton und Mauerwerk. Das Ziel der Injektion kann eine Abdichtung oder Verfestigung des betreffenden Mediums oder auch eine Kombination der beiden Aufgaben sein.

Vor Inangriffnahme einer Injektionsaufgabe sind durch *Voruntersuchungen* folgende Hauptpunkte abzuklären: die Wasserdurchlässigkeit und die Art der Hohlräume des zu injizierenden Gesteins, die Lage, Anzahl und Tiefe der notwendigen Injektionsbohrungen und die Art des Injektionsmittels.

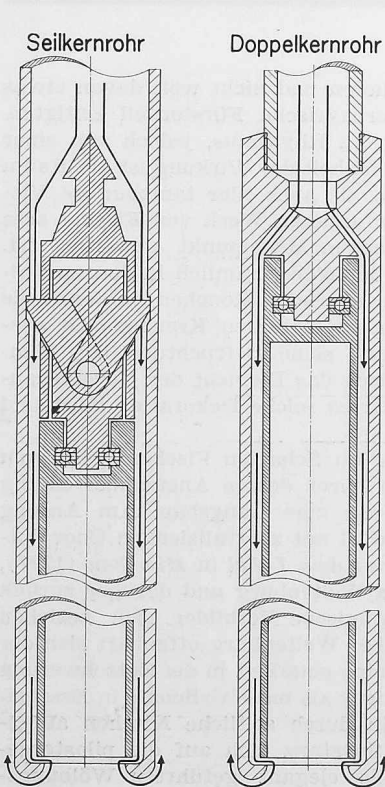


Bild 1. Kernbohrrohre, Schemaskizzen

fernzuhalten, nämlich den Spülstrom und die Rotationsbewegung, um damit die Bildung eines zusammenhängenden Kerns zu fördern. Die bei den Sondierbohrungen gewonnenen Kerne geben wertvolle Unterlagen über Schichtung und Klüftigkeit; dagegen bildet die Kern-Ausbeute bzw. das Mass des Kernverlustes absolut keinen Masstab für die Injektionsbedürftigkeit des betreffenden Gesteins, im Gegenteil, Kernausschüttung und Injektionsbedürftigkeit stehen zueinander oft im umgekehrten Verhältnis.

Das bewährte Mittel zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit eines Gesteins bildet der Wasserabpressversuch im Bohrloch. Durch Einbau von Einfach- oder Doppelkolben können systematisch die Bohrlöcher in Abschnitten geprüft und Verluststrecken lokalisiert werden. Besondere Bedeutung

Durch Sondierungen im Kernbohrverfahren wird der zu injizierende Untergrund aufgeschlossen. Die dabei verwendeten Bohrdurchmesser sollen nicht zu klein sein, um auch in gebräuchlichem Gestein genügende Kernausschüttung zu gewährleisten. Im allgemeinen haben sich für diesen Zweck Bohrdurchmesser von 66 bis 86 mm gut bewährt. Grössere Kaliber bringen selten viel bessere Resultate, ergeben aber bedeutend höhere Sondierungskosten. In vielen Fällen, besonders bei gebräuchlichem und bröckeligem Gestein, ist die Verwendung des Doppelkernrohrs (Bild 1) angezeigt. Seine Konstruktion beruht auf der Überlegung, von dem in das Kernrohr hereinwachsenden Bohrkern die störenden Einflüsse

hat dabei das von Prof. Lugeon aufgestellte Kriterium des Verlustes von 1 l/min/m bei 10 atü: Gestein mit kleineren Verlusten bei Wasserabpressungen gilt im allgemeinen als nicht mehr injektionsbedürftig. Bei grossen Stauhöhen wird der massgebende Druck auf 20 oder sogar 30 atü erhöht. Bei der Beurteilung der Injektionsmöglichkeit eines Felsuntergrundes darf aber nicht nur auf die Resultate der Abpressversuche abgestellt werden; ebenso wichtig ist die Abklärung der Ausmasse und Eigenschaften der zu injizierenden Hohlräume und Klüfte. Um das für den betreffenden Fall beste Injektionsmittel wählen zu können, müssen die Klüftweiten bekannt sein und Aufschlüsse darüber vorliegen, ob die Klüfte sauber oder z. B. mit Lehm verschmiert sind.

Neben diesen Untersuchungen bestehen heute neue Methoden zur Prüfung des Felsuntergrundes — in Löchern von über 86 mm Durchmesser z. B. die Bohrlochfernsehsonde von Dr. Müller, Salzburg, ferner die geoelektrischen Messungen im Bohrloch sowie grosskalibrige Bohrungen (Durchmesser bis 1 m) zur direkten Besichtigung der Felsstruktur.

Zur Planung von grossen Injektionsarbeiten sollte auf Injektionsversuche im betreffenden Felsuntergrund nicht verzichtet werden. Dabei sind nicht nur einzelne, verteilte Bohrungen zu verpressen, sondern eine ganze Lochgruppe ist systematisch in einzelnen Phasen zu behandeln.

Die Mitwirkung des Geologen bei allen diesen Voruntersuchungen sollte selbstverständlich sein.

Im folgenden soll kurz auf die einzelnen Elemente einer Injektion im Fels eingegangen werden: Das Erstellen der Injektionslöcher, das Injektionsgut, die Geräte und die Verpresstechnik.

Erstellen der Injektionslöcher

Hierfür kommen, bei einem Lochdurchmesser von im allgemeinen 35 bis 50 mm, folgende drei Bohrverfahren in Frage: die Schlagbohrung mit dem pneumatischen Bohrhämmer, das drehende Vollbohren und die Kernbohrung. Jedes der drei Verfahren hat seine typischen Hauptanwendungsgebiete. Tabelle 1 gibt eine gedrängte Gegenüberstellung der erwähnten Bohrsysteme mit ihren Vor- und Nachteilen.

Bei den Injektionsschürzen unter Staumauern ist in schweizerischen Verhältnissen die Rotationskernbohrung mit Bohr-Durchmesser 46 mm infolge der in den letzten Jahren erzielten Fortschritte bei der Konstruktion der Bohrgeräte und der Fabrikation von Diamantkronen vorherrschend geworden.

Schnelldrehende Bohrmaschinen von 600 bis 1000 U/min (Bild 2) mit automatischem, hydraulischem oder mechanischem Vorschub haben die alten, langsam drehenden Geräte mit Handvorschub verdrängt. Auch in der Herstellung der Bohrkronen ist die Entwicklung bedeutend: für Kronen in weicherem Gestein stehen heute Hartmetallprismen hoher Qualität zur Verfügung, und für Arbeiten in hartem Gestein hat die Industrie neue Typen maschinell hergestellter Diamantkronen hervorgebracht. In diesen Kronen sind Diamantkörner, -splitter oder Diamantstaub in einer Speziallegierung eingesintert. Durch Variation der Diamantqualität, -grösse und -konzentration und durch Anpassung der Eigenschaften der Bindemasse kann den verschiedensten Anforderungen hinsichtlich Gestein und Bohrgerät entsprochen werden.

¹⁾ Vortrag, gehalten an der 6. Hauptversammlung der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Foundationstechnik am 9. Juni 1961 in Saas-Grund.

Tabelle 1. Bohrverfahren für Injektionslöcher im Fels, Gegenüberstellung

	Schlagbohrung	Drehbohrung mit Vollkrone	Kernbohrung
Bohrtiefe	beschränkt (max. 40 m tief)	beliebig	beliebig
Abhängigkeit vom Gestein	in weichem und bröckeligem Gestein: Gefahr von Verklümmungen	in hartem Gestein: geringe Fortschritte	sehr anpassungsfähig
Bohrkosten	relativ gering	relativ gering	höher als bei 1 und 2
Spülverhältnisse	ungünstig	mässig	sehr gut
Abweichungen aus der Richtung	ab 20 m Tiefe gross	beträchtlich	gering
Eigenschaften des gebohrten Loches	Loch unrund, oft etwas konisch, Wandungen nicht glatt	Loch rund, glatte Wandungen	Loch rund, glatte Wandungen
Eigenschaften hinsichtlich Injektionsvorgang	Inj. im allg. nur von oben nach unten möglich. Klüfte sind evtl. verschmiert	Inj. auch von unten nach oben möglich	Inj. auch von unten nach oben möglich Saubere Klüfte
Geologische Untersuchungsmöglichkeit	kein Uebergang auf Kernbohrung möglich	Uebergang auf Kernbohrung möglich	sehr gut

Injektionsgut

Bei der Wahl des Injektionsgutes geht es primär um die Frage: Abdichtung oder Verfestigung. Stehen die Festigkeitseigenschaften im Vordergrund, scheiden von vornherein eine Anzahl von Injektionsmitteln aus, welche hauptsächlich nur dichtende Wirkung haben.

Als Injektionsgut für Klüftinjektionen nimmt die Zementsuspension den ersten Platz ein. Zement ergibt nicht nur eine vorzügliche Dichtung, sondern erfüllt auch hinsichtlich Festigkeit alle Ansprüche. Bekanntlich wird der Zement für die Injektion in mehr oder weniger Wasser aufgeschlämmt. Das Wasser bildet bei der Verpressung das Transportmittel und befördert die Zementkörner bei genügender Strömungsgeschwindigkeit in die Klüftsysteme. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt dabei mit fortschreitender Entfernung ab bis schliesslich ein Grenzwert erreicht wird, bei dem der Zement aus dem Wasser ausfällt und sich an der Klüftwand ablagert. Durch weiteren Nachschub entsteht in der Klüft ein Aufbau von Zementkörnern, durch den das überschüssige Wasser abfiltriert. Für die Wirkung und Reichweite der Injektionen sind dabei u. a. die Fliessfähigkeit und die Sedimentationsfestigkeit der Suspension massgebend.

Das Mass der *Fliessfähigkeit* hängt natürlich in erster Linie vom Wasseranteil ab. Daneben können die Fliesseigenschaften einer Zementsuspension entscheidend beeinflusst werden durch Zusatzmittel, welche Zusammenballungen ver-

hindern und die Dispersion verbessern, sowie durch Verwendung schnelldrehender Mischpumpen, die eine hochdisperse Suspension aufbereiten.

Auch zur Erhöhung der *Sedimentationsfestigkeit* — die Suspension soll sich auf ihrem Weg möglichst wenig entmischen — werden Zusätze beigegeben, vor allem Ton, Bentonit und Spezialzusatzmittel. Man hat es dabei in der Hand, die Suspension weniger oder mehr zu stabilisieren — auch soweit, dass überhaupt keine Wasserabscheidung mehr erfolgt. Es ist aber zu betonen, dass auch hier das Mischgerät eine ausschlaggebende Rolle spielt, denn nur in einer schnelldrehenden Mischpumpe kann die notwendige innige Durchmischung erreicht werden, die notwendig ist, um die Zusätze voll wirksam werden zu lassen.

Infolge der Grösse des Zementkornes ist die Anwendungsmöglichkeit der Zementsuspension bei feineren Klüften jedoch bald erschöpft. Klüfte mit Weiten unter rd. $\frac{1}{5}$ mm können nicht mehr mit normalem Zement verpresst werden. Für diese Fälle ist der Zement zu verfeinern. Im Handel steht u. a. Kolloidzement zur Verfügung, der allerdings verhältnismässig teuer ist. Daneben besteht aber heute auch die Möglichkeit der Aufbereitung von Portlandzement in modernen Spezialgeräten auf der Injektionsbaustelle. Durch Zirkulation der Aufschlämme in Kolloidmühlen oder schnelldrehenden Spezialpumpen können annähernd gleiche Feinheitsgrade erzielt werden wie bei Kolloidzement. Die

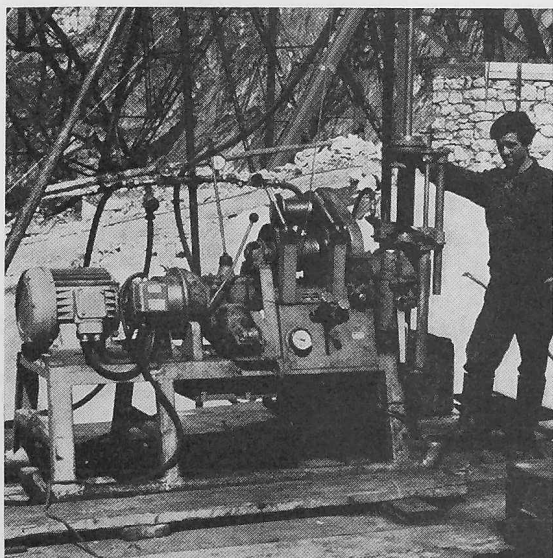


Bild 2. Schnelldrehende Rotationskernbohrmaschine mit hydraulischem Vorschub

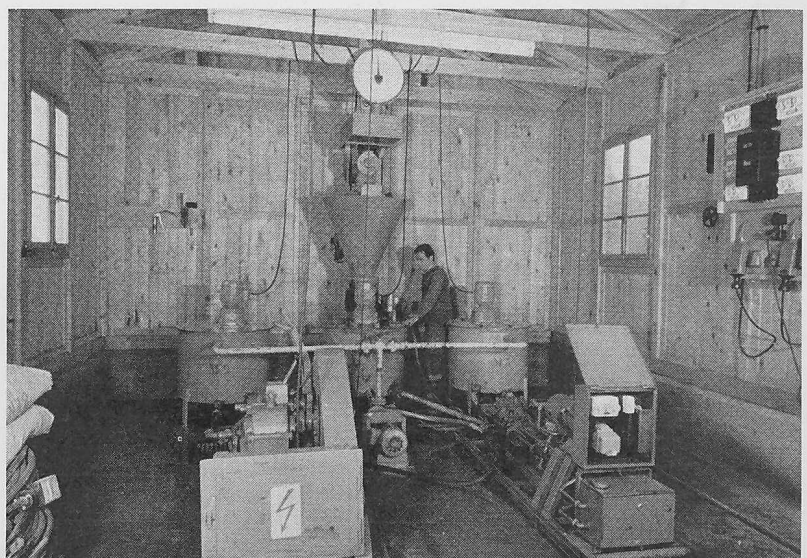


Bild 3. Injektionszentrale für Zementinjektionen

Leistungen dieser Aufbereitung sind allerdings meist nicht gross. Auch für die Injektion dieser kolloidalen Suspension ist es dringend zu empfehlen, Spezialzusätze als Antikoagulatoren beizugeben.

Bei noch feineren Klüftchen und Spalten, wo auch Fein- oder Kolloidzement nicht mehr eindringen kann, muss auf die Injektion von Lösungen übergegangen werden. Meist handelt es sich um Silikatgele.

Schliesslich sind noch die Injektionsmittel für den entgegengesetzten Fall, für die Füllung von Hohlräumen, zu erwähnen. Anders als bei der Klüftinjektion, wo das überschüssige Wasser abfiltriert, werden für diese Aufgabe Suspensionen benötigt, die eine möglichst kleine oder keine Wasserabscheidung aufweisen. In diesem Sinne kommen u. a. hauptsächlich folgende Injektionsmittel zur Anwendung: Zement-Mörtel, stabilisierte Zement-Suspensionen, Zement-Ton-Gemische, thixotropes Tongel. Nötigenfalls ist durch Beigabe von Stopfmitteln oder Füllstoffen (Cellulose, Sägemehl, Sand usw.) eine erste Grobdichtung herbeizuführen. Es muss aber hier, wie zu Beginn dieses Abschnittes, nochmals betont werden, dass auch bei der Hohlraumfüllung für die Wahl des Injektionsmittels zuerst Klarheit über den Zweck der Injektion — Abdichtung oder Verfestigung —

bestehen muss. Je nachdem kommt das eine oder andere der oben erwähnten Injektionsmittel in Frage. Bei eindeutigen Verfestigungsaufgaben wird z. B. reines Tongel ausser Betracht fallen.

Injektionsgeräte

Von diesen ist, was die Mischer betrifft, im vorhergehenden Abschnitt schon mehrfach die Rede gewesen. Wir haben dabei auf die ausserordentliche Bedeutung der Hochleistungsmischer und Dispergiergeräte hingewiesen. An moderne Injektionspumpen, auf deren verschiedene Typen wir hier nicht näher eingehen, werden hauptsächlich zwei Anforderungen gestellt: erstens Kontinuität des Einpressvorganges, d. h. das Injektionsgut muss gleichmässig und nicht schubweise gefördert werden, und zweitens gute Regulierbarkeit der Injektionsgeschwindigkeit und des Einpressdruckes. Hydraulische oder pneumatische Antriebe, sowie stufenlose Getriebe tragen dazu bei, vor allem in der Endphase einer Injektion, eine ganz kleine Injektionsgeschwindigkeit einzustellen und damit plötzliche, grosse Druckerhöhungen und zu frühe Injektionsbeendigung zu vermeiden.

Wesentliche Fortschritte sind in jüngster Zeit auch bei der Einrichtung von Injektionszentralen gemacht worden.

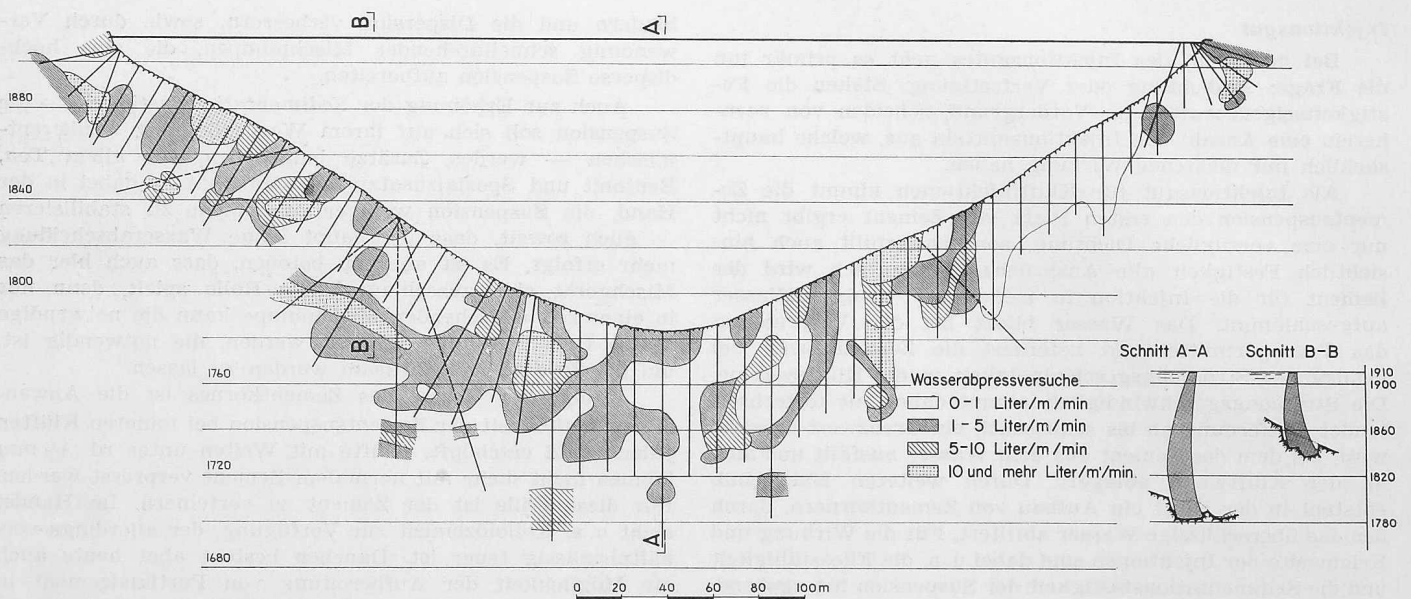


Bild 4. Staumauer Naeps. Felsdurchlässigkeit gemäss Wasserabpressversuchen in den Injektionsbohrungen der ersten und zweiten Phase vor Ausführung der Injektion

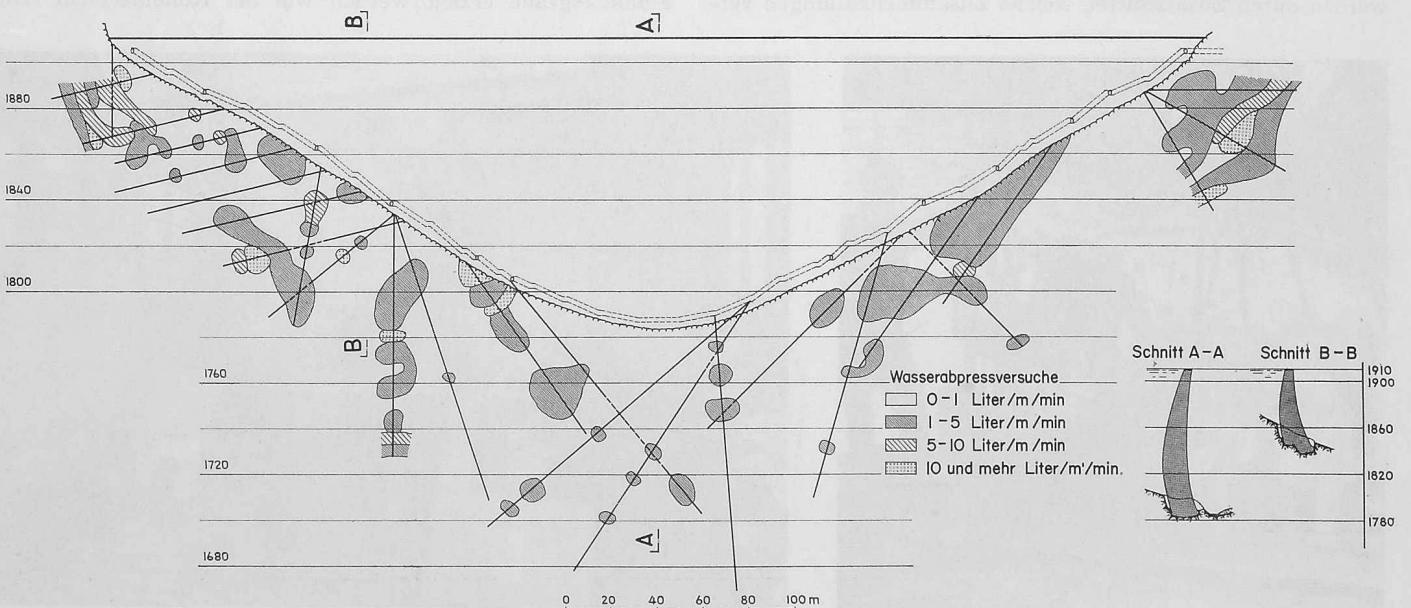


Bild 5. Staumauer Naeps. Felsdurchlässigkeit gemäss Wasserabpressversuchen in den Kontrollbohrungen nach Injektion der Bohrungen von Bild 4. In der Folge wurden weitere Ergänzungsinjektionen angeordnet

Diese werden heute meist als automatische Anlagen eingerichtet, d. h. das Abwägen und Beschicken der Mischer mit Zement und Wasser, der Mischprozess usw. erfolgen automatisch durch Steuerung von einem Kommandopult aus (Bild 3). Diese Lösung bringt nicht nur Arbeitseinsparung, sondern trägt auch wesentlich zur Qualitätsverbesserung des Injektionsgutes bei.

Injektionstechnik

Die Injektion der Bohrlöcher im Fels kann grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten erfolgen: Stufenweise entweder von unten nach oben oder von oben nach unten. Bei guten Felsverhältnissen wird das Vorgehen von unten nach oben das Normale sein. Dabei wird das Bohrloch bis auf seine endgültige Tiefe niedergebracht und nachher durch Einbau eines Injektionskolbens in Sektionen von 3 bis 7 m von unten nach oben verpresst. In Gesteinen, die beim Bohren zu Nachfall neigen oder in Verhältnissen, wo z. B. die oberflächennahen Felspartien ihre Schichtung oder ihrer besonderen Struktur wegen Gefahr laufen, durch den Injektionsdruck abgehoben zu werden, ist der Injektionsvorgang von oben nach unten vorzuziehen. Die Arbeit besteht dabei in einem Wechsel von Bohren, Injizieren, Nachbohren.

Die anzuwendenden Injektionsdrücke schwanken in weiten Grenzen: von wenigen atü bis auf 100 atü. Jeder Fall muss deshalb in bezug auf Aufgabe, Stauhöhe, Felsqualität, Art der Hohlräume, Sicherheit der Decke u. a. m. gesondert untersucht werden. Während der Injektion ist der Druckverlauf ständig zu kontrollieren, um allfällige Aufsprengungen des Untergrundes festzustellen und um die Zusammensetzung des Injektionsgutes laufend der Aufnahmefähigkeit des Felsens anzupassen. Entscheidend wird die Druckbeobachtung in der Endphase des Injektionsvorganges. Die Verpressung muss unbedingt unter steigendem Druck abgeschlossen werden. Viele Misserfolge haben ihre Ursache in vorzeitiger Beendigung der Verpressung, z. B. Abbruch in dem Zeitpunkt, in welchem der vorgeschriebene max. Druck eben knapp erreicht worden ist, ohne dass mit ganz langsamer Injektionsgeschwindigkeit darauf beharrt und weitere Druckanstiegstendenz abgewartet wird. Es ist deshalb zu empfehlen, das Vorgehen in der Endphase der Injektion durch Vorschriften zu regeln, z. B. derart, dass festgelegt wird, die Injektion sei erst dann abzubrechen, wenn beim vorgesehenen Maximaldruck in x Minuten nur noch y Liter Injektionsgut aufgenommen wird. Voraussetzung dafür sind gut regulierfähige Injektionspumpen.

Anwendungsgebiete

Unter den Hauptanwendungsgebieten der Injektionen in Fels spielen die Abdichtungsarbeiten bei Staumauern und -Dämmen die grösste Rolle (Bild 6). Bei den sogenannten *Tiefenschirmen*, die der Abdichtung des Felsuntergrundes des Stauwerkes dienen, handelt es sich um Objekte, die sehr grosse Ausmasse annehmen können — mehrere zehntausend bis hunderttausende Quadratmeter Schirmfläche — vor allem dann, wenn der Injektionsschleier weit in die Flanken der Sperrstelle hineingezogen werden muss. Der Abstand der

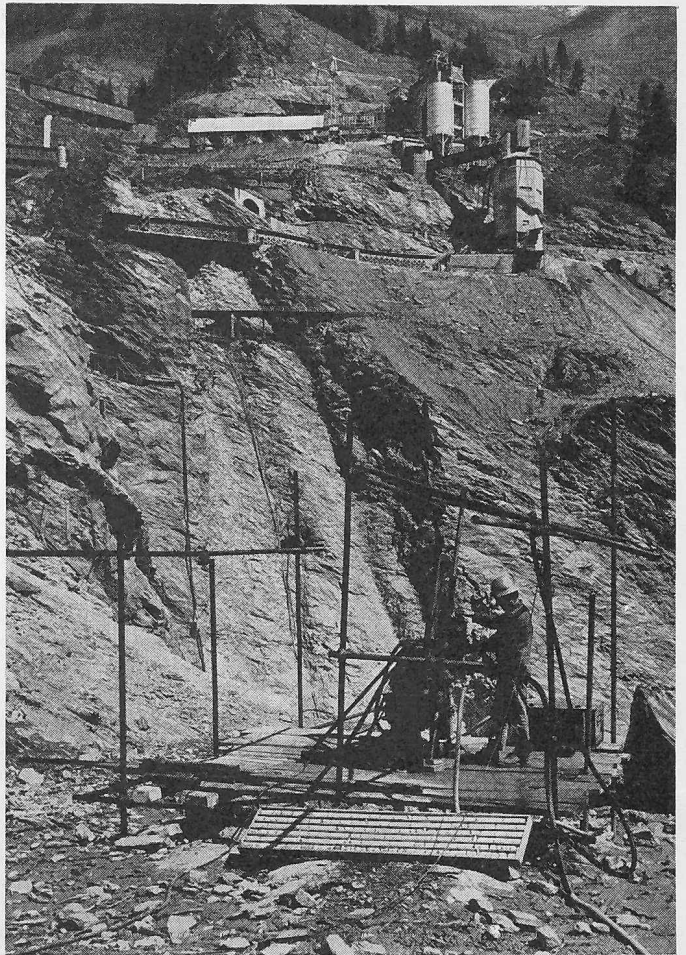


Bild 6. Bohrmaschine im Einsatz an der linken Talflanke der Staumauer Luzzone

Bohrlöcher beträgt je nach Fels im allgemeinen zwischen 3 und 6 m, in extremen Fällen 1 bis 10 m. Die Tiefe der Injektionslöcher, für welche bei der Projektierung auf Grund der Stauhöhe und der Sondierergebnisse im allgemeinen eine minimale und maximale Annahme gemacht wird, muss im Laufe der Arbeitsausführung auf Grund der Ergebnisse der Wasserabpressversuche festgelegt werden. Durch etappenweises Vorgehen in der Reihenfolge der Injektionslöcher — zuerst ein weitmaschiges Netz von Orientierungsbohrungen, nachher Injektionslöcher mit grossen Abständen (10 bis 16 Meter) und schliesslich Einfügen von Zwischenlöchern — kann der Fortschritt der Abdichtungsarbeit laufend festgestellt werden (Bild 4). Um aber die Wirksamkeit des Injektionsschirmes eindeutig zu prüfen, ist das Abteufen von Kontrollbohrungen mit Wasserverlustmessungen unerlässlich. Es ist zu empfehlen, die Kontrollbohrungen nach einem gewissen Schema anzuordnen, um systematisch die ganze

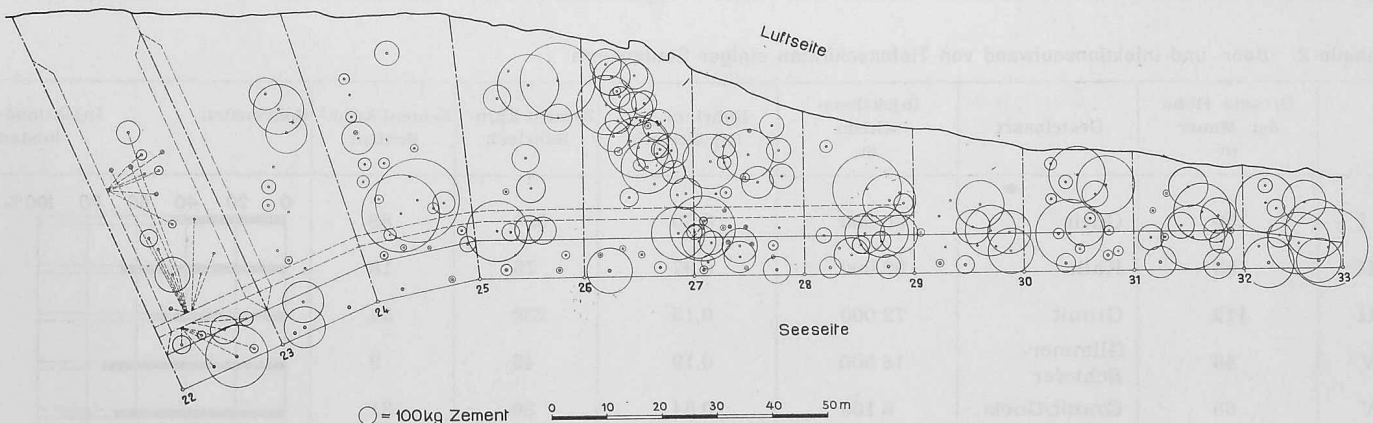


Bild 7. Staumauer Albigna. Kontaktinjektionen der Blöcke 22 bis 32

Ausdehnung des Injektionsschirmes prüfen zu können (Bild 5). Oft erfolgt die Disposition der Kontrolllöcher zu sehr nach Gefühl, was die Gefahr mit sich bringt, dass gewisse Partien des Dichtungsschleiers ohne ausreichende Kontrolle bleiben.

Ein weiteres Glied in der Abdichtung des Staumauer-Untergrundes bilden die *Kontakt- und Konsolidierungs-Injektionen*. Durch ein dichtes Netz von 10 bis 30 m tiefen Bohrungen, die regelmässig über die Fundamentfläche verteilt sind und die bei klüftigen Felspartien noch durch zusätzliche Löcher ergänzt werden, erfolgt die Abdichtung der unter dem Staumauerfundament, bzw. unter dem Dammkern liegenden obersten Felspartie (Bild 7). Der Ausdruck «Kontaktinjektion» hat bei Staumauern viel von seiner ursprünglichen Bedeutung verloren, da die Kontaktzone Fels-Beton heute meist so gut ist, dass sie kaum Injektionsgut aufnimmt. Die Bedeutung dieser Injektionen liegt deshalb vor allem in der Behandlung des Fundamentfelsens, der durch die Ausubarbeiten oder durch Entspannung in seinem Gefüge gestört sein könnte.

Für die Verpressung des Felsuntergrundes der Staumauern dient fast durchwegs Zementsuspension. Das Mischungsverhältnis Zement : Wasser wird dabei in weiten Grenzen variiert und schwankt zwischen 1 : 10 bis über 1 : 1. Für die Behandlung des Injektionsgutes, die Zusatzmittel, die Technik usw. gelten die Ausführungen der früheren Abschnitte.

Im Rahmen des Kraftwerkbaues haben die Injektionen bei *Kavernen und Stollen* grosse Bedeutung erlangt. Meist handelt es sich dabei um zwei getrennte Aufgaben: Erstens die Verpressung des Raumes zwischen Scheitel und Fels, d. h. eine Hohlraumfüllung mit niederem Druck, und zweitens die Injektion des den Stollen umgebenden Felsmantels in einer Tiefe von einigen Metern mit hohem Druck, d. h. eine Kluftinjektion. Während es früher üblich war, die Mischer und Injektionspumpen direkt im Stollen aufzustellen und laufend mit fortschreitender Arbeit zu versetzen und am jeweiligen Standort mit Zement zu versorgen, ist das bei den heutigen gedrängten Bauprogrammen meist nicht mehr möglich. Die Injektionszentrale muss deshalb vor dem Stollenportal aufgestellt und das aufbereitete Injektionsgut durch Leitungen an die Verbrauchsstellen im Stollen gepresst werden. Bei Hochdruckinjektionen übernimmt eine im Stollen eingesetzte Sekundärpumpe das Injektionsgemisch und presst es in die Injektionslöcher. Bei den Niederdruck-Scheitelfüllungen kann meist direkt von der Zentrale her in die Löcher gepumpt werden. Dank der früher erwähnten Kolloidalmischer können nicht nur Leitungslängen von bis 2000 Meter angewendet, sondern auch Mörtelmischungen mit einem Zement/Sand-Gewichtsverhältnis von bis 1 : 3 bei kleinem Wassergehalt auf diese Distanzen gefördert werden.

Als bedeutendes Teilgebiet der Injektionen im Festgestein ist die *Verpressung von Betonfugen*, im besonderen Staumauerfugen (Bild 8) und von Ankern, speziell Vorspannankern, zu erwähnen. Wir haben diese miteinander aufgeführt, weil beide in gleicher Weise dicht abgeschlossene Hohlräume darstellen. Die Staumauerfuge ist allseitig von Fugenbändern oder Blechen dicht umschlossen und hat eine Weite

von höchstens einigen Millimetern. Es wäre erwünscht, die Füllung dieses Hohlraumes in einer einzigen Etappe durchführen zu können. Zu diesem Zweck müsste eine Zementsuspension ohne Wasserabscheidung und mit kleinem Wassergehalt verpresst werden. Wie wir oben gesehen haben, lässt sich eine solche Mischung ohne Schwierigkeiten aufbereiten. Bei deren Verpressung in die engen Blockfugen ergeben sich jedoch Schwierigkeiten dadurch, dass trotz reichlicher Vorspülung mit Wasser, die Betonflächen dem Injektionsgut rasch so viel Wasser entziehen, dass die Suspension auf ihrem Weg in der Fuge zu zäh wird und sich zu

wenig ausbreitet. Man zieht es deshalb vor, wasserreichere und nicht volumenbeständige Zementsuspensionen in die Fugen zu injizieren und den Vorgang mehrere Male zu wiederholen, bis die Fuge ganz gefüllt ist. Zu diesem Zwecke wird ein Leitungssystem mit Injektionsventilen eingebaut, die eine beliebige Anzahl Nachinjektionen ermöglichen. Bei der Injektion der Vorspannanker hingegen muss der Vorgang in einer Phase abgeschlossen werden können. Hier kommt in geeignetem Mischungsverhältnis und unter Beigabe von besonderen Zusatzmitteln ein volumenbeständiger oder während des Abbindens sogar noch etwas expandierender Mörtel mit kleinem Wassergehalt zur Anwendung.

Ein weiteres grosses Anwendungsgebiet für Injektionen im Festgestein bilden die Konsolidationen von altem Mauerwerk und porösem Beton, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

*

Es ist in diesem Zusammenhang angebracht, noch kurz auf die Art der *Ausschreibung und Abrechnung* von Zementinjektionen einzugehen. Früher war es allgemein üblich, die Injektionsarbeit pro Tonne injizierten Zementes zu vergüten, unabhängig davon, ob viel oder wenig Zement aufgenommen wurde. Dabei kam dieser Modus auch in Fällen zur Anwendung, bei denen gar keine Unterlagen über die mutmassliche Injektionsaufnahme vorhanden waren. Eine seriöse Preis-

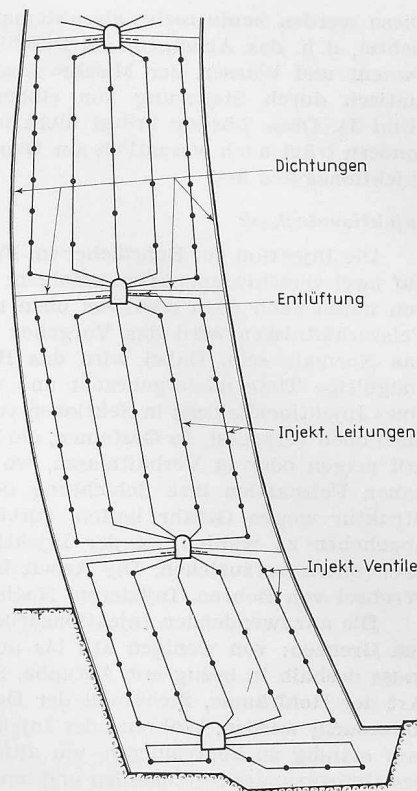


Bild 8. Injektionsschema einer Staumauerfuge

Tabelle 2. Bohr- und Injektionsaufwand von Tiefenschirmen einiger Staumauern

	Grösste Höhe der Mauer m	Gesteinsart	Injektions-schirm m	Bohrl. m ² /m ² Inj.-Schirm	Zement kg/m ³ Bohrloch	Zement kg/m ² Schirm	Bohrkosten	Injektionskosten
I	150	Gneis	30 000	0,50	350	88	0	100%
II	153	Kalk	92 000	0,97	75	18		
III	112	Granit	72 000	0,15	230	34		
IV	43	Glimmer-Schiefer	16 500	0,19	45	9		
V	60	Granit/Gneis	6 100	0,54	80	31		
VI	130	Gneis	19 000	0,43	45	20		

berechnung war unter diesen Umständen unmöglich, und für eine sorgfältige Injektionsausführung bestand in Fällen kleiner Zementaufnahmen wenig Gewähr. Man sollte deshalb die Entschädigung pro t Zement nur für Injektionsaufgaben anwenden, bei denen einerseits auf Grund von Voruntersuchungen oder dgl. einigermaßen sichere mittlere Verbrauchsannahmen getroffen werden können und bei denen andererseits nicht mit zu kleinen Injektionsaufnahmen gerechnet werden muss. Auch die «Verbesserung» des obigen Abrechnungsmodus durch Vergütung pro Kubikmeter Injektionsgut (Zement + Wasser) vermag die Unsicherheit in der Kalkulation nicht zu beseitigen. Wohl wird die Förderleistung durch Miteinbeziehen des Transportwassers besser erfasst, aber die grundsätzlichen Nachteile des ungestaffelten Tonnen-Preises bleiben (Tabelle 2).

Wir haben im Abschnitt «Injektionstechnik» gesehen, wie wichtig die kleine Injektionsgeschwindigkeit und das ausdauernde Beharren auf dem Injektionsdruck bei kleinen Zementaufnahmen und in der Endphase einer Injektion sind. Es ist deshalb anzustreben, den Verrechnungsmodus für die Injektionsarbeit diesen technischen Forderungen anzupassen. Dies kann auf zwei Arten geschehen: durch Vergütung der Betriebsstunden der Injektionspumpen oder durch Staffe- lung des t-Preises entsprechend verschiedenen, abgestuften Zement-Aufnahmen pro m' eines Injektionsloches. Diese letztgenannte Methode wird in vielen Fällen, besonders auch bei grossen Injektionsschirmen unter Staumauern, mit gutem Erfolg angewendet. Die Verrechnung von Pumpenstunden ist dagegen eher bei kleineren Arbeiten, oder bei Verpres- sungen mit voraussichtlich kleiner Zementaufnahme, bei Fugeninjektionen oder dergleichen, angebracht.

Adresse des Verfassers: K. Boesch, dipl. Ing., Stump Bohr AG, Othmarstr. 8, Zürich 8.

Mitteilungen

Der Bau von Hochstrassen. Eine Hochstrasse ist, konstruktiv betrachtet, ein Brückentragwerk grösserer Länge mit einer Folge etwa gleicher, kurzer Felder. Der Spannbeton herrscht heute als Baustoff eindeutig vor. «Beton- und Stahlbetonbau» behandelt in Heft 7/1961 die technische Entwicklung, die Lagerausbildung, die Stützenanordnung (meist einreihig), die konstruktive Ausbildung des Oberbaues (vorwiegend Hohlkästen) und Fragen der Bauausführung. Auch die Vorfabrikation von Einbauteilen wird erwähnt. Zahlreiche Photos und Zeichnungen machen die sehr konzentrierte Aufzählung anschaulicher. Ein praktisches Beispiel, die «Brücke» am Kettiger Hang bei Andernach, ist in der «Schweiz. Bauzeitung», Heft 8, S. 122, letzten Jahrganges beschrieben. «Der Bauingenieur», Heft 7/1961, bringt die ausführliche Beschreibung einer Hochstrassenkonstruktion in Fertigteil-Verbundbauweise, die von den Firmen Krupp & Dörnen entwickelt wurde. Die Deutsche Industriemesse 1961 in Hannover zeigte ein Teilstück mit Rampe, total 600 m², als Modell 1:1. Die Konstruktion ruht auf eingespannten Rohrstützen von 70 cm ϕ . Den Oberbau bilden ein aussen völlig glatter, kastenförmiger Stahlhauptträger, bei dem alle Anschlüsse in das zugängliche Innere verlegt sind, und darauf mit hochfest vorgespannten Schrauben befestigten, auskragenden Eisenbeton-Fertigpatten. Besondere Sorgfalt wurde auf die Ausbildung der Vollstösse und Normalkraftgelenke gelegt. Die Fahrbahn erhält eine Längsvorspannung durch Heben und Senken der Stahlkonstruktion, eventuell durch zusätzliche Kabel über den Stützen.

Der aufgeladene Zweitakt-Dieselmotor der Maschinenbau Kiel GmbH. Ueber die Gesichtspunkte, die bei der Entwicklung dieses Motortyps massgebend waren, berichtet Dr. H. Müller, Kiel, in der «Motortechnischen Zeitschrift» 1961, Heft 11, S. 413. Die gedrängt gebaute schnelllaufende Maschine weist Längsspülung mit im Zylinderdeckel eingebauten Auspuffventilen auf und wird mit Abgasturbogeläsen aufgeladen. Der Tauchkolben wird mit Oel gekühlt und hat vergrösserte Laufflächen für das Kolbenzapfenlager (Bild 1). Die Auspuffventile werden durch geeignete Mate-

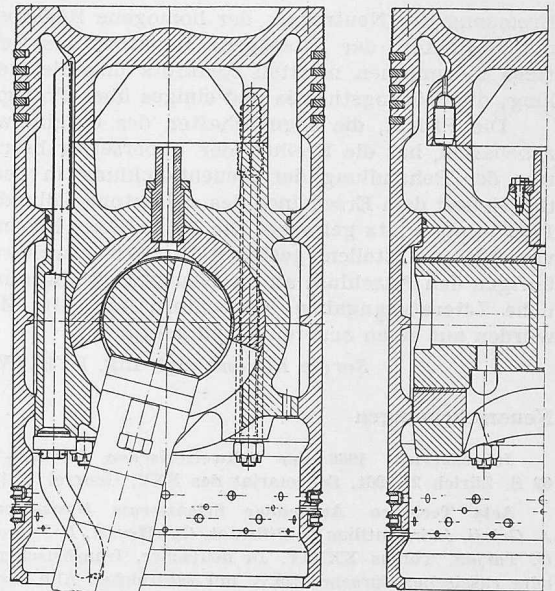


Bild 1. Kolben eines MaK-Zweitakt-Dieselmotors

rialauswahl und durch Panzerung der Ventilsitze hochtemperaturfest gestaltet. Ihr Antrieb erfolgt von der hochliegenden Nockenwelle über Stosstangen und Kipphebel. Die Maschine der Ma K gibt bei 290 mm Bohrung, 420 mm Hub, 375 U/min 200 PS je Zylinder, was einem mittleren effektiven Druck von 8,7 kg/cm² entspricht. Der günstigste Verbrauch liegt bei 163 g/PSch, der Vollastverbrauch bei 165 g/PSch.

Persönliches. Der bisherige Unterabteilungschef beim Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, *Louis Kolly*, dipl. Ing., ist zum Vizedirektor des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau gewählt worden. — In der Elektrowatt AG. in Zürich ist *Alois Späni* zum Vizedirektor befördert worden. — In Zürich hat *Mario Kronauer*, dipl. Ing., früher als Direktor einer Strassenbaufirma, zuletzt im Büro Eichenberger tätig, ein eigenes Ingenieurbureau eröffnet.

Nekrologe

† **Georg Willi**, Masch.-Ing. S. I. A., Inhaber einer Maschinenfabrik in Chur, ist am 17. Dez. 1961 in seinem 81. Lebensjahr nach kurzer Krankheit gestorben.

† **Alfred Engler**, dipl. Masch.-Ing. S. I. A., G. E. P., von St. Gallen, geboren am 23. März 1896, ETH 1914 bis 1919, a. Direktor der Betriebsabteilung der NOK in Baden, ist am 22. Dez. 1961 gestorben.

† **Otto Baumberger**, von 1934 bis 1959 Professor für farbiges Gestalten, Schriftzeichnen und Zeichnen nach der Natur an der ETH, ist am 26. Dez. 1961 in Weiningen ZH in seinem 72. Altersjahre verschieden.

Buchbesprechungen

Kernreakorthorie. Eine Einführung von *S. Glasstone* und *M. C. Edlund*. Ins Deutsche übersetzt und bearbeitet von *W. Glaser* und *H. Grumm*. X, 341 S. mit 82 Abb. Wien 1961, Springer-Verlag. Preis Fr. 40.90.

Die vorliegende Uebersetzung des «Glasstone und Edlund» wird sicher in weiten Kreisen deutschsprachiger Leser begrüsst werden, besonders von Professoren und Studenten, da die didaktischen Eigenschaften dieses Werkes bekannt und immer geschätzt worden sind. Die deutsche Uebersetzung bewahrt den Charakter des Originalwerkes; der Buchaufbau bleibt der selbe. In vierzehn Abschnitten werden folgende Themen behandelt: Kernstruktur und ihre Eigenschaften; Wechselwirkungen der Kerne mit anderen Teilchen; Erzeugung und Reaktionen von Neutronen; der Spaltungsprozess und die Kettenreaktionen; die Diffusion und