Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83 (1965)
Heft: 42: Prof. G. Schnitter zum 65. Geburtstag, 1. Heft

Artikel: Die Entwicklung der Injektionen in den letzten Jahrzehnten
Autor: Blatter, Charles E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68286

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

sich immerhin darum, in diesem kurzen Zeitraum ein Brückenbauwerk von 216 m Länge über Wasser zu errichten. Es bedurfte aussergewöhnlicher Anstrengungen, um das für diese Zwecke benötigte Spezialgerät wie auch einige mit diesem Brückenbau vertraute Ingenieure und Facharbeiter aus dem Ausland zur Schadenstelle heranzuholen.

Unbestreitbar ist es eine beachtenswerte Leistung der mit den Wiederherstellungsarbeiten beauftragten Firmen *Precomprimido C.A.* und *Julius Berger AG*, die Brücke in der vorgeschriebenen Zeit von nur sechs Monaten wieder aufgebaut zu haben, so dass sie am 30. Oktober 1964 dem Verkehr wieder übergeben werden konnte. Der Umfang der Leistung wird umso mehr erkennbar, als in dieser Zeit nicht nur 3230 lfdm Pfähle mit 91,4 cm Durchmesser gerammt und 7040 m³ Beton, davon 1850 m³ Spannbeton, mit 830 t Betonstahl und 110 t Spannstahl eingebaut wurden, sondern unter schwierigsten Umständen fast 3000 t Trümmer aus dem See geborgen wurden.

Sehr erschwerend für die Einhaltung des geforderten Termins war der Umstand, dass die Trümmerbeseitigung statt der vorgesehenen 35 Kalendertage 84 Tage benötigte. Die wirkliche Bauzeit vom Rammen des ersten Pfahles bei Pfeiler 31 bis zur Verkehrsübergabe betrug dann nur 115 Kalendertage. Aus dem Arbeitsplan (Bild 14) ist zu ersehen, wie die Ist-Zeiten trotz starkem Rückstand letzten Endes das Soll noch nahezu erreichten.

Nahezu 700 Ingenieure und Arbeiter waren in der Hauptbauzeit Tag und Nacht auf der Baustelle tätig, und ihrem rastlosen Einsatz ist die einmalige Rekordzeit zu verdanken.

Im Zusammenhang mit diesem Unglücksfall ist in der Öffentlichkeit Venezuelas die Notwendigkeit von Schutzbauten zur Sicherung der Pfeiler gegen Schiffsstösse leidenschaftlich erörtert worden. Das hier geschilderte Unglück hat nicht nur Menschenleben gefordert, sondern darüber hinaus dem Lande sehr grosse wirtschaftliche Schäden zugefügt. Diese Schäden sind ausser den Kosten für die Wiederherstellung der Brücke vor allen Dingen die Folgen der Unterbrechung der Verbindung zwischen den beiden Ufern des Sees. Um diese notdürftig aufrecht zu erhalten, musste die frühere Fährverbindung provisorisch wieder hergestellt werden, für welche die Fährschiffe aus anderen Gegenden heranzuschaffen waren.

Es soll nicht Aufgabe dieses Aufsatzes sein, sich mit der Notwendigkeit von Schutzbauten auseinanderzusetzen. Das hier geschilderte Beispiel zeigt aber, dass Schutzbauten allein für die Schifffahrtsöffnungen nicht ausreichend sind, sondern, wenn sie eine absolute Sicherheit darstellen sollen, einen Umfang einnehmen würden, der wirtschaftlich kaum noch vertretbar scheint. Hinzu kommt, dass für die Bemessung solcher Schutzbauten die Grösse der in der Zukunft verkehrenden Schiffe kaum übersehbar ist. Während im Jahre 1962 auf dem See von Maracaibo Tanker mit einem Fassungsvermögen bis zu 36000 t verkehrten, ist in neuester Zeit schon ein Tanker mit über 90000 t beobachtet worden. Zweifellos verdient der Schutz von Brückenpfeilern in Gewässern, die von grossen Schiffen befahren werden, besondere Aufmerksamkeit, wobei nicht nur an baulichen Schutz, wie massive oder bewegliche Leitwerke, Schlepphilfe usw., sondern auch an optische und akustische Signalanlagen, oder sogar automatische Kursbeeinflussung durch Radargeräte und Elektronik zu denken ist. Hier gilt es, die bestmöglichen Lösungen zu finden, um in Zukunft derartige Katastrophen mit grösster Wahrscheinlichkeit zu verhindern.

Adresse des zweitgenannten Verfassers: Dr.-Ing. *Rudolf Hemmleb*, bei Julius Berger AG, 6200 Wiesbaden, Biebricher Allee 37

Die Entwicklung der Injektionen in den letzten Jahrzehnten

DK 624.138.24

Von **Charles E. Blatter**, dipl. Ing., Swissboring AG, Zürich

Einleitung

Die Anwendung der Injektionen im Untergrund ist heute eine allgemein gebräuchliche Baumethode geworden. Es ist bekannt, dass diese Methode bereits am Anfang des 19. Jahrhunderts in Frankreich mit Erfolg angewendet worden ist, aber die kräftige Entwicklung hat eigentlich erst in den zwanziger Jahren und dann erneut nach dem Zweiten Weltkrieg begonnen. Der Bau der grossen Talsperren, der damals intensiv in Angriff genommen wurde, hat die Entwicklung der Injektionen zu einer Notwendigkeit gemacht.

In der Schweiz wurde bereits beim Bau der ersten Grimselsperren (Gelmer, Seeuferegg und Spitallamm) in den Jahren 1928–1931 der Fels mit Injektionen gedichtet, wobei es sich bei dem massigen Aaregranit um die Verschliessung von mehr oder weniger grossen Spalten handelte. Als Injektionsmittel wurde Zement, eventuell unter Beimischung von Sand, verpresst.

Die für die Einpressungen verwendeten Mischungen waren jedoch nicht stabil, und der im Wasser suspendierte Zement setzte sich rasch ab, wodurch Reichweite und Eindringungsfähigkeit der Injektion stark begrenzt werden. Die Entwicklung der Methoden ging in den letzten Jahrzehnten dahin, dass man erstens stabilisierte Suspensionen aufgebaut und zweitens chemische Injektionsmittel für besondere Zwecke vermehrt verwendet hat.

Injektionstechnik

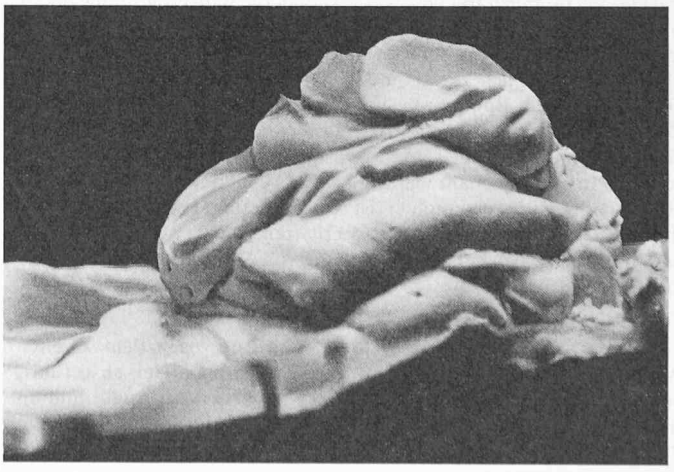
Bei der Injektion von kornförmigen Stoffen hat man sich zum Ziele gesetzt, dass die Injektionsmischungen praktisch keine Dekantation mehr aufweisen, während der Injektion genügend flüssig sind und nach der Injektion eine genügende Steifheit ergeben. Diese Injektionsmittel sind auch wasserabweisend, so dass sie im fliessenden Wasser verwendet werden können (Bild 1).

Die Stabilisierung der Mischungen kann durch chemische, physikalische oder mechanische Aktivierung erfolgen. Als chemische Aktivierung bezeichnen wir die Beimischung von kolloidalen Zusätzen zu gröberen Stoffen oder die Deflokulation von kolloidalen Tonen durch chemische Behandlung. Als kolloidale Zusätze werden oft Wasserglas oder Bentonit gebraucht. Es war üblich, die Mischungen reich mit Zement zu dosieren; man erhält damit eine sehr hohe Festigkeit des Endproduktes, die aber in vielen Fällen nicht erforderlich ist. Die Grenze der Injektionsfähigkeit liegt bei einem Zementwasserfaktor von 2:1 bis 2,3:1. Bei den stabilisierten Mischungen wird der Zementgehalt eher niedrig gehalten. Die Dispersion durch physikalische Mittel wurde von *Florentin* und *L'Hériteau* empfohlen. Durch Aufheizung des zementhaltigen Injektionsmittels auf 25° bis 35° erhält man für Mischungen von 2:1 eine stabilisierte, nicht dekantierende Suspension.

Am meisten verbreitet ist die mechanische Aktivierung, die darin besteht, dass die Injektionsschlämmen in einem leistungsfähigen Mischer bearbeitet werden. Die Mischer sind zum Teil ähnlich einer Kolloidmühle und sind bekannt unter den Namen Hochturbulenz-, Colcrete, Akti-, Turbo- oder Swibomischer. Sie ergeben eine Laminierung, die die Zementkörner von ihrer hydratisierten Hülle befreien, wodurch kolloidale Eigenschaften hervorgerufen werden.

Die Herstellung von stabilisierten Mischungen hat dann auch die Aufbereitung von Mörteln gestattet, welche sich durch hohe Druckfestigkeiten auszeichnen. Es sind vor allem zwei Verfahren, das Prepaktverfahren [1] aus den USA und das Colgroutverfahren [2] aus England, die stabilisierte Mörtel verwenden und daher auch zur Herstellung von Beton durch Injektion geeignet sind. Der Prepaktmörtel zeichnet sich durch einen abgestuften Kornaufbau aus. Neben Sand 0 ÷ 1 mm wird Portland-Zement und Flugasche (Alfesil) beigemischt, so dass praktisch alle Korn-Abstufungen vorhanden sind.

Bild 1. Stabilisierte Injektionsmischung, im fliessenden Wasser abgelagert



Dazu kommen Plastifizierungs- und Schwellmittel, sowie ein Luftporenbildner. Dieser Mörtel bekommt genau vorgeschriebene Viskositätseigenschaften. Der Colgroutmörtel, der ebenfalls zur Betonherstellung (Colcrete) dient, wird nicht wie der Prepaktmörtel durch chemische Aktivierung hergestellt, sondern durch mechanische. Die Mörtelmischung wird in einem besonderen Mischgerät «Colcrete-Mixer» aufbereitet und aktiviert, wobei, als besonderes Merkmal, der Sand von Anfang an beigemischt wird.

Die heute am weitesten verbreitete Injektionsmischung ist auf Ton- und Zementbasis aufgebaut. Der Ton als Injektionsmittel ergibt sehr stabile und eindringungsfähige Mischungen, die durch Zugabe von Zement steif und gegen Erosion widerstandsfähig gemacht werden. Die Eindringungsfähigkeit ist so stark verbessert, dass Sand- und Kiesböden behandelt werden können. Falls der Boden das Zementkorn, das in den Mischungen enthalten ist, nicht aufnimmt, müssen die Mischungen auf Tonbasis mit Chemikalien gelifiziert werden. Anstelle von gewöhnlichem Ton wird oft auch Bentonit [3], ein Ton mit hochkolloidalen Eigenschaften, verwendet. Es ist aber zu sagen, dass nicht die gleiche Steifheit erreicht werden kann wie bei Ton-Zementinjektionen. Es ist durch diese Mischungen, die zudem noch wesentlich billiger sind als reine Zementsuspensionen, möglich geworden, Grobsande mit Ton-Zementgel und Mittelsande mit chemisch stabilisiertem Ton- oder Bentonitgel zu behandeln. Für die Feinsande muss man dann rein chemische Mittel in Anwendung bringen, auf die wir nachher eintreten werden.

Ein breites Band der Injektionsmöglichkeiten wird daher heute von den Ton-Zementinjektionen bestrichen, wobei mit Zusätzen von Sand und Filler auch grosse Hohlräume auf ökonomische Weise verpresst werden können.

Auch die Injektionstechnik hat sich im Laufe der Zeit verändert. Früher hatte man bei den Felsverpressungen die Bohrlöcher stufenweise von oben oder unten her solange ausinjiziert, bis bei einem bestimmten zulässigen Druck die Aufnahme nicht mehr möglich war. Bei der Behandlung von grossen Hohlräumen im Lockergestein und von grossen offenen Spalten im Fels kann man nach dieser Methode nicht mehr vorgehen, sondern die Mengen, die man verarbeitet, müssen begrenzt werden.

Während im Fels bei grossen Aufnahmen einige hundert kg pro Meter Bohrloch die Regel sind, muss bei Injektionen im Alluvium mit Mengen von einer bis mehreren Tonnen pro Meter Bohrloch gerechnet werden. Man muss aber in Betracht ziehen, dass die Kosten bei einer reinen Zementinjektion etwa viermal grösser sind als bei einer Ton-Zement-Injektion. Man kann also eine viel grössere Menge verpressen, ohne dass die Ausgabe untragbar wird. Erst diese ökonomischen Mittel haben gestattet, grössere Injektionsprobleme in Angriff zu nehmen.

Für das Einbringen des Injektionsgutes in den Boden hat man ebenfalls neue Methoden gefunden. Es werden nicht mehr Lanzen ins Alluvium geschlagen, sondern mit grossen, leistungsfähigen Geräten Bohrlöcher abgeteuft. Rotary-Bohrmaschinen oder schwere Druckluftbohrhämmer für Überlagerungsbohrungen bei blockigem Material erlauben Leistungen von mehreren m pro Stunde. In diese Bohrlöcher werden Manschettenrohre versetzt (Bild 2). Es sind dies Injektionsrohre mit Gummimanschetten, die als Ventile dienen und das Injektionsgut mit einem Doppelkolben an einer bestimmten Stelle in den Boden einleiten. Daher können verschieden zusammengesetzte Injektionsmittel im gleichen Bohrloch nacheinander verpresst werden. Zudem kann man die Baustelle der Bohrungen von derjenigen der Injektionen räumlich trennen, was gestattet, die Bau-Programme besser zu entwickeln. Das Manschettenrohr hat sich bei der Injektionstechnik weitgehend eingebürgert. Bei chemischen Injektionen wird oft auch eine einfachere Methode verwendet, die darin besteht, dass direkt durch das Bohrgestänge verpresst wird. Nachdem dann eine Zone von 1 ÷ 2 m behandelt ist, kann man weiter hinunterbohren und eine neue, unten liegende Passe in Angriff nehmen. Die vorhergehende Injektion schafft dann eine Decke und wirkt im Bohrloch abdichtend. Selbstverständlich ist diese Methode nur zulässig mit Injektionsmitteln, die nicht stark erhärten, wie Tongel, Bentonitgel und Silikatgel. Auch bei der Behandlung von Manschettenrohren kann man keine mehrmaligen Zementinjektionen vornehmen.

Tongelinjektionen

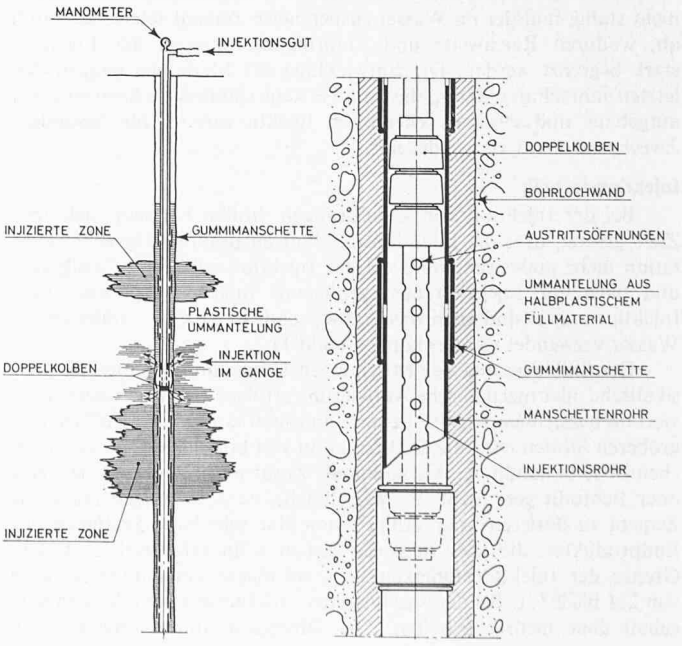
In der Schweiz wurden während und kurz nach dem Zweiten Weltkrieg die ersten Injektionen mit Zement-Ton-Gel ausgeführt, und zwar beim Wehr des Kraftwerkes Rupperswil-Auenstein und an einem Damm des Kraftwerkes Kallnach. Grössere Arbeiten folgten in Rupperswil 1946–48, wo die Unterströmung der Seitendämme des Kraftwerkes [4] gedichtet werden musste. Es hat sich nämlich beim Einstau des Kraftwerkes im Jahre 1945 gezeigt, dass am Dammfuss Quellen aufgetreten sind, die in direktem Zusammenhang mit dem Flusswasser waren. Nachdem keine oder nur eine sehr schwache natürliche Kolmatierung des Flussbettes eingetreten war, musste man an eine künstliche Abdichtung schreiten. Die mit thixotropem Tongel durchgeführten Arbeiten haben zu einem vollen Erfolg geführt und den Weg zur Behandlung von alluvialem Untergrund von grossen Staudämmen geöffnet [5].

Im Jahre 1951 erfolgte dann eine weitere Dichtung eines ausgespülten Seitendammes eines Kraftwerkes, nämlich des Dammes zwischen Limmat und Lettenkanal des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Beim Umbau des Lettenwehrs wurde eine Stauerhöhung von rund 2 m vorgesehen, und daher musste der Damm mit Betonplatten verkleidet werden. Der Untergrund war jedoch mit grossen Hohlräumen durchsetzt, und bei entleertem Kanal machte sich der Wasserdruck von der Seite Limmat bemerkbar (Bild 3). Die Injektion erfolgte mit Tongel und musste dem herrschenden Wasserdruck widerstehen. Die Dichtigkeit des Dammes konnte mit diesen Verpressarbeiten wieder hergestellt werden.

Im Jahre 1949 ist der Bau des Juliawerkes Marmorera beschlossen worden, wobei sich die Frage der Abdichtung des linken Talhanges in Bergrutschmaterial gestellt hat. Der Damm von Castiletto ist nämlich auf seiner linken Seite auf dieses Bergrutschmaterial abgestellt, während auf der rechten Seite der Fels ansteht [6]. Das Vertrauen in die Ausführung von Injektionen im Lockergestein war anfangs noch ungenügend, und vor allem bezweifelte man die Wirtschaftlichkeit eines solchen Injektionsschirms. Man entschloss sich, die Abdichtung des Bergrutschmaterials vorläufig mit einem bergmännisch erstellten Betondiaphragma vorzunehmen. Erst Ende des Jahres 1951 wurden dann Injektionsversuche durchgeführt und zwar mit Tongelinjektionen einerseits und mit Bitumeninjektionen (Shellpermverfahren) anderseits. Die Resultate des Versuchs mit Tongel waren erfolgversprechend, so dass die Dichtung des Bergrutsches zwischen den Koten 1638 und 1684 mit Injektionen erfolgte. Die Fläche der Injektionsdichtung mit Tongel ist ungefähr gleich gross wie diejenige des Betondiaphragmas. Die Resultate der 1955 fertiggestellten Injektionsarbeiten sind sehr zufriedenstellend, da die Durchströmung vollkommen unterbunden wurde und der Abbau des Staudruckes vollständig ist.

Im Jahre 1956 erfolgte die erste grössere Abdichtungsarbeit mit Tongelinjektionen in einer Baugrube. Das Magazin- und Werkstattgebäude der PTT an der Förrlibuckstrasse in Zürich kam mit der Sohle der Baugrube etwa 3,60 m unter den Grundwasserspiegel zu liegen. Der K-Wert des Limmatschotters beträgt an dieser Stelle 6.10^{-1} cm/s. Die Ableitung der Pumpwassermenge wäre auf grosse Schwierigkeiten gestossen, und man hat die Baugrube mit Stahlspundwänden seitlich abgeschlossen und gegen unten mit einer 2 m starken Injektionssohle gedichtet. Diese Injektionssohle lag 3 ÷ 5 m unter dem endgültigen Aushub. Die zu dichtende Grundfläche hat 2850 m²

Bild 2. Schematische Darstellung einer Manschettenrohr-Injektion



betragen. Die anfallende Pumpwassermenge lag zwischen 5 und 15 l/s, was einer etwa 100mal kleineren Wassermenge als bei unbehandeltem Boden entspricht (Bild 4).

Im Jahre 1957 wurde für die Bergeller Kraftwerke eine Abdichtungsarbeit mit Tongel bei der Zentrale Löbbia vorgenommen. Es handelt sich um die Dichtung des Untergrundes seitlich des Wehres, wobei der Boden stark mit grossen Blöcken durchsetzt war. Es wurden dort etwa 7000 t Injektionsgut verwendet. Die Bohrlochlänge beträgt 5000 m.

In den Jahren 1957 bis 1959 wurden Injektionsversuche in Mattmark unternommen, und im Jahre 1960 hat man mit den Injektionen des Hauptschirms begonnen. Diese Arbeiten sind hier bereits früher beschrieben worden [7, 8].

Im Ausland ergab sich eine ähnliche Entwicklung. Nachdem bereits während des Krieges verschiedene Versuche und kleinere Ausführungen gemacht worden sind, konnte 1951 der Damm von Serre-Ponçon an der Durance begonnen werden, dessen Bau jedoch nur möglich war, als die Untergrunddichtung mit Injektionen bis auf 100 m Tiefe im Alluvium vorgenommen werden konnte. Andere ähnliche Ausführungen sind der Mission Damm in Britisch Kolumbien (Kanada), Sylvenstein in Westdeutschland, Shek Pik in Hongkong, Notre Dame de Commiers in Frankreich und Durlassboden in Österreich.

Neben der Abdichtung des Untergrundes von Staudämmen wurde auch die Abdichtung von Baugruben im Alluvium vorgenommen. Bekannt sind die Ausführungen der Baugruben für die Maschinenhäuser der Kraftwerke Ottmarsheim, Fessenheim, Vogelgrün, Markolsheim und Rhinau am Rhein zwischen Basel und Strassburg.

Chemische Injektionen

Neben den Injektionen mit kornförmigen Stoffen wurde die Verwendung von Chemikalien für Dichtung und Verfestigung des Bodens auf breiter Basis entwickelt. Bereits in früherer Zeit hatte man chemische Lösungen mit dem Grundstoff Wasserglas (Natriumsilikat) benützt. Ein erstes Patent stammt aus dem Jahre 1886. Bekannt war das Verfahren Joosten [9], das zwei Lösungen nacheinander in den Boden einpresst. Das Verfahren ist ziemlich kompliziert und kostspielig, so dass die Forscher sich bemühten, ein neues Verfahren zu entwickeln, bei dem eine Lösung in den Boden eingepresst wird, die dann nach einer gewissen Tempierungszeit zu einem Gel erstarrt. Es genügte zum Wasserglas eine gewisse Menge von Kationen zuzusetzen, um ein Ausfällen eines Gels nach einer bestimmten Zeit zu erreichen. *Lemaire* und *Dumont* haben Salzsäure verwendet, *Gayard* Natrium- und Kalziumbicarbonat, *Rodio* Kalkmilch, *Langer* Salzsäure und Kupfersulfat. Die meisten Verfahren haben nur eine beschränkte Anwendung gefunden.

Das Verfahren Rodio (Kalkmilch) wurde hingegen in grossem Masstab bei der Abdichtung des Untergrundes des Staudammes von Bou Hanifa in Algerien gebraucht, wo Prof. *Terzaghi* als Berater und Experte gewirkt hat. Es handelt sich um die Abdichtung von Sand-,

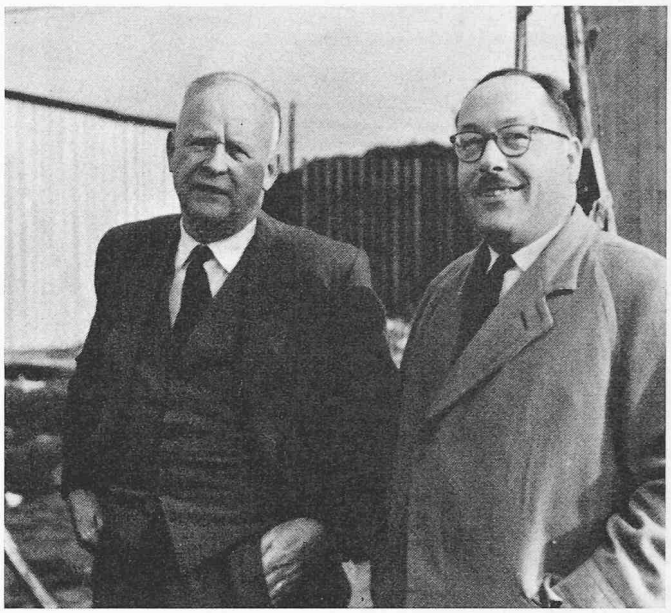


Bild 4. Der Jubilar, Prof. G. Schnitter (links), besucht mit dem Verfasser die Baustelle PTT-Förrlibuckstrasse in Zürich

Bild 3. Wasseraustritte im Kanal des Kraftwerks Letten vor der Behandlung mit Injektionen

Bild 5. Chemische Injektionen im Kabelstollen PTT-Bern, Ansicht der Stollenbrust

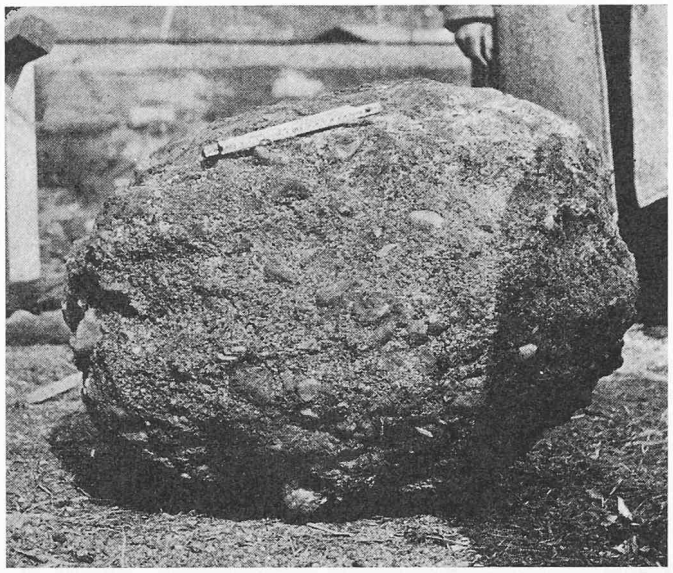


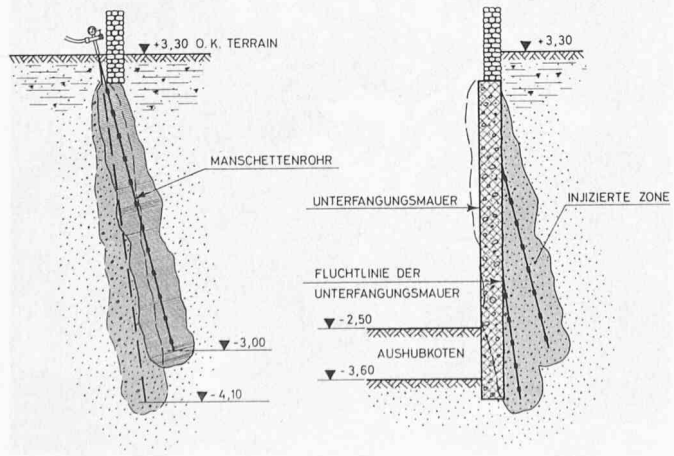
Bild 6. Zentrale St-Léonard, Wallis. Injizierter Kies (Versteinerungsverfahren)

Mergel- und Sandsteinschichten des Oligozäns mit *K*-Werten zwischen $0{,}1 \cdot 10^{-4}$ und $150 \cdot 10^{-4}$ cm/s. Es wurden neben etwa 15000 t Zement und 29000 m³ Tonsuspension über 6000 t Natriumsilikat verpresst. Diese Anlage ist nun seit 1941 unter Stau und hat in dieser Zeitspanne keinerlei Verluste oder Schäden durch Auswaschungen gezeigt.

Später wurde von der Gruppe Rodio-Solétanche das Algonitverfahren (Natriumaluminat) unter Mitwirkung von Prof. *H. Pallmann* an der ETH entwickelt. Die erste grosse Anwendung haben wir bei der Dichtung der Moräne unter dem Damm am Lac Noir im Elsass gesehen, wo Prof. *E. Meyer-Peter* als Experte gearbeitet hat. Dieses Verfahren hat seither zahlreiche Anwendungen gefunden; als letzte grosse Ausführung ist die Feindichtung des Untergrundes des Dammes von Mattmark zu nennen, wo Prof. *G. Schnitter* als Experte des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau berufen wurde. Es sind bis heute dort etwa 10000 t Chemikalien nach diesem Verfahren eingepresst worden.

Bei den nun erwähnten Anwendungen von Wasserglasgelen handelt es sich um sogenannte weiche Gele, die nur eine Kohäsion von einigen zehn Gramm pro cm² aufweisen und die daher nur für Abdichtungszwecke gebraucht werden können. Bei Verfestigungen, die hauptsächlich bei Tunnelarbeiten, Schächten, Unterfangungen usw. in Frage kommen, musste man das Joosten-Verfahren (Calziumchlorid) verwenden, das wie erwähnt mit dem Zweiphasensystem arbeitet. Eine Anwendung des Verfahrens Joosten erfolgte noch im Jahr 1956–1957 beim Vortrieb eines Kabelstollens der PTT unter dem Bahnhofplatz in Bern. Der First dieses Stollens kam in eine oberhalb des Molasse-Felsens gelegene Zone von plastisch-flüssigem Material zu liegen. Es handelt sich dabei um ein Verwitterungsprodukt der Molasse, das 80 % der Teile kleiner als 0,2 mm aufweist. Der Stollen-

Bild 8. Unterfangung eines historischen Gebäudes in Genf, Querschnitte 1:160



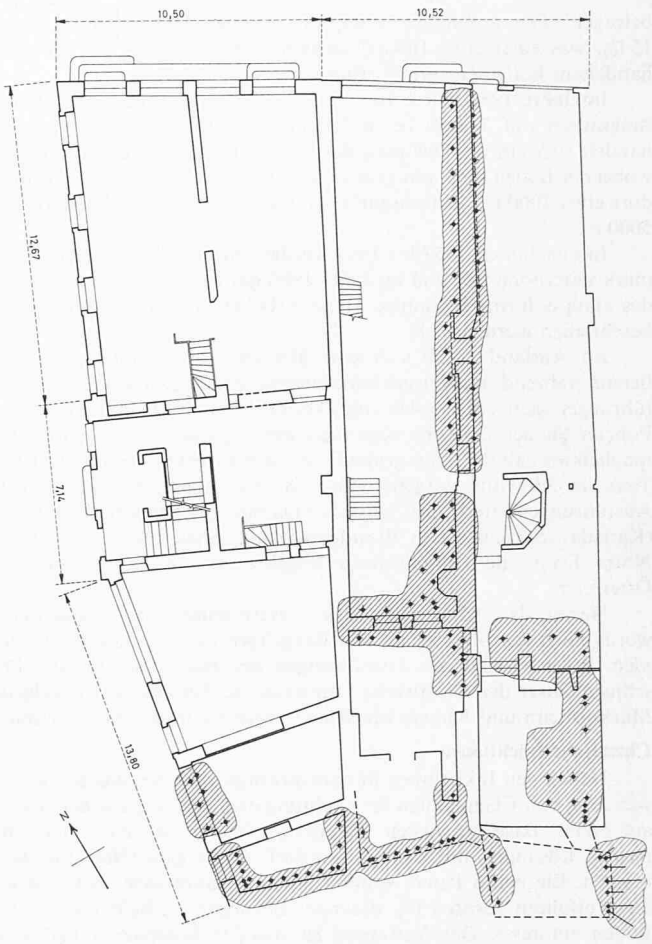
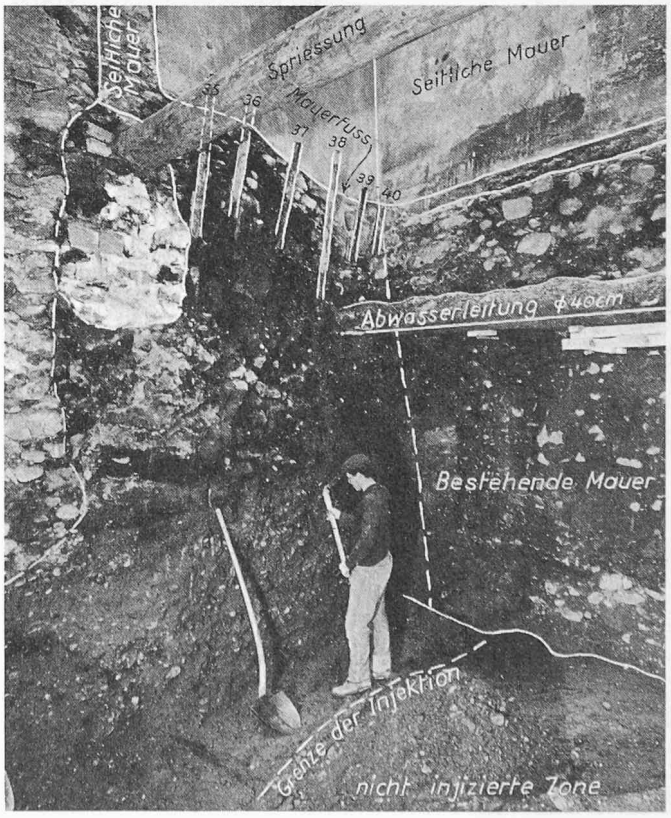


Bild 7. Unterfangung eines historischen Gebäudes in Genf, Grundriss 1:300. Anordnung der Injektionslöcher

Bild 9. Baustelle in Genf. Aushub im injizierten Boden. 35 bis 40 = Manschettenrohre



vortrieb wurde mit Stahleinbau gemacht, und die Injektion von gewöhnlichen Wasserglasgelen erwies sich als unbefriedigend, da ständig Austritte an der Brust und auf der Strecke auftraten. Das Verfahren Joosten, auch Versteinerungsverfahren genannt, bei dem eine sofortige Reaktion der beiden getrennt eingepressten Chemikalien im Boden auftritt, hat in diesem Falle zum Erfolg geführt. Auf Bild 5 sieht man die Wirkung der Injektion an der Stollenbrust. Die weissen Stellen stellen die injizierte Masse des nun gebildeten Calziumsilikates dar. Selbstverständlich konnte nur eine teilweise Durchdringung des Gesteins erreicht werden, die aber genügt hat, um dem Material die notwendige Festigkeit zu geben. Der Aushub konnte mit dem Pickel von Hand erfolgen, der Abbauhammer war nicht notwendig.

Wir möchten bei dieser Gelegenheit noch auf einen Versuch hinweisen, der im kiesig-sandigen Material der Rhoneebene bei St. Léonard (Wallis) ausgeführt wurde. Es wurde sowohl weiches Gel verpresst, als auch das Verfahren Joosten angewendet. Auf Bild 6 ist ein Block von künstlich versteinertem Kies dargestellt, der mit dem Bagger ausgehoben worden ist.

Seit 1957 haben die Laboratorien von Solétanche und Nobel-Bozel in Frankreich, sowie von Diamond Alkali in den USA Verfahren entwickelt, die bei einer einzigen Mischung mit bestimmbarer Tempierungszeit «harte» Gele ergaben. Das Verfahren Solétanche verwendet Äthylazetat (Essigäther) und ergibt Druckfestigkeiten von Sandproben, die bei $10 \div 20$ kg/cm² liegen, jedoch auch 50 kg/cm² erreichen können. Die Anwendung dieser Gele ist ziemlich heikel, da bei den konzentrierten Mischungen die Zusammensetzung des Wasserglases eine ausschlaggebende Rolle spielt.

Auch sind Versuche zur Herstellung eines Gels auf Basis von Lignosulfitlauge durchgeführt worden. *Cambefort* und *Caron* haben auf diesem Gebiet in den Jahren 1961–1964 gearbeitet [10]. Anwendungen grösseren Stils sind nicht bekannt.

Ein weiteres Stiefkind auf dem Gebiet der Injektionen ist die Anwendung von Bitumen. Trotzdem die Versuche teilweise vielversprechend sind, haben sich die Bitumenverfahren in grossem Masstab nicht durchsetzen können.

In neuester Zeit sind nun die Kunstharzinjektionen in den Blickpunkt der technischen Welt gekommen. In den USA wurde bereits seit einigen Jahren das Verfahren AM9 der Cyanamid Co. lanciert. Das polymerisierte Gel von AM9 hat nur geringe Festigkeit, immer kleiner als 1 kg/cm², ist aber sehr elastisch. In Europa hat ein Phenoplast, das von Solétanche entwickelt wurde, Fuss gefasst und befindet sich trotz des relativ hohen Preises im Stadium von Baustellen-Grossversuchen und Anwendungen in beschränktem Umfange. Bei einer Viscosität von einigen Centipoises ist das Injektionsmittel fast so flüssig wie Wasser. Es lassen sich damit noch Böden mit einer Durchlässigkeit von $k = 10^{-4}$ cm/s behandeln. Die verdünnten («weichen») Wasserglasgele gehen bis $k = 10^{-3}$ cm/s, die konzentrierten («harten») Wasserglas- und die Bentonitgele liegen bei $k = 10^{-2}$ cm/s und die Tongele bei $5 \cdot 10^{-2}$ cm/s und dann die Zementinjektionen bei $k = 1$ cm/s.

Wir verfügen heute über Mittel, um Böden von feinsandigem Charakter (Kunstharz) bis zu Grobkorngerüst (Prepaktmörtel und ähnliche) mit Injektionen zu behandeln.

Die Anwendung der Verfahren Solétanche Hartgel einerseits und Kunstharz anderseits erfolgte im Jahre 1964 auf einer Baustelle in der Altstadt von Genf. Es handelt sich um die Konsolidierung des feinsandig-kiesigen Untergrundes unter den Fundamenten eines historischen Gebäudes, das im Umbau begriffen ist. Auf Bild 7 ist die Anordnung der Injektionslöcher und der behandelten Zone dargestellt, auf Bild 8 ein schematischer Querschnitt der Unterfangung. Der Boden wies einen Kornanteil kleiner 0,5 mm von 90%, kleiner 0,2 mm von 40% und kleiner 0,1 mm von 15% auf. Auf Bild 9 ist links der injizierte Boden zu sehen; oben bemerkt man die Manschettenrohre. Ferner sieht man eine Abwasserleitung, die die Baugrube durchquert. Es wurden etwa 300 m³ Boden behandelt, wobei 129 Bohrlöcher von total 470 m Länge notwendig waren. Es wurden 77 m³ Hartgel und 18 m³ Kunstharz verpresst. Man sieht, dass etwa 20% des Bodens mit Kunstharz behandelt werden mussten, während 80% den Eintritt von Silikaten gestattete. Die Bodenmasse war nach der Behandlung richtig versteinert und musste mit dem Abbauhammer entfernt werden. Beim Aushub für die neuen Fundamente liess sich die vollkommene Durchdringung des Bodens eindeutig feststellen, und zwar sowohl in den grobporigen Zonen als auch in den Feinsandstellen, wo Kunstharz verwendet werden musste.

Zum Schluss möchten wir noch erwähnen, dass auch die modernen Injektionsmethoden keine Allheilmittel sind und immer an die Natur angepasst werden müssen. Altmeister Prof. *M. Lugeon* hat die Ausführung von Injektionen als eine Kunst aufgefasst, und wir müssen dieser Auffassung auch heute noch beipflichten. Es ist daher nicht möglich, die Injektionen durch starre Vorschriften und Rezepte zu beherrschen, wie dies oft gerade von amerikanischer Seite gemacht wird. Diese starren Schemata müssen zu Misserfolgen führen, und wir möchten dringend empfehlen, bei der Planung und Ausführung von Injektionsaufgaben zu berücksichtigen, dass wir es mit einem naturwissenschaftlichen Problem zu tun haben und dass weder mathematische Abhandlungen noch starre Formeln zum Erfolg führen. Versuch und Beobachtung in der Natur, gepaart mit Erfahrung auf dem Fachgebiet, müssen die Anpassung an die jeweiligen Verhältnisse ermöglichen. So kann die Aufgabe mit bestem Erfolg gelöst werden.

Literaturverzeichnis

[1] *P. Baumann:* Konstruktionen in Prepakt-Beton; SBZ 1948, H. 23, S. 317.
[2] *G. Brux:* Das Colcrete-Verfahren; SBZ 1960, H. 43, S. 687.
[3] *G. Schnitter:* Bentonit im Grundbau; SBZ 1960, H. 19, S. 313.
[4] Das Kraftwerk Rupperswil-Auenstein; SBZ 1950, H. 5, S. 50ff.
[5] *G. Gysel-Ch. Blatter:* Rapport Nr. 31, Dritter Talsperrenkongress, Stockholm, 1948.
[6] *W. Zingg:* Der Staudamm Castiletto des Juliawerks Marmorera, SBZ 1953, Nr. 33, S. 470.
[7] *B. Gilg:* Das Projekt des Dichtungsschirms unter dem Staudamm Mattmark; SBZ 1961, H. 35, S. 609.
[8] *Ch. Blatter:* Vorversuche und Ausführung des Injektionsschleiers in Mattmark, SBZ 1961, H. 42, S. 723ff.
[9] Chemische Verfestigung des Baugrundes; SBZ Bd. 95, Nr. 23, S. 305 (1930).
[10] *H. Cambefort:* Injection des sols. Eyrolles, Paris 1964.

Adresse des Verfassers: *Charles E. Blatter*, dipl. Ing., 8008 Zürich, Feldeggstrasse 82.

Öffentliche Bauten als Aufgabe unserer Zeit

DK 351.712.009

Von **Robert Ruckli**, Bern

I

Die vorliegende Geburtstagsschrift ist dem Fachgebiet unseres Jubilars, Prof. Gerold Schnitter, gewidmet: dem Wasserbau, dem Erdbau und der technisch-wissenschaftlichen Forschung. Sie mag aber in einer geistig ausserordentlich bewegten Zeit wie der gegenwärtigen auch Anlass zu weiterer Umschau geben, um das reiche Lebenswerk des verdienten Ingenieurs und akademischen Lehrers im grösseren Zusammenhang zu sehen, es sozusagen in die Lebens- und Seinsverflechtungen hinein zu projizieren und damit zugleich uns über die Aufgabe des Ingenieurs schlechthin und über unsere eigene Tätigkeit Rechenschaft abzulegen; dies fügt sich zwanglos in den uns hier gegebenen Rahmen, denn soweit sich der Jubilar mit öffentlichen Bauten befasst, fallen sie zu einem grossen Teil in die Zuständigkeit des vom Verfasser dieser Zeilen geleiteten Amtes für Strassen- und Flussbau. Die hiezu nötigen Anhalts- und Bezugspunkte ergeben sich aus der grossen Spannweite, die es umfasst, eine Spannweite, in der der Dienst an der Wissenschaft den ersten Platz einnimmt.

Die Wissenschaft steht am Anfang unseres technischen Zeitalters. Ihr Ziel, ihre Fragestellung, ihre Methoden, ihre Möglichkeiten und Grenzen sind Gegenstand der Erkenntnistheorie. Um in die ungeheure Fülle der forschenden Tätigkeit eine Ordnung zu bringen, unterscheidet sie zwischen Geistes- und Naturwissenschaften, eine Systematik, die heute nicht unbestritten ist. Die Zweiteilung ist wohl die Folge, dazu aber auch weiter wirkende Ursache einer bedauerlichen Entfremdung zwischen höchsten Tätigkeiten menschlichen Geistes. Die Mathematik und auch die Künste – von diesen namentlich die Architektur, die ja an der ETH gelehrt wird – standen seit je im Grenzbereich der beiden Hauptgebiete der Wissenschaften. Die Physik hat