

Sondierungen und Injektionen für Talsperren

Autor(en): **Blatter, Charles F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **48 (1956)**

Heft 7-9

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-921511>

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.

débitées en cubes de 30 cm d'arête identiques à ceux moulés au laboratoire; leur résistance moyenne à la compression atteint 90—100% de la résistance de ces derniers suivant les dosages.

Ces carottages permettent en outre le contrôle des joints de reprise.

H. Les installations de chantier

Bien qu'il ne soit pas dans le propos de cet article de s'étendre sur les installations de fabrication du béton, quelques remarques s'imposent au sujet de la préparation et du stockage du sable. Les expériences récentes montrent les avantages d'une installation où le sable est préparé, stocké et acheminé à la tour à béton en deux composantes au moins (0,12—1 mm et 1—4 mm),

pour permettre d'adapter sa granulométrie au dosage en ciment. Le triage est obtenu par des décanteurs-trieurs.

Le problème des variations d'humidité du sable est à la base même de la régularité dans la fabrication du béton. Une amélioration très sensible a été apportée dans ce domaine par l'entreprise du barrage de Mauvoisin qui a aménagé dans la tour à béton un système de mesures par résistances électriques permettant à chaque instant de connaître la teneur en eau du sable et d'en tenir compte à temps dans le calcul de l'eau de gâchage. L'essorage du sable dans les silos, notamment pour le sable 0,12—1 mm, a fait récemment, grâce aux recherches de plusieurs grandes entreprises suisses, un grand pas en avant, ce qui apporte une garantie de plus pour la régularité du rapport E/C.

Sondierungen und Injektionen für Talsperren

Dipl.-Ing. Charles F. Blatter, Direktor der Swissboring, Zürich

Der Ausbau der Wasserkräfte muß heute auch Talsperren berücksichtigen, deren Baugrund nicht mehr idealen Voraussetzungen entspricht und früher sogar als ungeeignet bezeichnet, so daß die Anlage als nicht bauwürdig klassiert wurde. Je mehr man sich mit solchen weniger günstigen Ausbaubjekten befassen muß, um so wichtiger werden die Voruntersuchungen des Bodens, und es gibt kaum mehr eine Talsperre, deren Untergrund nicht vor dem Bau durch Sondierungen mehr oder weniger eingehend erforscht wurde. Dazu kommt auch der Umstand, daß die Abmessungen der Talsperren immer größer werden und demzufolge auch die Beanspruchungen im Untergrund zugenommen haben. Auf Grund der Bodenuntersuchungen zeigt es sich dann meistens, daß die angetroffenen Gesteine den verlangten Anforderungen in bezug auf Dichtigkeit und Tragfähigkeit nur genügen können, wenn sie mit Injektionen besonders behandelt werden. Bei sozusagen allen Talsperrenprojekten werden Injektionen in größerem oder kleinerem Umfange vorgesehen.

Im Stadium des Vorprojektes ist es oft schwierig zu entscheiden, in welchem Umfange die *Sondierungen* vorgenommen werden müssen, wobei nicht nur die technischen Momente, sondern auch die finanziellen Motive von maßgebender Bedeutung sind. In diesem Zeitpunkt ist noch kein Baubeschluß vorhanden, und es stehen in den meisten Fällen nur beschränkte Kredite zur Verfügung, so daß aus diesem Grunde die Sondierungen nur in reduziertem Umfange durchgeführt werden dürfen. Das Fehlen der Geldmittel verhindert dann das eingehende Studium der Verhältnisse, das eigentlich erst die Bauwürdigkeit des Objektes abklären könnte. Trotzdem vom technischen Standpunkt aus die Notwendigkeit einer detaillierten Erforschung des Bodens unbestritten ist, wird diese gerne auf die Zeit zwischen Baubeschluß und Baubeginn verschoben. Wenn man aber berücksichtigt, daß bei den gegenwärtigen kurzen Terminen oftmals nur eine geringe Zeitspanne vorhanden ist, können die sorgfältige und gründliche Erschließung und Erkundung des Bodens nicht mehr rechtzeitig er-

folgen und so kann dieser Mangel zu Schwierigkeiten beim Bau Anlaß geben.

Der Zweck der Sondierungen kann sehr vielfältig sein, wobei bei uns die Feststellung der Lage und Art des Felsens oft die erste Aufgabe bedeutet. Dann werden die Granulometrie und Petrographie der Überlagerungen meistens eine Rolle spielen, ferner die Durchlässigkeit des Lockergesteins sowie des Felsens, Lagerungsdichte, Grundwasserstand usw.

Die Untergrundverhältnisse an den Sperrstellen in bezug auf die Überlagerung im Talboden sind vielfach einfach; so stand beispielsweise bei den Staumauern von Rossens, Palagnedra, Sambuco und Zervreila der blanke Fels praktisch im Flußbett an. Bei den ersten beiden Sperrstellen mußte jedoch ein epigenetisches Tal neben der Staumauer abgeklärt werden, während bei den beiden letzten Sperrstellen die Talflanken Anlaß zu Untersuchungen gaben. Bei andern Projekten, z. B. Andermatt, Mauvoisin, Göschenen, Marmorera, war die Überlagerung teilweise sehr mächtig und die Bestimmung der Felslage stand im Vordergrund. Aus der genauen Abklärung des Felsprofils konnte die Aushubkubatur berechnet oder im Falle Marmorera der Umfang der Abdichtungsarbeiten festgelegt werden, da der gesamte Aushub bis auf den Felsen unwirtschaftlich gewesen wäre.

Die Bestimmung der Felsüberlagerung ist in vielen Fällen nicht einfach, denn die Lockergesteine in der Schweiz und im Alpengebiet allgemein, bestehend aus Alluvionen, Moräne, Bergsturz- oder sonstigem Schuttmaterial, zeichnen sich durch eine sehr harte und kompakte Lagerung aus und sind meistens von zahlreichen kleinen und größeren Blöcken durchsetzt. Die Sondierungen werden in diesen Schichten als Schlagbohrungen ausgeführt, wobei ein Mantelrohr durch Rammen oder Drehen angetrieben und gleichzeitig das Bodenmaterial aus dem Innern des Rohres mit einem geeigneten Instrument oder Apparat zutage gefördert wird (Abb. 1). Die Blöcke müssen dann mit dem Fallmeißel durchörtert oder mit Rotationsbohrung durchfahren und gesprengt

werden. In manchen Fällen überwiegt die Kubatur der Blöcke dermaßen, daß nur Rotationsbohrung möglich ist und für die Befestigung der lockeren Bohrlochwände Dickspülung angewendet werden muß. Normale Bohrmethoden und -Geräte, wie sie z. B. in den Tiefebene Deutschlands und anderswo verwendet werden, können für die Sperruntersuchungen im Alpengebiet nicht zum Erfolg führen. Es ist zudem zu berücksichtigen, daß die Geräte relativ leicht sein sollen, weil die Zugangswege teilweise recht schwierig sind, und die Transporte zur Baustelle mit Tragtieren oder Trägern, Bauseilbahnen und in neuerer Zeit auch mit Flugzeugen vorgenommen werden müssen.

Die Rammsondierungen, die zur Bestimmung des dynamischen Spitzenwiderstandes und der entsprechenden Mantelreibung dienen, können im Talsperrenbau nur selten nutzbringend angewendet werden, da die vorhandenen Böden dem Eindringen der Rammsonde einen zu großen Widerstand entgegensetzen und die Resultate durch die heterogene Zusammensetzung des Bodens schlecht interpretiert werden können.

In diesen Lockergesteinen, meist kiesiger Natur, ist es auch unter normalen Umständen nicht möglich, ungestörte Bodenproben zu entnehmen, denn die Stein- und Blockeinlagerungen verhindern das Eintreiben des Entnahmestützens. Gelingt es trotzdem, solche Proben zu entnehmen, so sind diese jedoch in den seltensten Fällen für den gesamten Querschnitt repräsentativ und können zu Trugschlüssen Anlaß geben. Es sei aber erwähnt, daß die Beurteilung von kiesigem Material weit einfacher ist als diejenige von kohärenten Böden. Die bodenphysikalischen Kennziffern streuen bei den letzteren weit mehr.

In kohärenten Schichten, die als setzungsempfindlich und rutschgefährlich angesprochen werden müssen, werden selbstverständlich ungestörte Proben entnommen und im Laboratorium z. B. Ödometer- und Scherversuche durchgeführt, die die physikalischen Konstanten zur Durchführung von Setzungs- und Gleitflächenberechnungen liefern. Scherversuche können auch mit Flügelsonden an Ort und Stelle im Bohrloch selbst in ungestörtem Material ausgeführt werden. Ferner werden in gleicher Weise sogenannte Eindringungsversuche («Penetration-Tests») vorgenommen, wobei eine Kegelspitze in den ungestörten Boden hineingedrückt und das Kraft-Eindringungsprogramm aufgenommen wird. Diese Untersuchungen kommen nur für den Untergrund von Erd- und Steinschüttdämmen in Frage, da bei Staumauern diese Schichten auf jeden Fall abgetragen werden müssen. Hingegen spielt die Kornzusammensetzung und die Durchlässigkeit im letzteren Fall oft eine größere Rolle. Die Granulometrie kann an ungestörten Proben bestimmt werden oder dann, sofern diese nicht entnommen werden können, muß das gesamte Material aus dem Bohrloch in gestörtem Zustande zonenweise zutage gefördert werden und als Grundlage für Siebanalysen dienen.

Die Bestimmung der Durchlässigkeit kann eigentlich nur bei Feldversuchen brauchbare Werte liefern, denn bei Versuchen im Laboratorium wird die natürliche Lagerung und die Heterogenität nur in den seltensten Fällen berücksichtigt. Die Messungen können auf der Baustelle in Bohrlöchern oder speziell dazu hergerichteten Filterbrunnen durch Infiltrations- oder Pumpversuche erfolgen.

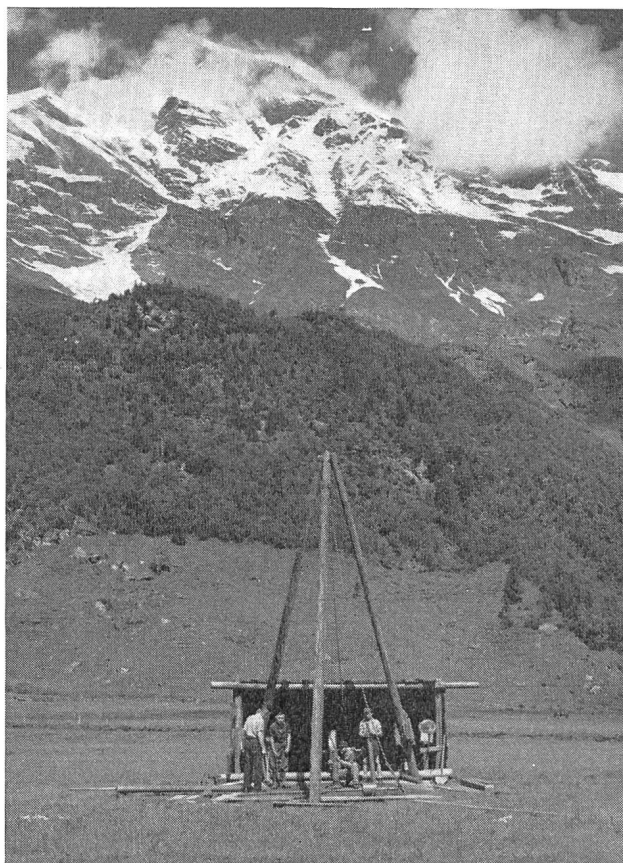


Abb. 1 Schlagbohrung zur Untersuchung einer Sperrstelle im Gebirge (Baustelle Rotmoos) (Photo Wölflle)

Belastungsversuche des Lockergesteins im Bohrloch oder in Schächten stoßen auf Schwierigkeiten, sobald sie im Grundwasser liegen und die Interpretation von solchen ist sehr problematisch, und vor allem ist die Extrapolation auf das Bauwerk schwierig. Gut gelungene Versuche wurden jedoch auf Anordnung von Prof. Stucky zur Bestimmung des Elastizitäts-Moduls der Felsflanke an der Staumauer von Mauvoisin ausgeführt.

Zur Abklärung der Zusammensetzung und der Eigenschaften des Felsens können Rotationskernbohrungen mit verschiedenen Durchmesser bis in jede gewünschte Tiefe vorgetrieben werden. Die modernen Ausrüstungen ergeben eine gute Kerngewinnung, sofern es sich nicht um Gebirge handelt, die vom ingenieur- und bautechnischen Standpunkt (Abb. 2) nicht als Fels bezeichnet werden können. Es ist heute auch möglich, kleine Bohrlöcher dreidimensional im Raume zu vermessen und orientierte Kerne zu ziehen. Bei den großkalibrigen Bohrungen (wie in Abb. 3 mit Durchmesser 1.20 m) kann das Bohrloch durch Befahrung eines Beobachters in Augenschein genommen werden. Allerdings sind die Kosten für solche Bohrlöcher sehr hoch, so daß sie sich bei unseren Talsperrenbauten kaum einbürgern werden.

Die Kernbohrungen können in allen Richtungen, auch von unten nach oben, ausgeführt werden und sind sehr oft billiger als Bohrungen im Lockergestein. Die gewonnenen Kerne lassen eine eindeutige geologisch-petrographische Interpretation zu, währenddem die Klüftung und der Zustand des Felsens nicht direkt aus den Kernen abgelesen werden kann.

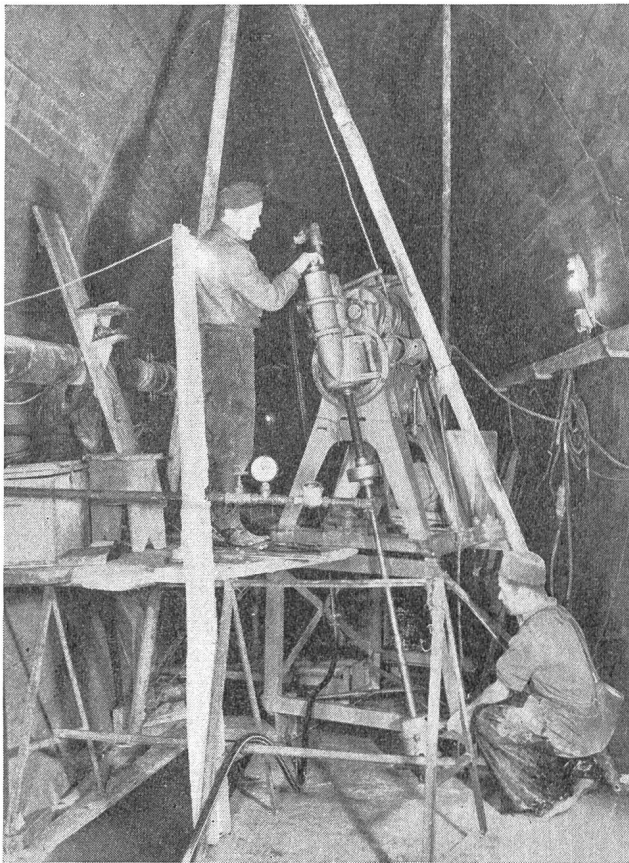


Abb. 2 Rotationsbohrung vom Stollen aus. Einrichtung bis 250 m Tiefe und Bohrllochdurchmesser 45 mm (Baustelle Mauvoisin).
(Photo Brügger)

Während bei früheren Sperrbauten die Bodenverhältnisse so einfach lagen, daß die Sondierarbeiten nur mit einfachen Schlitzern und wenig tiefen Schächten

vorgenommen werden konnten, muß man heute eine ganze Reihe von Verfahren zu Hilfe ziehen und zwar neben Tiefbohrungen, Stollen, etc. auch die geophysikalischen Methoden, vor allem die Seismik und die Geoelektrik. In den letzten Jahren sind nämlich diese Methoden auch im Kraftwerkbau in großem Maßstabe verwendet worden, wobei die Seismik wahrscheinlich an erster Stelle steht. Dann folgen die geoelektrischen Bodenuntersuchungen, wozu heute auch die elektrische Potential- und Widerstandsmessung, die Bestimmung des «Elektrokerns» im Bohrloch zu zählen ist. All diese Methoden wurden für die Untersuchung der Petrolfelder entwickelt und sind vom Kraftwerkbau übernommen worden. Die geophysikalischen Untersuchungen geben aber meistens nur eine Größenordnung in quantitativer Hinsicht und liefern wenige und unsichere Daten über die Qualität der erforschten Schichten. Es ist demzufolge unerlässlich, die Resultate obiger Messungen durch Bohrungen zu kontrollieren und dazu die Zusammensetzung und die Eigenschaften der Bodenschichten zu erfassen.

Die geophysikalischen Messungen können einen Anhaltspunkt über die Größenordnung der Felslage geben, wobei man sich jedoch klar sein muß, daß bei unseren gebirgigen, auch geologisch komplizierten Verhältnissen die Nebeneinflüsse und Randbedingungen dermaßen störend wirken können, daß die Interpretation der Resultate äußerst kompliziert wird und daher oft nicht die gewünschte Genauigkeit ergibt. Es sind denn auch die Fälle nicht selten, bei denen z. B. schon die Resultate zwischen seismischer und elektrischer Messung stark abweichen. Wir möchten sagen, daß die geophysikalische Bodenuntersuchung allein nicht einmal für ein generelles Vorprojekt die Basis liefern kann, ohne durch zusätzliche sichere Erschließung ergänzt zu werden. Die Bestimmung des «Elektrokerns» im Bohrloch dient vor allem zur Feststellung von verschiedenen durchlässigen Horizonten und kann bei Problemen von Durch-

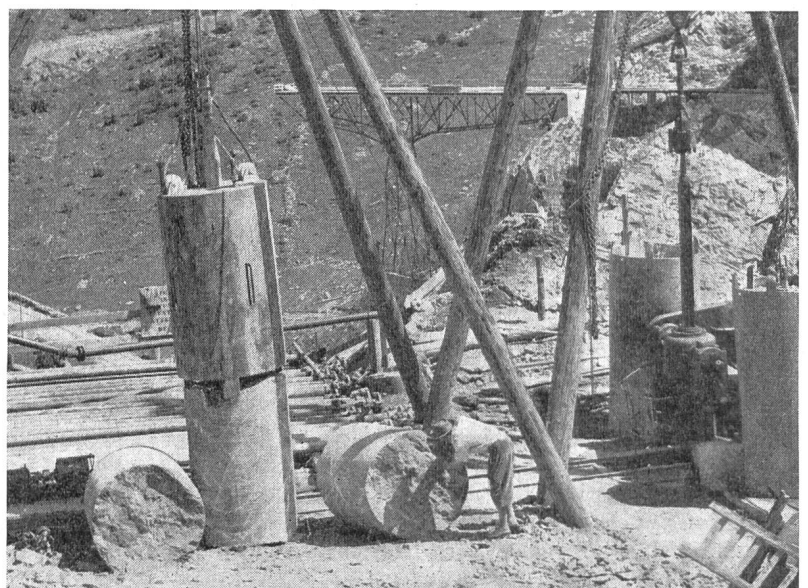


Abb. 3 Großkalibrige Kernbohrung.
Einrichtung für 155 m Tiefe und Bohrllochdurchmesser 1,20 m (Baustelle Zeuzier).
(Photo Brügger)

strömungen im Untergrund wertvolle Dienste leisten. Diese Bestimmungen des Potentialgefälles liefern jedoch auch keine quantitativen Angaben, sondern dienen lediglich als Vergleich. Durch Bestimmung der physikalischen Konstanten, wie z. B. K-Wert an bestimmten Stellen mit andern Methoden, kann dann die voraussichtliche Mächtigkeit der betreffenden Schicht an Hand der elektrischen Kernmessung interpretiert werden. Es ist daher möglich, punktförmigen Messungen eine weitere Dimension beizuordnen.

Die Bestimmung von Durchströmungen im Untergrund wurde früher mit Färbversuchen und Salzungen durchgeführt, während heute zu diesem Zwecke Isotopen mehr und mehr zur Anwendung kommen und auf diese Weise genauere Messungen auch quantitativer Art möglich werden.

Die Interpretation von Sondierungen verlangt eine gute Kenntnis der speziellen Technik und kann nur von einem erfahrenen Fachmann durchgeführt werden, wobei die enge Zusammenarbeit zwischen dem Geologen und Petrographen, dem Geophysiker und Erdbaumechaniker sowie dem Ingenieur gestattet, aus den Sondierungen das Maximum an Aufschlüssen herauszuholen. Die Beobachtungen bei der Durchführung der Sondierungen sind ebenso wertvoll wie die Untersuchung der Bodenproben und Kerne. Versuche im Bohrloch an Ort und Stelle können die tatsächlich vorhandenen Verhältnisse wiedergeben und werden durch Versuche im Laboratorium ergänzt. Immer aber müssen die beteiligten Personen zusammenarbeiten und ihre Beobachtungen gegenseitig austauschen; nur so kann aus den Sondierungen der gewünschte richtige Schluß gezogen werden. Es ist auch wichtig, daß die Aufgabestellung bereits vor Beginn der Arbeiten klar umschrieben wird, damit bei der Durchführung der Sondierungen die notwendigen Beobachtungen und Messungen angeordnet werden können.

Die *Injektionen* im Untergrund von Staumauern dienen in erster Linie zur Abdichtung des Gesteins gegen etwaige Unterströmung des Bauwerkes. Zu diesem Zwecke wird der sogenannte Tiefen- oder Hauptschirm angeordnet, der eine kontinuierliche Reihe von Bohrlöchern darstellt, welche die durchlässige Zone des Gesteins mit einer Mächtigkeit von einigen zehn Metern bis zu einigen hundert Metern durchfahren. Die Distanz dieser Bohrlöcher variiert zwischen etwa 1 und 6 m. Größere Distanzen ergeben kaum mehr einen zusammenhängenden Schirm und es ist daher davon abzuraten. Diese Arbeiten werden in der Schweiz meistens vor Aushub des Fundamentes ausgeführt, so z. B. bei den Mauern von Rossens, Châtelot, Palagnedra, Moiry und anderen, während z. B. in Mauvoisin aus arbeits-technischen und programmäßigen Gründen besondere Injektionsstollen angelegt wurden (Abb. 4). Die Aushub- und Betonierarbeiten können vollkommen ungestört abgewickelt werden, währenddem die Injektionsarbeiten parallel laufen. Bis zum ersten Einstau Anfangs 1956 in Mauvoisin mußten nämlich 40 000 m Bohrung abgeteuft und 6000 t Zement eingepreßt werden. Es wäre praktisch unmöglich gewesen, diese Arbeiten in der Baugrube neben dem Aushub und der Betonierung auszuführen.

Neben dem Hauptschirm wird dann vielfach noch ein Sekundärschirm vorgesehen, der den absolut dichten Abschluß zwischen oberer Felszone und Beton in

der Gegend des Hauptschirmes herstellen soll. Diese Arbeiten können nur nach Einbringung mindestens einer Schicht Beton ausgeführt werden und zwar entweder von der Wasserseite oder von Stollen im Innern der Mauer aus.

Die gesamte Fundamentfläche wurde früher mit einer großen Anzahl von «Kontaktinjektionen» behandelt, um den Kontakt zwischen Fels und Beton zu verpressen. Nach neuerer Auffassung wird bei fachgerechter Einbringung des Betons und entsprechender vorheriger Reinigung des Felsens der Anschluß auf jeden Fall dicht sein und die Behandlung des Fundamentfelsens erfolgt durch die Konsolidierungsinjektionen. Es sind dies z. B. eine Reihe von Bohrlöchern, die von der Luftseite und vom Kontrollgang in der Mauer aus fächerförmig in den Felsen bis auf eine Tiefe von 10 bis 15 m vorgetrieben werden. Bei dieser Methode kann man auf die Durchfahrung von den Betonblöcken aus verzichten und damit Zeit sparen.

Als Kriterien für die Dichtigkeit des Untergrundes gelten diejenigen von Prof. Lugeon, der verlangt hat, daß die Wasseraufnahme des Felsens bei Abpressung mit 10 atü Druck nicht größer als $1 \text{ l/m} \cdot \text{min.}$ für Staumauern höher als 30 m und $3 \text{ l/m} \cdot \text{min.}$ für Staumauern kleiner als 30 m sei. Beim Bau von Mauvoisin mit 235 m Höhe wurde angestrebt, das Kriterium von $1 \text{ l/m} \cdot \text{min.}$ bei einem Druck von 30 atü einzuhalten.

In Abb. 5a sind die Resultate der Wasserabpressversuche in den primären Aufschlußbohrungen des Hauptschirmes unterhalb der Injektionsstollen I und IV von Mauvoisin graphisch dargestellt, wo der ausgeübte Druck am Bohrlochmund 30 atü betragen hat. Diese Abbildung stellt also den Zustand des Felsens vor der Behandlung durch Injektionen dar, wobei es auffallend ist, daß ein großer Teil der dargestellten Fläche Verluste größer als $20 \text{ l/m} \cdot \text{min.}$ aufweist. Man hat es also mit einem sehr durchlässigen Felsuntergrund zu tun. In Abb. 5b hingegen sind die Resultate der ersten Serie von Kontrollbohrungen nach Fertigstellung der Injektionslöcher mit 6 m Abstand in gleicher Weise dargestellt und man sieht, daß die noch durchlässigen Felspartien nur noch einen kleinen Raum einnehmen. Als zusätzliche Behandlung wurden dann die Kontrolllöcher ebenfalls injiziert und, wo notwendig, noch weitere zusätzliche Injektionslöcher eingeschaltet.

Als Injektionsgut wird meistens reiner Zement verwendet. Auf die Beigabe von Sand wird verzichtet, handelt es sich doch um die Verpressung von feinen Rissen und Spalten, wo die Eindringung durch Beimischung von groben Bestandteilen erschwert wird. Hingegen werden heute in vermehrtem Maße Zusatzmittel beige-mischt, die die Suspendierung des Zementes verbessern und die Eindringungsfähigkeit erhöhen. Es wird dadurch nicht nur das Injektionsgut, sondern auch die Technik der Injektionen verbessert.

Die Talsperren können vielfach nicht mehr auf Felsuntergrund abgesetzt werden, und man ist daher zur Konstruktion von Erddämmen übergegangen, wobei die Untergrunddichtung mit Diaphragmen oder Schürzen vorgenommen werden kann, sofern man nicht vorzieht, den Aushub bis auf den Felsen vorzunehmen. Es kommen als Dichtung folgende Bauelemente in Frage: Spundwand, Herdmauer, Pfahlwand und Injektions-schirm oder ev. verschiedene dieser Elemente kombiniert.

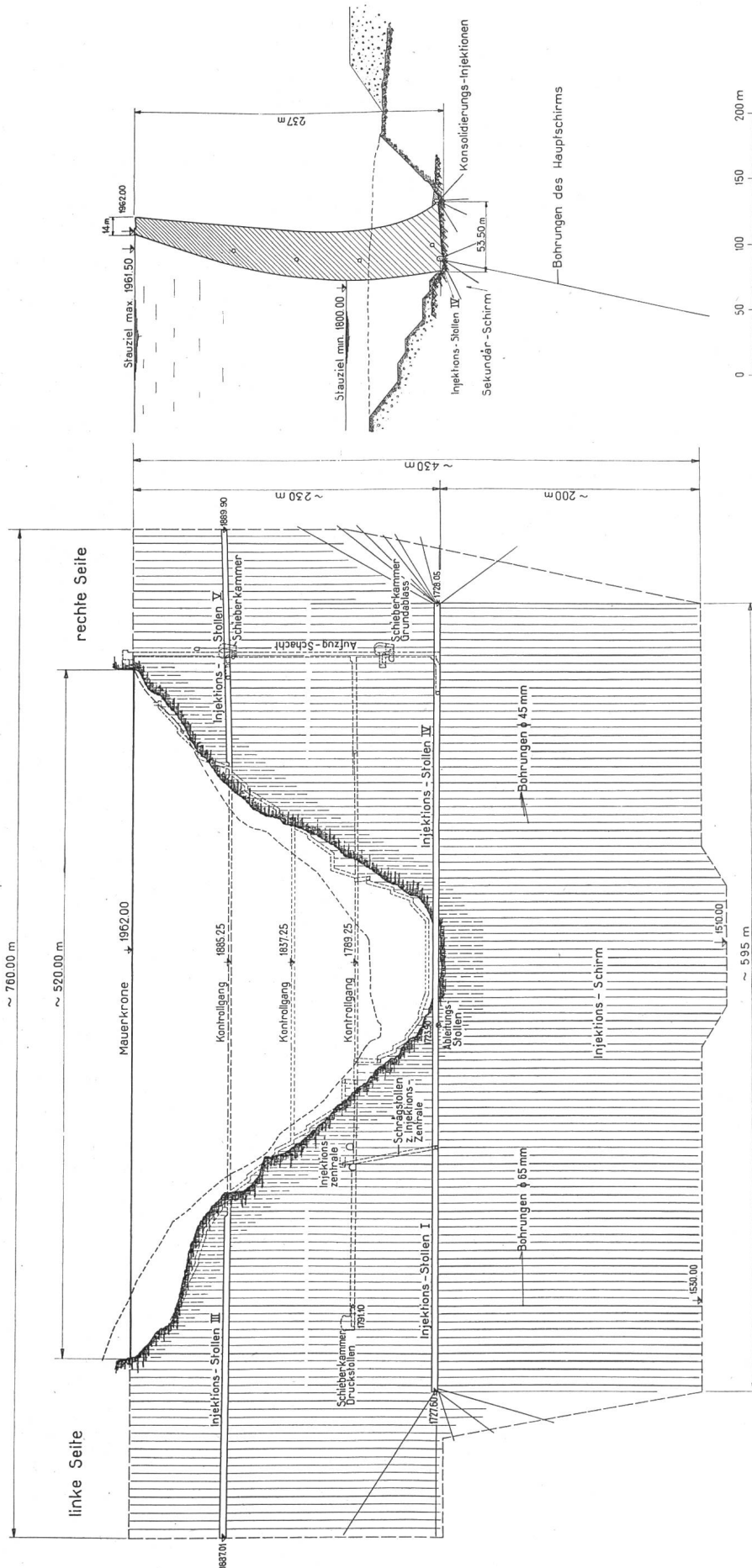


Abb. 4 Staumauer Mauvoisin. Anordnung des Hauptschirms und der Injektionsstollen

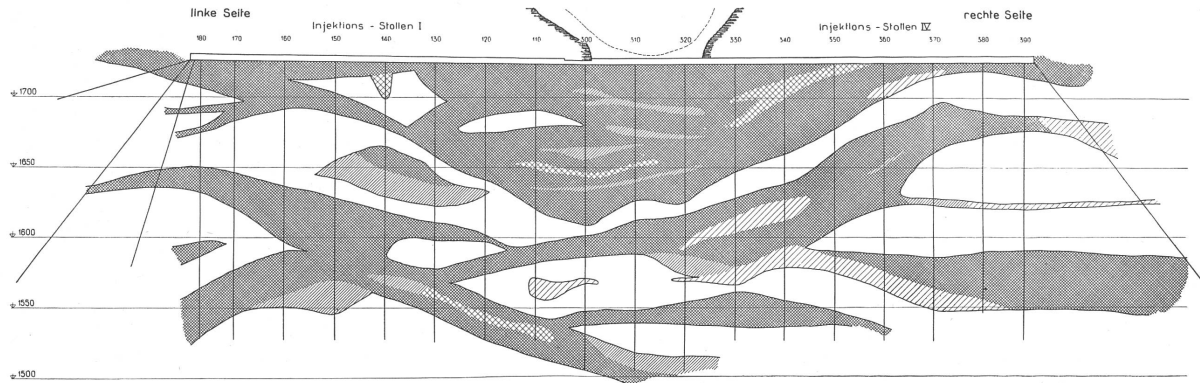


Abb. 5 a Zustand des Felsens vor den Injektionen auf Grund der Wasserabpreßversuche mit 30 atü Druck in den Aufschlußbohrungen mit 36 m Distanz

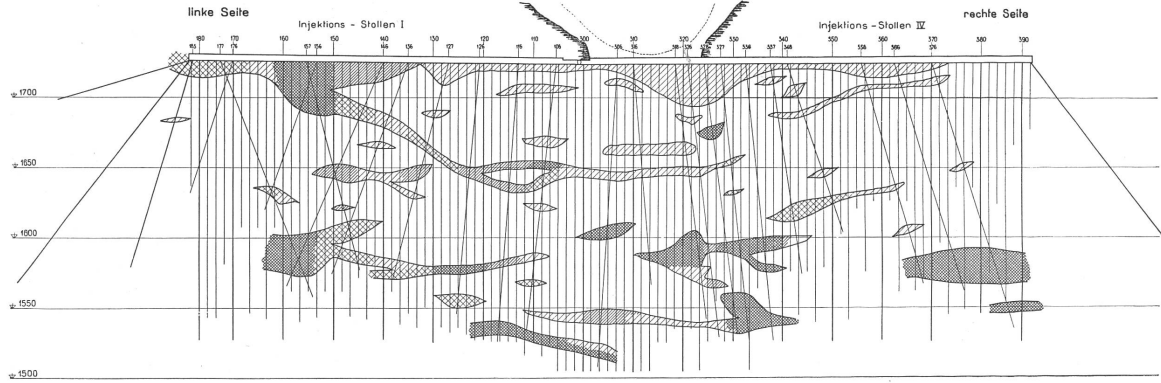
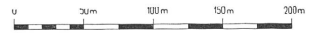


Abb. 5 b Zustand des Felsens nach den Injektionen in den Bohrlöchern mit 6 m Distanz auf Grund der Wasserabpreßversuche mit 30 atü Druck in den ersten Kontrollbohrungen

Legende der Wasserabpreßversuche.

- | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| 15-5 Liter/m/Minute
Druck 30 atü | 5-10 Liter/m/Minute
Druck 30 atü | 10-20 Liter/m/Minute
Druck 30 atü | Mehr als 20 Liter/m/Minute
Druck 30 atü |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|



Staumauer Mauvoisin. Hauptschirm unterhalb Injektionsstollen I und IV (Kote 1725)

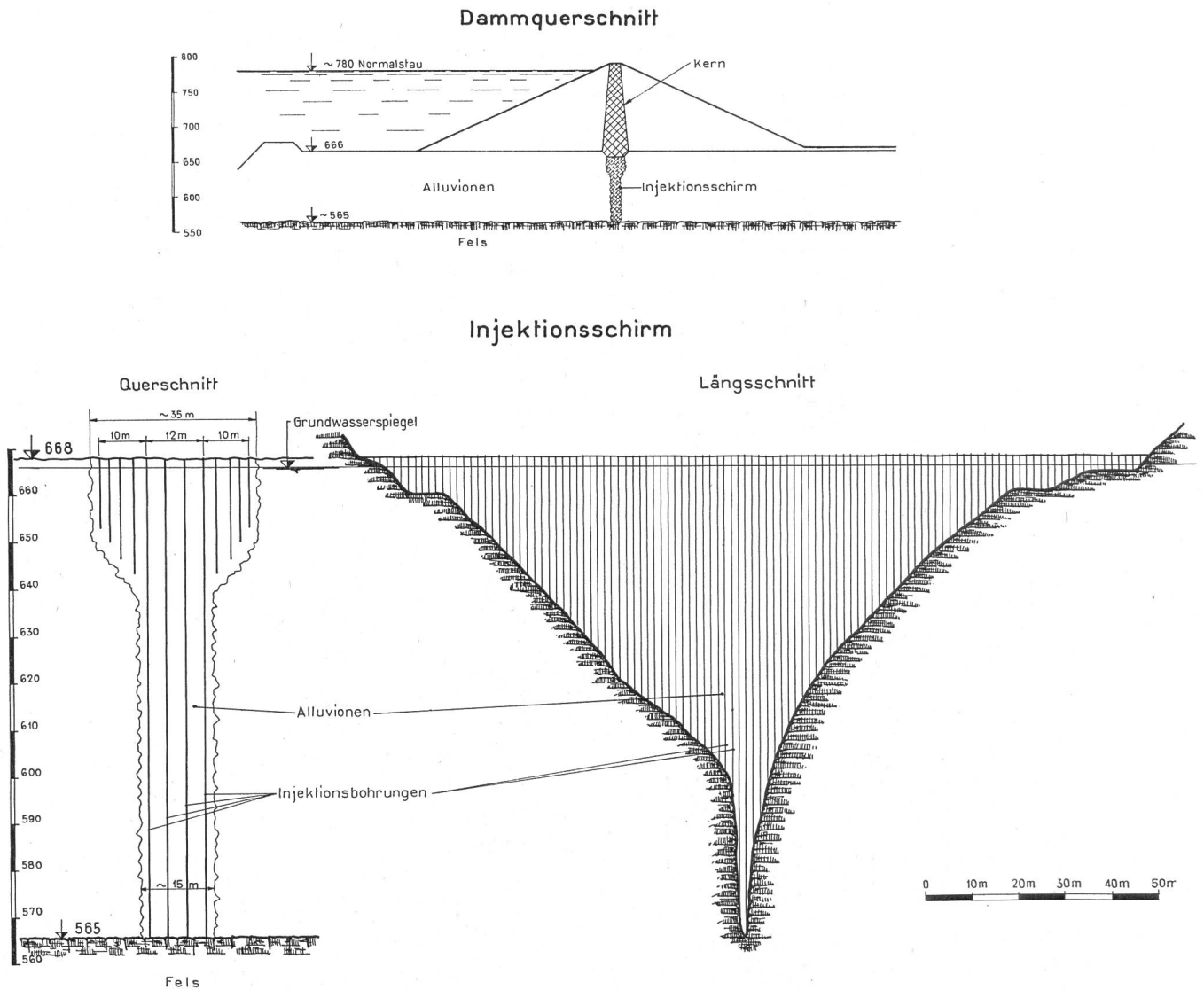


Abb. 6 Staudamm von Serre-Ponçon an der Durance. Anordnung des Injektionsschirmes

Sofern der Untergrund aus Kiesmaterial besteht und genügend durchlässig ist, faßt man heute als Dichtungselement Injektionsschirme ins Auge. So wird der über 120 m hohe Damm von Serre-Ponçon an der Durance (Südfrankreich) (Abb. 6) mit einem solchen Schirm versehen und auch beim Damm von Sylvenstein an der Isar in Oberbayern (Westdeutschland) wird mit der Ausführung einer Injektionsschürze in den Alluvionen begonnen. Beim großen Damm von Sad-el-Ali am Nil oberhalb Assuan (Ägypten) werden gegenwärtig Versuche für die Erstellung einer Injektionsschürze vorgenommen.

Das Injektionsgut für die Lockergesteine wird auf Tonbasis mit Zusatz von Zement aufgebaut und hat den Vorteil, daß es neben der guten Eindringungsfähigkeit seine Plastizität dauernd bewahrt, so daß die durch den Dammbau auftretenden Setzungen und Verformungen keinen schädlichen Einfluß auf die Injektionsschürze haben können. Das Injektionsmaterial ist kein Fremdkörper im Boden, sondern man kann Boden- und Dammaterial und Injektionsdiaphragma als Elemente mit ähnlichen Eigenschaften betrachten, was große Vorteile bietet. Die Breite der Injektionsschürzen beim An-

schluß an den Kern des Dammes wird mit etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der Stauhöhe angesetzt, wodurch zwischen Damm und Dichtungselement ein relativ langer Sickerweg entsteht. Die Breite der Schürze wird gegen unten abgestuft, da der gefährliche Querschnitt an der Oberfläche liegt.

Für die Ausführung dieser Alluvial-Dichtungen mußte ein besonders ökonomisches Injektionsverfahren entwickelt werden, das gestattet, verschiedene Injektionsmittel im gleichen Bohrloch nacheinander einzupressen. Auf diese Weise kann der Aufwand an Bohrlochern auf einem Minimum gehalten werden und die Einpressung den Verschiedenheiten des Bodens angepaßt werden. Nachdem nämlich die großen Durchgänge, wie grobe Schotterlagen, behandelt worden sind, müssen in einer zweiten Phase die feinen Zonen, wie Sandschichten, verpreßt werden. Je nach dem verlangten Durchlässigkeitsgrad folgen eventuell noch weitere Behandlungen. Diese Injektionsmethode wird mittelst Rohren ausgeführt, die Ventile aufweisen, sogenannte Manschettenrohre. Die Einpressung kann natürlich nur in einer gewissen Tiefe unter Boden beginnen und wird daher meistens von einer hochwasserfreien provisori-

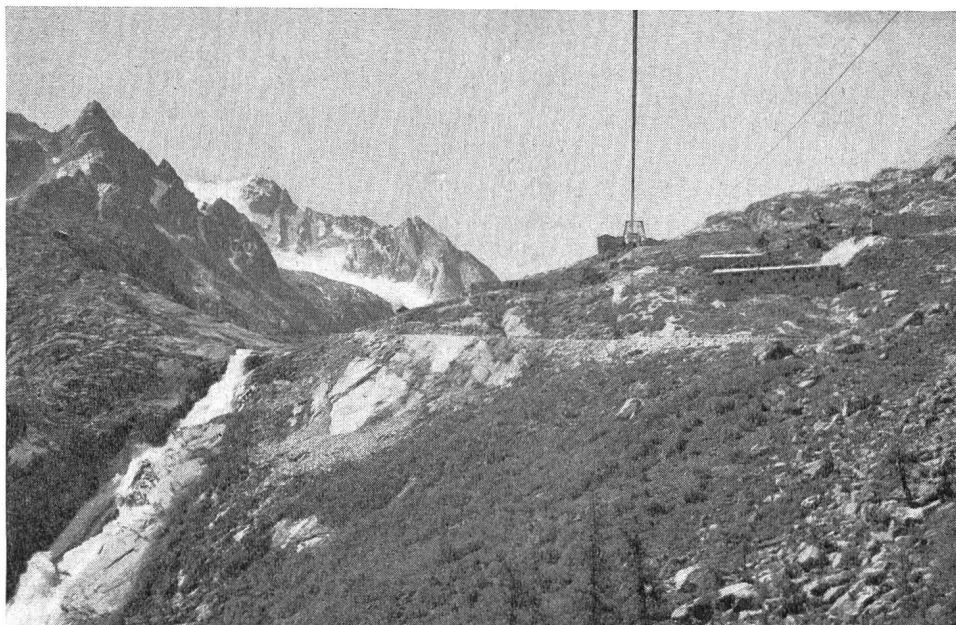
schen Schüttung aus vorgenommen. Die Ausbaggerung wird dann nach Umleitung des Flusses bis in die Tiefe der gut behandelten Zone etwa 4—6 m unter Oberkante des Arbeitsplanums vorgenommen.

Die selbe Injektionsmethode wurde auch beim Niederdruckkraftwerk Fessenheim am Rhein (Elsaß) zur Gründung des Maschinenhauses benützt und wird auch bei den nächsten Stufen wieder in Anwendung gebracht, nachdem sich das Verfahren bewährt hat. Da die Gründungstiefe für das Schlagen von Spundwänden im Rheinschotter zu groß ist, wird die Baugrube mit einem 2—3reihigen Injektionsschirm umschlossen, und zur Absperrung des Grundwasserandranges wird auch die gesamte Fläche unterhalb des Bauwerkes auf eine gewisse Höhe verpreßt. Die tatsächlich gepumpte Wassermenge war bei Fessenheim 120 l/sec., wogegen 10 000 l/sec. ohne Abdichtung der Baugrube durch Injektionen gerechnet wurden.

Die Dichtung von Seitendämmen kann ebenfalls nach diesem Verfahren erfolgen, so wurden z. B. beim K. W. Rapperswil-Auenstein und beim K. W. Letten in Zürich solche Arbeiten durchgeführt. Insbesondere auch für Reparaturarbeiten sind diese Methoden zweckmäßig, da ihre Anwendung auf die schlechten Stellen beschränkt bleiben kann.

Literaturangaben:

1. *W. Zingg, R. Staub, E. Weber, M. Oswald*: Das Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich. Wasser- und Energiewirtschaft Zürich, 1952, Hefte 5—7.
2. *C. Blatter*: Baugrunduntersuchungen für den Erddamm Castiletto des Juliawerkes Marmorera und weitere Bauvorhaben der Stadt Zürich im Oberhalbstein. Wasser- und Energiewirtschaft Zürich, 1953, Heft 8—9.
3. *A. Stucky*: Quelques problèmes relatifs aux fondations des grands barrages-réservoirs, barrages du Mauvoisin et de la Grande Dixence. Bulletin technique de la Suisse romande, Lausanne, 16 et 30 octobre 1954.
4. *E. Parejaz et O. Rambert*: Reconnaissance, Géologie et traitement de la fondation du barrage de Mauvoisin. Ve Congrès des grands barrages, Paris 1955, Publication C 31.
5. *R. Maigre*: Réalisation par injection d'un écran imperméable en matériaux alluvionnaires. Ve Congrès des grands barrages, Paris 1955, Publication R 79.
6. *M. A. Selim and Hassan Zaky*: High Assuan Dam (Sad-el-Ali). Ve Congrès des grands barrages, Paris 1955, Publication R 53.
7. *M. R. Lefoulon und E. Ischy*: Usine de Fessenheim, 3e bief du grand canal d'Alsace. Protection des fouilles par injection des alluvions. Ve Congrès des grands barrages, Paris 1955, Publication R 78.
8. *A. Süsstrunk*: Les procédés sismiques appliqués à l'étude du sous-sol en Suisse. IIIe Congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations, Zürich 1953.
9. *W. Fisch*: L'étude du sous-sol par sondage géoélectrique en Suisse et pays voisins. IIIe Congrès international de mécanique des sols et des travaux de fondations, Zürich 1953.



Sperrstelle Albigna mit Albignafall; rechts obere Seilbahnstation und Arbeiterhäuser, Aufnahme 26. Juli 1956.
(Photo G. A. Töndury)