Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 79 (1961)

Heft: 35

Artikel: Das Projekt des Dichtungsschirmes im Staudamm von Mattmark: Vortrag

Autor: Gilg, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-65589

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: 10.07.2025

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

Tabelle 1. Charakteristische Daten der drei Kraftwerkstufen und mögliche Energieproduktion

Kraftwerkstufe			Zermeiggern	Saas Fee	Stalden
Nutzbare Wassermenge		m^3/s	19	1	20
Nutzb. Höhendifferenz		m	372÷459	189	1029
Anzahl Generatoren			2	1	2
Anzahl Turbinen			2	1	4
Turbinentyp			Francis	Pelton	Pelton
Generatorleistung		kW	37 000	1500	80 000
Total install. Leistung		kW	74 000	1500	160 000
Zentralenbauart			im Freien	im Freien	Kaverne
Energieproduktion im Durchschnittsjahr	Sommer	Mio kWh	230		
	Winter	Mio kWh	350		
	Total	Mio kWh	580		

den selben Durchmesser wie der Druckstollen der obern Stufe besitzt, und durch den 2,2 km langen Panzerschacht, dessen Durchmesser von 2,25 m auf 2,0 m abnimmt, in die Zentrale Stalden. Diese ist als Kavernenzentrale ausgebildet und mit zwei Generatoren von je 80 000 kW Leistung ausgerüstet. Durch einen 500 m langen Unterwasserkanal gelangt das genutzte Wasser aus der Zentrale in die Vispe zurück.

Die Freiluftschaltanlage, welche neben der in der Zentrale Stalden erzeugten Energie auch die über eine 220-kV-Leitung von Zermeiggern hergeleitete Energie aufnimmt, liegt oberhalb Ackersand. Von hier aus führt eine 220-kV-Doppelleitung ins Rhonetal.

Energieerzeugung

Die in den drei Zentralen erzeugte elektrische Energie wird in einem normalen Jahr 580 Mio kWh betragen, wovon 60 % auf die Wintermonate entfallen. Im Jahre 1959 betrug die gesamte schweizerische Energieproduktion 18 Mld kWh, die fast ausschliesslich durch Wasserkraftanlagen erzeugt wurden. Sie verteilen sich zu 54 % auf die Sommer- und 46 % auf die Wintermonate. Die Kraftwerke Mattmark werden eine Verbesserung der Winter-Energieversorgung von rund 4 % bewirken.

Adresse des Autors: Ing. Dr. *B. Gilg*, Elektro-Watt, Zürich

Das Projekt des Dichtungsschirmes im Staudamm von Mattmark

DK 627.824.3.06

Von Dr. **B. Gilg**, dipl. Bau-Ing., Elektro-Watt, Zürich

Vortrag, gehalten an der Tagung der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundationstechnik am 10. Juni 1961 in Saas-Grund

Der Dichtungsschirm des Staudammes Mattmark bildet, wie Bild 1 deutlich erkennen lässt, mit dem Damm selber eine untrennbare Einheit. Er stellt die direkte Fortsetzung des aus Moränenmaterial geschütteten schiefen Kernes dar, dessen Durchlässigkeitsbeiwert k rund 10^{-5} cm/s betragen wird. Die Anschlussbreite des Schirmes beläuft sich mit 35 m auf rund einen Drittel der Dammhöhe und entspricht somit den auf Grund verschiedener Ueberlegungen in den Vereinigten Staaten aufgestellten Standard-Massen. Die 35 m Schirmbreite erfordern oberflächlich 10 Bohrlochreihen (vgl. Bild 2) im gegenseitigen Abstand von 3,50 m. Nach den bei den Vorversuchen gemachten Erfahrungen darf in Mattmark diese Distanz nicht überschritten werden, sofern der Boden noch einigermassen gleichmässig mit Injektionsgut durchdrungen werden soll. In der Längsrichtung beträgt der Lochabstand 3 m, wobei zwischen zwei benachbarten Reihen die Bohrungen um 1,50 m versetzt werden. Die Einflussfläche einer Bohrung beläuft sich daher auf 10,5 m², so dass eine Lücke im Injektionsschirm kaum mehr möglich sein dürfte.

Die Entstehungsgeschichte des heutigen Projektes dauerte 5 Jahre; sie wird im folgenden kurz geschildert. Bild 3 zeigt die Geologie der aufgeschnittenen Mattmarkebene, wie sie sich aus den verschiedenartigen Sondierungen ergeben hat. Der denkbar einfache Felsverlauf wurde schon im Herbst 1954 mit einiger Sicherheit geoseismisch und geoelektrisch bestimmt, wobei die seismischen Versuche die Form der Felswanne ziemlich genau weitergaben, die elektrischen jedoch, durch unterschiedliche Wasserführung im Lockergestein beeinflusst, auf der rechten Talseite eine Felsschlucht vermuten liessen, auf der linken dagegen unter der Südmoräne die Felsoberfläche zu hoch ansetzten. Die vom Jahre 1955 an ausgeführten Sondierbohrungen lieferten sämtliche Grundlagen für die geologische Beurteilung, wobei man anfangs vermutete, dass die ausgedehnte Grundmoräne quasi als dicht angesehen werden könne. Zu dieser Annahme verleitete die geologische und die granulometrische Aehnlichkeit mit der Südmoräne des Allalingletschers, deren Durchlässigkeit im Laboratorium und in situ überprüft wurde. Auch die an gestörten Proben aus der Grundmoräne angestellten Oedometerversuche unterstützten die Ansicht, der Injektionsschirm sei nur bis auf die Grundmoräne zu führen. Gegen diese Theorie sprachen freilich die Durchlässigkeitsversuche in den Bohrlöchern selber, und man konnte sich die Diskrepanz der Resultate lange nicht richtig erklären.

1 Blockschüttung
2 Drainageschicht (Wasserseite)
3 Filterschicht
4 Kern
5 Drainageschicht (Luftseite)
6 Stützkörper
7 Böschungsschutz
8 Blockhaube
a Fels
b Vorwürmeiszeitliche Alluvionen
c Grundmoräne der Würmeiszeit
d Aufgearbeitete Moränen
e Fluvio-glaziale Ablagerungen
f Feine Seeablagerungen
g Neuzeitliche Alluvionen
h Neuzeitliche Moränen

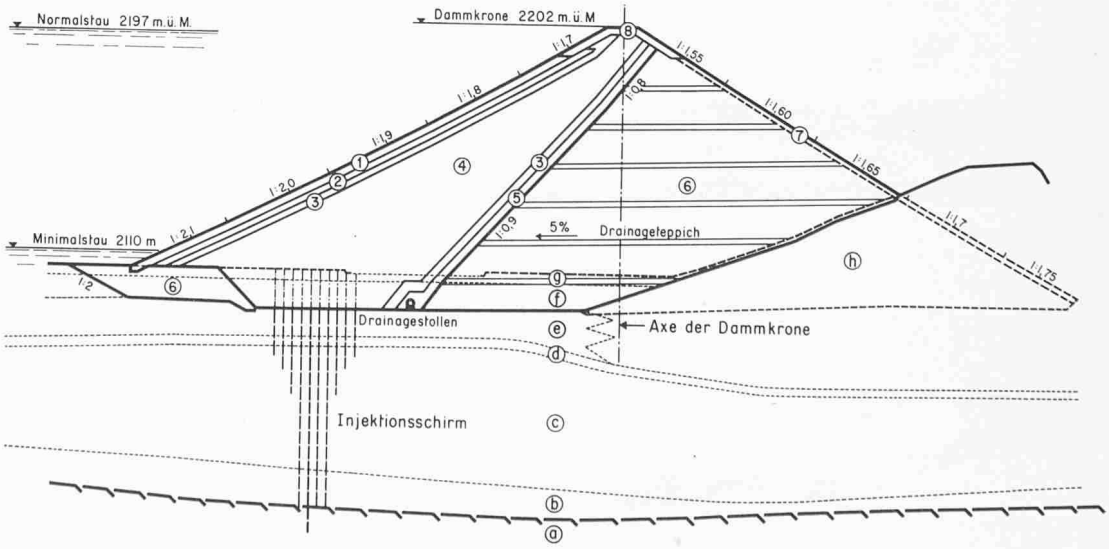


Bild 1. Normalprofil des Staudammes mit anschliessendem Injektionsschirm, Masstab 1:3000

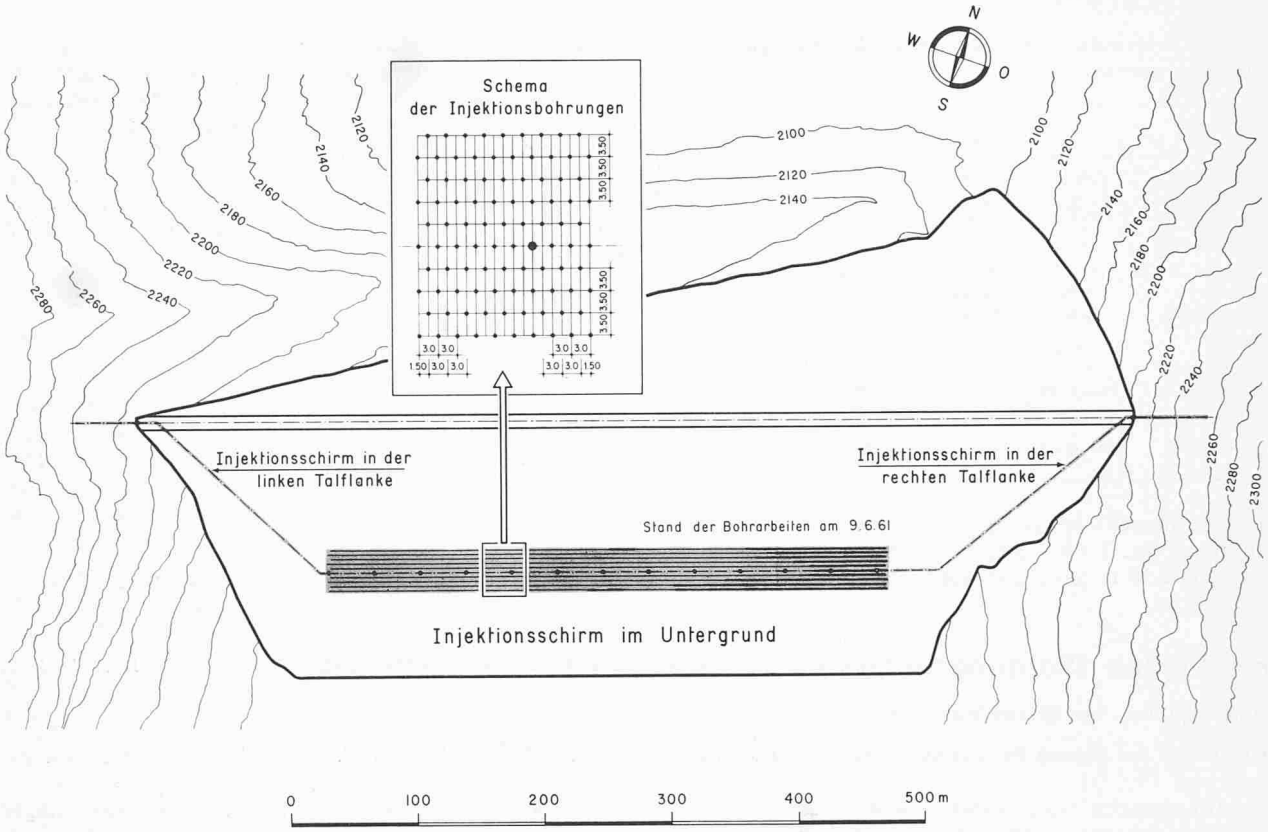


Bild 2. Injektionsschirm. Situation 1:6000 und Schema

Die Beurteilung der über der Grundmoräne liegenden sogenannten fluvioglazialen Alluvionen, welche nach der letzten Eiszeit entstanden sind und im übrigen in der hinteren Mattmarkebene anstehen, war wesentlich leichter, da zwischen der Granulometrie und dem relativ grossen Durchlässigkeitsbeiwert von 10^{-2} bis 10^{-3} cm/s keine wesentlichen Widersprüche bestanden. Die Uebergangszone, d. h. die sogenannte aufgearbeitete Moräne, musste als sehr heterogene Schicht ohnehin für teilweise stark durchlässig gehalten werden. Dagegen wurden die oberflächlichen Sand- und Schwemmschichten, welche zum grössten Teil feine Seeablagerungen darstellen, von Anfang an wegen ihres niedrigen Durchlässigkeitswertes von rd. 10^{-4} cm/s und wegen ihrer Setzungsempfindlichkeit als uninjizierbar und für den Kernanschluss unbrauchbar qualifiziert. Ihre Entfernung war somit gegeben.

Die in einer 2. Etappe nochmals aufgenommene gründliche Untersuchung der Grundmoräne hat die ganze Problematik der Laborversuche an gestörten Proben vor Augen geführt. Wie Bild 4 zeigt, besteht die Grundmoräne natürlich einerseits aus dichten, d. h. seit ihrer Entstehung mehr oder weniger ungestörten Schichten, deren Granulometrie derjenigen der Seitenmoränen des Allalingletschers entspricht. Sie eignen sich, da sie viel Feinmaterial besitzen, besonders gut zur Probenentnahme und weisen k-Werte von 10^{-4} bis 10^{-5} cm/s auf. Anderseits enthält die Moräne aber auch infolge der verschiedenen Gletscherstadien ausgedehnte Schichten mit mehr oder weniger starken Auswaschungen, deren k-Wert über 10^{-1} cm/s liegen kann. Es ist nun leicht, zu beweisen, dass, wenn nur 10 % der durchströmten Fläche einen k-Wert von 10^{-1} cm/s, die übrigen 90 % aber einen solchen von 10^{-5} cm/s besitzen, der mittlere k-Wert 10^{-2} cm/s be-

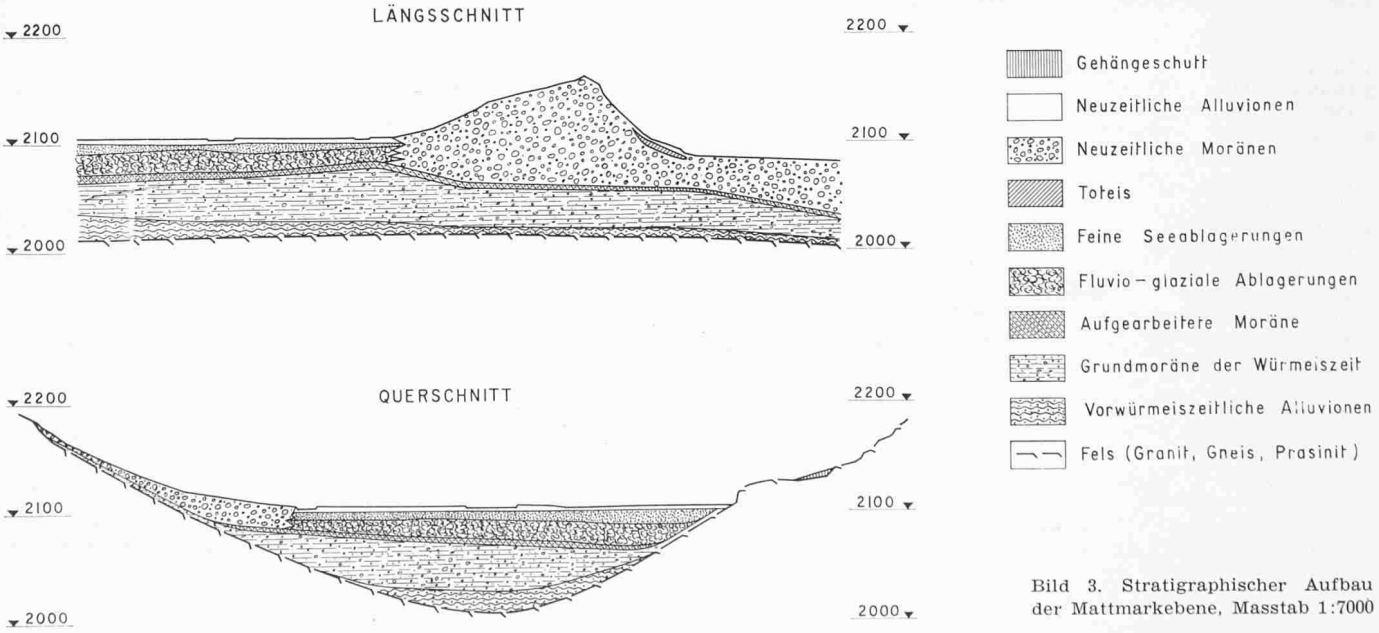


Bild 3. Stratigraphischer Aufbau der Mattmarkebene, Masstab 1:7000

trägt. Die Laborproben werden aber fast ausschliesslich aus den dichteren Schichten stammen, so dass sie ein völlig falsches Bild geben. Nur die in situ-Versuche sind hier repräsentativ.

Bei der Interpretation der in situ-Versuche ist es im übrigen weniger wichtig, welche von den verschiedenen Formeln zur Berechnung des k-Wertes angewandt wird, als dass die möglichen Versuchsmängel genau bekannt sind. So gibt z. B. der einfachste, nämlich der sogenannte punktuelle Versuch, bei welchem das Bohrrohr nur um eine kurze Strecke zurückgezogen wird, bevor die Abpressung erfolgt, meist gar keinen punktuellen Wert, da gerade im groben Material das Wasser leicht dem Futterrohr entlang in eine höher liegende durchlässigere Zone fliessen kann. Dagegen ergeben die punktuellen Versuche in feinkörnigen oder bereits injizierten Böden brauchbare Resultate und können, da sie rasch durchgeführt sind, in grosser Zahl unternommen werden. Dabei sollte man allerdings berücksichtigen, dass beim Durchlässigkeitsversuch mit Ueberdruck, d. h. beim Absenkversuch, der k-Wert im allgemeinen kleiner ist als beim Versuch mit Unterdruck, also beim Ansteigversuch, weil im ersteren Fall eine Art Kolmation, im letzteren eine Art Grundbruch entsteht. Somit müssen stets beide Versuche angeordnet werden, wobei der wahrscheinliche k-Wert als geometrisches Mittel anzunehmen ist, d. h.

$$k = \sqrt{k_{st} \cdot k_{abs}}$$

Will man in durchlässigen oder grobblockigen Böden den k-Wert mit einiger Sicherheit erfassen, so bleibt nur der eigentliche Filterversuch. Seine wohl kostspieligste aber sicherste Durchführung ist folgende (Bild 5):

Bohrung mit relativ grossem Durchmesser, z. B. 200 mm bis in die gewünschte Tiefe — Rückzug des Futterrohres um rd. 50 cm bis 1 m, und Füllen des Hohlraumes mit Lehmzapfen — Durchbohren des Lehmzapfens sowie der darunterliegenden Schicht auf ein bis mehrere Meter mittels kleinerem Durchmesser, z. B. 120 mm — Rückzug dieses Rohres unter Auffüllung des Hohlraumes mit Filterkies auf die gewünschte Länge — Versuch. Das Wasser kann jetzt nicht mehr längs des Rohres nach oben dringen!

Aus den verschiedenen Sondierbohrungen ergab sich im übrigen eine Abnahme der groben Blöcke im Untergrund bei zunehmender Entfernung von der südlichen Allalinmoräne. Unmittelbar am Fuss dieser Moräne war der Blockanteil in der Grundmoräne sehr gross. Der Schirm selber liegt in der Zone des Bohrloches 12 (Bild 4), wo dieser Blockanteil bereits geringer ist. Bis in die weiter südlich liegende blockarme Zone konnte der Schirm nicht verlegt werden, da sonst der Damm zu stark talaufwärts hätte verschoben werden müssen.

Sobald nun klar war, dass der alluviale Untergrund eine zu durchlässige Unterlage darstellt, musste eine Dichtung bis auf den im Maximum 100 m tiefen Fels projektiert werden. Ein Totalaushub für den Kernanschluss kam aus Kostengründen nicht in Frage; somit war zum mindesten ein Teil des Untergrundes ohnehin durch ein Spezialverfahren zu behandeln. Beachtet man nun, dass sich bei erfolgender Dammschüttung durch das grosse Uebergewicht im Untergrund Setzungen in der Grösse von 1 m ergeben können, so fallen starre Dichtungsschirme wie z. B. Caissons, Schlitzwände oder Pfahlwände ausser Betracht, selbst wenn sie preislich vertretbar wären. Auch der verdichtete Untergrund muss Setzungen ertragen können, so dass nur eine Behandlung mit Injektionen zulässig ist. Die Frage ging also lediglich nach der wirtschaftlichsten Begrenzungslinie zwischen Aushub und Injektionsbereich. Da aber bereits in einem Zeitpunkt gebohrt wird, in welchem der Umleitstollen noch nicht funktioniert, also noch keine Absenkung des Grundwasserspiegels möglich ist, müssen die Bohrgeräte auf der Höhe der Talsohle installiert und die Bohrungen von da aus begonnen werden. Somit ergab sich als wirtschaftlichste Begrenzung praktisch die Kote des minimalen Aushubes, wobei der uninjizierte Bereich überdies noch als Auflast für den Gegendruck dient.

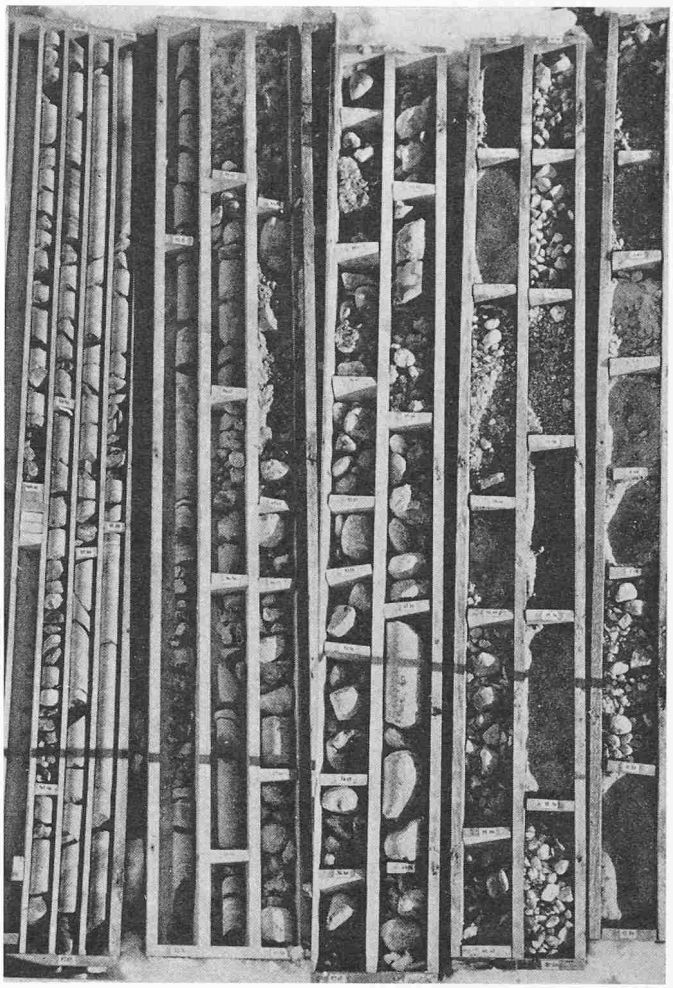


Bild 4. Bodenproben und Bohrkerne eines repräsentativen Bohrloches (Photo Brügger)

Da das Projekt des Mattmark-Schirmes von den bei seinen «Vorgängern» gemachten Erfahrungen beeinflusst wurde, dürfte es von Interesse sein, Vergleiche zwischen den verschiedenen Injektionsschirmen zu ziehen. Bild 6 gibt die Talquerschnitte und Hauptelemente der in Tabelle 1 enthaltenen Anlagen wieder.

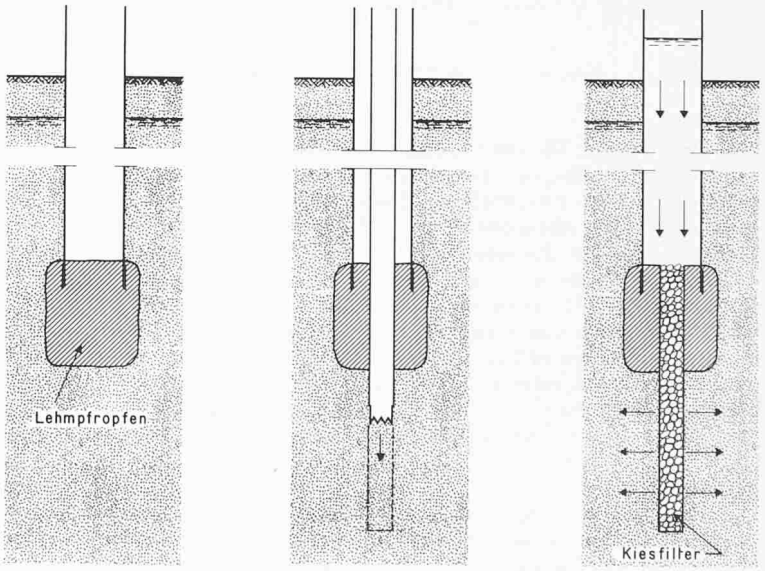


Bild 5. Schema der Anordnung von Durchlässigkeitsversuchen

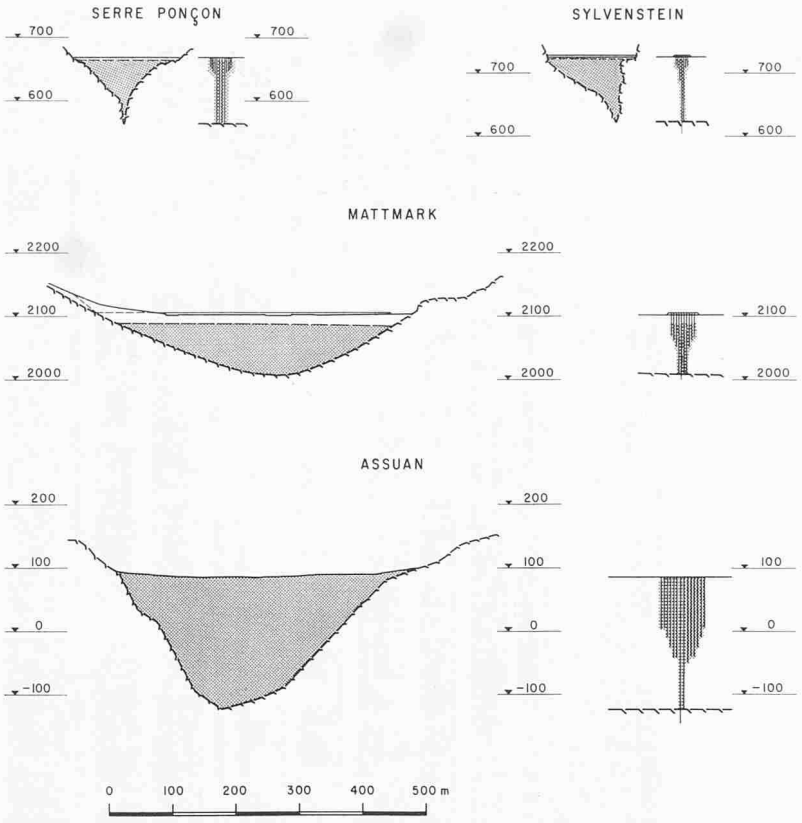


Bild 6. Hauptelemente einiger Injektionsschirme. Masstab 1:12 000

Tabelle 1. Daten von vier Staudämmen

Damm	Serre-Ponçon	Sylvenstein	Mattmark	Assuan
Land	Frankreich	Deutschland	Schweiz	Aegypten
Fluss	Durance	Isar	Vispe	Nil
Stadium	vollendet	vollendet	im Bau	Projekt
Absperrfläche im Lockergestein	4 200 m²	5 200 m²	20 000 m²	50 000 m²
Schirmvolumen	100 000 m³	73 000 m³	460 000 m³	2 Mio m³
Durchlässigkeiten vor der Injektion	$3 \cdot 10^{-2}$ cm/s (Mittelwert)	$10^{-1} \div 10^{-2}$ cm/s (Fluss-Schotter) $10^{-3} \div 10^{-4}$ cm/s (Sandlinsen)	$10^{-1} \div 10^{-2}$ cm/s (Grundmoräne) $10^{2-} \div 10^{-3}$ cm/s (Schotter)	
Erreichte oder zu erreichende mittl. Dichtigkeit	$3 \cdot 10^{-5}$ cm/s	10^{-4} cm/s	$3 \cdot 10^{-5}$ cm/s	
Bohrlänge in der Alluvion	17 000 m	10 000 m	71 000 m	

Bild 7 zeigt für die verschiedenen Injektionsschirme die Kornverteilungskurven der Alluvionen sowie die Granulometrien der Injektionsmaterialien. Dabei muss festgehalten werden, dass die Gültigkeit dieser Untergrundgranulometrien stets fraglich ist. Es kann sein, dass in den Flusstälern der Isar und der Durance, wo man sich schon relativ weit vom Ursprung der Gewässer befindet, relativ gleichmässige Untergrundverhältnisse vorherrschen; sehr wahrscheinlich wird es aber auch dort in geringerem Masse ähnlich wie in Mattmark sein, dass nämlich nebst den regelmässigen Ablagerungen extrem feine Partien, d. h. Sandlinsen, unter Umständen sogar Lehmlinsen auftreten, und dass gewisse Partien stark ausgewaschen sind und somit richtige Wasserläufe darstellen.

Nun hat man allgemein bei den Abdichtungsarbeiten festgestellt, dass eine Injektion nur dann gelingt, wenn die Granulometrie der injizierten Mischung wesentlich feiner ist als diejenige des Bodens. Ein Flusschotter mit $k = 10^{-1}$ cm/s, wie er in Sylvenstein auftritt, kann somit mit einer gewöhnlichen Ton-Zement-Mischung ohne weiteres auf 10^{-4} cm/s gedichtet werden; Sandlinsen von der Durchlässigkeit 10^{-3} cm/s müssen aber unbedingt mit einem feineren Material, d. h. etwa mit Bentonit oder eventuell chemisch behandelt werden und erhalten dann $10^{-4} \div 10^{-6}$ cm/s. Man kann die Wichtigkeit dieses Faktums nicht genug betonen, namentlich auch im Zusammenhang mit der Frage des Injektionsdruckes. Erreicht man nämlich beispielsweise mit einer Ton-Zement-Mischung während der Injektion einen Druck von 30 bis 40 atü, so beweist das gar nicht unbedingt die Dichtigkeit des Terrains, deutet aber mit Sicherheit darauf hin, dass ein Weiterinjizieren mit diesem Gemisch keinen Sinn mehr hat, sondern höchstens zur Anhebung der Alluvion und damit zu deren «inneren Sprengung» führt.

Man kann also zum voraus sagen, dass in einem Injektionsschirm, welcher mit den üblichen Ton-Zement-Gemischen ausgeführt wird — je mehr Zement das Gemisch enthält, um so gröber ist es im übrigen —, unbehandelte Sandlinsen stehen bleiben. Führt man nun zur Kontrolle einen Färbversuch bei vollem Stausee durch, so kann die Farbe bei 50 m Stau und 10 m Schirmbreite ohne weiteres schon nach 1 bis 2 Tagen auf der Talseite erscheinen, womit aber nicht bewiesen ist, dass die Injektionen mangelhaft ausgeführt sind.

Vergleicht man die Granulometrien von Mattmark mit denjenigen von Sylvenstein und Serre-Ponçon, so stellt man fest, dass es mit dem zur Verfügung stehenden relativ groben Opalinuston nicht möglich sein wird, das relativ feine Mattmarkmaterial ebenso wirksam zu behandeln, wie es bei den beiden andern Schirmen der Fall war. Somit kann der Ton unter Beimischung von mehr oder weniger Zement und Wasserglas höchstens dazu dienen, die ausgewaschenen Partien, vorab der Grundmoräne, zu behandeln, welche im übrigen relativ umfangreich sind und für welche die Vorversuche k-Werte von 10^{-1} cm/s ergaben. Die vorwürmeiszeitlichen Alluvionen aber und vor allem die mit Sandlinsen durchsetzten Fluss- und Gletscheralluvionen werden erst von den Bentonit-Phosphat-Injektionen erfasst, deren Granulometrie bestimmt wird durch den Feinanteil des Bentonits, welcher 70 % der Körner unter 2 μ besitzt. Beim Ton sind es im Mittel rund 30 %.

Da also mit verschiedenen Mischungen, d. h. in verschiedenen Phasen injiziert werden soll, werden *sämtliche* Bohrlöcher — und darin unterscheidet sich der Schirm von Mattmark wiederum von andern — mit Manschettenrohren für wiederholte Injektionen ausgerüstet. Voraussichtlich werden drei Injektionsdurchgänge wie folgt ausgeführt: ein erster mit rd. 300 kg Ton + 100 kg Zement pro m³ Gemisch, ein zweiter mit Ton und wenig Zement und ein dritter mit rd. 100 kg Bentonit pro m³ Mischung. Kann man auf Grund der Aufnahmen und der erreichten Drücke eine Sättigung des Bodens vermuten, so werden am Rand sowie in der Mitte des Schirmes Kontrollbohrungen und Wasserabpressversuche durchgeführt. Wo der verlangte k-Wert nicht erreicht ist, wird nachinjiziert und wieder kontrolliert.

Zum Schluss sollen noch einige Ueberlegungen über die voraussichtliche Absorption oder die Materialaufnahme des Schirmes angestellt werden. Ausgehend von der Tatsache, dass die zu injizierende Bohrlänge 44 000 m beträgt, und von der begründeten Vermutung, dass der Einflussbereich einer Bohrung sich auf 3,5 m × 3,0 m beläuft, erhalten wir das zu injizierende Erdvolumen — von den Felsinjektionen soll hier nicht gesprochen werden — mit 460 000 m³. Rund ein Drittel dieses Volumens wird in Hohlräumen bestehen, also 160 000 Kubikmeter. Die injizierten Gele bestehen aus Wasser und Festsubstanz und sind beim Erstarren an freier Luft quasi raumbeständig. Im Boden wird

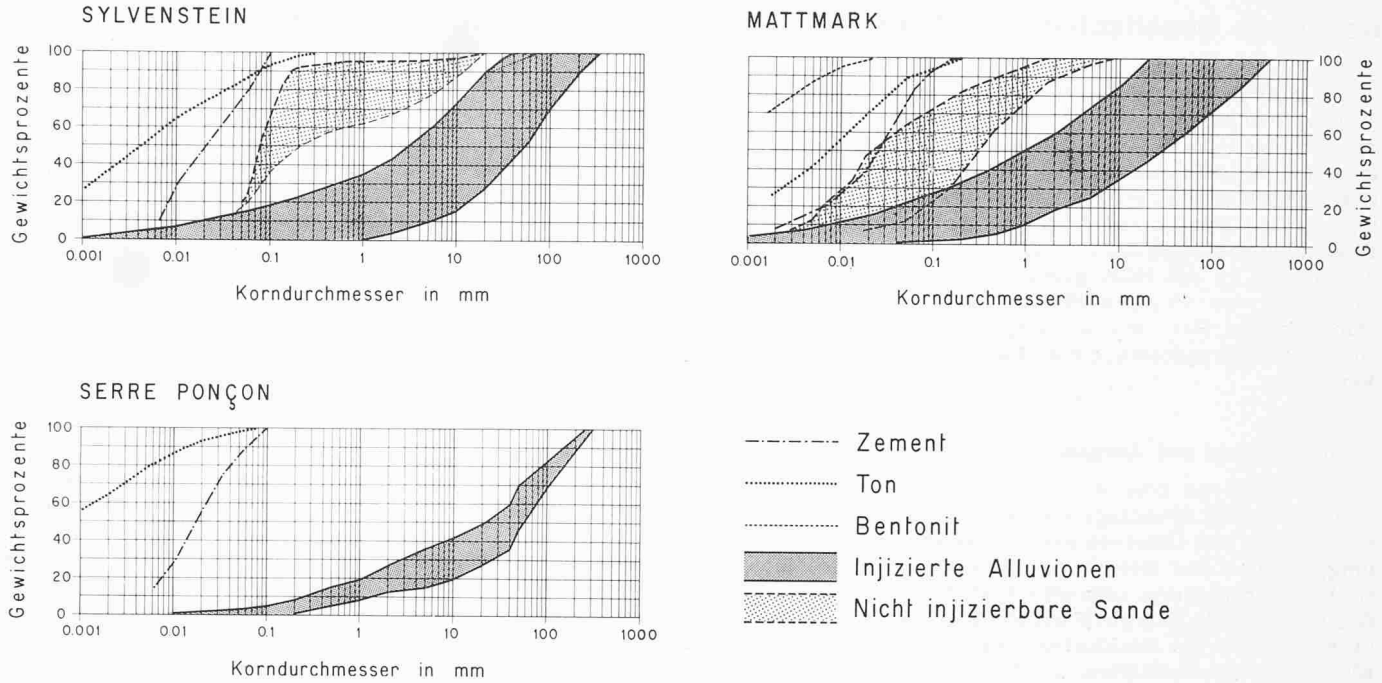


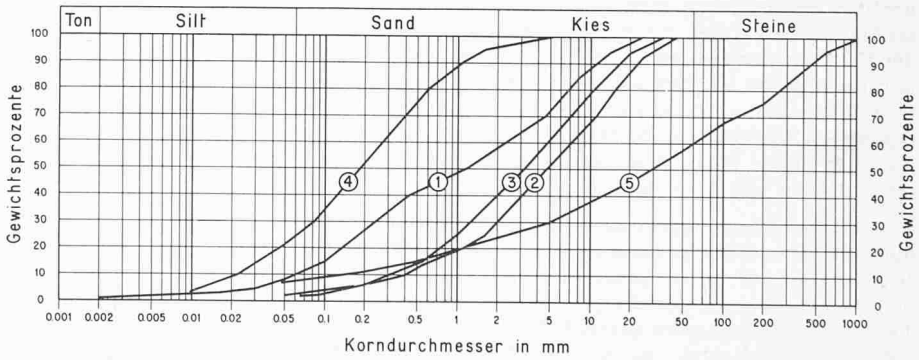
Bild 7. Untergrundgranulometrie und Kornverteilung der Injektionsmaterialien für verschiedene Injektionsschirme

unter den dort herrschenden Drücken wahrscheinlich eine Volumenverminderung auf 80 ÷ 60 % stattfinden, so dass man füglich mit einer Gelmenge von 250 000 m³ rechnen kann; dies entspräche einer Menge von rd. 75 000 t Festsubstanz, oder anders ausgedrückt rd. 165 kg/m³ und zwar 100 kg Ton, 20 kg Zement, 35 kg Bentonit und Chemikalien. Diese Zahlen mögen im ersten Augenblick etwas klein anmuten, wenn man bedenkt, dass die Aufnahmen von Serre-Ponçon 300 kg/m³ überstiegen (240 kg Ton und 110 kg Zement) und auch die von Sylvenstein noch bei 200 kg/m³ lagen (160 kg Ton und 40 kg Zement). Doch zeigen sich gewisse prinzipielle Unterschiede zwischen den verschiedenen Ausführungen. In Serre-Ponçon waren beispielsweise die Zementmengen sehr hoch, d. h. es wurde unter hohen Drücken ein relativ grobes Material eingepresst, was unbedingt zur Linsenbildung im Boden geführt haben muss. Dadurch hat sich natürlich das Porenvolumen des Bodens vergrössert und deshalb auch die Absorptionsfähigkeit. Im weiteren wurde weder in Serre-Ponçon noch in Sylvenstein mit Bentonit injiziert. Nun ist aber die Quellfähigkeit des Bentonits 2 bis 3 mal grösser als diejenige des Tons, was die Absorption an Festsubstanz nochmals herabsetzt. In diesem Licht gesehen, scheinen die 165 kg/m³ Boden durchaus vernünftig und es dürfte in erster Linie eine Sache der fachkundigen Ausführung sein, mit einem Minimum an Material ein Maximum an Dichtigkeit zu erhalten.

Adresse des Verfassers: Dr. *B. Gilg*, Elektrowatt AG, Zürich, Claridenstr. 22, Zürich 2

Bild 8 (rechts). Kornverteilung der einzelnen Untergrundschichten der Mattmarkebene [Mittelwerte]

1 Vorwürmeiszeitliche Alluvionen
2 Grundmoräne der Würmeiszeit
3 Fluvio-glaziale Ablagerungen
4 Feine Seeablagerungen
5 Südliche Seitenmoräne des Allalingletschers



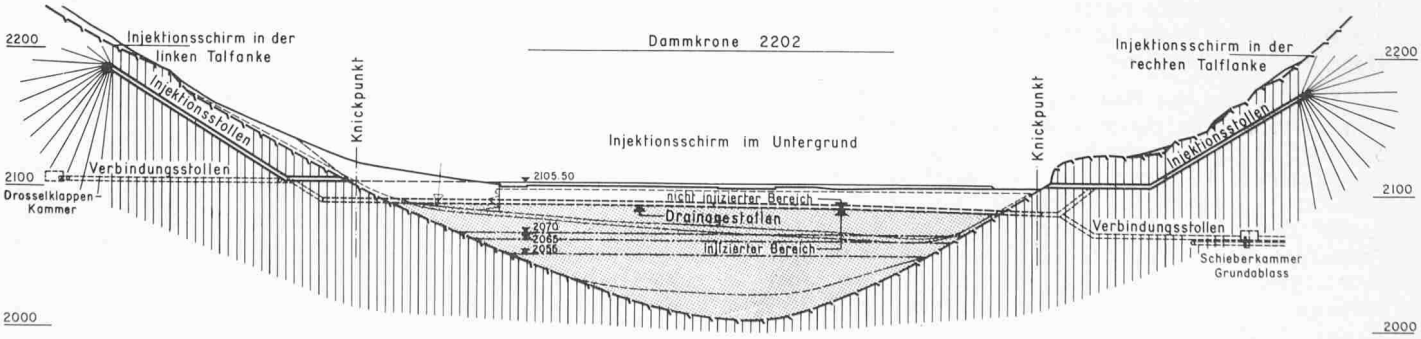


Bild 9. Längsschnitt durch den Injektionsschirm des Staudammes Mattmark, Masstab 1:5500