

Das Projekt des Dichtungsschirmes im Staudamm von Mattmark: Vortrag

Autor(en): **Gilg, B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79 (1961)**

Heft 35

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-65589>

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.

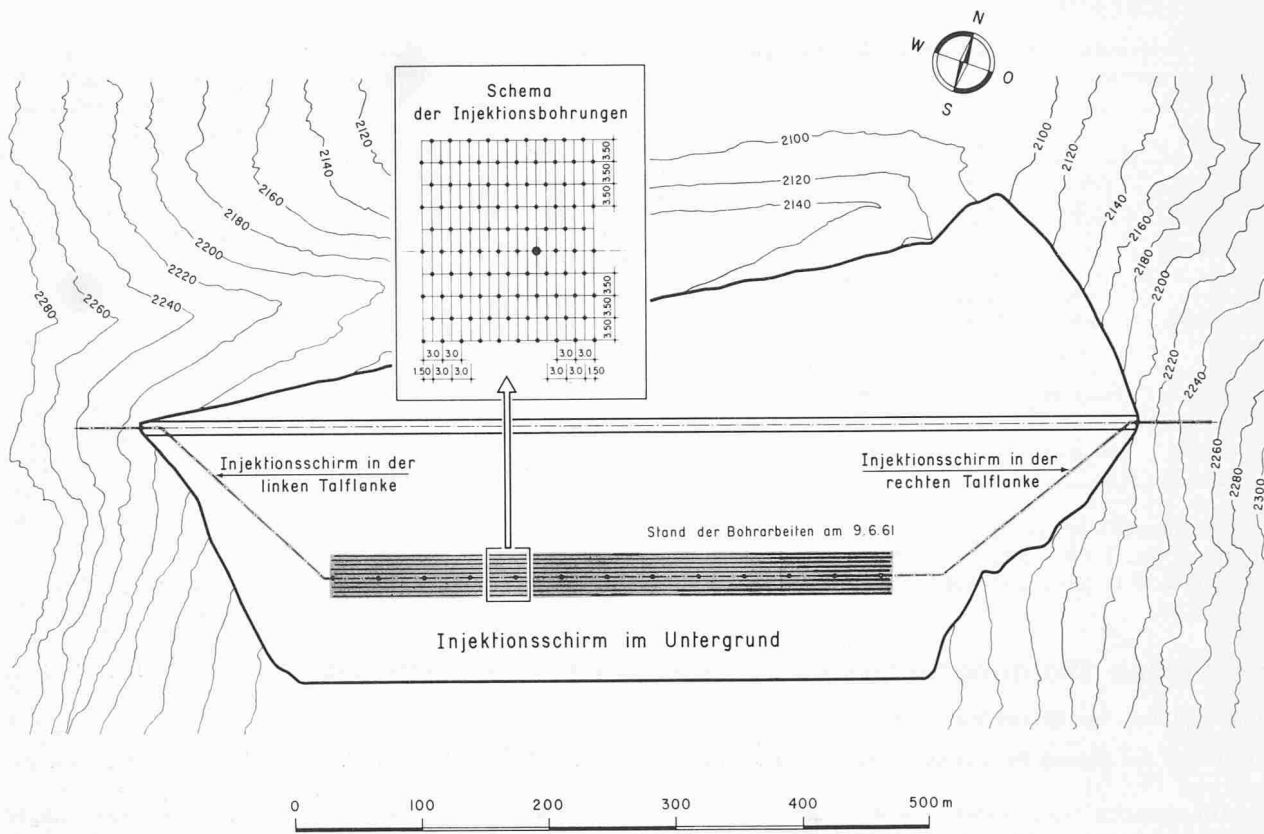


Bild 2. Injektionsschirm. Situation 1:6000 und Schema

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 Uebergangzone, 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 Allalngletschers 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. Andererseits 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-

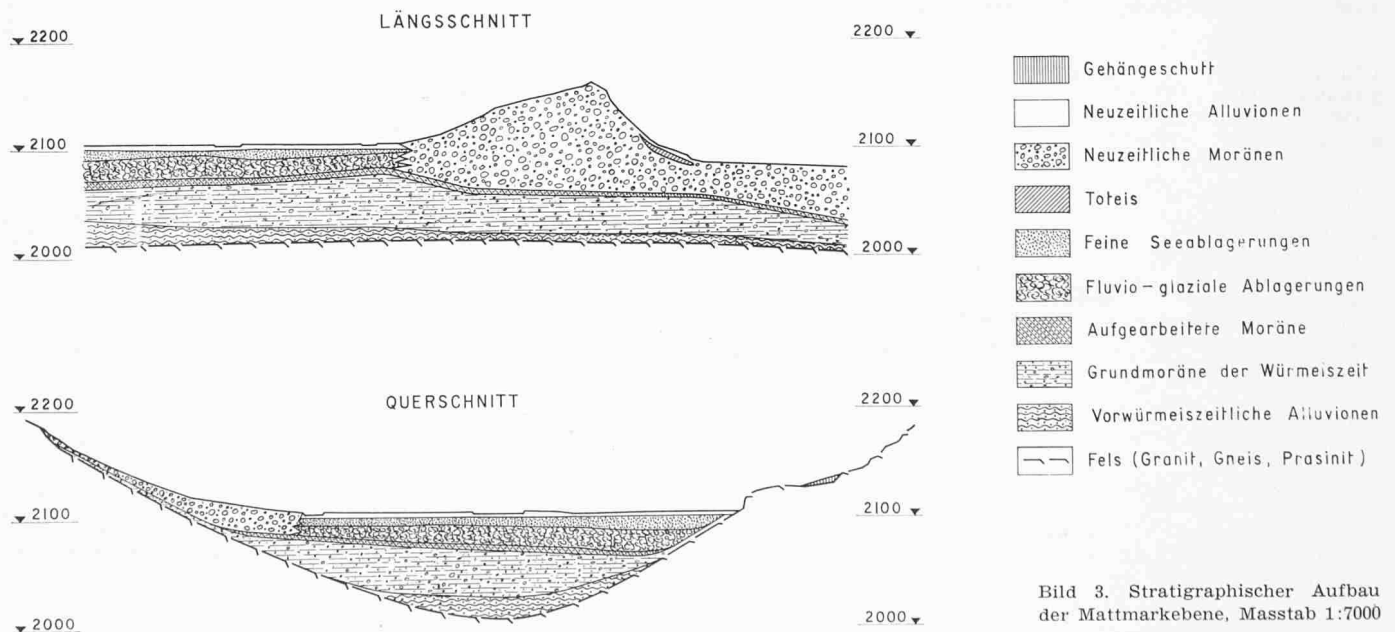


Bild 3. Stratigraphischer Aufbau der Mattmarkebene, Masstab 1:7000

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.

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

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 darunter liegenden 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 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 erfolgreicher 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 prakt-

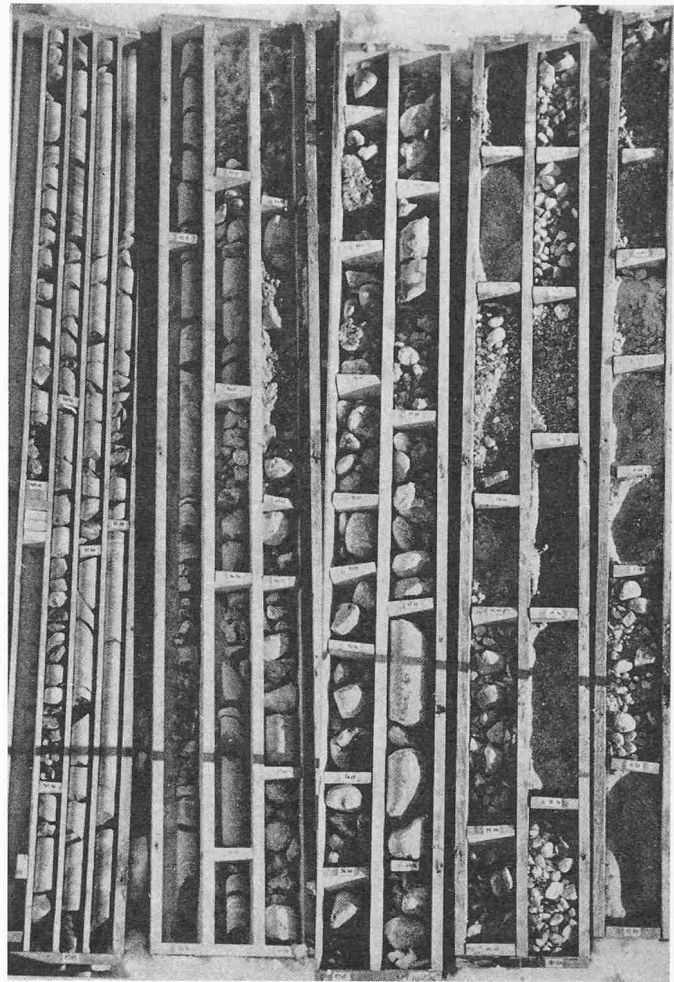


Bild 4. Bodenproben und Bohrkerne eines repräsentativen Bohrloches (Photo Brügger)

tisch die Kote des minimalen Aushubes, wobei der uninjizierte Bereich überdies noch als Auflast für den Gegendruck dient.

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.

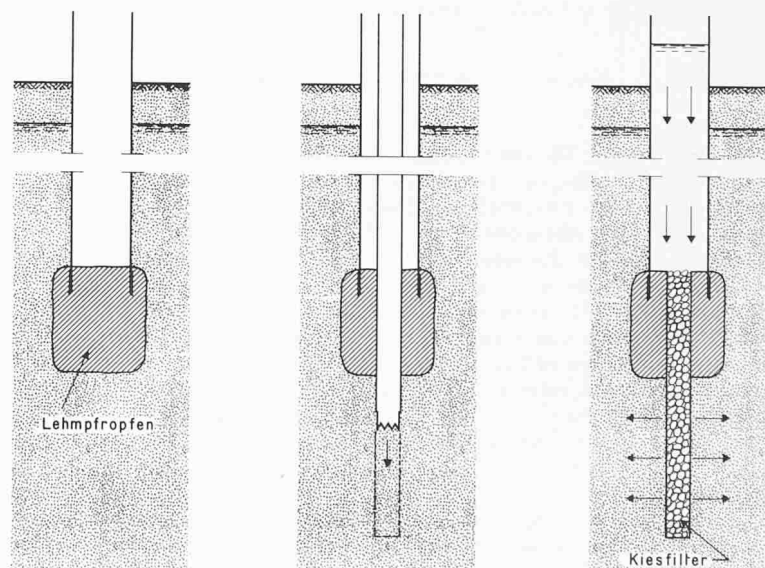


Bild 5. Schema der Anordnung von Durchlässigkeitsversuchen

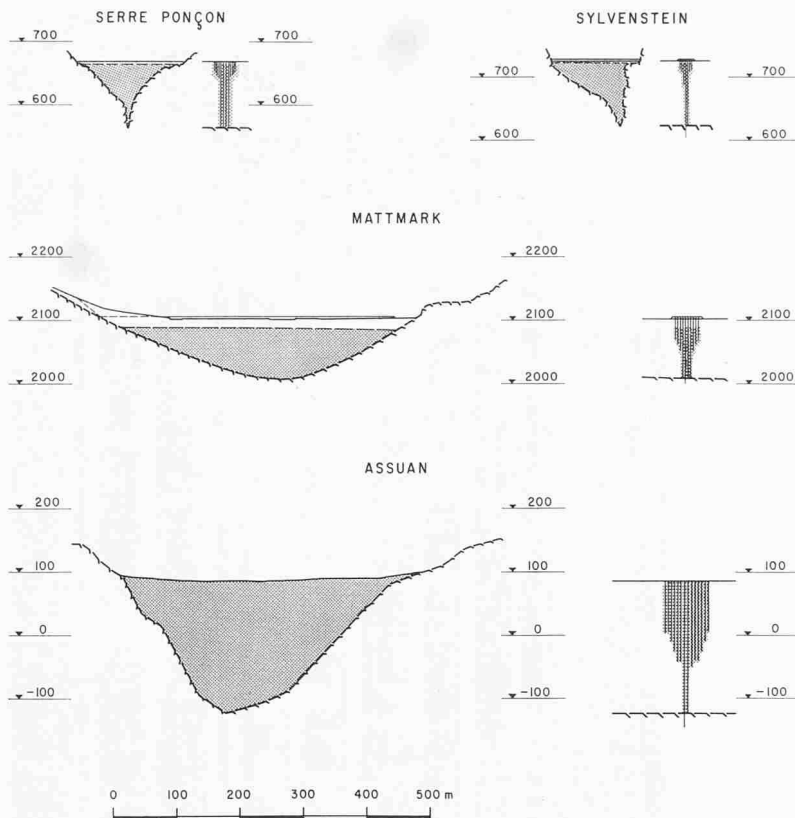


Bild 6. Hauptelemente einiger Injektionsschirme. Masstab 1:12 000

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 m ²	5 200 m ²	20 000 m ²	50 000 m ²
Schirmvolumen	100 000 m ³	73 000 m ³	460 000 m ³	2 Mio m ³
Durchlässigkeiten vor der Injektion	3 · 10 ⁻² cm/s (Mittelwert)	10 ⁻¹ ÷ 10 ⁻² cm/s (Fluss-Schotter) 10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁴ cm/s (Sandlinsen)	10 ⁻¹ ÷ 10 ⁻² cm/s (Grundmoräne) 10 ⁻² ÷ 10 ⁻³ cm/s (Schotter)	
Erreichte oder zu erreichende mittl. Dichtigkeit	3 · 10 ⁻⁵ cm/s	10 ⁻⁴ cm/s	3 · 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 Flussstälern 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 Flussschotter mit $k = 10^{-1}$ cm/s,

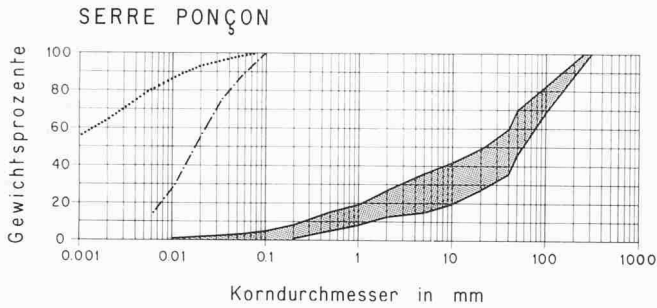
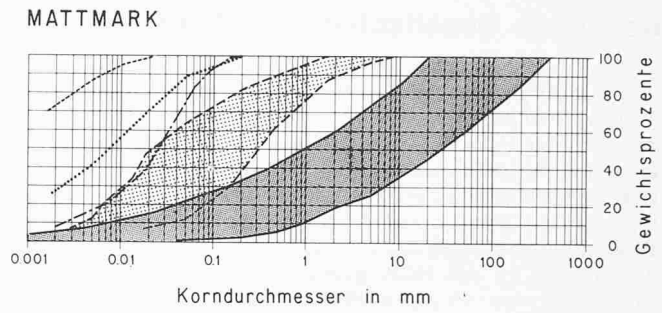
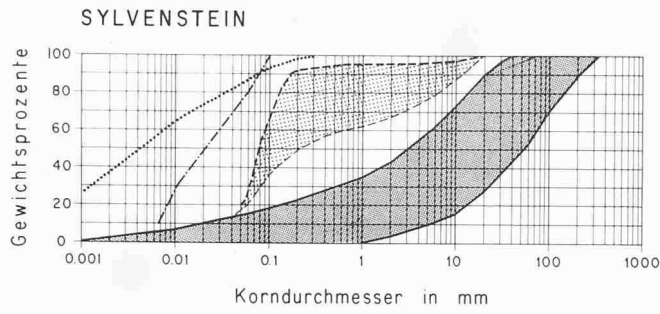
wie er in Sylvenstein auftritt, kann somit mit einer gewöhnlichen Ton-Zement-Mischung ohne weiteres auf 10^{-4} cm/s gedichtet werden; Sandlinsen von der Durchlässigkeit 10^{-3} cm/s müssen aber unbedingt mit einem feineren Material, d. h. etwa mit Bentonit oder eventuell chemisch behandelt werden und 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 größer 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 2μ 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 $3,5 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$ 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



- Zement
- Ton
- Bentonit
- Injizierte Alluvionen
- ▨ Nicht injizierbare Sande

Bild 7. Untergrundgranulometrie und Kornverteilung der Injektionsmaterialien für verschiedene Injektionsschirme

unter den dort herrschenden Drücken wahrscheinlich eine Volumenverminderung auf $80 \div 60\%$ stattfinden, so dass man füglich mit einer Gelmenge von $250\,000\text{ m}^3$ rechnen kann; dies entspräche einer Menge von rd. $75\,000\text{ t}$ Festsubstanz, oder anders ausgedrückt rd. 165 kg/m^3 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/m^3 überstiegen (240 kg Ton und 110 kg Zement) und auch die von Sylvenstein noch bei 200 kg/m^3 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/m^3 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 Untergrundsichten der Mattmarkebene [Mittelwerte]

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

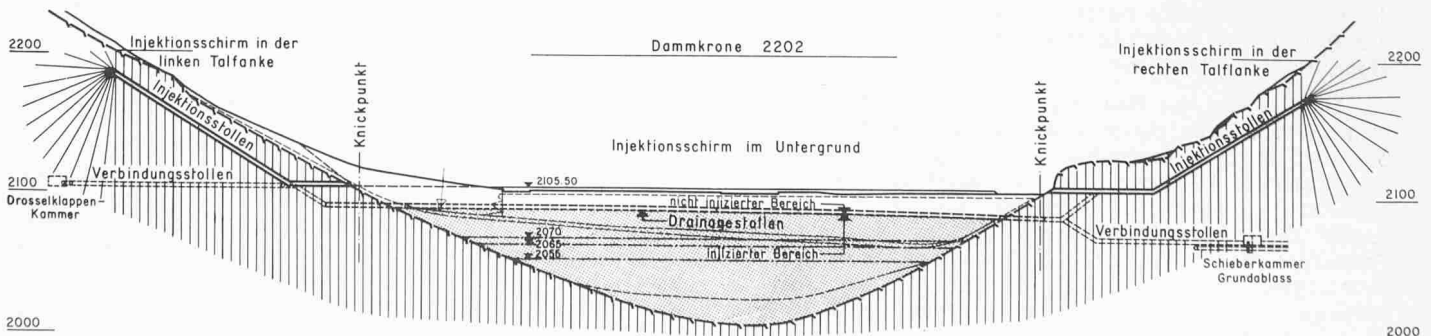
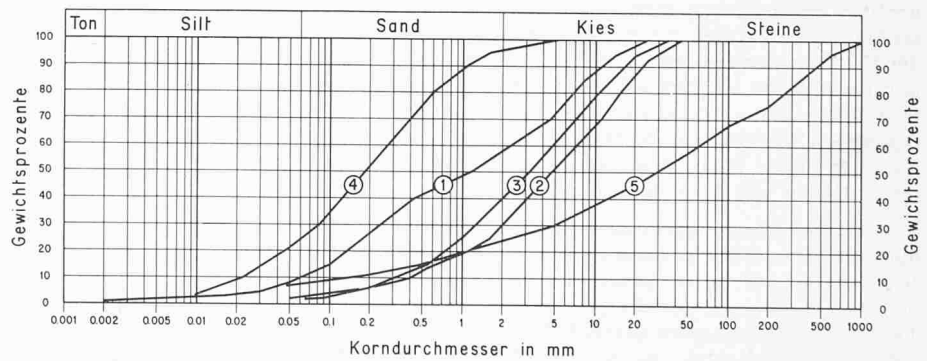


Bild 9. Längsschnitt durch den Injektionsschirm des Staudammes Mattmark, Masstab 1:5500