

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 75 (1957)
Heft: 2

Artikel: Erdbauliche Untersuchungen für den Staudamm Göschenenalp
Autor: Zeller, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-63294>

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: 08.07.2025

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

für den Aufbau der Zonen 1, 2 und 3 verwendet werden müssen. Eine Nassbaggerung kommt deshalb nicht in Frage; der Talboden ist trocken zu legen, indem der Grundablass durch einen Umleitstollen ($\varnothing$ 4,25 m) von 905 m Länge ergänzt wird und zusätzliche Entwässerungsschächte vorgesehen sind, die das Grundwasser des Talbodens in diesen Umleitstollen einleiten.

Ebenfalls auf der linken Talseite ist für die betriebsmässige Regulierung des Stauspiegels eine Hochwasserentlastung für 200 m³/s vorgesehen, entsprechend einem Hochwasserabfluss von 4,7 m³/s pro km² des natürlichen Einzugsgebietes. Dieser spezifische Hochwasserabfluss von 4,7 m³/s pro km² scheint sehr hoch zu sein; doch muss die Dimensionierung der Hochwasserentlastung bei einem Erddamm mit aller Sicherheit erfolgen.

Adresse des Verfassers: Dr. Willy Eggenberger, Wannenstrasse 10, Thalwil ZH.

V. Energieproduktion und Baukosten

Das Kraftwerk Göschenen wird nach Fertigstellung in einem Jahr mittlerer Wasserführung 320 Mio kWh erzeugen können, wovon 43 % auf das Winterhalbjahr und 57 % auf das Sommerhalbjahr entfallen. Der vermehrte Wasseranfall im Winter steigert zudem die Produktion der unterliegenden Kraftwerke Wassen und Amsteg um rund 100 Mio kWh.

Die Baukosten der gesamten Kraftwerkanlage werden rd. 170 Mio Franken betragen, wovon bis heute ungefähr 145 Mio Fr. als Bauaufträge vergeben worden sind; die Anlagekosten (Baukosten + Allgemeine Bauunkosten + Unvorhergesehenes) wurden auf rd. 220 Mio Franken veranschlagt.

Die Bauzeit des Staudammes (ohne die Schutzkappe) und der übrigen Anlageteile wird 5 Jahre betragen, so dass die Energieproduktion im Herbst 1960 aufgenommen werden kann.

Erdbauliche Untersuchungen für den Staudamm Göschenenalp

DK 627.824.3.001.2

Von Dipl. Ing. J. Zeller, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich

I. Einleitung

Erddämme erfordern im Grunde genommen ähnliche Untersuchungen wie Betonmauern. Bei beiden sind die Baugrundverhältnisse zu prüfen und die Zusammensetzung der Baustoffe und deren Eigenschaften zu ermitteln. Die Vorarbeiten für einen Erddamm gehen insofern etwas weiter, als Dämme nicht auf Fels fundiert werden müssen, was genaueste bodenmechanische Untersuchungen des Baugrundes bezüglich Tragfähigkeit, Setzungsempfindlichkeit und Durchlässigkeit erfordert. Ausserdem kann der Aufbau des Dammkörpers selbst individuell den vorhandenen, in nächster Umgebung liegenden Baustoffen angepasst werden.

Um den Ueberblick über die für den Staudamm Göschenenalp durchgeführten Arbeiten zu erleichtern, soll generell das Vorgehen bei einer derartigen Untersuchung kurz skizziert werden. Folgende Hauptgruppen lassen sich unterscheiden:

a) Als Unterlage für geologische und bodenmechanische Aufnahmen und für die Projektbearbeitung werden *topographische Pläne* der Sperrstelle und der voraussichtlichen Materiallagerstätten hergestellt. Je nach den Verhältnissen sind die Masstäbe 1:500, 1:1000 und 1:2000 zweckmässig, wobei für die Detailprojektierung und die Bauausführung ein Plan im Masstab 1:500 oder grösser vorliegen sollte.

b) Durch den Geologen werden in enger Zusammenarbeit mit projektierendem Ingenieur und Bodenmechaniker *geologische Aufnahmen* ausgeführt, wobei besonders dem Felsverlauf im Bereiche des Dammes, dem Aufbau und unter Umständen der Entstehungsgeschichte des Dammuntergrundes Beachtung zu schenken ist. Häufig wird der Geologe beauftragt, geeignete Dammbaumaterialien aufzusuchen, die in genügender Menge und Qualität in erreichbarer Nähe der Baustelle anfallen.

c) Mit Hilfe von *Sondierungen* und *seismischen Aufnah-*

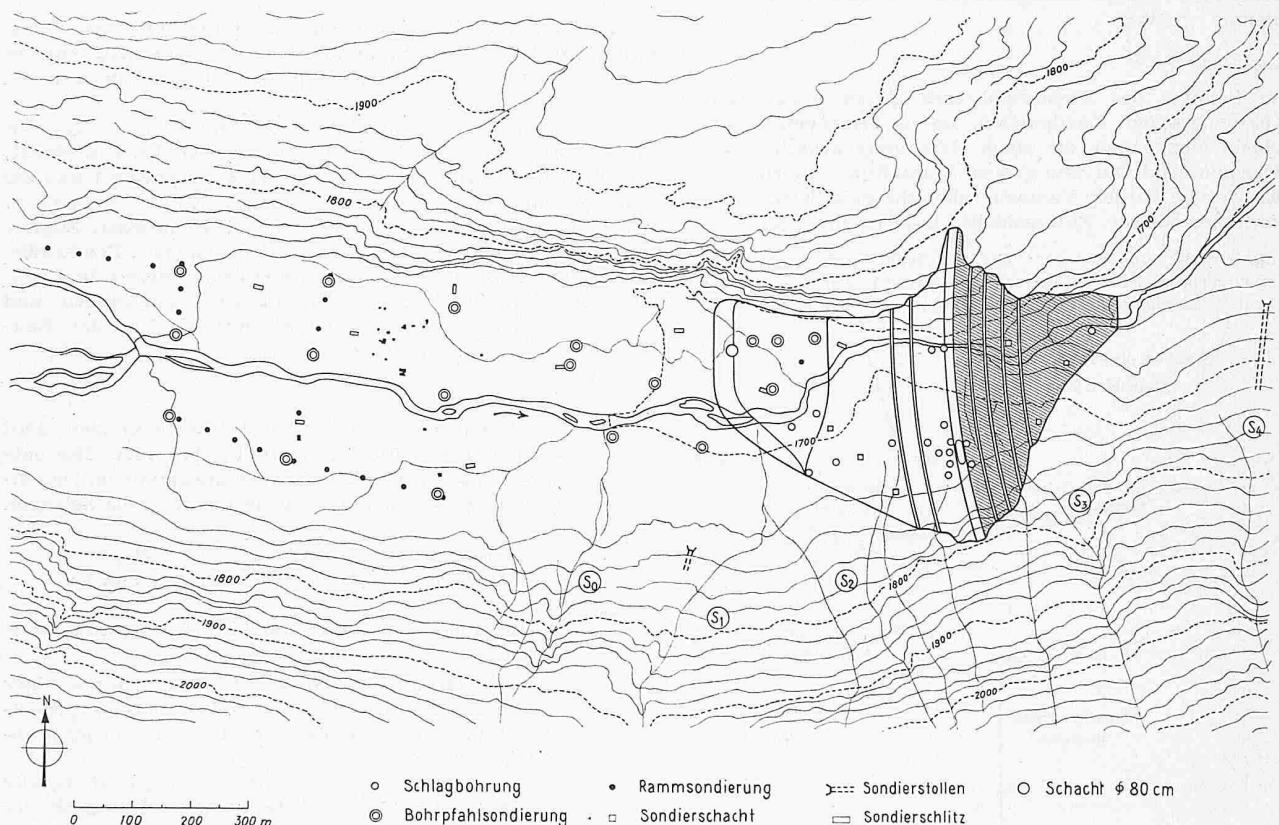


Bild 1. Sondierungen der Jahre 1950/56, Karte 1 : 125 000

men werden in Zusammenarbeit mit Geologe und Bodenmechaniker der Felsverlauf im Gebiet der Sperrstelle und der Schichtaufbau des Dammuntergrundes bestimmt und die Materialien klassiert. In analoger Weise wird auch bei der Untersuchung der Dammbaumaterialien vorgegangen.

d) Im *Laboratorium* werden an den derart erschlossenen Materialien die bodenmechanischen Eigenschaften bestimmt, wobei vor allem der Lagerungsdichte, Setzungsempfindlichkeit, Scherfestigkeit, Durchlässigkeit und Verdichtbarkeit besondere Beachtung geschenkt wird. Hierzu ist ein Stab in der Bodenmechanik ausgebildeter Ingenieure und Techniker mit gut eingerichtetem Laboratorium erforderlich.

e) Mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse werden verschiedene mögliche *Dammprofile* entworfen und auf ihre Stabilität geprüft. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erlaubt, Vor- und Nachteile zu erkennen und den geeignetsten Profiltyp auszuwählen. Dieser wird, sobald exaktere bodenmechanische Daten vorliegen, einer genauen Prüfung unterzogen, die alle Belange des modernen Dammbaues umfasst.

f) Im *Laboratorium* sind die Baumaterialien Prozessen unterworfen worden, die möglichst den Verhältnissen in einem Dammkörper entsprechen sollen. Es wurde auch versucht, die Materialien derart zu behandeln (z. B. verdichten), dass möglichst günstige Eigenschaften erzielt werden konnten. Es gilt nun, diese Resultate möglichst ebenbürtig in die Natur zu übertragen. *Grossversuche* im Masstab 1:1 werden auf der Baustelle mit den in Betracht fallenden Baumaschinen durchgeführt. Sie ergeben die

g) *Einbauvorschriften*, die in enger Zusammenarbeit mit Bauleitung, Unternehmer und Bodenmechaniker erlassen werden. Aufsichtsorgan ist vor allem in bodenmechanischer Hinsicht das Personal des

h) *Feldlaboratoriums*, das einerseits die laufende Einbaukontrolle auszuführen hat, andererseits Messgeräte in den Damm versetzt und neue Probleme studiert, die sich während des Baues ergeben.

i) Es wäre noch darauf hinzuweisen, dass damit die Arbeiten nicht erschöpft sind, sondern dass auch nach der Fertigstellung des Bauwerkes auf viele Jahre hinaus *Ueberwachungsarbeiten* durchzuführen sind.

II. Ueberblick über die Untersuchungen der Jahre 1950 bis 1956

1. Topographie

Bei Beginn der Arbeiten in den Jahren 1950/51 stand eine Kartenvergrößerung im Masstab 1:5000 zur Verfügung. Sie leistete für Geologie und allgemeine geotechnische Aufnahmen gute Dienste. Im Jahre 1953 wurden dann Detailpläne 1:1000 und 1:500 auf Grund photogrammetrisch-terrestrischer Aufnahmen herausgegeben, die fortan die Grundlage für sämtliche geotechnischen und Projektierungsarbeiten bildeten. Es bestätigte sich sehr bald die Zweckmässigkeit von exakten topographischen Aufnahmen, so dass viel Leerlaufarbeit infolge zu ungenauer Kartierung vermieden werden konnte.

2. Geologie

Das Staubecken und die Sperrstelle befinden sich zur Hauptsache in der Aargranitzone. Die Klüftung ist verhältnismässig gering. Schieferungszonen können auf der linken und rechten Talflanke im Gebiet der Sperrstelle beobachtet werden. Da die Festgesteinsgeologie relativ einfach ist, beschränkte man sich im weiteren auf die Ermittlung des Felsverlaufes im Gebiet der Sperrstelle und der alluvialen Ablagerungen. Die Dichtigkeit des Beckens soll nach Ansicht des Geologen gut sein. Die bis heute ausgeführten Arbeiten bestätigten durchwegs die geologischen Prognosen.

3. Seismische Aufnahme der Felsoberfläche

Im Jahre 1950 wurden seismische Aufnahmen vor allem im Gebiet der Sperrstelle durchgeführt. Mit Hilfe von Quer- und Längsprofilen mit einem Zwischenraum von rd. 50 bis 100 Meter und einiger etwas später durchgeführter Sondierbohrungen wurde eine Felsoberflächenkarte im Masstab 1:1000 hergestellt. Sie leistete für die späteren Sondierungsarbeiten recht gute Dienste.

Ein Vergleich zwischen der mit Hilfe der Seismik aufgestellten Prognose über den Felsverlauf und den durch die Sondierbohrungen festgestellten Felskoten zeigt für die Sondier-

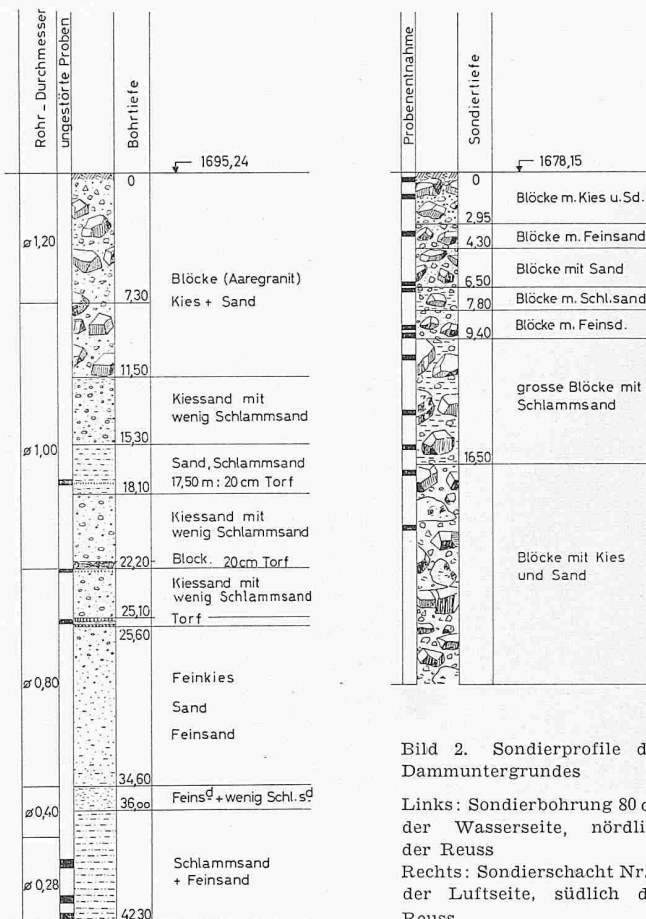


Bild 2. Sondierprofile des Dammuntergrundes

Links: Sondierbohrung 80 cm der Wasserseite, nördlich der Reuss
Rechts: Sondierschacht Nr. 4 der Luftseite, südlich der Reuss

periode 1950/55 bei einer mittleren erbohrten Felstiefe von 36,5 m bei 14 Bohrungen im Mittel eine Abweichung von -23 Prozent (zu wenig tief) und +14 % (zu tief) bezogen auf die mit Hilfe der Seismik ermittelten Felstiefen. Erschwerend für die seismischen Aufnahmen wirkten sich vor allem die starke Heterogenität und die z. T. grossen Blöcke der alluvialen Ablagerungen aus. Etwas unangenehme Folgen brachte die Ungenauigkeit im Gebiet der Dammaxe mit sich, indem auf der rechten Talseite eine Felsmulde nicht erkannt wurde, wodurch man später mit dem Injektionsstollen auf eine kurze Strecke in den Schutt hineinfuhr.

Die Erfahrungen auf der Göschenalp lehren uns, dass für eine Projektbearbeitung neben seismischen Aufnahmen noch eine grössere Zahl von Sondierbohrungen erforderlich sind, um wirklich ein repräsentatives Bild über den Felsverlauf zu erhalten. Dies erlaubt bei der Herstellung der Felsoberflächenkarte zudem eine exaktere Auswertung, indem an eine grössere Anzahl von Festpunkten angeschlossen werden kann.

4. Untersuchung der alluvialen und fluvio-glazialen Ablagerungen

Die Hauptarbeiten entfielen in die Jahre 1950/53. Ergänzungen wurden 1955/56 ausgeführt, als sich auf Grund einer ersten Stabilitätsbetrachtung die Notwendigkeit zusätzlicher Sondierungen ergab. Zwei Untersuchungsgebiete lassen sich unterscheiden (Bild 1): Dammuntergrund und Materiallagerstätten.

Schon bald nach Inangriffnahme der geologischen und geotechnischen Untersuchungen zeigte sich das Fehlen lehmiger Materialien, wie sie für den Kern normalerweise benötigt werden. Man prüfte deshalb die Möglichkeit, durch Zusatz von Ton oder Bentonit zum Kiessand ein geeignetes Kernmaterial künstlich zu schaffen. Aus diesem Grunde wurde der ganze Talboden im Hinblick auf hierfür geeignete Bodenarten untersucht.

a) Sondierungen im Bereich des Dammes

Diese Sondierungen dienten der Verifikation des mit Hilfe der Seismik bestimmten Felsverlaufes und der Ermittlung des

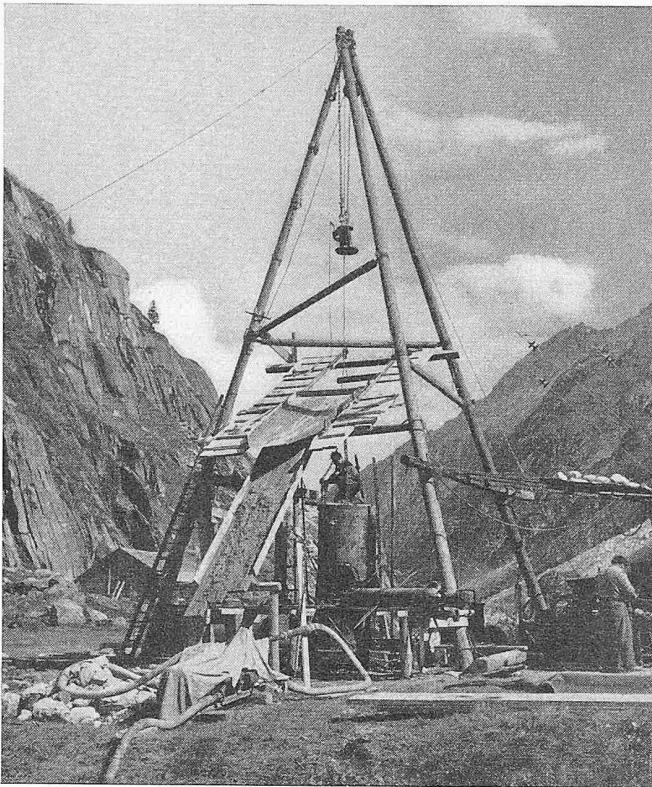
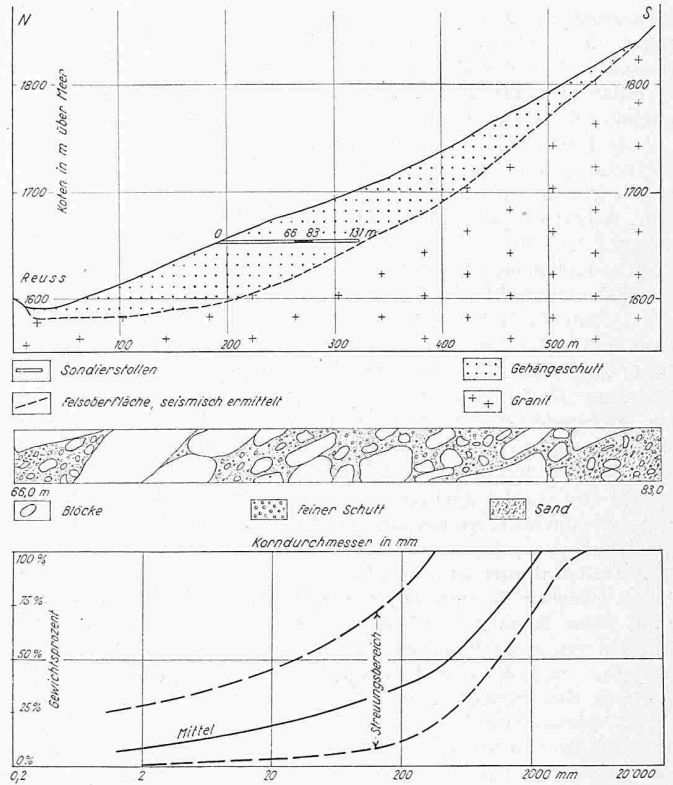


Bild 3. Bohreinrichtung der 80 cm Sondierbohrung

Bild 4. Ausschnitt aus dem Profil des Sondierstollens in Schutthalde S_4 (nach A. von Moos, Der Baugrund der Schweiz, SBZ 1953, Nr. 50, Bild 12). Schutthalde S_4 siehe Bild 1

geologischen Aufbaues der Schuttmaterialien und ihrer bodenmechanischen Eigenschaften. Für die erstgenannte Aufgabe wurden Schlagbohrungen ausgeführt und z.T. bei geringer Schuttüberlagerung eine schwere Rammsonde verwendet.

Auf der Wasserseite, besonders links der Reuss, wurden Bohrungen von über 40 m Tiefe nach dem Bohrpfahlverfahren ausgeführt. Weil diese Methode aber nur über den Kornaufbau und nicht über die Lagerungsart Aufschluss gab, wurde 1955 eine Bohrung mit 80 cm Durchmesser (Bild 3) und rd. 40 m Tiefe in Angriff genommen. Schächte dienten besonders auf der Luftseite (bis zu Tiefen von 50 m) der Erschliessung des Untergrundes. An Sondierungen wurden im Bereiche des Dammes auf einer Grundfläche von etwa 190 000 m² ausgeführt:

6 Sondierschächte	total 131,1 m
36 Sondierbohrungen (davon 30 Schlagbohrungen)	total 977,8 m
37 Rammsondierungen	total 154,8 m
2 Sondierschlitze	

b) Sondierungen im Talboden der Göschenenalp

Bohrpfahlsondierungen, System Burkhardt, mit einer mittleren Länge von rd. 15 m und einem Durchmesser von 26 cm dienten der Erschliessung des Kernmaterials. Ergänzt wurden diese durch Rammsondierungen in Gebieten mit Torfvorkommen oder bei sonstwie unklaren Verhältnissen. Sondierschlitze halfen das Bild abzurunden. Wegen des sehr hohen Standes des Grundwasserspiegels wurde damit aber nur eine Tiefe von max. 3 m erreicht. Die Arbeiten umfassten, verteilt auf ein Gebiet von rd. 450 000 m²:

14 Sondierbohrungen (Bohrpfahl)	total 176,0 m
81 Rammsondierungen	total 331,9 m
7 Sondierschlitze	

c) Sondierungen in den Schutthalden der rechten Talseite

Sie dienten der Erschliessung der Stützkörpermaterialien. Da es sich grösstenteils um sehr grobblockige Materialien handelt, wurden Sondierstollen (Minimalprofil) in den Schutthalden S_0 und S_4 erstellt (Bild 4). Der Vortrieb war schwierig und deshalb langsam. Man beschränkte sich nicht zuletzt auch wegen der sehr hohen Kosten auf eine Sondierstelle oberhalb und eine repräsentative unterhalb der Sperrstelle. Wegen der für alle Schutthalden dieser Talseite gleichen Gesteinsart,

Entstehungsgeschichte, Transportwege und Fallhöhe hielt man dieses Vorgehen für tragbar. An Stollen wurden ausgeführt: Sondierstollen St_1 , luftseitig in S_4 totale Länge 131,5 m Sondierstollen St_2 , wasserseitig in S_0 totale Länge 19,0 m

d) Erfahrungen

Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass in grobkiesigem bis blockigem Material granitischen Ursprungs nur die robustesten Sondiergeräte gut genug sind, dass die Bohrzeiten besonders wegen Materialdefekten ein Vielfaches der im Unterland üblichen Zeiten ausmachen, und dass nur ausgezeichnet eingespilte Bohrequipen positive Resultate zeigten.

Rammsondierungen jeglicher Art ergaben nur in Ausnahmefällen Resultate. Die erzielten Ramlängen betrugen im Mittel nicht mehr als 4,5 m (schweres Gerät mit Spitzendurchmesser von 9,0 cm).

Schlagbohrungen sollten nie zur Bestimmung von Schichtaufbau und Kornzusammensetzung verwendet werden, da durch das Meisseln das Material zerkleinert und durch das Spülen Feinmaterial ausgeschwemmt wird. Dagegen eignen sie sich sehr gut für eine Bestimmung des Schichtverlaufes und der Felsoberfläche. Die Bohrungen sind mit möglichst grossem Durchmesser zu beginnen, damit trotz häufigem Teleskopieren, das in derartigen Materialien kaum zu umgehen ist, dennoch die gewünschte Bohrtiefe erreicht werden kann.

Bohrpfahlsondierungen, System Burkhardt, waren für die Erschliessung der Alluvion geeignet. Man erreichte im Bereich des wasserseitigen Dammfusses Bohrlängen bis zu 45 m. Doch war der Durchmesser von 26 cm eher zu klein.

Schächte und Stollen sind wohl sehr teuer, ermöglichten aber eine detaillierte und exakte bodenmechanische Erschliessung von Dammuntergrund und Schutthalden. Es gelang, ein repräsentatives Bild nicht nur über den Kornaufbau, sondern auch über die Lagerungsart und einige bodenmechanische Eigenschaften wie Raumgewicht, Wassergehalt und Durchlässigkeit zu erhalten. Diese Sondiermethode sollte viel häufiger angewendet werden. Sie führt aber nur dort unter tragbarem Aufwand an Arbeit und Kosten zum Ziel, wo keine oder doch nur eine geringfügige Wasserhaltung notwendig ist.

Wenn man berücksichtigt, unter welchen primitiven Verhältnissen gearbeitet werden musste, indem im besten Falle Saumtiere, bei sehr schweren Teilen Transporte von Hand verfü-

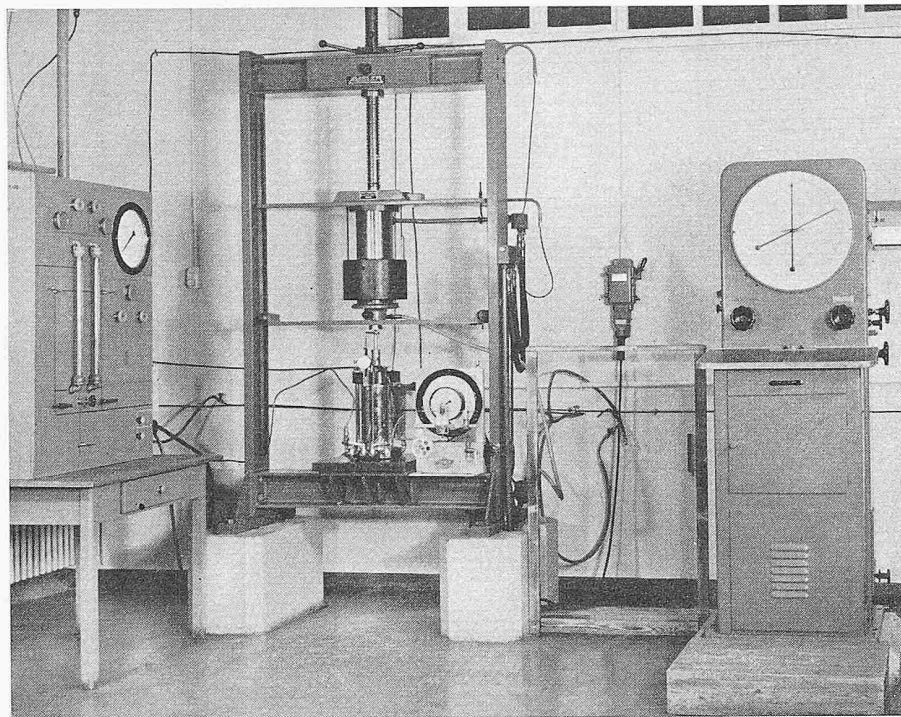


Bild 5. 10-Tonnen-Presse mit kleinem triaxialem Scherapparat zur Untersuchung von Kern- und Filtermaterialien für Probengrößen von 16 cm Höhe und 50 cm² Querschnittsfläche

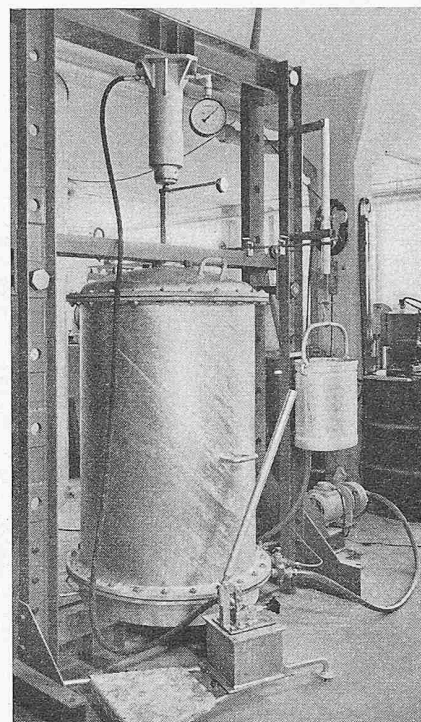


Bild 6 (rechts). Grosser triaxialer Scherapparat zur Untersuchung der Stützkörpermaterialien für Probengrößen von 90 cm Höhe und 2000 cm² Querschnittsfläche

bar waren, ist das erzielte Sondierergebnis der Jahre 1950 bis 1953 recht erfreulich. Besonders hervorzuheben ist die Notwendigkeit einer ausreichenden Anzahl von Sondierungen, die ja, weil nur Nadelstiche, immer schwierig zu interpretieren sind. Je nach dem geologischen Aufbau sind die Sondierstellen dichter oder weiter auseinander zu wählen. Man geht am besten so vor, dass ein relativ weitmaschiges Netz von Sondierbohrungen erstellt wird, das je nach Erfordernis beliebig verfeinert werden kann. Obwohl dem Aussenstehenden erscheinen mag, dass für den Staudamm Göschenenalp sehr viele Sondierungen ausgeführt worden sind, muss festgestellt werden, dass vom bodenmechanischen Standpunkt aus betrachtet, wirklich ein absolutes Minimum aufgewendet wurde.

Auf einen weiteren Punkt ist hinzuweisen: Sondierungsarbeiten sind ständig genauestens zu kontrollieren. Man darf es auf keinen Fall irgend einem Bohrmeister oder Nichtbodenmechaniker überlassen, die Bohrkerne zu beurteilen und die Bohrarbeiten zu überwachen. Es können grosse Irrtümer entstehen, wenn auf der Baustelle irgendein in diesem Belang unerfahrener junger Ingenieur oder Techniker mit dieser Aufgabe betraut wird, weil die Kontrolle aus einer minutiösen Kleinarbeit besteht, die nach streng geotechnischen Gesichtspunkten auszuführen ist.

e) Geologische und bodenmechanische Ergebnisse der Sondierungen

Dammuntergrund (Bild 2): Auf der *Luftseite* findet sich ziemlich einheitlich bis auf den Fels das grobkörnige, relativ gut durchlässige Material der Schutthalde S_3 , das z. T. heute durch die grosse Fundamentgrube angeschnitten ist. Einzig im engen Bereich des Reussbettes wurden direkt über dem Fels Grottsande von bis 3 m Mächtigkeit angetroffen. Im Gebiet der *Dammaxe* und des zukünftigen Kernanschlusses überwiegen Sande bis Kiesmaterial mit einzelnen Blöcken. Auf der *Wasserseite* dominieren *rechts* der Reuss die Schutthalde materialien von S_2 , wobei aber doch eine starke Durchmischung mit Sand aus den fluvioglazialen Ablagerungen der Alluvion festzustellen ist; *links* der Reuss ist ein starker Schichtwechsel bemerkbar, der den in Bild 4 wiedergegebenen Aufbau aufweist.

Alluvion: Sehr heterogener Aufbau, indem Feinsandschichten mit Kiessand wechseln. Moräne im landläufigen Sinne wurde keine festgestellt. Die Verwendung als Kernmaterial ist nur möglich, wenn es aufbereitet und anschliessend gemischt mit Dichtungsmittel in der richtigen Kornzusammensetzung aufgebaut wird.

Schutthalde: Blockmaterial mit etwas wenig Kies und ziemlich viel Feinsand. Kornaufbau regelmässig, Durchlässigkeit stark variierend, gute Standsicherheit.

5. Laboratoriumsuntersuchungen

Abgesehen von den Arbeiten, die zur Klassierung des Bohrgutes dienten, wurde vor allem der Frage der Ausbildung und Zusammensetzung des Kernes schon frühzeitig grösste Beachtung geschenkt.

In *Voruntersuchungen*, ausgeführt in den Jahren 1951/52, wurde die Zusammensetzung eines künstlich aufbereiteten Kernmaterials studiert. Geprüft wurden die bodenmechanischen Eigenschaften der Dichtungsmittel wie Tone und Bentonite und deren erforderliche Beimengung zum Kiessand, so dass eine Dichtigkeit von rd. $k = 5 \cdot 10^{-8}$ cm/s, eine ausreichende Plastizität und Scherfestigkeit erzielt wurde. Eine spezielle Untersuchung verfolgte das Ziel, etwelche Alterungserscheinungen und chemisch-physikalische Umwandlungsprozesse wenigstens der Grössenordnung nach zu erfassen. Dabei zeigte sich, dass aktivierter Na-Bentonit beim Kontakt mit Göschenenalsand und Reusswasser einen Teil seiner Quellsfähigkeit einbüsst, was sich vor allem in einer Zunahme der Durchlässigkeit äussert. Bei einem Durchlässigkeitsversuch, der über ein Jahr dauerte, betrug aus diesen Gründen die Zunahme der Durchlässigkeit nahezu eine 10er Potenz.

Die *Hauptuntersuchungen*, die in die Jahre 1955/56 entfallen, umfassten folgende Arbeiten:

Kernmaterial: Ausgeführt wurden detaillierte Untersuchungen über den erforderlichen Kornaufbau und den dazugehörigen Tonzusatz mit einem max. Korndurchmesser von 100 mm. Dabei zeigte sich, dass bei den Feinstkomponenten $\leq 0,02$ mm 3 % nicht überschritten werden dürfen, ansonst der Tonzusatz bei gleicher Dichtigkeit stark zunimmt.

Besonders sorgfältig prüfte man die Scherfestigkeit ($\varphi' = 30 \div 35^\circ$), das Verhalten der Porenwasserspannungen bei Deformationsvorgängen und die Setzungsempfindlichkeit. Welchen Einfluss der Einbauwassergehalt auf die Porenwasserspannungen ausübt, zeigt folgendes Beispiel¹⁾: Untersucht wurden die Porenwasserspannungen u. a. der untersten Kern-

¹⁾ Diese Werte sind repräsentativ unter der Voraussetzung, dass für den Setzungsvorgang nur das Eigengewicht des Kernes (Überlagerungsdruck) massgebend und die Theorie von K. Terzaghi (Setzung von Tonschichten) auch in nicht vollständig gesättigten Materialien näherungsweise gültig sei.



Bild 7. Gesamtübersicht über die Grossversuche an Stützkörpermaterial mit den einzelnen Versuchsfeldern; im Vordergrund Einspüleinrichtung



Bild 8. Schüttvorgang beim Einbau nassen Stützkörpermaterials und einer Schütthöhe von 2,0 m (Grossversuch)

zone (Ueberlagerung rd. $100 \div 120$ m) während des Bauvorganges und man fand für den Zeitpunkt nach Beendigung des Baues (August 1960), d. h. vor Beginn des Einstaues:

$u_{max} = 70\%$ von $(H \cdot \gamma_e^*)$ bei $w_{opt} + 1,5\%$ und Proctor-standard-Verdichtung ($w_{opt} = 8,4\%$)

$u_{max} = 45\%$ von $(H \cdot \gamma_e^*)$ bei $w_{opt} + 1,5\%$ und Proctor modified-Verdichtung ($w_{opt} = 6,4\%$)

Die Porenwasserspannungen gehen auf rd. 40 % bzw. 5 % zurück, wenn mit w_{opt} eingebaut werden kann. Diese Werte zeigen, welche Beachtung dem Konsolidationsvorgang als solchem und dessen Einfluss auf die Scherfestigkeit bzw. Stabilität geschenkt werden muss.

Filtermaterial: Die Versuche wurden an Material mit dem Kornkomponenten 100 bzw. 200 mm ausgeführt (Masstab 1:1). Dabei fand man, dass die üblichen Kriterien für den Kornaufbau im Falle der Göschenenalp nicht befriedigten und dass ein Ein-Stufen-Filter (Mischfilter) nicht genügt. Folgende Gesichtspunkte waren für die Wahl der Kornzusammensetzung massgebend: Die Durchlässigkeitszunahme von Kern zu Filter und von Filter zu Filter sollte nicht mehr als rd. 10^{-2} cm/s betragen und die Filter sollten in sich gegen Erosion stabil sein. Beide Forderungen sind sehr streng, sind aber der Schlankheit des Kerns und der Grösse des Bauwerkes durchaus angemessen (Sickergefälle rd. 3:1; max. Wasserdruck rd. 140 m). Auf der hinsichtlich Erosion besonders stark beanspruchten Luftseite ist ein Drei-Stufen-Filter vorgesehen, wobei die dritte Stufe gleichzeitig als Drainage wirkt.

Stützkörpermaterial: rd. 80 % aller Materialien gehören dem Stützkörper an. Es wurde deshalb versucht, dieses Material so gut wie nur möglich hinsichtlich dessen Scherfestigkeit²⁾ zu untersuchen. Einer laboratoriumstechnischen Lösung stand die Grösse von 1 m³ Maximalkorn entgegen und einer solchen im Felde die enormen Kosten und der Zeitaufwand. Man entschloss sich deshalb, die Scherfestigkeit vorerst nur an Feinmaterial zu ermitteln, dem sukzessive Grobkomponenten von zunehmender Grösse beigegeben wurden (Bild 6). Dies erlaubte dann, auf die tatsächlichen Werte zu extrapolieren. Folgende Resultate wurden gefunden:

$\gamma_e = 1,9 \div 2,4$ t/m³, $\phi' = 35 \div 50^\circ$, $k_{10} = 10^{-2} \div 10^{-5}$ cm/s bei $n = 17$ bis 30 % (bezogen auf das einzubauende Material) worin: γ_e Trockenraumgewicht in t/m³

γ_e^* Feuchtraumgewicht in t/m³

ϕ' effektiver Winkel der scheinbaren inneren Reibung in Grad

k_{10} Durchlässigkeitskoeffizient nach Darcy bei 10° C

n Porosität in %

Untergrund: Felsuntergrund: Granit, grösstenteils mit Gletscherschliff. Je nach der Rauigkeit nimmt die Scherfestigkeit bis auf rd. 50 % von derjenigen des Stützkörpermaterials ab. Eine Besonderheit stellt das Material des wasserseitigen Dammfusses vor allem links der Reuss dar. Entsprechend der Heterogenität des Untergrundes wurden Versuche an Torf, Schlammssand und Sand bis Kies durchgeführt. Dabei zeichnete sich der Torf durch enorme Setzungsempfindlichkeit bei geringster Scherfestigkeit und äusserst kleiner Durchlässigkeit, der Schlammssand durch grosse Setzungen, mittlere Scherfestigkeit und kleine Durchlässigkeit und das restliche Material durch kleine Setzungen, grosse Scherfestigkeit und gute Durchlässigkeit aus. Man hat es demnach mit Materialien zu tun, deren Eigenschaften z. T. entgegengesetzt wirken und deshalb ein besonders sorgfältiges Studium hinsichtlich Stabilität verlangen.

6. Wahl des Profils und Stabilitätsberechnung

Nach langwierigen Untersuchungen wurde schliesslich ein Dammtyp mit zentralem Kern und im Prinzip symmetrischem Querschnitt gewählt (siehe Bild 3, S. 16). Dieser wurde nach den gebräuchlichen Methoden³⁾ berechnet, wobei als Gleitfläche Kreise, z. T. auch nichtkreisförmige Flächen angenommen und die Reibungskräfte im Innern des abgleitenden Körpers berücksichtigt wurden. In der Berechnung wurden folgende Stabilitätszustände berücksichtigt: *Bauzustand* (Baustadien), *nicht konsolidierter Zustand* (Vollstau und schnelle Absenkung in den ersten Betriebsjahren nach Fertigstellung des Damms), *auskonsolidierter Zustand* (Vollstau und schnelle Absenkung nach einer Betriebsdauer von einigen Jahrzehnten). Darin aufgenommen wurde auch eine Abschätzung der Erdbebenwirkung auf die Stabilität.

Wie aus der Berechnung hervorging, erwies sich eine Verstärkung des wasserseitigen Dammfusses linksseitig der Reuss als notwendig. Man entschied sich zu einer Lösung mit Auflast und zusätzlichen Vertikaldrainagen (Sanddrains) zur Abminderung der für die Stabilität ungünstigen, durch die

²⁾ J. Zeller und R. Wullimann (1957): Shear Strengths of Shell Materials for Göschenenalp-Dam, «Proc. 4. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering», London 1957.

³⁾ Fellenius W. (1936): Calculation of the Stability of Earth Dams, «Trans. 2nd Cong. Large Dams».

Bishop A. W. (1952): The Stability of Earth Dams. Thesis, University of London.

Bishop A. W. (1954): The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. «Proc. Europ. Conf. Stability of Earth Slopes», Stockholm.

Janbu N. (1954): Application of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis. «Proc. Europ. Conf. Stability of Earth Slopes», Stockholm.

Mehrbelastung hervorgerufenen Porenwasser-spannungen des Untergrundes.

Eine gründliche Untersuchung erforderte die wasserseitige Dammböschung. Wegen der nicht genau überblickbaren Durchlässigkeit des Stützkörpers — die k -Werte variieren zwischen 10^{-2} und 10^{-5} cm/s — wurden Modellversuche ausgeführt, die den zeitlichen Ablauf des Ausfließens des Porenwassers aus dem Stützkörper beim Absenkvorgang wiedergaben.

Aus der Stabilitätsberechnung gingen folgende Daten hervor:

Böschungsneigung oberhalb Kote 1725,0
1:1,5 (Mittelwert)

unterhalb Kote 1725,0 1:2,0
Böschungsneigung wasserseits 1:2,0 (oben) bis
1:3,0 (unten)

Auflast rd. 185 m lang, 240 m breit, im Mittel
20 m hoch,

Sanddrains 26 mit 60 bzw. 80 cm Durchmesser,
max. 39 m lang, Abstand 30÷40 m, totale
Drainlänge 836,4 m.

7. Grossversuche

Kern und Filter: Diese Versuche, die vor allem der Uebertragung der Laborresultate in die Natur dienen, sind im Herbst 1956 in Angriff genommen worden, konnten aber nicht mehr abgeschlossen werden.

Stützkörper⁴⁾: Diese Arbeiten wurden letzten Herbst ausgeführt und dauerten drei Monate. 30 000 m³ Material wurden eingebaut, wobei das Versuchsfeld einen Bestandteil des Dammes bildet (Bilder 7 und 8). Geprüft wurden Schütthöhe, Einbaumethode und Verdichtung. Aus den Versuchen ergeben sich folgende Resultate:

Schütthöhe: 1,5 bis 2 mal max. Korngrösse (2,5 m)

Schüttvorgang: Hinzugabe von rd. 1,5 m³ Wasser in die Kipper (10 m³-Euclid) und anschliessend Kippen des Materials, derart, dass kein Abkollern über die Böschung erfolgt.

Verdichtung: keine.

8. Bauvorschriften, Ueberwachung der Arbeiten, Feldlabor

Bauvorschriften und das Pflichtenheft für das Feldlabor sind noch nicht ausgearbeitet worden, sind aber diesem Winter und dem Frühjahr 1957 vorbehalten. Die Bauvorschriften umfassen u. a.: **Kernmaterial:** Kornzusammensetzung, Tonzusatz, Einbauwassergehalt, Verdichtung, Anschluss am Fels usw. **Filter:** Kornzusammensetzung, Einbauwassergehalt, Verdichtung. **Stützkörper:** Sortierung des Materials, Schüttmethode, Einbauhöhe.

⁴⁾ J. Zeller und H. Zeindler (1957): Test Fills with Coarse Shell Materials for Göschenenalp-Dam, «Proc. 4. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering», London.

	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
SONDIERUNGEN							
Alluvion							
Sperrstelle wasser- und luftseitig							
Schutthalde							
WEITERE AUFNAHMEN							
Geologie, Seismik							
Abflussmengen							
Niederschläge, Sonnenschein, dauer, Lawinen, Steinschl.							
VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU							
Kern							
Kornaufbau							
Dicht.mittel & Zusätze							
Verdichtung							
Setzung & Durchlässigkeit							
Scherfestigkeit							
Mischversuche							
Stützkörper							
Kornaufbau							
Scherfestigkeit							
Filter							
Kornaufbau							
Durchlässigkeit							
Untergrund							
Kornaufbau							
Setzung & Durchlässigkeit							
Scherfestigkeit							
weitere Untersuch.							
Stabilitätsberechnung							
Sanddrains							
Einfluss d. Absenkgeschwindigkeit auf die Stabilität							
natürliche Tonvorkommen							
GROSSVERSUCHE							
Kern							
Filter							
Stützkörper							
EINBAUVORSCHRIFTEN							
FELDLABOR							
Projektiert., Bau, Einrichtung							
Anlernen von Personal							
Einbau von Messgeräten							

Bild 9. Zusammenstellung der für den Staudamm Göschenenalp durchgeführten erdbaumechanischen Untersuchungen der Jahre 1950/56, wobei die Voruntersuchungen auf die Jahre 1950/53 entfallen

Das Feldlabor hat das Einhalten dieser Vorschriften zu überwachen und zu diesem Zwecke Feldversuche durchzuführen unter Bestimmung von Raumgewicht, Wassergehalt, Kornaufbau, Durchlässigkeit, Scherfestigkeit (in einzelnen Fällen). Ausserdem obliegt ihm die Ueberwachung der Kern- und Filtermaterialherstellung in der Aufbereitungs- und Mischanlage sowie die Kontrolle der Eigenschaften des Tones.

Um diese grosse Aufgabe zu erfüllen, ist das Labor mit einem ausreichenden Stab an Personal ausgerüstet. Im Falle der Göschenenalp wird bei einer mittleren jährlichen Einbauleistung von gegen 2 Mio m³ in rd. 150 bis 170 Tagen ein Personal von einem Ingenieur, einem Techniker und mindestens zehn Laboranten und Handlangern erforderlich sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich auch hier wieder die alte Erkenntnis bewahrheitet: Je sorgfältiger und ausführlicher die Vorarbeiten durchgeführt werden können und je mehr Zeit dafür zur Verfügung steht, um so geringer ist das Risiko für unvorhergesehene Änderungen in der Projektausführung. Dass ein derart grosses Bauwerk nur unter intensiver Zusammenarbeit zwischen Projektverfasser, Bauleitung und den entsprechenden Spezialisten überhaupt entstehen kann, muss nicht mehr hervorgehoben werden. Es ist nur zu wünschen, dass derartige Stauwerke bei uns noch weitere Verbreitung finden und dadurch wie die Betonstaumauern bald Allgemeingut werden können.

Photos: Bild 7 H. Zeindler, die übrigen E. Brügger
Adresse des Verfassers beim Titel.

Die Erdbauarbeiten des Göschenenalpprojektes vom Standpunkt des Unternehmers

Von Dipl. Ing. ETH G. Mugglin, in Firma Schafir & Mugglin, Zürich

DK 627.824.3.002

Nicht nur dem projektierenden Ingenieur stellt die Ausführung eines Erddammes vom Ausmasse desjenigen von Göschenenalp neue, hochinteressante Aufgaben. Auch der Unternehmer sieht sich vor grosse, verantwortungsvolle und nicht leicht zu lösende Fragen gestellt. Aus programmlichen und volkswirtschaftlichen Ueberlegungen heraus erfolgte für diesen Bau ein Zusammenschluss sieben namhafter Firmen zu einer Arbeitsgemeinschaft, der Arbeitsgemeinschaft Staudamm Göschenenalp (ASG). Der Grossteil des benötigten mobilen Geräteparkes konnte durch die Konsortialen aus ihren Beständen sofort beigebracht werden, was sich für den Bau-

herrn nicht nur preislich, sondern auch zeitlich sehr positiv auswirkt — 10 Tage nach der Auftragserteilung am 14. Juli 1955 standen schon die ersten Grossgeräte im Einsatz.

Installationen

Die Entwicklung der Installationen hat im letzten Dezenium einen zum grössten Teil von Amerika her beeinflussten Verlauf genommen. Der Baubetrieb im allgemeinen hat dadurch ein vollkommen neues Gepräge erhalten. Die Gerätebeistellung und der grosse Geräteinsatz, bedingt durch die stetig steigenden Löhne, die immer kürzer angesetzten Bau-