

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 42 (1950)
Heft: 1-2

Artikel: Der Staudamm des projektierten Juliawerkes Marmorera der Stadt Zürich : Erddämme in den Vereingten Staaten von Nordamerika
Autor: Zingg, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-922010>

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: 23.02.2026

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

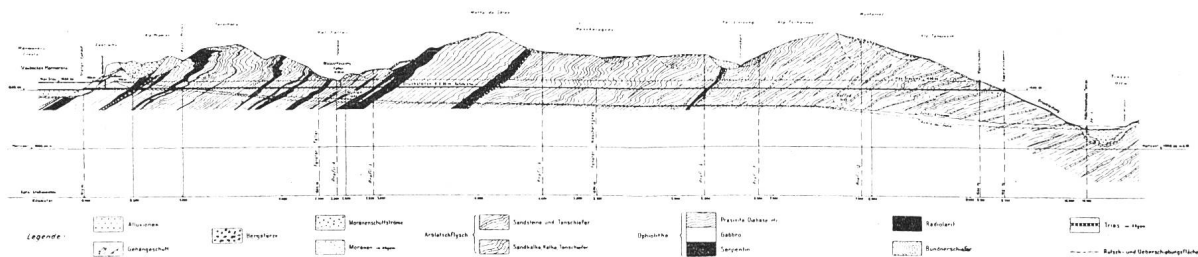


Abb. 5.
Marmorera,
Geologisches
Längenprofil
des Stollens.

Das natürliche Einzugsgebiet des Staubeckens Marmorera beträgt 89 km². Durch die Zuleitung der Bäche von der Alp Flix in das Staubecken und des Fallerbaches in den Druckstollen vergrößert sich das Einzugsgebiet um 45,5 km² auf 134,5 km². Die mittlere, jährlich zur Verfügung stehende Wassermenge beträgt 168 Mio m³. Davon entfallen 138 Mio oder 82 % auf die sechs Sommermonate und 30 Mio oder 18 % auf die sechs Wintermonate. Vom Sommerwasser sollen künftig 60 Mio m³ im Staubecken Marmorera aufgespeichert werden.

Es stehen dann für die Energieproduktion zur Verfügung:

im Sommer	78 Mio m ³
im Winter	90 Mio m ³

Die Energieproduktion verteilt sich auf die drei Kraftwerke wie folgt:

	Sommer	Winter	Jahr
Tinzen	71 Mio kWh	85 Mio kWh	156 Mio kWh
Tiefenkastel	93 Mio kWh	87 Mio kWh	180 Mio kWh
Sils	109 Mio kWh	83 Mio kWh	192 Mio kWh
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	273 Mio kWh	255 Mio kWh	528 Mio kWh
	52 %	48 %	100 %

Da alle drei Kraftwerke der gleichen Betriebsleitung unterstellt sind, wird es leicht möglich sein, einen vollständigen Ausgleich zwischen der Sommer- und Winterproduktion zu erreichen.

Die Baukosten des Juliawerkes Marmorera sind auf 85 Mio Franken veranschlagt. Wird die vollständig dem Konsum angepaßte Sommerenergie zu 1,5 Rp./kWh bewertet, ergeben sich für die Winterenergie Gestehungskosten von 3,36 Rp./kWh.

Der Staudamm des projektierten Juliawerkes Marmorera der Stadt Zürich

Erddämme in den Vereinigten Staaten von Nordamerika

Von Ing. W. Zingg, Tiefencastel *

Als Speicherbecken für das projektierte Juliawerk Marmorera der Stadt Zürich ist im Talboden von Marmorera ein Stausee von 60 Mio m³ nutzbarem Inhalt vorgesehen. Die topographische Gestaltung der Talabschluß-Stelle am nördlichen Ende des natürlichen Beckens, bei Castiletto, ist für die Erstellung einer Talsperre sehr einladend. Das Talprofil ist dort V-förmig. Mit einem Abschlußbauwerk von 400 m Kronenlänge und 70 m Höhe über dem Flußbett der Julia kann ein Stausee vom genannten Nutzinhalt geschaffen werden, dessen Länge 2,6 km, größte Breite 0,8 km und Oberfläche 1,4 km² messen.

Die geologischen Voraussetzungen für die Erstellung eines Abschlußbauwerkes sind weniger günstig als die topographischen. Zwar tritt an der östlichen Talflanke überall sichtbar kompakter Fels zu Tage, bestehend zur Hauptsache aus Ophiolithen (das heißt Diabas, Gabbro,

Grünschiefer). Aber ungefähr beim Flußbett der Julia taucht der Fels unter einen mächtigen Bergrutschkegel, um erst 400 m weiter westlich in den steilen Wänden bei der Ruine Castiletto wieder sichtbar zu werden. In südlicher Fortsetzung des Bergrutschkegels liegt eine Schutthalde dem Fels vorgelagert. Der flache Talboden flußaufwärts der Sperrstelle ist eine Alluvionsebene. Prof. Dr. Staub und Geolog E. Weber (Maienfeld), die geologischen Experten der Stadt Zürich, äußerten sich schon im Herbst 1947 dahin, daß an der Dichte des Staubeckens, das heißt seiner Flanken und seines Bodens nicht zu zweifeln sei. Wenn es gelinge, bei Castiletto einen dichten Talabschluß zu erstellen, dürfe die Eignung der Talstufe von Marmorera als Speicherbecken bejaht werden. Zur Beantwortung der Frage aber, ob und wie die Sperrstelle bei Castiletto mit einem dichten Abschluß versehen werden könne, waren umfangreiche Sondierungen nötig, die vom Herbst 1947 bis zum Sommer 1949 dauerten. Es galt abzuklären, in welcher Tiefe der Fels unter der westlichen Flanke der Sperrstelle und unter der

* Referat an der Hauptversammlung des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes vom 25. Oktober 1949 in Zürich.

Alluvion in der Nähe des Abschlußbauwerkes liegt und welcher Art er ist. Es mußte ferner ermittelt werden, ob der große Bergrutschkegel unmittelbar auf dem Fels liegt oder ob andere Materialien dazwischen gelagert sind. Sodann war zu prüfen, wie die Alluvion im Talboden aufgebaut ist und ob ihr die Beanspruchung durch die Auflast eines allfälligen Dammes zugemutet werden kann. Sämtliche den Untergrund der Talabschluß-Stelle bildenden Zonen waren auf Wasserdurchlässigkeit zu untersuchen.

Die Stadt Zürich sicherte sich die Mitarbeit der Herren Prof. Dr. Meyer-Peter und Prof. Dr. Haefeli als Experten für das Talabschluß-Problem. Eine im Spätherbst 1947 vom Physiker A. Süßtrunk durchgeführte erste seismische Sondierkampagne lieferte Ergebnisse, die als Grundlage für das Programm der nachfolgenden Sondierbohrungen dienten. Die seismische Baugrunduntersuchung vermittelt ohne großen Aufwand an Zeit und Kosten ein ungefähres Bild von der Gestaltung der Felsoberfläche unter den Überlagerungen, auch in großen Tiefen. Erfreulicherweise ergaben die späteren Bohrungen mit ganz wenigen Ausnahmen eine recht gute Bestätigung der seismisch prognostizierten Felstiefen. Nach Abschluß der Sondierkampagne 1948 standen zur Beurteilung der Talabschluß-Stelle Castiletto folgende Sondier- und Beobachtungsergebnisse zur Verfügung:

12 tiefe Bohrungen, alle bis mindestens 15 m in die Felsunterlage reichend; hievon vier im Talboden nahe der Sperrstelle, vier im Bergrutschkegel im Bereich des Abschlußbauwerkes, drei in der südwestlichen Ecke des Bergrutschkegels und eine in der Schutthalde unter der Ruine Castiletto.

Eine tiefreichende Kontrollbohrung zur Beurteilung der Injektionsfähigkeit von Alluvion und Bergrutsch.

Die Gesamtlänge dieser 13 Bohrungen mißt 750 m, die Tiefe der längsten Bohrung 122 m.

Vier große Rundschächte im Bergrutschkegel mit insgesamt 50 m Tiefe.

Zahlreiche Sondierschächte und Schürfschlitze.

20 Rammsondierungen, je rund 15 m tief, zur Untersuchung der Tragfähigkeit der Alluvion im Talboden nahe der Sperrstelle.

240 Wasserdurchlässigkeitsversuche in den tieferreichenden Bohrungen,

dazu über 100 Materialproben, chemische Wasseranalysen, Grundwasserbeobachtungen, Färbversuche, Setzungs- und Belastungsversuche, Präzisionsmessungen an einem Netz von Bewegungsbeobachtungspunkten im untern seeseitigen Teil des Berg-rutschkegels.

Dieses reiche Untersuchungsmaterial von 1948 und die daraus abgeleiteten Folgerungen sind festgehalten in ausführlichen Berichten der bereits genannten geologischen Experten, von Prof. Dr. Meyer-Peter, von Prof. Dr. Haefeli und in eigenen Berichten der Bauleitung. Anfangs 1949 stand fest, daß bei Marmorera-Castiletto ein Abschlußbauwerk von rund 70 m Höhe gebaut werden kann, und zwar erwies sich bei den gegebenen Verhält-

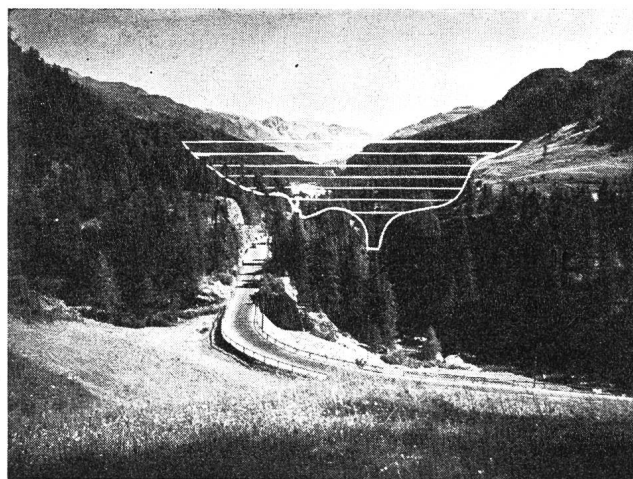


Abb. 6. Sperrstelle von Norden gesehen, mit eingezeichnetem Damm.

nissen ein gewalzter Erddamm mit dichter Zentralzone als die zweckmäßigste Lösung.

Es dürfte von Interesse sein, die Gründe, welche gegen andere Talsperrentypen sprechen, kurz darzulegen:

a) Eine Schwergewichtsmauer setzt Fundierung auf Fels voraus. An der westlichen Talflanke würde diese Bedingung eine Baugrube von über 60 m Tiefe und bis 80 m Sohlenbreite erfordern. Ganz abgesehen von den Baukosten schließt auch die mit einem derartigen Eingriff verbundene schwere Störung des Gleichgewichtes der ganzen Talflanke diese Sperrtype aus.

b) Eine Kombination aus Schwergewichtsmauer an der östlichen Felsflanke und Damm auf der westlichen Bergrutschflanke wäre denkbar. Das V-Profil der Abschluß-Stelle ist aber zu eng, als daß diese Lösung Vorteile bieten könnte. An der Übergangsstelle zwischen Mauer und Damm würden entweder große Flügelmauern nötig oder es müßten voluminöse Böschungskegel den Dammkopf bilden. Dazu kommt der Umstand, daß zum Bau einer kombinierten Mauer-Damm-Talsperre gleichzeitig zwei ganz verschiedenartige Bauinstallationen nötig sind. Nur bei Talsperren mit erheblich größerer Kronenlänge als in Marmorera dürfte sich das Nebeneinander zweier grundverschiedener Baustelleneinrichtungen rechtfertigen. Es gibt allerdings zahlreiche amerikanische Beispiele kombinierter Bauweise; in der Mehrzahl dieser Fälle standen dort die Erbauer vor der

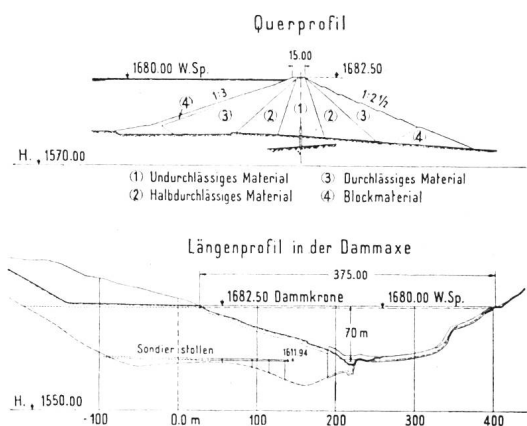


Abb. 7. Marmorera, Quer- und Längenprofile des Staudammes Castiletto.

Notwendigkeit, für die Unterbringung der Hochwasser-Entlastungsorgane und der Grundablässe des Staubeckens dem Damm einen betonierten Abschnitt einzugliedern, mangels hierfür geeigneter Felsflanken. Beim Talabschluß Marmorera ist jedoch die östliche Felsflanke in idealer Weise zur Aufnahme der Überlauf- und Grundablaß-Stollen geeignet.

c) Andere Dammtypen als ein gewalzter Erddamm mit dichter Zentralzone wurden ebenfalls in Erwägung gezogen. In den USA finden sich eine Reihe von älteren gespülten Dämmen. Aber ganz abgesehen davon, daß die amerikanischen Dammbauer diese Bauweise seit mindestens zehn Jahren wegen verschiedener Mißerfolge ganz aufgegeben haben, wäre sie in Marmorera mangels geeigneten Materials nicht anwendbar.

Sodann könnte ein geschütteter Stein- oder ein Erddamm mit seeseitiger Dichtungshaut in engere Wahl kommen. Steinmaterial wäre in ausreichenden Mengen vorhanden. Für die seeseitige Dichtungshaut wäre entweder ein dichter Lehm erforderlich oder es müßte eine Abdeckung mit Betonplatten vorgesehen werden. Geeignete Betonplatten sind mit den Nachteilen der Frostgefährdung und der nicht einfach zu konstruierenden Fugenabdichtungen verbunden. Auch ist die Gegend von Marmorera eher arm an natürlichen Betonzuschlagstoffen. Was aber vor allem gegen eine Dichtung auf der seeseitigen Böschung spricht, ist der Verlauf der dichten Felsunterlage im Beckenboden. Die seismischen Untersuchungen und die Bohrungen zeigten, daß der Fels aus dem Talboden gegen Norden ansteigt. Der Anschluß einer dichten Dammzone an den dichten Untergrund ist im Bereich der heute gewählten Dammaxe in geringerer Tiefe zu bewerkstelligen als irgendwo südlich davon.

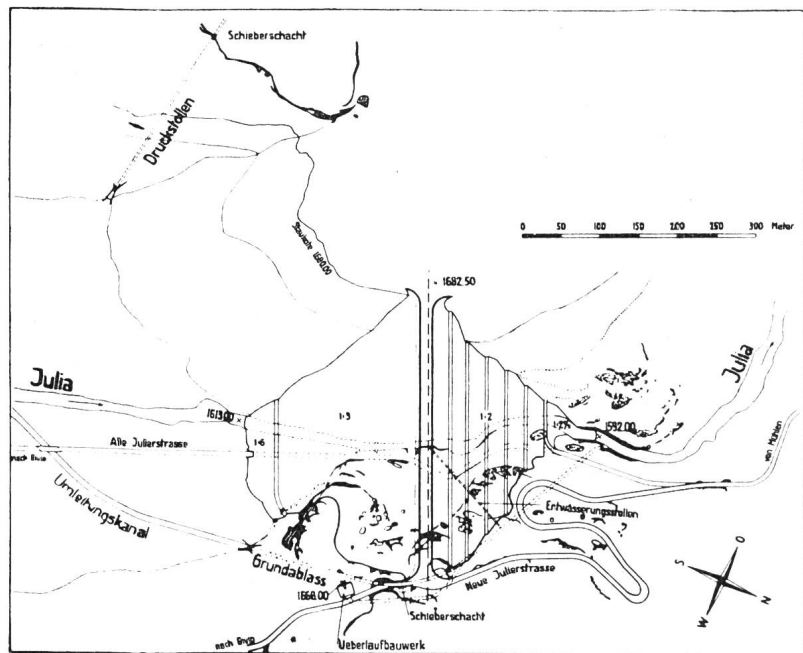


Abb. 8. Marmorera, Situation des Dammes, 1 : 10 000.

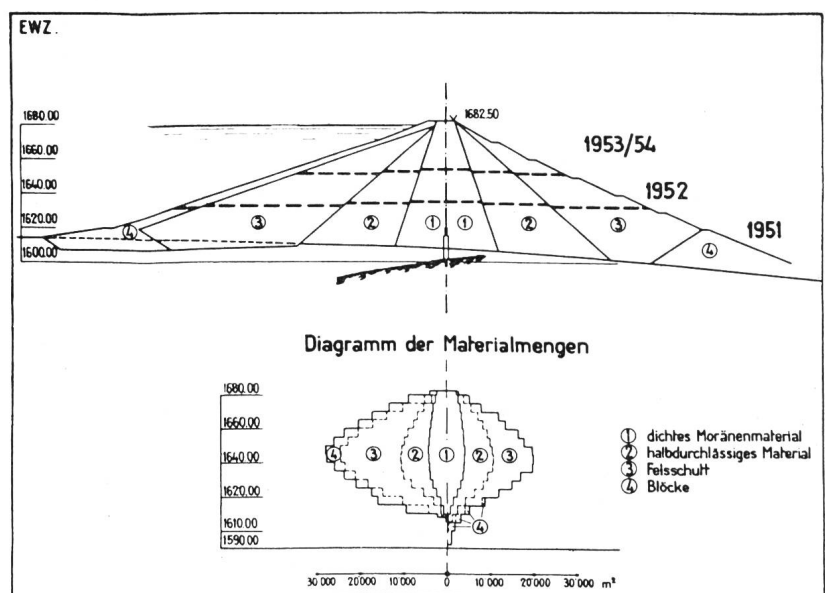


Abb. 9. Marmorera, Diagramm der Materialmengen für den Staudamm.

Zur Ausarbeitung des endgültigen Detailprojektes für den Damm mußten nun, nachdem Dammtyp und Dammlage bestimmt waren, noch einige geologische Einzelheiten abgeklärt werden. Fünf weitere Tiefbohrungen längs der Dammaxe beidseitig der Julia gaben neue sichere Anhaltspunkte über den Felsverlauf. Sodann wurde im Sommer 1949 auf Kote 1612 ein Sondierstollen in die westseitige Bergrutschflanke vorgetrieben. Die-

ser Stollen vermittelt einen sehr guten Einblick in die Zusammensetzung und Lagerung des Bergrutschmaterials, und er dient zugleich als Ausgangsniveau für eine dichte Reihe von kurzen Sondierbohrungen bis auf den Fels. Die Bauleitung sieht vor, in der Dammaxe unterhalb der Sohle des Sondierstollens ein Abdichtungsdiaphragma bis auf die Felsunterlage abzuteufen; die größte Tiefe mißt 30 m. Ob dieses Diaphragma als Injektionsschleier oder

als Betonwand ausgeführt wird, ist noch nicht endgültig entschieden. Es ist nicht ganz ausgeschlossen, nach den bisherigen Ergebnissen aber nicht sehr wahrscheinlich, daß gewisse Bereiche des an und für sich dichten Berggrutschkegels auch oberhalb Kote 1612 mit einem Diaphragma versehen werden müssen. Der erwähnte Sondierstollen hat heute die Felsflanke West erreicht. Später soll er zu einem bleibenden Revisionsstollen, mit Zugang von der Luftseite des Dammes her, ausgebaut werden.

Beim Bau eines Erddammes haben, neben den geologischen Problemen, die materialtechnischen erdbaulichen Fragen eine sehr große Bedeutung. Grundsatz ist, daß vorerst die Eigenschaften und die Menge der verfügbaren Materialien geprüft werden müssen, worauf der Normalquerschnitt des Dammes projiziert werden kann. Es wäre verkehrt, sich anfänglich auf einen Dammtypus festzulegen und dann die hierfür gewünschten Materialien zu «suchen», um schließlich feststellen zu müssen, daß sie nicht ausreichend zur Verfügung stehen. Seit dem Frühjahr 1948 untersucht die Erdbauabteilung der Eidgen. Technischen Hochschule die verschiedensten in Betracht fallenden Materialien anhand von Probeentnahmen aus Bohrungen, Schächten, Schürfschlitten und aus dem Sondierstollen. Die Untersuchungen erstrecken sich im wesentlichen auf Raumgewicht, Wassergehalt, Kornaufbau, Scherfestigkeit, Zusammendrückbarkeit, Verdichtungsfähigkeit und Durchlässigkeit. Seit einigen Monaten dient auch ein auf der Baustelle selbst eingerichtetes Laboratorium diesen Prüfungen. Um über die Manipulierbarkeit einiger für den Dammbau vorgesehenen Materialien im größeren Maßstab Aufschluß zu erhalten, wurden mit einem kleinen Bagger verschiedene Nischen bis 7 m Tiefe ausgehoben.

Das Ergebnis aller dieser Studien ist der abgebildete Normalquerschnitt des Dammes (Abb. 7-9). Das Gesamtvolumen des Bauwerkes mißt 2,4 Mio m³. Es setzt sich zusammen aus der möglichst dichten

Zentralzone (1) mit	460 000 m ³
den beidseitig anschließenden, weniger dichten «halbdurchlässigen» Zonen (2)	
von insgesamt	610 000 m ³
den durchlässigen Stützkörpern (3) mit	1 070 000 m ³
und den Blockschüttungen (4) mit	280 000 m ³
	<hr/> 2 420 000 m ³

Dazu kommt noch die Humusierung der luftseitigen Böschung, auf der Gras gesät wird. Die Breite der Dammkrone mißt 15 m, sie liegt 2,5 m über dem höchsten Seespiegel. In Talmitte beträgt die größte Mächtigkeit des Dammes am Fuß 385 m.

Die Gewinnungsstellen für diese Materialien sind günstig gelegen: Material (1) ist im Grundmoränenge-

biet von Cresta, in der Mitte des Talbeckens vorhanden; Material (2) wird aus dem oberen Teil des Berggrutschkegels, bei «Foppa», gewonnen, Material (3) ist Schutthalddenmaterial von den Hängen am Fuß der Felswände südöstlich und südwestlich des Staudammes. Die größte Transportweite mißt rund 1 km. Alle diese Materialvorkommen enthalten Blöcke, deren Größe die für den Einbau der betreffenden Materialsorten zulässigen Maße überschreiten. Solche Blöcke finden Verwendung in den Zonen (4).

Die Zonen (1) und (2) werden in Lagen von 20 resp. 40 cm Stärke eingebracht und mit Schafffußwalzen verdichtet; die gewalzte Dicke dieser Lagen wird etwa 15 resp. 20 cm messen. Das Steinmaterial der Zonen (3) und (4) dagegen wird geschüttet, voraussichtlich in Schichten von etwa 1 m Mächtigkeit. Eine gewisse Verdichtung erfolgt hier lediglich durch die Transportfahrzeuge; außerdem wird zur Erzielung einer durchgehenden Stein-an-Stein-Lagerung die Schüttung ständig mit Hochdruck-Wasserstrahl bestrichen.

Das Einbringen und Walzen der Materialien (1) und (2) ist naturgemäß eine witterungsempfindliche Arbeit. Es muß im Interesse einer möglichst guten Verdichtung mit einem sogenannten optimalen Feuchtigkeitsgehalt gearbeitet werden, der sich in ziemlich engen Grenzen (beispielsweise 9 bis 11 Gewichtsprozent Wasser) hält. Bei nassem Wetter wird sich demnach die Schütтарbeit auf die Zonen (3) und (4) beschränken müssen. In einem Jahre mit durchschnittlichem Witterungscharakter werden in Marmorera etwa 110 Arbeitstage für das Einbringen der Materialien (1) und (2) geeignet sein, für (3) und (4) rechnen wir mit 140 Arbeitstagen.

Es sind noch einige Einzelheiten des Dammquerschnittes erwähnenswert:

Der seeseitige Dammfuß kommt zum Teil auf den Talboden zu liegen. Die Bohrungen und Rammsondierungen hatten gezeigt, daß dort eine untere gut konsolidierte und tragfähige Alluvion vorhanden ist mit oberer Begrenzung auf Kote 1606. Darüber liegt eine 8 m mächtige wenig tragfähige junge Ablagerung, bestehend aus Sand, Torf und Lehm. Im Bereich des Dammfundamentes wird diese obere Alluvion ausgeräumt. Die Kontaktfläche zwischen der dichten Zentralzone (1) und der Felsunterlage erhält in der Dammaxe einen betonierten Abdichtungssporn von etwa 5 m Höhe. Dieser soll allfällige Wasserdurchsickerungen längs der Kontaktfläche unterbinden. Es ist selbstverständlich, daß auf die ganze Länge des Dammes und des westseitigen Diaphragmas allfällige Risse in der Felsunterlage durch Injektionen abdichtet werden.

Die äußere Hälfte der talseitigen Zone (2) kommt auf eine Filterschicht zu liegen. Diese Maßnahme erhöht die Stabilität der talseitigen Dammhälfte. Ein richtig kon-

struierter Dammquerschnitt hat zur Hauptsache zwei Bedingungen zu genügen:

a) Das Maß der Durchsickerungen darf die wirtschaftliche Grenze nicht überschreiten. (Diese Grenze hängt vom Wert des gespeicherten Wassers ab.) Sodann dürfen die Durchsickerungen die Sicherheit des Dammes nicht gefährden, d. h. sie dürfen auf keinen Fall so stark sein, daß feine Materialteilchen mitgerissen werden. Mit der Dimensionierung der dichten Zentralzone hat es der Konstrukteur in der Hand, den Durchlässigkeitseigenschaften des zur Verfügung stehenden Materiales Rechnung zu tragen und die gestellten Bedingungen zu erfüllen.

b) Der Damm muß bei allen Belastungsfällen stabil sein. Es ist bei großen Dämmen, vor allem in den USA, üblich, hierfür einen Sicherheitsfaktor von 1,3 bis 1,5 zu verlangen. Der Sicherheitsfaktor für die Stabilität eines Dammes ist definiert durch den Quotienten aus den widerstehenden Kräften längs einer ungünstigsten Gleitfläche zu den angreifenden Kräften (resultierend aus der Auflast) längs dieser gedachten Fläche. Als ungünstigste Belastungsfälle kommen vor:

für die seeseitige Böschung: «See gefüllt»

und «See plötzlich abgesenkt»,

für die talseitige Böschung: «See gefüllt».

Wichtig für die Stabilität ist ein angemessenes «Herabdrücken» der Sickerlinien in der luftseitigen Dammhälfte. Bei den amerikanischen Dammbauten hat sich hierfür die Regel herausgebildet, einen «Sickerteppich» bis etwa Mitte Zone (2) hineinzuführen.

Beiläufig bemerkt, hat der Dammbauer in gewissen Fällen, für die jedoch in Marmorera keine Voraussetzungen vorliegen, bei der luftseitigen Dammhälfte Auftrieb von unten her zu befürchten. Diese Komplikation tritt dann ein, wenn es nicht möglich ist, das Abdichtungsdiaphragma bis auf den Fels hinunterzuführen und zugleich die Dammunterlage durchlässig ist. Es ist dann angezeigt, die ganze luftseitige Dammhälfte auf einen Filterteppich zu legen. Ein sehr instruktives Beispiel dieser Art ist der Resia-Damm der «Montecatini». Der Filterteppich ist dort sehr sorgfältig ausgebildet worden und von einem System von begehbaren Entwässerungs- und Revisionskanälen durchzogen.

Das Bild der Sickerlinien und der Linien gleichen Druckes erinnert stark an das bei Massivmauern bekannte Bild des Wärmefflusses und der Isothermen.

Eine große Dammbaustelle erfordert ein personell und materiell gut ausgerüstetes Feldlaboratorium. Diesem liegen laufend ob: die Kontrolle der Dammbaumaterialien auf Kornaufbau, Verdichtung, Wassergehalt, Durchlässigkeit usw.

Das Bauprogramm ist so aufgestellt, daß im Frühjahr 1951 mit der eigentlichen Dammauffüllung begonnen werden kann. Vorgängig dieser Arbeit müssen im Jahre 1950 die Julierstraße verlegt und der Grundablaß-Stollen gebaut werden. Vom Grundablaß-Stollen führt ein kurzer Stichstollen zum Schlitz des Diaphragmas West,

zur Erleichterung der Wasserhaltung während dessen Bau. Im Spätsommer 1950 wird die Julia durch den Umleitungskanal in den Grundablaß geführt. Das Baujahr 1950 dient außerdem dazu, die beiden Talflanken und die Materialgewinnungsstellen vorzubereiten. Gleichzeitig sollen der Abdichtungssporn Ost und ein Teil des Diaphragmas West erstellt werden. Die Dammauffüllung muß spätestens im Sommer 1954 beendet sein. Aber bereits 1953 kann mit einem teilweisen Aufstau des Sees und mit der Betriebsaufnahme in der Zentrale Tinzen gerechnet werden.

Das Diagramm der benötigten Materialmengen bildet die Grundlage für das Auffüllungsprogramm des Dammes. Für die Zonen (1) und (2) stehen etwa 340 Arbeitstage, für die Zonen (3) und (4) deren etwa 450 zur Verfügung. Diese Zahlen tragen dem Witterungscharakter in Marmorera Rechnung. Es ergeben sich daraus mittlere Tagesleistungen von 3100 m³ (1) und (2) und von etwa 3000 m³ (3) und (4). Der Gerätepark muß aber erfahrungsgemäß für eine höhere Tagesleistung bemessen werden; diese dürfte zwischen 6000 und 8000 m³ liegen. Die Dammoberfläche, die immer leicht dachförmig zu halten ist, damit Niederschläge nicht liegen bleiben, steigt im Bereich ihrer größten Flächenausdehnung wöchentlich um etwa 0,75 m; nahe der Dammkrone beträgt dieses Maß gegen 2 Meter.

Damit bei diesem verhältnismäßig raschen Anwachsen der Auflast im Damm keine Stabilitätsstörungen eintreten, ist eine ausreichende Verdichtung der Materialien (1) und (2) mit optimalem Wassergehalt sehr wichtig. Ein allfälliger Wasserüberschuß würde zu langsam nach außen abwandern, so daß unliebsam hohe Porenwasserdrücke entstünden, verbunden mit einer Einbuße an innerer Reibung. Zur laufenden Kontrolle dieser Zusammenhänge werden in den Zonen (1) und (2) Meßdosen für Porenwasserdruckbestimmung und senkrechte Pegel zur Messung der Setzungen eingebaut. Mit Pegeln soll übrigens auch die Nachgiebigkeit des Dammuntergrundes beobachtet werden.

Allfällige militärische Anordnungen könnten ein rasches Absenken des Seespiegels verlangen. Wenn im Überlaufbauwerk die Grundschütze gezogen ist und gleichzeitig der Grundablaß geöffnet wird, kann der Seespiegel innerhalb ca. 50 Stunden um 12 m auf Kote 1668 abgesenkt werden. Auf dieser Kote mißt die Dicke des Dammkörpers bereits 80 m, bietet also große Sicherheit gegen Beschädigungen. Gegen ein Überfluten bei Hochwasser ist der Damm durch reichlich dimensionierte Saugüberfälle im Überlaufbauwerk gesichert. Das Freibord des Dammes mißt bei höchstem Seestand 2,5 m.

Der Staudamm von Marmorera wird größer als die bisher in der Schweiz und im übrigen Europa gebauten Erddämme. Als Beispiele aus der Schweiz seien erwähnt:

der Damm am Klöntalersee mit 22 m Höhe,
der Damm des Bannalpwerkes mit 19 m Höhe, und
der Hühnermattdamm am Sihlsee mit 13 m Höhe.

Bekannt ist auch die Sorpe-Talsperre, ein Staudamm von 62 m Höhe am Oberlauf der Ruhr in Norddeutschland. Gegenwärtig baut die italienische Gesellschaft «Montecatini» auf der Reschenscheideck einen 28 m hohen gewalzten Damm mit etwa 600 000 m³ Volumen, das heißt ein Viertel des Volumens des Marmorera-Dammes. Aus der Fachliteratur sind viele Angaben erhältlich über neuere Erddämme in den USA. Eine ganze Reihe von gegenwärtig im Bau befindlichen amerikanischen Dämmen haben ähnliche topographische und geologische Voraussetzungen wie der Marmorera-Damm.

Nachdem zu Beginn des Jahres 1949 unser Dammprojekt in geologischer und erdbaulich-theoretischer Hinsicht weitgehend abgeklärt war, blieben noch ausführungstechnische Fragen zu untersuchen. Es war selbstverständliche Pflicht, die reichen Erfahrungen der amerikanischen Dammbauer auf diesem Gebiete für uns nutzbar zu machen. Nur die persönliche Fühlungnahme mit den leitenden Instanzen und das Studium an Ort und Stelle vermitteln diejenigen Einblicke in die Materie, die bei einer Bauaufgabe von dieser Größe nötig sind. Die Herren Stadtrat Baumann, Oberingenieur Bertschi, Ingenieur Bickel und der Berichterstatter besuchten im April 1949 auf einer 3½wöchigen Reise durch den östlichen Teil der USA ein Dutzend großer Dammbauten, solche im Anfangsstadium und solche vor der Vollendung; es bot sich Gelegenheit zu zahlreichen interessanten Besprechungen mit amerikanischen Fachleuten. Der große Wert solcher Besichtigungen an Ort und Stelle liegt nicht zuletzt in der freimütigen Aussprache mit den dortigen Fachkollegen. In dieser Beziehung machten wir auf unserer Reise die denkbar besten Erfahrungen.

Dammbauten in USA:

In den USA sind es heute im wesentlichen folgende vier Behörden, die sozusagen am «laufenden Band» große Talsperren bauen:

1. Das dem Departement des Innern unterstellte Bureau of Reclamation;
2. das innerhalb des Kriegsdepartementes arbeitende Corps of Engineers;
3. die Tennessee-Valley-Authority, eine große selbständige staatliche Unternehmung, und
4. die Wasserversorgung der Stadt New York.

Es sind diesen Behörden folgende Aufgaben gestellt:

1. Bureau of Reclamation

«Melioration» des riesigen Gebietes der USA westlich des Mississippi durch Hochwasserschutz und Bewässerung. Zu die-

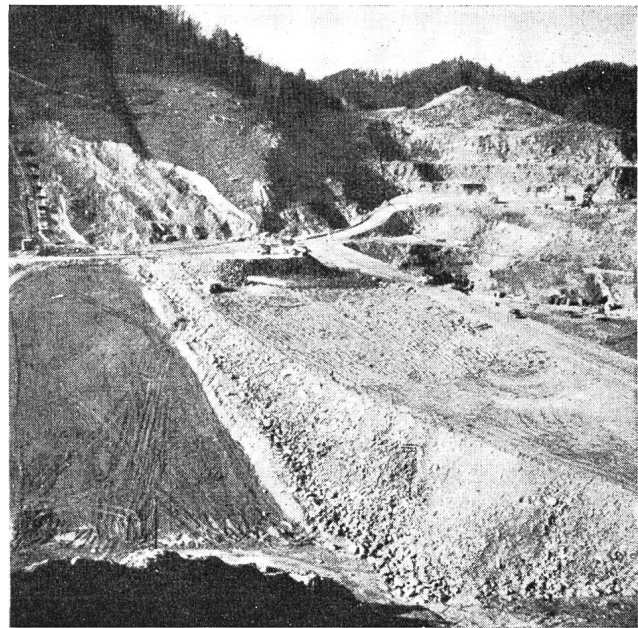


Abb. 10. South Holston Dam, links Zentralzone, rechts seeseitige Steinmaterialzone, im Hintergrund Gewinnung des Steinmaterials in der durch riesige Minen gelockerten klüftigen Felsflanke.

sem Zweck baute allein diese Behörde in den letzten 20 Jahren etwa 120 große Talsperren mit mehr als 20 m Höhe, wovon 80 Erddämme sind! Die höchste Betonmauer dieser Bauherrschaft mit 240 m, ist der Boulder Dam am Colorado River in Arizona; der höchste Erddamm der Anderson Ranch Dam, mit 150 m, in Oregon; der Damm mit dem größten Volumen, etwa 90 Mio m³ und $h = 80$ m, ist der Fort Peck Dam in Montana. Etwa 25 weitere große Dammbauten sind projektiert und stehen unmittelbar vor der Ausführung. Die hier gestellte Aufgabe, ein Gebiet von der 1½fachen Ausdehnung Europas vor der Erosion durch Wasser und Wind und damit vor der Versteppung zu schützen, ist riesig. Forschungs- und Projektierungszentrum ist Denver mit mehreren Tausend Angestellten und ausgedehnten Laboratorien für Erdbau, Beton, Hydraulik.

2. Corps of Engineers

Hafenbauten an den Meeresküsten, Binnenhäfen, Schifffahrtskanäle und, was uns speziell interessierte: Staubecken als Hoch-



Abb. 11. Enders Dam, Betonieren des 120 m breiten Überlaufbauwerkes. Im Hintergrund (dunkel) dichte Zentralzone.

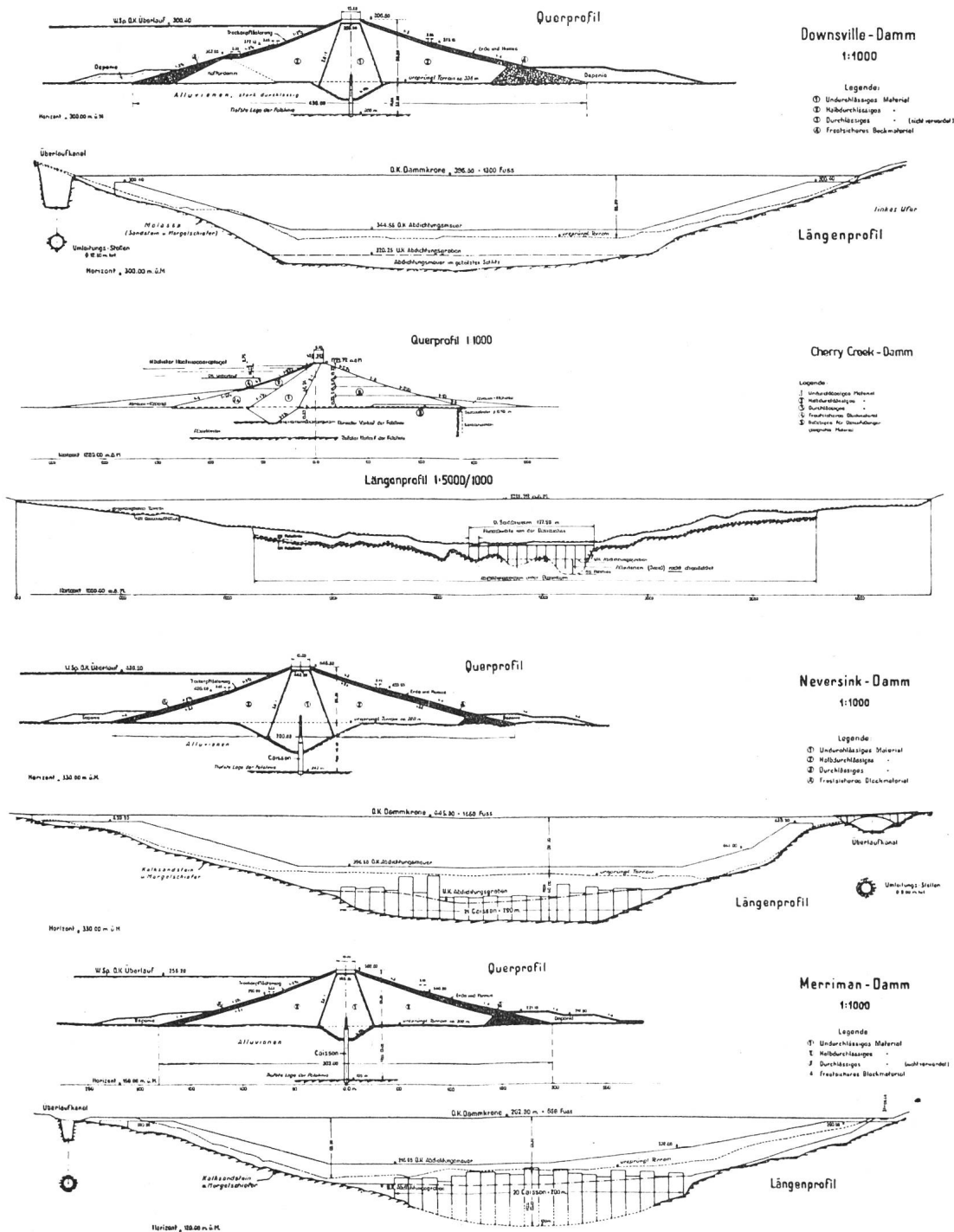


Abb. 12. Querprofile amerikanischer Erddämme.

wasserschutzräume und als Reservoir für Fluß-Schiffahrt und Bewässerung. Die Zahl der Talsperren dieser Behörde dürfte ebenfalls einige Dutzend betragen, wovon etwa die Hälfte Erddämme sind.

3. Die Tennessee Valley Authority (TVA)

ist eine Mitte der Dreißigerjahre ins Leben gerufene staatlich geführte Kraftwerkunternehmung. Die Bezeichnung «Kraftwerkunternehmung» ist jedoch nur bedingt richtig, denn neben der Energieerzeugung sind es vor allem die Schiffbarmachung des Tennessee River von seiner Mündung in den Ohio bis hinauf

nach Knoxville, etwa 900 km, oder gleich der Strecke Zürich—London, der Hochwasserschutz und eine «Melioration» großer Gebiete des Staates Tennessee, die sich diese Unternehmung zum Ziel gesetzt hat. Unter «Melioration» ist hier zu verstehen die Verhinderung der Oberflächenerosion, die Wiederaufforstung, und nicht zuletzt die Produktion und Verwendung von Kunstdünger. Das Land weist vorwiegend noch recht mageren Boden auf. Beim Überfliegen vermittelt sich dem Beobachter ein sehr anschauliches Bild über die Unterschiede in der Vegetation im meliorierten Teil von Tennessee gegenüber dem noch nicht meliorierten.

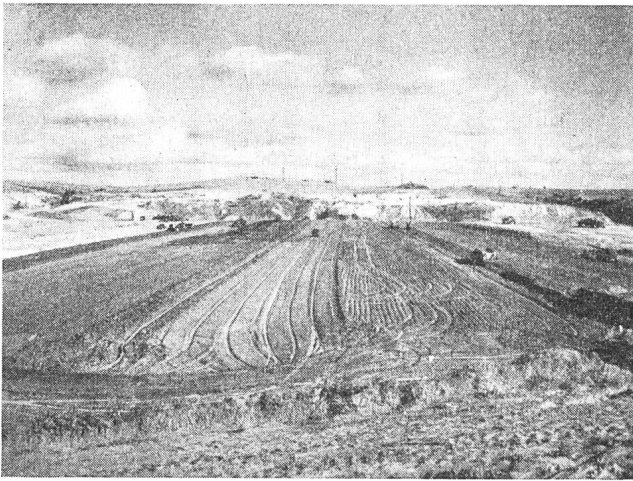


Abb. 13. Medicine Creek Dam, Einbringen und Walzen der dichten Zentralzone, beidseitig durchlässige Randzonen.

Während der Kriegsjahre entstanden sehr große hydraulische Kraftwerkanlagen am Tennessee-River und seinen Nebenflüssen, hauptsächlich für die Verhüttung der reichen Bauxitvorkommen in Tennessee zu Aluminium. Erstaunlich sind für uns die kurzen Bauzeiten dieser großen und sehr schön ausgestatteten Kraftwerke. So sei nur als ein Beispiel von mehreren erwähnt das Cherokeewerk in der Nähe von Knoxville, mit einem Erddamm von 50 m Höhe und 2,5 Mio m³ Inhalt, einem Stausee vergleichbar unserm Zuger-See, und einer Zentrale mit vier Einheiten à 30 000 PS. Vom Tage des Baubeschlusses bis zum Beginn der Energieabgabe mit zwei Einheiten verstrichen nur 1 ¼ Jahre!

4. Die Wasserversorgung der Stadt New York baut 150—200 km nördlich der Stadt in den Einzugsgebieten des Hudson River und des Delaware River drei sehr große Stau-becken, jedes in der Größe ungefähr wie der Greifensee. Erd-dämme, sehr ähnlich dem in Marmorera vorgesehenen, bilden den Talabschluß. Die künstlichen Seen sind Trink- und Brauch-wasserreservoir, welche die Wasserversorgung für die 8-Mil-

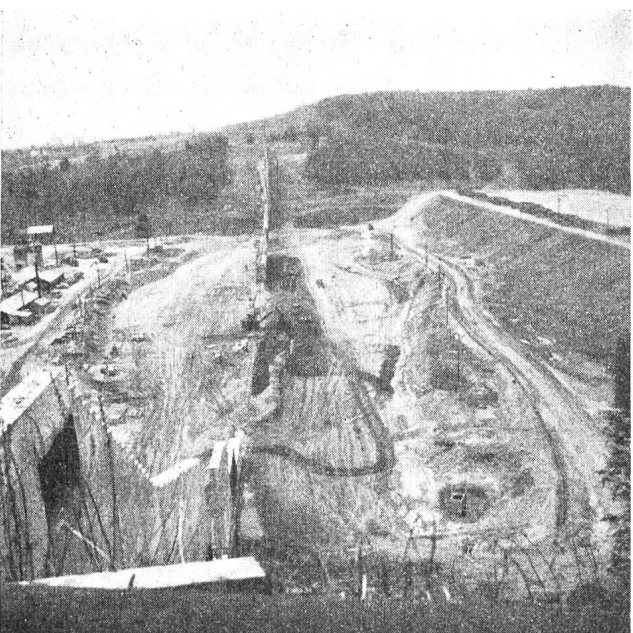


Abb. 14. Neversink Dam, Blick vom linken gegen das rechte Ufer. Bild-mitte: betonierter Abdichtungssporn in der Zentralzone, in die Talflanken einbindend. Rechts: seeseitige Steinmaterialzone.

lionenstadt auch in außergewöhnlichen Trockenjahren sicherstellen sollen.

Der Delaware Aquädukt, meistens als kreisrunder Stollen von 4—6 m lichtigem Durchmesser ausgeführt, verbindet die Stau-becken mit der Stadt; der Wasserzufluß nach New York beträgt aus diesen Reservoirs rund 25 m³/s.

Abgesehen von 450 km Bahnfahrt von Denver nach Nebraska und zurück und von 300 km Autobusfahrt nördlich von New York wurde die ganze Reise im Flug-zeug zurückgelegt. Ohne das wäre die Abwicklung des ganzen Programmes in nur 3 ½ Wochen nicht denkbar gewesen. Die in Nordamerika zurückgelegten Reisetrek-ken messen rund 6500 km. Das Wetter war sehr günstig, so daß alle Besichtigungen der Baustellen programm-gemäß vor sich gingen.

Aus der Reihe der besichtigten Dammbauten seien hier einige typische Beispiele ausgewählt:

a) South Holston Dam und Watauga Dam (TVA)

Kraftnutzung und Hochwasserschutz.

Erd- und Steindämme mit dichter Zentralzone.

Talflanken Sandstein (trotzdem Dämme!)

Zentralzone ca. 1,5 Mio m³

Steinzonen ca. 3,0 Mio m³

total ca. 4,5 Mio m³

In den Steinzonen wird ganzjährig gearbeitet, in der Zentralzone nur Mai bis Oktober.

Durchgehender Injektionsschleier 1 m Lochabstand, 35 m tief.

b) Cherokee-Dam am Holston River (TVA) 1942/43

Kraftnutzung und Regulierung für Flußschiffahrt.

Volumen etwa 2,5 Mio m³.

Bauzeit, einschl. maschinelle Einrichtung der Zentrale, 1 ¼ Jahre.

c) Cherry-Creek, nur 20 km oberhalb der Großstadt Denver, keinerlei Bedenken wegen der Gefährdung der Stadt. (Corps of Engineers)

Hochwasserschutzbecken.

Damm-Volumen etwa 10,2 Mio m³.

Maximale Tagesleistungen 45 000 m³ (dreischichtig).

Mobile Geräte für etwa 10 Mio \$ auf der Baustelle.

d) Dämme in Nebraska im Einzugsgebiet des Republican River (Bureau of Reclamation). Medicine Creek-, Enders-, Bonny Dam. Staubecken für Hochwasserschutz und Bewässerung. Dammvolumen je zwischen 2 und 7 Mio m³. Nebraska ist einer der weitausgedehnten Farmerstaaten des mittleren Westens, mit riesigen, topfebenen Flächen. Die benachbarten Staaten Kansas, South Dakota, Wyoming und der östlich der Rocky Mountains gelegene Teil von Colorado weisen den gleichen Charakter auf. Die landwirtschaftliche Produktion ist vorwiegend auf Weizen beschränkt, längs den Flüssen und in den künstlich bewässerten Gebieten findet man auch Mais und Graswuchs, verbunden mit Viehzucht. Der Boden ist sandig, in 20—30 m Tiefe finden sich molasseähnliche horizontale Felsschichten. Die Flüsse liegen in breiten Erosionstälern, bis 80 m tief.

Die Disposition der Staudämme in diesen Gebieten und die Bauweise hat sich im Verlauf der Jahre weitgehend standardisiert. Der kostspieligste Teil dieser Talsperren ist immer der in seinen Dimensionen imposante «Spillway», das Überlaufbauwerk. Die Betonzuschlagstoffe und die Steine für die Kolk-



Abb. 15. Neversink Dam, N. Y., Gewinnung des Damm-Materials mit 2,6-m³-Löffelbagger und Verladen auf 11-m³-Sattelschlepper.

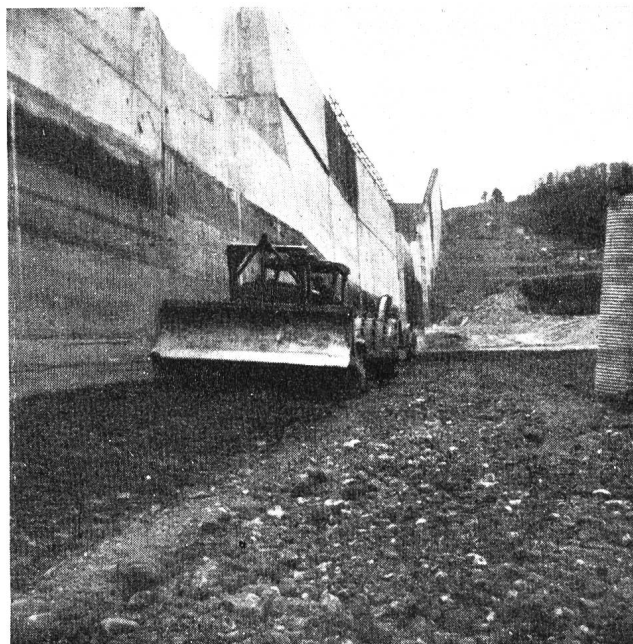


Abb. 16. Neversink Dam, Planieren und Walzen des dichten Materials in der Zentralzone längs dem Abdichtungssporn.

sicherungen müssen vom Fuß der Rocky-Mountains, also über Distanzen von 500 bis 800 km weit mit Bahn und Camion zugeführt werden.

Materialgewinnung, meist mit Hochlöffel, $3\frac{1}{2}$ cuy (ca. $2\frac{1}{2}$ m³), in sandigen Böden vereinzelt auch mit «Loaders» (kontinuierliches Aufladen).

Transport mit «Trailers», 18 bis 24 m³ Inhalt, vorwiegend mit Bodenentleerung.

Verteilen mit dem «Grader» und «Bulldozer».

Walzen mit Schafffußwalze, Gewicht mit Ballast etwa 18 t. Trommeldurchmesser 1,5 m (meistens als Doppelwalzen).

Vor längeren Arbeitspausen oder wenn Niederschläge zu erwarten sind, Walzen mit Trommelwalze zur Erzielung einer glatten Oberfläche.

Vor dem Aufbringen einer neuen Schicht wird die glatte Oberfläche mit Egge aufgerissen.

Zu trockenes Material wird mit Tankwagen (40 m³ Inhalt) besprengt.

Oft wird in solchen Fällen auch schon die Entnahmegrube bewässert.

e) Die drei besuchten Dammbaustellen der Wasserversorgung der Stadt New York am Oberlauf des Delaware River sind einander sehr ähnlich; sie werden deshalb hier gemeinsam besprochen.

Der Merriman Dam war beinahe fertiggestellt, in Arbeit befand sich noch die Hochwasserentlastung, die seeseitige Böschungspflasterung und die Humusierung der Luftseite.

Beim Neversink Dam war die Auffüllung in vollem Gang. Der betonierte Abdichtungssporn war fertiggestellt.

Die Arbeiten am Downsville Dam hatten vor einigen Monaten begonnen.

Jeder der drei Dämme hat ein Volumen von 5—9 Mio m³ und eine Höhe von 50—60 m.

Das für die dichte Zentralzone verwendete Material ist sehr ähnlich dem in Marmorera zum Einbau vorgesehenen Moränenmaterial. Was uns hier vor allem interessierte, war die Ausscheidung der für das Einwalzen zu großen Steine. Die Sortieranlagen sind, wenn man die großen täglichen Leistungen berücksichtigt, eher kleiner als man erwarten würde. Eine wei-

tere Beobachtung, die wir bei diesen New Yorker Dämmen machten, betrifft den Wassergehalt des Materiales; sie war für uns im Hinblick auf Marmorera sehr ermutigend: In den Entnahmegruben ist die natürliche Materialfeuchtigkeit erheblich größer als der optimale Einbauwassergehalt. Die Durchlüftung beim Manipulieren des Materiales in der Grube und auf dem Damm bewirkt aber die gewünschte Austrocknung. Bei den Dämmen im Westen sind die Verhältnisse meist umgekehrt; dort muß Wasser zugesetzt werden.

Bei der Größe der Einzugsgebiete der gestauten Flüsse und unter Berücksichtigung der Tatsache, daß ihr Abflußregime sehr ausgeprägte Hochwasserspitzen aufweist, sind die Dimensionen der Hochwasserentlastungsanlagen und der Grundablässe nicht erstaunlich. Bei den Dämmen im Mississippi-Gebiet fehlen mei-

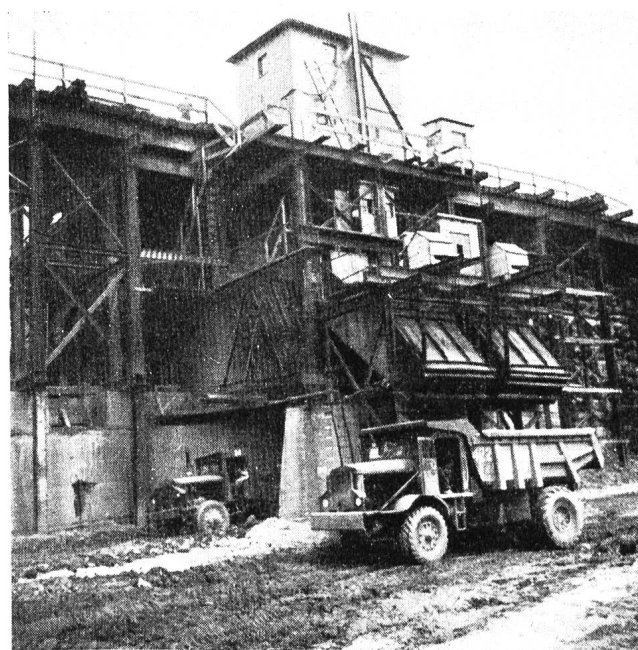


Abb. 17. Neversink Dam, N. Y., Sortieranlage für das Ausscheiden zu großer Steine aus dem Damm-Material.

stens Felsflanken, so daß dort die erwähnten «Spillways» nötig werden. Bei den New Yorker Dämmen mit ihren sehr guten und kompakten Felsflanken können diese Bauteile unter Tag angeordnet werden. Der Grundablaß-Stollen des Downsville-Dammes z. B. hat einen Ausbruchdurchmesser von rund 14 m. Der Überlauf mündet durch einen Absturzschaft in diesen Stollen. Es ist eine Betonauskleidung von rund 1 m Stärke vorgesehen.

Verglichen mit schweizerischen Verhältnissen fällt die starke Spezialisierung in der Berufstätigkeit der Ingenieure auf. Die Entwurfsarbeit ist stark standardisiert. Die Vorbereitungen werden sehr gründlich durchgeführt, besonders die Sondierungen an der Dammbaustelle und in den Material-Entnahmegebieten. Meistens werden die Dammarbeiten an Unternehmer vergeben. Einzig die TVA baut alles in eigener Regie. Die Bedingnishefte sind Bücher stattlichen Ausmaßes, sehr reichlich mit Zeichnungen ausgestattet. Die Vorausmaße enthalten nur sehr wenige Positionen; als Beispiel sei der Neversink Dam angeführt, bei dem eine Vertragssumme von rund 25 Mio Dollar auf Grund von nur etwa 25 Positionen abgerechnet wird. Dafür haben die Bedingungen einen Umfang von gegen 200 engzeiligen Druckseiten.

Durchsickerungen unter dem Damm oder durch die seitlichen Flanken werden ohne Bedenken in Kauf genommen, soweit sie keine Gefahr für «Piping» (Ausspülen feiner Materialteilchen) mit sich bringen. Abdichtungsmaßnahmen werden nur bis zu dem Grade vorgenommen, als ihre Kosten durch den Wert des dadurch gewonnenen Speicherwassers mindestens wettgeschlagen werden. Die Messung der Setzungen des Dammuntergrundes und des Dammkörpers erfolgt nach einheitlichen Verfahren. Dagegen sind die Meinungen über den Wert und die Zuverlässigkeit der Porenwasserdruckmessungen im Dammkörper geteilt. Es scheint noch nicht gelungen zu sein, ganz einwandfrei arbeitende Meßdosen und Übertragungssysteme ohne Versager zu konstruieren.

Es war interessant, festzustellen, daß die TVA für ihre Dammprojekte meist einen höheren rechnerischen Sicherheitsfaktor verlangt als die andern Bauherren; 1,5 gegenüber etwa 1,3. Das wurde uns von maßgebender Seite der TVA damit begründet, daß der Regiebau der TVA nicht unter gleich scharfer Bauplatzkontrolle vor sich gehe, wie sie sonst auf den Unternehmerbaustellen, beispielsweise des Bureau of Reclamation, üblich sei. In der Tat trafen wir denn auch im mittleren Westen und bei den New Yorker Dämmen sehr schön ausgestattete Bauplatzlaboren und überall einen ansehnlichen Stab von Laboratoriums- und von Aufsichtspersonal, speziell für die Kontrolle des Verdichtungsgrades der Dammauffüllung. Die amerikanischen Dammbaustellen verfügen in der Regel über eine reichliche Anzahl neuer und neuester

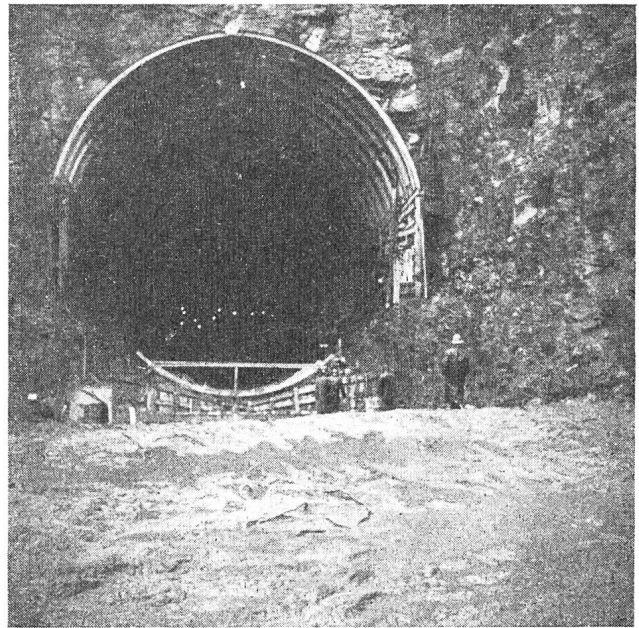


Abb. 18. Downsville Dam, N. Y., seeseitiges Portal des Umlaufstollens. Ausbruchdurchmesser 14 m, stählerner Calotteneinbau.

Großgeräte. Die Materialtransporte wickeln sich ausschließlich mit Pneufahrzeugen ab. Die Geräte sind selbstverständlich billiger als in der Schweiz. Andererseits sind die Arbeitslöhne bedeutend höher als bei uns. Die menschliche Arbeitskraft wird daher wenn immer möglich durch Maschinen ersetzt. Die Höhe der Löhne führt auch dazu, daß Baumaschinen aller Art nach viel kürzerer Gebrauchsdauer endgültig außer Betrieb gesetzt werden als in der Schweiz; die Reparaturen lohnen sich nicht.

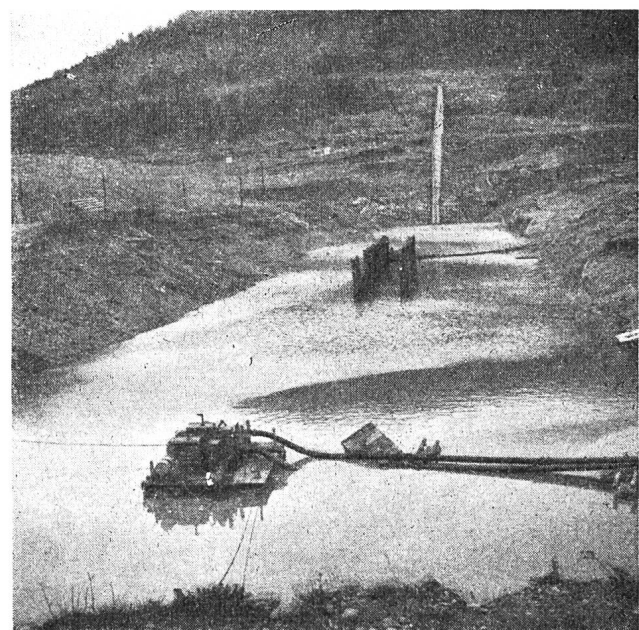


Abb. 19. Downsville Dam, N. Y., Blick vom rechten gegen das linke Ufer. Baugrube des zentralen Abdichtungsgrabens durch Hochwasser überflutet. Schwimmende Pumpenbatterien.

Die Stundenlöhne auf den Großbaustellen bewegen sich etwa zwischen 1 und 2 Dollar, dieser Lohn für qualifizierte Baggerführer. Dabei ist aber der Lebensstandard dieser Leute nicht besser als in der Schweiz. Nahrung und Kleidung sind teurer als bei uns. Dazu kommen täglich erhebliche Aufwendungen an Zeit und Geld für den Arbeitsweg. Wenn im Umkreis von 50 bis 70 km von der Baustelle irgendeine Siedlung vorhanden ist, wohnt der amerikanische Arbeiter mit seiner Familie dort und fährt mit seinem Automobil zur Baustelle. Die Schaffung von Parkierungsmöglichkeiten für die Dutzende von Wagen ist jeweils nicht das kleinste Problem der Baustellenorganisation. Ganz abgelegenen Großbaustellen, wie beispielsweise in Nebraska, werden Camps für die Angestellten und Arbeiter angegliedert. Die Leute wohnen grundsätzlich immer mit ihrer Familie in hölzernen Einfamilienhäuschen. Diese Wohnungen sind recht komfortabel eingerichtet, auf eine freundliche Gestaltung der Umgebung wird aber wenig Wert gelegt.

Die besuchten Dammbaustellen waren imposant, es waren aber noch nicht die größten, auf denen gegen-

wärtig in den USA gearbeitet wird. Auffallend ist die Tatsache, daß die Amerikaner immer mehr dazu übergehen, Erddämme auch an Stellen zu bauen, deren topographische und geologische Gegebenheiten ohne weiteres den Bau einer Mauer gestatten würden. Man darf dabei natürlich nicht außer acht lassen, daß das während Monaten niederschlagsarme Klima vieler nordamerikanischer Gebiete der Erdbauweise günstig ist. Es wurde uns erklärt, daß die Baukosten eines Erddammes meistens niedriger seien als diejenigen einer gleich hohen Mauer. Auch könne die Bauzeit kürzer gehalten werden; Großgeräte seien in genügender Anzahl vorhanden. Der Frage der Sicherheit gegen kriegsbedingte Angriffe wird große Aufmerksamkeit geschenkt. Maßgebende Fachleute des Corps of Engineers, also des Kriegsdepartementes, erklären, daß sie die Sicherheit eines richtig konstruierten Dammes mindestens so hoch einschätzen wie diejenige einer Massivmauer. Zu diesem Urteil seien sie gelangt auf Grund ihrer Studien an den Bombardierungsschäden deutscher Talsperren und auf Grund von Versuchsbombardierungen in den USA.

Zum Schluß geben wir noch eine Gegenüberstellung einiger Daten des Marmorera-Dammes mit denjenigen ähnlicher amerikanischer Beispiele:

Beispiele gewalzter Dämme mit dichter Zentralzone

Staudamm	Höhe*	Kronenlänge	Dammvolumen	Staubecken-Inhalt	Bauzeit (netto)	Tagesleistung	
USA	m	m	Mio m ³	Mio m ³	Monate	m ³	
South Holston	89	473	4,5	970	28	9 000	Betondiaphragma unter Talsohle: 55 m (Caissons) 46 m (off. Baugrube) 31 m (off. Baugrube)
Watauga	97	275	2,7	830	—	—	
Cherokee (ohne Mittelteil) .	43	1 582	2,5	1 930	14	10 000	
Medicine Creek	35	1 702	3,0	190	24	8 000	
Enders	30	600	1,5	90	15	8 000	
Bonny	39	2 867	7,5	220	20	20 000	
Merriman	53	700	6,0	190	45	27 000	
Neversink	55	780	7,3	140	54	30 000	
Downsville	60	740	9,0	560	—	—	
Cherry Creek	42	4 350	10,2	230	26	45 000	
Davis (Arizona)	60	390	3,3	2 250	10	20 000	
Granby (Col.)	72	265	2,2	670	—	—	
Anderson Ranch (Oreg.) .	102	410	7,4	610	30	14 000	
Marmorera	70	375	2,4	60	24	6 000	

* Höhe über Talsohle.