

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 80 (1962)
Heft: 22

Artikel: Dammbauten in Syrien
Autor: Schwegler, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-66165>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

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

Von Hans Schwegler, dipl. Bau-Ingenieur ETH, Gebrüder Gruner, Ingenieurbureau, Basel

Zusammenfassung: Syrien unternimmt seit einiger Zeit grosse Anstrengungen, um seine bewässerten Landwirtschaftsgebiete auszudehnen. Damit soll zukünftigen, katastrophalen Dürrezeiten, wie sie z. B. während der vergangenen vier Jahre herrschten, begegnet werden. So wurde 1955 mit dem Bau bedeutender Bewässerungssysteme und Wasserkraftanlagen begonnen, welche die Urbarmachung des Ghab und der Acharneh-Ebene, eines Sumpfbereiches von rund 74 000 ha, zum Ziele haben. Im Rahmen dieses Projektes sind in Zentralsyrien bei Rastane und Mehrardeh am Orontes zwei Felsschüttdämme von 1,4 Mio m³ und 0,3 Mio m³ errichtet worden. Deren Bau zeigte, wie in Entwicklungsländern mit einem gut koordinierten Einsatz von modernen Maschinen und einheimischem Schaffen bedeutende technische Leistungen erzielt werden können. Wenn diese Dammbauten auch nicht grundlegend neue Probleme stellten, so bieten sie doch nützliche Erfahrungswerte für den Bau von Felsschüttdämmen mit mittel- bis hochplastischen Lehmkernen. Besonders eine hier angewandte Methode zur Berechnung von Setzungen während der Bauzeit zeigte gute Übereinstimmung mit gemessenen Werten. Abschliessend wird auf zwei bodenmechanische Standardversuche hingewiesen, wie sie in östlichen Ländern heute üblich sind. Der Verfasser war während 1½ Jahren der Bauleitung dieser Dammbauten zugeteilt.

I. Generelles Projekt

Seit dem Jahre 1955 baut die Verwaltung der grossen Bauten der syrischen Regierung in der Steppe am Oberlauf des Orontes bedeutende Stauanlagen, Entwässerungs- und Bewässerungssysteme, deren Hauptzweck das Trockenlegen und Urbarmachen der Ghabstümpfe zwischen dem Djebel Ansarijeh und dem Djebel Zaouijeh sein wird (Bild 1). Wo Ausbaumassenergie und nutzbares Gefälle es gestatten, werden die Wasser in zweiter Linie der Erzeugung saisongebundener elektrischer Energie dienen.

Der Orontes-Lauf ist mit ältester Menschheitsgeschichte verbunden [1]. Er entspringt der «Blauen Quelle» im Libanon bei einer ehemaligen Zufluchtsstätte des St. Maron, dem Namenspatron der libanesischen Maroniten. Nach 40 km ergiesst er sich bei Tell Kadesch (Tell Nebi Mind) in den antiken Stausee von Homs, dort, wo 1294 v. Chr. das Expansionsstreben der Hettiter nach Süden in der berühmten Schlacht an den Verteidigungsstellungen der ägyptischen Heere zusammenbrach. Dem Plateau von Homs und Hama bringt der Orontes das lebenspendende Nass für ausgedehnte Bewässerungskulturen, liefert Trinkwasser für Hama, zwingt sich dann durch enge Canyons und mündet bei Sedjar, der alten Araberfestung, in die Ebene von Acharneh.

Das Sumpfbereich des Ghab, heute zum grossen Teil trockengelegt, wird in vielen Windungen durchflossen. Strabon schon lobte die Fruchtbarkeit dieser Ebene, wo Pferde und Ochsen gezogen wurden. Bei Karkor überfließt der Orontes die Basaltschwelle, deren Stau die Versumpfung der Ghabebene bewirkte. Heute ist diese natürliche Sperre

durchbrochen, das Flussbett und damit der Grundwasserspiegel des Ghab um rd. 2 m abgesenkt. Durch die Schluchten von Derkouché strömt dann der Orontes dem Amoukbecken zu, durchquert türkisches Gebiet bei Antiochien und erreicht bei Sonéidié das Mittelmeer.

Das Einzugsgebiet des Orontes bis zur Mündung umfasst 23 900 km². Es hat vorherrschend kontinentales Klima mit etwa 500 mm Niederschlag pro Jahr. Bei Acharneh beträgt der mittlere Orontes-Abfluss 25 m³/s, mit Schwankungen zwischen 12 m³/s und 200 m³/s; pro Jahr sind dies rund 800 Mio m³, welche zu 70% in der Regenzeit vom Dezember bis Ende April abfliessen.

Die hydraulische Planung am Orontes wurde unter französischer Mandats Herrschaft zwischen 1929 und 1933 begonnen. Im Jahre 1952 beauftragte dann die syrische Regierung «Nedeco», eine Firma beratender Ingenieure in den Niederlanden, mit der Ausarbeitung eines Vorprojektes über die landwirtschaftliche Erschliessung der Ghab- und Acharneh-Ebene. Im Rahmen dieses Gesamtplanes sind die eingangs erwähnten Bauten in Angriff genommen und zum Teil bereits vollendet worden.

Ausserhalb dieser Projekte liegt der See von Homs mit einem nutzbaren Inhalt von 120 Mio m³. Sein Abfluss dient während der Trockenperiode für die Bewässerung der Ebene zwischen Homs und Hama, während er im Winter und Frühjahr zusammen mit dem Harb Nafsi das neue Seebecken von Rastane speist. Dasselbst wurde durch einen Felsschüttdamm von 67 m Höhe ein Mehrjahresspeicher von 250 Mio m³ geschaffen, dessen Wasser die Bewässerung der Ghab-Ebene während des Sommers sicherstellt (Bilder 2 u. 3). Auch können im angeschlossenen Kraftwerk (max. Ausbaumassenergie 22 m³/s, Gefälle zwischen 24 und 53 m) bei einer installierten Leistung von 10 500 PS pro Jahr 40 Mio kWh Sommerenergie erzeugt werden. Der Rastane-Damm ist durch eine Hochwasserentlastung, welche mit drei automatisch gesteuerten Sektorschützen geschlossen ist, vor Ueberflutung selbst bei einem Bruch der Staumauer des Sees von Homs (Q_{max} = 3000 m³/s) geschützt. Während seines Baues wurde der Orontes durch einen Umleitstollen geleitet, der heute als Grundablass dient (Bild 5).

Als nächste Sperrstelle folgt bei Mehrardeh ein 54 m hoher Felsschüttdamm (Bild 4). Er staut ein Retentionsbecken von 48 Mio m³, das vor allem als Hochwasserschutz der Acharneh- und Ghabebene dient. Vor Ueberflutung schützt ihn als Hochwasserentlastung ein kleiner, seitlicher Erdstaudamm von 4 m Höhe, der bei einem Katastrophenhochwasser weggerissen wird. Heute baut man bei Sedjar an einer Wasserkraftanlage, welche auch das Wasser des Mehrardeh-Stauraumes nutzen soll. Durch einen Stollen von 600 m Länge kann — bei einem Gefälle von 40 m — diese Zentrale mit einer installierten Leistung von 3000 kW pro Jahr 26 Mio kWh elektrischer Energie erzeugen. Bei Acharneh wird ein Verteilwehr den Orontes in die verschiedenen Bewässerungskanäle des Ghab weisen.

Im Jahre 1958 wurden die beiden Grossbauten in Rastane und Mehrardeh durch die bulgarische Staatsunternehmung «Technoimpex» in Angriff genommen; seit August 1958 baut eine syrische Unternehmung auch am Verteilwehr Acharneh. Die Dammschüttungen selbst dauerten in Rastane vom Juli 1959 bis September 1960, in Mehrardeh vom Juli bis Dezember 1960. Gegen Ende 1961 sind alle drei Bauwerke dem Betrieb übergeben worden (Bild 10). Mit den Voruntersuchungen, der Projektierung und der örtlichen Bauleitung all dieser Baustellen betraute die syrische Regierung im Jahre 1955 die Firma Gebrüder Gruner, Ingenieurbureau, Basel. Die geologische Prospektion führte Dr. B. Tschachtli, Geologe, Luzern.

II. Der Rastane-Damm

1. Projekt

Der Rastane-Steinschüttdamm stellt im Rahmen des ganzen El-Ghab-Bewässerungsprojektes das grösste Einzel-

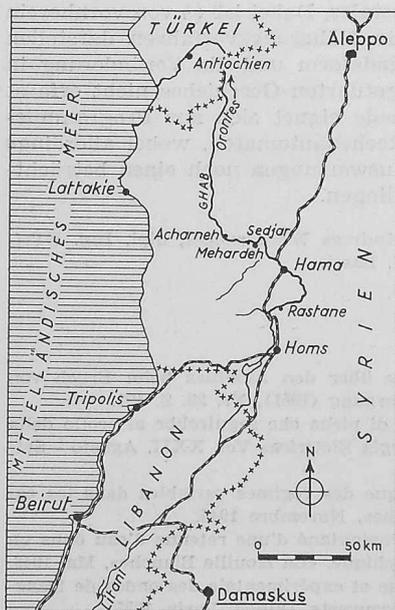


Bild 1. Uebersichtskarte von Syrien und Libanon, Masstab rd. 1:4 Mio

bauwerk dar. Mit seinem Volumen von 1,3 Mio m³, einer maximalen Höhe von 67 m über der tiefsten Fundationskote und einer Kronenlänge von rund 400 m bildet er die Hauptsperrrstelle im Laufe des Orontes.

Der *Untergrund* besteht im Bereich des Rastane-Dammes aus relativ kompakten, aber geklüfteten maritimen Mergel-, Kalkmergel- und mergeligen Kalkablagerungen aus dem Eozän. Oberer Abschluss dieser Zonen bilden miozäne Seedeposite (Kies und Kiessand), welche stellenweise wiederum durch eine Basaltdecke oder einzelne Basaltblöcke aus dem Pliozän überdeckt sind. Dem Oronteslauf entlang finden sich quartärnäre Flussablagerungen, bestehend aus allen Uebergängen von Ton bis kiebigem Feinsand (Bild 2).

Die *geologischen Verhältnisse* und *Bodenvorkommen im Bereich der vorgesehenen Sperrstelle* bestimmen sowohl die Art des Stauwerkes als auch dessen Aufbau. Wegen der relativ geringen Tragfähigkeit der Mergelschichten ($\sigma_{Bzul} = 7 \text{ kg/cm}^2$) musste zum vornherein vom Bau einer Schwergewichtsmauer oder einer Beton-Pfeiler-Staumauer abgesehen werden. Dagegen waren die Bedingungen für den

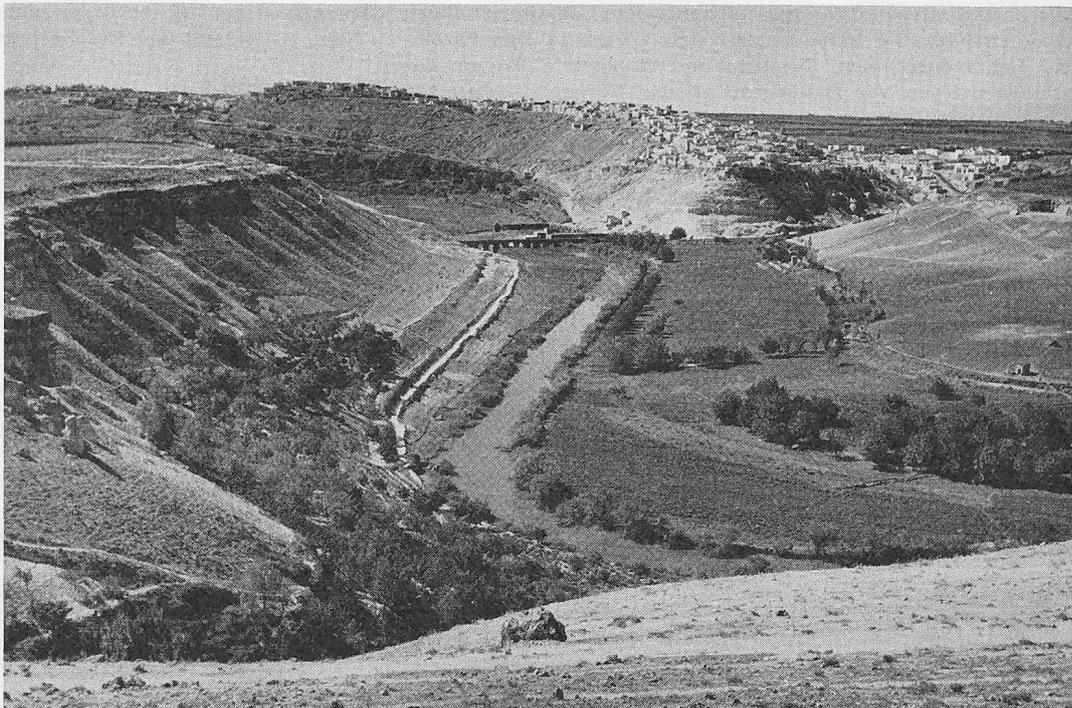


Bild 2 (oben). Sperrstelle Rastane vor Baubeginn, Blick von der Wasserseite des zukünftigen Dammes. Die Dammaxe schneidet den Fluss ungefähr in Bildmitte. Aufnahme: Dr. B. Tschachtli, Geologe, Luzern

Bild 3 (Mitte). Rastane-Damm nach Bauende. Standort: rechte Talflanke, Luftseite. Rechts die Hochwasserentlastung. Aufnahme: Ed. Gruner, dipl. Ing., Basel



Bild 4 (unten). Mehrdeh-Damm nach Bauende. Standort: Wasserseite. Rechts das Einlaufbauwerk, links die Hochwasserentlastung. Aufnahme: Photo Azad, Damaskus, Syrien

Bau eines Steinschüttdammes mit zentralem Lehmkern nahezu ideal. In nächster Nähe fanden sich geeignete Basaltstein- und Lehmvorkommen. Gestörte und ungestörte Proben des Lehmes wurden vor Baubeginn an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH in Zürich auf ihre Eignung als Dichtungskern-Materialien untersucht. Sie ergaben bei Proctor-Standardverdichtung ($\gamma_{e\max} = 1,47 \text{ t/m}^3$, $W_{\text{opt}} = 26\%$) die sehr geringe Durchlässigkeit von $k = 10^{-9}$ bis 10^{-10} cm/s .

Mit den in den Voruntersuchungen bestimmten Bodenkennziffern erwies sich folgender *Aufbau des Dammes* als technisch günstigste und wirtschaftlichste Lösung (Bild 6): 1. Zentraler Lehmkern, Druckgradient 2:1, Lehm von den Entnahmefeldern entlang dem Orontes-Tal, max. Transportdistanz 1800 m. 2. Luftseitiger Stützkörper, Böschung 1:1,35, Basalt-Felsschüttung aus Steinbruch, Transportdistanz 1700 m. 3. Luftseitige Auflast zur Verbesserung der Stabilität in der zentralen Dammzone, mit mergeligem Aushubmaterial der Hochwasserentlastung, Transportdistanz max. 400 m. 4. Wasserseitiger Stützkörper, Böschung 1:1, Basalt-Felsschüttung aus Steinbruch. 5. Wasserseitige Auflast zur Verbesserung der Stabilität in der zentralen Dammzone, mit mergeligem Aushubmaterial der Hochwasserentlastung und der Dammfundation, Transportdistanz max. 200 m. 6. Je ein vierstufiger Filter zwischen Kern und luftseitigem, bzw.

wasserseitigem Stützkörper, gebildet aus tonigem Feinsand, Sand, Kies-Sand und Brechsotter.

2. Dammbau

a) *Injektionen*: Die Textur des mergeligen Dammuntergrundes ist nach allen drei Richtungen mehr oder weniger stark geklüftet, mit vertikaler Hauptkluftrichtung in Tal-Längsaxe. Diese Klufthanordnung verlangte einen Injektionsvorgang «von oben nach unten», um das Entweichen des Injektionsgutes (Zement) durch die Vertikalklüfte nach oben zu verhindern.

Für die Injektionsbohrungen standen fünf elektrische «Wirth»-Bohrmaschinen (Mod. 1920) und zwei elektrische «Grealius»- und «TD»-Maschinen (Mod. 1950) zur Verfügung. Injiziert und verpresst wurde die Zementmilch in einem Mischungsverhältnis 1:1 bis 1:6, mittels einer «Haeny»-Pumpe von max. 35 at Betriebsdruck.

Die Injektionen wurden im Oktober 1958 vor dem Beginn der Aushubarbeiten für die Kernfundation begonnen, liefen fast während der ganzen Bauzeit weiter und konnten im Juli 1960 abgeschlossen werden. Mit einer Länge von 540 m und einer Tiefe von 20 bis 75 m erfasst der Injektionschleier eine Fläche von rund 40 700 m². Insgesamt wurden 11 800 Laufmeter Bohrungen mit Durchmessern von 46–126 Millimetern ausgeführt, und bei Drücken bis zu 15 at rd. 1060 t Zement injiziert. Der mittlere Zementverbrauch be-

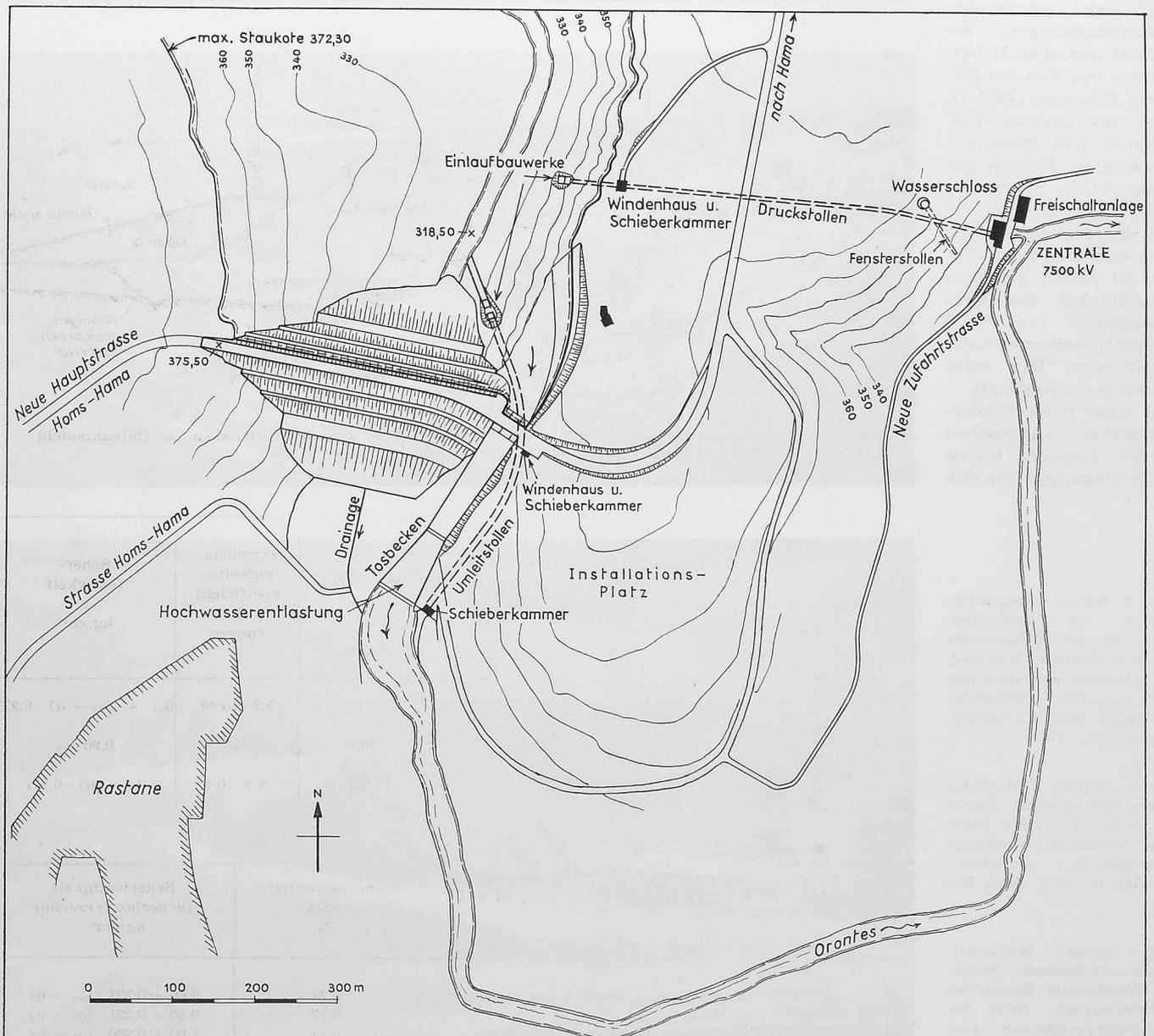


Bild 5. Rastane-Damm, Lageplan 1:8000

trägt somit 90 kg per Laufmeter Bohrung oder 26 kg/m² Injektionsschirm. Wie nachträglich ausgeführte Abpressversuche zeigten, konnte mit diesen Massnahmen die mittlere Durchlässigkeit des Mergels auf $k_{Darcy} = 10^{-7}$ cm/s reduziert werden.

b) *Aushub*: Kern und Stützkörper des Rastane-Dammes sind auf den anstehenden Mergel fundiert, alle Flussablagerungen mussten im ganzen Bereich der Dammfundation ausgeräumt werden. Zur Wasserhaltung wurden beidseitig der Baugrube je ein Kofferdamm geschüttet, welche nachträglich Bestandteile der luft- und wasserseitigen Auflasten bildeten. Für die Aushubarbeiten standen während rund drei Monaten zwei Schürfkübelbagger und ein bis zwei Hochlöffelbagger im Einsatz. Das Ausbaggern des mehrere Meter tiefen Schlammes im Flussbett gestaltete sich ausserordentlich mühsam, und die Tagesleistung überschritt trotz grossem Maschinen- und Personaleinsatz selten 1300 m³.

c) *Kern*: Wie eingangs erwähnt, konnte ein für den Dichtungskern geeignetes Material in nächster Nähe der Sperrstelle gefunden werden. Der Anteil der Kornfraktion kleiner als 0,01 mm betrug im Mittel 42 %. Gemäss Vertrag durfte die maximale Korngrösse des Kernmaterials höchstens die Hälfte der verdichteten Schichtstärke betragen. Danach wurden Steine grösser als 8 cm von Hand aussortiert. Nach abgeschlossener Verdichtung musste das Trockenraumgewicht des Kerns mindestens 95 % des im Proctor-Standard-

Verdichtungsapparat bestimmten maximalen Trockenraumgewichtes erreichen. Für den Einbauwassergehalt waren folgende Toleranzen zulässig:

1. max. 3% *unter* dem optimalen Wassergehalt nach Proctor-Standard.
2. max. 1% *über* dem optimalen Wassergehalt nach Proctor-Standard.

Der Anschluss des Dichtungskerns an den anstehenden, sorgfältig gesäuberten Fels gestaltete sich beim vorhandenen Mergel relativ einfach. Oberflächliche Risse der Fundationsfläche wurden mit Mörtel oder Zementmilch geschlossen, kleinere Wasseraustritte mit dem Hochkommen des Lehmkernes verdrängt. Direkt vor dem Aufbringen des Lehmes (im Felsanschluss mit Druckluft-Handstampfern) war die Mergeloberfläche zu benetzen. So konnte mit dem quellfähigen, hochplastischen Lehm ein einwandfreier, fugenloser Anschluss an den Untergrund hergestellt werden.

Zum Abbauen, Einbringen und Verdichten des Kernmaterials standen folgende Maschinen zur Verfügung: 1 Schürfkübelbagger, 1 bis 2 Hochlöffelbagger, 10 bis 13 Lastwagen 6 ÷ 10 t, 3 russische Bulldozer, 1 Pneuwalze (22 t, 6 Pneuäder, Reifendruck 5,5 at), 3 Igelwalzen zu 5 t, 1 Glattwalze zum Walzen der Kernoberfläche vor der Winter-Regenzeit, Druckluft-Handstampfer zur Verdichtung der Randzonen. Dieser Maschinenpark gestattete Tagesleistungen von max. 2400 m³ im Dreischichtenbetrieb.

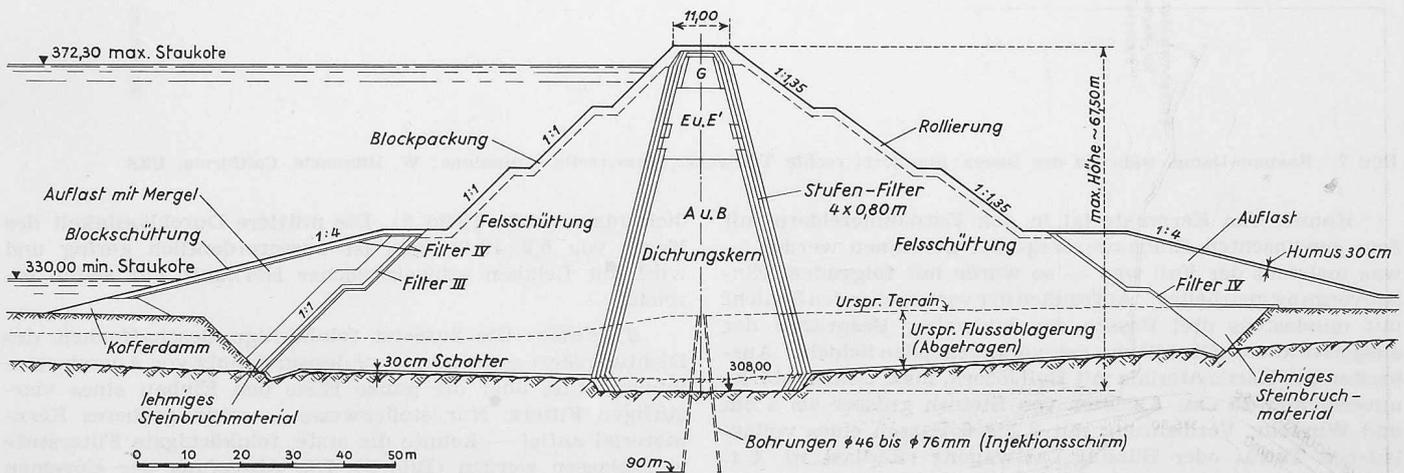


Bild 6. Normalquerschnitt 1:1500 des Rastane-Dammes, mit Angabe der Dammbaumaterialien. Grosse Buchstaben = Entnahmefeld

Mittlere Eigenschaften der Damm-Materialien

Material	Trockenraumgewicht im Damm γ_e t/m ³	Verdichtungsgrad bezogen auf die max. Proctor-Standardverdichtung	Opt. Wassergehalt für Proctor-Standardverdichtung %	Wassergehalt nach Verdichtung w %	Anteil der Körner kleiner als 0,01 mm %	Max. Korn mm	Durchlässigkeitskoeffizient k cm/sec	Scherfestigkeit s kg/cm ²
Kern	1,56	101 %	26,5	24,6	42	1	$5,9 \cdot 10^{-10}$	$0,5 + (\sigma_v - u) \cdot 0,277$
Felschüttung	1,80	—	—	—	—	1000	—	$0,90 \cdot \sigma_v$
Auflast (Mergel)	1,43	96 %	29,0	19,0	45	150	$5 \div 10^{-8}$	$(\sigma_v - u) \cdot 0,277$

Eigenschaften der Kernmaterialien

Entnahmefeld	Trockenraumgewicht nach Verdichtung γ_e t/m ³	Wassergehalt nach Verdichtung W %	Durchlässigkeitskoeffizient k cm/sec	Kompressibilitätsindex C_c	Scherfestigkeit (Scherboxversuche) kg/cm ²
A	1,54	26,1	$5 \cdot 10^{-10}$	0,21	$0,60 + 0,221 \cdot (\sigma_v - u)$
B	1,54	23,4	$3 \cdot 10^{-9}$	0,17	$0,80 + 0,231 \cdot (\sigma_v - u)$
E	1,64	21,3	$5 \cdot 10^{-8}$	0,14	$1,00 + 0,260 \cdot (\sigma_v - u)$
G	1,48	28,0	$1 \cdot 10^{-10}$	0,28	$0,80 + 0,213 \cdot (\sigma_v - u)$

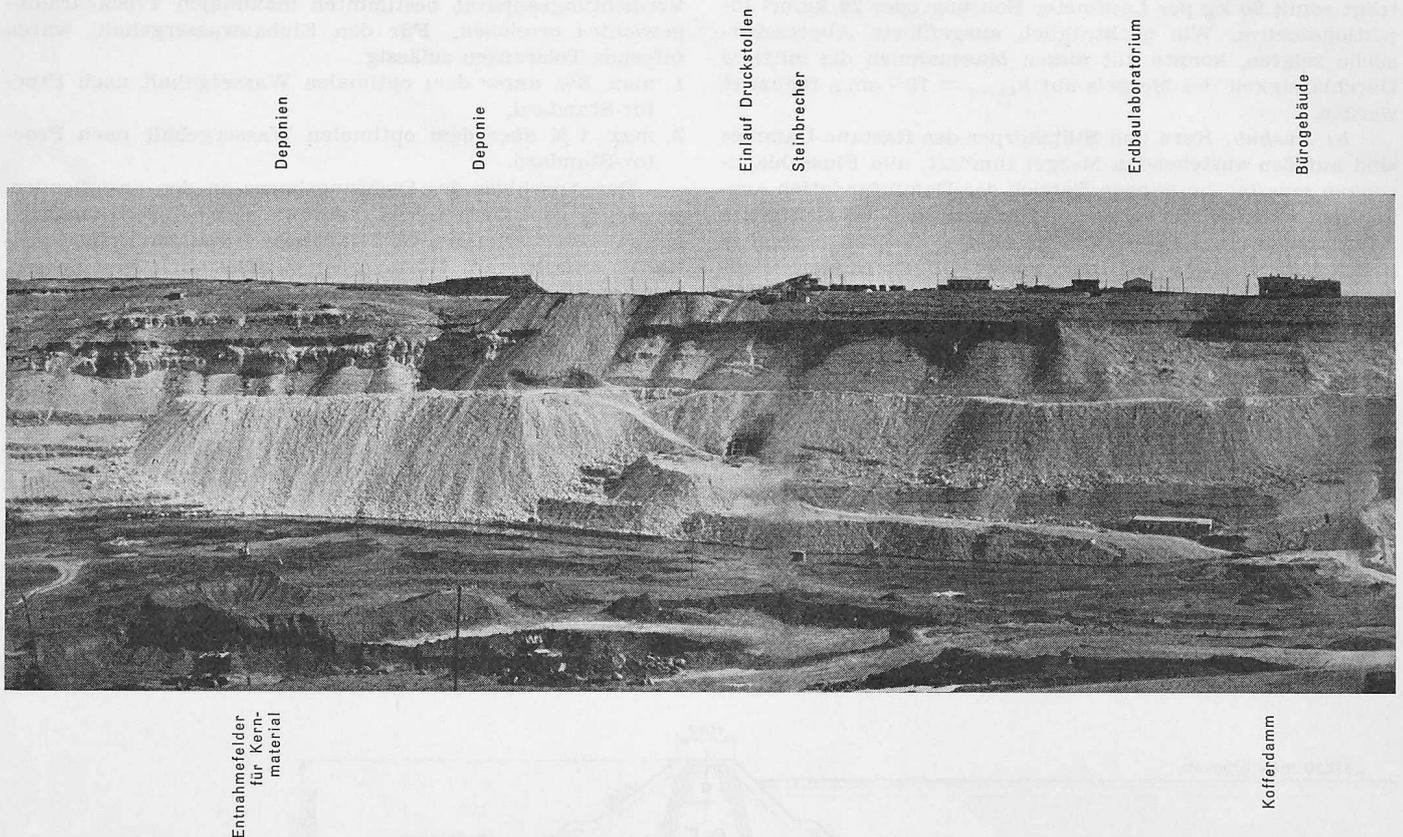


Bild 7. Rastane-Damm während des Baues. Standort: rechte Talflanke, Wasserseite. Aufnahme: W. Rümmele, California, USA

Konnte das Kernmaterial in den Entnahmefeldern mit dem gewünschten Einbauwassergehalt gewonnen werden — was meistens der Fall war — so wurde mit folgendem Einbauvorgang gearbeitet: Aufrauen der vorangehenden Schicht mit mindestens drei Passen der Igelwalze; Bespritzen der ausgetrockneten Oberfläche der vorangehenden Schicht; Ausbreiten des Kernmaterials mit Bulldozern, max. Schichtstärke unverdichtet 25 cm; Auslesen von Steinen grösser als 8 cm und Wurzeln; Verdichtung mit 3 bis 6 Passen eines vollbeladenen Tatra- oder Büssing-Lastwagens (Radlast rd. 4 t, Reifendruck 4,5 bis 5,5 at).

Die Verdichtungsart mit Lastwagen wurde als jene mit den besten und gleichmässigsten Resultaten während der ganzen Bauzeit beibehalten. Mit dem vorhandenen, etwas leichten Pneuwalzentyp konnte nicht die gleiche Regelmässigkeit der Verdichtung erzielt werden. Igelwalzen waren für Verdichtungsarbeiten vollkommen ungeeignet, da der Lehm an den Zähnen kleben blieb. War das angelieferte Kernmaterial trotz Bewässerung der Entnahmefelder zu trocken, so wurde es nach dem Ausbreiten besprenget und vor dem Verdichten mit einigen Passen der Igelwalze durchmischt.

Bei einem mittleren Einbauwassergehalt von 24,6 % (1,9 % unter dem optimalen Wassergehalt nach Proctor-Standard) wurde ein mittleres Trockenraumgewicht von $\gamma_d = 1,56 \text{ t/m}^3$ oder 101 % der max. Proctor-Standard-Ver-

dichtung erreicht (Bild 6). Die mittlere Durchlässigkeit des Kerns von $5,9 \cdot 10^{-10} \text{ cm/s}$ ist ausserordentlich gering und wird mit Lehmen schweizerischer Herkunft nur selten erreicht.

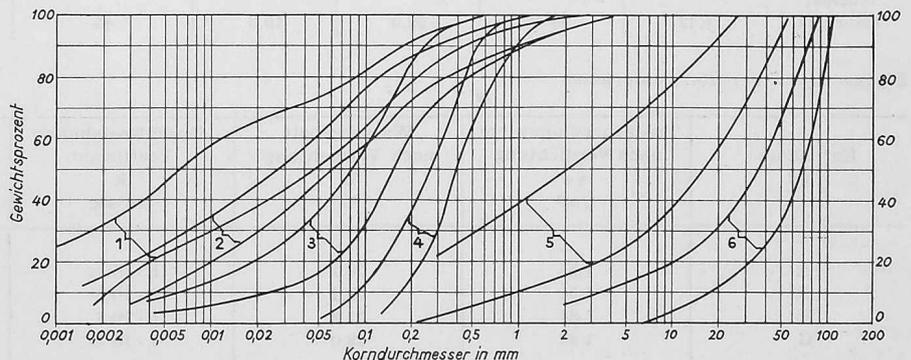
d) *Filter*: Die äusserst feinkörnige Beschaffenheit des Dichtungskernes verlangte zu dessen Schutz vor Ausschwemmungen fast über die ganze Höhe den Einbau eines vierstufigen Filters. Nur stellenweise — wenn gröberes Kernmaterial anfiel — konnte die erste, feinkörnigste Filterstufe weggelassen werden (Bild 8). Die Abstufung der einzelnen Filter entspricht ungefähr den Filtergesetzen von Terzaghi, mit folgenden Spezifikationen: Filter 1 (leicht bindiger Silt): Kornanteil kleiner als 0,01 mm 20 ÷ 40 %. Filter 2 (Flussand oder Wüstensand): max. Korn $d_{85} \leq 1,2 \text{ mm}$; Feinanteil, bezogen auf die Kornfraktion, welche dem Korndurchmesser bei 15 Gewichtsprozent Siebdurchgang entspricht:

$4 d_{\text{Filter } 1/15\%} < d_{\text{Filter } 2/15\%} < 20 d_{\text{Filter } 1/15\%}$. Filter 3 (Kies-Sandgemisch ab Wand): max. Korn 25 mm, Kornanteil kleiner als 9,5 mm 20 ÷ 40 %. Filter 4 (gebrochener Basalt aus Steinbruch): max. Korn 102 mm, Kornanteil kleiner als 32 mm 20 ÷ 40 %.

Mit diesen Kornabstufungen konnte folgende erstrebte Abstufung der Durchlässigkeiten erreicht werden (k -Werte nach Darcy):

Bild 8. Kornverteilungskurven der Kern- und Filtermaterialien für den Rastane-Damm

- 1 Lehm der Entnahmefelder A, B und G (Kern)
- 2 Sandiger Lehm der Entnahmefelder B', E und E' (Kern oder Filter I)
- 3 Feinsand von Hama (Filter II)
- 4 Quarzsand von Nebek (Filter II)
- 5 Kiessand von Hama (Filter III)
- 6 Gebrochener Basalt aus Steinbruch (Filter IV)



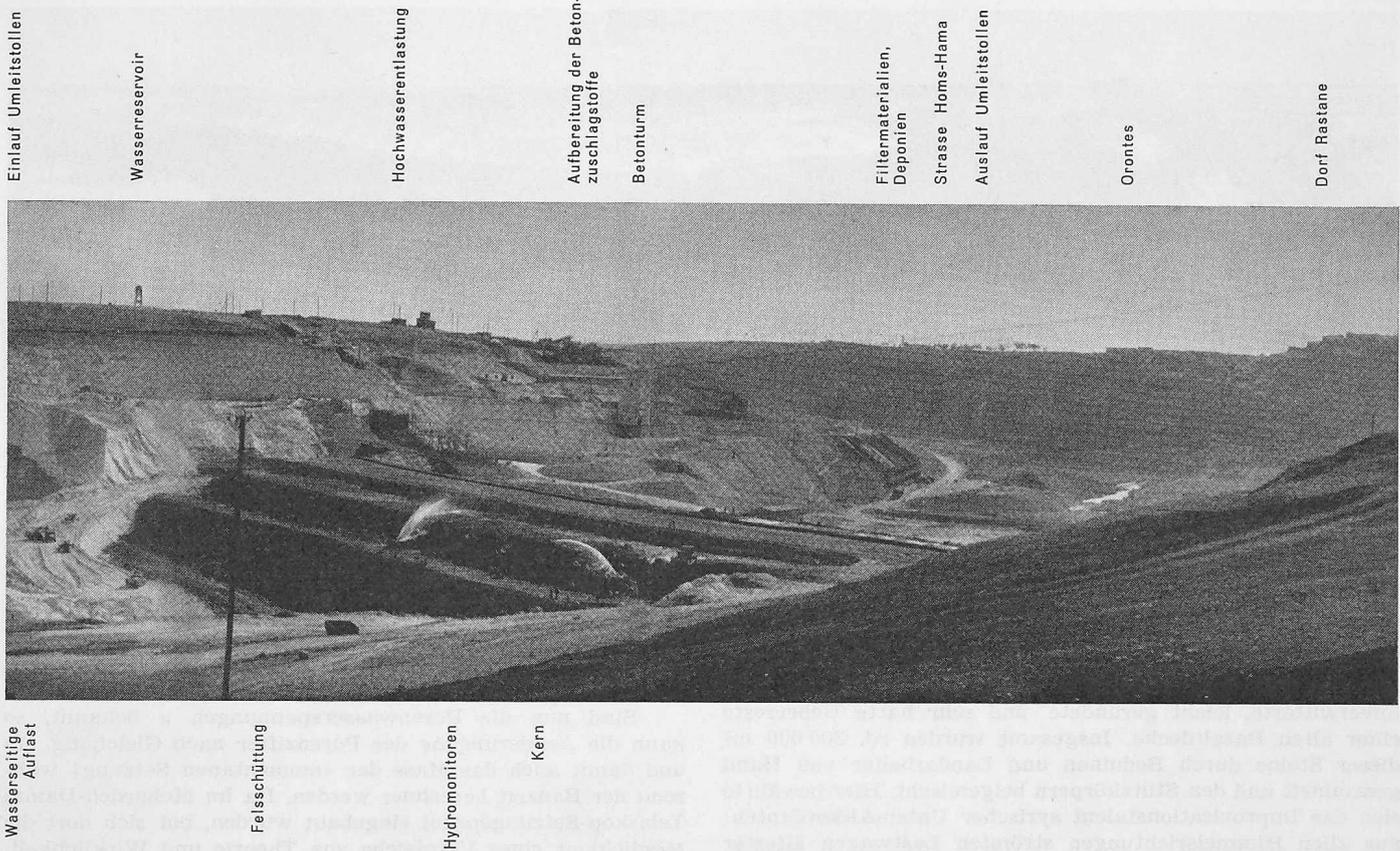


Bild 7. Rastane-Damm während des Baues. Standort: rechte Talflanke, Wasserseite. Aufnahme: W. Rümmele, California, USA

Kern $k = 10^{-9} \div 10^{-10}$ cm/s Filter 3: $k = 10^{-2} \div 10^{-3}$ cm/s
 Filter 1: $k = 10^{-6} \div 10^{-7}$ cm/s Filter 4: $k = 10^{-1}$ cm/s
 Filter 2: $k = 10^{-4} \div 10^{-5}$ cm/s

Da die einzelnen Filterstufen eine Breite von nur 80 cm hatten, musste das Einbringen hauptsächlich von Hand geschehen (eine Methode, welche ausnahmsweise für diesen Ort infolge niedriger Löhne berechtigt war). Verdichtet wurden die Filter mit Lastwagen, Glattwalzen oder Bulldozern. Der etwas zeitraubende Filtereinbau bestimmte besonders in den obersten, engsten Kernpartien das Fortschreiten der gesamten Dammschüttarbeiten.

e) **Stützkörper:** Ein Basaltsteinbruch nahe der Baustelle lieferte das Material für die Felsschüttung. Auf dem anstehenden Kalkmergel liegt das Basaltlager als 3 bis 6 m mächtige Decke, leider ziemlich stark durchsetzt von verwitterten Zonen und mit feinstem Lehm gefüllten Klüften. Die Ausbeute verlangte eine sorgfältige Materialauswahl; Feinmaterial musste durch leichtes, teilweises Öffnen der Löffelklappen (beim Menck-Bagger möglich) «ausgesiebt» werden.

Die vorgesehene Tagesschüttleistung von max. 4500 m³ im Dreischichtenbetrieb verlangte im Steinbruch den Einsatz von 2 bis 3 elektrisch betriebenen «Wirth»-Bohrgeräten und 2 Menck-Baggern 2250 l. Das Sprengen eines m³ anstehenden Felsens erforderte je nach Felsqualität im Mittel 0,13 m' bis 0,19 m' Bohrung \varnothing 76 mm (Bohrlochabstand 2,5 ÷ 3,0 m) und einen Sprengstoffverbrauch von 0,4 bis 0,5 kg.

Lange Zeit war das einwandfreie Assortieren der Feinkomponenten eine Sorge von Bauleitung und Unternehmung, denn undurchlässige Horizonte und Sandkissen — eine Ursache starker Dammsetzungen — mussten in den Stützkörpern mit ihren steilen Böschungen unbedingt verhindert werden. Toleriert war in den unteren Dammpartien ein Kornanteil kleiner als 100 mm von max. 35 Gewichtsprozent, in den oberen Partien von nur 25 Gewichtsprozent. Bis zur maximalen Blockgrösse von rund 1 m³ verlangte der Vertrag eine gleichmässige Kornabstufung.

Vor dem Aufbringen der Felsschüttung wurden in der Foundation Zonen weichen Mergels mit einem Asphaltanstrich überdeckt. Mit dieser Massnahme konnte die Bildung

einer oberflächlichen Schmierschicht beim Einspülen des Materials verhindert werden.

Um eine Entmischung des Stützkörpermaterials beim Schütten zu vermeiden, durfte die Höhe der einzelnen Schich-

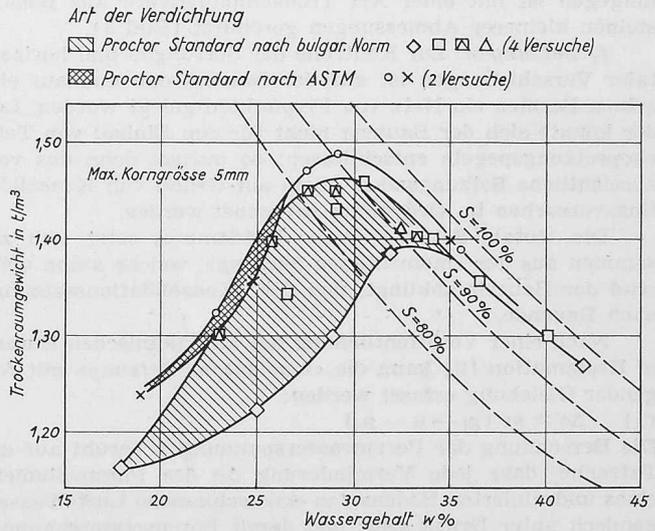


Bild 9. Proctor-Kurven des Kernmaterials, Entnahmefeld A, Rastane, Vergleichsversuche nach ASTM-Norm und nach bulgarischer Norm. Tabelle: a Probe-Nummer, b Verdichtungsart, c spezifisches Gewicht in t/m³, d max. Trockenraumgewicht in t/m³, e opt. Wassergehalt in %, f entspr. Feuchtraumgewicht in t/m³, g Sättigungsgrad in %

Die Versuche 1' und 1 sowie 2' und 2 wurden mit dem gleichen Material durchgeführt

a	1'	2'	1	2	3	4
b	ASTM	ASTM	Bulg.	Bulg.	Bulg.	Bulg.
c	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83
d	1,49	1,49	1,47	1,42	1,46	1,41
e	28,9	29,0	28,3	34,5	31,0	32,5
f	1,92	1,92	1,89	1,91	1,91	1,87
g	91	91	87	98	95	92

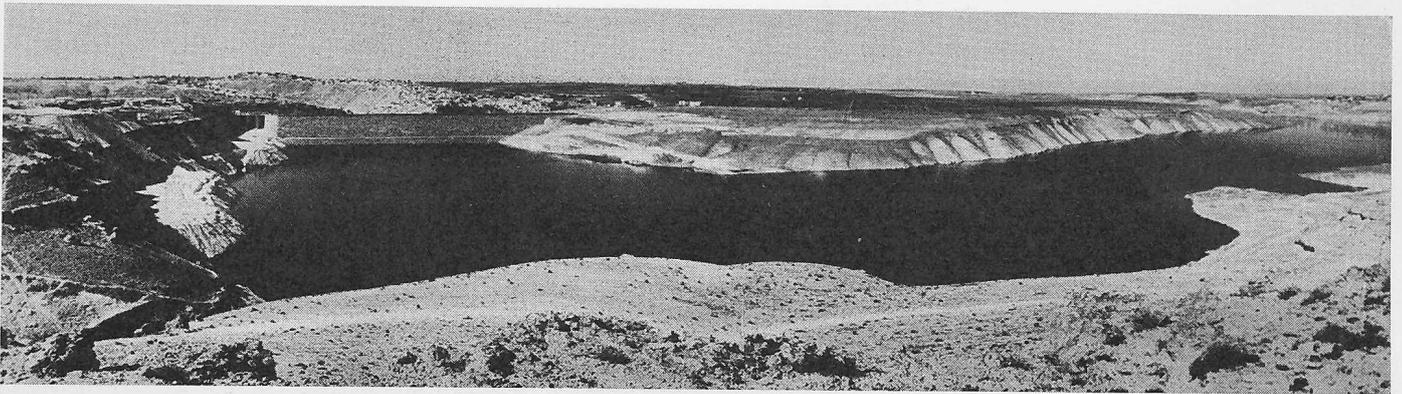


Bild 10. Rastane-Damm mit Teilstau. Standort wie Bild 2. Im Hintergrund das Dorf Rastane. Aufnahme: Photo Azad, Damaskus, Syrien

ten 2,5 bis 3,0 m nicht übersteigen. Während und nach dem Schütten wurde das Material durch 2÷3 «Hydromonitoren» (Bild 7) mit je 50 l/s Leistung (Druck an der Düse 7 at) kräftig gewässert, das Feinmaterial in die Hohlräume eingespült. Mit 2÷3 m³ Wasserverbrauch pro m³ Felsschüttung liess sich eine relativ dichte Lagerung erreichen (Raumgewicht γ_e rd. 1,80 t/m³). Willkommene Ergänzung des Steinbruchmaterials lieferten die unerschöpflichen Feldsteinvorkommen nahe der Baustelle. Diese Basaltfeldsteine sind noch unverwitterte, leicht gerundete und sehr harte Ueberreste einer alten Basaltdecke. Insgesamt wurden rd. 300 000 m³ dieser Steine durch Beduinen und Landarbeiter von Hand gesammelt und den Stützkörpern beigemischt. Hier bewährte sich das Improvisationstalent syrischer Unter-Akkordanten: aus allen Himmelsrichtungen strömten Lastwagen ältester und neuester Bauart zur Baustelle und brachten diesen Baustoff.

Der wasserseitige Stützkörper erhielt auf die ganze Höhe seiner Oberfläche eine mit Kranen gesetzte und von Hand hinterkeilte Blockpackung; deren Basaltblöcke mussten eine Sichtfläche von min. 0,35 m² aufweisen und mindestens 90 cm in die Steinschüttung einbinden. Die luftseitige Böschung hingegen ist mit einer Art Trockenmauerwerk aus Basaltsteinen kleinerer Abmessungen geschützt (Bild 3).

f) *Setzungen*: Zur Kontrolle der Setzungen und horizontaler Verschiebungen ist auf der Dammkrone und auf einzelnen Bermen ein Netz von Fixpunkten gelegt worden. Leider konnte sich der Bauherr nicht für den Einbau von Teleskopsetzungspegeln entschliessen; so musste denn das voraussichtliche Setzungsmass allein auf Grund von Konsolidationsversuchen im Oedometer berechnet werden.

Die «totale Setzung» eines Erddammes setzt sich zusammen aus der «momentanen Setzung», welche schon während der Bauzeit abklingt, und der «Konsolidationssetzung» nach Bauende.

Nach einer Veröffentlichung des amerikanischen Bureau of Reclamation [2] kann die «momentane Setzung» mit folgender Gleichung erfasst werden:

$$(1) \quad \Delta e = m (p_i - u - p_o)$$

Die Berechnung der Porenwasserspannung u beruht auf der Tatsache, dass jede Verminderung Δe des Porenvolumens eines undrainierten Bodens das eingeschlossene Luft-Wassergemisch unter Druck setzt und damit Porenwasserspannungen erzeugt. Nach dem Gesetz von Boyle-Mariotte muss danach das Produkt «Porenwasserdruck \times Luftvolumen» für jede Volumenänderung bei gleichbleibender Temperatur konstant bleiben. Es gilt somit folgende Gleichung:

$$(2) \quad (p_{atm} + u)(e_{ao} - \Delta e) = e_{ao} \cdot p_{atm}$$

Aus (1) und (2) ergibt sich der Porenwasserdruck u infolge momentaner Setzung zu:

$$(3) \quad u = \frac{1}{2} \left[p_i - p_o - p_{atm} - \frac{e_{ao}}{m} + \sqrt{\left(p_i - p_o - p_{atm} - \frac{e_{ao}}{m} \right)^2 + 4 p_{atm} (p_i - p_o)} \right]$$

Darin bedeuten:

p_i = Vertikalspannung inf. Auflast in der Horizontal-lamelle i

p_o = Vertikalspannung, welche dem Porenvolumen e_o entspricht, aus Oedometerversuch (für Rastane-Kernmaterial im Mittel $p_o = 17$ t/m²)

e_o = Anfangsporenvolumen vor der Setzung (infolge Verdichtung, für Rastane-Kern = 0,76 t/m²)

p_{atm} = Atmosphärendruck rd. 10 t/m²

e_{ao} = Poren-Luftvolumen vor der Setzung = $e_o - e_{Wasser}$

m = Verdichtungsbeiwert in m²/t aus Oedometerversuch (für Rastane-Kernmaterial $m = 0,0021$ m²/t)

Sind nun die Porenwasserspannungen u bekannt, so kann die Aenderung Δe der Porenziffer nach Gleichung (1) und damit auch das Mass der «momentanen Setzung» während der Bauzeit berechnet werden. Da im Mehrardeh-Damm Teleskop-Setzungspegel eingebaut wurden, bot sich dort die Möglichkeit eines Vergleichs von Theorie und Wirklichkeit. Rechnung und tatsächlich beobachtete Setzung unterschieden sich um 13 cm, d. h. um rund 9%.

Zur Berechnung der «totalen Dammssetzung» wurde der Kern in 11 horizontale Lamellen eingeteilt; die Summe der Teilsetzungen aller Lamellen ergibt die Totalsetzung des Kerns. Nach Terzaghi beträgt das Setzungsmass einer Lamelle:

$$\Delta s = \Delta z \cdot \frac{C_c}{1 + e_o} \cdot \log \frac{p_i}{p_o}$$

und die Totalsetzung

$$S = \sum_1^n \Delta s$$

Darin bedeuten:

Δz = Mächtigkeit der Lamelle in m

C_c = Kompressibilitätsindex (für Rastane-Kernmaterial im Mittel $C_c = 0,194$)

e_o = Anfangsporenvolumen vor Setzung, analog Gl. (3)

p_o = Vertikalspannung in t/m², welche dem Porenvolumen e_o entspricht, analog Gl. (3)

p_i = Vertikalspannung in t/m² infolge Erdauflast in beliebiger Lamelle i

Für den Rastane-Lehmern ergaben sich folgende Resultate:

Totale Setzung	3,89 m	(berechnet nach Terzaghi [3])
«Momentane» Setzung	1,92 m	(nach Bureau of Reclamation [2])
Konsolidationssetzung	1,97 m	(nach mehreren Jahrhunderten).

Die «momentane» Setzung während der Bauzeit betrug somit 49% der total zu erwartenden Setzungen. Eine der Dammkrone gegebene Ueberhöhung von 50 cm dürfte nach der Konsolidationstheorie von Terzaghi [3] nach rund 65 Jahren egalisiert sein, d. h. ums Jahr 2025 wäre die Dammkrone horizontal.

Der zeitliche Verlauf der Setzungen ergibt sich nach der Formel von Terzaghi zu

$$t = T_v \cdot \frac{H^2}{c_v}$$

Darin bedeuten:

- t = Zeit in sec bis zum Erreichen eines bestimmten Konsolidationsgrades U
- U = Konsolidationsgrad = $\frac{\text{Setzung zur Zeit } t}{\text{Totalsetzung } S}$
- T_v = Zeitfaktor = $f(U)$, nach [3]
- c_v = Konsolidationskoeffizient, aus Oedometerversuch, für Rastane-Kernmaterial im Mittel
 $c_v = 3,94 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$
- H = mittlere Länge des Porenwasser-Sickerweges in cm, rd. $0,8 \times$ mittlere Kernbreite

III. Der Mehrardeh-Damm

Der Mehrardeh-Steinschütt-Damm dient im Rahmen des El-Ghab-Bewässerungsprojektes der Stauung eines Hochwasser-Retentionsbeckens. Er hat eine maximale Höhe von 54 m über der tiefsten Fundationsquote, eine Kronenlänge von 180 m und ein Schüttvolumen von 300 000 m³. Sein Aufbau ist im Prinzip analog jenem des Rastane-Dammes.

Die Arbeiten am Injektionsschleier begannen im März 1959 und wurden im Juni 1960 abgeschlossen. Mit einer Länge von 360 m und einer Tiefe bis 70 m umfasst der Schirm eine Fläche von rund 20 000 m². Das Vorbereiten einer sicheren Fundationsfläche auf dem karstigen Untergrund verlangte besonders im mittleren Kernbereich umfassende Aushub- und Betonarbeiten und ein zusätzliches, engmaschiges Injektionsnetz beschränkter Tiefe (max. 5 m). Das sehr feinkörnige, tonige Kernmaterial wurde auf die benetzte Felsoberfläche angelegt, in den Randpartien mit Druckluft-Handstampfern und in den übrigen Zonen mit Tatra-Lastwagen verdichtet. Auch hier hat diese Verdichtungsmethode beste Resultate ergeben. Der Filter ist analog jenem des Rastane-Dammes ausgebildet.

Stützkörper. In den anstehenden Felsbänken der näheren und weiteren Umgebung liess sich in wirtschaftlicher Distanz kein für einen Grossebau geeignetes Kalksteinlager finden. Wieder boten die in unerschöpflichen Mengen auf den Feldern liegenden Kalksteine verschiedenster Grössen willkommenen Ersatz. Beduinen sammelten die erforderliche Kubatur Feldsteine von rund 220 000 m³ in einem Umkreis bis zu 32 km. Diese wurden durch Unter-Akkordanten zur Baustelle transportiert und dort vor dem Einbau in den Dammkörper auf ihre Kornabstufung, Form, Verwitterungsgrad und Härte geprüft. Dabei galten folgende Spezifikationen: 1. Keine Karstlöcher. 2. Mind. 15 Gewichtsprozent mit Korndurchmesser grösser als 300 mm. 3. Max. 15 Gewichtsprozent mit Korndurchmesser kleiner als 100 mm. 4. Stein darf im Wasser nicht aufweichen. 5. Stein darf nach 24stündigem Auskochen nicht zerfallen. 6. Stein muss beim Prelltest mit dem Schmidt-Hammer N 2 eine Prellhärte von $R \geq 35$ aufweisen. Speziell die Prüfung mit dem Schmidt-Betonprüfhammer erlaubte eine rasche generelle Beurteilung des angelieferten Steinmaterials.

Die zulässige Schütthöhe für Feldsteine betrug anfänglich 2,5 m und wurde später — da keine Gefahr einer Entmischung bestand — auf 4 bis 5 m erhöht. Wie der Rastane-Damm, erhielt auch der Mehrardeh-Damm eine oberflächliche Blockpackung aus Kalksteinblöcken auf der Luft- und Wasserseite.

Setzungsbeobachtungen: Zur Beobachtung der Dammsetzungen sind im Kern zwei Galileo-Teleskoppegel eingebaut worden, welche Setzungsmessungen an über die ganze Kernhöhe verteilten Messpunkten gestatten. Resultate der Konsolidationssetzung nach Bauende liegen bis heute noch nicht vor, doch zeigten die Beobachtungen während der Bauzeit wertvolle Aufschlüsse über die «momentane Setzung». Sie wurden bereits im Abschnitt «Setzungen des Rastane-Dammes» erwähnt.

Die theoretischen Setzungsberechnungen [2] [3] ergaben folgende Werte:

totale Setzung	= 4,06 m (100%)
«momentane» Setzung	= 1,82 m (45%)
Konsolidationssetzung nach Bauende	= 2,24 m (55%)

Eine der Dammkrone gegebene Ueberhöhung von 50 cm würde gemäss dem theoretisch bestimmten Zeit-Setzungsverlauf nach ca. 7 Jahren horizontal ausgeglichen sein.

IV. Feldlaboratorien

Zur erdbaumechanischen Ueberwachung der Dammbauten waren der Bauleitung beider Baustellen je ein Erdbaulaboratorium angegliedert. Diese hatten die notwendigen detaillierten Voruntersuchungen der Entnahmefelder durchzuführen und das Einhalten der Einbauvorschriften mit laufenden Probeentnahmen und Laboruntersuchungen zu kontrollieren. Ihre Personalbestände betragen je 1 bis 2 Laboringenieure mit Erfahrung in bodenmechanischen Untersuchungen und 3 bis 5 ungelernete einheimische Hilfskräfte für laufende Prüfungen. Neben den erdbaumechanischen Kontrollen führte das gleiche Laborpersonal auch die Betonprüfungen durch.

Gemäss Arbeitsvertrag musste der Unternehmer die Erdbaulaboratorien erstellen und ausrüsten. Danach hatte ein Laboratorium inkl. Werkzeugaum eine Grundfläche von 50 m² aufzuweisen. Diese Grösse erwies sich als genügend, sofern Büros, Toiletten, Betonpresse und der Lagerraum für Betonwürfel (Feuchtraum mit 100% relativer Luftfeuchtigkeit) in separaten Räumen untergebracht werden.

Nachfolgend sind die Geräte und Versuchsmethoden, welche von den üblichen Ausführungen abwichen, kurz beschrieben.

a) Proctor-Standard-Verdichtungsapparat nach bulgarischer Norm

Das Gerät dient wie sein westliches Vorbild zur Messung der Verdichtbarkeit von Böden. Bei gleichbleibender Verdichtungsarbeit $A = 6 \text{ cm kg/cm}^3$ wird ein Lockergestein mehrmals mit variablem Wassergehalt in einem Standardgerät verdichtet, wobei sich für einen bestimmten Wassergehalt w_{opt} ein für die Arbeit A maximal zu erreichendes Raumgewicht $\gamma_{e_{max}}$ einstellt. Nach bulgarischem Standard muss nun der dazu notwendige Verdichtungsapparat auf einem Sandbett ruhen — er ist somit leicht elastisch gelagert. Damit soll die im Felde vorhandene elastische Lagerung der neu zu verdichtenden Schicht auf den darunter liegenden, schon verdichteten Schichten nachgebildet werden. Das Fallgewicht wiegt 2300 g und passt genau in den Probenzylinder; seine Fallhöhe beträgt 44 cm. Wird das Material in 3 Schichten eingebracht, so erreicht man mit je 20 Schlägen pro Schicht die Proctor-Verdichtungsenergie von 6 cm kg/cm^3 (Zylindervolumen = 1000 cm³).

Verglichen mit der Proctor-Standard-Verdichtung nach amerikanischer Norm ergeben sich etwas höhere optimale Wassergehalte w_{opt} und etwas geringere maximale Trockenraumgewichte $\gamma_{e_{max}}$ (Bild 9). Diese Unterschiede betragen im Mittel für siltige Tone hoher Plastizität (CH-Klasse nach USCS-Klassifikation) und tonige Silte kleiner bis mittlerer Plastizität (CL-Klasse):

$$\gamma_{e_{max}} = 1,56t/m^3, \text{ bzw. } 1,52t/m^3 \quad \Delta\gamma_{e_{max}} = -0,04t/m^3$$

$$w_{opt} = 25,8\% \text{ bzw. } 28,4\% \quad \Delta w_{opt} = +2,6\%$$

b) Fliessgrenzbestimmung mit dem Konus-Apparat nach Wassilev

Zur Fliessgrenzenbestimmung diente in beiden Laboratorien vorwiegend ein vom russischen Professor Wassilev entwickeltes Konus-Gerät und nicht der in westlichen Ländern gebräuchliche Casagrande-Apparat. Bei diesem Wassilev-Gerät wird ein genormter Konus (Öffnungswinkel der Spitze 30°, Gewicht 30 g) auf die Probe aufgesetzt und dessen Eindringtiefe an einer Skala abgelesen. Mit erhöhtem Wassergehalt der Probe nimmt auch die Eindringtiefe des Konus zu. Als Fliessgrenze ist jener Wassergehalt definiert, der einer Penetration von 10 mm entspricht. Der Versuch wird mit der Kornfraktion kleiner 0,5 mm durchgeführt. Mit diesem Konusapparat bestimmte Fliessgrenzen lagen bei CL- und CH-Materialien im Mittel um etwa 7% tiefer als jene des Casagrande-Gerätes.

Literatur:

- [1] Ed. Gruner: Der Orontes, «Schweizerische Technische Zeitschrift» 1960, Nr. 7.
- [2] Bureau of Reclamation: Treatise on Dams, Volume X, Annex 2.
- [3] Terzaghi/Peck: Soil Mechanics in Engineering Practice.
- [4] The Way Ahead: The Gab Project in Syria.