# Erddammbauten in Indien und Pakistan

Autor(en): **Wackernagel, Andreas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **49 (1957)**

Heft 4

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-920827

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Erddammbauten in Indien und Pakistan

*Andreas Wackernagel*, Ingenieurbüro Gebrüder Gruner, Basel

## Vorbemerkung

Die erdbaumechanischen Untersuchungen für den Baran-Erddamm in Westpakistan wurden im Auftrag der «Food and Agriculture Organization» (FAO) der Uno ausgeführt. Es sei hiermit der Organisation für die Erlaubnis gedankt, nachstehende Angaben zu publizieren. Zahlreiche Anregungen werden ferner Professor Dr. R. Haefeli verdankt.

## 1. Die wichtigsten Eigenschaften der Erdmaterialien

Das systematische Studium der Erdbaumechanik in den letzten Jahrzehnten hat vor allem Erkenntnisse über konstruktive Prinzipien gebracht. Diese sind beim Erddammbau die Verdichtung der Materialien bei bestimmtem Wassergehalt, Einbau von Filterschichten, Anordnung von Felsfüßen, Zonierung und Einschränkung der Porenwasserdrücke. Daneben entstanden auch Methoden, um die Sicherheit des Bauwerkes numerisch zu erfassen. Der Grad einer numerischen Erfassung ist zwar beschränkt, kann aber nach der Natur und Zahl der Versuche vorgängig und während des Baues erhöht werden, so daß eine wirtschaftliche Dimensionierung möglich wird. Die Versuche sollen so angeordnet sein, daß die Eigenschaften des Materials eingegrenzt werden. Verschiedene Testmethoden sollen zu den gleichen Schlüssen führen. Beispielsweise kann die Scherfestigkeit im direkten Scherapparat wie im triaxialen Apparat ermittelt und schließlich noch durch Feldversuche auf einer Probeschüttung überprüft werden. Daneben darf immerhin nicht außer acht gelassen werden, daß die Eigenschaften des Erdmaterials sehr komplex sind, so daß Erfahrungswerte an ausgeführten Bauten aus ähnlichem Material als ebenfalls maßgebender Faktor für die Dimensionierung angesehen werden müssen.

Es möge im folgenden am Beispiel zweier Erddammbauten in Indien und Pakistan beschrieben werden, wie die Eigenschaften des Bauwerkes ermittelt und ausgewertet wurden.

a) *Die Kornverteilung*

Die Bestimmung der Kornverteilung ist der erste Schritt bei der Untersuchung eines Erdmaterials. Mit einiger Erfahrung können aus der Kornverteilungskurve Schlüsse über die zu erwartende Durchlässigkeit und Festigkeit gezogen werden. Das wichtigste Kriterium ist dabei der Gehalt des Materials an Feinbestandteilen, d. h. an Körnern mit einer Korngröße kleiner als 0,074 mm. Mit wachsendem Gehalt an Feinbestandteilen verringert sich die Durchlässigkeit. Ist der Gehalt an Feinbestandteilen größer als 30 %, so ist das Material im allgemeinen undurchlässig, ist er kleiner als 10 %, so ist es im allgemeinen durchlässig. Ähnlich, jedoch verwickelter verhält es sich mit der Scherfestigkeit. Mit zunehmendem Gehalt an Feinbestandteilen nimmt die Stabilität des Materials ab. Hat ein Material einen Gehalt an Feinbestandteilen von weniger als 20 %, so hat man es gewöhnlich mit einem stabilen Material zu tun.

b) *Der Verdichtungsversuch nach Proctor*

Der Verdichtungsversuch bei verschiedenem Wassergehalt im Laboratorium ist zur Beurteilung der Eignung eines Erdmaterials unentbehrlich. Der Versuch ist einfach, aber schlüssig. Er soll bei Beginn der Untersuchung gleichzeitig mit der Bestimmung der Kornverteilung vorgenommen werden. Das größte erreichbare Trockenraumgewicht eines Bodens beim günstigsten Einbauwassergehalt ist ein Maß für dessen Stabilität. Diese kann nach untenstehender Tabelle beurteilt werden.

| Größtes Trockenraumgewicht g/cm³ | Stabilität |
|---|---|
| < 1,50 | schlecht |
| 1,50 — 1,70 | genügend |
| 1,70 — 1,90 | ziemlich gut |
| 1,90 — 2,10 | gut |
| > 2,10 | sehr gut |

Die Schlüsse, die aus der Tabelle gezogen werden, sind oft zuverlässiger als Schlüsse aus Schertesten mit unsicheren Versuchsbedingungen. Mit wenig Zeitaufwand können die schlechten Baumaterialien ausgeschieden und die guten festgestellt werden.

Das Trockenraumgewicht gemäß dem Standard-Proctor-Versuch entspricht der nötigen Verdichtung für mittlere Erddämme bis etwa 40 m Höhe. Für höhere Bauwerke muß der Versuch modifiziert werden.

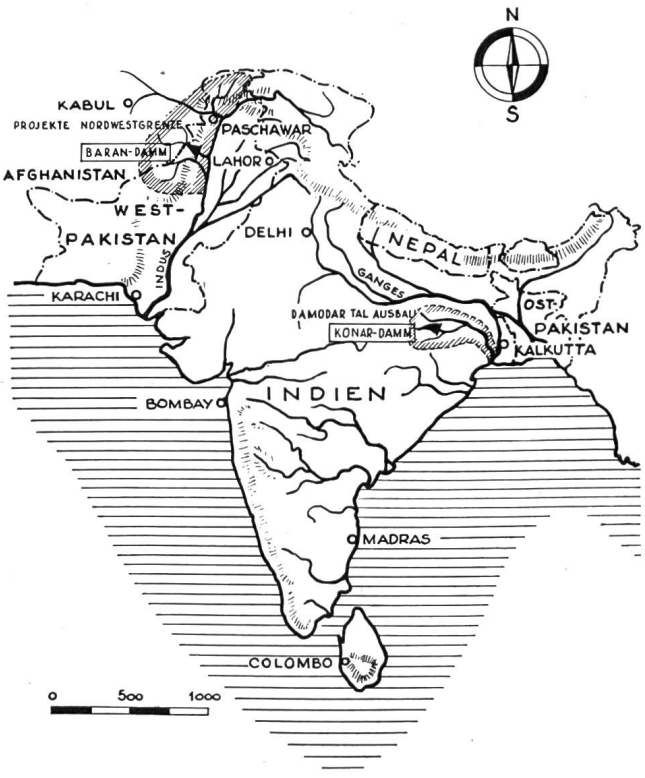



Abb. 1 Übersichtsplan von Indien und Pakistan

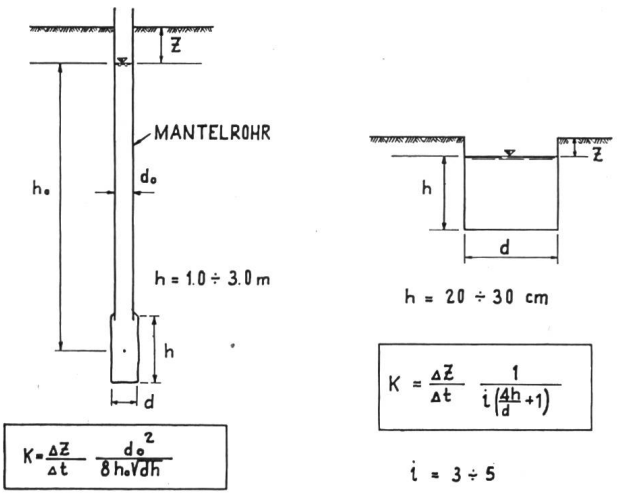



Abb. 2 Bestimmung der Durchlässigkeit im Felde:
a) [links] Bohrloch b) [rechts] Testgrube

c) *Die Durchlässigkeit*

Die zu erwartende Durchlässigkeit eines Materials kann bereits aus der Kornverteilungskurve abgeschätzt werden. Genauere Werte für die Projektierung müssen sodann mit Versuchen ermittelt werden. Einerseits müssen bei einem Erddammbau Materialien vorhanden sein, die die Sickerverluste aus dem Reservoir unterbinden, andererseits werden zum Aufbau der wasserseitigen Böschung möglichst durchlässige Materialien benötigt.

Die Untersuchungen bestehen aus Versuchen im Laboratorium und im Felde. Materialien, die zum Einbau im Damm bestimmt sind, werden mit Vorteil im Laboratorium geprüft, während der Dammuntergrund, in seinem ungestörten Zustand, vorteilhaft mit Feldversuchen untersucht wird. Feldversuche sind weiter während des Baues vorteilhaft, um die erreichte Durchlässigkeit auf der Dammschüttung zu überprüfen.

Für die Bestimmung der Durchlässigkeit im Felde sind die Pumpteste bekannt. Sie eignen sich, wenn ein Grundwasserspiegel vorhanden ist. Derselbe fehlt aber in der großen Zahl der Fälle, so daß andere Versuchsanordnungen nötig sind. Anordnungen, wie sie in Abb. 2 dargestellt sind, haben sich im ganzen für Böden mit einer Durchlässigkeit $> 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ cm/s bewährt. Bei geringerer Durchlässigkeit zeigt sich die störende Wirkung der Kapillarität.

Angenäherte Werte der Durchlässigkeit sowie Grenzwerte genügen meist, um die vorhandenen Materialien in die Gruppen «durchlässig», «halbdurchlässig» und «undurchlässig» einzuteilen.

| Gruppe | Durchlässigkeit cm/s | Klassifikation |
|---|---|---|
| 1 | $< 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ | undurchlässig |
| 2 | $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ bis $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ | halbdurchlässig |
| 3 | $> 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ | durchlässig |

Ein Material der ersten Gruppe wird in der Regel genügen, um unwirtschaftliche Wasserverluste zu verhindern, während für mittlere Dammhöhen ein Material der dritten Gruppe sich zum Aufbau der wasserseitigen durchlässigen Zone eignen wird, ohne nach dem alljährlichen Absenken gefährliche Porenwasserdrücke aufzubauen.

d) *Die Scherfestigkeit*

Die Bestimmung der Scherfestigkeit bildet, im Gegensatz zu den oben genannten Untersuchungen über die Bodeneigenschaften, eine der schwierigsten Aufgaben bei der Projektierung eines Erddammes.

Über die Brauchbarkeit eines Materials kann bereits aus den oben genannten Untersuchungen entschieden werden, während über die wirtschaftliche Dimensionierung der Schertest entscheidet, allerdings zusammen mit dem Setzungsversuch. Je nach der Natur des Scherversuches ist dann die Berechnung der Stabilität des Bauwerkes durchzuführen. Die Größe der Scherfestigkeit bei gegebener Verdichtung und gegebenem Belastungsbereich kann nach folgendem Ansatz dargestellt werden.

$$T_f = C + p_c \cdot F + \sigma \cdot \operatorname{tg} \Phi \qquad \text{(Gl. 1)}$$

wobei
- $T_f$ = Scherfestigkeit
- $C$ = Kohäsion
- $p_c$ = Konsolidationsdruck = größte Hauptspannung, die lange Zeit vorgängig Bruch wirkt
- $F$ = Konstante
- $\sigma$ = effektive Normalspannung auf Gleitfläche
- $\Phi$ = Winkel der inneren Reibung bei schneller Belastungsänderung

Das Glied $p_c \cdot F$ bedeutet eine bleibende Vergrößerung der Kohäsion infolge Vorbelastung eines Bodens. Es tritt bei lehmigem Material in den Vordergrund, wo $\operatorname{tg} \Phi$ verschwinden kann. Bei grobkörnigem Material wird F verschwinden, während $\operatorname{tg} \Phi$ vorherrscht.

Beim direkten Scherversuch werden $p_c$ und $\sigma$ identisch, d. h., die effektive Normalspannung auf der Gleitfläche entspricht dem Konsolidationsdruck vorgängig dem Bruch. Der bleibende Anteil der Scherfestigkeit kann somit nicht getrennt werden von der Zunahme der Scherfestigkeit bei rascher Belastungsvergrößerung. Der direkte Scherversuch eignet sich daher nur für Materialien, wo zum voraus entweder $F = 0$ oder $\operatorname{tg} \Phi = 0$ angenommen werden kann. Für Materialien mit Charakter zwischen «lehmig» und «grobkörnig» liefert die Annahme $\operatorname{tg} \Phi = 0$ konservative Werte, während die Annahme $F = 0$ zu günstig ist. Beim triaxialen Scherversuch können $p_c$ und $\sigma$ klar auseinandergehalten werden. Die Versuche sind allerdings komplex und zeitraubend und erfordern ein großes Maß Erfahrung.

Die Untersuchungen können durch Beobachtungen im Felde ergänzt werden. So liefert die Beobachtung der vertikalen Standhöhe eines Materials in Erosions-

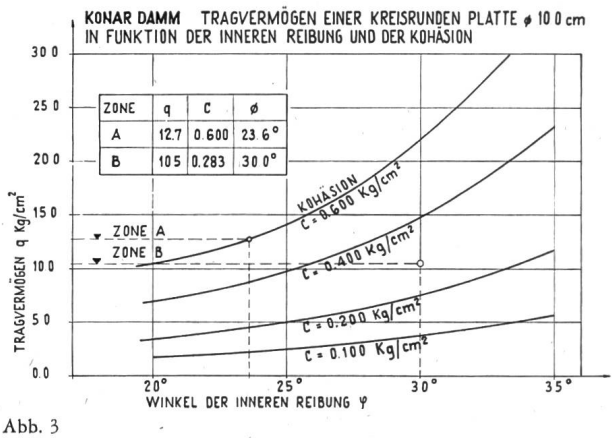



Abb. 3

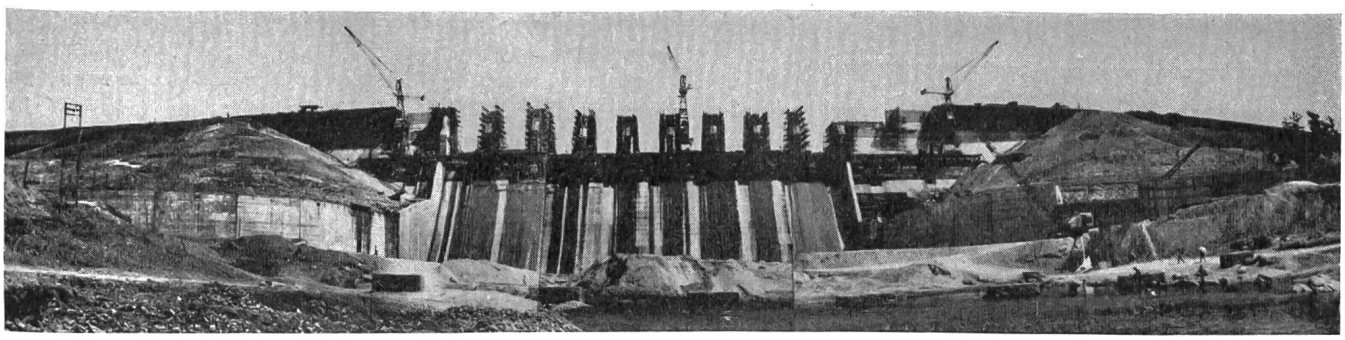


Abb. 4 Konar-Damm. Wehrkörper mit linkem und rechtem Kopf des Erddammes im Bau; Mai 1954
(Photo Dr. Weißel)

rinnen oder in Anschnitten beim Aushub eines Herdgrabens oder mit dem Bagger in den Entnahmefeldern Aufschluß über die Stabilität eines Materials. Es gilt dabei die Gleichung

$$H = \frac{4C}{\gamma} \operatorname{tg}\left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) \qquad \text{(Gl. 2)}$$

wobei $H$ = vertikale Standhöhe
$C$ = Kohäsion
$\gamma$ = Raumgewicht
$\Phi$ = innerer Reibungswinkel

Hier sind das Raumgewicht, die Kohäsion und der Reibungswinkel im gleichen Ausdruck enthalten. Durch Schätzung oder anderweitige Bestimmung des einen kann das andere berechnet werden.

Eine andere Methode zur Bestimmung der Scherfestigkeit ist die Belastung einer Platte auf der Erdoberfläche bis zur Grenzlast. Die Auswertung des Versuches für eine kreisförmige Platte von 10 cm Durchmesser kann gemäß Abb. 3 geschehen. Die Tragfähigkeit ist ebenfalls von Kohäsion und innerer Reibung abhängig, und bei der Auswertung muß bereits eine der beiden Größen bekannt sein.

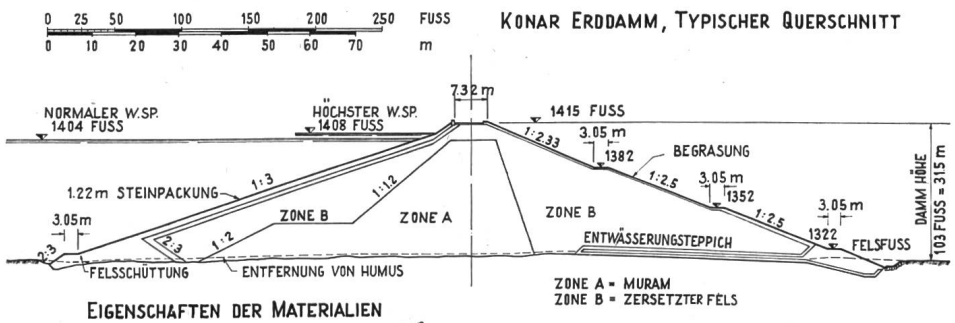
e) *Der Setzungsversuch*

Der Setzungsversuch, der mit Hilfe eines Ödometers im Laboratorium durchgeführt wird, dient dazu, die Größe und den zeitlichen Verlauf der Setzungen vorauszubestimmen. Er bildet aber weiter eine wertvolle Ergänzung des Scherversuches. Der Setzungsversuch stellt die Beziehung zwischen Auflast und Raumgewicht eines Materials her, während der Scherversuch die Abhängigkeit zwischen Auflast und Scherfestigkeit bestimmt. Es kann somit durch Kombinieren der beiden Versuche die Scherfestigkeit eines Materials in Funktion seines Raumgewichtes ermittelt werden. Daraus können dann die Vorschriften für die Ausführung des Bauwerkes abgeleitet werden.

Beispielsweise wurde für Zone 1 im Baran-Damm die Scherfestigkeit des Lehmes für das im Felde erreichte Raumgewicht zu 1,75 kg/cm² mit Hilfe des Ödometers bestimmt und in die Rechnung eingeführt (siehe Abb. 16).

## 2. Die Ermittlung der Materialeigenschaften für den Konar-Damm

Der Konar-Damm liegt am Konar-Fluß im Damodartal in Bihar, Indien. Der Damm hat ein Schüttvolumen von 4 000 000 m³ und eine maximale Dammhöhe von 48 m. Im Flußbett ist ein zentraler Betonüberlauf eingeschaltet. In der Übergangsfuge zwischen Erde und Beton ist ein Lehmschlag eingeführt. Die Stabilität des Erddammes in der Übergangszone wird durch Felsschüttungskegel sichergestellt. Die Bauarbeiten wurden im Sommer 1950 begonnen. Am 15. Oktober 1955 wurde das Bauwerk von Ministerpräsident Nehru dem Betrieb übergeben. Der Dammquerschnitt ist in Abb. 5 dargestellt. Die an der Sperrstelle angetroffenen Materialien sind verschiedene Verwitterungsstufen eines glimmerhaltigen Gneises mit Pegmatitintrusionen. Das abbaufähige Lockermaterial war eine 3,5 bis 4,5 m dicke Schicht an der Oberfläche, die mit zunehmender Tiefe




EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN

| MATERIAL | IM FELD ERREICHTES TROCKEN-RAUMGEWICHT gr/cm³ | VERDICHTUNGSGRAD BEZOGEN AUF DIE MAX. STANDARD PROCTOR VERDICHTUNG % | GÜNSTIGST. EINBAUWASSERGEHALT FÜR STANDARD PROCTOR VERDICHTUNG | WASSERGEHALT DES EINGEBRACHTEN SCHÜTTGUTES | ANTEIL DER KÖRNER KLEINER 0.074 mm | GRÖSSTER KORNDURCHMESSER mm | DURCHLÄSSIGKEITSKOEFFIZIENT cm/sec | SCHERFESTIGKEIT kg/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ZONE A | 1.88 | 94% | 11.1% | 9.5% | 16.5% | 20 | $2.6 \times 10^{-6}$ | $0.575 + 0.420 \cdot \sigma$ |
| ZONE B | 1.86 | 95% | 11.7% | 9.8% | 12.7% | 20 | $6.5 \times 10^{-6}$ | $0.300 + 0.750 \cdot \sigma$ |

Abb. 5

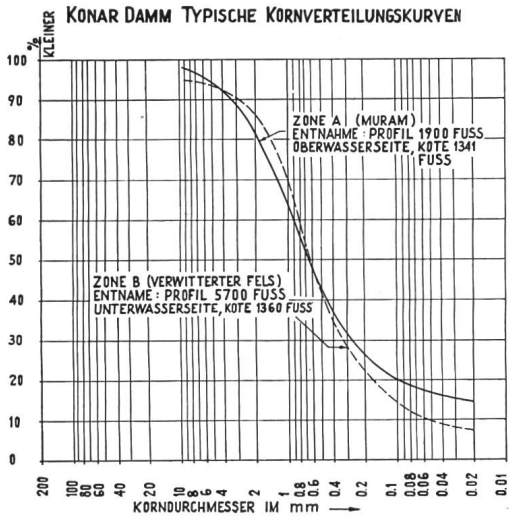



Abb. 6

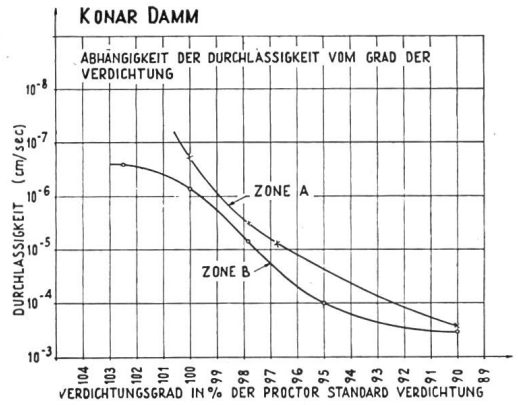



Abb. 7

allmählich in harten Fels überging. Solche Materialien waren bisher wenig bekannt, und die Projektierung konnte nicht auf Erfahrung, sondern nur auf die durchgeführten Versuche gestützt werden.

a) *Die Kornverteilung und der Verdichtungsversuch*

Die Kornverteilungskurven der vorhandenen Materialien zeigten einen durchschnittlichen Gehalt an Feinbestandteilen von 13 bis 17 % und eine maximale Korngröße von 2,0 cm (Abb. 6). Es zeigte sich weiter, daß mit zunehmender Tiefe der Gehalt an Feinbestandteilen abnahm. Die oberste Schicht, die unter dem Namen Muram bekannt ist, wurde zum Aufbau der zentralen Dammzone A verwendet, während die darunterliegenden Schichten des zersetzten Felses zum Aufbau der äußeren Dammzonen herangezogen wurden. Dadurch wurde ein Abbau des Schüttgutes in zwei Stufen nötig. Die erreichten größten Trockenraumgewichte von 1,91 bis 1,99 g/cm³ waren gut. Es war somit die Eignung des Materials als Baustoff gesichert. Einzig der geringe Gehalt des Materials an Feinbestandteilen ließ hohe Durchlässigkeitswerte vermuten. Die Teste zeigten jedoch eine geringe Durchlässigkeit, so daß auf einen Abdichtungssporn und Injektionen verzichtet wurde. Die geringe Durchlässigkeit wird damit erklärt, daß die einzelnen Körner der verwitterten Materialien eine unregelmäßige Oberfläche haben und nicht abgeschliffen sind, wie das bei alluvialen Materialien der Fall ist.

b) *Die Durchlässigkeit des Dammuntergrundes*

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit des Dammuntergrundes wurden Bohrungen längs der Dammaxe alle 60 m angeordnet. Die Bohrungen hatten kaum Rückstände bis zu einer Tiefe von 12 bis 18 m, wo die harte Felsoberfläche angetroffen wurde. Die Durchlässigkeit des Untergrundes wurde abgeschätzt mit Hilfe von Absenkversuchen für alle 2 bis 3 m längs den Bohrlöchern mit und ohne Druckanwendung. Es wurde die Wasserabsorption gemessen und nach Abb. 2 (a) ausgewertet. Die so erhaltenen Durchlässigkeitswerte bewegten sich für ein typisches Bohrloch zwischen $2{,}0 \cdot 10^{-4}$ und $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ cm/s. Die höheren Werte der Durchlässigkeit wurden im Grenzgebiet zwischen verwittertem und hartem Fels festgestellt. Die Pegmatitintrusionen waren ebenfalls ein Grund für stellenweise höhere Durchlässigkeiten.

Die zu erwartenden Sickerverluste wurden auf Grund dieser Versuche berechnet. Dabei wurde sicherheitshalber in der Rechnung angenommen, daß die gemessenen Höchstwerte für den totalen Sickerverlust maßgebend seien. Es wurde für die gesamte Dammfundation eine Durchlässigkeit von $K = 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ cm/s angenommen und ein zu erwartender größter Sickerverlust von 27 l/s bestimmt. Die im März 1956 beobachteten

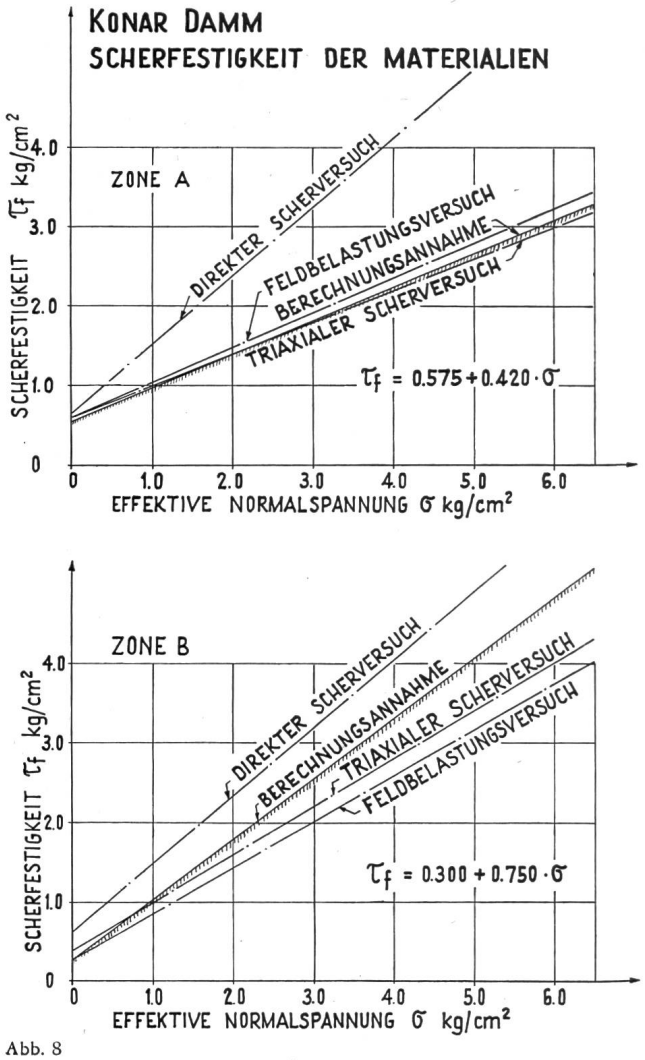



Abb. 8

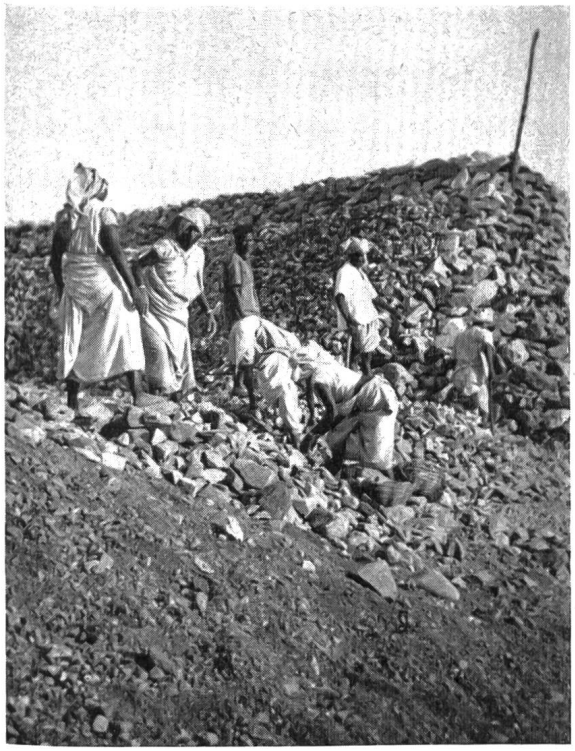


Abb. 9 Konar-Damm; Arbeiter und Arbeiterinnen beim Einbringen der Filterschichten (Photo A. Wackernagel)

Sickerverluste, zwei Jahre nach teilweisem Aufstau des Beckens, betrugen 21 l/s bei 75 % der maximalen Stauspiegelkote.

Aus diesen Messungen in Konar kann geschlossen werden, daß für einen Erddamm sich die Sickerströmung in der durchlässigsten Zone ausbildet und daß das durchlässigste Material bei der Berechnung der Durchsickerung maßgebend ist. Es wurde weiter beobachtet, daß nur 35 % des Sickerwassers den Weg in den Filterteppich findet, während 65 % luftseitig des Felsfußes durch Quellenbildung austritt. Die Sickerverluste sind gleichmäßig auf die Dammlänge verteilt. Alle Wasseraustritte sind klar und werden von der Bauherrschaft regelmäßig überprüft.

c) *Durchlässigkeit des Schüttgutes*

Das für die Dammschüttung verwendete Material war das gleiche, welches auch in der Dammfundation vorhanden war, jedoch beim Aushub gestört und in der Schüttung mit Schaffußwalzen wieder verdichtet wurde. Die Durchlässigkeitswerte wurden dadurch im Vergleich zum ungestörten Zustand viel geringer. Der Laboratoriumsversuch zeigte eine sehr starke Abhängigkeit der Durchlässigkeit von der Dichte des Materials (Abb. 7). Bei guter Verdichtung war die Durchlässigkeit viel geringer, als aus der Kornverteilungskurve erwartet werden könnte. Die Durchlässigkeiten wurden im Laboratorium bei Standard-Proctor-Verdichtung bestimmt. Im Felde, wo eine Verdichtung von 94 bis 95 % des Laboratoriumswertes erreicht wurde, wurde die Durchlässigkeit durch Beobachtung der Wasserauf-

nahme in kleinen Gruben auf der fertigen Schüttung bestimmt und nach Abb. 2 (b) ausgewertet.

Die im Felde gemessenen Durchlässigkeiten waren $3{,}9 \cdot 10^{-5}$ cm/s für Zone A gegenüber $2{,}6 \cdot 10^{-6}$ cm/s im Laboratorium und $6{,}3 \cdot 10^{-5}$ cm/s für Zone B gegenüber $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ cm/s im Laboratorium. Es war also zu erwarten, daß sich bei dem jährlichen Absenken des Wasserspiegels in der wasserseitigen Böschung Porenwasserdrücke aufbauen; dies wurde in der Rechnung berücksichtigt. Bemerkenswert ist, daß trotz dem geringen Gehalt an Feinbestandteilen die Durchlässigkeit des Materiales nicht genügend ist, um bei der alljährlichen Absenkung des Beckens stabilitätsvermindernde Porenwasserdrücke zu vermeiden. Es fällt weiter auf, daß die relativen Unterschiede der Materialien A und B gering sind. Beispielsweise ist die Durchlässigkeit in Zone B nur 2,5mal größer als in Zone A. Trotzdem wurde es als Vorteil angesehen, eine Materialauslese durchzuführen. Man erreicht erstens einen raschen Abfall der Sickerlinie gegen die Luftseite. Zweitens wird die Gefahr innerer Erosion vermindert, da das Muram größere Kohäsion und Plastizität besitzt als der zersetzte Fels.

d) *Die Scherfestigkeit*

Die Materialien des Konar-Dammes wurden zuerst im Feldlaboratorium im direkten Scherapparat geprüft. Da sie aber im Charakter weder der «lehmigen» noch der «grobkörnigen» Materialgruppe klar zugeteilt werden konnten, war eine Überprüfung der Resultate nötig. Repräsentative Proben wurden an die Eidgenössische Versuchsanstalt für Wasser- und Erdbau gesandt und triaxialen Schertesten unterworfen. Die Versuche zeigten, daß für das A-Material der im direkten Scher-

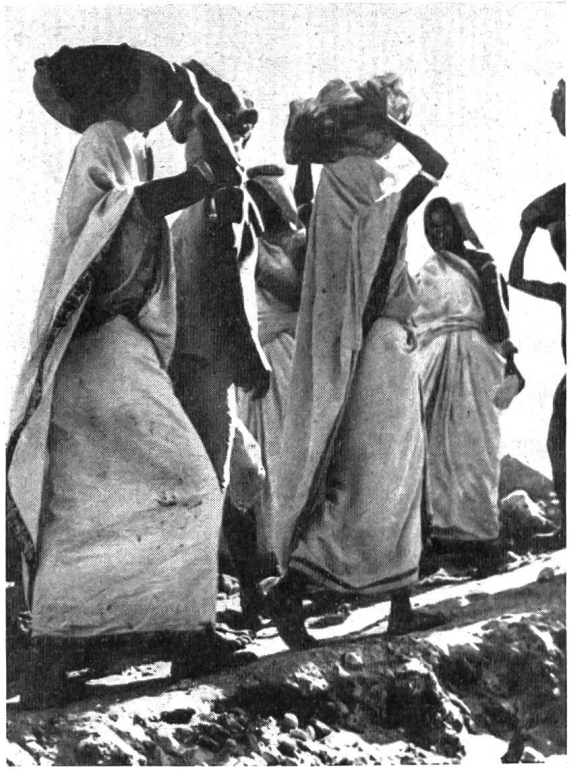


Abb. 10 Konar-Damm. Arbeiterinnen beim Einbringen der Steinschüttung (Photo K. Müller)

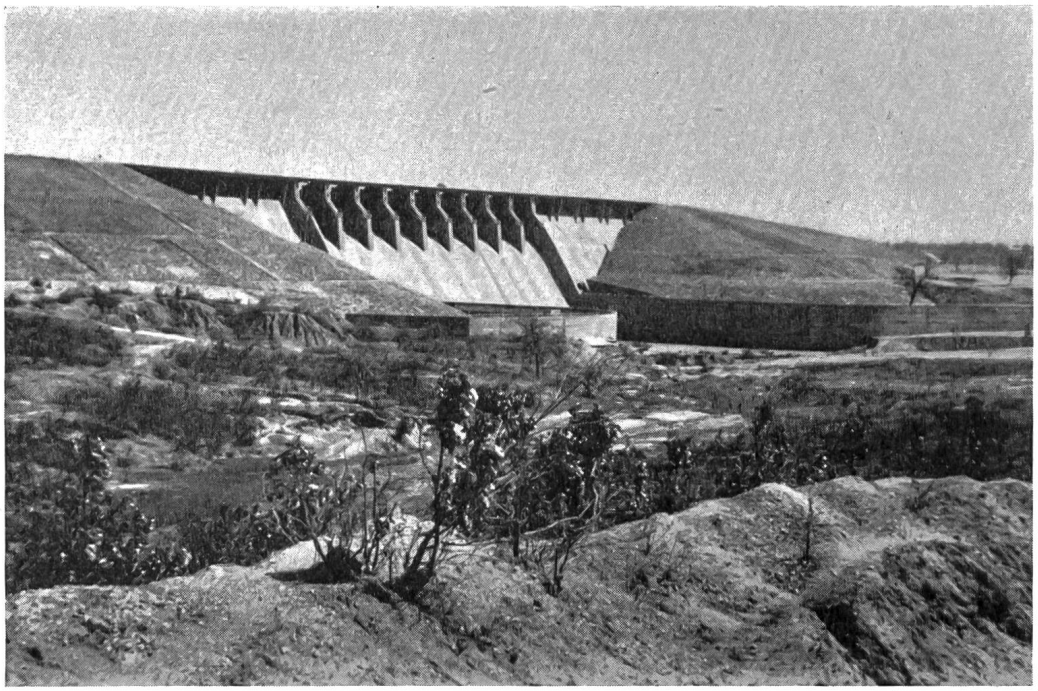


Abb. 11
Konar-Damm. Wehrkörper und Erddamm nach der Vollendung
Aufnahme vom März 1956
(Photo A. Wackernagel)

apparat gefundene Tangens des Reibungswinkels um die Hälfte zu reduzieren war, während für das B-Material ebenfalls eine leichte Reduktion nötig war.

Die Werte wurden durch Grenzbelastung der ausgeführten Schüttung überprüft. Folgende Werte wurden bestimmt und nach Abb. 3 ausgewertet:

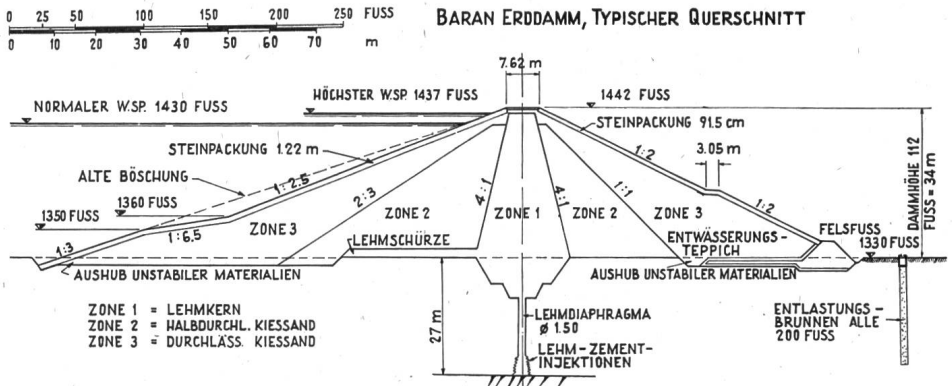
| Zone | Grenzlast | C | tg $\Phi$ |
|---|---|---|---|
| A | 12,7 kg/cm² | 0,600 kg/cm² | 0,425 |
| B | 10,5 kg/cm² | 0,283 kg/cm² | 0,600 |

Da die Versuche auf der Oberfläche der fertigen Schüttung ausgeführt wurden, war der Einfluß des Konsolidationsdruckes noch nicht berücksichtigt. Die Werte liegen daher teilweise leicht unter den im Laboratorium gefundenen Werten.

Die Versuchsresultate der verschiedenen Versuchsmethoden sowie die Berechnungsannahmen sind in Abb. 8 dargestellt.

e) *Die Setzungen*

Der Konar-Damm wurde nicht überhöht. Es wurde erwartet, daß sich die Hauptsetzungen während der Bauzeit, die sich über dreieinhalb Jahre (1951 bis 1954) erstreckte, vollziehen würden. Nivellemente wurden von der Bauherrschaft im Herbst 1954 und im Herbst 1955 über die ganze 3800 m lange Dammkrone ausgeführt. In diesem Zeitraum konnten keine, innerhalb der Genauigkeit des Nivellementes liegenden Setzungen beobachtet werden. Ebenso bei der Fuge zwischen Erddamm und Betonmauer wurden im gleichen Zeitraum keine Setzungen mehr beobachtet.




EIGENSCHAFTEN DER MATERIALIEN

| MATERIAL | IM FELD ERREICHTES TROCKENRAUMGEWICHT gr/cm³ | VERDICHTUNGSGRAD BEZOGEN AUF DIE MAX. STANDARD PROCTOR VERDICHTUNG % | GÜNSTIGSTER EINBAUWASSERGEHALT FÜR STANDARD PROCTOR VERDICHTUNG | WASSERGEHALT DES EINGEBRACHTEN SCHÜTTGUTES | ANTEIL DER KÖRNER KLEINER 0.074 mm | GRÖSSTER KORNDURCHMESSER mm | DURCHLÄSSIGKEITSKOEFFIZIENT cm/sec | SCHERFESTIGKEIT kg/cm² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ZONE 1 | 1.87 | 96.5% | 12.3% | 11.5% | 68.2 % | 10 | $3.6 \times 10^{-8}$ | $0.185 + 0.532 \cdot pc < 1.75$ |
| ZONE 2 | 2.03 | 95.5% | 9.8% | 8.3% | 25.1 % | 150 | $2.5 \times 10^{-5}$ | $0.100 + 0.650 \cdot \sigma$ |
| ZONE 3 | 2.15 | 95.0% | 8.9% | 7.8% | 9.9 % | 150 | $3.4 \times 10^{-4}$ | $0.100 + 0.700 \cdot \sigma$ |

Abb. 12

## 3. Die Ermittlung der Materialeigenschaften für den Baran-Damm

Der Baran-Erddamm ist gegenwärtig im Bau. Er liegt an der Nordwestgrenze von Westpakistan und ist das erste Bauwerk seiner Art in Westpakistan. Der Damm bildet den Hauptbestandteil des Kurrum-Garhi-Bewässerungsprojektes. Das Reservoir dient dazu, die starken Schwankungen der Abflüsse im Kurrum-Fluß auszugleichen. Die Maximalhöhe des Dammes ist 36 m, die Kronenlänge 1100 m und die Schüttmassen 2 700 000 Kubikmeter.

Die Sperrstelle wird von alluvialen Ablagerungen beherrscht. Eine bis 27 m starke Schicht Kiessand ruht auf erodiertem Konglomeratfels. Der Kiessand, der im ganzen Reservoirgebiet vorkommt, sowie einige Lehmvorkommen in den Talflanken, liefern das Baumaterial.

Der Querschnitt des Erddammes wurde gemäß den verfügbaren Materialien entwickelt. Er ist in Abb. 12 dargestellt.

Der Dammkörper teilt sich in drei Zonen, einen mittleren, undurchlässigen Lehmkern und halbdurchlässige und durchlässige äußere Zonen aus Kiessand, die in Schichten eingebracht und mittels Schaffußwalzen verdichtet werden. Um den Druckgradienten in der Dammfundation zu verringern, wurde ein 30 m breiter horizontaler Lehmteppich vorgesehen, der sich vom Lehmkern gegen die Wasserseite hin ausdehnt. Da die Fundation durchlässig war, wurde der Lehmkern abwärts in Form eines 1,50 m breiten Lehmdiaphragmas bis zum Konglomeratfels fortgesetzt. Der Fels konnte jedoch infolge Grundwassers nicht überall erreicht werden. Auf einer Länge von 200 m mußte zwischen dem Diaphragma und der Felsoberfläche ein Injektionsschirm vorgesehen werden. Zur Sicherheit des Bauwerkes wurden weiter auf der Luftseite ein Entwässerungsteppich vorgesehen sowie eine Reihe Entlastungsbrunnen, die bis auf die Felsoberfläche hinunterreichten.

a) *Die Kornverteilung und der Verdichtungsversuch*

Die Kornverteilungskurve der in drei Zonen eingebauten Materialien ist in Abb. 13 dargestellt. In Zone 1 ist der Gehalt an Feinbestandteilen im Durchschnitt 68,2 %, was Undurchlässigkeit gewährleistet. In Zone 3 ist er im Durchschnitt unter 10 %, so daß das Material als stabil und durchlässig angesehen werden kann. Für die Zonen 2 und 3 ist weiter zu bemerken, daß das Material vor dem Aushub etwa 10 % Steine größer als 150 mm enthielt, die einen Durchmesser bis zu 1000 mm und mehr aufwiesen. In der Schüttung wurden jedoch nur Steine bis 150 mm Durchmesser zugelassen. Alle größeren Steine wurden nach dem Ausbreiten der Schichten von Hand herausgelesen und auf der Wasser- und Luftseite als Steinpackung eingebracht. Auf diese Weise ergab sich ein billiger und wirksamer Böschungsschutz.

Der Verdichtungsversuch zeigte ebenfalls günstige Verhältnisse. Er wurde nur für den Kornanteil kleiner als 20 mm durchgeführt und ergab für Zone 1 ein maximales Raumgewicht von 1,87 g/cm³, für Zone 2 ein solches von 1,96 g/cm³ und für Zone 3 ein solches von 1,99 g/cm³, was auf gute Stabilität hinweist.

b) *Durchlässigkeit*

Wie aus der Kornverteilungskurve zu erwarten ist, war der Lehm mit einer Durchlässigkeit von nur $3{,}6 \cdot 10^{-8}$ cm/s als Kernmaterial geeignet. Weiter hat das Material der Zone 3 eine hohe Durchlässigkeit von $3{,}4 \cdot 10^{-4}$ cm/s, so daß beim jährlichen Absenken des Stauspiegels in der wasserseitigen Böschung keine Porenwasserdrücke zu erwarten sind. Die Durchlässigkeit der äußeren Zone wurde im Felde nach Abb. 2 (b) überprüft und bestätigt.

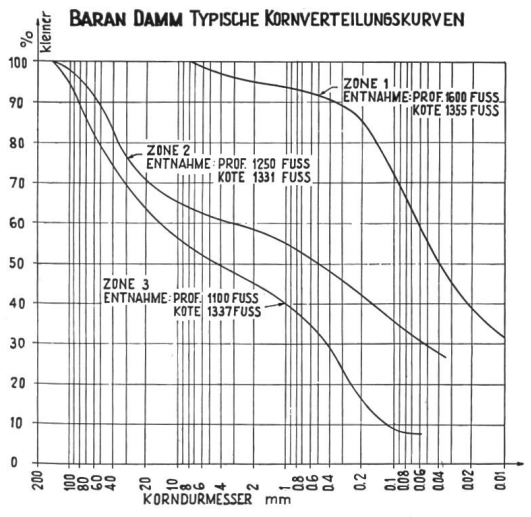



Abb. 13

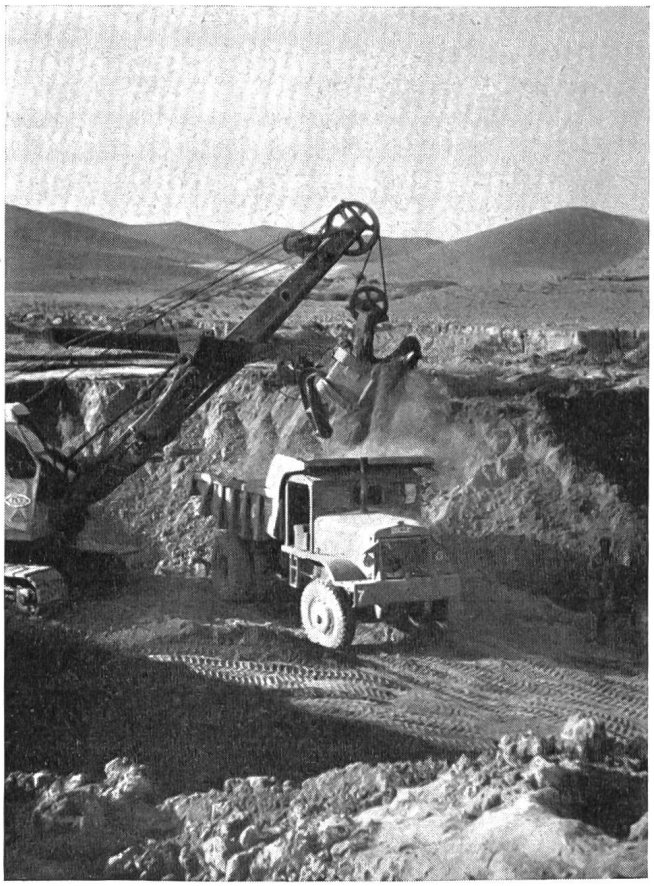


Abb. 14 Baran-Damm. Aushub des Schüttmaterials in den Entnahmefeldern (Photo A. Wackernagel)

c) *Die Scherfestigkeit*

Die Scherfestigkeit des Lehmes wurde in einem Ringscherapparat im Laboratorium untersucht. Die Versuche wurden kombiniert mit dem Ödometerversuch. Dieser zeigte, daß die im Felde erreichte Verdichtung von 1,87 g/cm³ der Konsolidation unter einer Auflast von 3,0 kg/cm² entspricht. Die Scherfestigkeit des verdichteten Materials ist also gleich derjenigen, welche durch Auflast von 3,0 kg/cm² erreicht wird, und ergibt sich nach Abb. 16 zu 1,75 kg/cm². Da die Konsolidation langsam vor sich geht, wurde dies als Maximalwert angenommen. Weiter wurde angenommen, daß für geringere Auflast als 3,0 kg/cm² diese Scherfestigkeit nicht erhalten bleibt, sondern gemäß der im Ringscherapparat ermittelten Linie verläuft. Der im Ringscherapparat wirkende Normaldruck wurde dabei als Konsolidationsdruck aufgefaßt.

Für die äußeren Sektionen aus Kiessand wurde der Anteil der Körner kleiner als 4 mm im Ringscherapparat untersucht. Diese Versuche wurden ergänzt durch Beobachtung der vertikalen Standhöhe beim Aushub für den Abdichtungssporn.

Für eine Standhöhe von 20 m und ein Raumgewicht von 2,30 g/cm³ ergibt sich aus (Gl. 2) C = 0,600 kg/cm² und tg $\Phi$ = 0,700. Dabei zeigt sich der höhere Reibungswinkel des Gesamtmateriales gegenüber dem Kornanteil kleiner als 4 mm. Die Ergebnisse sind in Abb. 16 dargestellt. Für die Rechnung wurde der im Felde beobachtete Reibungswinkel angenommen, während die Kohäsion stark reduziert wurde. Dabei ergab sich genügende Stabilität der Dammböschungen. Eine solche kann aber durch Einsetzen der im Laboratorium für den Anteil $<$ 4 mm bestimmten Werte nachgewiesen werden.

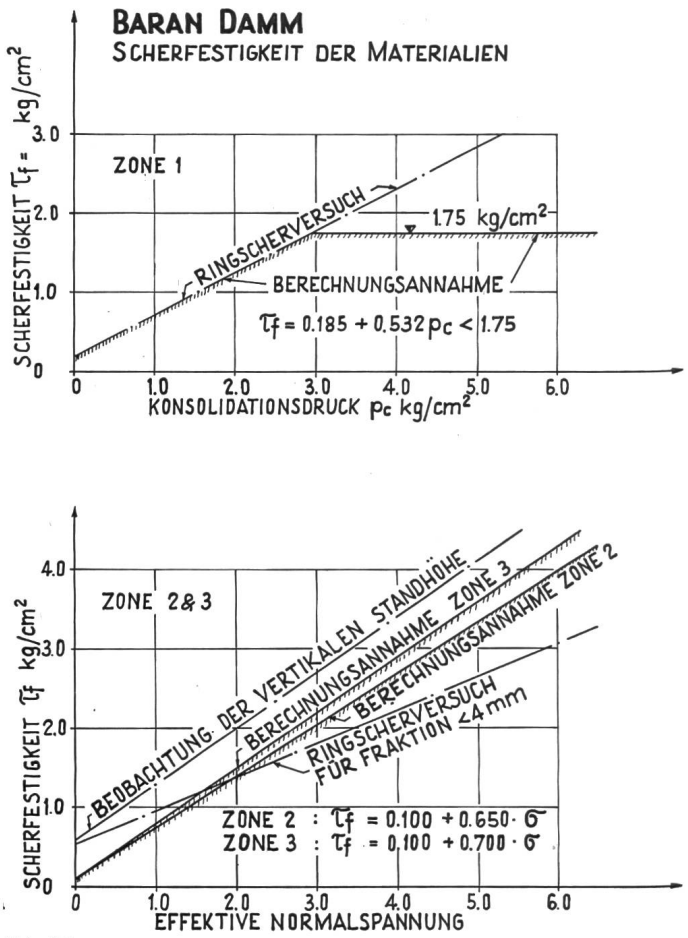



Abb. 16

d) *Die Setzungen*

Die Größe und der zeitliche Verlauf der Setzungen wurden im Ödometerversuch studiert. Der größte Teil der Setzung wird sich während des Baues durch Zusammendrückung der in den Poren enthaltenen Luft vollziehen. Für den verbleibenden Anteil ist eine Erhöhung des Dammes um 60 cm vorgesehen. Es wird erwartet, daß 30 Jahre nach Vollendung des Dammes 90% dieser Setzungen abgeklungen sein werden.

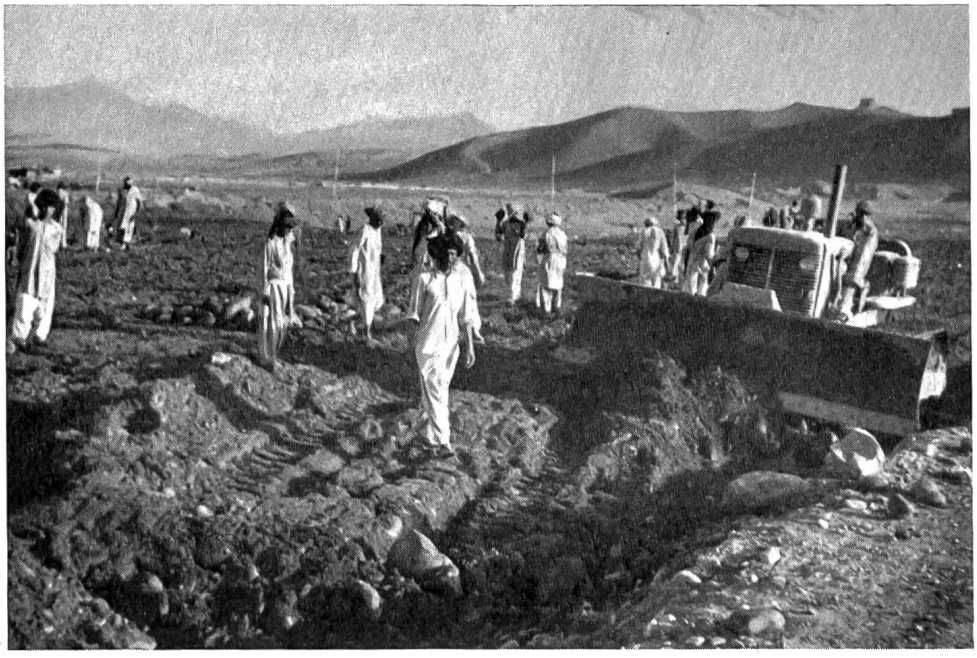


Abb. 15
Baran-Damm. Ausbreiten des Materials und Herauslesen der Steine von Hand (Photo A. Wackernagel)

### 4. Projektänderungen während der Ausführung eines Erddammes

Für jeden Erddamm sind Abweichungen vom ursprünglichen Dammprofil während der Bauzeit möglich, wenn die Materialien, die in den Entnahmefeldern angetroffen und im Damm eingebaut werden, laufend überprüft werden. Abweichungen der Materialeigenschaften von den Annahmen in günstiger oder ungünstiger Richtung sind häufig. Weiterhin ist die Qualität der Schüttung, die während des Baues wirklich erreicht wird, vor dem Baubeginn nur näherungsweise bekannt. Bei beiden Dammprojekten, die obenstehend beschrieben sind, wurden während des Baues Änderungen in der Ausbildung der wasserseitigen Dammböschung vorgenommen. Im Falle des Konar-Dammes wurde eine vorgesehene Felsschüttung weggelassen. Dies war möglich, da sich die Bauherrschaft aus Spargründen für den Fall eines Erdbebens mit einem geringeren Sicherheitsgrad zufrieden gab. Im Falle des Baran-Dammes war die wirklich erreichte Verdichtung des Dammaterials bedeutend besser als ursprünglich angenommen, so daß während des Baues auf der Wasserseite ein Übergang in eine steilere Dammböschung vorgesehen werden konnte, wobei etwa 5 % des gesamten Dammvolumens eingespart wurden (Abb. 12).

### 5. Zusammenfassung

Es wurde am Beispiel zweier Erddammbauten beschrieben, wie die Materialeigenschaften im einzelnen ermittelt wurden, und die Überlegungen, die zu den Berechnungsannahmen und konstruktiven Anordnungen führten, dargelegt. Dies geschah durch die einfachen Klassifikationsteste und die mehr verwickelten Versuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit.

Die beiden Dammbauten bestehen aus verschiedenen Materialtypen, der Konar-Damm aus residualen, der Baran-Damm aus alluvialen Materialien. Beim Konar-Damm konnte auf den Bau eines Abdichtungssporns verzichtet werden, während beim Baran-Damm ein 24 m tiefes Lehmdiaphragma erstellt werden mußte.

Ein Drainageteppich wurde in beiden Fällen vorgesehen. Ein solcher ist immer ein günstiges Konstruktionselement, um die Sickerlinie im Damminnern zu halten und das Bauwerk gegen innere Erosion zu schützen. Im Falle des Baran-Dammes wurden zusätzlich Entlastungsbrunnen angeordnet.

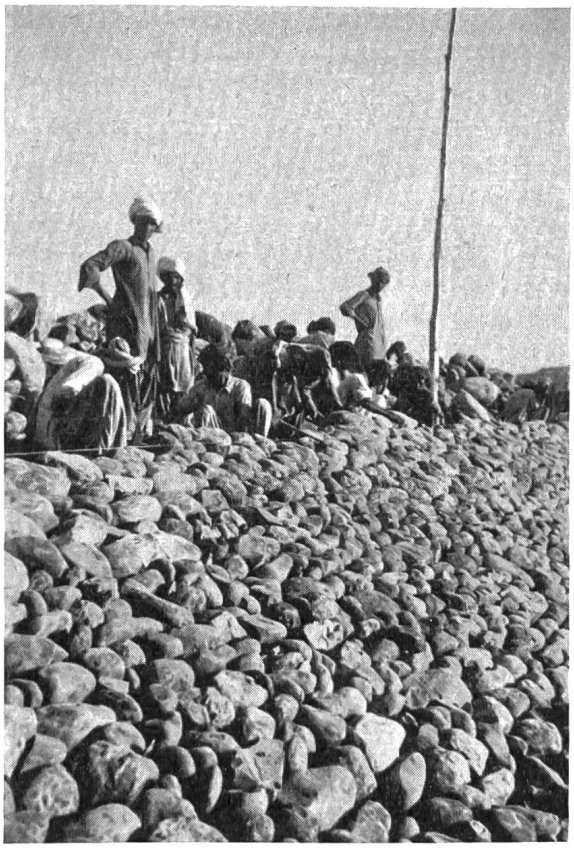


Abb. 17 Baran-Damm. Einbringen des Böschungsschutzes (Photo A. Wackernagel)

Die materialtechnische Seite der Projektierung steht im Erdbau im Vordergrund. Der Erfolg hängt von der richtigen Beurteilung der Materialien und der zweckmäßigen konstruktiven Durchbildung des Bauwerkes ab. Die rechnerische Analyse spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

## Wasser- und Energiewirtschaft

#### «Yougelexport»

Wir hatten Gelegenheit, in dieser Zeitschrift auf diese Organisation hinzuweisen[1], und entnehmen einer Notiz der Österreichischen Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft (ÖZE 1957, S. 49), daß am 7. November 1956 in einer Sitzung des «Koordinationskomitees der ECE für Yougelexport», die an einem Import bzw. Austausch von Energie aus jugoslawischen Wasserkraftwerken interessierten ausländischen Gesellschaften — *Verbundgesellschaft (Österreich), Deutsche Verbundgesellschaft (Deutsche Bundesrepublik), Senel (Italien)* — zusammen mit der *Jugoslawischen Verbundgesellschaft (Jugel)* die Gründung eines Studiensyndikats beschlossen haben. Am 28. und 29. November 1956 fand dann in Wien die Tagung eines Proponentenkomitees zur Vorbereitung der Statuten für dieses Studiensyndikat (Yougelexport) statt, an der je zwei Vertreter der genannten Gesellschaften teilnahmen. Es gelang, einen Entwurf für die Satzung fertigzustellen; dieser Entwurf wird nun geprüft und in der ersten Verwaltungsratssitzung, die anfangs 1957 von Direktor Brelih von der Jugel einberufen wird, sollen dann die Vereinbarung über das Studiensyndikat unterzeichnet, eine Geschäftsordnung und ein Arbeitsprogramm festgelegt, der Sitz des Syndikats bestimmt und das Sekretariat geschaffen werden.

[1] WEW 1957, Seite 10.