

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 127/128 (1946)
Heft: 8

Artikel: Neuere Untersuchungen an grossen Talsperren des Auslandes
Autor: Gruner, H.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83803>

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: 15.01.2026

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

Neuere Untersuchungen an grossen Talsperren des Auslandes

Von Dr. h. c. H. E. GRUNER, Basel

In den letzten Monaten sind in der ausländischen Fachliteratur Beobachtungen und Erfahrungen an grossen Talsperren veröffentlicht worden, die auch in unserem Lande grösste Beachtung verdienen. Es dürfte daher angezeigt sein, nachstehend über einige besonders interessante Feststellungen zusammenfassend zu berichten, umso mehr als demnächst eine grosse Veröffentlichung über die Beobachtungen und Erfahrungen an den schweizerischen Talsperren erscheinen wird.

Am Boulder-Dam¹⁾ (Bild 1), der den Colorado-River aufstaut und der mit seinen 727 Fuss = 221,6 m Höhe²⁾ die höchste bis jetzt ausgeführte Staumauer darstellt, wurden vom «American Reclamation Service» eingehende Messungen und Beobachtungen vorgenommen, deren Resultate im fünfbandigen Werk: «United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Boulder Canyon Project Final Reports, Denver, Colorado, 1939», zusammengefasst sind. Hier sei besonders auf die Messungen der Einstellungen des Untergrundes der Sperre und ihrer Umgebung hingewiesen, die durch die grosse Belastung durch das aufgespeicherte Wasser verursacht werden. An Hand eingehender geologischer Untersuchungen, sowie sorgfältiger Messungen des Elastizitäts-Moduls und der Poisson'schen Zahl des anstehenden Felsens wurden die zu erwartenden Einstellungen um das Belastungs-Zentrum berechnet (Bild 2, auszogene Linien) und nach erfolgtem Aufstau die wirklichen Einstellungen gemessen (gestrichelte Linien). Wie man sieht, ergaben die Messungen zwar wesentlich kleinere Einstellungen als die Berechnungen; sie stiegen aber immerhin bis auf 20,3 mm. Auch bei den schweizerischen Talsperren wurden Bewegungen des Untergrundes beobachtet, die im eingangs erwähnten Werk beschrieben werden sollen.

Am Boulder-Dam sind ferner die Spannungen im Felsen in nächster Nähe der Sperre selbst gemessen worden. Hierzu diente ein alter Sondiergang von 1,83 m Höhe und 1,52 m Breite,

¹⁾ Vgl. SBZ Bd. 99, S. 81* (1932).

²⁾ Die Staumauer Schollen soll 208 m hoch werden.

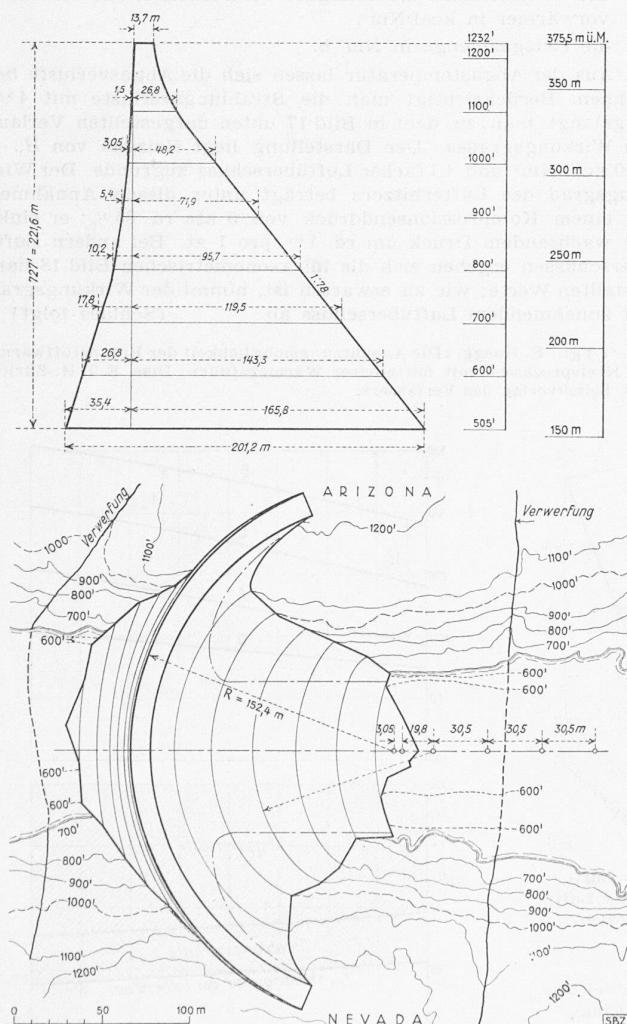


Bild 1. Boulder-Dam. Oben: Querschnitt an der tiefsten Stelle. Unten: Grundriss, Maßstab 1:4000

der flussabwärts der Sperre quer über den Canyon getrieben war (Bild 3) und in dem etwa alle 50 m je acht Messpunkte in einem Kreis von etwa 500 mm Durchmesser gemäss Bild 3 d eingebaut wurden. Die Messpunkte bestanden aus Bronzebolzen, die besonders sorgfältig und genau versetzt worden waren. Der Abstand zwischen je zwei einander gegenüber liegenden Bolzen wurde mit Präzisionslehren aufs Genauste gemessen. Dadurch erhielt man an verschiedenen Stellen des aus dem Felsen gehauenen Stollens den Abstand dieser Messbolzen bei belastetem Felsen. Nun wurde in einem zu den Messpunkten konzentrischen Kreis von rd. 1200 mm Durchmesser das im Felsen eingelassene Messinstrument durch Bohrungen bis auf eine Tiefe von 9 m von der umgebenden Felsscholle abgetrennt, wodurch der herausgehobene Kern spannungslos wurde und die Bolzenabstände in diesem Zustand gemessen werden konnten. Die auf diese Weise ermittelten Deformationen ergaben die in Bild 3 b gezeichneten Dehnungs-Ellipsen, aus denen die dort ebenfalls dargestellten Spannungen abgeleitet werden sind. Diese Spannungen schliessen naturgemäß auch die Spannungserhöhungen an den Rändern des Mess-Stollens ein, geben also nicht die im unverletzten Fels herrschenden Werte. Um auf diese zu kommen ist noch eine Korrektur durchzuführen, woraus sich die im Schnitt c dargestellten Ellipsen ergeben. Wie man sieht, erreichen die so reduzierten Spannungen Werte bis nahe an 300 kg/cm².

Das «Bureau of Reclamation» des Departementes des Innern der Vereinigten Staaten hat im Tennessee Valley 17 Talsperren von 30 bis 160 m Höhe erstellt, um diese einst arme, durch Ueberschwemmungen gefährdete Gegend aufzuschliessen und zu neuem Leben zu erwecken. Auch an diesen Sperren wurden sorgfältige Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse in verschiedenen Publikationen veröffentlicht worden sind. So beschreibt Ing. Riegel, Mitglied der American Society of Civil Engineers, in den «Proceedings» dieser Gesellschaft vom Oktober 1945 Auftrieb-Messungen am Hiwassee-Dam, einem Bauwerk von 91 m Höhe. Sie ergaben, wie aus Bild 4 ersichtlich, einen deutlichen Abfall des Auftriebes bis zur Ebene des Entwässerungs-Systems a. Eine heute vielfach verwendete Berechnungsweise fußt auf der Annahme, dass der Auftrieb von der seeseitigen Mauerober-

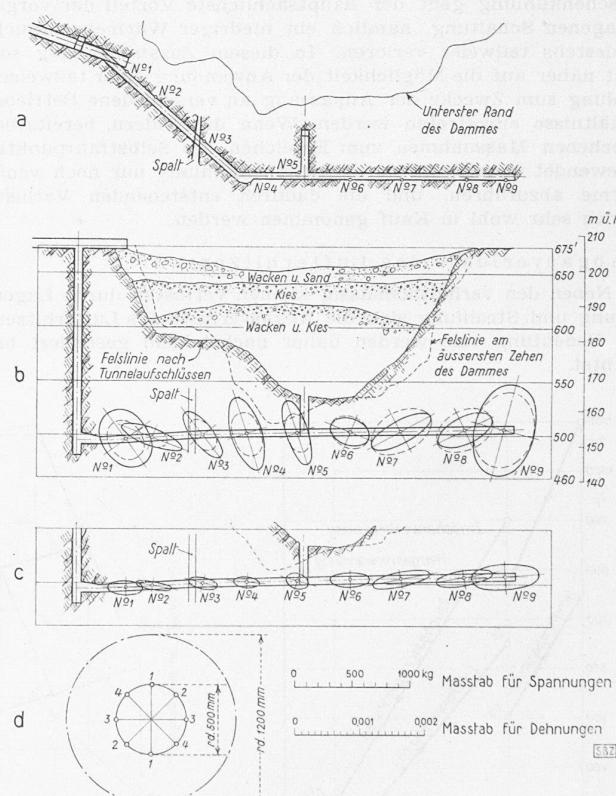


Bild 3. Spannungsmessungen am Boulder-Dam.

- Grundriss des Messstollens mit den neun Messstellen
- Schnitt durch die Axe des Messstollens und des untersten Mauerzuges (Aufriss). Die ausgezogenen Ellipsen geben die gemessenen Dehnungen, die gestrichelten die entsprechenden Spannungen in Vertikalschnitten parallel zur Tunnelaxe wieder
- Spannungen wie bei b, jedoch unter Abzug der durch den Stollen verursachten Spannungserhöhungen an der Stollenoberfläche. Maßstab 1:2000
- Anordnung der Messbolzen an einer Messstelle und Kreis der Bohrlöcher (Ø 1200 mm). Maßstab 1:50

fläche bis zur Entwässerungs-Ebene von 100 bis auf 30 % und von dort bis zur luftseitigen Dammoberfläche von 30 auf 0 % absinken. Wie man aus dem gemessenen Verlauf (Bild 4 ausgezogene Kurve) ersieht, schliesst eine solche Berechnung eine reichliche Sicherheit ein. Der Dammberechnung wurde der gestrichelte Verlauf zugrunde gelegt.

Am ersten Internationalen Talsperren-Kongress hat Prof. Karl von Terzaghi eine Mitteilung eingereicht «Auftrieb und Kapillardruck an betonierten Talsperren». In dieser Mitteilung führt er den Kapillardruck, der in einem von Wasser durchströmten porösen Körper entstehen kann, in die Stabilitäts-Berechnung der Talsperren ein. Auf Grund seiner theoretischen Untersuchungen kommt er zu folgendem Schlusse:

Bei einer sachgemäss hergestellten betonierten Talsperre ver dunstet an trockenen Tagen an der Luftseite der Mauer die gesamte durch die Mauer nachströmende Wassermenge. In diesem Fall tritt im luftseitigen Abschnitt der Mauer eine zusätzliche, durch die Oberflächenspannung des Wassers hervorgerufene Druckbeanspruchung von mehreren kg/cm^2 auf.

In sehr sorgfältig durchgeführten Versuchen hat Obering. Serge Leliavsky³⁾ im Bureau für Talsperrenbau in Kairo an Modellen zu zeigen versucht, dass die Porenspannung infolge des Auftriebes 92 % des Wasserdruckes auf die Maueroberfläche beträgt und dass die Probekörper bei einer Beanspruchung von rd. 30 kg/cm^2 zerbrachen. Wenn die Ergebnisse dieser Versuche bei Talsperren gelten würden, müssten sie alle mit 100 % Auftrieb gerechnet werden. Es handelt sich also hier um eine sehr wichtige Frage und es ist von grösster Bedeutung, dass das

³⁾ Siehe «Proceedings» der American Society of Civil Engineers, Dezember 1945. Leliavsky: «Experiment on Effektive Uplift Area in Gravity Dams».

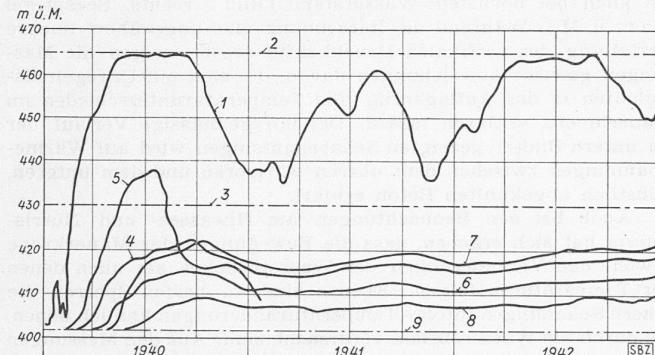


Bild 5. Gemessene Porenspannungen am Hiwassee-Dam in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufes der Füllung. 1 Füllungshöhe, 2 Normaler höchster Wasserspiegel (465 m), 3 Niedrigster Wasserspiegel (430 m); 4 (Zelle 1) und 5 (Zelle 2) Wasserdruk in den Poren in einer Tiefe von 30 cm von der wasserbespülten Oberfläche 6 (Zelle 3) und 7 (Zelle 4) Porendruck wie bei 4 und 5 bei 91 cm Tiefe 8 (Zelle 5) Porendruck bei 183 cm Tiefe

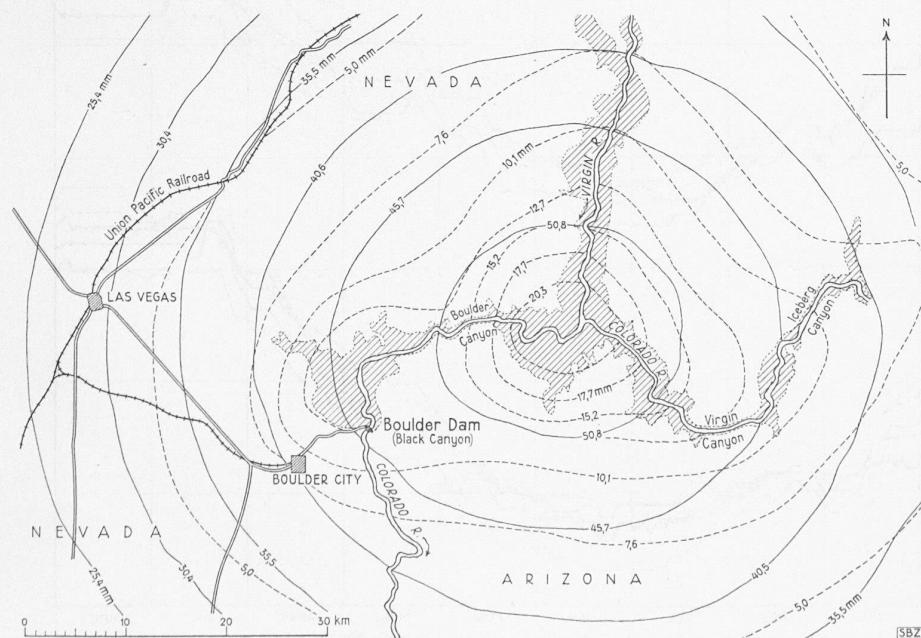


Bild 2. Einsenkungen des Geländes um den Boulder-Dam in mm. Ausgezogene Linien nach Vorausberechnung, gestrichelte Linien nach Messung. Maßstab 1:700 000

Bureau of Reclamation des U. S. Department of the Interior an verschiedenen Sperren im Tennessee-Valley Messungen der Porenspannungen vorgenommen hat und nach der schon oben erwähnten Veröffentlichung zu den Resultaten gelangt ist, wie sie in Bild 5 dargestellt sind. Man sieht daraus, dass zwar in der Nähe der Wasserfläche der Staumauer (Linie 5), eine Porenspannung von etwa 50 % des Wasserdruckes beobachtet werden konnte; mit zunehmender Tiefe im Innern der Sperre nimmt aber die Porenspannung ab und beträgt in einer Tiefe von 1,83 m (Linie 8) im Mittel nur noch 10 % des äusseren Druckes.

Die Diskrepanz zwischen den unter natürlichen Verhältnissen gemessenen Spannungen und den Versuchen von Leliavsky erklärt sich aus den Abmessungen der Versuchskörper: Leliavsky verwendete einen Betonzyylinder von nur 14,4 cm Durchmesser mit einem konzentrischen inneren Hohlraum von rd. 2 cm Durchmesser; die durchströmte Fläche hatte also eine Dicke von nur 6,2 cm, während die Beobachtungen in der Natur zeigen, dass erst bei 30 cm Dicke eine wesentliche Abnahme des Porendruckes beobachtet werden kann. Terzaghi und Leliavsky haben ferner in ihren Berechnungen den osmotischen Druck nicht in Rechnung gezogen. Dieser kann sich bei einem kleinen Versuchskörper nicht sichtbar auswirken. Schliesslich ist zu berücksichtigen, dass das durch die Poren strömende Wasser Calcium-Carbonat auflöst und sich so in eine Lösung verwandelt, für die dann das Van Hoff'sche Gesetz gilt. Der osmotische Druck wirkt alsdann dem Auftrieb entgegen.

Am Norris- und Hiwassee-Dam sind außerdem noch sehr eingehende Messungen über die in der Mauer auftretenden inneren Spannungen mit den Carlson-Messinstrumenten vorgenommen worden⁴⁾. Bild 6 zeigt als ein Ergebnis der Messungen am Norris-Dam die Druckspannungen in vertikaler Richtung im Zusammenhang mit dem Wasserstand im See. Wie man sieht, steigen diese Spannungen in der Nähe der Wasserseite (Kurve 3) in der ersten Zeit nach der Füllung rasch an und pendeln nachher um einen mittleren Wert der vom Wasserstand im Staubecken wenig beeinflusst wird. Die Vertikalspannungen in der Mitte des Querschnittes (Kurve 4) haben eher die Tendenz zu fallen, während gegen die luftseitige Zehe der Mauer (Kurve 2) ein eigentümlicher Anstieg beobachtet werden kann. Diese Abweichung vom gewöhnlich geradlinig angenommenen Verlauf der Druckspannungen scheint nach der Ansicht der beteiligten Ingenieure folgende zwei Ursachen zu haben: Während der Beobachtungsperiode verminderte sich durch Ausstrahlung die Abbindewärme, und die Temperatur der Mauer sank beinahe auf ihren endgültigen Wert herab. Dieser Temperaturabfall trat hauptsächlich im Innern der Mauer auf und verursachte dort eine Verminderung des Volumens. Dadurch wälzten sich die durch das Gewicht hervorgerufenen Spannungen von den inneren nach den äusseren Zonen der Konstruktion ab. Die zweite Ursache liegt im bedeutend grösseren Anzug auf der Luftseite gegen die Zehe hin (nämlich 1:5). D. McHenri vertritt die Ansicht, dass die Wasserauf-

⁴⁾ Siehe «Measurements of the Structural Behaviour of Norris Dam» by Douglas McHenri und «Proceedings» der Am. Soc. C. E. vom Okt. 1945.

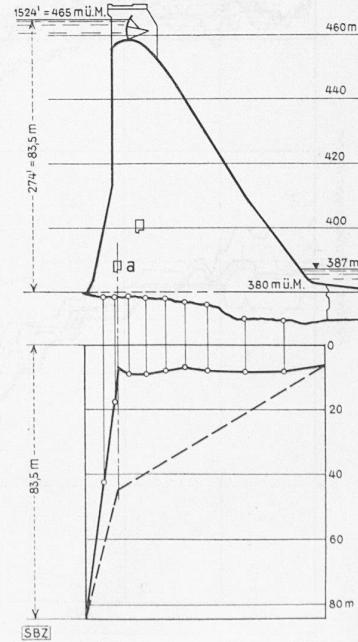


Bild 4. Auftriebsmessungen am Hiwassee-Dam

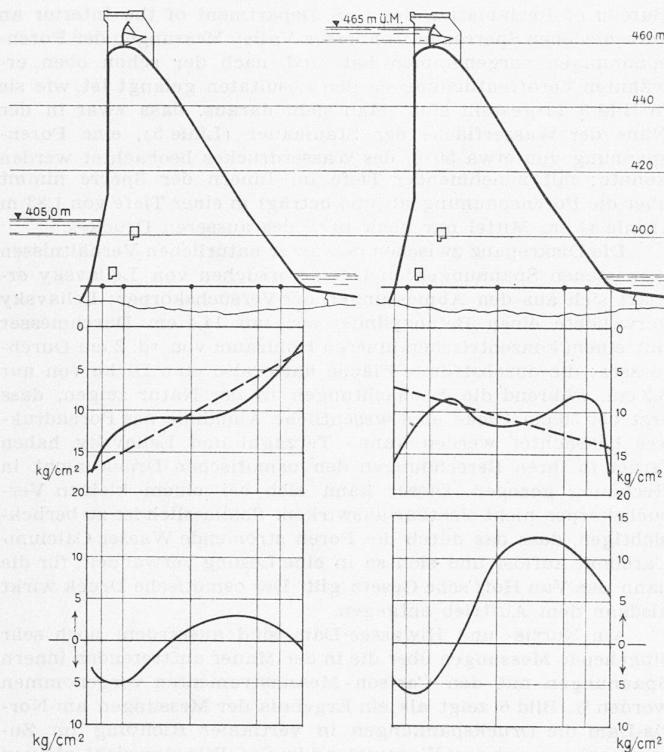


Bild 7. Gemessene Spannungen in der Basisfläche des Hiwassee-Dam, links bei leerem, rechts bei gefülltem Stausee.
Oben: Vertikale Druckspannungen, gestrichelt nach Berechnung, ausgezogen nach Messung. Unten: Schubspannungen

last zum grossen Teil direkt durch die Fundamente auf diesen Teil des Bauwerkes übertragen wird und sich die Kräfte nicht auf das übrige Bauwerk ausbreiten. Diese Theorie scheint annehmbar, wenn sie auch nicht ganz mit der üblichen Methode der Festigkeitsanalyse von Staumauern übereinstimmt. Neuere Untersuchungen bei ähnlichen Bedingungen am Hiwassee-Dam führen zur Annahme, dass die grösseren Kräfte in der Zehe durch Wasserinfiltration in den Beton, verbunden mit Temperaturbeanspruchungen zu erklären sind.

Eine ähnliche Messreihe, die an der Basis des Hiwassee-Dam aufgenommen worden war, zeigt Bild 7: Die für die Messungen vorgesehenen Betonblöcke wurden nach ihrer Fertigstellung zu Beginn des Aufbaues der Mauer durch Ueberleiten

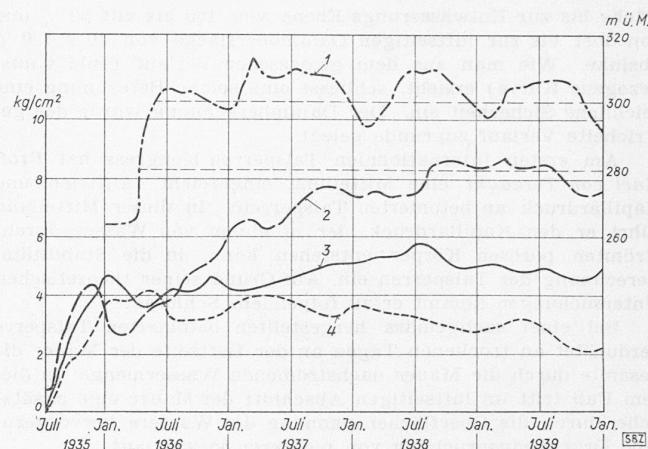


Bild 6. Gemessene vertikale Druckspannungen in der Basisfläche des Norris-Dam in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufes der Füllung. 1 Füllungshöhe, 2 Druckspannungen nahe der luftseitigen Oberfläche, 3 dasselbe nahe Wasserseite, 4 Druckspannungen in Mauermitte

des Flusses künstlich gekühlt, dann durch Ausgiessen der Fugen in die Mauerkonstruktion eingefügt und darauf diese zu ihrer vollen Höhe aufgebaut. Zur Bestimmung der Spannungen wurden die absoluten Verschiebungen verschiedener freier Zylinder in fünf Richtungen, sowie die gegenseitigen Verschiebungen dieser Zylinder zueinander gemessen und zwar sowohl bei fast leerem Stausee (Bild 7 links, Seespiegel auf Kote 405 m ü. M.), als auch bei höchstem Wasserstand (Bild 7 rechts, Seespiegel 465 m ü. M.). Während die Berechnung eine angenähert lineare Verteilung der vertikalen Druckkräfte ergibt, zeigen die Messungen gewisse Abweichungen davon, die sich mit Unregelmässigkeiten in der Auflagerung und Temperaturunterschieden im Mauerinnen erklären lassen. Der unregelmässige Verlauf der im unteren Bildteil gezeigten Schubspannungen wird auf Wärme-Spannungen zwischen dem oberen wärmeren und dem unteren, künstlich abgekühlten Beton erklärt.

Auch bei den Beobachtungen am Hiwassee- und Norris-Damm hat sich ergeben, dass die Bewegungen der Mauerkrone sowohl den Veränderungen des Wasserdrukcs als auch denen der Temperaturen folgen. Ebenso sind an beiden Sperren die innern Spannungen infolge Temperaturänderungen ähnlich denen, die durch die Wasserauflast verursacht sind. Aus den Messungen geht hervor, dass die bisher gültige Berechnungsart auch jetzt noch als richtig betrachtet werden kann, sofern man die Grösse des Temperatureinflusses, die Abweichungen der Spannungen

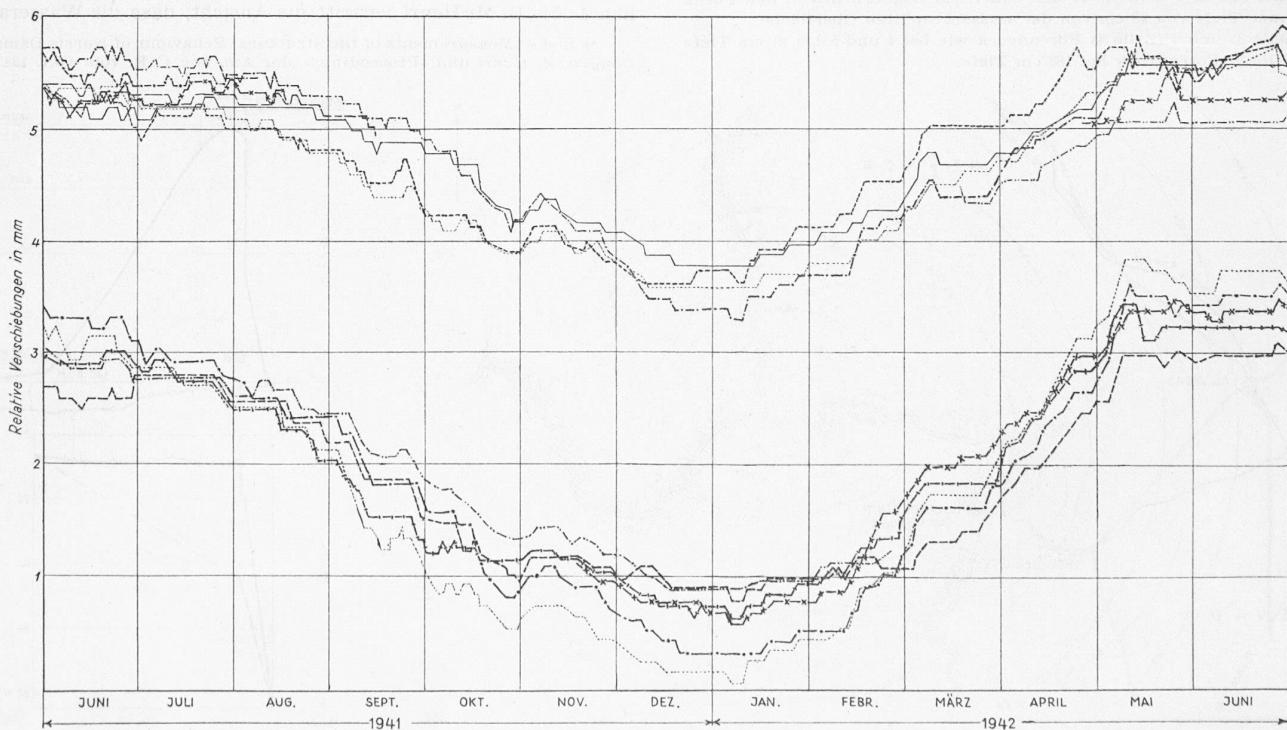


Bild 9. Assuan-Dam, Aegypten. Zeitlicher Verlauf der Relativverschiebungen zwischen Mauer und Stützpfählen in mm.
Oben acht Pfeiler von 14,2 m Höhe; unten 15 Pfeiler von 26,7 m Höhe

vom geradlinigen Verlauf, den Einfluss der Unebenheiten im Fundament und die Erscheinungen der Plastizität und des Kriechens berücksichtigt. Ein gewisser Skeptizismus ist allerdings berechtigt, besonders in Bezug auf die Schubspannungen. Als Ergebnis der Beobachtungen stellen die Ingenieure des Reclamation Service fest, dass die Sicherheit der hohen gemauerten Talsperren grösser ist, als sie sich nach den normalen Berechnungen ergibt. Infolgedessen sind sie darauf zu etwas leichteren Konstruktionen übergegangen.

Das Tennessee-Valley liegt in der Nähe eines Erdbebenzentrums. Infolgedessen wurde die Frage eingehend untersucht, welche Massnahmen mit Rücksicht auf Erdbeben zu treffen sind. Beim Kentucky-Damm, der am meisten gefährdet erscheint, kam man zum Schluss, dass ein Zusatz von 5 % zu den Wandstärken genüge.

Wenn es sich um schlanke Konstruktionen, die auf Felsen fundiert sind, handelt, können harmonische Schwingungen entstehen. Beim Kentucky-Damm wurde z. B. eine Schwingungsdauer von einer Sekunde und eine Amplitude von 6,5 mm als zulässig erachtet. Es muss aber bemerkt werden, dass es sich hier um einen Erddamm handelt, der bei Erdbeben grössere Schwingungen ausführen wird und dabei entsprechend stärker gefährdet ist.

Zum Schlusse seien noch einige Beobachtungen am Assuan-Dam erwähnt, der bekanntlich erhöht und verstärkt worden ist⁵⁾. Statt den Sperenkörper durch Mauerwerk zu verdicken, wurden Pfeiler auf der Luftseite gegen den Damm gelehnt, die sich frei bewegen können. Diese Pfeiler liegen auf nichtrostendem Stahl, sind äusserlich mit dem dort gefundenen Syenit verkleidet und tragen im Innern eine Eisenbetonkonstruktion (Bild 8). Von der Direktion der Reservoir des ägyptischen Departementes des Innern ist ein Kredit zur Durchführung von Deformations-Messungen an der Mauer und an den Pfeilern bewilligt worden. Leider wurden nur die Relativbewegungen festgestellt, d. h. die Bewegungen, die die losen Pfeiler gegenüber der Mauer ausführen, und nicht auch die absoluten Verschiebungen. Die gleichzeitig aufgenommenen Temperaturen konnten nur an den Oberflächen gemessen werden, da in der Mauer und in den Pfeilern die für Messungen im Innern nötigen Thermoelemente fehlten. Es hat sich nun gezeigt, dass sich die losen Pfeiler im Verhältnis zur Mauer verschieben und zwar ziemlich genau entsprechend den Aussentemperaturen. Bild 9 zeigt, dass die Verschiebungen bei acht Pfeilern von im Mittel 14,2 m Höhe 2,5 mm und bei 15 Pfeilern von 26,7 m mittlerer Höhe nahezu 4 mm betragen. Leider sind die Bewegungen der Sperre selbst nicht beobachtet worden, auch fehlen eingehendere Temperaturmessungen, sodass man sich kein richtiges Bild der Bewegungsverhältnisse der Sperre und der Pfeiler machen kann. Immerhin zeigen schon diese Beobachtungen, dass die Wahl der losen Pfeiler und ihre Konstruktion richtig war, denn sie haben sich den Annahmen der Projektverfasser entsprechend verhalten.

Bauliche Sanierung von Hotels und Kurorten

Als Ziel der ersten Etappe der vor etwa drei Jahren ins Leben gerufenen «Aktion für die bauliche Sanierung von Hotels und Kurorten» war die Beschaffung von Vorschlägen für die Ortsplanung und künftige bauliche Gestaltung von Kurorten vorgesehen, basierend auf einer im gleichen Zuge, jedoch vorgängig durchzuführenden «Inventarisierungsaktion», die das für die bauliche Bewertung der einzelnen Hotels erforderliche Unterlagenmaterial beschaffen sollte. Die ganze Aktion erfasste insgesamt 35 schweizerische Kurorte mit total 741 inventarisierten Hotels, der Bettenzahl nach ein Drittel des gesamten Bestandes. Sie stand unter der Leitung von Dr. h. c. A. Meili, der schon im Mai 1942 der Expertenkommission für Angelegenheiten des Fremdenverkehrs einen «Plan für die bauliche Sanierung von Hotels und Kurorten» vorgelegt hatte und nach dessen Richtlinien auch die Inventur der Einzelobjekte vom zentralen Studienbureau für die bauliche Sanierung von Hotels und Kurorten durchgeführt wurde.

Mit der Inventarisierung sind seinerzeit 80 meist ortssässige Architekten betraut worden, die von den drei Fachverbänden (Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Bund Schweizer Architekten, Schweiz. Technikerverband) vermittelt worden sind. Diesen Verbänden stand das Vorschlagsrecht zu. Mit der eigentlichen Planung wurden sodann auf Vorschlag der genannten

