Moderner Talsperrenbau in Italien

Autor(en): **Marcello, Claudio**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **68 (1950)**

Heft 33

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-58062

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

Schiffsdeck wirkenden Dachterrasse nahe, die, wie der Patio, durch ein System von gekuppelten und drehbaren Aluminium-Tafelelementen in geschlossenem Zustand gegen Wind, Sand und Sonne geschützt ist. Auch bei diesem Werk ist der Architekt jeder romantisierenden Neigung völlig aus dem Wege gegangen. Er betonte einmal an anderer Stelle, dass das Bestreben, einem Haus den äussern Eindruck «natürlichen Gewachsenseins» zu geben, etwas Verkehrtes ist, so vertraut und anheimelnd dieses Wort auch klingen mag. Ein Haus ist für ihn ein künstlich konstruiertes Gebilde, dessen Last auf Betonfundamenten ruht, aber keine Pflanze, die ihre Wurzeln in die Erde streckt. Auch traditionelle Bindungen, etwa in Form des «altspanischen» Stils, hält er, obwohl er jede lebendige Ueberlieferung zu achten weiss, für abwegig. Ein solches Haus wie das hier gezeigte ist ein extremer Fall. Es besitzt keine Vorgänger, da nicht einmal indianische Eingeborene diese unfruchtbare Einöde bewohnt haben.

Die Wahl der Baustoffe wurde durch die klimatischen Bedingungen und durch die Marktlage der industriellen Zentren, die die günstigsten Transportmöglichkeiten boten, beeinflusst. Starke Temperaturunterschiede zwischen heissen Tagesstunden und kalten Wüstennächten waren zu berücksichtigen und zu kompensieren. Dieser extreme Fall erforderte mehr als sonst ein äusserst intensives Durchdenken, experimentellen Wagemut und eine Kombination aller bis jetzt bekannten technischen Mittel, um das Dasein für Menschen nicht nur erträglich, sondern auch angenehm und komfortabel zu machen. Bauholz konnte in verschiedenen Stärken verwendet werden, da die trockene Luft dieses konserviert; sie greift auch Metalle wenig an. Pigmente jedoch bleichen schnell aus, und die Strahlung erweicht und zerstört Asphaltmaterial. Deshalb wurde das Dach mit kleingesplittertem Keramikmaterial gedeckt, das wie Schnee reflektiert. Zur Isolierung der in Trockenbauweise aus genormten Elementen errichteten Wände und Decken wurde «Infra-Accordion», eine doppelt gerichtete Falz-Isolierung verwendet. Eine grosse Kühlanlage führt in den heissen Tagesstunden durch eingebettete Kupferschlangen Kaltwasser unter alle Böden innerhalb und ausserhalb des Hauses, so dass ein Barfussgehen in den Patios und um den Schwimmteich herum stets möglich ist. Bei stark sinkender nächtlicher Temperatur stellt das Kühlaggregat auf eine thermostatisch gesteuerte Warmwasserheizung um, so dass nicht nur die Innenräume angenehm temperiert sind, sondern auch die Sitzplätze rings um das Haus in seiner nächsten Nähe infolge der Bodenwärme ein Verweilen bis in die späten Abendstunden gestatten. Durch ein weitverzweigtes Bewässerungssystem ist das ganze das Wohnhaus umgebende Land in eine von reichem Blumenflor gerahmte grüne Oase umgewandelt worden. Das abends unter Wasser erleuchtete Schwimmbad erhält dauernd Zufluss von geklärtem und erwärmtem Wasser. Rich. Heyken

Moderner Talsperrenbau in Italien

DK 627.82(45)

Von Dott. Ing. CLAUDIO MARCELLO, Mailand [1])

I. Bestehende italienische Talsperren

In Italien bestehen heute meines Wissens 176 Talsperren mit einer Höhe von mehr als 10 m; dazu kommen etwa 30 Objekte von geringerer Bedeutung. Die beiden Tabellen 1 und 2 geben eine Uebersicht über diese Bauwerke [2]), die nach Ausführungsart, Höhe und Zeit der Erstellung geordnet ist.

Der am häufigsten angewendete Talsperrentyp ist die massive Gewichts-Staumauer; sie ist durch 109 Objekte (62 % der Gesamtzahl) vertreten, von denen neun über 60 m hoch sind; als höchste ist die Staumauer Salto im Einzugsgebiet des Tiber (Provinz Rom) mit einer Höhe von 104 m über Fundamentsohle zu nennen. Es folgen die Bogenstaumauern, deren Zahl gegenwärtig 23 beträgt. Die im Jahre 1948 fertiggestellte Staumauer Lumiei ist mit 136 m Höhe über Fundamentsohle das höchste Bauobjekt dieses Typus. Die Staumauern in Trockenmauerwerk (nicht zu verwechseln mit geschütteten Steindämmen, eine Bauweise, die bis heute in Italien nicht angewendet wurde) sind durch 17 Objekte vertreten, von denen acht vor dem Jahre 1924 gebaut wurden; die höchsten sind die je 38 m hohen Staumauern Piana dei Greci bei Palermo und Gela, beide in Sizilien.

Von den zehn Gewölbereihen- und Platten-Staumauern ist die 73 m hohe Talsperre am Tirso auf Sardinien, die den 420 Mio m³ fassenden Speichersee Omodeo staut, die bedeutendste. Der wichtigste der neun Erddämme von mehr als 10 m Höhe ist der 25 m hohe Damm des Stausees Nocelle am Arvo in Calabrien.

Von den vier gegenwärtig bestehenden Gewichtsstaumauern in aufgelöster Bauweise, die in den letzten zehn Jahren erstellt wurden, sind die bedeutendsten die 63 m hohe Staumauer Scais (Veltlin/Sondrio) und die fast gleich hohe Staumauer Bau Muggeris im Einzugsgebiet der Flumendosa (Sardinien). Ein fünftes Objekt nach diesem Mauertyp, das an Grösse die vorstehenden übertrifft, steht vor der Vollendung, nämlich die fast 90 m hohe Staumauer S. Giacomo di Fraele im Adda-Gebiet (Provinz Sondrio) mit einer Betonkubatur von rd. 600 000 m³.

Tabelle 1. Wichtigste bestehende Talsperren in Italien
Stand Ende 1949, geordnet nach Typ und Zeit der Erstellung

Erstellungszeit	Anzahl bzw. prozentualer Anteil								
	Massive Gewichtsstaumauern	Aufgelöste Gewichtsstaumauern	Bogenstaumauern	Bogengewichtsstaumauern	Gewölbereihen oder Plattenstaumauern	Staumauern in Trockenmauerwerk	Erddämme	Kombinierte Talsperren	Total
Vor 1900	4	—	—	—	—	—	2	—	6
Von 1900 bis 1914 .	11	—	3	—	—	—	1	—	15
Von 1915 bis 1924 .	22	—	6	—	4	8	3	2	45
	49%		13%		9%	18%	7%	4%	100%
Von 1925 bis 1935 .	55	—	8	—	6	8	3	—	80
	69%		10%		7%	10%	4%		100%
Von 1936 bis 1949 .	17	5	6	1	—	1	—	—	30
	59%	17%	21%	3%		3%			100%
Total Anzahl. . .	109	5	23	1	10	17	9	2	176
Prozentualer Anteil	62%	3%	13%	—	6%	10%	5%	1%	100%

Tabelle 2. Wichtigste bestehende Talsperren in Italien
Stand Ende 1949, geordnet nach Typ und Höhe der Talsperre

Höhe der Talsperre	Anzahl								
	Massive Gewichtsstaumauern	Aufgelöste Gewichtsstaumaurn	Bogenstaumauern	Bogengewichtsstaumauern	Gewölbereihen oder Plattenstaumauern	Staumauern in Trockenmauerwerk	Erddämme	Kombinierte Talsperren	Total
Bis 30 m	58	1	7	—	4	14	9	1	94
30 m bis 50 m . .	30	1	12	—	5	3	—	—	51
50 m bis 70 m . .	15	2	1	—	1	—	—	1	20
70 m bis 90 m . .	5	1	2	—	—	—	—	—	8
Ueber 90 m . . .	1	—	1	1	—	—	--	—	3
Total	109	5	23	1	10	17	9	2	176

[1]) Uebersetzung des von Dott. Ing. *C. Marcello* auf Einladung der Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau des S. I. A. am 17. Dezember 1949 in der ETH gehaltenen Vortrages «Barrages modernes en Italie».

[2]) Tabelle 1 stammt aus einem kleineren Bericht, den ich vor wenigen Monaten dem Kongress der UNIPEDE in Brüssel vorgelegt habe.

Sozusagen alle italienischen Talsperren wurden im Gebirge erstellt, einige in beträchtlichen Höhenlagen, wie z. B. die massive Gewichtsstaumauer Lago della Rossa (Einzugsgebiet der Stura di Viù, Piemont) auf 2700 m ü. M., die Staumauer Careser mit 190 000 m³ Beton (Noce-Gebiet, Provinz Trento) auf 2600 m und die Staumauer Goillet (Valtournanche) auf 2500 m ü. M.

II. Im Bau befindliche italienische Talsperren

Die im Herbst 1949 im Bau befindlichen 25 italienischen Talsperren verteilen sich folgendermassen auf die einzelnen Typen: neun massive Gewichtsstaumauern, fünf aufgelöste Gewichtsstaumauern, sieben Bogenstaumauern, eine Bogengewichts-Staumauer, eine Staumauer in Trockenmauerwerk und zwei Erddämme.

Aus diesen Angaben erkennt man die fortschreitende Abkehr vom Gewichtsstaumauer-Typ, die in Italien schon in den Jahren 1915 bis 1924 einsetzte, während der nachfolgenden 15 Jahre aber einen Stillstand erlitt infolge einer Misstrauenskampagne, die nach dem Bruch der Gewölbereihen-Staumauer am Gleno gegen jeden anderen Staumauertyp als den massiven Gewichtstyp ausgelöst wurde. Diese Kampagne liess u. a. die massgebende Tatsache ausser acht, dass der Bruch der Gleno-Staumauer*) nicht dem dort angewendeten Staumauertyp zuzuschreiben war, sondern der mangelhaften Ausführung des Betonpfropfens, der die tiefeingeschnittene Schlucht ausfüllte und auf den einer der Gewölbe-Stützpfeiler zu stehen kam. Ausgehend von einer mehr statistischen Betrachtungsweise von offensichtlich geringem Wert kam diese Kampagne in verschiedenen Veröffentlichungen zum Ausdruck, welche die Tatsache mit jener systematischen Einseitigkeit darlegten, die allzu leidenschaftliche Verfechter einer Idee oft kennzeichnet.

Der zeitliche Abstand und die Forschungen kompetenter Fachleute haben allmählich zu einer klareren Beurteilung dieser Fragen geführt, so dass man in den letzten zehn Jahren in Italien neben der Erstellung von massiven Gewichtsstaumauern zum Bau von Bogen- und Kuppel-Staumauern, von Gewichts-Staumauern in aufgelöster Bauweise, von Staumauern in Trockenmauerwerk und zur Schüttung von Erddämmen geschritten ist. Die Technik im Talsperrenbau erstrebt in Italien wie andernorts eine bessere Ausnützung der verwendeten Baustoffe und ihrer charakteristischen Eigenschaften, eine bessere Anpassung der Berechnungsmethoden an die tatsächliche Wirkungsweise der Bauart, eine immer genauere Erfassung sekundärer Einflüsse, wobei wohlverstanden aber jede Verminderung der Sicherheit dieser wichtigen Bauten der modernen Ingenieurkunst vermieden werden muss.

III. Anwendungsbereich verschiedener Talsperren-Typen

A. Ueberblick

Zunächst soll der Anwendungsbereich der verschiedenen Talsperren-Typen beim gegenwärtigen Stand der Technik und unter besonderer Berücksichtigung der italienischen Verhältnisse in grossen Zügen umschrieben werden. Ich werde mich dabei ausschliesslich auf die klassischen und wenigstens in Italien am meisten angewendeten Typen beschränken: auf den Gewichtstyp und auf den Bogentyp, sowie auf verwandte Konstruktionen. Natürlich können in vielen Fällen die morphologischen, geologischen und wirtschaftlichen Verhältnisse die Anwendung anderer Typen angezeigt erscheinen lassen.

Staumauer-Konstruktionen mit Gewölbe-Reihen oder -Platten wurden in Italien mehrfach angewendet, beispielsweise bei der bereits eingangs erwähnten grossen Tirso-Staumauer. Diese Typen, die günstige Felsverhältnisse für die Fundierung voraussetzen, sind ziemlich viel teurer als ihr verringertes Mauervolumen erwarten liesse, da sie eine besonders sorgfältige Ausführung verlangen. In den alpinen Regionen ist die Gefährdung durch Frosteinwirkungen für diese Typen grösser als für andere. Diese Bauweisen scheinen zu Gunsten der neueren Gewichtsmauern in aufgelöster Bauweise mehr und mehr zurückzutreten.

Ferner sind noch die Fälle zu erwähnen, bei denen die geologischen Verhältnisse die Anwendung von *Staumauern in Trockenmauerwerk oder von Erddämmen* vorteilhaft oder möglich erscheinen lassen; hierbei sind jedoch oft wirtschaftliche Erwägungen entscheidend, namentlich dann, wenn die erforderlichen Materialien nicht in der Nähe der Baustelle zu finden sind. Von beiden Typen gibt es in Italien bedeutende und interessante Beispiele; sie wurden bereits vor langer Zeit angewendet, zeigen aber, trotz ihres hohen Alters, noch keine Schwächezeichen. Sie sind in Italien auch noch kürzlich angewendet worden.

Ein Typ, der in Italien gar keine Anwendung gefunden hat, ist, wie bereits erwähnt, der geschüttete Steindamm. Abgesehen davon, dass solche Dämme im bestehenden italienischen Reglement für Talsperren nicht berücksichtigt sind, darf angenommen werden, dass in Italien auch in Zukunft die Möglichkeit ihrer vorteilhaften Anwendung kaum besteht.

Die häufigsten Konstruktionen sind, wie erwähnt, die *Gewichtsstaumauern* und die *Bogenstaumauern*. Bei der Wahl des Staumauertyps sind zweifelsohne die wirtschaftlichen Ueberlegungen im weitesten Sinne ausschlaggebend, wohlverstanden mit der selbstverständlichen und ausdrücklichen Bedingung, dass die Sicherheit darunter nicht leide. Bei derartigen wirtschaftlichen Ueberlegungen im weitesten Sinne sind nicht nur die ersten Anlagekosten, sondern die praktisch unbegrenzte Lebensdauer zu berücksichtigen, die der Projektverfasser für ein solches Bauwerk zu erreichen bestrebt sein muss.

Nach meiner Meinung wird beim gegenwärtigen Stand der Technik des Talsperrenbaues der objektiv urteilende Projektverfasser, der sich nicht von Neuerungs- oder Rekordsucht leiten lässt, bei den Gegebenheiten der Natur jeder Sperrstelle nach grundsätzlichen wirtschaftlichen Ueberlegungen den geeignetsten Talsperrentyp finden. Ich glaube nun, behaupten zu dürfen, dass die *massive Gewichtsstaumauer* künftig in den meisten Fällen durch Pfeiler- oder aufgelöste Staumauern oder durch Bogengewichts-Staumauern ersetzt werde. Ich bin ferner der bestimmten Auffassung, dass ganz allgemein betrachtet die massive Gewichtsstaumauer nur bei Sperrstellen anzuwenden sei, die eine geradlinige oder gebrochene Mauerflucht erfordern, und zwar nur in Fällen sehr kleiner (bis etwa 15 bis 20 m) oder sehr grosser Staumauerhöhen (mehr als 120 bis 130 m). Die andern Fälle sollten dem Anwendungsbereich der aufgelösten Bauweise verschiedener Ausführungsarten (mit Aussparungen oder Pfeilern) oder den Gewölbereihen- oder Platten-Staumauern vorbehalten bleiben.

Die Bogenstaumauern können praktisch bei beliebiger Mauerhöhe an Stelle der Gewichtsstaumauern in massiver oder aufgelöster Bauweise treten, sofern die topographischen und geologischen Verhältnisse deren Vorteile auszunützen gestatten. Nachfolgend betrachten wir einzeln die grundlegende Charakteristik dieser Staumauertypen.

B. Die Staumauern in aufgelöster Bauweise

Dieser Typ hat zwei Vorgänger, nämlich: Die von Figari Ende 1900 vorgeschlagene Gewichtsstaumauer mit Aussparungen und die vom schweizerischen Ingenieur Noetzli entworfene Pfeilerstaumauer. Die verschiedenen, heute bestehenden Staumauern in aufgelöster Bauweise stellen Abarten dieser zwei Typen dar.

1. *Die Vorteile*, die diese Typen gegenüber den massiven Gewichtsstaumauern aufweisen, sind hauptsächlich folgende:

a) die Ermässigung und bei gewissen Ausführungsarten die nahezu vollständige Eliminierung des Sohlenwasserdrucks (Auftrieb) und des Porenwasserdrucks und damit auch vieler Bedenken und Unsicherheiten über das wirkliche statische Verhalten des Bauwerks; ferner ist der bessere Frostschutz des Betons zu erwähnen, ein Argument von besonderer Tragweite, speziell bei Staumauern, die starken klimatischen Schwankungen ausgesetzt sind. Es gibt kein Drainagesystem von gleich guter Wirkung[3]) wie die Hohlräume zwischen den

*) Ausführlich dargestellt durch *Gruner* und *Stucky* in SBZ Bd. 83, S. 63* ff. (1924).

[3]) Die experimentelle Bestimmung des vorhandenen Sohlenwasserdrucks bei den Pfeilerstaumauern Trona, Inferno und Bau Muggeris hat die drainierende Wirkung der Hohlräume vollkommen bestätigt. Von zehn in der Tronastaumauer eingebauten Druckmessern haben nur drei in unmittelbarer Nähe der wasserseitigen Staumauerflucht einen Sohlenwasserdruck angezeigt. Die unter den Strebepfeilern installierten Piezometer zeigten überhaupt keinen Sohlendruck an, und auch die zahlreichen, in verschiedenen Höhen der Tronastaumauer eingebauten Einrichtungen zur Messung des Porenwasserdruckes ergaben keine Durchfeuchtung des Pfeilerbetons. Gleichartige Untersuchungen erfolgten bei der Staumauer Inferno, wo die installierten Piezometer ebenfalls keinen Sohlendruck verzeichneten. Auch bei der kürzlich fertiggestellten Staumauer Bau Muggeris in Sardinien, wo von 39 in der Fundamentsohle verteilten Piezometern nur die sechs auf der Sohle des wasserseitigen Mauersporns gelegenen einen Druck anzeigten, blieben die auf der ganzen Fundamentfläche der Pfeiler verteilten Piezometer trocken.

Pfeilern; selbst bei der Annahme horizontaler, vollständig zusammenhängender Felsschichten im Fundament ist doch zu bedenken, dass kein Fels frei von Klüften ist, und dass deren drainierende Wirkung durch am Umfang des Pfeilers abgeteufte Bohrlöcher leicht verstärkt werden kann;

b) die leichte Abführung der Abbindewärme des Zements;

c) die Einsparung an Betonvolumen und damit je nach Konstruktionstyp eine grössere oder kleinere Ersparnis an Baukosten und Bauzeit. Man muss sich jedoch vergegenwärtigen, dass die Einheitskosten einer Pfeilerstaumauer oder einer Staumauer mit Aussparungen, je nach Bauweise, stark variieren können. Aus einem eingehenden Vergleich verschiedener nichtarmierter Staumauertypen ergaben sich Einheitskosten pro m³ Beton, die das 1,02 bis 1,50 fache der Einheitskosten massiver Gewichtsmauern betragen. Ausnahmen sind aber möglich, und es kann trotz Materialersparnis sogar eine Kostenvermehrung eintreten.

Die Faktoren, die das Verhältnis der Betoneinheitskosten einer massiven Gewichtsstaumauer zu denen einer aufgelösten Staumauer beeinflussen, sind folgende:

α) Schalfläche; ihr Ausmass, bezogen auf den m³ Mauerbeton, kann im Verhältnis von 1 bis über 4 [4]) variieren; von Einfluss ist auch ihre mehr oder weniger grosse Einheitlichkeit;

β) horizontale Betonierfläche und deren geometrische Form (sowohl Grösse als auch Form der Betonierfläche beeinflussen die Betonierzeit);

γ) die allfällige Erhöhung der Zementdosierung für jene Staumauertypen, die bedeutend höhere Spannungen im Mauerbeton aufweisen als Massivmauern.

2. Die grossen und unbestreitbaren Vorteile der praktischen Ausschaltung des Sohlenwasserdrucks im Bereich der Pfeiler und der luftseitigen Abschlüsse sowie die Kosteneinsparungen können durch die Nachteile, die man der *Diskontinuität der Fundation* zuschreiben will, nicht vermindert werden; diese Diskontinuität ist mehr oder weniger allen Staumauern, ja allen Baukonstruktionen eigen. Diese Frage erweckt daher keine besonderen Bedenken.

Die Erfahrung mit ungezählten Bauwerken zeigt, dass die Diskontinuität keine nachteiligen Folgen hat. Die Bauabteilung im Gruppo Edison hat eine theoretische Studie über die Spannungsverteilung in einer Halbebene durchgeführt, auf die in Streifen angeordnete Belastungen einwirken. Dabei wurde als Spezialfall die «Welle» dieser Belastung als Rechteck angenommen [5]).

Bild 1 zeigt den Verlauf der Hauptspannungs-Trajektorien, deren Form sowohl unter der belasteten als auch unter der unbelasteten Zone identisch ist, selbstverständlich abgesehen davon, dass die Grösse der Spannungen mit zunehmender Tiefe unter den belasteten Zonen vom Maximalwert zum Mittelwert abnimmt, unter den unbelasteten Zonen von 0 bis zum Mittelwert zunimmt. Man erkennt den sehr regelmässigen Verlauf der Kurven und ihre charakteristische Form eines «umgekehrten Bogens». Dieser ist statisch betrachtet effektiv vorhanden, und zwar unter den entlasteten Zonen, wo die Spannungen nach der Tiefe hin zunehmen.

Eine besondere Betrachtung erfordert das Grenzgebiet zwischen der belasteten und der unbelasteten Zone. Dieses Gebiet der Diskontinuität hat nur geringe Ausdehnung und ist leicht mit den üblichen konstruktiven Anordnungen (Fundamentabsätze, Abtreppungen in der Fundamentfläche) zu überbrücken. Der Verlauf der Hauptspannungs-Trajektorien lässt auch die für die Ausbildung der Fundamentfläche zweckmässigste Form erkennen, so dass man die Wirkung des «umgekehrten Bogens» unter den entlasteten Zonen verbessern kann. Die Untersuchung hat gezeigt, dass in einer begrenzten Zone beim Belastungsübergang die grösste Scherspannung etwa 60 % der mittleren Belastung beträgt (oder 30 % der maximalen Belastung, unter der Annahme, dass die Breiten der belasteten und unbelasteten Zonen gleich sind). Dieser Wert ist ohne weiteres tragbar, namentlich wenn man bedenkt, dass das daraus entstehende Gleiten, so klein es auch sei, das Auftreten von ansehnlichen Reibungskräften bewirkt.

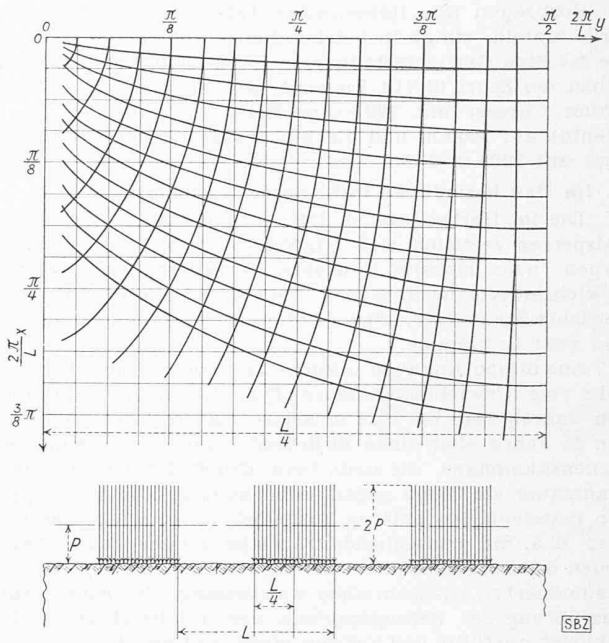


Bild 1. Beanspruchung des Untergrundes einer Staumauer in aufgelöster Bauweise. Unten Belastungs-Schema, oben Hauptspannungs-Trajektorien

Die Rechnung zeigt auch, dass in der Diskontinuitätszone horizontale Druckspannungen von der Grössenordnung der vertikalen Druckspannungen auftreten. Es erübrigt sich zu bemerken, dass auch eine nur bescheidene Auswirkung der Plastizität des Materials genügt, um an diesen einzelnen Stellen eine Kontinuität im elastischen Verhalten zu sichern. Es ist in der Tat leicht zu verstehen, dass das plastische Anpassungsvermögen der Konstruktionsmaterialien, namentlich des frischen Betons, eine Verteilung der Lasten erzeugt, welche die mathematisch ermittelte Diskontinuität zu eliminieren geeignet ist. Der theoretisch berechnete Spannungszustand, der an sich schon keinen Anlass zu besonderen Befürchtungen gäbe, ist deshalb viel ungünstiger als der wirklich eintretende Zustand.

Erfahrungsgemäss haben die Beanspruchungen im Bereich der Pfeilerfluchten (die grösser als die durch das Trapezgesetz angegebenen sind), wegen der Elastizität des Felsuntergrundes bei den ausgeführten Staumauern nie nachteilige Wirkungen gezeigt, und zwar aus folgenden Gründen: Angenommen, die ganze Staumauer würde ausserhalb der Baugrube vorher erstellt und dann auf ihre Fundationsfläche gesetzt, so würden sich diese Beanspruchungen in ihrem ganzen Ausmass einstellen und könnten Beschädigungen sowohl am Staumauerkörper als auch im Fels hervorrufen. Die Erstellung der Staumauer erfordert aber eine genügend lange Zeit, um die Wirkung jener Plastizität namentlich des Betons hervorzurufen, die massgebend zum Ausgleich der Spannungen beiträgt.

3. Eine gewisse Unsicherheit in der *Beurteilung des Spannungsverlaufs* stellt sich dann ein, wenn die Fundationsfläche eines Hohlkörper-Blockes in der Querrichtung (Mauerlängsrichtung) stark geneigt ist. Man kann sich in der Tat fragen, ob dessen unsymmetrische Form in bezug auf die Mittelebene zwischen den Pfeilern Scherspannungen hervorrufe, die dort am grössten werden müssten, wo der Querschnitt wegen des Hohlraums die kleinsten Abmessungen aufweist.

---

[4]) Man muss sich dabei vergegenwärtigen, dass das Einbringen des Betons bei einer massiven Gewichtsmauer in Blöcken von etwa 10×10 m erfolgt.

[5]) Es stellte sich das Problem, die Spannungen in einem homogenen, isotropen Untergrund zu bestimmen, hervorgerufen durch eine an der Oberfläche wirkende diskontinuierliche, rechteckförmige Lastverteilung, und zwar so, dass auf einer gewissen Strecke von der Länge l die Belastung 0, auf der nachfolgenden Strecke gleicher Länge die gleichmässig verteilte Belastung $2p$ betrage usf. Die mittlere Belastung ist infolgedessen p, aber nach einem periodischen rechteckigen Belastungsdiagramm verteilt, schwankend zwischen 0 und $2p$. Die Lösung des Problems wird durch die Entwicklung einer Fourier'schen Reihe erhalten, ausgehend von der Ueberlegung, dass für eine sinusförmige Belastung von der Form

$$p = p_0 \sin(\omega \cdot y)$$

(y = Abszisse; $-x$ = Ordinate) folgende Spannungsfunktion resultiert:

$$\Phi = p_0 \frac{\omega x + l}{\omega^2} \sin(\omega \cdot y)\, e^{-\omega x}$$

wovon man ableiten kann:

$$\sigma_x = \frac{\delta^2 \Phi}{\delta x^2};\quad \sigma_y = \frac{\delta^2 \Phi}{\delta y^2};\quad \tau = -\frac{\delta^2 \Phi}{\delta x\, \delta y}$$

Tatsächlich wurden bei den bereits bestehenden italienischen Staumauern, unter denen auch solche mit stärkeren Abtreppungen in der Fundationsfläche vorkommen, solche Befürchtungen nicht bestätigt. Man hat keine Risse oder Wasserdurchsickerungen beobachtet, die auf eine nachteilige Wirkung der Beanspruchung der abgetreppten Blöcke schliessen liessen. Es ist eben zu bedenken, dass sich die Scherkräfte infolge des Eigengewichts, des Schwindens und von Temperaturänderungen in einem Horizontalschnitt des Bauwerks gegenseitig aufheben müssen. Das Scherkraft-Diagramm besitzt den Nullpunkt in der Axe des Schnittes, wenn die Konstruktion symmetrisch ist, weicht aber auch nicht stark ab, wenn die Konstruktion Abtreppungen in der Fundationsoberfläche aufweist.

In dieser Hinsicht ist es interessant zu vermerken, dass das selbe Phänomen auch längs eines Querschnitts einer dreieckförmigen Staumauer vorkommt, die definitionsgemäss eine unsymmetrische Konstruktion darstellt, was im klassischen Buch von Tölke ausführlich dargelegt wird. Desgleichen hat die Unsymmetrie des Wasserdrucks keine nachteilige Wirkung auf das Gleichgewicht der abgetreppten Blöcke. In Anbetracht des grossen Trägheitsmomentes der Horizontalschnitte sind die Verformungen durch den hydrostatischen Druck tatsächlich sehr klein und haben nie Anlass zu Scherspannungen gegeben; Beschädigungen, die einer solchen Ursache zugeschrieben werden könnten, sind uns nicht bekannt.

Ein aufgelöster Staumauerblock des zur Sprache stehenden Typs hat übrigens eine Masse, welche die Spannungen aufzunehmen und auf eine Art zu verteilen in der Lage ist, dass die Deformationsarbeit ein Minimum wird, lange bevor es an irgend einem Punkt zu unzulässigen Spannungen kommt; man muss sich anderseits vergegenwärtigen, dass es sich hier immer um eine Konstruktion handelt, deren Wirkung auf ihrem Gewicht beruht.

Ferner darf man nicht glauben, dass bei einem hohlen Mauerblock die der Scherkraft widerstehenden Flächen zu gering seien. In neueren Konstruktionen dieses Typs (mit Höhen von etwa 60 m) beträgt die wirksame Querschnittsfläche im mittleren Vertikalschnitt (Symmetrieebene des Pfeilerelementes) etwa $0{,}77\,bh$, im Fundament für den halben Block etwa $0{,}50\,bh$, wobei h die Stauhöhe und b die halbe Breite eines Blocks bezeichnen. Gesamthaft ist also die Kontaktfläche eines halben Blocks (mit dem anliegenden halben Block und der Fundierung) $1{,}27\,bh$. Da der hydrostatische Druck $bh^2/2$ beträgt, berechnet sich das Verhältnis T zwischen dem hydrostatischen Druck und den genannten Flächen zu $h/2{,}54$. Für $h = 60$ m erhält man beispielsweise $T = 2{,}3$ kg pro cm². Als mittlerer Wert der Scherspannungen scheint diese Zahl keine Besorgnisse zu wecken, auch wenn ihr Betrag in der Nähe der geneigten Fundamentsohle sich merklich erhöhen sollte, wo übrigens die Stärke der Pfeilerköpfe grösser ist als erforderlich.

Ich bin diesbezüglich überzeugt, dass sich bei anderen Staumauern leichterer Bauart bedeutend grössere Scherspannungen feststellen lassen.

4. *Ein neuer Staumauertyp in aufgelöster Bauweise.* In der Absicht, die Einheitskosten der Pfeilerstaumauer so stark als möglich denjenigen der massiven Gewichtsstaumauer zu nähern und die statischen Vorteile dieser Bauweise zu vergrössern, habe ich im Jahre 1939 einige aufgelöste Staumauer-Typen studiert. In den Kriegsjahren wurden auf Grund dieser Untersuchungen die Talsperren Trona und Inferno erstellt und anschliessend im Jahre 1941 die Staumauer Sabbione projektiert, die sich gegenwärtig im Bau befindet. Ferner habe ich diesen Typ im Jahre 1947 auch bei der Staumauer Bau Muggeris in Sardinien angewendet.

Die allgemeinen Merkmale der neuen Bauweise sind aus den Bildern der letztgenannten Staumauer ersichtlich, die später folgen. Die Talsperre besteht aus 22 m breiten Hohlblöcken mit einer Neigung der beiden Staumauerfluchten von ungefähr 1 : 0,45. Ausser den Merkmalen, die auch den anderen aufgelösten Staumauertypen eigen sind, zeichnet sich diese Bauart durch eine besondere Stabilität gegen Gleiten und eventuelle Beanspruchungen in der Querrichtung aus, da jeder Block nach allen Richtungen ansehnliche Trägheitsmomente aufweist.

Im Vergleich zur Massivmauer verlangt dieser Staumauertyp keine höhere Zementdosierung, da die Betonbeanspruchungen nur ungefähr 10 % grösser sind. Dabei ist zu bedenken, dass bis zu einem gewissen Grad die Zementbeigabe keineswegs durch die Beanspruchungen, sondern durch die für die Staumauer zu garantierende Lebensdauer bestimmt wird. Es ist selbstverständlich keine Eisenarmierung vorgesehen, und die Form der Blöcke und ihrer Hohlräume ist so gestaltet, dass die Schalungen mehrfach verwendet werden können. Auf Grund von Offerten, die von verschiedenen Unternehmungen für den Bau von solchen bereits konstruierten oder im Bau befindlichen Mauern eingereicht wurden, kann man nachweisen, dass der Einheitspreis des Betons nur 2 bis 3 % höher ausfällt als für den Beton einer massiven Gewichtsstaumauer. Die erzielbare Einsparung an Betonvolumen im Vergleich zur massiven Gewichtsmauer ist auf Bild 2 dargestellt.

C. Bogen- und Bogengewichts-Staumauern

Solche Mauertypen können in vorteilhafter Weise die massiven Gewichtsstaumauern ersetzen, wenn die von diesem Konstruktionstyp verlangten geometrischen Bedingungen durch die topographischen Gegebenheiten der Sperrstelle erfüllt und die geologischen Verhältnisse besonders günstig sind[6]).

In Italien sollen künftig diese Typen durch die Beziehung

$$P = \frac{H^2}{Br}$$

gekennzeichnet werden, worin H die Höhe der Staumauer, B die Mauerstärke an der Basis und r den mittleren Bogenradius bedeuten. Es wird vorgeschlagen, jene Staumauern als massiv zu bezeichnen, bei denen die Verhältniszahl P kleiner ist als 0,5, als Bogengewichts-Staumauern jene, bei denen der Wert P zwischen 0,5 und 8,0 schwankt und als Bogenmauern jene, bei denen P grösser als 8,0 ist.

Die ersten Beispiele von Bogengewichts-Staumauern, bei denen man bewusst die Konsolwirkung berücksichtigte, sind jene von Gibson, Owhee und Deadwood, die in den Jahren 1926 bis 1932 in den USA gebaut worden sind. Die kürzlich fertiggestellte Staumauer Pieve di Cadore am Piave stellt die erste derartige Ausführung in Italien dar.

[6]) Man kann sich eine Bogenmauer ideell in Ringe und Konsolen aufgeteilt denken, wobei sich die Wasserdruck-Belastung auf diese beiden Elemente verteilt. Bei Bogengewichts-Staumauern überwiegt die Konsolwirkung gegenüber der Bogenwirkung.

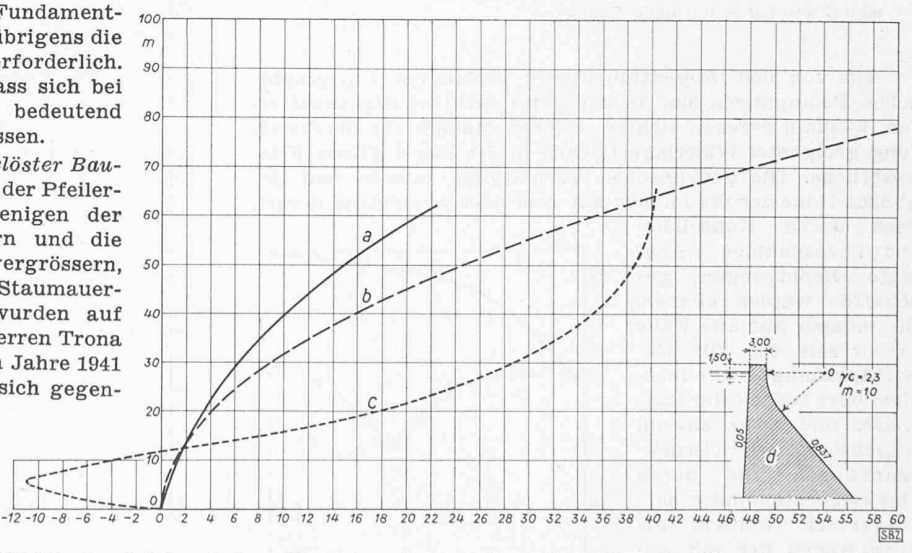


Bild 2. Vergleich zwischen den Betonvolumina eines Elementes einer Staumauer in aufgelöster Bauweise Typ «Bau Muggeris» und eines gleich breiten Elementes einer massiven Gewichtsstaumauer. Ordinate: Mauerhöhe bis Stauspiegel in m; Abszisse: Betonvolumen in 1000 m³ (für Kurven *a* und *b*), bzw. prozentuale Einsparung (für Kurve *c*).

a Volumen der Staumauer in aufgelöster Bauweise Typ «Bau Muggeris» (ein Block von 22 m Breite)

b Volumen der massiven Gewichts-Staumauer gemäss dargestelltem Typ (Breite 22 m)

c Prozentuale Einsparung an Betonvolumen der Staumauer in aufgelöster Bauweise gegenüber *a*

d Normalschnitt der massiven Gewichtsmauer

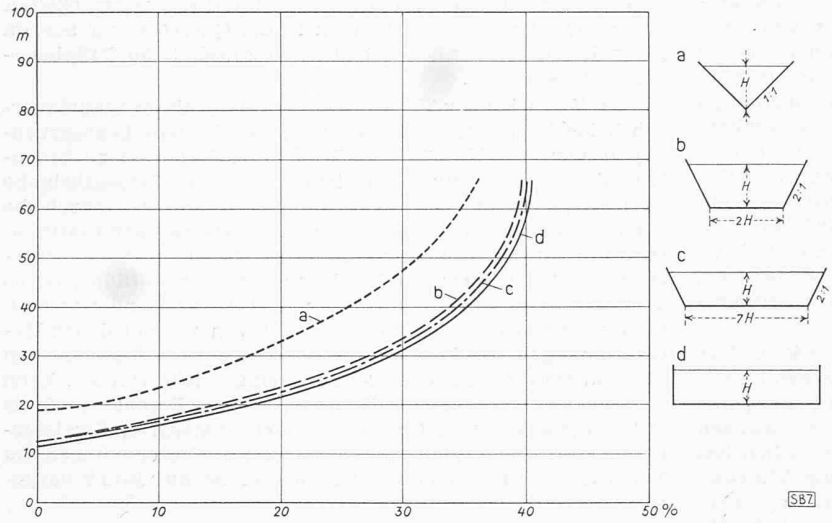


Bild 3. Erzielbare Einsparung an Betonvolumen bei Anwendung einer Staumauer in aufgelöster Bauweise, Typ «Bau Muggeris», im Vergleich zu einer gleich hohen, massiven Gewichts-Staumauer bei verschiedenen Talprofilen (*a, b, c, d*)
Ordinate: Mauerhöhe bis Stauspiegel in m; Abszisse: Prozentuale Einsparung für die aufgelöste Staumauer

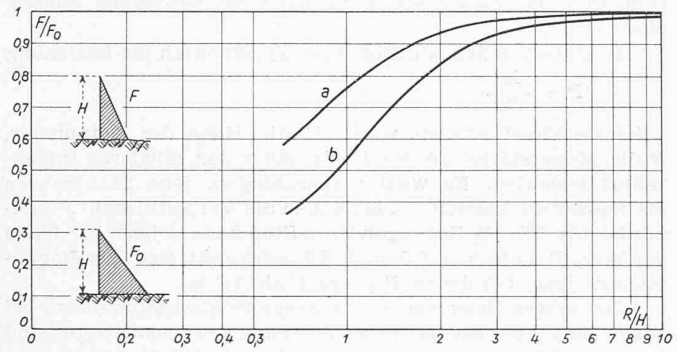


Bild 4. Vergleich zwischen Bogengewichts-Staumauer und massiver Gewichtsstaumauer.
Ordinate: Verhältnis der Querschnittsflächen F/F_0;
Abszisse: Verhältnis R/H nach Tölke (R Krümmungsradius im Schwerpunkt des Mauerquerschnitts, H Höhe der Staumauer).
F Querschnitt einer Bogengewichts-Staumauer,
F_0 Querschnitt einer massiven Gewichts-Staumauer.
a Verhältnis F/F_0 bei starrem Untergrund ($E = \infty$).
b Verhältnis F/F_0 bei elastischem Untergrund (gleicher Elastizitätsmodul wie bei Beton nach Young)

Die von den *Bogenstaumauern* verlangten topographischen Bedingungen sind in der Natur nicht häufig anzutreffen. Deshalb ergeben sich bei solchen Mauern für die Schaffung geeigneter Widerlagerflächen in der Regel grosse Felsausbrüche. Die geologischen Verhältnisse müssen auf der ganzen Höhe der Staumauer gut sein oder wenigstens derart, dass durch Konsolidierungsmassnahmen günstige Bedingungen geschaffen werden können. Sie müssen auf alle Fälle besser sein als für Gewichtsstaumauern in massiver oder aufgelöster Bauweise, und zwar sowohl wegen der grössern Druckspannungen, die durch eine Bogenstaumauer hervorgerufen werden, als auch wegen der mit abnehmender Höhe geringeren Reduktion der auf die Flanken wirkenden Belastungen.

Die Mängel des Widerlagerfelsens können unter der Berücksichtigung der Kraftrichtung in vielen Fällen mit den modernen Konsolidierungsmassnahmen behoben werden. Dazu sind aber erhebliche Aufwendungen erforderlich, die bei der Wahl des Staumauertyps gebührend berücksichtigt werden müssen. In der Tat beansprucht die Bogenstaumauer die Fundamentzone in einer von der Vertikalen stark abweichenden Richtung, in welcher der Fundationsfels keine Vorbelastung aufweist, wie das in vertikaler Richtung unter der ständigen Wirkung der Auflast der Fall ist.

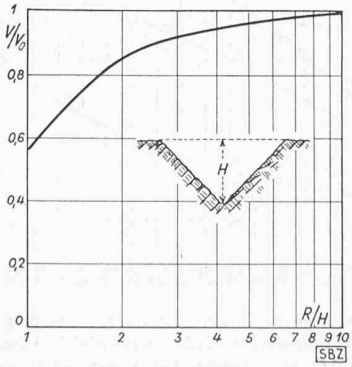


Bild 5. Vergleich zwischen Bogengewichts-Staumauer und massiver Gewichts-Staumauer bei *V*-Profil.
Ordinate:
Verhältnis der Volumina V/V_0;
Abszisse: Verhältnis R/H

In Gegenden, die Erdbeben ausgesetzt sind, muss man schliesslich bedenken, dass die Bogenstaumauer die besten Bedingungen bezüglich Beschleunigungen, die senkrecht zur Bogensehne gerichtet sind, bietet. Nicht gleich günstig verhält sie sich bei Beanspruchungen, die ungefähr parallel der Bogensehne wirken.

Man kann jedenfalls behaupten, dass die Bogenstaumauer ein eng umgrenztes Anwendungsgebiet hat, das aus den Gegebenheiten der Sperrstelle klar ersichtlich ist. Im Falle einer breiten Sperrstelle ist die Entscheidung weniger leicht zu treffen; wo die örtlichen Verhältnisse nicht eine geradlinige oder gebrochene Staumaueraxe verlangen, können Gewichtsstaumauern in massiver oder aufgelöster Bauweise Pfeilerstaumauern oder Bogengewichts-Staumauern in Frage kommen; meistens wird ein wirtschaftlicher Vergleich für die Wahl bestimmend sein.

Nach den Abhandlungen von Tölke müssen bei der Ermittlung der Volumeneinsparung einer Bogengewichtsmauer im Vergleich zu einer massiven Gewichtsmauer für die Konsole der Bogengewichtsmauer die gleichen Bedingungen zugrundegelegt werden wie für die massive Gewichtsmauer. Im besonderen gilt dies sowohl bezüglich der Vermeidung von Zugspannungen, bezüglich des Vorhandenseins gleich grosser maximaler vertikaler Druckspannungen bei gefülltem und leerem Stausee als auch bezüglich der Wirkung des Sohlen- und Porenwasserdrucks.

Diese Annahmen der Amerikaner, die als erste Bogengewichtsmauern projektiert und gebaut haben, werden in der Regel befolgt und scheinen unumstritten zu sein. Die gleiche Meinung wird auch in neuen Schriften amerikanischer Autoren bestätigt. Nimmt man bei beiden Staumauertypen das Dreieckprofil an, so stellt Tölke die Ersparnis eines Quer-

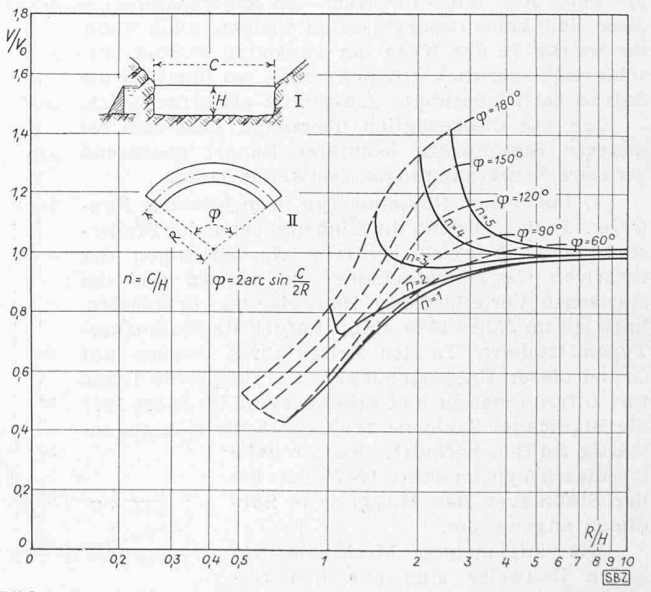


Bild 6. Vergleich zwischen Bogengewichts-Staumauer und massiver Gewichts-Staumauer bei *U*-Profil.
Ordinate: Verhältnis der Volumina V/V_0;
Abszisse: Verhältnis R/H; Parameter: $n = C/H$.
V Volumen der Bogengewichts-Staumauer
V_0 Volumen der massiven Gewichts-Staumauer
R Krümmungsradius der Bogengewichts-Staumauer
I Längsschnitt der Staumauer
II Grundriss der Staumauer

schnitts einer Bogengewichtsmauer im Vergleich zum Querschnitt einer massiven Gewichtsmauer folgendermassen fest: die Ersparnis wächst bei abnehmendem Bogenradius, d. h. je stärker die Wirkung des Bogens bei der Bogengewichtsmauer in Erscheinung tritt. Wenn man aber die Zunahme der abgewickelten Bogenlänge wegen der Krümmung und der notwendigen Formgebung der Widerlager gebührend berücksichtigt, so verringert sich die Ersparnis merklich und kommt sogar ganz in Wegfall, sobald die Breite der Schlucht das Dreifache ihrer Höhe übertrifft oder wenn der Bogenradius ein wenig mehr als das Dreifache der Höhe beträgt.

Die Bilder 3 und 4 zeigen die Beziehung zwischen den Querschnitten, die Bilder 5 und 6 diejenige zwischen den Betonvolumina der massiven Gewichtsmauer und der Bogengewichtsmauer für die obengenannten Grundbedingungen und für verschiedene Annahmen der Schluchtform bei wechselnden Verhältnissen zwischen Radius und Bogensehne.

Das erste Diagramm ist von Tölke übernommen und bezieht sich auf die Wirtschaftlichkeit des Querschnitts einer Bogengewichtsmauer im Vergleich zu einer massiven Gewichtsmauer. Das zweite und dritte Diagramm wurde von uns für die gleichen Annahmen aufgestellt unter Berücksichtigung der Elastizität des Untergrunds für zwei theoretische Talprofile der Sperrstelle, und zwar bei dreieckförmigem (V-) Profil und rechteckigem (U-) Profil, bei letztgenanntem mit verschiedenen Verhältnissen zwischen Höhe und Breite und in Funktion des Volumens, nicht des Querschnitts, der Staumauer. Die aus diesem Diagramm ersichtlichen Angaben müssen vom wirtschaftlichen Gesichtspunkt aus als rohe Annäherung betrachtet werden, weil: a) ein gleicher Beton-Einheitspreis für Staumauern in massiver und aufgelöster Bauweise und für Bogengewichtsmauern angenommen wurde; b) dem für die verschiedenen Bauweisen unterschiedlichen Einfluss des Aushubs und der zur Konsolidierung des Untergrunds erforderlichen Injektionen nicht Rechnung getragen wurde.

Wenn man auf die obengenannten Ausgangsbedingungen für das Gleichgewicht der Konsole verzichten und von der Dreieckform abweichende Mauerprofile anwenden würde, könnte das Anwendungsgebiet der Bogengewichtsmauern bedeutend erweitert werden.

Man muss einerseits festhalten, dass es nicht gerechtfertigt ist, zu weit von jenen Bedingungen abzurücken; anderseits muss man sich vergegenwärtigen, dass jede Komplizierung des Mauerprofils eine grössere Spezialisierung verlangt, die wieder höhere Einheitskosten des Bauwerks verursacht. (Fortsetzung folgt)

Propaganda für Naturstein

DK 691.2

Die Betrachtung der Propagandaschrift «Naturstein» (Heft Nr. 7) der Vereinigung der Schweiz. Naturbaustein-Produzenten, die ich per Post zugestellt erhielt, hat mich so tief berührt, dass ich meine Gedanken dazu mitteilen möchte.

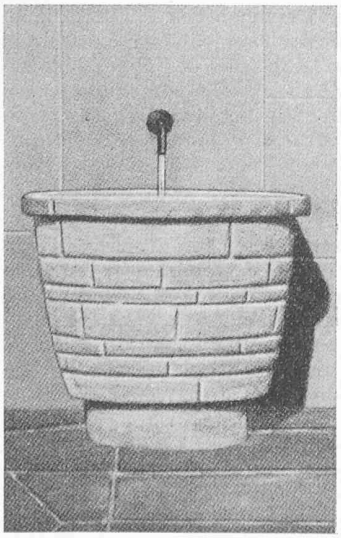
Wenn wohl viele Architekten auf Grund ihres Gefühls, ihrer Schulung und fachlichen Ausbildung dazu kommen, die vorliegende Propagandaschrift und die meisten darin enthaltenen Beispiele als «kitschig» zu bezeichnen, so werden die Herausgeber sich mit dem Argument verteidigen, dass sich über den Geschmack nicht streiten lässt. Dieses leider so viel gebrauchte Schlagwort gilt aber nur ganz beschränkt. Unter anerkannten Fachleuten kann kein Zweifel bestehen: hier handelt es sich um «faule Früchte». Es ist bedenklich, in was für ein schlimmes Fahrwasser die falsch verstandene Anwendung des traditionellen Bauens, des Heimatstiles, gewisse Kreise gezogen hat. Wir sind uns voll bewusst, dass diese «Bauerei», die hier dargestellt ist, 90 % unseres Volkes «gefällt», so wie eben 90 % Gefallen finden an Aeusserlichkeiten und falschem Schein. Das Einfache, Ruhige und Echte wird nur von wenigen verstanden. Diese Schrift ist aber wiederum auch ein Beweis, wie sehr es mit unserem Handwerk unaufhaltsam abwärts geht und wie wenig Verständnis für wirklich gutes Bauen in alter und neuer Zeit vorhanden ist (dazu gehört ja auch die bei uns so im Argen liegende Restaurierungspraxis).

Ohne grösseren Kommentar verweisen wir auf die allerschlimmsten Beispiele dieses Heftes [wovon wir einzelne nachclichieren. Red.]. Seite 10: Hässliche Einbindung von Natursteinen als Kantenschutz in das Mauerwerk; Seite 11: Ebensolche bei Türe und Ecke; Seite 12: Ganz schlimm der Stützensockel mit tellerförmigen Platten und die beiden Erkerpartien; Seite 16: Portal in ganz schlechter Form; Seite 19: Mit Natursteinen «gespickte» Fassade, eine Mode, die heute «grassiert», besonders auch auf dem Lande. Das Haus hat anscheinend Masern!

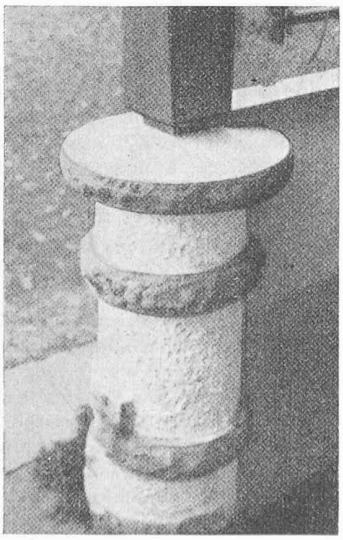
Die Natursteinproduzenten haben mit dieser Publikation dem schweizerischen Bauwesen einen schlechten Dienst erwiesen. Kann Propaganda wirklich nicht auf höherem Niveau stehen? Die «Lignum» hat doch bewiesen, dass auch für den stark mit der Tradition verbundenen Werkstoff Holz auf viel bessere Art und Weise geworben werden kann. Hoffentlich gibt es unter den die Schrift finanziell unterstützenden Firmen solche, die mit der vorliegenden Publikation nicht einverstanden sind. W. Burger

*

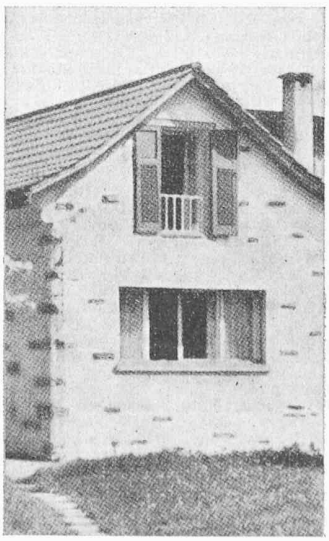
Mit jeder Ueberlegung des Einsenders einverstanden, zögern wir nicht, seine Ausführungen abzudrucken. Gerade weil wir grosse Freunde vermehrter Natursteinverwendung sind, bedauern wir diese Schrift umsomehr und wundern wir uns, dass wohl einige mittelmässige, aber auch gar keine der vielen guten Beispiele dieser Technik aufgenommen wurden. An solchen fehlt es wahrhaftig nicht, und zwar hätte man sie ebensowohl in der traditionsgebundenen wie in der ganz modernen Architektur gefunden (siehe z. B. den amerikanischen Bau in diesem Heft). Wo bleibt denn die Wirkung all der in den Fachblättern (inbegriffen SBZ) schon seit den Dreissiger Jahren geführten Diskussion um das gute Mauerwerk? Warum setzt sich der Produzentenverband des Roh-



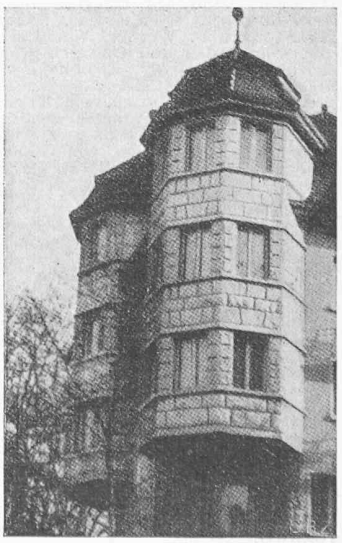
Von Seite 22



Von Seite 12



Von Seite 19



Von Seite 12

Abbildungen aus der Schrift «Naturstein» Nr. 7, Untertitel «Kein Haus ohne Natursteinverwendung»