Zeitschrift: Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 16 (1924)

Heft: 7

Artikel: Probleme des Talsperrbaues in der Schweiz

Autor: Stucky, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920101

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

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

SCHWEIZERISCHE WASSERWIRTSCHAFT

Offizielles Organ des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, sowie der Zentralkommission für die Rheinschiffahrt .·.·.·. Allgemeines Publikationsmittel des Nordostschweizerischen Verbandes für die Schiffahrt Rhein-Bodensee

ZEITSCHRIFT FÜR WASSERRECHT, WASSERBAUTECHNIK WASSERKRAFTNUTZUNG, SCHIFFAHRT

Gegründet von Dr. O. WETTSTEIN unter Mitwirkung von a. Prof. HILGARD in ZÜRICH und Ingenieur R. GELPKE in BASEL

Verantwortlich für die Redaktion: Ing. A. HÄRRY, Sekretär des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, in ZÜRICH 1
Telephon Selnau 3111 .·.·.·. Telegramm-Adresse: Wasserverband Zürich.

Alleinige Inseraten-Annahme durch:
SCHWEIZER-ANNONCEN A. G. - ZÜRICH
Bahnhofstrasse 100 — Telephon: Selnau 5506
und übrige Filialen.
Insertionspreis: Annoncen 40 Cts., Reklamen Fr. 1.—
Vorzugsseiten nach Spezialtarif

Administration und Druck in Zürich 1, Peterstrasse 10
Telephon: Selnau 224
Erscheint monatlich
Abonnementspreis Fr. 18.— jährlich und Fr. 9.— halbjährlich
für das Ausland Fr. 3.— Portozuschlag
Einzelne Nummern von der Administration zu beziehen Fr. 1.50 plus Porto.

No. 7 ZÜRICH, 25. Juli 1924 XVI. Jahrgang

Probleme des Talsperrenbaues in der Schweiz.

Vortrag, gehalten von Dr. ing. A. Stucky, Basel, an der Generalversammlung des Wasserwirtschaftsverbandes in Luzern am 31. Mai 1924.

Die schweizerische Wasser- und Elektrizitätswirtschaft entwickelt sich heute methodisch und bezweckt eine möglichst intensive und rationelle Ausbeutung der großen Wasserkräfte, die uns zur Verfügung stehen. In den Anfangsjahren war die Entwicklung weniger systematisch, weil erst Erfahrungen gemacht werden mußten. Die Talsperren spielen in der neuesten Entwicklung eine Hauptrolle, was den Vorstand des Wasserwirtschaftsverbandes bewogen hat, dem Talsperrenbau in der Schweiz einen Diskussionstag zu widmen.

Die Probleme, die bei einem solchen Bau auftauchen, sind so mannigfaltig, daß ich sie nicht erschöpfend behandeln kann. Ich werde die wichtigsten davon erwähnen und dann der Diskussion es überlassen auf Einzelheiten einzutreten.

Die elektrischen Unternehmungen bilden heute wichtige Organe unseres Wirtschaftslebens von allgemein schweizerischer Bedeutung. Ihr Wirkungsbereich umfaßt große Landesteile und erstreckt sich sogar über die Grenzen der Schweiz hinaus, sodaß heute nicht mehr jedes Kraftwerk für sich allein arbeitet. Mehrere Werke zusammen bilden einen Komplex, in dem jedes einzelne eine bestimmte Funktion zu spielen hat. Von diesem Gesichtspunkte des Zusammenarbeitens ausgehend, lassen sich die Kraftwerke in zwei Hauptgruppen einteilen: die nicht akkumulierfähigen und die akkumulierfähigen.

Sie wissen alle, daß unsere Alpenflüsse und somit auch der größte Teil unserer Gewässer, durch eine außerordentlich starke Wasserführung im Sommer und durch ausgeprägte Niederwasserperioden im Winter charakterisiert sind. Je weiter entfernt von den Alpen, je schwächer ist natürlich der Gegensatz, weil sich der ausgleichende Einfluß unserer Mittellandseen fühlbar macht. Trotzdem aber ist in den untersten Kraftwerken, Augst-Wyhlen und Chancy-Pougny, der Unterschied noch unangenehm fühlbar. Im Gegensatz dazu ist der Stromkonsum im Winter stärker als im Sommer. Im Laufe des Tages zeigen sich ähnliche Schwankungen im Konsum sowie in der Wasserführung. Das Verhältnis zwischen maximalem Konsum und mittlerer Leistung eines Netzes schwankt zwischen 1.8—2.5 je nach der Landesgegend und es ist begreiflich, daß je höher dieser Faktor ist, je ungünstiger und teurer das Netz arbeitet. Durch gewisse tarifarische Maßnahmen ist dieser Ausnützungsfaktor möglichst herabgedrückt worden. Sehr viel läßt sich aber in dieser Hinsicht nicht mehr machen. Man muß vielmehr die Energieproduktion den Bedürfnissen des Netzes anzupassen suchen. Früher geschah dies dadurch, daß von der im Fluß zur Verfügung stehenden Wassermenge nur ein kleiner Teil ausgenützt wurde, d. h. die gewöhnliche Niederwassermenge, sodaß jedes einzelne Werk mehr oder weniger konstante Kraft abgeben konnte. Der

größte Teil des Wassers mußte unbenützt über die Wehre abfließen. Bei Flüssen mit einer, wenn auch nur beschränkten, Akkumuliermöglichkeit waren die Verhältnisse besser, dank der ausgleichenden Reserve konnte bei nur wenig höheren Anlagekosten viel mehr Wasser ausgenützt werden. Heute wo die erwähnte Kuppelung vieler Werke keine technischen Schwierigkeiten mehr bietet, geht man noch weiter und produziert reine Winterkraft, die dann eine entsprechende Menge an Sommerkraft anderer, schon bestehender Werke, veredeln, d. h. von unkonstanter fast wertloser Sommerabfallkraft, in wertvolle konstante Jahresenergie umwandeln kann. Da in allen Niederdruckwerken eine gewisse Menge Sommerenergie zur Verfügung steht oder mittelst sog. Hochwasserturbinen billig erzeugt werden kann, bringt ein Winterkraftwerk, d. h. ein solches, das über eine genügend große Akkumulierung verfügt, kommerziell gesprochen nicht nur seine eigene Energie dem Netz zu, sondern eine beinahe doppelt so große Menge: während des Winters seine eigene Produktion und während des Sommers fremde veredelte Sommerenergie.

Das günstige Verhältnis, bei dem ein Stausee genügend groß ist, um ein reines Winterkraftwerk betreiben zu können und geographisch derart liegt, daß seine Energie mit einigen hoch ausgebauten Niederdruckwerken kombiniert werden kann, ist selten. Aber auch weniger vollkommene Akkumulierwerke können von großem Vorteil sein.

Eine Talsperre gehört zu den teuersten Elementen der Hochdruckwerke, sie drückt schwer auf die Erzeugungskosten der kWh. Trotzdem ist der Bau solcher großen Sperren in manchen Fällen wirtschaftlich, weil, wie wir gesehen haben, die Kosten der Talsperre im Grunde genommen nicht nur durch den Verkauf der eigenen Winterkraft zu verzinsen und zu amortisieren sind, sondern durch den Verkauf einer entsprechenden Menge fremder veredelter Energie.

Eine Akkumulieranlage wird oft auf Grund des Preises des aufgespeicherten Kubikmeters Wasser bewertet. In Wirklichkeit sagt dieser Preis nicht viel und kann nicht als Vergleichszahl benützt werden. Der Preis der akkumulierten kWh wäre besser geeignet, bietet aber auch keine einwandfreie Vergleichsbasis. Der einzige Weg, um sich ein befriedigendes Bild über die Wirtschaftlichkeit einer Akkumulieranlage, die eine schon bestehende Kraftwerksgruppe vervollkommnen muß, zu machen, ist die Betrachtung des Jahresdiagramms der verfügbaren Leistungen aller bestehenden Anlagen, das im Winter ein Defizit zeigt und durch die neu zu schaffende Winterreserve vervollständigt werden soll. Es kann dann herausgelesen werden, um wie viel verkaufbare kWh das Diagramm sich vergrößert hat. Es zeigt sich dann, daß ein sehr teures Winterwerk, dessen eigene erzeugte kWh z. B. 6 Cts. kostet, aber mit ebensoviel Abfallenergie die beinahe nichts kostet, kombiniert werden kann, doch wirtschaftlicher ist, als manches andere Projekt, das scheinbar billiger ist.

Die Bemessung der Größe der Akkumulierung ist somit außer von der technischen Möglichkeit, die später behandelt wird, hauptsächlich vom Regime der übrigen Kraftanlagen des Netzes und von der Verkaufsmöglichkeit abhängig.

Die Tagesschwankungen des Konsums bilden auch ein Erschwernis für die Elektrizitätswerke. Diese Schwankungen können von einer vorhandenen Saisonakkumulierung ohne weiteres übernommen werden, wenn das eigentliche Kraftwerk, d. h. der Stollen, die Maschinen und die Transportleitungen ausreichen. Meist befinden sich aber die großen Akkumulierungsanlagen im Gebirge, d. h. von den Gebrauchszentren weit abgelegen, so daß der Transport der momentan grossen Leistungen teurer sein wird. In diesem Falle kann es zweckmäßiger sein, den Tagesausgleich durch ein kleines Werk in der Mitte des Netzes vorzunehmen, durch ein kleines hydraulisches Speicherwerk oder eine Dampf- oder Dieselzentrale.

Das schematische Bild einer vorbildlichen Kraftwerksgruppen ist folgendes:

Einige hochausgebaute Niederdruckwerke mit Hochwasserturbinen, vervollständigt durch eine große Akkumulierung mit bedeutendem Gefälle zum Winterausgleich und schließlich durch ein Ausgleichwerk für die Tagesspitzen, das in Mitte des Netzes sich befindet. Eine solche Kombination ermöglicht eine intensive Ausnützung der verfügbaren Energie und wird auch die notwendige Elastizität im Betriebe zeigen. Solche Gruppen sind in der Schweiz mit den durch die örtlichen Verhältnissen bedingten Verschiedenheiten zur Ausführung gekommen oder projektiert.

* * *

Nichts ist einfacher, als eine Talsperre allgemein zu projektieren. Auf der topographischen Karte wird ein hochgelegenes Becken gesucht, von dem aus sich ein großes Gefälle ausnützen läßt. Der Talsperrenquerschnitt ist leicht zu zeichnen. Es weiß jedermann, daß er die Form eines Dreiecks mit einer Basis von 70—80 % der Höhe haben soll. Bei der näheren detaillierten Projektierung und bei der Ausführung ganz besonders pflegen aber Schwierigkeiten aufzutauchen. Bei keinem Bau ist das Mißverhältnis zwi-

schen erstem Projekt und Ausführung so groß, wie beim Talsperrenbau. Es werden aber auch nirgends wie hier so ungeheure Naturkräfte gebändigt oder bekämpft. Hier steht der Erbauer wirklich im Kampf, zuerst gegen die Trägheit und gegen die Schwere bei der Verarbeitung der enormen Betonmassen, die oft mehr als 1 Million Tonnen wiegen; dann im Kampf gegen das Wasser, das während des Baues fern gehalten werden muß und nach vollendeter Arbeit und Aufstau sich durch Gebirge und Mauer seinen gesperrten Weg neu zu schaffen sucht. Ich brauche Sie nicht zu erinnern, was der geringste Fehler für unabsehbare Folgen haben kann. Aber auch in anderer Beziehung steht der Ingenieur vor schwerwiegenden und verantwortungsvollen Aufgaben, weil er Maßnahmen zu treffen hat, die infolge der enormen Massen, die hier auftreten, sehr hohe Kosten verursachen. Eine ängstliche Aeußerung, oder ein kleiner Dispositionsfehler können zu den größten Ausgaben führen und so kommt es, daß das ursprünglich so einfache Problem schließlich zu den schwierigsten und aufreibendsten gehört. Tag für Tag steht der Erbauer vor den beiden Grundpflichten: absolute Sicherheit und Ersparnisse. Letztere dürfen selbstredend nicht auf Kosten der Sicherheit gemacht werden, dagegen soll auch nicht die Sicherheit unnötig schwer und teuer erkauft werden. Hier liegt eben die Kunst des Talsperrenbaues.

Das allererste Problem, das auftaucht, ist ein geologisches. Es eignen sich natürlich nicht alle Becken zur Bildung eines Stausees. Kalkgebiete sind oft zerklüftet und durch langsames Auslaugen derart ausgehöhlt, daß an eine künstliche Dichtung nicht mehr zu denken ist. Anderseits trifft man in alten Gletschergebieten sehr oft epigenetische Schluchten, d. h. solche, die sich nach der Glacialperiode eingeschnitten haben, sodaß neben dem jetzigen ein oder mehrere alte zugeschüttete Flußläufe bestehen. Gerade die schmalsten Schluchten, d. h. diejenigen, die sich zur Erstellung einer Staumauer am besten eignen und deshalb sofort auffallen, sind meist durch eine Flußverschiebung gebildet worden. Solche Flußverschiebungen rühren oft vom Vordringen eines Gletschers her, durch den der Fluß gestaut und gezwungen wurde, sich einen neuen Weg einzuschneiden. Ob nun der heute zugeschüttete alte Flußlauf dicht sein wird, muß vorerst noch untersucht werden. Eine künstliche Dichtung kommt in einem solchen Falle eher in Betracht, weil die Gefahr lokalisiert ist.

Es ist nicht gesagt, daß Becken, die von Natur aus nicht absolut dicht sind, unbedingt ausgeschlossen werden müssen. Man hat neuerdings große Dichtungsarbeiten ausgeführt. Die Zweckmäßigkeit solcher Dichtungsarbeiten ist eher eine wirtschaftliche Frage, denn solche Arbeiten sind meist sehr teuer und zeitraubend. Eine künstliche Dichtung kann notwendig werden, wenn es sich darum handelt, Moränenhänge oder alte Flußläufe abzudichten. Man wird dann am besten zu einer Abdichtungsschicht aus dem sogen. Puddel greifen. Der Puddel ist ein Gemisch von fettem Lehm, Kies und Sand, also etwas, wie ein Lehmbeton. Es ist bekannt, daß bloßer Lehm sich gar nicht dazu eignet, weil er an der Sonne austrocknet, rissig und deshalb stark undicht wird. Die Beimischung von Kies und Sand in ganz bestimmten Verhältnissen, vermindert bis zu einem gewissen Grade diese Gefahr. Eine solche Abdichtung ist in Broc, Kt. Freiburg mit ganz gutem Erfolg ausgeführt worden.

Handelt es sich darum, ein leicht zerklüftetes Gebirge abzudichten, so wird man zu den Zementinjektionen greifen müssen. Es werden an geeigneten Stellen, in gewissen Abständen tiefe Löcher von einigen Centimetern Durchmesser gebohrt. Diese Bohrungen geschehen entweder mit Stahlkörnern, wenn sie senkrecht gerichtet sind oder besser mit Diamantbohrern. Am Verschwinden des Bohrwassers kann ohne weiteres beobachtet werden, ob das Loch undicht ist. Es können auch noch besondere Wasserinjektionen unter hohem Druck vorgenommen werden, die dann ein genaues Bild über die Durchlässigkeit des Baugrundes geben. Sind dann diese Bohrungen fertig, so wird unter hohem Druck Zementmilch eingepreßt, die in die Klüfte hineindringt und sie mehr oder weniger verstopft. Die Kunst dieser Arbeit besteht darin, die mutmaßlichen Klüfte derart zu durchbohren, daß mit einem Minimum an Bohrung das beste Schlußresultat zu erzielen ist. Solche Arbeiten sind aber sehr teuer und können natürlich nur in relativ kleinen Flächen ausgeführt werden.

Solche Dichtungsarbeiten werden neuerdings in kleinerem Umfange in der Nähe der Talsperren ausgeführt, um die Wasserauftrieberscheinungen in der Fundamentsohle zu verhindern, auch wenn keine großen Verluste zu befürchten sind. Wir kommen auf diesen Punkt später noch zurück.

Eignet sich nun ein Becken mit oder ohne Dichtungsarbeiten zur Bildung einer großen Wasserakkumulierung, so wird man den gewünschten Stauraum resp. die Höhe der Staumauer bestimmen müssen. Vom allgemein wirtschaftlichen Standpunkt aus wird meistens der größtmögliche Stauraum der zweckmäßigste sein, weil immer genügend Sommerenergie, die veredelt werden soll, vorhanden ist. Diesem Drang nach großzügigen Lösungen wird jedoch bald ein Riegel gestoßen durch die technische

Ausführungsmöglichkeit. Eine technische Grenze bildet entweder die Ueberschwemmung von viel kostbarem Gelände oder die Höhe der Staumauer.

Ein hochgelegenes Tal ist meist eng und weist eine relativ große Neigung auf, sodaß für einen gegebenen Stauraum die Mauer sehr hoch sein muß und vielleicht die technische Grenze überschreitet. Wählt man im Gegenteil ein tiefgelegenes Tal, so ist es breiter und länger, sodaß die Mauerhöhe gering bleiben kann, dagegen aber werden große bebaute Flächen überschwemmt, was wiederum gewisse schwierige Probleme mit sich bringt. Zum ersten Fall gehört z. B. das projektierte Stauwehr im Oberhasle, zum zweiten das projektierte Wehr am Etzel, vielleicht auch das Wäggital.

Die technisch zulässige Höhe ist mit den Jahren gewachsen. 70 m galt vor nicht so vielen Jahren als ein Maximum. Heute ist diese Grenze mehrmals überschritten worden und zwar vor allem durch die Amerikaner, die im Gebiete des Talsperrenbaues bahnbrechend gewesen sind. Heute wird als Grenze die Höhe von 120 m betrachtet. Diese Höhe wird in Nordamerika zweimal erreicht werden beim Hetch Hetchy Dam und beim Pacoima Dam. Bei solchen Höhen steigen die rechnerisch nachweisbaren Spannungen auf etwa 30 kg/cm². Hat sich einmal diese Höhe wiederum bewährt, so ist es nicht ausgeschlossen, daß noch höhere Mauern gebaut werden.

Eine weitere Begrenzung ist oft durch die momentanen Bedürfnisse des Netzes und noch mehr durch die finanzielle Kapazität der ausführenden Gesellschaft oder überhaupt des Landes gegeben. Man muß bedenken, daß die Kosten der Talsperren beinahe mit dem Quadrat der Höhe steigen. Eine wirtschaftlich sehr günstige Lösung scheitert deshalb oft an den zu hohen Anforderungen, die sie an den Kapitalmarkt stellt. Eine 120 m hohe Mauer wird nämlich unter den günstigsten Verhältnissen doch etwa 20—30 Millionen Franken kosten, was für die Schweiz doch ein sehr hoher Betrag ist, der vermehrt um die übrigen Kosten der Anlage nicht immer leicht aufgebracht werden kann. Wir Schweizer werden demnach kaum in die Lage kommen den Weltrekord der Staumauerhöhe, den die Amerikaner besitzen, zu schlagen.

Ist einmal die Stauhöhe auf Grund des Wasserwirtschaftsprogrammes sowie der technischen und finanziellen Möglichkeiten festgesetzt worden, so wird man an die Frage des Mauertypus herantreten. Ich lasse hier absichtlich Seeanzapfungen und Staudämme aller Art auf der Seite, weil mir die Zeit dazu nicht ausreicht und werde mich nur mit dem Bau von Staumauern beschäftigen.

Der einfachste und ursprünglichste Typ der Staumauer ist die sogen. Gewichtsmauer, die wie eine ganz gewöhnliche Stützmauer wirkt und ihr Widerstand ihrem Gewicht verdankt.

Die Anschauungen über diesen ursprünglichen Typ der Talsperre haben sich in den letzten Jahren rasch geändert und zwar im Sinne einer Vereinfachung. Ohne auf die geschichtliche Entwicklung zurückgreifen zu wollen, möchte ich hier nur erwähnen, daß die ersten Talsperren einen ziemlich komplizierten und ausgeklügelten, von Fall zu Fall andern Querschnitt besassen. Im Grundriß waren sie alle leicht gewölbt. Der moderne Querschnitt einer hohen Talsperre ist dreieckförmig. Das Veränderliche ist der Anzug der luftseitigen Böschung oder die Länge der Basis des Dreieckes, die sich je durch die gemachten Annahmen über Unterdruck oder Wasserauftrieb ändert.

In der gewöhnlichen Dimensionierung der Gewichtsmauer kommen nur Kräfte in der vertikalen Ebene in Betracht, d. h. Wasserdruck und Gewicht einerseits, Wasserauftrieb in der Fundamentsohle anderseits. Die beiden ersten Kräfte sind genau bekannt, über letztere sind heute noch die Meinungen verschieden. Der Wasserauftrieb in der Fundamentsohle, resp. im Wehrkörper hängt von der geologischen Beschaffenheit des Baugrundes und von der Dichtheit des Mauerwerks oder des Betons ab. Bei vollkommen dichtem Untergrund und Wehrkörper wäre natürlich der Auftrieb überhaupt nicht vorhanden. Man kennt aber den Wert und den Verlauf dieses Auftriebes tatsächlich nicht und ist darauf angewiesen, gewisse Annahmen zu machen. Die Gewichtsmauer ist gegen diesen Wasserauftrieb sehr empfindlich und der Gleichgewichtszustand ändert sehr stark; je nach den getroffenen Annahmen variert auch der Preis der Mauer in weiten Grenzen, nämlich bis zu 30 Prozent. Es ist also begreiflich, wenn die Frage des Auftriebs in den Gewichtsmauern immer der Stein des Anstosses war und noch ist. Nach den Unglücksfällen in Frankreich vor etwa 30 Jahren sind die französischen Behörden sehr ängstlich geworden und haben Vorschriften und Bedingungen erlassen, die den Bau der Talsperren in Frankreich stark gehemmt haben. Die Italiener sind vor einigen Jahren liberaler gewesen und haben eine beträchtliche Reduktion des vollen Auftriebs zugelassen. Neuerdings sind französische Vorschriften in Kraft getreten, die von dem soeben entwickelten Gedanken ausgehen, daß bei vollkommen dichtem Untergrund überhaupt kein Auftrieb möglich ist. Wenn also gewisse Maßnahmen, die in dem ministeriellen Zirkular geschildert sind, getroffen werden, so kann der

Auftrieb in der Berechnung ganz weggelassen werden. Unter diese Maßnahmen gehören auch Hochdruckzementinjektionen vor und unter der Sperre, wie sie in Barberine ausgeführt wurden und die ich eingangs kurz erwähnt habe. Diese Ansicht ist theoretisch zweifellos richtig. Nun wird man sich vielleicht oft bei deren Anwendung darüber streiten, ob die getroffenen Maßnahmen genügend sicher sind oder nicht. Es wird in der Praxis nicht immer leicht sein, einen Maßstab für die Beurteilung zu finden. Wir Schweizer sind eher der Ansicht der Italiener, daß es einfacher ist, in die Berechnung einen gewissen reduzierten Auftrieb einzuführen, wenn auch diese Annahme theoretisch nicht ganz befriedigt.

Eine Gewichtsmauer ruht nicht nur auf ihrem Bodenfundament, sondern auch auf den Seitenwänden der Schlucht, die sie zu schließen hat, auf. Wenn auch die Reaktion dieser Wände, die eine gewisse Entlastung bringt, aus Sicherheitsgründen ignoriert wird, so ist sie nichts destoweniger vorhanden und wird sich doch fühlbar machen und zwar eher in unangenehmer Weise.

Eine große Staumauer scheint eine inerte Masse zu sein. In Wirklichkeit stimmt dies nicht; eine Talsperre, besonders eine solche aus Beton, führt nicht unbedeutende Bewegungen aus. Diese Bewegungen hängen mit dem Temperaturwechsel und hauptsächlich mit der Abkühlung nach der Herstellung zusammen. Man weiß, daß der Zement beim Abbinden eine große Wärmemenge entwickelt. Leider zeigen die besten Portlandzemente, die beim Talsperrenbau verwendet werden, diesen Nachteil der starken Erwärmung in ganz hohem Grade. Es entsteht nach dieser Erwärmung eine entsprechende Abkühlung, die, je nach dem sie rascher oder langsamer vor sich gegangen ist, zu unangenehmen Risserscheinungen führen kann. Diese Gefahr ist umso größer, je starrer die Mauer in die Schlucht eingeklemmt ist. Um dem abzuhelfen, hat man öfters die Mauer gekrümmt. Das nützt aber nicht viel, besonders bei kurzen Mauern, weil die Krümmung nicht sehr stark ist. Neuerdings werden die langen Mauern geradlinig ausgeführt und künstlich durch sogen. Dilatationsfugen zerschnitten. Diese Fugen, wenn sie zweckentsprechend ausgeführt worden sind, erlauben dann gewisse Temperatur- und Schwindbewegungen, ohne daß Risse entstehen.

Die Gewichtsmauer hat einen gewissen universellen Charakter, indem sie für alle Verhältnisse paßt, zwar mehr oder weniger gut, aber sie kann im Notfall beinahe überall angewendet werden, insofern der Bauuntergrund felsig ist. Sie ist aber auch die teuerste.

Die erste der beiden großen schweizerischen Gewichtssperren, diejenige an der Barberine, hat den dreieckförmigen Querschnitt, ist aber im Grundriß gewölbt.

Die zweite, diejenige vom Wäggital ist dreieckförmig aber im Grundriß geradlinig.

Für den Laien scheinen die gewaltigen Betonmassen, die in eine Gewichtsmauer eingebracht werden, übertrieben. Für den Ingenieur, der sich mit der Berechnung dieser Bauwerke abgibt, ist dieses Gefühl noch stärker. Er weiß, daß der größte Teil dieses Betons nur sehr wenig beansprucht wird. Kürzer als 70—82 % der Höhe kann aber der Fuß der Mauer nicht gemacht werden. Es ist also versucht worden, bei der Gewichtsmauer durch Kunstgriffe an Material zu sparen.

Weil der innere Teil der Mauer nur durch sein Gewicht wirkt, und seine eigentliche Festigkeit schlecht ausgenützt wird, so kommt man ohne weiteres auf den Gedanken, Hohlräume auszusparen und diese mit ganz gewöhnlichem Kies oder Steinen auszupacken. Der äußere Querschnitt einer solchen Mauer ist ungefähr derselbe, wie derjenige einer massiven Mauer. Vom statischen Standpunkt aus wäre gegen dieses System nicht viel einzuwenden, insofern die Hohlräume eine richtige Form erhalten. Es sind über die Formen dieser Hohlräume oder Zellen viele Vorschläge gemacht worden; es hat sich aber herausgestellt, daß die Ersparnis in vielen Fällen eine illusorische ist, indem wohl an Zement gespart wird, dafür aber die Ausführung entsprechend teurer ist, weil innere Schalungen notwendig werden und durch die Unterteilung die großzügige Arbeit erschwert wird.

Der praktische Nachweis über die wirkliche Ersparnis fehlt heute noch. So viel ich weiß, sind noch keine solche Staumauern mit ausgepackten Hohlräumen, wenn wir von kleinen Ausführungen absehen, hergestellt worden.

Eine weitere Verbilligung wird darin gesucht, daß die Auspackung ganz weggelassen wird. Die Mauer bekommt somit die Form eines Hohlkörpers. Um die Stabilität, die durch die Gewichtsreduktion gefährdet wird, wieder herzustellen, wird die Basis entsprechend länger gemacht. Diese Ausführung ist bis heute, so viel ich weiß, in großem Maßstab auch nicht zur Anwendung gekommen, sodaß man noch nicht endgültig behaupten kann, daß sie billiger oder teurer ist, als die einfache volle Mauer. Es ist nicht ausgeschlossen, daß bei zweckmäßiger Form der Hohlräume bezüglich Schalung doch eine gewisse Ersparnis möglich wird.

Aus Amerika stammt ein anderer Typus, der sich aus Letzterem leicht ableiten läßt. Das ist die sogen. „Ambursen Staumauer“. Sie

unterscheidet sich prinzipiell von der letzteren dadurch, daß die großen Hohlkörper nach der Luftseite offen sind, es bleibt also nur mehr die wasserseitige Wand, die sich auf die Zwischenwände abstützten. Diese Talsperre gleicht dann einem umgelegten Viadukt, wobei aber die Gewölbe schief liegen. In den ersten Ausführungen waren die Gewölbe durch Eisenbetonplatten ersetzt.

Dieser amerikanische Typus ist nach Europa gekommen und fand in Italien mehrfach Anwendung; die Gewölbe sind in den letzten Ausführungen immer mächtiger geworden. Der Abstand von einem Pfeiler zum andern beträgt bis zu 15 m. Dieser Typ der aufgelösten Mauer ist in der Schweiz über 20 m Höhe noch nicht zur Ausführung gelangt. Der Grund liegt wohl darin, daß man von dessen Wirtschaftlichkeit nicht überzeugt ist und auch darin, daß diese aufgelöste Sperrenkonstruktion, die naturgemäß relativ dünne Gewölbe und Betonwände verlangt, eher für ein mildes Klima paßt. In der Schweiz sind aber die Talsperren sehr hoch gelegen und stehen in einem verhältnismäßig rauhen Klima, sodaß man bis jetzt von der Anwendung des aufgelösten Systems Abstand genommen hat. Es waren aber keine prinzipiellen Bedenken, die von deren Anwendung bis jetzt abgehalten haben.

In Fällen, wo das Betonmaterial von Ferne mit großen Kosten hergeholt werden muß, ist vielleicht ein solcher aufgelöster Typ wirtschaftlich.

Für kleine Höhen, wie bei kleinen Ausgleichbecken, ist dagegen dieser Typ der aufgelösten Eisenbetonmauer mehrfach in der Schweiz zur Anwendung gekommen, z. B. von den Bundesbahnen in Massaboden und neuerdings für das Kraftwerk Vernayaz. Für kleine Höhen kann dieses System in Betracht kommen, wenn die Fundation schwierig und teuer ist. Die Stützpunkte sind dann unter den Pfeilern konzentriert.

Die Wirkungsweise der Wehrpfeiler ist ungefähr dieselbe, wie diejenige einer normalen Gewichtssperre. Es gelten hier dieselben Bemerkungen über die schlechte Ausnützung der Druckfestigkeit des Materials an der Wasserseite des Pfeilers. Anderseits weiß man auch, daß die Gewölbe einer solchen Sperre einen überaus großen Sicherheitsgrad bieten. Den Gewölben kann man den Vorwurf der unrichtigen Ausnützung des Materials nicht machen, weil dort der ganze Querschnitt mehr oder weniger regelmäßig auf Druck beansprucht wird und man es immer in der Hand hat, durch entsprechende Verringerung der Dicke die Druckspannung bis zur zulässigen Grenze steigen zu lassen.

Von dem letzteren Typ ist der Uebergang zur Bogensperre leicht, wenn die Pfeiler weggelassen werden und das abzuschließende Tal durch einen einzigen mächtigen Bogen überspannt wird, wie der Viadukt, mit dem wir die aufgelöste Bogenmauer verglichen haben, auch unter Umständen durch einen einzigen Brückenbogen ersetzt werden kann. Die soeben genannten Einwände fallen bei der Bogensperre alle weg und dieser Typ ist in der Tat der billigste und in gewisser Hinsicht der sicherste, was auch aus der Tatsache hervorgeht, daß bis heute keine Bogenmauer zusammengestürzt ist. Zur Anwendung der Bogenmauer gehören eine nicht zu große Spannweite und tadellose Widerlager. Die Spannweite ist auf ungefähr 100 bis 120 m begrenzt. In Amerika beträgt in einem Fall die Spannweite 160 m.

Wir sind nun durch langsame Entwicklung vom allgemeinen Typ, der Gewichtssperre, die für alle Verhältnisse paßt, d. h. deren Länge nicht begrenzt ist, zu der eigentlichen Bogenmauer gelangt.

Die erste hohe Bogenmauer Europas ist diejenige von Broc, die vor drei Jahren dem Betrieb übergeben worden ist. Die größte Höhe über Fundament beträgt 52 m und die Spannweite an der Krone 77 m. Die Mauer ist gekennzeichnet durch ihre sehr starke Wölbung, ihren ausgeprägten Fuß, sowie ihre Verstärkungen an den Widerlagern. Der ganze mittlere Teil der Mauer ist so dünn wie möglich gehalten, um eine starke Beweglichkeit unter dem Einfluß der Temperaturschwankungen zu gewähren. Durch diese Formgebung ist es möglich geworden, dem Bauwerk eine große Elastizität zu geben und es infolgedessen dem Temperatureinfluß so stark wie möglich zu entziehen.

Zur Bestimmung des Unterdruckes in der Fundamentsohle sind Manometer im Mauerwerk eingebracht worden. Diese haben keinen Druck angegeben, sodaß anzunehmen ist, daß die Felsunterlage ziemlich trocken geblieben ist. Ich möchte hier noch auf die Beobachtungen hinweisen, die während der ersten Füllung des Sees gemacht worden sind. Diese Beobachtungen hatten den Zweck, die elastischen Deformationen der Sperre mit den Berechnungen zu vergleichen. Da aber die Temperaturschwankungen einen großen Einfluß auf den Spannungszustand und infolgedessen auf die Deformation haben, sind in das Mauerwerk ca. 30 elektrische Thermometer einbetoniert worden.

Ich kann mich hier nicht über die Resultate dieser Untersuchungen verbreiten, die später in Amsteg, Barberine und Wäggital fortgesetzt worden sind. Ich will nur hervorheben, daß infolge ungenügender Abkühlung, die durch das Abbinden des Zements verursachte Temperaturerhöhung in einer Talsperre ganz beträchtlich

sein kann. Einige Thermometer sind nämlich bis zu 38° gestiegen. Die Abkühlung konnte nur ganz langsam stattfinden und nach 6 Monaten war noch nicht überall der normale thermische Zustand erreicht.

Die Deformationsbeobachtungen sind auf verschiedene Weise vorgenommen worden. Die einfachste Methode bestand in der Bestimmung der horizontalen Verschiebung zweier Scheitelpunkte mittels einfacher Visur. Es ist vor allem hervorzuheben, daß die Deformationen fast vollkommen elastisch waren, d. h. daß nach Ablauf eines vollen Jahres, wenn die Druckverhältnisse und die Temperaturverhältnisse wiederum dieselben geworden sind, die beiden untersuchten Punkte wiederum ungefähr in ihre erste Lage getreten sind. Der größte Ausschlag betrug + 1 cm. Diese Beobachtungen werden jetzt fortgesetzt und es zeigt sich mit der Zeit eine ganz leichte Setzung, ein Vorgang, der denjenigen, die sich mit genauen Messungen in Betonbauwerk befassen, bekannt ist. Nach Abnahme der Belastung kehrt der Beton niemals ganz genau zu seiner ursprünglichen Dimension zurück, es ist immer eine gewisse Histeresis zu beobachten, die sich durch eine leichte Setzung fühlbar macht.

Bald darauf ist von den Schweizerischen Bundesbahnen eine Bogensperre in Amsteg fertiggestellt worden. Ihre Höhe beträgt ca. 30 m. Diese Sperre ist aber aus Granitquadern gemauert und zeigt ähnliche Eigenschaften, wie diejenige von Broc.

Eine weitere interessante Talsperre ist die 72 m hohe Bogenmauer von Montejaque in Südspanien, die in wenigen Wochen fertig sein wird. Es ist zwar eine ausländische Mauer, die aber von Schweizern ausgeführt wird. Die topographischen Verhältnisse sind dort bedeutend günstiger, als bei der Mauer von Broc, indem die Schlucht auf Kronenhöhe nur 60 m breit ist. Die Gesichtspunkte für die Projektierung waren ganz ähnliche, wie für die Mauer von Broc, nur ist hier der Querschnitt noch schlanker. Die Basis beträgt dank der Engheit der Schlucht nur 23 % der Höhe, sodaß der Betoninhalt trotz der relativ großen Höhe von 72 m nur 27,000 m³ beträgt. (Schluß folgt.)

Vom Wasserhaushalt des Reußgebietes.*)

Die im Dezember 1923 gegründete Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel hat im ersten halben Jahr ihres Bestehens bereits eine lebhafte Tätigkeit entwickelt. Während bis jetzt hauptsächlich Vorträge über Forschungsreisen gehalten wurden, haben nun in der Sitzung vom 4. Juni zwei jüngere Basler Geographen über Arbeiten mehr theoretischer Art berichtet; so scheint die Gesellschaft auch nach dieser Richtung einem Bedürfnis zu entsprechen.

Zuerst hielt Herr Dr. Rudolf Roth einen Vortrag über die „Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss im Reussgebiet." Die in der hiesigen Geographischen Anstalt entstandene Arbeit gestattet einen guten Einblick in manche bedeutungsvolle Beziehungen, die für die Technik von ebenso grossem Interesse sind wie für die Wissenschaft. Seit vor reichlich einem Vierteljahrhundert Penck zum erstenmal nach den Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss geforscht hat, liegen verschiedene Untersuchungen über das Problem vor. Besondere Verdienste um die Untersuchung von Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge hat sich das Schweizerische Amt für Wasserwirtschaft unter Leitung von Herrn Oberingenieur O. Lütschg durch systematische Beobachtungen in einem beschränkten, für sich abgeschlossenen Gebiet erworben.

Das der Untersuchung von Dr. Roth zugrunde liegende Reussgebiet erstreckt sich vom Gotthard bis nach Mellingen im Aargau und umfasst somit Partien der Hochalpen, der Voralpen und des Mittellandes. Es wurden benützt die Niederschlagsmessungen von 35 Regenmesstationen des schweizerischen Beobachtungsnetzes im Reussgebiet und von 27 Stationen benachbarter Flussgebiete; dazu kommen noch die Angaben von vier Niederschlags-Totalisatoren in Hochgebirgshöhe, die die Niederschläge eines ganzen Jahres aufspeichern, und alljährlich nur einmal im Nachsommer abgelesen werden.

Den Berechnungen wurde das hydrologische Jahr zugrunde gelegt, das am 1. Oktober beginnt und am 30. September endigt; seine Verwendung ist angezeigt dadurch, dass in höheren Lagen schon vom Herbst an die Niederschläge nur noch als Schnee fallen und deshalb erst bei der Schneeschmelze des folgenden Jahres zum Abfluss gelangen. Die Beobachtungsperiode geht vom Herbst 1909 bis zum Herst 1919, umfasst also sowohl den nassen Sommer 1910 wie den trockenen 1911. Die geringste Niederschlagsmenge des Reussgebietes hatte im Durchschnitt Bremgarten mit 102 cm, die grösste der Totalisator auf dem Claridenfirn mit 362 cm, während vergleichsweise Basel einen Jahresdurchschnitt von 82 cm hat.

Die von Dr. Roth entworfene Niederschlagskarte des Reussgebietes enthält viele Einzelheiten, die nicht direkt aus den Beobachtungen erschlossen, jedoch auf Grund anderweitiger Erfahrungen ergänzt werden konnten. Als relativ niederschlagsarme Gebiete erweisen sich ausser dem Mittelland die Gegend von Altorf, die Umgebung des Sarnersees und die Göschenenalp. Mit der Erhebung über Meeresniveau nimmt auch die Niederschlagsmenge zu, ihr Maximum erreicht sie im Reussgebiet bei etwa 2700 bis 2800 Meter; oberhalb nimmt sie wieder ab. Bemerkenswert ist jedoch, dass sie im Bereiche grosser Gebirgsmassen in einer bestimmten Höhe geringer ist, als am Rande der Alpen, z. B. am Rigi. Es deckt sich dieses Verhalten mit dem anderer Erscheinungen; so liegen in der Schweiz die Waldgrenze, die Besiedelungsgrenze und die Schneegrenze im Bereiche grosser Massenerhebungen stets bedeutend höher als an einzelstehenden Bergen.

Der Abfluss des Reussgebietes wurde an Hand der Aufzeichnungen von sechs Wassermess-Stationen untersucht. Es zeigt sich dabei vor allem, dass, je grösser das Einzugsgebiet ist, die Wasserführung umso ausgeglichener wird. Besonders stark wird der Abflussvorgang durch die verschiedenen Seen, vor allem den Vierwaldstädtersee, regliert, so dass unterhalb der Unterschied zwischen Hoch- und Niederwasser viel geringer ist als oberhalb, eine Erscheinung, die bei den Mittellandflüssen ohne Seen vollkommen fehlt. Ebenso herrscht unterhalb der Seen meist Mittelwasser, oberhalb dagegen sind die Extreme häufiger, nämlich im Winter Niederwasser und zur Zeit der Schneeschmelze Hochwasser.

Was die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss anbelangt, so ergibt sich für das Reussgebiet deutlich, dass für die Schwankungen der Abflussmengen vor

*) Nach einem Berichte der „Basler Nachrichten" vom 18. Juni 1924. Abend-Blatt.