Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65/66 (1915)
Heft: 7

Artikel: Einiges über Bau und Berechnung von Stauwehr-Anlagen
Autor: Gruner, H.E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-32280

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: 15.12.2025

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

INHALT: Einiges über Bau und Berechnung von Stauwehr-Anlagen. — Fabrikanlage und Kühlhaus der Gross-Schlächterei und Wurstfabrik Bell A.-G. in Basel. — Das Rollmaterial der schweiz. Eisenbahnen an der Schweiz. Landesausstellung in Bern 1914. — Miscellanea: Die Erweiterungsbauten des Hafens von Triest. Gewinnung von Fett aus Klärschlamm. Telegraphenstörungen durch Wechselstrombahnen. Simplon-Tunnel II. Schutzmassnahmen gegen Ueberschwemmungen in Paris. Neue Eisenbahnbrücke bei Rouen. Eidgen. Technische Hochschule. Elektrifizierung der schwedischen Staatsbahnen. Die Wasserturbinen und deren Regulatoren an der Schweizer. Landesausstellung Bern 1914. — Konkurrenzen: Kirche samt Pfarrhaus in Lyss. Bürgerspital Solothurn. — Literatur: Das Zwickelverfahren. Ist das Rechnen nach Ferrol neu und vorteilhaft? Literar. Neuigkeiten. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. G. e. P.: Stellenvermittlung.

Band 66. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 7.

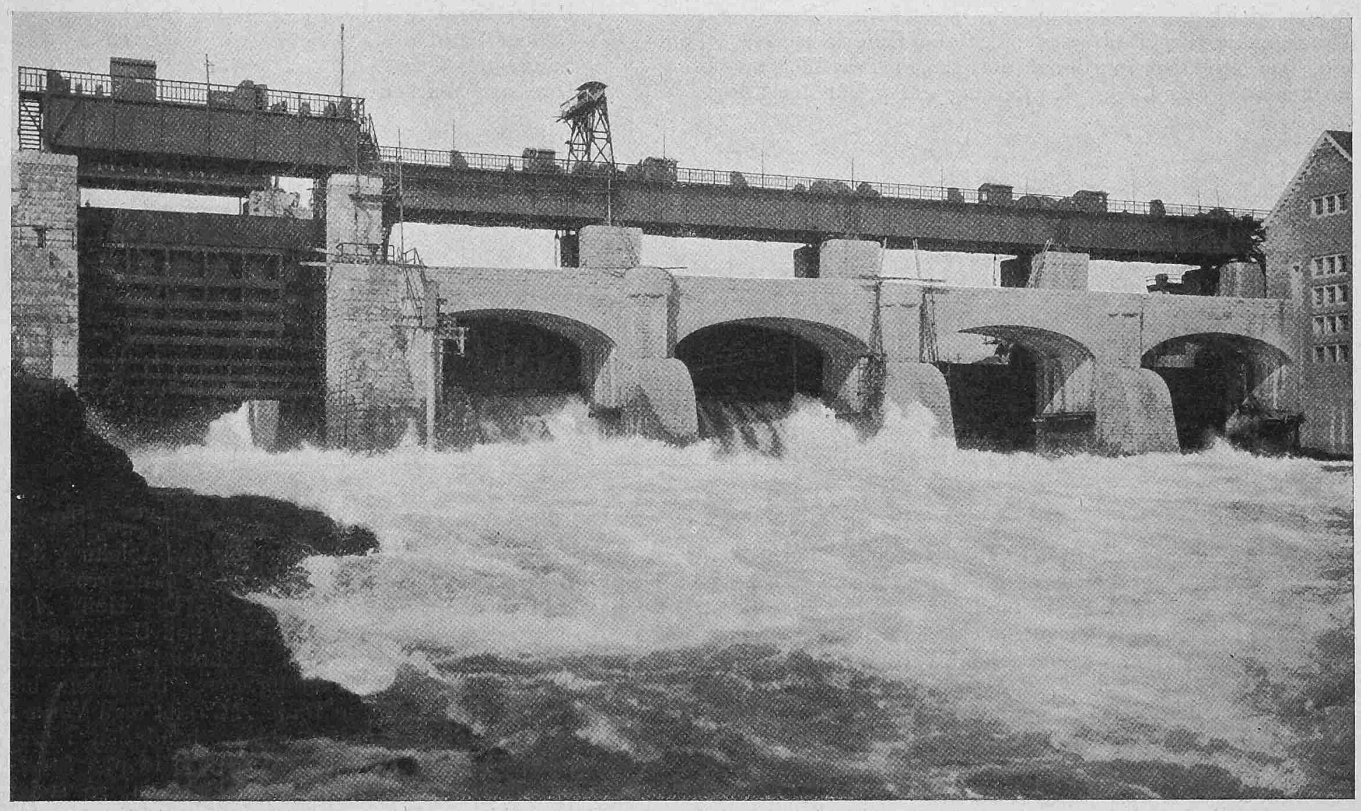

Abb. 5. Unterwasserseite des Stauwehrs im Rhein bei Laufenburg.

Einiges über Bau und Berechnung von Stauwehr-Anlagen.

Von Ing. *H. E. Gruner*, Basel.

Wer sich heute über den Bau eines Stauwehres in einem Handbuch über den Wasserbau oder in einem Spezialwerk unterrichten will, der wird dort leicht alle Angaben und Berechnungen über die erforderliche Standfestigkeit des Bauwerkes selbst, über seine Durchfluss-Kapazität u. a. m. finden. Ueber gewisse andere Umstände aber, die beim Bau eines Wehres auch noch zu berücksichtigen sind, geben die Veröffentlichungen merkwürdig wenig Aufschluss. Es weiss jedoch jeder mit dem Wasserbau vertraute Techniker, dass noch andere Naturkräfte an dem Bauwerk wirken. Selbst der beste Untergrund und das scheinbar undurchlässigste Mauerwerk gestatten dem Wasser ein gewisses Durchsickern, sodass in den Fundamenten ein *Auftrieb* und unter Umständen ein *Ausschwemmen* des Materiales entstehen kann.

Beim Bau der Oestertal- und Neyetalsperre in Preussen wurden an verschiedenen Stellen des Mauerwerkes Piezometerrohre eingebaut und nach dem Füllen der Stauweier untersucht; es zeigte sich bei diesem mit aller Sorgfalt erstellten Mauerwerk, dass im ungünstigsten Querschnitt an der Wasserseite der volle und gegen die Luft der halbe Auftrieb wirkte; im günstigsten Querschnitt fiel der Auftrieb rasch auf die Hälfte und gegen die Luftseite auf ein Drittel[1]). Wird ein Stauwehr nicht auf Fels, sondern auf einen durchlässigen Untergrund gestellt, so kommt nicht nur der Auftrieb in Betracht, sondern auch die Veränderung, die das Fliessen des Wassers in dem losen Material erzeugt, also das Ausschwemmen oder Auslaugen des Materials. Wird ein Wehr auf Fels gestellt und mit einem soliden Material, Beton, Quadersteinen, Holz oder Eisen gepanzert, so zeigen sich trotzdem am Wehrkörper selbst Erosions-Erscheinungen und am Untergrund ein Kolk. Am Stauwehr des Kraftwerkes Augst-Wyhlen waren die Anschlüsse der Schwellencaissons an die Pfeiler nicht mit Granitquadern abgedeckt, sondern nur in Beton ausgeführt[1]). Nach zweijährigem Betrieb war dieser Beton so erodiert, dass Rinnen bis zu 50 *cm* Tiefe darin beobachtet werden konnten. Die Wehrschwelle des Kraftwerkes Laufenburg ist mit Gussstahl gepanzert und es wurde dieses Wehr mittels Taucherglocken gebaut. Dadurch kam es, dass einzelne Teile während des Baues unvollendet längere Zeit dem Anprall des Wassers ausgesetzt waren. An einer solchen Stelle, bei der der Rhein während eines Jahres mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 5 *m/sek* vorbeifloss, konnte beobachtet werden, dass das Eisen nur unbedeutend abgearbeitet, aber ganz poliert war; der Granit der Quader war um 15 bis 30 *mm* abgeschliffen und der Beton zeigte Höhlungen bis zu 15 *cm*. Dementsprechend wird auch Felsuntergrund vom Wasser bearbeitet. Handelt es sich nicht um Fels, sondern um losen Kies und Sand, so wird bei einer gewissen Geschwindigkeit das Material auch aufgewirbelt und fortgeschwemmt. Da man in neuerer Zeit zu immer grösseren Konstruktionen und höherem Aufstau auch auf durchlässigem und losem Material kommt, so sind die in Betracht kommenden Gesetze auch immer sorgfältiger zu berücksichtigen. Es lohnt sich zu untersuchen, wie weit bezügliche Forschungen dem Techniker heute in einer verwendbaren Form zur Verfügung stehen.

[1]) Siehe »Zeitschrift für Bauwesen», Bd. 63 1913, S. 103.

[1]) Vergl. Bd. LXI, S. 183, insbesondere S. 195 (12. April 1913). *Red.*

Bei der Durchsickerung des Wassers durch den Untergrund treten dieselben Naturgesetze in Erscheinung, wie bei dem Durchfliessen von Wasser durch eine Rohrleitung. Der Untergrund am Oberhaupt des Wehres und das darin befindliche Wasser stehen unter dem Drucke des Oberwasserspiegels und der Untergrund am Unterhaupt des Wehres mit dem darin befindlichen Wasser steht unter dem Drucke des Unterwasserspiegels. Ist nun der Untergrund gleichmässig durchlässig, so tritt in diesem ein Druckgefälle vom Oberwasserspiegel zum Unterwasserspiegel ein, das direkt proportional der Länge des Wehrfundamentes ist. Die Länge der Leitung entspricht der Länge des Wehrfundamentes, wobei undurchlässige Sporne und Spundwände in der Länge mitzählen. Für die Geschwindigkeit, mit der das Wasser durch den Untergrund fliesst, hat *Dupuit* durch seine eingehenden Versuche gezeigt, dass auch hier das Gesetz gilt: $v = k\sqrt{J}$ worin v die Geschwindigkeit des Wasserstromes, J das Gefälle des Wassers im Untergrunde und k einen Reibungs-Koeffizienten bedeuten. Es entspricht also dem Gefälle des Wassers in einem bestimmten Untergrund eine bestimmte Geschwindigkeit. Uebersteigt diese Geschwindigkeit eine bestimmte Grenze, so werden Bodenteilchen mitgerissen, der Untergrund wird immer mehr ausgelaugt und für den Wasserdurchfluss besser geöffnet. Ist jedoch die Geschwindigkeit so gering, dass keine Teile des Bodens mitgerissen werden, so verschlammen sich die Poren des Untergrundes durch das eindringende Wasser und die Dichtigkeits-Verhältnisse verbessern sich mit der Zeit. Beispiele hierfür sind zur Genüge bekannt. Es braucht nur an die Pumpversuche in Grundwasser-Brunnen erinnert zu werden, wo bei einer übertriebenen Absenkung des Grundwasserspiegels auch Sand- und Kieskörner mitgerissen werden, an das Auslaugen des Untergrundes durch unrichtiges Auspumpen von Baugruben, und auf der andern Seite an das zunehmende Gefälle in Filteranlagen bei zunehmender Verschlammung.

Leider bestehen für die Bestimmung des Reibungs-Koeffizienten im Grundwasser noch weniger Anhaltspunkte, als für den Reibungs-Koeffizienten von fliessendem Wasser in Leitungen und Kanälen, denn sonst wäre es an Hand von Beobachtungen über das Abspülen des Materiales bei bestimmten Geschwindigkeiten nicht schwierig, das zulässige Gefälle für einen Untergrund zu bestimmen. Ausgeführte Beobachtungen in Brunnen oder bei Baugruben können allerdings sehr wertvolle Aufschlüsse für die Bestimmung des zulässigen Gefälls geben.

Der kanadische Ingenieur *Bligh* hat sich bemüht, in „Engineering News“ [1]) und in seinem Werke „The Practical Design of Irrigation Works“ möglichst viele solcher, auf durchlässigem Boden gestellte Wehre zu beschreiben und bei Einstürzen deren Ursache zu untersuchen. Bligh ist bei seinen Untersuchungen nicht von der Durchsickerungs-Geschwindigkeit und den oben gemachten Erwägungen ausgegangen, sondern er hat an Hand der ihm bekannten ausgeführten Bauten einen empirischen Faktor, den „Durchsickerungs-Faktor“ c bestimmt. Mit diesem ist bei den verschiedenen Bodenarten die Druckhöhe am Wehr zu multiplizieren, um die richtige Länge des Wehres zu erhalten. Danach lautet seine Formel also:

$$L = c \cdot h$$

Für den Durchsickerungs-Faktor gibt Bligh die nachfolgende Tabelle:

Sehr feiner Sand und Schlamm . .	18
Feiner Sand	15
Grober Sand	12
Sand und Kies	9
Kies und Wacken	6 bis 4

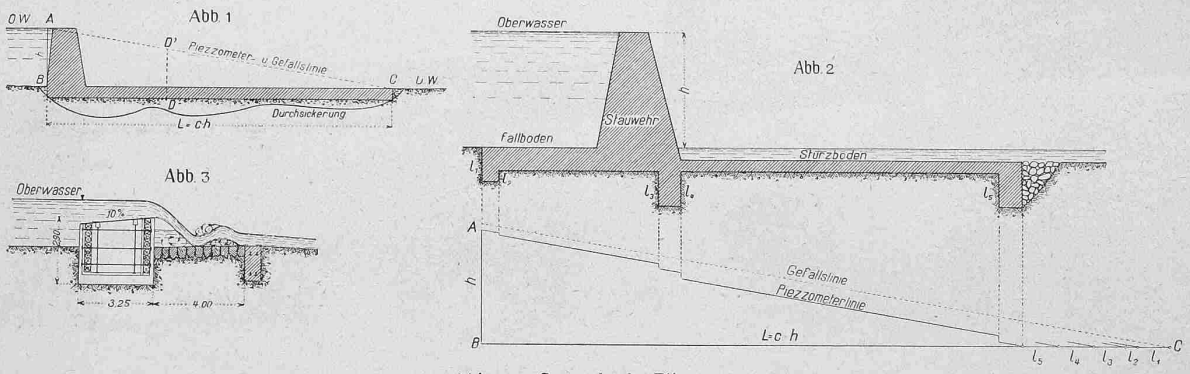

Abb. 3. Stauwehr in Flims.

Als einfachster Fall zur Erläuterung und Ableitung der Theorie zeigt vorstehende Abb. 1 ein Wehr ohne grösseres Fundament mit einem sog. Sturzboden. Die Höhe AB gibt die Differenz zwischen Oberwasser- und Unterwasserspiegel, die in der Folge mit h bezeichnet ist, die Linie BC gibt die Länge der Sickerung unter dem Wehr bis zum freien Austritt, und die Linie AC gibt den Verlauf des Druckes in der Sickerung, entsprechend den Piezometerständen in einer Leitung. Wird also in den Sturzboden an einer Stelle D ein Rohr eingesetzt, so steigt das Wasser bis zum Schnitt mit der Linie AC, also bis zum Punkt D', und der Druck entspricht der Höhe DD'.

Wird der Sturzboden flussaufwärts des Wehres verschoben, so wird die Vertikale AB ebenfalls nach rückwärts geschoben, sofern der flussaufwärts liegende Teil des Sturzbodens undurchlässig ist (Abb. 2). Eine undurchlässige Spundwand oder ein Mauerwerkssporn verlängern den Weg des Wassers beim Durchsickern, sie können also theoretisch dem Fallboden zugezählt werden. Die Piezometerlinie wird nun konstruiert, indem durch die am Ende des Fallbodens noch angefügten Längen der Spundwände oder Sporne Parallele zur Gefällslinie gezogen und mit den Vertikalen durch die Spundwände zum Schnitt gebracht werden. Auch hier gibt die Piezometerlinie den Auftrieb in den einzelnen Teilen des Wehres. An dem Fallboden, der flussaufwärts des Wehres liegt, wirkt nach unten die Auflast des Wassers und nach oben der Auftrieb gemäss der Piezometerkurve. Dieser Teil des Fallbodens ist hauptsächlich wasserdicht zu konstruieren, da eine Undichtheit den Angriffspunkt des Wassers gegen das Wehr zu verschiebt, und dadurch das Gefälle vergrössert. Bei der Berechnung der Standsicherheit des Wehrkörpers ist auf den Auftrieb, wie er aus der Piezometerlinie hervorgeht, Rücksicht zu nehmen. Der Sturzboden flussabwärts des Wehres hat den Auftrieb gemäss der Piezometerkurve aufzunehmen. Er wird darnach berechnet, wobei noch zu berücksichtigen ist, dass das spezifische Gewicht des Materials dieses Sturzbodens noch durch das vollständige Untertauchen in Wasser sich um das Wassergewicht 1 vermindert.

Es bleibt nun noch zu bestimmen, wie sich der flussaufwärts liegende Fallboden in der Grösse zu dem Sturzbett zu verhalten hat. Hierbei spielt die Erosionstätigkeit des Wassers am Untergrund eine Rolle. Soviele Wasserkraft-Anlagen bestehen, soviele Angaben über die Erosions-

[1]) „Eng. News“ 29. Dez. 1910, 13. April 1911 und 6. Febr. 1913.

tätigkeit des Wassers könnten gesammelt werden, denn bei jedem Aufstau des Wassers muss sich infolge der Geschwindigkeits-Aenderung im Wehr und im Unterwasser auch eine Erosionstätigkeit zeigen. Diese Kolk-Erscheinungen werden jedoch meistens (leider!) wie ein kranker Finger möglichst geheim gehalten, sodass kaum schon gesammeltes Material bekannt ist.

Beim Durchströmen oder Ueberströmen des Wehres nimmt das Wasser infolge des freiwerdenden Gefälles die Geschwindigkeit v_1 an, im Unterwasser dagegen fliesst das Wasser mit der Geschwindigkeit v_2 ab. In den meisten Fällen ist die Geschwindigkeit v_2 kleiner als v_1 und dieser Geschwindigkeits-Uebergang erfolgt plötzlich, sodass das Wasser eine bestimmte Arbeit leisten muss, um sich zu beruhigen, nach dem Gesetze über die lebendige Kraft:

$$A = m\left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2}\right)$$

Diese Arbeit besteht ausser in der Ueberwindung von inneren Reibungen und Erwärmungen, die vorläufig unmessbar und unbeachtbar sind, in der Beschleunigung der Geschwindigkeit der benachbarten Wassermengen.

Die Beschleunigung der Wassermengen äussert sich auf verschiedene Weise, jedoch auch nach bestimmten Gesetzen. Prof. Dr. *Rehbock* hat darüber im Flussbau-Laboratorium an der Techn. Hochschule in Karlsruhe interessante Versuche[1]) gemacht. Im Grossen wurde besonders das Absenken des Wasserspiegels flussabwärts von Schützenwehren durch Herrn *Saugey*, Betriebsleiter des Kraftwerkes Chèvres, am dortigen Rhonewerk untersucht[2]). Beim Bau des Kraftwerkes Laufenburg am Rhein, des Kraftwerkes Faal an der Drau und einer Reihe kleinerer Kraftanlagen war es dem Verfasser möglich, die Wasserbewegung an Stauwehren genauer zu beobachten und dabei die nachfolgenden Erscheinungen immer wieder festzustellen.

1. Stösst eine fliessende Wassermenge gegen eine tiefer unter der Oberfläche liegende Erhöhung des Untergrundes, so entsteht ein quellender Wirbel. Bei dieser Art Wirbel wird das Wasser periodisch mehr oder weniger hoch kataraktartig ausgestossen. Bei dem Anprall der fliessenden Wassermenge an die Erhöhung im Untergrund hat ein Teil der Massen seine Geschwindigkeit von der normalen Fliess-Geschwindigkeit auf Null zu reduzieren. Die hierdurch freiwerdende Arbeit äussert sich in dem Aufheben und Ausstossen der benachbarten Wassermengen. An den Rheinschnellen zwischen der Rheinbrücke in Laufenburg und der Erweiterung des Stromes unterhalb dem Städtchen konnte eine Reihe solcher Wirbel beobachtet werden, die auch heute trotz des Aufstaues nicht verschwunden sind. Einer der grössten ist beim sog. Hügen dicht unterhalb dem früheren grossen Mittelpfeiler der Rheinbrücke. Ein anderer ist zu beobachten am Ende der sog. Schnelle; dort geht das nur 40 *m* breite, aber bei Mittelwasser 30 *m* tiefe Profil plötzlich in eine Breite von 112 *m* und eine Tiefe von 4 bis 10 *m* über. Bei diesem Uebergang bildet sich ein quellender Wirbel, dessen Bewegung z. B. am 28. Mai 1910 bei einem Pegelstand 2,42 in Basel beobachtet wurde und die nachfolgende Ueberhöhung über den normalen Wasserspiegel zeigte.

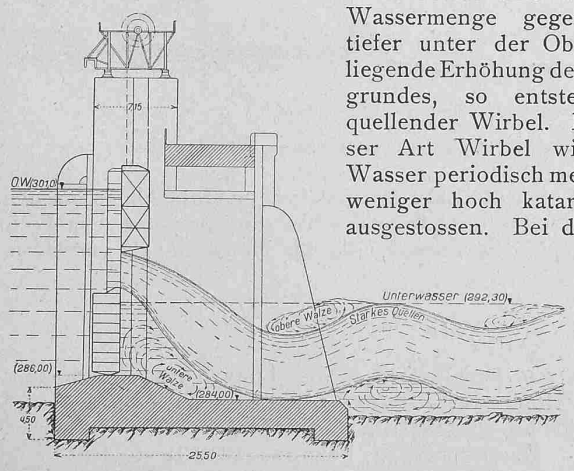

Abb. 4 Stauwehr bei Laufenburg, Wehröffnung. — 1 : 600.

sek.	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
cm	0	30	00	10	00	12	00	11	00	12	00	10	00	35	00

Diese Periode von grossen und kleinen Quellen wiederholte sich periodisch im Zeitraum von 120 Sekunden. Beim Hügen-Wirbel wurde eine Periode von 130 Sekunden beobachtet.

2. Ergiesst sich Wasser über eine Wehrkante, die in der Nähe der Oberfläche liegt, wie dies an dem in Abb. 3 im Querschnitt dargestellten Wehr in Flims der Fall ist, so wird das unterhalb des Wehres ruhig fliessende oder lagernde Wasser weggeschoben und dem Wasser eine grössere Geschwindigkeit erteilt, als dem Gefälle im Ablauf entspricht. Es entsteht dann ein Wellental, da die Absenkung nur auf ein bestimmtes Stück des Ablaufes wirkt. In diesem Wellental dreht sich eine sog. stehende Walze. Diese stehende Walze wird dadurch gebildet, dass das Wasser stetig den Wellenberg hinauf fliesst und wieder in das Wellental zurück rollt. Die Drehgeschwindigkeit dieser Walze ist also eine Funktion der Absenkung des Wasserspiegels.

Auf das Wellental folgt ein Wellenberg und diesem das ruhige Abfliessen des Wassers oder noch andere Wellenfiguren. Beobachtungen bei klarem und verhältnismässig ruhigem Wasser und auch die Laboratoriums-Versuche von Prof. Rehbock haben gezeigt, dass unter den Wellenbergen ebenfalls eine stehende Walze sich dreht, deren Drehrichtung jedoch der Drehrichtung der auf dem Strahle liegenden Walze naturgemäss entgegengesetzt ist.

Am Stauwehr in Laufenburg kann bei gewissen Schützenstellungen die obengeschilderte Erscheinung sehr deutlich beobachtet werden, wie sie auch auf der Zeichnung (Abb. 4) dargestellt ist. Auf dem Wasserstrahl, der zwischen beiden Schützen heraustritt, liegt die obere stehende Walze. Die unter dem Strahl liegende Walze zeigt sich durch ihre Wirkung; ihre Drehgeschwindigkeit bewirkt nicht mehr ein ruhiges Heben des Strahles, sondern das Wasser wird mit solcher Geschwindigkeit gegen den darüber fliessenden Strahl geschleudert, dass dieser zerreisst und gleich einem Katarakt aufquillt (Abb. 5).

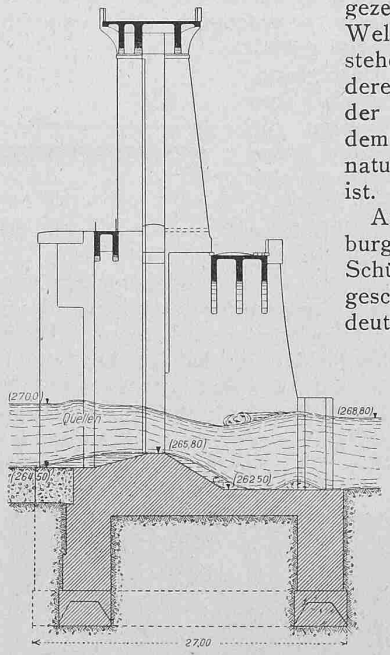

Abb. 6. Wehröffnung Faal. — 1 : 600.

Das Wasser, das mit grosser Geschwindigkeit über das Wehr stürzt, hat in die geringere Geschwindigkeit des abfliessenden Wassers überzugehen. Die freiwerdende Arbeit wird dazu benützt, den Wassermengen unterhalb des Wehres eine grössere Geschwindigkeit zu geben, als dem Gefälle entspricht. Ist die Arbeitsleistung aufgezehrt, so entsteht im Wasser wieder die normale Geschwindigkeit und der normale grössere Querschnitt.

Es können an Wehren auch beide Erscheinungen, die unter 1 und 2 geschildert sind, gleichzeitig beobachtet

[1]) Festschrift der Technischen Hochschule Karlsruhe zum 52. Geburtstag des Grossherzogs Friedrich II. Prof. Rehbock: Die Ausbildung der Ueberfälle beim Abfluss von Wasser über Wehre usw.

[2]) Siehe H. E. Gruner: Die Ausnutzung von Hochwasser bei Wasserkraftanlagen. Z. d. V. D. I. 1906, S. 1821.

werden. Bei dem Bau des Kraftwerkes Faal wurden in einer Schwelle beim Anstoss des Wassers an die Wehrschwelle der unter 1 geschilderte quellende Wirbel und flussabwärts der Wehrkante die unter 2 geschilderten Walzen beobachtet, wie dies auf der beigegebenen Zeichnung (Abb. 6) und Photographie (Abb. 7) dargestellt ist.

3. Stösst das Wasser gegen einen Einbau, der ihm nach oben den Durchfluss verwehrt, aber nach unten den Durchfluss gestattet, wie dies bei einer eintauchenden Schütze der Fall ist, so bilden sich oberhalb des Wehres drehende Wirbel und unterhalb des Wehres eine Absenkung des Wasserspiegels. Bei der Inbetriebsetzung des Kraftwerkes Laufenburg im Mai 1914 wurden die Schützen ziemlich gleichmässig abgesenkt; ehe die untern Schützen ganz aufsassen, war schon ein Stau von 5 bis 7 *m* erzeugt. Es bildete sich nun unterhalb des Wehres eine Absenkung von mehr als einem Meter auf eine Länge von 50 *m* und am Ende der Absenkung zeigte sich eine stehende Walze von über 2 *m* Durchmesser. Die Schütze gegen die Zentrale zu war noch etwas weiter geöffnet als die übrigen und dort zeigte sich ein Wirbel, dessen Saugöffnung einen Durchmesser von 80 *cm* hatte.

Das mit einer mittlern Geschwindigkeit gegen das Schützentor anströmende Wasser muss in einem Teil plötzlich seine ganze Geschwindigkeit abgeben; dadurch entsteht oberhalb des Wehres disponible Arbeit, die sich in Form der Wirbel äussert. Die Wirbel sind allerdings auch nur wie die Walzen die sekundäre Erscheinung. Auch hier werden die Wassermassen rascher der Oeffnung zugedrängt, als die andern Massen folgen können und entstehen dadurch Lufteinsaugungen, wie bei einem Wasserstrahl-Gebläse. Unterhalb des Wehres wiederholt sich der Vorgang, der schon unter 2. erläutert wurde. Auch hier werden die Wassermengen beschleunigt und dadurch Wellentäler und Wellenberge gebildet.

Gefährlich für den Untergrund, besonders bei losem Material, sind nun diese Wirbel und Walzen, die zum Teil in entgegengesetztem Sinne wie der normale Wasserstrom sich bewegen und auch je nach den Abflussverhältnissen am Wehr ihre Lage und Geschwindigkeit verändern. Ein Gleichgewichts-Zustand mit dem Untergrund kann nur entstehen, wenn die Teile des Untergrundes durch keine dieser Wasserbewegungen verschoben werden können. Diese Wirbel und Walzen stellen für den vertikalen Schnitt durch das Gewässer das Gleiche dar, wie das Hinterwasser für den horizontalen Schnitt. Wie diese unterhalb von Einbauten rückwärts flutenden Wassermassen zerstörender wirken, als der rasch vorbei fliessende Strom, so wird auch der Untergrund durch die drehende Bewegung der Walzen und Wirbel wesentlich mehr gelockert und zermürbt, als von dem geradlinigen Wasserstrom. Bei losem Material des Untergrundes besonders sollten die Wirbel noch in dem schützenden Bereich der Fluss-Oberfläche liegen.

Leider kennt man noch keine Formel, die es ermöglicht, aus der Grösse der am Wehr freiwerdenden Arbeit die Länge der Absenkung des Unterwasserspiegels und daraus die Lage der untern Walze zu bestimmen. Es wäre aber sehr erwünscht, wenn das darüber vorhandene Material gesammelt und einheitlich verarbeitet werden könnte. Vorläufig ist es für den entwerfenden Ingenieur angezeigt, durch Beobachtungen an bestehenden Werken sich selbst ein Bild über die Lage der gefährdeten Flussohle zu machen. Bligh gibt für die Länge des Sturzbodens unter dem Wehr eine empirische Formel, die für Meter-Einheit umgeformt lautet:

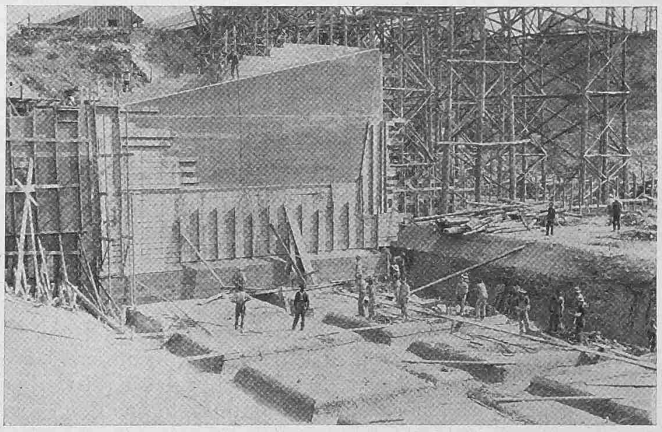

Abb. 11. Fundamentaushub in durchlässigem Untergrund.

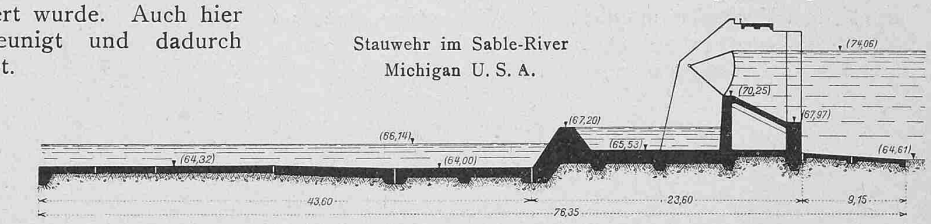

Abb. 10. Stauwehr mit Vorsperre und Sohlenabdeckung. — Schnitt 1 : 600.

$$L_s = 10\,c\sqrt{h}\cdot\sqrt{\frac{Q}{75}}$$

Hierin bedeutet L_s = die Länge des Sturzbodens, h = die Höhe des Aufstaues bei Hochwasser, Q = die Hochwassermenge (in m^3/sek) und c = den schon früher erwähnten Durchsickerungs-Faktor. Der Rest der Länge $L = c \cdot h$ hat sich dann auf das Wehrfundament, die Spundwände und den Fallboden zu verteilen.

Der Fallboden, d. i. die Abdeckung der Fussohle oberhalb des Wehres wird nach Bligh mittels einer Formel bestimmt, die in das Metersystem umgerechnet, wie folgt lautet:

$$L_f = 4\,c\sqrt{\frac{h}{42{,}6}}$$

Wenn auch, wie gesagt, keine scharf bestimmten Gesetze gefunden und durch Formeln ausgedrückt werden konnten, so können aus Beobachtungen doch *einige Regeln* abgeleitet werden, wenn man die Faustformeln von Bligh nicht ohne weiteres anwenden will:

Der Länge des Durchsickerungsweges und der Hemmung dieses Durchsickerns ist bei der Konstruktion des Wehres Rechnung zu tragen. Durch eine Kompression des Materials infolge Belastung mit den Bauten kann dies nicht geschehen.

Während des Baues darf der Untergrund nicht durch zu starkes, konzentriertes Pumpen ausgelaugt werden.

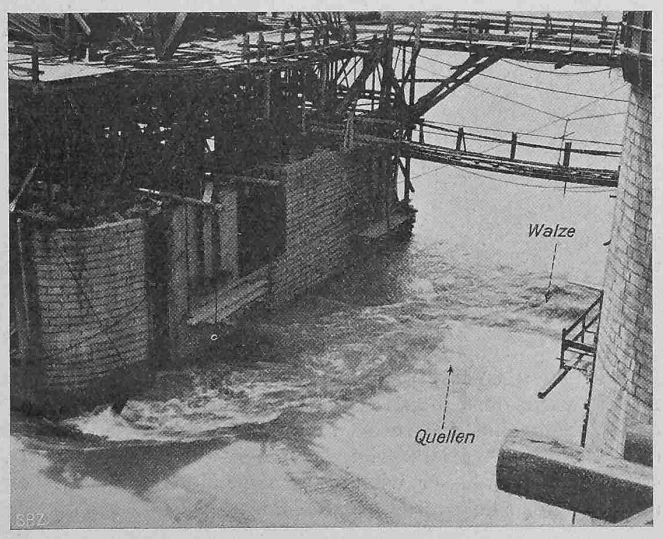

Abb. 7. Blick in eine Wehröffnung bei Faal an der Drau.

Einiges über Bau und Berechnung von Stauwehr-Anlagen.

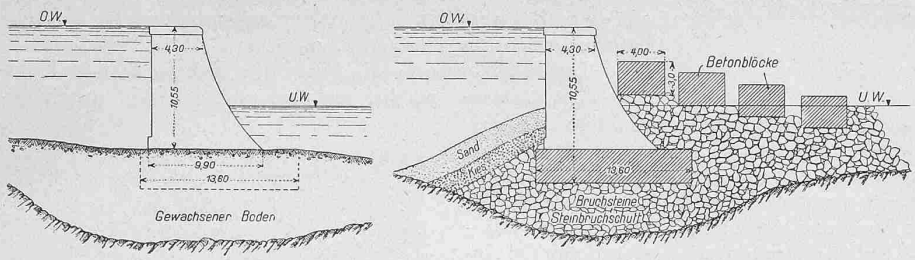

Abb. 8 u. 9. Stauwehr in der Durance, vor und nach Rekonstruktion. — 1 : 600

Abb. 12. Stauwehr im Croton-River, Mich. U. S. A., mit Sturzbett-Vorsperrre.

Werden im Wehr-Fundament Sporne oder Spundwände vorgesehen, so dürfen diese nicht zu dicht beisammen sitzen, da sich sonst die Zwischenräume zwischen diesen Spornen mit einer ruhenden Wasserschicht füllen und der Sickerungsweg durch die Sporne nicht verlängert wird. Auch kann die flussabwärts liegende Seite eines Spornes, der am untern Ende des Sturzbodens liegt, nicht ganz gerechnet werden, da dort ein gewisser Kolk zu berücksichtigen ist.

Die Gefällslinie darf keine so grosse Geschwindigkeit ergeben, dass wichtige Teile des Untergrundes mitgerissen werden.

Stauwehre, die auf losem Material stehen, haben im Bereich der Wirbel und Walzen einen Fall- und Sturzboden zu erhalten oder der Untergrund ist zum mindesten mit so schweren Blöcken zu schützen, dass er nicht aufgewirbelt und weggeschwemmt werden kann. Ein zu tiefer Kolk an einem Wehr in losem Material kann in kürzester Frist einen Durchbruch unter dem Wehr hindurch verursachen.

Dieser letzterwähnte Vorfall ereignete sich an einem Wehr an der Durance in Frankreich, das zum Fassen des Wassers für den Kanal du Verdon dient. Der grösste Teil des Wehres ist auf Felsen fundiert. In der Mitte jedoch konnte der Felsen nicht erreicht werden und man begnügte sich damit, das Wehr auf Kies zu stellen. Vom Jahre 1869 bis 1888 stand das Wehr ohne Schaden; im letztgenannten Jahre aber wurde infolge eines Hochwassers der Fuss des Wehres ausgekolkt und bei einer gewissen Kolktiefe brach das ganze Wasser des Flusses unter dem Wehr hindurch aus. Um diesem Strome Einhalt zu bieten, wurde am Fusse des Wehres durch Stein und Betonblöcke bis zu $4 \times 4 \times 4$ *m* der Kolk mühsam ausgefüllt und alsdann flussaufwärts durch Steinschroppen, Kies und Sand verstopft. Schliesslich wurde der Fuss des Wehres durch Blöcke von $6 \times 4 \times 3$ *m* befestigt. Der Umfang der Rekonstruktionsarbeiten am mittlern Teil des Dammes ist aus den Abbildungen 8 und 9 zu erkennen. Durch die getroffenen Massnahmen ist das Wehr nun so gesichert, dass sich seitdem keine Schäden mehr daran zeigten.

Es dürfte schliesslich noch von Wert sein, zu zeigen, wie in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika das schwierige Problem der Fundation auf durchlässigem Boden behandelt wird. Unserem Kollegen im Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Ingenieur A. Streiff verdankt der Verfasser hierüber einige interessante Angaben und Bilder. Der beigegebene Schnitt durch ein Wehr im Sable-River, Michigan, zeigt, wie das Wasser durch ein Schützen- bezw. Segmentwehr um etwa 8 *m* aufgestaut wird (Abbildung 10). Flussaufwärts anschliessend an das eigentliche Wehr ist ein Fallboden von 9,15 *m* Länge angebaut und flussabwärts schliesst sich ein Sturzbett von etwa 60 *m* Länge an das Wehr an. Auf diesem Sturzbett sitzt noch eine niedere Vorsperre, welche die Walzen an einen bestimmten Platz zu binden und ein Wasserpolster direkt am Fusse des Wehres zu erzeugen hat. Der Wehrkörper samt dem Fallboden und das Sturzbett bis zur Vorsperre bilden eine einheitliche zusammenhängende, undurchlässige Eisenbeton-Konstruktion. An die Vorsperre legen sich flussabwärts noch grosse Betonplatten an, deren Dicke mit abnehmendem Auftrieb, also flussabwärts abnimmt. Eine Photographie (Abbildung 11) zeigt das Fundament des Wehrs und den Untergrund; dieser besteht aus durchlässigem, losen Sand- und Kiesmaterial mit grössern eingesprengten Findlingen.

Die beiden nebenstehend wiedergegebenen zwei Photographien zeigen noch ein ähnlich gebautes Wehr im Croton-Fluss, Michigan, das im Jahre 1907 vollendet wurde und seitdem ohne Beschädigung im Betrieb ist. Das eine Bild (Abb. 12) zeigt das Wehr bei Niederwasser und auch deutlich die Vorsperre und aus dem andern Bild (Abb. 13) kann man die starke Beanspruchung, der das Wehr bei Hochwasser ausgesetzt ist, ersehen. Die Bauweise, welche die obenangeführten Regeln berücksichtigte, hat sich an diesen Wehrbauten bewährt.

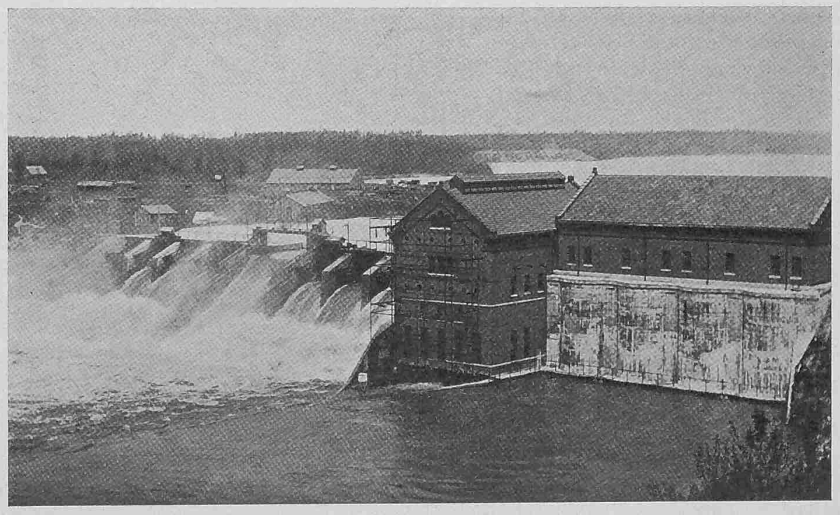

Abb. 13. Croton-River-Stauwehr bei geöffneten Schützen.