Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73/74 (1919)
Heft: 20

Artikel: Studien über Wasserbewegung an Wehren
Autor: Gruner, H.E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-35719

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: 10.08.2025

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

INHALT: Studien über Wasserbewegung an Wehren. — Zur allgemeinen Organisation der Hochbau-Kostenvoranschläge und Abrechnungen. — Ideen-Wettbewerb für einen Bebauungsplan der Gemeinde Kriens. — Die neue elektrische Lokomotive der Burgdorf-Thun-Bahn. — Miscellanea: Kuhl- und Lagerhaus für Gefrierfleisch in Marseille. Bündner Kraftwerke. Die erste Ozeanüberquerung durch Dampfschiff vor 100 Jahren. Beton im Meere. Die französischen Bahnen während des Krieges. Eine neue Lenne-Talsperre. — Konkurrenzen: Wasserwirtschaftsplan der Limmat. Neubau der Thurgauischen Kantonalbank in Frauenfeld. — Nekrologie: Emil Oppikofer. — Vereinsnachrichten Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Band 74. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 20.**

Studien über Wasserbewegung an Wehren.

Von Ing. *H. E. Gruner*, Basel.[1])

Es soll gezeigt werden, wie das Detail-Studium der Wasserbewegung, insbesondere die Erforschung der Wirbel, die sich im Wasser bilden, für die praktische Anwendung der Hydraulik wertvolle Aufschlüsse über die Vorgänge im strömenden Wasser ergeben.

Verfolgt man einen Wasserstrom beim Ueberfliessen eines Wehres, so zeigen sich in grossen Zügen die folgenden Vorgänge: Das Wasser des Wasserlaufes wird durch das Hindernis in seinem Gefälle oberhalb des Wehres verändert. Schon in der Staustrecke sind drei Hauptabschnitte und zwei Nebenabschnitte zu unterscheiden: Die Strecke mit dem normalen Gefälle, die durch den Rückstau erzeugte horizontale Strecke und die Strecke des Abfalles gegen das Wehr, und zwei Nebenabschnitte, im Uebergang des normalen Gefälles auf die horizontale Strecke und im Uebergang der horizontalen Strecke in den Abfall gegen das Wehr.

Nun kommt der Ueberfall über das Wehr; hier wird das Bild ein wesentlich anderes sein, ob es sich um ein Wehr mit breiterem Rücken oder mit scharfer Kante, mit einem Einschnitt zwischen parallelen Flügeln oder in einer scharf ausgeschnittenen Platte handelt. Je nach der hierdurch erzeugten Wasserführung im Wehr wird sich die Form des Abfallstrahles gestalten.

Bei dem Abfallstrahl können wieder einige wesentliche Abschnitte unterschieden werden: Zuerst der Teil, in dem das Wasser infolge seiner lebendigen Kraft in horizontaler Richtung fliesst, dann der Abschnitt, in dem es infolge der Schwerkraft fällt, und schliesslich der Teil, in dem das Wasser durch den Fuss des Wehres in seine zukünftigen Laufrichtung wieder abgelenkt wird. Auch hier sind noch Uebergangstadien einzuschalten, deren Einfluss die eigentlichen Hauptstadien dem Auge verschleiern kann.

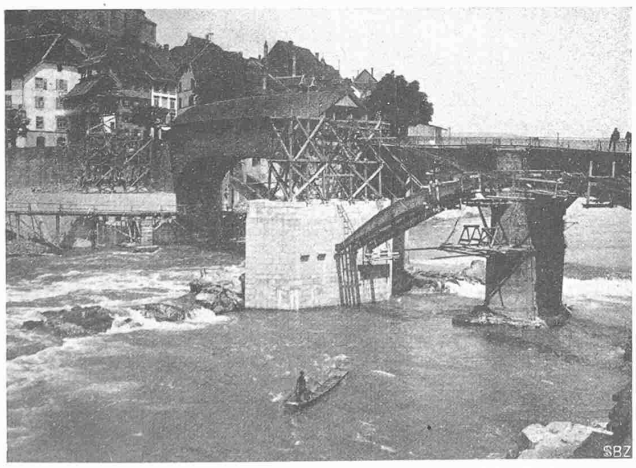


Abb. 2. Quellender Wirbel (hinter dem Längsriff im Bilde links vom neuen Brückenpfeiler) im Rhein bei Laufenburg.

Wenn wir nun die Bewegung des Wassers wissenschaftlich und praktisch wirklich kennen würden, müsste es möglich sein, ohne weiteres alle die oben erwähnten Vorgänge und ihre Zwischenstadien zu beschreiben und

[1]) Nach einem Vortrage, gehalten am 8. September 1919 in Lugano, in der Sektion für Ingenieurwissenschaften der «Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft».

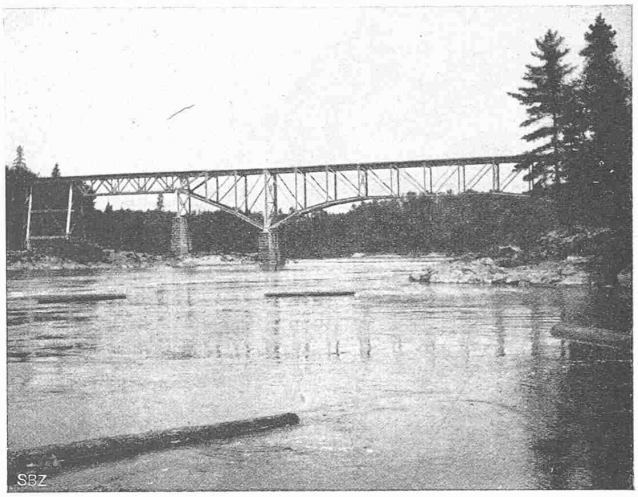


Abb. 1. Grosser drehender Wirbel im St. Maurice River (Kanada).

mathematisch zu analysieren, wie dies z. B. für viele elektrische Erscheinungen der Fall ist.

Verfolgt man den Wasserlauf gegen das Wehr zu, so kann ohne weiteres beobachtet werden, dass sich der Querschnitt des Wasserlaufes vergrössert; da nun die Wassermenge in erster Linie als konstant angenommen werden muss, wird sich die Wassergeschwindigkeit in dem vergrösserten Querschnitt verringern. Auch die verringerte Geschwindigkeit kann durch Messungen festgestellt werden. Die überschüssige lebendige Kraft im Wasser muss dabei durch irgendwelche innere Vorgänge aufgezehrt werden. Diese inneren Vorgänge sind heute noch nicht, zum mindesten nicht in allen Einzelheiten wissenschaftlich und praktisch erforscht. In den sogen. praktischen Formeln, die alle empirisch aus einigen zufälligen Messungen abgeleitet sind, erscheinen diese Vorgänge in mehr oder weniger kompliziert aussehenden Koeffizienten versteckt.

Soviel wir in der Natur und im Laboratorium beobachten können, wird die lebendige Kraft hauptsächlich durch Wirbelbildung aufgezehrt.

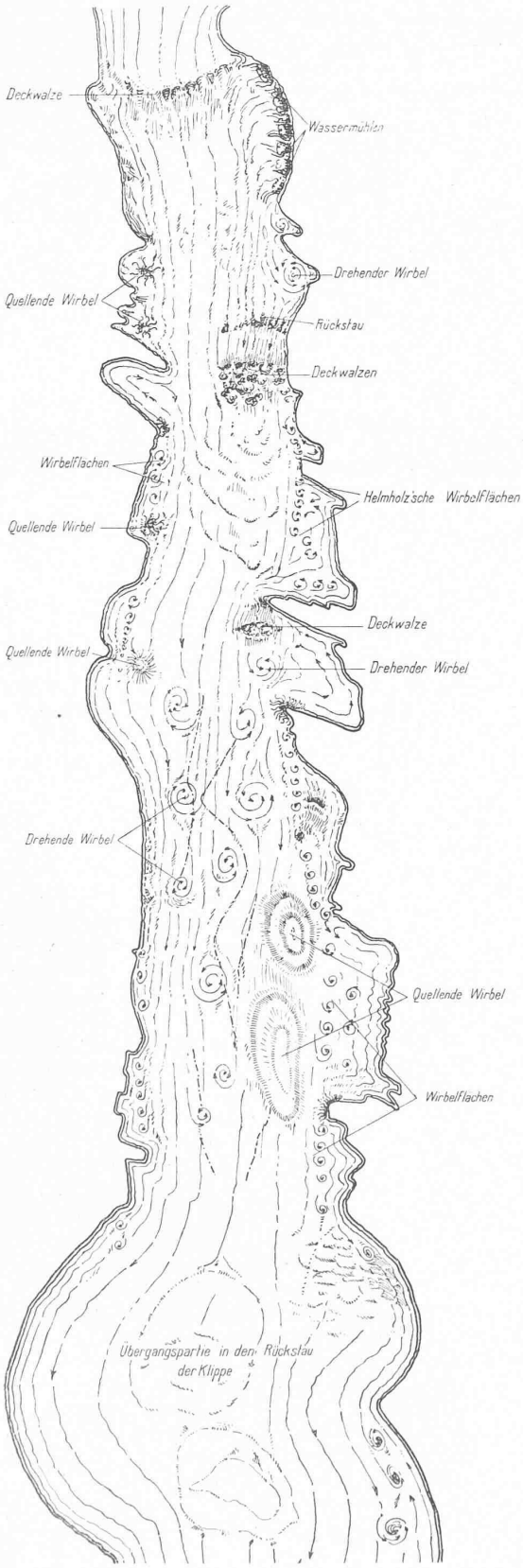
Schon Helmholz hat gezeigt, dass beim Vorbeigleiten von Flüssigkeiten verschiedener Geschwindigkeit nebeneinander *Wirbelflächen* entstehen. Das sind Flächen, in denen Serien von Wirbeln mit vertikaler Axe, einer neben dem andern, beobachtet werden können.

Zeigt sich in dem Wasserlauf eine plötzliche Erweiterung oder eine Richtungsänderung, so entsteht *ein grosser drehender Wirbel*, dessen Mitte tiefer liegt als die äusseren Ränder. Diese Wirbel sind besonders von Ahlborn in Hamburg[1]) durch sorgfältige photographische und kinematographische Aufnahmen untersucht worden. Unsere Abbildung 1 zeigt eine Bucht des St. Maurice River (Kanada), in der sich ein grosser drehender Wirbel infolge der Erweiterung des Flussbettes bildet. Die Richtung und die Umgrenzung dieses Wirbels sind aus der Lage der treibenden Holzstämme zu erkennen.

Bildet sich durch eine plötzliche Geschwindigkeits-Aenderung in einem Wasserlauf ein Wellental oder ein Hohlraum unter einem Wasserstrahl, so entsteht ein Wirbel mit horizontaler Axe quer zur Strömungsrichtung oder, nach Rehbock, eine *stehende Walze*. Solche stehende Walzen

[1]) *Ahlborn*, «Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften», Hamburg (1902).

können im Durchschnitt durch einen überfallenden Wasserstrahl auch im Laboratorium beobachtet werden, und finden sich näher beschrieben in dem Artikel: „Mitteilungen über Versuche zur Verhütung von Kolken an Wehren". (Siehe Bd. LXXI, 1918. Auch als Sonderdruck erschienen. *Red*)



(Fortsetzung von Abbildung 3 unten.)

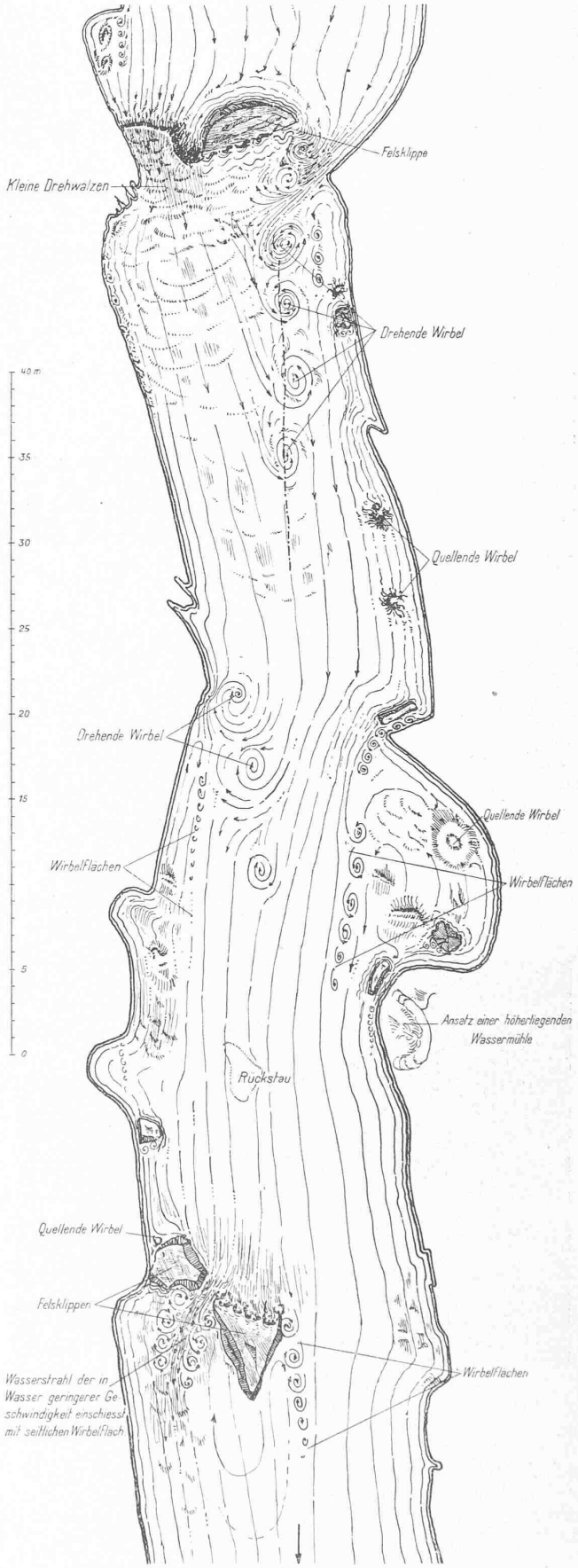


Abb. 3 und 4 (daneben). Darstellung der Wellen- und Wirbelbildungen des Jaunbaches in der Gorge de Russille. — Draufsicht im Masstab 1:350.

Wenn ein Wasserstrom gegen ein Hindernis stösst, z. B. gegen eine ruhende Wasserschicht oder gegen eine feste Fläche, oder wenn Wasser von grösserer in solches von kleinerer Geschwindigkeit unter die Oberfläche eindringt, so entstehen Wirbelringe, in deren Mitte das Wasser hervorquillt, während die Axen der sie umgebenden Wirbel einen geschlossenen Kreis bilden. Diese scheinbaren Wirbel-Ringe können als *quellende Wirbel* bezeichnet werden. Eine sachgemässe Beschreibung dieser Wirbel konnte in der Literatur nicht gefunden werden. Abbildung 2 zeigt einen quellenden Wirbel flussabwärts der alten Brücke von Laufenburg, bei dem eine Ueberhöhung der Mitte des Wirbels gegenüber dem angrenzenden Wasser bis zu 35 *cm*, dazu Pulsationen in gewissen Zeiträumen beobachtet werden konnten (siehe auch „Einiges über Bau und Berechnung von Stauwehr-Anlagen" in der „S. B. Z.", Bd. LXVI, Nr. 7, 1915).

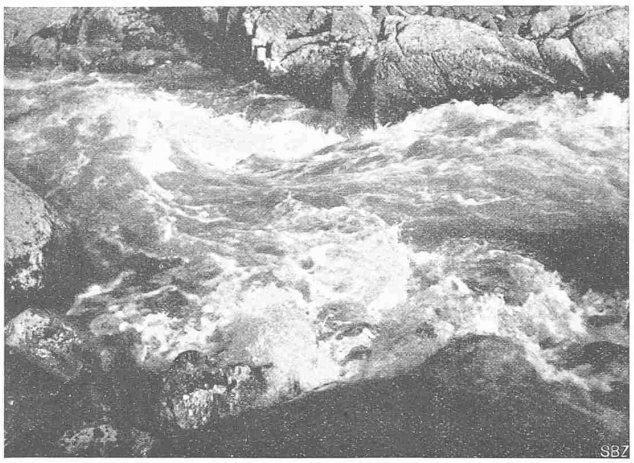


Abb. 7. Wellental mit stehender Walze (links) beim Eintritt des Jaunbaches in die Gorge de Russille („Deckwalze" oben in Abb. 3).

Um einmal ein genaues Bild über das Vorkommen der verschiedenen Arten von Wirbeln zu erhalten, liess der Verfasser durch seinen Assistenten, Ing. Jean Lugeon, die Wirbel des Jaunbaches in der Gorge de Russille sorgfältig aufnehmen (siehe Abbildungen 3 bis 7). Eine sorgfältige Untersuchung dieser Wirbel zeigt die genaue Gesetzmässigkeit ihrer Entstehung. Die Buchten, in denen das Wasser ruhig steht oder sogar rückwärts treibt, sind durch Helmholzsche Wirbelflächen vom Hauptstrom getrennt. Dort, wo das Wasser gegen Hindernisse, wie Felsschwellen, stösst, können die quellenden Wirbel beobachtet werden; bei plötzlichen Erweiterungen, denen sich das Wasser nicht anschmiegen kann, die drehenden Wirbel; wo das Wasser durch eine Klippe, die über den normalen Lauf in der Mitte des Flusses heraufragt, gedrosselt wird, schiesst diese Wassermasse unterhalb der Klippe mit grösserer Beschleunigung in die mehr oder weniger ruhige Wassermasse hinein, und es bilden sich dort neben dem Eintrittstrahl Wirbelflächen, grössere, drehende Wirbel und quellende Wirbel. Im Rückstau dieser Klippe dagegen bildet sich der Uebergang des normalen Wasserlaufes in den gestauten Wasserspiegel. So zeigt z. B. Abbildung 7 den Eintritt des Jaunbaches in die Gorge de Russille, wobei deutlich das Wellental unterhalb einer Ueberfallschwelle und die Entstehung einer stehenden Walze beobachtet werden kann.

Es erscheint aus dem soeben Entwickelten als durchaus berechtigt, zu erklären, dass wir einen grossen Schritt in der Erklärung der innern Vorgänge des Wassers vorwärts machen würden, wenn es uns gelänge, die Entstehung und das Verhalten der Wirbel in allen Einzelheiten zu beobachten und zu erklären.

Wenn man versucht, z. B. das Spiel eines quellenden Wirbels in einem Flusse in irgend einer Weise festzuhalten, so stösst man bald auf ausserordentliche Schwierigkeiten. Versucht man mit der Uhr in der Hand die Perioden eines quellenden Wirbels zu verfolgen, so zeigt es sich, dass beobachtbare Nebeneinflüsse, wie der Wind oder die Sonne, aber auch Nebeneinflüsse, die nicht beobachtet werden können, wie vielleicht unsichtbare Nebenströmungen und Bewegungen im Flussbett, die einfachste Zeitbeobachtung eigentlich verunmöglichen. Schwierigere Beobachtungen, wie die Bestimmungen der Wassergeschwindigkeit in den verschiedenen Stellen dieses quellenden Wirbels und dergleichen, sind nahezu unmöglich auszuführen. Es darf daher gesagt werden, dass eine Analyse der Wasserbewegungen in der Natur ohne Vorstudien im Laboratorium unmöglich ist.

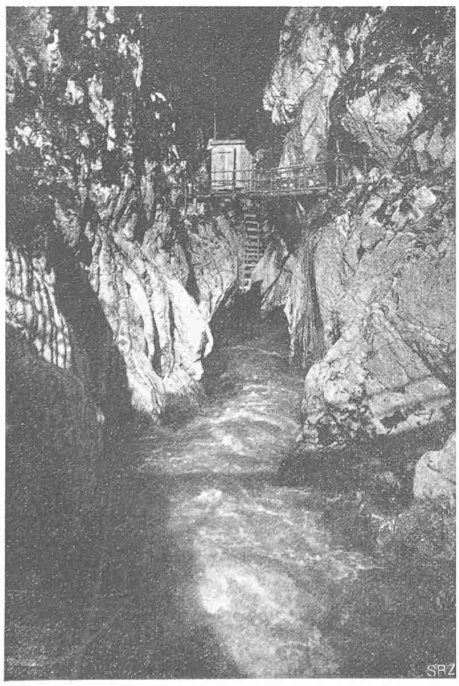


Abb. 5. Blick flussabwärts in den Eingang zur Gorge de Russille, bei normalem Wasserstand.

Solche Laboratoriums-Versuche sind keineswegs etwas Neues, denn die ersten ältern Hydrauliker, wie Weisbach, Dupuit, Dubois, Fliegner und J. T. Fanning haben sorgfältige Versuche gemacht. In der neuern Zeit werden sehr eingehende Versuche in den Vereinigten Staaten, in Deutschland und in Oesterreich durchgeführt; von Forschern sind zu nennen Rehbock, Ahlborn, Schaffernack, Forchheimer.

In der Schweiz sind allerdings durch Prášil und seine Schüler sehr wertvolle Versuche für den Turbinenbau und seine verwandten Zweige gemacht worden, aber im Flussbau und eigentlichen Wasserbau ist nichts geschehen. Die wenigen Versuche einiger Praktiker dürfen kaum Anspruch auf eigentlich wissenschaftliche Untersuchungen machen.

Nur der Laboratoriums-Versuch ermöglicht in klarer und übersichtlicher Weise die Vorgänge im Wasser zu beobachten,

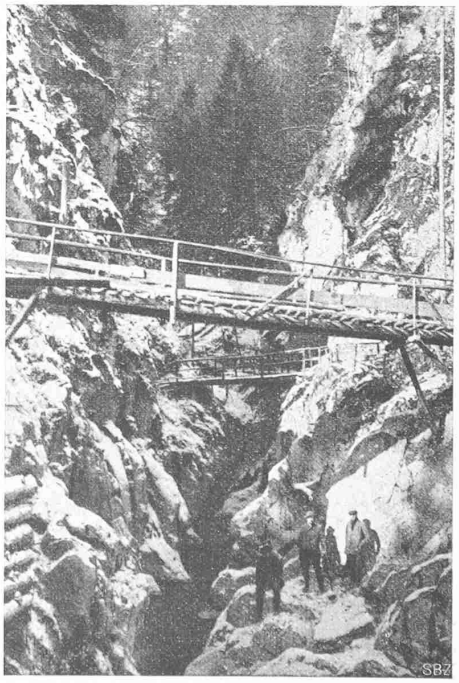


Abb. 6. Blick flussabwärts in den Eingang zur Gorge de Russille, nach Umleitung des Wassers.

weil Einrichtungen getroffen werden können, um den Wasserlauf auch in der Queransicht zu beobachten durch das Durchleiten des Wasserlaufes durch einen Kanal mit seitlicher Glaswand, und weil Wassermenge und Gefälle ununterbrochen genau bestimmt oder festgelegt werden können.

Kehren wir zu der gestellten Aufgabe zurück, so zeigt sich das Folgende: Beim Uebergang des normalen Wasserlaufes in den gestauten ist die überschüssige Energie zu vernichten. Versucht man diesen Vorgang in der Natur zu beobachten, wie er sich z. B. darstellt beim Zusammenfluss von zwei Gewässern oder beim Einfluss eines Gewässers in einen See, so erhält man etwa dieses Bild: Das rasch fliessende Wasser zwängt sich wie ein Keil in das ruhiger fliessende ein; seitlich entstehen die Helmholzschen Wirbelflächen und an der Spitze die quellenden Wirbel. Dieser ganze Vorgang benötigt für seine Entwicklung eine bestimmte Länge. Auf alle Fälle kann beobachtet werden, dass die Energie in der Hauptsache durch Wirbel-Bildung aufgezehrt wird. Den Vorgang kann man vielleicht richtiger so kennzeichnen: Die Wassermassen grösserer Geschwindigkeit keilen sich zwischen die Wassermassen kleinerer Geschwindigkeit; dadurch wird in erster Linie nicht die Kohäsion des rascher fliessenden Strahles zerstört, sondern die Kohäsion der langsamer fliessenden Wassermassen. Diese werden geteilt, und der Wasserstrahl mit der grösseren Wassergeschwindigkeit schiebt sich in diese Massen hinein. An den Grenzen der beiden Wassermassen beginnt die Adhäsion zwischen den rascher und den langsamer fliessenden Molekülen zu wirken. Vielleicht ist der Ausdruck berechtigt, dass die einen Moleküle sich an die andern anhängen und dadurch die Fliesskraft als Drehmoment zu wirken veranlassen, sodass eine Bewegung um eine bestimmte Axe entsteht. Diese Bewegung zeigt sich uns als Wirbel. Sobald sich die Fliesskraft in das Drehmoment verwandelt hat, ist ihre Energie für die Fortbewegung der ganzen Wassermasse zum grössten Teil verloren; die Wirbel selbst bewegen sich ebenfalls flussabwärts, bis sie sich verlieren.

Wenn der Ausfluss von Wasser aus Turbinenkammern in einen langsam fliessenden Unterwasserkanal oder in einen Fluss beobachtet wird, so kann immer die Entstehung der Wirbelringe, der sogen. quellenden Wirbel beobachtet werden. Die Entstehung dieser Wirbelringe ist schwieriger zu erklären. Wenn man aber die erste Beobachtung des Einfliessens von Wasser grösserer Geschwindigkeit in solches geringerer Geschwindigkeit sich vor Augen hält, so ergibt sich auch hierfür eine Erklärung. Denkt man sich einen Wasserstrahl unter der Oberfläche in eine ruhende Flüssigkeit eintreten, so wird sich das Wasser mit der grösseren Geschwindigkeit zwischen das ruhende einkeilen, und nach dem Gesetze des Weges nach dem geringsten Widerstande gegen die Oberfläche abgelenkt werden. Um diesen Wasserstrahl bilden sich die Wirbelwalzen, die nun nicht mehr vertikale Axe haben, sondern Axen, die der Oberfläche des Wasserstrahles richtungsgleich sind. Da der Wasserstrahl durch das Spiel der verschiedenen Kräfte eine mehr oder weniger runde Gestalt annimmt, tritt der quellende Wirbel als rundliches Gebilde an die Wasser-Oberfläche; die Mitte überhöht sich, je nach der noch freien Energie, und das Ganze ist von einem Kranz von Wirbel-Walzen in konzentrischem Ring umgeben.

Diese Erklärung wird durch Beobachtungen in der Natur bestätigt. Wenn in einem kleinern Gewässer ein solcher quellender Wirbel beobachtet wird, so kann eine Stelle gefunden werden, wo nicht nur eingeworfene Holzstücke, sondern auch Kieselsteine wieder an die Oberfläche geschleudert werden. Beim Bau des Kraftwerkes Laufenburg konnte man eine Beobachtung machen, die sich auch nur aus der Wirkung der quellenden Wirbel erklärt. Um den sogen. Laufen unter der alten Brücke in Laufenburg zu entfernen, musste die grosse Felsklippe am linken Rheinufer weggesprengt werden. Hierzu erstellte der Unternehmer einen Fangdamm, der bei Hochwasser überschwemmt war. Beim Brückenpfeiler der alten Brücke bestand der schon vorher erwähnte ausserordentlich starke quellende Wirbel (Abbildung 2). Die an diesen Wirbel anstossende Baugrube war nach dem ersten Hochwasser, das die Fangdämme nur wenig überflutete, durch einen grossen Haufen Kies mit Steinen bis über 1 *kg* Gewicht angefüllt. Ohne Zweifel sind diese Steine durch den quellenden Wirbel aus der dort gegen 20 *m* messenden Tiefe des Rheines an die Oberfläche geschleudert worden. (Schluss folgt.)

Zur allgemeinen Organisation der Hochbau-Kostenvoranschläge und Abrechnungen.

Von Architekt *Jos. Erne*, Susenberg, Zürich.

Die folgenden Ausführungen bilden eine zahlenmässige Illustration zu unserer bezüglichen Anregung in Band LXX, Seite 224 (10. Nov. 1917) und Seite 296 (22. Dez. 1917). Nach Durchführung des damals vorgeschlagenen Kosten-Kontrollsystems an zwei freistehenden Wohnbauten von je rund 100 000 Fr. Gesamtkostenbetrag und dabei weiterer Klärung der angeregten Kosten-Einteilung seien in der Tabelle I auf Seite 247 die zahlenmässigen Ergebnisse, die gewiss etwelches Interesse finden, bekannt gegeben.

Dem gegenübergestellt sei in nachstehender Tabelle II eine analoge prozentische Einteilung der Kosten nach gewerblichen Arbeitsgattungen, unter sonst gleichen Bedingungen wie oben.

Tab. II. Baukosten eines freistehenden Wohnhauses in %.
Unterteilt nach gewerblichen Arbeitsgattungen.

1.	Architekturarbeiten	6,50
2.	Finanzierung, einschl. Bauzinsen	2,89
3.	Städtische Verwaltung, Kontrolle von Baubewilligungen	0,20
4.	Erdarbeiten	2,53
5.	Maurerarbeiten	28,60
6.	Steinmetzarbeiten	2,68
7.	Konstruktions-Eisen-Lieferung	2,00
8.	Zimmermannsarbeiten	9,20
9.	Spenglerarbeiten	0,96
10.	Dachdeckerarbeiten	1,58
11.	Asphaltarbeiten	1,12
12.	Gipserarbeiten	3,15
13.	Schmiede- und Schlosserarbeiten	2,12
14	Glaserarbeiten	3,05
15.	Klein-Metallwaren-Handlungen, Beschläge	0,76
16.	Wasser- und Gas-Installationen	7,75
17.	Zentralheizungs-Installationen	3,43
18.	Elektro-Installationen	4,42
19.	Hafnerarbeiten	2,18
20.	Plattenlegerarbeiten	1,56
21.	Schreinerarbeiten	6,55
22.	Tapeziererarbeiten	0,53
23.	Maler- und Beizarbeiten	3,65
24.	Linoleumarbeiten	0,62
25.	Diverses	1,87
	Total Gesamtbau	100,00 %

(Gewöhnlich wird ja in der Praxis auch diese sogen. gewerbliche Teilung nicht konsequent durchgeführt, da meistens z. B. betitelt wird: „Bodenbeläge", „Wandbeläge", „Rolladen", wobei aber Tapeten und Täfelungen nicht zu den Wandbelägen kommen usw.)

An die beiden Zahlentabellen müsste, um sie erschöpfend auszubeuten, ein sehr langer Kommentar angehängt werden. Statt dessen sei nur das zu deren vergleichender Betrachtung und Bewertung absolut Notwendige zur neuen *Zweck*-Kostenteilung (erste Tabelle) kurz mitgeteilt. Daraufhin soll an die unmittelbarsten Konsequenzen der ganzen Anregung möglichst klar und nachdrücklich erinnert werden.

Die Bauleitungskosten sind in jeden Zweckbestandteil als dessen letzten Einzelposten eingerechnet, denn der Kostenbetrag jedes Bestandteils ist erst dann vollständig,