

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 73/74 (1919)
Heft: 21

Artikel: Studien über Wasserbewegung an Wehren
Autor: Gruner, H.E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-35722>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

INHALT: Studien über Wasserbewegung an Wehren. — Das Bürgerhaus in der Schweiz. — Ueber elektrisch geheizte Dampfkessel und Wärmespeicher. — Miscellanea: Eidgenössische Technische Hochschule. Drehstrom-Ofenstromtransformator für 52000 A. Flugmotor von 850 PS. Die Verbindung der Insel Sylt mit dem Festland. — Konkurrenzen: Wohnkolonie im Feldli und ländliche Siedlung im Zielgute St. Gallen.

Neubau der Thurgauischen Kantonalbank in Frauenfeld. Volkshaus auf dem Burgvogtei-Areal in Basel. — Korrespondenz. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender; Maschineningenieur-Gruppe Zürich; Stellenvermittlung. — An unsere Abonnenten.

Tafeln 18 bis 21: Das Bürgerhaus in der Schweiz; Band VII: Der Kanton Glarus.

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

Nr. 21.

Studien über Wasserbewegung an Wehren.

Von Ing. H. E. Gruner, Basel.

(Schluss von Seite 246.)

Auch beim Uebergang des normalen Wasserlaufes in den gestauten Wasserlauf müssen sich die oben geschilderten Vorgänge abspielen, denn auch hier dringt Wasser grösserer Geschwindigkeit gegen solches kleinerer Geschwindigkeit. Durch diese Vorgänge wird die überschüssige Energie im Wasser aufgezehrt und das Wasser auf die geringere Geschwindigkeit gebracht. Welche Strecke für diese Vernichtung von Energie gebraucht wird, darüber bestehen keine Anhaltspunkte. Eine genaue Kenntnis dieser Vorgänge ist jedoch nicht nur für den praktischen Gebrauch sehr erwünscht, sondern für Modellversuche unerlässlich. Denn es bereitet für den Modellversuch natürlich gar keine Schwierigkeiten, die Grössen algebraisch vom Modell in die Verhältnisse der Natur umzurechnen; unbekannt aber ist der Koeffizient, der beigelegt werden muss, um die Ergebnisse der Versuche praktisch verwerten zu können. Dieser Koeffizient muss enthalten die Wirkung der Kohäsion oder die Zähigkeit des Wassers, die eben nicht gemäss dem Modell verkleinert oder vergrössert werden kann. Diese Strecke, in der die Energie aufgezehrt wird, bildet beim Stauwehr auch die Uebergangsstrecke zwischen unbeflusstem Wasserlauf und Stau des Wehres. Ihre genaue Erforschung würde auch gestatten, die Staukurve genauer und sicherer zu berechnen, als dies bis jetzt der Fall ist. Umgekehrt könnte eine genaue wissenschaftliche Untersuchung und Bearbeitung der Staukurven reichlichen Aufschluss über die Aufzehrung der Energie in der Uebergangsstrecke geben.

Nähert man sich dem Wehre, so stösst man vor dem talaufwärts liegenden Teile auf Wirbel. Diese Wirbel treten nicht immer für das Auge in Erscheinung, da sie unter der Fülle der Erscheinungen sich verlieren oder verborgen sind; aber trotzdem sind sie vorhanden. Wenn es sich um einen Wehreinbau handelt, der von der Sohle aufwärts das Profil des Wasserlaufes einengt, so können quellende Wirbel entstehen. Das mit einer gewissen Geschwindigkeit gegen das Hindernis anstossende Wasser bahnt sich den Weg aufwärts in quellenden Wirbeln. Es ist bei sorgfältiger Beobachtung möglich, noch auf dem glatten Ueberfallstrahl solche Aufquellungen zu beobachten, die wie Geschwüre plötzlich aus der glatten Oberfläche hervor-

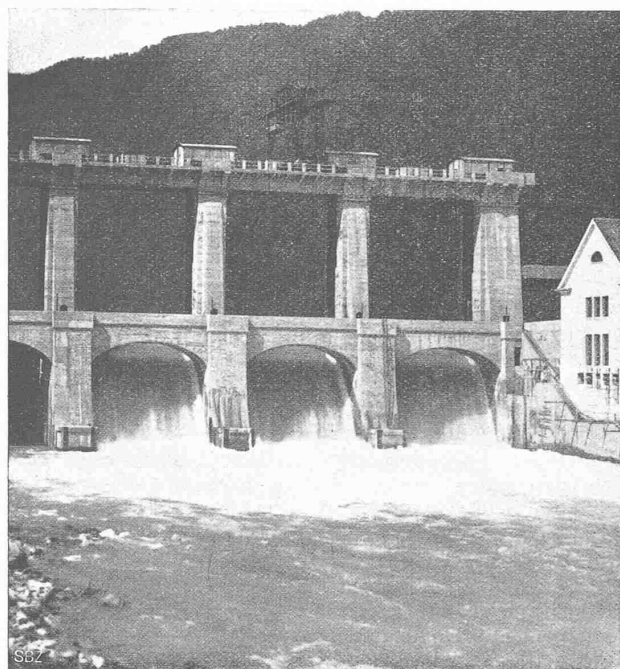


Abb. 9. Ueberfall beim Schützenwehr des E.-W. Faal an der Drau.

brechen. Diese Wirbel können aus dem Untergrund vor dem Wehr Teile mitreissen, und dadurch entstehen dann die Kolke oberhalb der Wehrschwelle.

Wird der Wasserlauf durch eine Einbaute abgesperrt, die von der Oberfläche gegen die Sohle zu den Wasserlauf einzwängt, so entstehen vertikale Wirbel mit ihren Axen parallel zur Schütze. Diese Wirbel können unter Umständen ganz ausserordentliche Grösse annehmen. Sie entstehen, wenn Wasser durch eine Oeffnung einfliesst, die zu klein ist, um das daran anschliessende Gefäss ganz zu füllen. Alsdann wird neben dem Wasser noch soviel Luft mitgerissen als notwendig ist, um das die Ableitung vermittelnde Gefäss ganz zu füllen. Das Wasser dreht sich beim Einströmen und während dem Durchfliessen, und es ist diese Drehbewegung eine Funktion der Reibung des Wassers an der Oberfläche des Gefässes und der einströmenden Luft. Wird die einströmende Luft am Fusse des Gefässes ausgeschieden und gesammelt, so zeigt sich, dass das Arbeitsvermögen der unter der Wassersäule komprimierten Luft einer Ausnützung von 75 bis 80% der verbrauchten Wasserkraft entspricht. Dieses Naturgesetz wollten sich vor etwa 16 Jahren eine deutsche und eine amerikanische Gesellschaft zunutze machen, die darnach in einigen Bergwerken Druckluft für Minenapparate erzeugten.

Wird das gegen ein Schützenwehr, wie z. B. dasjenige in Augst-Wyhlen, anströmende Wasser, das unter den Schützen durchgelassen wird, genau beobachtet, so zeigt es sich, dass der gesamte Wasserstrom fast bis gegen das Wehr anprallt und dann erst unter Bildung kleinerer oder grösserer saugender Wirbel, wie sie soeben geschildert wurden, in die Tiefe verschwindet. Auf diese Beobachtung ist z. B. bei der Schützenkonstruktion Rücksicht zu nehmen, da Schützen, die bei einem solchen Wehr ungeschütztes Fachwerk flussaufwärts zeigen, sich mit Schwemmsel, besonders Gestrüpp, füllen.

Der Wasserstrahl, der über das Wehr fällt, sollte theoretisch eine Fallparabel beschreiben, die eine Funktion

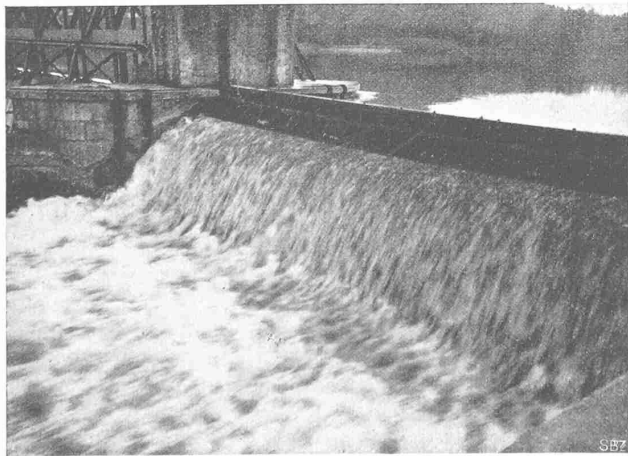


Abb. 8. Ueberfall beim Sektorenwehr der Flossgasse in Wynau.

der Anfangs-Geschwindigkeit beim Ueberströmen und der Fallgeschwindigkeit entsprechend der Höhe des Falles ist. Aber auch hier verursachen innere und äussere Widerstände eine Abweichung von der theoretischen Form. Die Beobachtung eines Falles über grössere Höhe bei relativ kleinerer Wassermenge gestattet uns auch hier einen Einblick in das Spiel der Kräfte. Der Strahl beginnt sich in einzelne Wellen oder Schüsse aufzulösen, wie sie eine Folge der Pulsationen des ankommenden Wassers und der Kohäsion für die Bildung des Wassertropfens sind. So zeigt Abbildung 8 den Ueberfall beim Sektorwehr der Flossgasse in Wynau, ein durch die Pulsation und den Luftwiderstand zerrissener Strahl, und Abbildung 9 den 15 m hohen Ueberfall der Drau beim Elektrizitätswerk Faal in Steiermark¹⁾, der trotz seiner grossen Dichte auch schon in seinem Abfall sich zu teilen beginnt, wobei die einzelnen Schlieren von aufstossenden quellenden Wirbeln sich im Strahl erkennen lassen.

Trifft nun der Strahl auf den unterhalb des Wehres befindlichen Teil des Wasserlaufes, so treten grundsätzlich die gleichen Erscheinungen ein, wie beim Eintritt von Wasser grösserer Geschwindigkeit in ein Gefäss mit kleinerer Geschwindigkeit. Der Strahl durchbohrt das sogen. Wasserpolster. Dieses Wasserpolster ist daher in den meisten Fällen illusorisch, da der Wasserstrahl doch auf das Bett des Fallbodens trifft. Da aber das Wasser nicht in geschlossenem Strahl, sondern in mehr oder weniger sichtbaren Schüssen die Sohle erreicht, so ist diese nicht einem konstanten gleichmässigen Druck, sondern einzelnen Schlägen ausgesetzt und kann daher in Vibration geraten. Es sind daher an dieser Stelle des auftreffenden Wasserstrahles Konstruktionen, die sich durch Vibration losrütteln können, nicht zu empfehlen, sondern nur möglichst starre Konstruktionen, wie z. B. grosse Quader.

Ein kleinerer Teil des auf die Wehrsohle treffenden Wasserstrahles wechselt seine Richtung und bildet unter dem Fallstrahl eine stehende Walze mit horizontaler Axe; der andere Teil schiesst in der Richtung des Wasserlaufes weiter. Da das Wasser durch den freien Fall eine für das

Querschnittes eigentlich flussabwärts ansteigen muss, so lösen sich aus der Oberfläche einzelne Teile oder sogar ganze Schichten ab, die in das Wellental zurückgleiten und wiederum vom Strahl mit aufwärts gerissen werden, sodass diese ganze Wassermasse in eine drehende Bewegung kommt. Diese rückwärts rollende Deckwalze belastet und bremst dadurch den Wasserstrahl, und da sie für das Bett des Wasserlaufes ganz unschädlich ist, so sind schon technische Vorschläge gemacht worden, diese Deckwalze so auszubilden, dass sie möglichst viel Energie des überströmenden Wassers aufzehrt.

Vom technischen Standpunkt der wichtigste Wirbel ist die Grundwalze unter dem Strahl. Diese Walze dreht, wie schon gesagt, im entgegengesetzten Sinne des Wasserlaufes. Durch den Aufprall des Wassers auf die Sohle des Wasserlaufes oder durch das Einbohren des Fallstrahles in das Wasser unterhalb des Wehres wird ein Teil des Wassers in dieser umgekehrten Richtung abgelenkt. Wie wir beim Einschliessen des Wassers grösserer Geschwindigkeit in solches kleinerer nach aufwärts einen quellenden Wirbel beobachten konnten, bildet sich das gleiche nun nach abwärts. Der Fallstrahl bohrt sich in das Wasser ein, und um ihn herum bilden sich die drehenden Walzen. Die rückläufige Walze hebt sich an der Wehrkonstruktion wieder herauf, erreicht den Fallstrahl und wird wieder mit ihm fortgerissen. Dieses Wasserspiel wühlt den Boden des Wasserlaufes unterhalb des Wehres auf. Der Fallstrahl zerstört die Struktur des Untergrundes, und die rückläufige Walze hebt die einzelnen Teile in den Fallstrahl, von dem sie zum grössten Teil weitergerissen werden, während ein kleinerer Teil wieder in die Walze zurückkehrt und so in dieser dreht.

Lässt man diesen Vorgang bei einem Modellversuch auf Material einer gewissen Korngrösse eine Zeitlang spielen, so kann man beobachten, dass der bohrende Fallstrahl und die hebende Grundwalze mit zunehmender Tiefe ihre Kraft verlieren und schliesslich das Material nicht mehr bewegen können. Also auch hier die gleiche Erscheinung, die eingangs beim Einstürzen von Wasser grösserer in solches

Studien über die Wasserbewegung bei Wehren.



Abb. 10. Unterwassersseite eines Stauwehres bei Niederwasser.

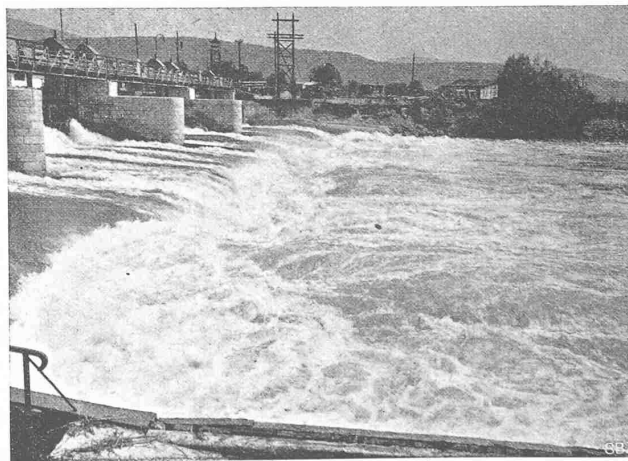


Abb. 11. Das in Abb. 10 gezeigte Stauwehr bei Hochwasser.

normale Gefälle des Wasserlaufes zu grosse Geschwindigkeit angenommen hat und diese Geschwindigkeit sich hernach im Wasserlauf wieder verliert, beansprucht das Wasser einen kleineren Querschnitt als eine kurze Distanz weiter abwärts, und es bildet sich ein Wellental. In diesem Wellental bildet sich meistens eine stehende Walze, eine sogen. Deckwalze, deren Entstehen sich leicht erklärt (siehe Abbildung 7); da das Wasser zur Vergrösserung seines

¹⁾ Vergl. die generelle Beschreibung dieses Werkes in Bd. LXIII, Seite 364 (vom 20. Juni 1914). Red.

kleinerer Geschwindigkeit erörtert wurde. Die lebendige Kraft wird in einer bestimmten Länge des Wasserlaufes aufgezehrt.

Unter dem mit der Deckwalze bedeckten Wellental hervor schiesst der Strahl gegen den normalen Wasserlauf, daher die normalen Erscheinungen, quellende Wirbel und Flächen mit Wirbelreihen oder nochmals ein Wellental, bis endlich der normale Ablauf des Wassers sich bildet. In der grossen Turbulenz zehrt das Wasser seine überschüssige Energie auf, sodass in verhältnismässig kleiner

Entfernung unterhalb des Wehres der Wasserlauf nur noch die Geschwindigkeit hat, die seinem mittleren Gefälle entspricht. In dieser Uebergangszone wird natürlich die Sohle des Wasserlaufes ganz anders angegriffen, als während des normalen Laufes. Abbildungen 10 und 11 zeigen ein Wehr in der Aare bei Nieder- und Hochwasser mit einem grossen Abfall in der Sohle des Wehres; bei Hochwasser kann der Abfallstrahl beobachtet werden, ebenso die auf dem Wellental tanzende stehende Welle und die quellenden Wirbel beim Uebergang des Abfallstrahles in den normalen Lauf des Flusses.

*Bouquet de la Grye*¹⁾ hat durch Beobachtungen und hernach auch durch einen Laboratorium-Versuch nachgewiesen, dass durch die drehenden Wirbel, wie sie sich bei Fluss-erweiterungen bilden, der Sand aus der Tiefe herausgesogen und an eine andere Stelle transportiert wird. Es wurde vorher gezeigt, dass der quellende Wirbel ebenfalls das Material aus der Tiefe herausholt und an andere Stellen wirft. Der bekannte Geograph *Jean Bruhne*²⁾ hat in verschiedenen wertvollen Schriften, so in einem Artikel: „Le travail des eaux courantes, la tactique des tourbillons“, nachgewiesen, dass die sogen. „Gletschermühlen“, richtiger gesagt Wassermühlen, durch das rotierende Wasser entstanden sind, und dass diese „Marmites de géant“ einen ganz hervorragenden Anteil an der Talbildung hatten. In einer sehr wertvollen Arbeit: „Le striage du lit fluvial“ hat *Maurice Lugeon*³⁾ auf Grund von Beobachtungen am Yadkin in Nord-Carolina und an der Rhone in Gèniissiat nachgewiesen, dass ausser der Aushöhlung der Felsen auch ein Abschleifen erfolgen kann, wenn die Geschwindigkeit des Wassers eine gewisse Grenze überschreitet, sodass es nicht mehr turbulent fliesst, sondern in den schiessenden Zustand übergeht, bei dem die Wasserfäden dann parallel gerichtet sind. Die Wirkung dieses Wassers ist die Aushöhlung von parallelen Kanälen, wie sie im kleinen an den Düsen der Peltonräder beobachtet werden können, und im grösseren bei sorgfältiger Beobachtung bei vielen Bächen und Flüssen unserer Alpen.

Vielleicht ist noch nicht genügend hervorgehoben worden, wie sehr die Wirbelbildung eine Funktion der Geschwindigkeit des Wasserlaufes ist. Wenn bei den soeben geschilderten geologischen Vorgängen das Ergebnis von zwei ganz verschiedenen Zuständen im Wasser gezeigt wurden: bei der Aushöhlung des Felsens das Resultat des turbulenten Fliessens des Wassers, und bei der parallelen Auskerbung des Felsens das Resultat des Schiessens mit parallelen Wasserfäden, so können in den Wasserläufen noch alle möglichen Uebergänge je nach der Geschwindigkeit des Wassers beobachtet werden. Um nur ein Beispiel anzuführen, sei an den Einbau einer vertikalen Buhne in einen Wasserlauf erinnert. Die Wirkung dieser Buhne kann eine sehr verschiedene sein: es kann eine einfache Wirbelfläche entstehen, die sich gegen die Mitte des Wasserlaufes hinzieht, es kann eine Ablenkung gegen das

Ufer hin erfolgen, und es kann ein mächtiger drehender Wirbel mit der nach de la Grye unausbleiblichen Auskolkung entstehen. Es folgt jedoch jedesmal das Wasser einem ganz bestimmten Gesetz.

Alle diese Beobachtungen, die von Naturforschern gemacht und beschrieben wurden, können natürlich auch vom Techniker an den Wasserbauten beobachtet werden. Wenn genau nach diesen Gesetzen konstruiert würde, so würde kein Wasserbau mehr Ueberraschungen bringen,

sondern es würde sich genau das einstellen, was schon zuvor erwartet, wie sich auch bei den elektrischen Installationen das einstellt, was der Techniker erwartet. Es würde dann z. B. möglich sein, eine Wehrform zu finden, um die gefährlichen Walzen und Wirbel vom Untergrund fernzuhalten und nur an der Oberfläche des Wassers wirken zu lassen; so würde der Untergrund weniger angegriffen. Auf dieses hin haben die alten Wehrbauer gezielt, als sie ihren Wehren die sogen. glatten Ueberfallformen gaben.

Dieses bezwecken auch die S. B. B. mit dem Sihlüberfall in der Stadt Zürich¹⁾. Der Mangel dieser Konstruktionen ist nur der, dass sie sich höchstens einer Wassermenge ganz anpasst, während sie für andere nicht entsprechend verstellbar werden kann. Die sogen. Flossfeder dagegen, d. i. ein beweglicher, am Fusse des Wehres angehängter Schwimmkörper, hat den Vorteil, dass sie sich automatisch nach der Wassermenge des Wehres richtet.²⁾

Es kann der Grundsatz aufgestellt werden: *Je besser das Wasser geführt wird, desto weniger bilden sich Wirbel, desto weniger greift das Wasser die Wände des Wasserlaufes an. Es ist die Aufgabe des projektierenden Ingenieurs, die richtige Führung des Wassers zu bestimmen.* Bei dem jetzigen Stand der Kenntnisse über die innern Vorgänge des Wassers kann aber die richtige Wasserführung in den meisten Fällen nur durch Versuche festgestellt werden. Es wäre deshalb im Interesse sowohl der Wissenschaft als auch der Technik, wenn die Schweiz ein *Flussbau-Laboratorium* besitzen würde.

Um zu zeigen, wie ein solches Flussbau-Laboratorium ungefähr ausgestaltet werden muss, gibt die Abbildung 12 das Bild des neuen Flussbau-Laboratoriums in Wien. Auf der einen Seite des Bildes sieht man den breiten Eisenbeton-Trog, in dem die Versuche gemacht werden können, auf der andern Seite einen Eisentrog, der seitlich durch Glas abgeschlossen ist, um die Vorgänge im Innern des Wassers bequem beobachten zu können. Beide Tröge können auch zu einem einzigen vereinigt werden, um einzelne Beobachtungen, bei denen es auf eine grosse Breite oder auf das Einfließen des Wassers von der Seite ankommt, durchzuführen. Ueberall ist durch eine sorgfältige Führung der Messinstrumente für die Möglichkeit genauer Beobachtungen gesorgt. Im Hintergrund sieht man die Einführung des Wassers, das genau in den gewünschten Mengen den Trögen zufliesst, während von dem auf dem Sockel stehenden Nivellierinstrument aus alle Höhen im Lokal genau und sicher kontrolliert werden können.

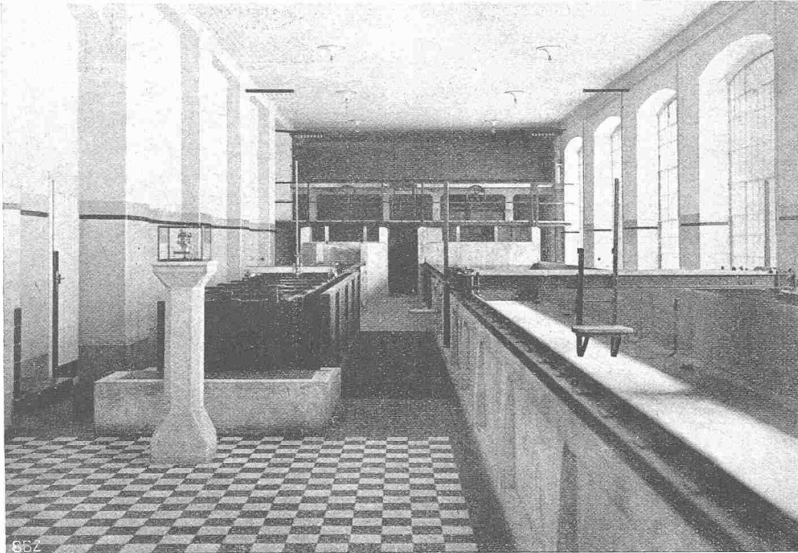


Abb. 12. Versuch-Gerinne im Flussbau-Laboratorium der Technischen Hochschule Wien.

¹⁾ C. R. Acad. Sc. LXXXIII, 1876, p. 797.

²⁾ Mémoires de la Soc. Fribourgeoise des Sciences naturelles 1902.

³⁾ Annales de Géographie tome XXIII—XXIV, 1914/1915.

¹⁾ Dargestellt in Bd. LXX, S. 214 (3. November 1917).

²⁾ Dargestellt in Bd. LXXI, S. 39 u. 49 (26. Jan./2. Febr. 1918).