

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87/88 (1926)
Heft: 19

Artikel: Zur Wasserberuhigung unterhalb von Stauwehren
Autor: Lüscher, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-40994>

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: 15.03.2025

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

Zur Wasserberuhigung unterhalb von Stauwehren.

Von Dr. phil. G. LÜSCHER, Ing., Aarau.

Allgemeines. Das unschädliche Durchlassen überschüssiger Wassermengen durch Stauwehrranlagen bietet mit wachsendem Staugefälle steigende Schwierigkeiten. Die Befestigung der Abfallböden und ihr Unterhalt bieten bei den grösseren Stauwehrranlagen eine ständige Sorge der Besitzer und ihrer verantwortlichen Organe. Andererseits verlangt die Wirtschaftlichkeit der Anlagen, dass mit den Staugefällen auch der Niederdruckwerke möglichst hoch gegangen wird, sodass, trotz der erwähnten Schwierigkeiten und Kolkungsgefahren, Gefälle bei den modernen Stauwehren von 10 m bis 20 m nicht mehr zu den Seltenheiten gehören, auch an Flüssen ohne Ausgleichmöglichkeit starker Wassermengen-Schwankungen. So nützt z. B. das Mühleberg-Werk der B. K. W.¹⁾ ein Staugefälle von 20 m aus, das projektierte Limmatwerk Wettingen der Stadt Zürich ein solches von 23 m, bei durchzulassenden Hochwassermengen von 500, bzw. 800 m³/sek. An Rhein und Aare dagegen ging man bis heute nicht wesentlich über 10 m.

Die 1902 beim Bau des Stauwehres des Werkes Beznau gemachten Erfahrungen, wo der Hochwasserdurchlass unter den einteiligen Schützentoren zu Kolkungen im vorhandenen Nietfelsen führte, die grösseren Abwehrmassnahmen riefen, veranlasste uns damals zu dem Vorschlage der Zweiteilung der Schützentore, damit nicht die ganze Wassermenge unter dem höchsten Gefälldrucke durchgelassen werden müsse, eventuell bei ausserordentlichem Hochwasserdurchlass sich die Ueberflutungsströmung an der Unterströmung brechen sollte, oder umgekehrt. Aber trotz der spätern Ausführungen dieser Massnahmen ist man bis heute zu keinem befriedigenden Ergebnis der kostspieligen Abfallboden-Ausgestaltungen gelangt, die sich in der Richtung immer grösserer Ausdehnung bewegten (Eglisau, Augst-Wylen, Laufenburg).

Neuere Versuche zur Wasserberuhigung. Die Versuche von Prof. Rehbock im Wasserbaulaboratorium der Techn. Hochschule in Karlsruhe führten zu der Erkenntnis, dass das Zustandekommen einer Deckwalze über dem abschiessenden Wasserstrahl auf dem Abfallboden weitestgehende Energieverzehrerung des schiessenden Strahles bewirkt. Es führte ihn diese Erkenntnis zur Ausgestaltung des Abfallbodens mit muldenartiger Vertiefung, deren flussabwärtige, flach geneigte Aufstiegrampe die Walzenbildung fördert. Diese Versuche führten zur Ausbildung des Sihlüberfalls in Zürich. (Siehe Beschreibung durch Prof. E. Meyer-Peter, Zürich, in „Schweizer. Bauzeitung“ Band 79, Nr. 6, vom 11. Februar 1922)

Die grosse Bedeutung der energieverzehrenden Deckwalze ist also erwiesen. Eine Erschwerung ihrer Anwendung bedeutet indessen das Fehlen einer einfachen Berechnungsmethode, indem in dem oben erwähnten Aufsätze (unter Bezugnahme auf eine Arbeit von Rehbock in der „Wasserkraft“, Heft 4 und 5, 1921) gesagt wird: „Für den praktisch wichtigen Fall des Vorhandenseins einer Walze kann zur Zeit nur der Modellversuch zum Ziele führen . . .“ Solche Modellversuche sind aber umständlich, unter Umständen auch kostspielig, sodass es doch wünschenswert ist, eine einfache Berechnungsmethode zu finden. Zur Erkenntnis der Möglichkeit solcher Methoden gelangten wir anlässlich Projektierungsarbeiten und indem wir mit einem dem Sihlüberfall nachgebildeten Modell Versuche unternahmen, wie in Abbildung 1 dargestellt, an dem wir, durch unsern Herrn Al. Dittli, alle möglichen Messungen und Feststellungen machten, deren vorläufiges Resultat wir nicht vorenthalten wollen.

Berechnungsmethode. Der abschiessende Wasserstrahl W fährt unter die im Bassin befindliche oder sich ansammelnde Wasserschicht hinein, die sich an der Aufstiegrampe des Bassins als Walze ausbildet. An dieser Deckwalze

verzehrt deren Wasserreibung die Energie des schiessenden Strahles und es wird die Schussgeschwindigkeit verzögert. Die Walze selbst weist hierbei eine gewisse Rückwärtsneigung α auf und es hält die rückwärts wirkende Kraft des Walzengewichtes der Reibung am schiessenden Strahl das Gleichgewicht.

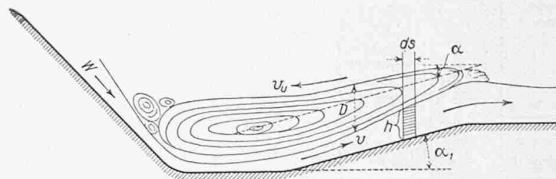


Abb. 2.

Dies formulieren wir an Hand der Abbildung 2 wie nachfolgend ausgeführt. Hierbei bedeutet:

- α = Den Rückwärtsneigungswinkel der Walze,
- dB = Bettbreite-Differential,
- ds = Weg-Differential,
- dk = Kraft-Differential,
- dt = Zeit-Differential,
- v = Geschwindigkeit des Wassers im schiessenden Strahl,
- v_u = Walzenrückflut-Geschwindigkeit,
- λ = Wirkungsfaktor,
- D = Dicke oder Mächtigkeit der Walzenschicht,
- h = desgl. des schiessenden Wasserstrahls,
- K_1, K_2 = Konstanten.

Nun ergibt sich die Reibungskraft zu:

$$dk = dB ds K_1 (v + v_u)^2.$$

Da die durch die Reibung verzögerte Wassermasse dm die Grösse hat:

$$dm = dB ds h \frac{1}{g} \quad (\text{worum } g = 9,81),$$

wird ihre Verzögerung:

$$\frac{dv}{dt} = K_1 \frac{(v + v_u)^2}{h} = K_1 \frac{v^2}{h} (1 + \lambda)^2$$

und damit:

$$\frac{dv}{v} = K_1 (1 + \lambda) \frac{v dt}{h} = K_1 (1 + \lambda) \frac{ds}{h}.$$

Die Integration der Gleichung verlangt die genauen Werte für $1 + \lambda$; aber wir besitzen diese nicht, und müssen daher eine mittlere Grösse $(1 + \lambda) K_2$ als Konstante approximieren, um zu einem ersten einfachen Resultat zu gelangen.

Es wird die Endgeschwindigkeit v des Wasserstrahls zu

$$v = v_0 e^{-K_2 (1 + \lambda) \int ds/h} \\ = v_0 e^{-K_2 (1 + \lambda) s/h_m} \quad \dots \quad (1)$$

wobei v_0 die Eintrittsgeschwindigkeit des schiessenden Strahles (in Abb. 2 unterhalb des Pfeiles bei W) bedeutet.

Der Einfachheit wegen nehmen wir $h_m = \frac{h_0 + h_e}{2}$ und richten die Konstante K_2 darnach.

Wir benützen nun die Versuchsergebnisse des Sihlüberfalls in Zürich, die uns die Berechnung der Koeffizienten etwas erleichtern. Es war nämlich (nach „S. B. Z.“ vom 11. Februar 1922, Seite 70):

Die Sohlengeschwindigkeit $v (v_0) \cong 12$ m/sek.

Die Endgeschwindigkeit $v = 4,5$ m/sek.

Die Höhendifferenz des Bettes = 7,42 m.

Die Bettbreite = 36,36 m (min.).

Die Länge der Walze etwa = 22 m.

Die mittlere Schussdicke $h_m = 0,937$ m.

Die Endfallhöhe = 4,58 m.

Die theoretische Fallgeschwindigkeit $v = 11$ m/sek.

Es würde daraus nach Gleichung 1:

$$4,5 = v_e = 11 e^{-K_2 (1 + \lambda) 22/0,937}$$

oder: $K_2 (1 + \lambda) = -0,0184 (1 + \lambda) = -0,0368.$

Mit Hilfe dieser Näherungswerte lässt sich der Bremsweg s für eine bestimmte durchfliessende Wassermenge berechnen, um zu einer festgesetzten Endgeschwindigkeit

¹⁾ Siehe Beschreibung in Band 87, Seite 275 u. ff., Mai-Juni 1926 Auch als Sonderabdruck erschienen. Red.



Abb. 1.

zu gelangen, die im allgemeinen im Maximum 4 bis 5 m, auch bei ausserordentlichen Hochwassern, nicht überschreiten sollte. Zur vollen Unschädlichmachung kann am Ende der befestigten Abfallbodenrampe sodann noch eine Zahnschwelle (nach Rehbock) angewendet werden (s. „S.B.Z.“ Bd. 87, Nr. 3, vom 16. Jan. 1926, S. 27 u. ff.).

Rückfall-Rampe und Walzeninhalt lassen sich aus der Ueberlegung berechnen, dass die

Entstehung und das Bestehen der Walze verlangt, dass die Rückfallkraft grösser sei als die Reibung des Strahls an ihr, dass also der Walzeninhalt J in m^3 :

$$J \sin \alpha c_2 > \int dB ds K_2 (1 + \lambda)^2 v^2$$

Da aber der Walzeninhalt $J = \int dB ds D$ wird, erhält man:

$$\int dB ds D \sin \alpha c_2 > \int dB ds (1 + \lambda)^2 v^2 K_2$$

zu:

$$D \sin \alpha c_2 > (1 + \lambda)^2 v_m^2 K_2.$$

Mit Hilfe dieser Berechnungsmethoden ist man im Falle, wenigstens angenähert die richtige Abfallbodenform für gegebene Projektionsverhältnisse zu gestalten, die dann vor der Ausführung mit Vorteil im Flussbaulaboratorium noch näher untersucht wird. Wir behalten uns vor, bei weiterem Fortschreiten der Versuchsergebnisse auf diese Fragen, entsprechend ihrer Wichtigkeit, zurückzukommen. Wenn auch die hier beschriebene Abfallbodenform nicht allgemein, sondern mehr in besonderen Fällen wird zur Anwendung kommen können, gleich wie dies auch bei der Zahnschwelle der Fall ist, so bedeutet sie doch schon in ihrer heutigen Form eine Errungenschaft.

Die Versuche sind seit Einreichung dieser Arbeit (Juni 1926) in einem von mir errichteten neuen, grösseren Laboratorium am Suhr-Fluss ununterbrochen fortgesetzt worden; nähere Berichterstattung bleibt vorbehalten.

Schweizerische elektrochemische und elektrometallurgische Industrie im Jahre 1925.

Ueber den Beschäftigungsgrad in der schweizerischen elektrochemischen und elektrometallurgischen Industrie während der letzten Jahre entnehmen wir dem „Bericht über Handel und Industrie der Schweiz im Jahre 1925“ und zum Teil denen der vorangehenden Jahre die folgenden Angaben:

In der Kalziumkarbid-Industrie hielt die im Jahre 1924 eingetretene Besserung nicht an. War es den schweizerischen Exporteuren gelungen, ihren Absatz auf England, Holland, Belgien und auf Uebersee bis nach Indien und Südamerika auszudehnen, so ist andererseits die Ausfuhr nach Frankreich und Deutschland infolge der hohen Zölle sozusagen verunmöglicht. Als Folge dieser ungünstigen Umstände mussten z. B. die 1899 gegründeten Werke in Gurnellen in Liquidation treten. Die Ausfuhrzahlen sind seit 1914 die folgenden:

| | | | | | |
|------|----------|----------------|------|----------|---------------|
| 1914 | 35 900 t | 7,8 Mill. Fr. | 1920 | 9 900 t | 4,4 Mill. Fr. |
| 1915 | 55 400 t | 12,5 Mill. Fr. | 1921 | 9 900 t | 3,6 Mill. Fr. |
| 1916 | 58 000 t | 17,4 Mill. Fr. | 1922 | 9 300 t | 2,2 Mill. Fr. |
| 1917 | 59 500 t | 20,9 Mill. Fr. | 1923 | 6 100 t | 1,6 Mill. Fr. |
| 1918 | 75 800 t | 35,2 Mill. Fr. | 1924 | 15 100 t | 3,8 Mill. Fr. |
| 1919 | 36 900 t | 20,2 Mill. Fr. | 1925 | 13 900 t | 3,3 Mill. Fr. |

Von der Ausfuhrzahl für 1925 entfallen je 5150 t auf die Niederlande und Belgien, 1200 t auf England und der Rest von 2400 t auf

die übrigen Länder. Der mittlere Wert der Tonne Kalziumkarbid, der von 217 Fr. im Jahre 1914 auf 547 Fr. im Jahre 1919 gestiegen war, betrug 253 Fr. im Jahre 1924 und 239 Fr. im Jahre 1925.

Die Produktion an Kalziumkarbid für den Inlandmarkt wird auf etwa 32 500 t geschätzt, wovon 29 500 t für die Fabrikation von Cyanamid und verschiedenen andern Produkten verwendet wurden. Der Verbrauch für Heizung, Beleuchtung und autogene Schweissung war mit rund 3000 t um 600 t geringer als im Vorjahr.

Die Produktion an Cyanamid, die in Martigny und Chippis erfolgt, wird auf 27 000 t geschätzt. Die Ausfuhr, die wohl einige Lagerbestände umfasst, stieg auf 26 300 t mit einem Wert von über 5 Mill. Fr.; Abnehmer waren hauptsächlich Frankreich und Italien. Rund 1300 t wurden im Inland verbraucht; weitere 2000 t dienten zur Fabrikation von Phosphazot, das sich als Dünger in der Schweiz so gut einführt, dass nichts mehr für den Export nach Frankreich übrig bleibt, sodass davon die Rede ist, die Produktion erheblich zu vergrössern.

Die andern chemischen Produkte, die aus Karbid hergestellt werden, sind immer noch Azetaldehyd und Essigsäure, deren Export sich etwas verringerte, und der Brennstoff „Meta“, der sich immer mehr einführt.

Die Aluminium-Industrie litt während des Winters 1924/25 unter ungünstigen Wasserverhältnissen. Die Inbetriebnahme des Kraftwerks Turmann gestattete aber dennoch eine Vermehrung der Produktion. Die Entwicklung dieser Industrie seit 1914 geht aus den nachstehenden Zahlen hervor, die die ausgeführten Mengen an Aluminium und Aluminiumwaren angeben.

| | | | | | |
|------|----------|----------------|------|----------|----------------|
| 1914 | 7 470 t | 14,9 Mill. Fr. | 1920 | 6 120 t | 30,5 Mill. Fr. |
| 1915 | 9 410 t | 37,4 Mill. Fr. | 1921 | 8 610 t | 27,4 Mill. Fr. |
| 1916 | 11 370 t | 49,5 Mill. Fr. | 1922 | 9 170 t | 23,5 Mill. Fr. |
| 1917 | 11 130 t | 56,5 Mill. Fr. | 1923 | 12 150 t | 31,8 Mill. Fr. |
| 1918 | 11 370 t | 63,4 Mill. Fr. | 1924 | 15 700 t | 47,2 Mill. Fr. |
| 1919 | 6 120 t | 33,5 Mill. Fr. | 1925 | 17 390 t | 51,8 Mill. Fr. |

Der Export ist also noch weiter gestiegen. Diese Maximalproduktion konnte zu Preisen abgesetzt werden, die angesichts der Umstände befriedigend genannt werden dürfen. Für die Versorgung mit Rohstoffen ergaben sich keine Schwierigkeiten mehr, und die Werke vermochten ihre Lager wieder aufzufüllen. Beschäftigt wurden dabei ungefähr 2500 Arbeiter.

Die Ausfuhr von Ferrosilizium und andern Eisenlegierungen, die nach einer vorübergehenden Steigerung im Jahre 1923 im folgenden Jahre wieder zurückgegangen war, nahm 1925 wieder etwas zu. Sie betrug für rohes Ferrosilizium und ähnliche Eisenlegierungen:

| | | | | | |
|------|----------|----------------|------|---------|---------------|
| 1914 | 16 570 t | 6,7 Mill. Fr. | 1920 | 6 750 t | 3,3 Mill. Fr. |
| 1915 | 19 280 t | 10,1 Mill. Fr. | 1921 | 2 760 t | 2,4 Mill. Fr. |
| 1916 | 22 670 t | 16,3 Mill. Fr. | 1922 | 2 610 t | 1,1 Mill. Fr. |
| 1917 | 22 780 t | 22,4 Mill. Fr. | 1923 | 4 720 t | 1,8 Mill. Fr. |
| 1918 | 15 670 t | 17,7 Mill. Fr. | 1924 | 2 710 t | 1,6 Mill. Fr. |
| 1919 | 9 740 t | 6,9 Mill. Fr. | 1925 | 3 130 t | 1,9 Mill. Fr. |

Die Besserung der Preise hielt an; nachdem der mittlere Wert der Tonne vom Maximum von 1130 Fr. des Jahres 1918 bis 1923 auf 377 Fr./t gesunken war, stieg er wieder auf 586 Fr./t im Jahre 1924 und 611 Fr./t im Jahre 1925.

Die Fabrikation von Elektro-Gusseisen durch die „Société de la Fonte électrique“ in Bex, die nach zweijähriger Einstellung im Laufe des Jahres 1924 wieder aufgenommen war, musste wieder aufgegeben werden. Dagegen wurde die Fabrikation von reinem und karboriertem Ferrochrom beibehalten und dazu jene von Phosphoreisen neu aufgenommen.

Nachdem die Produktionskosten herabgesetzt werden konnten, darf in der Erzeugung von Aluminat-Zement (Elektro-Zement) eine weitere Entwicklung erhofft werden. Das genannte Werk in Bex erzeugte im Berichtjahr 500 bis 600 t dieses Zements.

Die Produktion von Salpetersäure aus Luftstickstoff, in Chippis, mittels des elektrischen Lichtbogens, die 1923 trotz mangelnder Rentabilität im Interesse des Staates aufrecht erhalten worden war, ist schon 1924 endgültig aufgegeben worden, da die Säure vom Ausland viel billiger bezogen werden kann.

Unter den durch Elektrolyse gewonnenen Erzeugnissen war eine fühlbare Vermehrung im Export von Chloraten und Perchloraten festzustellen. Die Ausfuhr (Persulfate in kleinen Exportmengen infolge begriffen) stieg von 1462 t im Werte von 1,1 Mill. Fr. im Vorjahr auf 2008 t für 1,66 Mill. Fr. im Jahre 1925. Die im Vorjahr aufgegebene