

Zeitschrift:	Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schiffahrt
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	19 (1927)
Heft:	7
Artikel:	Ueber Versuche mit Rehbockschen Zahnschwellen
Autor:	Lüscher, G.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-920494

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: 16.01.2026

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

Inhalts-Verzeichnis

a. Nationalrat Oberst Ed. Will — Ueber Versuche mit Rehbockschen Zahnschwellen — Ausfuhr elektrischer Energie — Wasserbau und Flußkorrekturen — Schiffahrt und Kanalbauten — Elektrizitätswirtschaft — Kohlen- u. Oelpreise — Anwendungen der Elektrizität: Statistik der elektrischen Wärmeapparate für den Haushalt in der Schweiz in den Jahren 1913—1926 — Elektrisch-automatische Präzisions-Warmwasserheizung — Absatzfinanzierung und Elektrizitätsindustrie — Englische Anschauungen über die Verwertung elektrischer Energie im Haushalt — Kleine elektrische Wärmeapparate — Das elektrische Haus — Elektrische Kirchenheizung.

Ueber Versuche mit Rehbockschen Zahnschwellen.

Von Dr. G. Lüscher, Ingenieur, Aarau.

Schon seit einiger Zeit führen wir wasserbau-technische Versuche durch und haben eine ganze Reihe von Anordnungen geprüft, um Anhalts-punkte über günstige Energievernichtung und Kolkverhütung zu gewinnen.

Um auch die Zahnschwellen von Rehbock etwas verstehen zu lernen, bauten wir Modelle von solchen und variierten in den Versuchen Gefäll, Unterwassertiefe, durchfließende Wasser-menge, um so die Eigenarten der Wirkung der Zahnschwelle beobachten zu können.

In unsern Bildern a₁ bis d₃ geben wir die Re-sultate der Kolkversuche wieder, die wir mit zwei verschiedenen, in Versuchsgerinne eingebauten Wehrmodellen erhielten. Das eine der letzteren stellte ein normales Schützenwehr mit flacher Sohle ohne Zahnschwelle dar, gemäß Bildern a₁, b₁, c₁, d₁. Beim zweiten wurde am Ende des befestigten Bettens eine Rehbocksche Zahnschwelle aufgesetzt gemäß den Bildern a₂, b₂, c₂, d₂ und a₃, b₃, c₃, d₃. Das Versuchsgerinne hatte eine Breite von 100 cm, die Spiegel von Oberwasser und Unterwasser, wie auch die Tiefe des letzteren waren so gewählt, daß der Versuch für die Praxis möglichst brauchbare Resultate lieferte. In der Versuchsgruppe der Bilder a₁, a₂, a₃ (4 cm Oeffnung des Schützes) hielten wir bei a₁ und a₂ Oberwasser- und Unterwasserspiegel während der Ver-suche auf gleicher Höhe. Es zeigte sich nun, daß bei Modellversuch des Bildes a₁ in kurzer Zeit sehr erhebliche Kolke auftraten, während bei Modell-versuch des Bildes a₂ mit der Rehbockschen Zahnschwelle fast gar keine Kolkungen entstanden. Diesen zwei Versuchen schlossen wir nun einen solchen mit reduzierter Unterwassertiefe an, gemäß Bild a₃. Bei diesem traten in kurzer Zeit trotz Vorhandenseins der Rehbockschen Zahnschwelle starke Kolke auf. In der Folge zeigte sich, daß dieses Verhalten trotz Veränderung der durchfließenden Wassermengen sich ungefähr gleich bleibt.

Die Bilder a, b, c, d zeigen die Versuchsresul-tate bei Oeffnung des Schützes von 4, 3, 2, 1, 2 cm am Modell, die immer prinzipiell gleiche Resultate lieferten, nämlich, daß bei viel Unterwasser in-folge der Rehbockschen Schwelle der Kolk ver-mindert, resp. ganz vermieden wurde, bei wenig

Unterwasser dagegen trotz der Rehbockschen Schwelle Kolke auftraten. Das sofort in die Augen fallende Resultat war daher das, daß die gute Wirkung dieser Schwelle an gewisse Bedingungen geknüpft ist, und es ist nicht schwer, diese Be-dingungen auf Grund der Versuche qualitativ zu-sammenzufassen.

Betrachten wir in Bild a₁ den Stromlinienverlauf. An der Stelle, wo der schießende Strahl den befestigten Abfallboden verläßt, und auf das Ge-biet der unbefestigten Flußsohle übertritt, besitzt er noch Energie genug, um das Bettmaterial los-zureißen und zu kolken, bis nach Bildung einer genügend großen Grundwalze zwischen schießen-dem Strahl und Flußboden die Kolkkraft ihr Ende erreicht, und das Weiterkolken nur noch ganz langsam erfolgt. Beobachten wir dagegen Versuchs-resultat des Bildes a₂: Wir sehen, daß der schie-sende Strahl direkt vor der Zahnschwelle nicht die ganze Tiefe des Unterwassers einnimmt, son-dern nur etwas mehr als die Hälfte. An der Zahnschwelle wird dieser Strahl in der Hauptsache nach oben abgelenkt, also von der unbefestigten Flußsohle entfernt, und ein Abstand des schießen-den Strahls vom Flußboden geschaffen, der um so größer ist, je tieferes Unterwasser man hat. Es wird also nun spontan ein Grundwalzengebiет geschaffen, in dem eine um so schwächere Grund-walze entsteht, je kleiner das Verhältnis T₁ : T₂ des Bildes a₂ ist. Dadurch ist eine Bedingung der Kolkverhütung bereits geschaffen, und dies um so eher, je kleiner die Energie des Wasserstrahls beim Passieren der Schwelle an sich schon ist. Viel ungünstiger sind die Verhältnisse beim Ver-such des Bildes a₃. Hier haben wir das Unter-wasser reduziert und dadurch das Verhältnis T₁ : T₂ mehr gegen 1 hin verschoben. Es nimmt daher der Strahl einen größeren Teil der ganzen Unterwassertiefe in Anspruch, und die Schwelle kann das Aufwärtsrichten des Wasserstrahls nicht mehr so vollkommen bewirken, wie in a₂. Die Folge ist, daß nun so lange und so tief ein Kolk entsteht, bis die Kolkkraft der Null zustrebt, also bis ein gewisser Grenzzustand angenähert ist. Zwei Hauptbedingungen sind es daher, die erfüllt sein müssen, soll die Rehbocksche Schwelle voll zur Wirkung gelangen:

1. Der schießende Strahl sollte bei seinem Auf-treffen auf die Zahnschwelle nur einen Teil der dortigen Unterwassertiefe beanspruchen.

2. Er sollte dabei bereits vor Ueberschreiten der Zahnschwelle den größten Teil seiner leben-digen Energie verbraucht, beziehungsweise an den auftretenden Walzen verzehrt haben.

Natürlich wird, je nach den speziellen Um-ständen, jede dieser Bedingungen nur bis zu einem gewissen Grad erfüllt sein müssen, um den

Kolk zu vermeiden, oder doch stark zu reduzieren. Beide Bedingungen helfen einander, so daß ein Mehr des Einen ein Weniger des Andern gestattet.

Prinzipiell dasselbe sagen die Versuche der Gruppe b_1 , b_2 , b_3 . Die durchgelassene Wassermenge ist dort kleiner, entsprechend einer kleineren Öffnung des Schützes von 3 cm, statt 4 cm wie in der Gruppe der a. Es zeigt sich wiederum, daß auf dem nicht mit Zahnschwelle versehenen Abfallboden (Bild b_1) starke Kolkung auftritt, während die Beifügung der Rehbockschwelle bei viel Unterwasser eine ganz bedeutende Reduktion des Kolks verursachte (Bild b_2). Eine Absenkung des Unterwasserspiegels von 14 auf 11,5 cm hinunter (Bilder b_2 und b_3) bewirkte den Eintritt eines gefährlichen labilen Zustandes (Bild b_3). Anfänglich war die Erscheinung der oberflächlichen Begrenzung der Wasserbewegung dargestellt durch die Kurve I in Bild b_3 . Dann wechselte die Erscheinung ab mit Kurve II, welche die Begrenzung einer beginnenden Walze darstellt. Nach und nach wuchs die Walze und strebte nach der Form der Kurve III. Dem vermindernten Unterwasser entsprach der vermehrte Kolk (Bild b_3).

Prinzipiell ganz dasselbe Resultat ergaben die beiden andern Versuchsgruppen der Bilder c und d, respektive die Gruppen mit 2 und 1,2 cm Öffnung des Schützes.

Die beobachteten Resultate lassen sich etwa in folgender Art formulieren.

Bedingung 1.

Bereits in der „Schweizerischen Bauzeitung“ vom 6. November 1926 veröffentlichten wir eine Formel, welche die mittlere Geschwindigkeit v des schießenden Strahls an jeder Stelle als Funktion des Weges s (Abb. 1) ausdrückte.

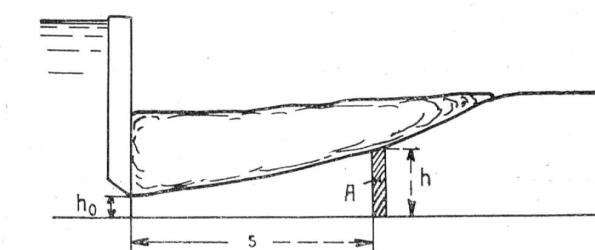
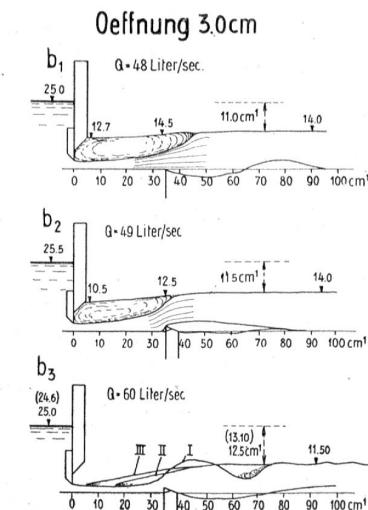
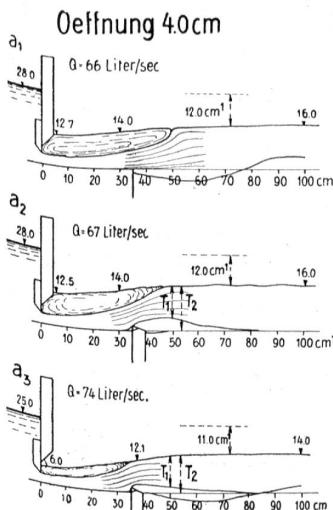


Abb. 1. Längsschnitt des Versuchskanals.

Wir entwickelten jenen Ausdruck neuerdings in die Form

$$v = \frac{v_0}{1 + \frac{c \cdot s}{h_0}} \quad \text{Gleichung 1.}$$

worin v_0 die Durchflußgeschwindigkeit unter dem Schütztor, c der Reibungskoeffizient des schiesenden Strahls an der Walze, s der zurückgelegte Weg, und h_0 die geringste Mächtigkeit des Strahls ist.

Für die Mächtigkeit des Strahls direkt vor der Rehbock-Zahnschwelle resultiert die Formel

$$h = h_0 \cdot (1 + \frac{c \cdot s}{h_0}) \quad \text{Gleichung 2.}$$

Gleichung 1 ist weiter unten abgeleitet. Die Mächtigkeit des schießenden Strahls h über oder vor der Zahnschwelle muß nun um so kleiner gegenüber der dortigen Unterwassertiefe sein, je größer die Geschwindigkeit v dort an sich ist. Ist T_s die Unterwassertiefe vor der Schwelle, dann muß also der Ausdruck

$$\frac{h_0}{T_s} \cdot (1 + \frac{c \cdot s}{h_0}) = \eta = \text{kleiner als 1 sein.}$$

Unsere Experimente entsprechend genügt der Wert von η , wenn er 0,6 nicht übersteigt, vollkommen, um Kolkung zu vermeiden. Allerdings kommt nun noch die auf Seite 3 erwähnte Bedingung 2 hinzu, wie folgt.

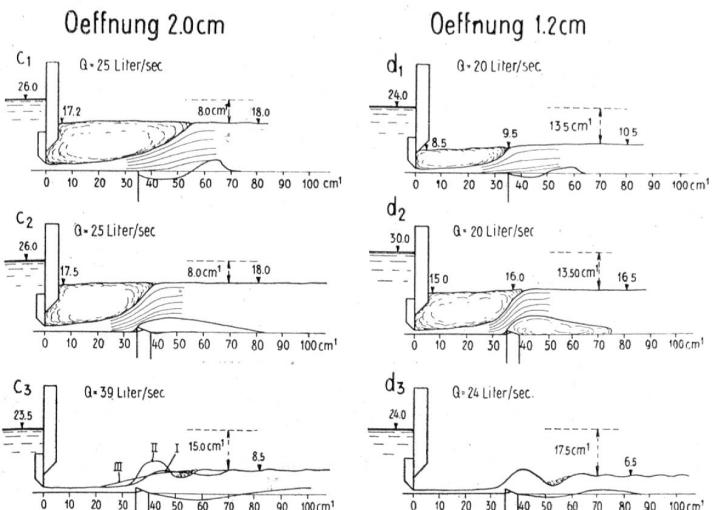


Abb. 2. Kolkversuche mit Rehbock-Zahnschwelle. Breite des Modellgerinnes = 1,00 m.

Bedingung 2.

Die Bedingung, daß die Geschwindigkeit des schießenden Strahls reduziert ist, läßt sich mit Gleichung 1 auf Seite 4 ausdrücken in der Formel

$$1 + \frac{c \cdot s}{h_0} = \text{größer oder wenigstens} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{H}{3 \cdot h_0}}$$

die wir aus unsren Experimenten empirisch erhielten. Gleichzeitig muß natürlich die Hauptbedingung 2 (siehe oben) erfüllt sein.

Nicht formuliert ist hierin die Grenze des erlaubten Gefälls und jene der Unterwassertiefe, denn wie die Versuche zeigen, kann nicht jede Unterwassertiefe die nötigen Forderungen erfüllen. Unterschreitet das Niveau des Unterwassers ein gewisses Maß, dann entsteht keine Walze mehr, und das Wasser des Strahls schießt fast ganz ungebremst über die Rehbocksche Zahnschwelle ins unbefestigte Flußbett, dort Kolkungen verursachend.

Da das Studium dieser Erscheinung aber den Rahmen unseres Aufsatzes überschreiten würde, beschränken wir uns auf die Herleitung der Formel für die Geschwindigkeit des Wasserstrahls v . *)

In Abbildung 1 sei die Verzögerung des Abschnittes A des schießenden Strahls, die dieser durch Reibung an der Walze und durch Schwerkraftwirkungen erfährt, gegeben durch die Gleichung

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{K}{m}$$

wenn man mit K die bremsende Kraft, und mit m die Masse des Abschnittes A bezeichnet. Formuliert man die Kraft mit

$$K = a \cdot v^2$$

worin a eine Konstante bedeutet, und wird die Masse mit $\delta \cdot h$ bezeichnet, dann wird die Verzögerung zu

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{a \cdot v^2}{\delta \cdot h} = -c \cdot \frac{v^2}{h}$$

Da nun die Mächtigkeit des schießenden Strahls wegen der Kontinuität der Erscheinung gegeben ist durch

$$h = h_0 \cdot \frac{v}{v_0},$$

sofern man mit h und v die Werte für Mächtigkeit und Geschwindigkeit im betrachteten Abschnitt, mit h_0 und v_0 jene für den Beginn der Bremsung bezeichnet, so gewinnt die Verzögerung jetzt die Form

$$\frac{dv}{dt} = c \cdot \frac{v^3}{h_0 \cdot v_0}$$

Wenn man das Zeitdifferential dt ausdrückt durch

$$dt = \frac{ds}{v}$$

*) Siehe Aufsatz in Schweiz. Bauzeitung vom 6. November 1926, und die demnächst dort erscheinenden experimentellen Beweise.

worin ds das Differential des Weges ist, dann resultiert die Formel

$$\frac{dv}{v^2} = c \cdot \frac{ds}{h_0 \cdot v_0}$$

Diese Gleichung läßt sich leicht integrieren und ergibt aufgelöst für die Geschwindigkeit des schießenden Strahls, wenn er auf der Strecke s an der Walze durch Reibung Energie verzehrt hat, die Gleichung 1

$$v = \frac{v_0}{1 + \frac{c \cdot s}{h_0}}$$

Der Wert des Reibungskoeffizienten c ergab sich aus vielen Experimenten als abhängig von den Eigenheiten der Walzenbildung, war also nicht eigentlich eine Konstante, weshalb auch unsere Formulierung nur eine Näherung wiedergibt.

Ausfuhr elektrischer Energie

Dem Aargauischen Elektrizitätswerk in Aarau (AEW) wurde am 30. Juni 1927 die vorübergehende Bewilligung (V 17) erteilt, max. 600 kW elektrischer Energie zum Zwecke der Verwendung auf der badischen Baustelle des Grenzkraftwerkes Ryburg-Schwörstadt am Rhein an das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt A.-G. (KRS) auszuführen. Die auszuführende Energie stammt zum Teil aus den Werken der Nordostschweizerischen Kraftwerke A.-G. (NOK), zum Teil aus den Werken der Elektrizitätswerk Olten-Aarburg A.-G. und der A.-G. Bündner Kraftwerke und zum Teil aus den Anlagen der Badischen Landeselektrizitätsversorgung A.-G. in Karlsruhe (Badenwerk). Sie wird von den NOK gemeinsam mit der auf der schweizerischen Baustelle des Grenzkraftwerkes Ryburg-Schwörstadt verwendeten Energie und gemeinsam mit der auf Grund der Bewilligung Nrn. 72 und 91 nach Badisch-Rheinfelden ausgeführten Energie an die KWR geliefert. Die KWR liefern die auszuführende Energie gemeinsam mit der auf der schweizerischen Baustelle verwendeten Energie an die KRS. Die vorübergehende Bewilligung V 17 kann jederzeit zurückgezogen werden. Wird von diesem Rechte kein Gebrauch gemacht, so ist die vorübergehende Bewilligung V 17 gültig bis 31. Mai 1929.

Wasserbau und Flusskorrekturen

Bruch der Staumauer von Gleno. Im Prozess wegen des Dammbruches bei Gleno ist am 4. Juli 1927 das Urteil gefällt worden. Der Erbauer des Dammes, Virgilio Viganò, und der leitende Bauingenieur, Sant' Angelo, wurden zu drei Jahren und vier Monaten Gefängnis verurteilt. Dank des Amnestiegesetzes vom Jahre 1925 ist die Strafe auf ein Jahr vier Monate Gefängnis herabgesetzt worden. Außerdem haben die Beiden die Prozesskosten zu bezahlen und für die Wiedergutmachung des Sachschadens aufzukommen. Die Hinterbliebenen der Opfer (mehr als 500 sind umgekommen) wurden bereits vor dem Prozess entschädigt. Das Urteil anerkennt das Recht der geschädigten Gesellschaften und Besitzer auf Entschädigung. Die Familie Viganò ist eine der reichsten der ganzen Lombardei. Die vier Brüder und die Schwester des Virgilio Viganò wurden von der Verpflichtung der solidarischen Haftung gegenüber den Geschädigten entbunden. Der Gehilfe des bauleitenden Ingenieurs, Ingenieur Vita, wurde ebenfalls von jeder Verantwortung freigesprochen.