

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79/80 (1922)
Heft: 8

Artikel: Der "Stossverlust" des Wassers beim Eintritt in Schaufelssysteme
Autor: Thoma, D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38136>

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: 29.01.2025

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

INHALT: Der „Stossverlust“ des Wassers beim Eintritt in Schaufelsysteme. — Die Rheinregulierung Strassburg-Basel nach dem schweizerischen Projekt vom September 1921. — Ueberbauungs-Pläne für das Areal der Unfallversicherung „Zürich“ in Zürich. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1921. — Eidgenössische Tech-

nische Hochschule. — Miscellanea: Wasserkraftanlage Beaumont-Montoux. Ueber Erfahrungen an Eindampfanlagen mit Wärmepumpe. Der deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern. Metall-Schmelzofen von Russ für Drehstrom-Betrieb. Flugverkehr über den Aermelkanal. — Nekrologie: A. Comte. — Literatur. — Stellenvermittlung.

Band 80.

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

Nr. 8.

Der „Stossverlust“ des Wassers beim Eintritt in Schaufelsysteme.

Von Prof. Dr.-Ing. D. Thoma, München.

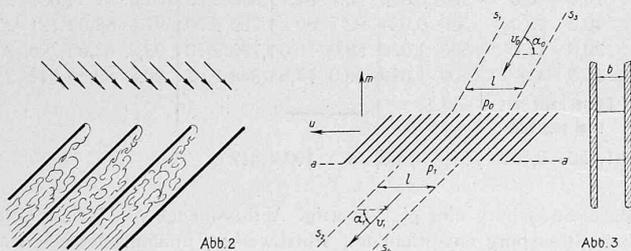
Zeuner hat angenommen, dass der Verlust an hydraulischer Druckhöhe bei dem nicht „stossfreien“ Eintritt des Wassers in das Laufrad einer Turbine gleich der Druckhöhe ist, die nötig wäre, um eine Geschwindigkeit gleich der geometrischen Differenz zwischen der Geschwindigkeit im Anfang des Laufradkanals und der Zuströmgeschwindigkeit zu erzeugen. Bei Verwendung der Bezeichnungen in Abb. 1, die einen Leitradkanal und einen davorstehenden ruhenden Laufradkanal darstellt, wäre demnach der Druckhöhenverlust

$$h_v = \frac{v'^2}{2g} \quad (I)$$

Eine Begründung für seine Annahme hat Zeuner nicht gegeben; seine Formeln für den Stossverlust sind deswegen auch häufig angefochten worden.

Es ist nun bemerkenswert, dass man die Zeuner'schen Formeln ohne irgendwelche willkürlichen Annahmen ableiten kann, allerdings nur für den Fall, dass die Laufradschaufeln gerade sind und dass der Spalt zwischen Leitrad und Laufrad gross ist, nämlich so gross, dass die lokalen Druckänderungen, die sich bei den schnellen Richtungsänderungen des Wassers beim Auftreffen auf die Laufradschaufeln einstellen, nicht bis zu den Leitschaufel-Enden zurückreichen. Die Ableitung bezieht sich also auf ein System von geraden Schaufeln, dem das Wasser aus grosser Entfernung in einer Richtung zuströmt, die nicht mit der Richtung der Schaufeln übereinstimmt.

Der Strömungsvorgang ist in Abbildung 2 etwas übertrieben dargestellt. Der Wasserstrom löst sich an der Eintrittskante zunächst von dem Rücken der Schaufeln ab und der so entstehende Strahl vermischt sich in der folgenden Strecke des Kanals mit dem, dem Rücken des Kanals angelagerten Totwasser, sodass nach Zurücklegung einer gewissen Strecke die Strömung wieder gleichmässig geworden ist und den ganzen Kanalquerschnitt ausfüllt. Die Verluste entstehen bei Vermischung des Strahles mit dem Totwasser und dieser verwickelte Vorgang lässt sich natür-



lich im einzelnen nicht verfolgen. Um trotzdem die Grösse des Druckhöhenverlustes rechnerisch zu bestimmen, muss man zunächst die eben erwähnte Erfahrungstatsache beachten, dass nach dem Durchlaufen einer längeren Kanalstrecke die Strömung wieder gleichmässig geworden ist; ferner muss man noch die Bedingung heranziehen, dass die von den Schaufeln auf das Wasser übertragene Kraft, bei Vernachlässigung der Schaufeldicke und der Reibung, nur durch die Differenz der Flüssigkeitsdrucke zu beiden Seiten der Schaufeln verursacht ist und deswegen senkrecht auf der Ebene der Schaufeln stehen muss — ein Umstand, der bisher meines Wissens nicht beachtet wurde.

Zur Rechnung möge der Strömungsvorgang in einem Schaufelsystem nach Abbildung 3 (ebene Schaufeln zwischen parallelen ebenen Wänden) betrachtet werden. Die Schaufeln üben Kräfte auf das Wasser nur aus, solange der Druck zu beiden Seiten einer Schaufel verschieden ist. Es ist deswegen zulässig, sich die Schaufeln dort, wo die Strömung und damit die Druckverteilung wieder gleichmässig geworden ist (bei $a - a$) fortgeschnitten zu denken. Man betrachte denjenigen Teil der Gesamtströmung, der zwischen den Stromlinien s_1, s_2, s_3, s_4 und den entsprechenden Schaufeln eingeschlossen ist. Druck und Geschwindigkeit vor dem Eintritt in das Schaufelsystem seien mit p_0 und v_0 , Druck und Geschwindigkeit nach dem Austritt mit p_1 und v_1 bezeichnet. Dann wird bei Abwesenheit von Schwere-

Wirkungen der Druckhöhenverlust h_v bekanntlich allgemein dargestellt durch die Gleichung:

$$h_v = \frac{v_0^2 - v_1^2}{2g} + \frac{p_0 - p_1}{\gamma} \quad (2)$$

In dieser Gleichung ist die Beziehung zwischen v_0 und v_1 durch die Kontinuitätsbedingung ($v_1 \sin \alpha_1 = v_0 \sin \alpha_0$) gegeben, während die Differenz $p_0 - p_1$ noch ermittelt werden muss.

Nach den bekannten, für die Ablenkung eines Wasserstromes bestehenden Beziehungen ist die in die u -Richtung fallende Komponente D_u der von den Schaufeln auf das Wasser übertragenen Kraft D gleich:

$$D_u = \frac{Q\gamma}{g} (v_1 \cos \alpha_1 - v_0 \cos \alpha_0) \quad (3)$$

wenn Q das in der Zeiteinheit einströmende Wasservolumen bedeutet. Andererseits ist die in die m -Richtung fallende Komponente D_m dieser Kraft gleich

$$D_m = \frac{Q\gamma}{g} (v_0 \sin \alpha_0 - v_1 \sin \alpha_1) + l b p_0 - l b p_1$$

oder, da der Klammernwert infolge der Kontinuitätsbedingung gleich Null ist, auch gleich

$$D_m = l b p_0 - l b p_1 \quad (4)$$

Da die von den Schaufeln auf das Wasser übertragene Kraft senkrecht zu den Schaufelflächen gerichtet ist, muss aber ausserdem sein

$$\frac{D_u}{D_m} = \operatorname{tg} \alpha_1 \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (3), (4), und (5) ergibt sich, wenn man berücksichtigt, dass $l b \sin \alpha_0 v_0 = Q$ ist:

$$\frac{p_0 - p_1}{\gamma} = \frac{v_0 \sin \alpha_0}{g \operatorname{tg} \alpha_1} (v_1 \cos \alpha_1 - v_0 \cos \alpha_0)$$

Setzt man diesen Wert in Gleichung (1) ein, und beachtet, dass $v_1 = v_0 \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1}$ ist, so erhält man als Druckhöhenverlust den zunächst ziemlich verwickelt erscheinenden Ausdruck:

$$h_v = \frac{v_0^2}{2g} \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha_0}{\sin^2 \alpha_1} \right) + \frac{v_0^2}{g} \frac{\sin \alpha_0}{\operatorname{tg} \alpha_1} \left(\frac{\sin \alpha_0 \cos \alpha_1}{\sin \alpha_1} - \cos \alpha_0 \right)$$

$$h_v = \frac{v_0^2}{2g} \frac{\sin^2 (\alpha_0 - \alpha_1)}{\sin^2 \alpha_1} \quad (6)$$

bringen lässt.

Nun ist aber, wie man leicht ermittelt, die geometrische Differenz der Geschwindigkeiten v_1 und v_0 (Abb. 4)

$$v' = \frac{v_0 \sin (\alpha_0 - \alpha_1)}{\sin \alpha_1}$$

Dies in Gleichung (6) eingesetzt, gibt

$$h_v = \frac{v'^2}{2g}$$

wobei v' die „verlorene Geschwindigkeit“ Zeuner's ist. Der Zeuner'sche Ansatz ist somit für die erwähnten Vor-

aussetzungen als richtig bewiesen, ohne dass eine willkürliche Annahme gemacht wurde.

Die Gültigkeit der obigen Ableitung ist daran geknüpft, dass die Schaufeln bis zum Ende desjenigen Bereiches, in dem die Vermischung des Strahles mit dem Totwasser stattfindet, als gerade betrachtet werden dürfen. Bei den Schaufelssystemen der Turbinen ist diese Annahme in der Regel nicht hinreichend erfüllt. Sie ist erfüllt für die Turbine mit unendlich vielen Schaufeln, die man der Berechnung ja auch in anderer Hinsicht, sei es ausdrücklich oder stillschweigend, zu Grunde legt, sodass durch jenen Umstand die Nützlichkeit der obigen Betrachtungen nicht aufgehoben wird. Da bei der Turbine mit unendlich vielen Schaufeln der Mischungsvorgang sich in einem verschwindend kurzen Stück des Schaufelkanals abspielt, bleiben die Gleichungen auch bei sich drehendem Laufgrade gültig, sofern man unter v_0 die Relativgeschwindigkeit des zuströmenden Wassers vor dem Eintritt in den Bereich der Laufradschaufeln und unter α_0 den auf die Relativgeschwindigkeit bezogenen Winkel versteht.

München, im Dezember 1921.

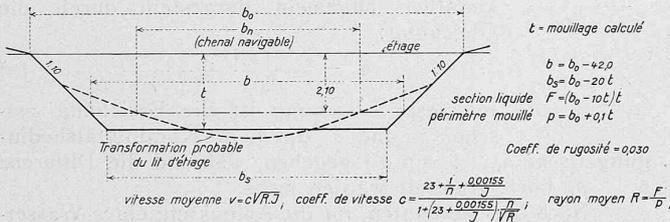


Abb. 7. Normalprofil im Inflexionspunkt (Uebergang).

gebracht worden wie auf der Regulierungsstrecke unterhalb Strassburg. Massgebend sind die beiden Normalprofile in den Inflexions-Punkten und im Scheitel der Krümmungen [Abbildungen 7 und 8]. In den Zwischenstrecken gehen dieselben allmählich ineinander über. Durch die Tieferlegung der Bühnenköpfe auf der konvexen Seite der Stromkrümmungen wird der namentlich von Girardon geforderten Vergrößerung der Wasserspiegellbreite in den Krümmungen Rücksicht getragen.

Die Anwendung der Fließformel erfordert die Kenntnis der Abflussmenge. Dem vorliegenden Projekt ist eine Niederwasser-menge von 500 m³/sek zugrunde gelegt worden. Sie war im Mittel der 10-jährigen Periode 1904/1913 an 318 Tagen im Jahr vorhanden und durchfließt nach den Messungen des eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft die baselstädtische Rhein-strecke gegenwärtig (Winter 1920/1921) bei einem Wasserstand von - 0,07 m am Linnigraph zu Basel. . . . Den hydraulischen Berechnungen zum Regu-lierungsprojekt unterhalb Strassburg ist seinerzeit eine Niederwasser-menge von 500 m³ sek bei Strassburg mit allmählicher Zunahme derselben auf 600 m³/sek bei Sondernheim zugrunde gelegt worden. Für die durchgeführten Vergleichsrechnungen ist angenommen wor-den, dass einer Abflussmenge von 500 m³/sek auf der Rhein-strecke

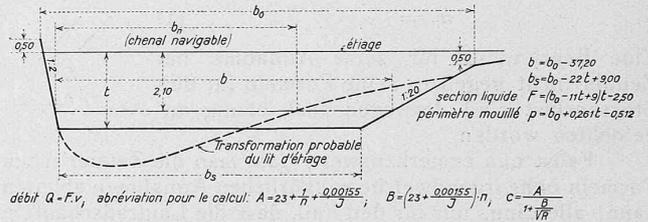


Abb. 8. Normalprofil im Scheitel der Krümmungen.

Die Rheinregulierung Strassburg-Basel nach dem schweizer. Projekt vom September 1921.

(Schluss von Seite 76.)

„Die erforderliche Breite der Fahrwasserrinne ist nun keineswegs identisch mit der Sohlenbreite des Niederwasserbettes. Das Niederwasser wird nur soweit durch die seitlichen Bühnenfelder zusammengedrängt, als dies zur Erzielung der angestrebten Fahr-wassertiefe notwendig ist. Innerhalb dieses künstlich verschmälerten Niederwasserbettes, dessen Sohle auch weiterhin beweglich bleibt, soll sich die Fahrwasserrinne von selbst herausbilden und dauernd erhalten, und zwar — wenn die Regulierung erfolgreich ist — mit der angestrebten Breite und Mindestwassertiefe und mit der in den Plänen angegebenen Grundrissform. Dabei ist weder vorausgesetzt noch anzunehmen, dass sich etwa innerhalb des neuen Niederwas-serbettes eine gleichmässige Wassertiefe und ein vollständig aus-geglichenes Gefälle einstellen werde. Die neuen Kolke und neuen Uebergänge sollen aber in mässigen Grenzen und vor allem in ihrer Lage zum Flusslauf stabil bleiben. Es ist klar, dass die hydraulische Berechnung eines derartigen Flussgerinnes mit stark wechselnder, der Menge nach unbekannter Geschiefbeführung für sich allein keine ausreichend zuverlässigen Resultate liefern kann. Aus dieser Er-kenntnis heraus sind denn auch bei der Ermittlung der Breitenab-messungen des Niederwasserbettes unterhalb Strassburg hydraulische Rechnungen zwar durchgeführt, die endgültigen Breiten aber nicht allein auf Grund von hydraulischen Formeln, sondern auch unter Herbeiziehung eines umfangreichen, am natürlichen Niederwasser-bett gewonnenen Beobachtungsmaterials gewählt worden. Diese Wahl ist von Honsell mit Recht als der schwierigste Teil der Pro-jektierungsarbeiten bezeichnet worden. Dass sie im wesentlichen zutreffend erfolgt ist, zeigt der Erfolg der Regulierungsarbeiten. Für die Rhein-strecke Strassburg-Basel wird durch diese Tatsache die Ermittlung der Breitenabmessungen des Niederwasserbettes ganz wesentlich erleichtert. Bei der Gleichförmigkeit des Stromcharakters unter- und oberhalb Strassburg lassen sich die Breitenabmessungen der obern Regulierungsstrecke ausreichend zuverlässig aus denjen-igen der untern Strecke ableiten und zwar mit Hilfe der Formel für die gleichförmige Wasserbewegung.

Was zunächst die Begrenzung des Niederwasserbettes anbe-trifft, so sind im vorliegenden Projekt die gleichen Normalien [Ab-bildung 16, Km. 9,120 und Abbildung 20 Km. 81,250] zur Anwendung

Section km badois.	Débit Q m ³ /sec	Pente su- perf. J ‰	Profils aux inflexions				aux sommets de courbure			
			b	b _s	v	t	b	b _s	v	t
Régularisation										
exécutée 1907/14										
184,1—174,3	550	0,410	132,9	114,7	1,268	3,01	137,7	121,0	1,268	2,86
174,3—157,3	540	0,457	128,9	112,9	1,310	2,90	133,7	119,0	1,311	2,77
157,3—135,5	535	0,541	126,4	113,4	1,380	2,75	131,2	119,6	1,380	2,63
135,5—127,5	515	0,563	121,0	108,6	1,394	2,72	125,8	115,0	1,393	2,59
127,5—123,6	505	0,602	118,0	106,6	1,421	2,67	122,8	113,2	1,421	2,54
Strasbourg-Bâle										
Projet IX. 1921										
121,7—105,0	500	0,675	108,7	96,7	1,500	2,70	113,5	103,6	1,498	2,55
105,0—95,0	500	0,750	103,0	91,0	1,571	2,70	107,8	98,0	1,570	2,55
95,0—70,0	500	0,818	98,5	86,5	1,631	2,70	103,3	93,6	1,632	2,54
70,0—40,0	500	0,860	96,2	84,2	1,668	2,70	101,0	91,5	1,666	2,53
40,0—20,0	500	0,924	92,7	80,7	1,720	2,70	97,5	88,0	1,721	2,53
20,0—15,0	500	1,020	88,0	76,0	1,795	2,70	92,8	83,6	1,796	2,52
15,0—4,0	500	1,099	86,0	74,6	1,848	2,67	90,8	82,2	1,849	2,49
Chenal navig. naturel près Bâle										
1,150—0,300	516	0,969	78 — 100		1,612					

Basel-Strassburg eine gleichwertige Abflussmenge von 505 m³ unterhalb Strassburg entspricht mit stufenweiser Zunahme derselben auf 560 m³/sek bis Sondernheim. Einem Pegelstand von - 0,07 in Basel entsprach im Winter 1920/21, abgeleitet aus den amtlichen Pegel-Tabellen, ein solcher von 1,60 in Strassburg, und es beträgt somit bei den obigen Abflussmengen die zwischen Sondernheim und Basel angestrebte Wassertiefe rund 2,10 (2,00 m beim Strassburger Pegel 1,50). Alle diese Zahlen sind naturgemäss mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, die aber nicht so gross sein kann, dass sie die aus denselben abgeleiteten Resultate wesentlich zu beeinflussen vermöchte.

Die hydraulische Rechnung ergibt nun für das 33,9 km lange künstliche Niederwasserbett zwischen Söllingen und Kehl eine mittlere Wassertiefe von 2,75 m bis 2,67 m im Inflexionsprofil und von 2,62 bis 2,53 m im Scheitelprofil. Diese Tiefenmasse sind dann der