

Zeitschrift: Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schifffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 1 (1908-1909)

Heft: 6

Artikel: Vermehrung des Nutzgefälles bei Niederdruck : Wasserkraftanlagen während der Howasserstände

Autor: Hilgard, K.E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-920148>

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: 24.07.2025

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

Umstand ins Gewicht fallen, dass ein Ausbau des europäischen Wasserstrassennetzes im grossen Stil ohne Beanspruchung schweizerischer Gewässer nicht wohl möglich ist und dass mit der Ausbreitung der Flußschiffahrt immer mehr Staaten ein Interesse an der Freiheit der Binnengewässer haben werden.



Vermehrung des Nutzgefälles bei Niederdruck-Wasserkraftanlagen während der Hochwasserstände.

Einer streng wasserwirtschaftlichen Ausnützung der Wasserkräfte, namentlich an den schweizerischen Gebirgsflüssen, stehen die oft ganz bedeutenden Unterschiede zwischen den, bei uns gewöhnlich im Frühling und Sommer auftretenden Hochwasserständen, und den gewöhnlich im Herbst und Winter sich einstellenden Niederwasserständen, als ein noch unüberwindliches Hindernis im Wege. Obwohl sich die kompensierende Wirkung bei der Mehrzahl der schweizerischen Seen in einem äusserst nützlichen Grade fühlbar macht, und in einzelnen Fällen in einem gewissen, wenn auch oft überschätzten Masse noch künstlich erhöhen lässt, so sind diese Unterschiede auch an den Abflüssen aus solchen Seen dennoch sehr bedeutend. Sie nehmen in der Regel, wenn nicht überall in relativem, so doch in absolutem Masse für jeden solchen Flusslauf, mit der Entfernung von der Ausflußstelle am See, sowie mit der Anzahl und Grösse, und je nach dem Charakter der unterhalb aufgenommenen seitlichen Zuflüsse, oft sehr rasch zu.

Einige Beispiele mögen dies illustrieren. Die durchschnittlichen sekundlichen Abflussmengen in m³ der folgenden Flüsse betragen

	bei Niederwasser	bei grossem Hochwasser
Linth beim Einfluss in den Walensee	3—5	130—300
Linth beim Ausfluss aus dem Walensee	8—13	160—270
Limmat beim Ausfluss aus dem Zürichsee (ohne Sihl)	15—17	250—300
Sihl bei Zürich	1,0—3,5	180—550
Limmat bei Baden	16,5—20	500—750
Rhone beim Einfluss in den Genfersee	20—35	650—1000
Rhone beim Ausfluss aus dem Genfersee	100	700
Arve bei der Einmündung in die Rhone	20	1160
Rhone bei Chèvres unterhalb Genf (einschliesslich der Arve)	120	700—1500
Aare beim Einfluss in den Brienersee	4—5	150—500
Aare beim Ausfluss aus dem Brienersee	11—15	160—280
Aare beim Ausfluss aus dem Thunersee	20—28	250—310
Aare bei Hagneck beim Einfluss in den Bielersee	50—70	1000—1600
Aare bei Wangen an der Aare	75—100	1600—1860
Aare bei der Beznau	160—250	750—2100
Rhein beim Einfluss in den Bodensee	60—200	1500—3000
Rhein beim Ausfluss aus dem Bodensee	85—100	600—1000
Rhein bei Rheinau	90—110	650—1100
Rhein bei Laufenburg	260—460	2000—5000
Rhein bei Basel	280—500	2200—5300

Für die Ausnützung der Wasserkräfte fällt bei vielen Nieder-Druckanlagen zurzeit der Hochwasser-

stände am hinderlichsten der Umstand ins Gewicht, dass das auf einer bestimmten Strecke verfügbare nutzbare Gefälle bedeutend abnimmt, das heisst der Unter-Wasserspiegel am Ende einer solchen Strecke sich nicht nur bedeutend hebt, sondern der Ober-Wasserspiegel infolge der begrenzten Stauhöhe im Flusse, und des für den Abfluss der überschüssigen Wassermenge durch das geöffnete Wehr benötigten, bei vielen Anlagen daher verlorenen grösseren Gefälles im Flusse, am Wehre oder auch wegen des grösseren Wasserspiegelgefälles im Zulaufkanal am Turbinenhaus überdies noch gesenkt werden muss.

Geradezu bedenklich können die Gefällsverhältnisse bei allerdings nur selten und auf kurze Dauer eintretenden aussergewöhnlichen Hochwasserständen werden.

So beträgt beispielsweise das nutzbare Gefälle bei den folgenden Wasserkraftanlagen in Meter

	bei Niederwasser	Mittelwasser	gew. Hochwasser	ausserg. Hochwasser
Ander Limmat im Letten bei Zürich	3,50	2,40	1,60	1,20
In der Beznau an der Aare	6,00	5,20	4,00	2,60
In Chèvres an der Rhone	8,15	6,90	4,50	1,85
Projekt Rheinau am Rhein	11,30	9,65	7,80	6,00
Projekt Eglisau am Rhein (Oberriet)	6,80	5,30	3,90	1,70
Projekt Augst-Wylen am Rhein	8,40	6,70	5,15	1,35
Projekt Laufenburg am Rhein	11,20	9,00	4,20	3,50
Projekt La Plaine an der Rhone bei Genf	zirka 12,00	10,50	9,50	7,70

Trotz den, oft innerhalb ziemlich weiten Grenzen den zu verschiedenen Zeiten disponiblen Wassermengen und Gefällen anpassungsfähigen Wasserturbinen kann eine Abnahme des Gefälles unter Umständen nicht nur eine empfindliche Verminderung der Leistung, sondern auch ihres Wirkungsgrades zur Folge haben. Diesen Übelständen infolge Mangels an Gefälle bei Hochwasserständen entspringt nicht selten die Notwendigkeit der Inanspruchnahme von Reserve-Dampfmotoren, wie diese analog namentlich bei Hochdruck- und schon seltener bei Niederdruck-Wasserkraftanlagen durch den zeitweisen Mangel an Wasser während der wasserarmen Jahreszeit bedingt ist.

Bei einer Anzahl von Niederdruck-Wasserkraftanlagen ist dem Übelstand teilweise auch dadurch begegnet worden, dass sogenannte Sommer-Turbinen eingebaut werden, welche nur bei niedrigem Gefälle in Dienst treten und dafür grosse Wassermengen zu schlucken vermögen. Die Anlage-Kosten der Turbinen nehmen aber gleichbleibendem Gefälle mit der zu konsumierenden Wassermenge viel rascher zu als mit zunehmendem Gefälle für eine gleichbleibende Wassermenge. Dem gleichen Übelstand dagegen auf eine andere und womöglich weniger Anlage-Kosten verursachende Weise zu begegnen, bezwecken die Vorschläge, die darauf beruhen, die lebendige Kraft eines möglichst grossen Teiles der bei Hochwasserständen sonst unbenützt abfliessenden Wassermengen, zu einer künstlichen lokalen Senkung des Unterwasserspiegels auf hydraulischem Wege zu verwenden.

Wohl einer der ersten noch aus der Vorzeit der allgemeinen Verwendung hydraulischer Turbinen stammenden Vorschläge dürfte der in Abbildung 1 zur Darstellung gebrachte gewesen sein. Dieser im Jahre

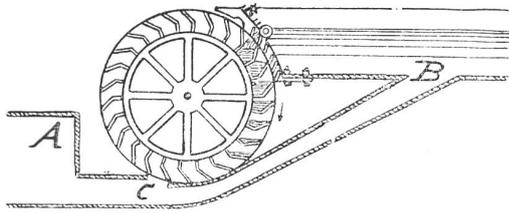


Abbildung 1

1831 von Bigelow veröffentlichte, ziemlich gleichzeitig von Perkins und Burns gemachte Vorschlag wird als ein Mittel beschrieben, um die bei Hochwasser eintretende, und dadurch sowohl, wie namentlich auch durch Schwemmsel, der Bewegung eines rückschlächtigen Wasserrades mit Coulisseneinlauf hinderlich werdende Hebung des Unterwasserspiegels, oder, die eventuell während der Hochwasserzeit vorzusehende höhere Lagerung des Rades vermeiden zu können. Über die Erfolge einer praktischen Ausführung liegen leider keine Angaben vor.

Auf dem gleichen Grundgedanken einer hydraulischen Senkung des Unterwasserspiegels fusst auch der zuerst im Jahre 1906 in der technischen Literatur¹⁾ bekannt gewordene Vorschlag von Herrn Saugey (Betriebsleiter der Wasserkraftanlage der Stadt Genf in Chêvres an der Rhone), zur Ausnützung der überschüssigen Hochwassermengen den Unterwasserspiegel auf hydraulischem Wege zu senken. Sein Vorschlag geht dahin, die Turbinen direkt in die Wehrpfeiler einzubauen. Jenen würde dann, bei nur teilweise und wenig über den normalen Unterwasserspiegel gehobener Unterkante grosser Wehrschützen die infolge des unter diesen mit grosser Geschwindigkeit ausströmenden Wassers entstehende lokale Absenkung des Unterwasserspiegels, der sich erst weiter unten in Form einer Wasserschwellen (Bidone'scher Wassersprung) wieder auf die normale Höhe erhebt, als nutzbare Gefälls-Vermehrung zugute kommen.

Die Aufgabe, denselben Zweck auf eine andere Weise, in dem im übrigen auf normale Weise angeordneten Turbinengebäude zu erreichen, hatte sich der deutsch-amerikanische Ingenieur Cl. Herschel, gelegentlich des Wettbewerbes zur Erreichung von Plänen, für die Ausnützung der Wasserkraft durch die Stadt Genf, bei La Plaine an der Rhone gestellt. Der damals von der Jury mit einem Preise gekrönte, und vom Urheber seither weiter verfolgte, und durch

Versuche begründete Vorschlag geht deutlich aus der, den seitherigen Veröffentlichungen²⁾ entnommenen Abbildung 2 hervor.

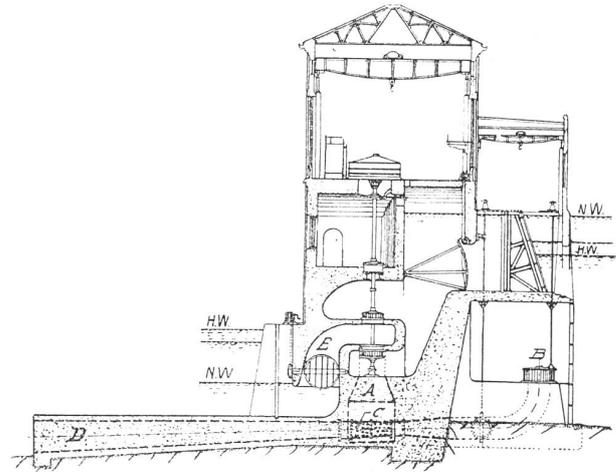


Abbildung 2

Für die erstrebte Vermehrung des Gefälles war für ihn die Erkenntnis wegleitend gewesen, dass bei einer Turbine, die wechselnden Gefällsverhältnissen unterworfen ist, deren Leistungsfähigkeit, soweit diese letztere vom Gefälle und der konsumierten Wassermenge abhängig ist, bei Hochwasser durch eine künstliche Vermehrung des Gefälles, um einen bestimmten Prozentsatz, in einem bedeutend günstigeren Verhältnis gesteigert werden kann (zirka $1\frac{1}{2}$ fache Potenz des Gefälles), als durch eine ausschliessliche um denselben Prozentsatz vermehrte Konsumsfähigkeit an Wassermenge. Überdies, dass sich die Anlage-Kosten der Wasserturbinen pro P. S. um so geringer stellen, nicht nur je grösser die Maschineneinheit, sondern namentlich je grösser das nutzbare Gefälle ist.

Mit Eintritt eines, über die Drehaxe der bei E in den Auslaufkrümmer eingebauten Drosselklappe steigenden Unterwasserstandes wird diese letztere geschlossen, und durch die Öffnung des Glockenventiles bei B der sogenannte, unter das nun der Turbine als Saugrohr dienende Vacuumgehäuse A, eingebaute „Gefällsvermehrer“ C in Tätigkeit gesetzt. Durch die Aspiration des Turbinenwassers in die durchlochte Wandung des Rohrstückes C, wird in A ein partielles Vacuum erzeugt, und das sonst normalerweise vorhandene Gefälle entsprechend vermehrt. Für jede Einheit von zwei, auf derselben Vertikalaxe sitzende Turbinen sind zwei solcher, zu beiden Seiten der Turbinenlager plazierte Gefällsvermehrer vorgesehen. Diese haben einschliesslich des, sich bis D konisch erweiternden Auslaufes, den Querschnitt einer liegenden Ellipse, um die Sohle des bei Nieder- und Mittel-Wasserstand sowie bei geöffneter Drosselklappe E benutzten über D befindlichen Ablaufkanals, also den Scheitel vom Auslaufkanal

¹⁾ 1) La Récupération des Chutes d'Eau par „l'Usine-Barrage“ Système „Saugey“, Société Hydromotrice Genève Dec. 1906.

2) La Récupération des Chutes d'Eau par Dr. A. Bernoud. Extrait du Bulletin Technique de la Suisse romande Fevr. 10. et 25. Mars 1906.

3) Die Ausnützung von Hochwasser bei Wasserkraftanlagen von H. E. Gruner, Ingenieur, in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1906.

²⁾ 1) Engineering Record, Jan. 4 1908: „A Fall Increaser for Hydraulic Power Plants“.

2) „The Fall Increaser“ U. S. Patent No. 873 435 by Clemens Herschel, Reprint from Harvard Engineering Journal June 1908.

D selbst so tief wie möglich hinabdrücken zu können. Da es so gut wie ausgeschlossen ist, den Gefällsvermehrer nachträglich erst bei einer bereits im Betriebe stehenden Turbinenanlage einzubauen, so musste bei der Erprobung des Wirkungsgrades des Apparates, im Versuchskanal von Holyoke, von der Verbindung mit einer Turbine abgesehen werden. Der Gefällsvermehrer *C* wurde anstatt dessen zwischen zwei Zweige *B* und *F* einer Versuchsleitung eingeschaltet, wie das aus Abbildung 3 ersichtlich ist. Das 48 cm

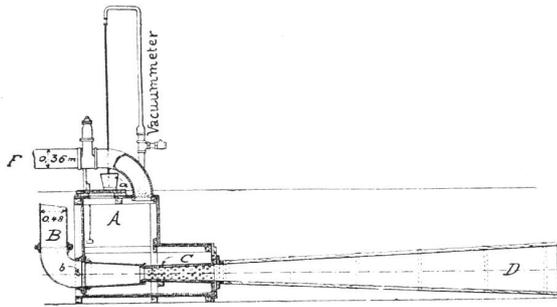


Abbildung 3

weite Rohr *B* lieferte die mittels eines „Venturi Wassermessers“ gemessene Betriebswassermenge, während das 36 cm weite Rohr *F* die, ebenfalls mittels eines „Venturi“ gemessene, und der von einer Turbine konsumierten korrespondierende, durch das in *A* erzeugte partielle Vacuum, unter entsprechend vermehrtem Druckgefälle abfließende Förderwassermenge lieferte. Die Versuche wurden

male Druckgefälle in der Wasser-Leitung bei *F* und *h'* die infolge der, durch die im Gehäuse *A* erzeugte Saugwirkung, erzielte Gefällsvermehrung, sowie *Q* und *Q'* die den Druckgefällen *h* bzw. (*h + h'*) entsprechenden Förderwassermengen, während *Q''* die unter dem normalen Druckgefälle *h''* durch die Leitung *B* abfließende Betriebs-Wassermenge bedeutet, so würden den beiden Förderwassermengen die Leistungen $Q \cdot h = N$ beziehungsweise $Q' \cdot (h + h') = N'$ korrespondieren. Es verhält sich aber $Q : Q' = \sqrt{h} : \sqrt{h + h'}$ oder es ist $Q = \frac{Q' \cdot \sqrt{h'}}{\sqrt{h + h'}}$ und der durch

den Gefällsvermehrer erzielte Gewinn an hydraulischer Leistung wäre: $N' - N = \Delta N$. Während die hydraulische Leistung der Betriebswassermenge $Q'' \cdot h'' = N''$ beträgt, so lässt sich der Wirkungsgrad des Gefällsvermehrs berechnen aus dem Verhältnis:

$$\eta = \frac{\Delta N}{N''} \text{ oder } \eta = \frac{Q' (h + h') - \frac{Q' h \sqrt{h'}}{\sqrt{h + h'}}}{Q'' \cdot h''}$$

Die entsprechende Messung der Druckgefälle *h* und *h''* mittels Piezometern und des entsprechenden Sauggefälles *h'* mittels des in der Abbildung angedeuteten Vacuummeters und Berechnung der entsprechenden Verhältnisse $\frac{h'}{h}$, $\frac{Q'}{Q''}$ und $\frac{\Delta N}{N''}$ ergab, für die sich am günstigsten erweisende Form des Rohrstückes *C*, die in Abbildung 4 graphisch dargestellten

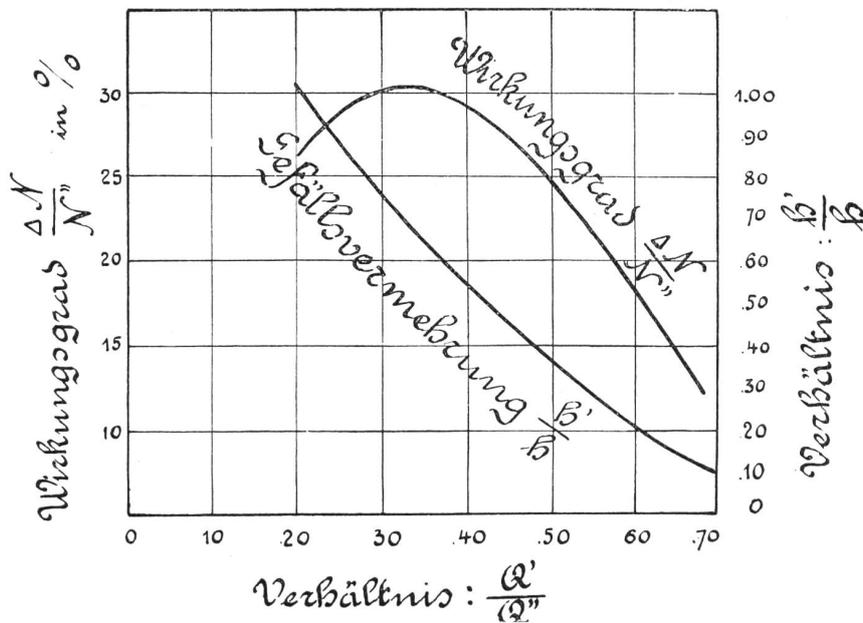


Abbildung 4

mit mehreren, in Form und Art der Verjüngung, sowie in der Durchlöcherung verschiedenen Rohrstücken *C* vorgenommen. Aus dem Verhältnis der, für die Erzeugung des Vacuums aufgewendeten hydraulischen Leistung, und der, durch das entsprechend vermehrte oder Saug-Gefälle erhöhte Wasserförderung, hat dann Herschel den Wirkungsgrad des Gefällsvermehrs selbst bestimmt. Bezeichnet *h* das nor-

vergleichenden Beziehungen zwischen Wasserverbrauch, Gefällsvermehrung und Wirkungsgrad des Gefällsvermehrs.

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass bei einem Aufwande einer Betriebswassermenge, die das dreifache der Fördermenge betrug, der höchste Wirkungsgrad von 33% erzielt wurde, und dass einer Steigerung der Betriebswassermenge für den Gefällsvermehrer eine

nahezu proportionale Steigerung der prozentuellen Gefällsvermehrung entsprach, so dass diese letztere bei den, in den Herschel'schen Versuchen zur Verwendung gelangten niedrigen Druckgefällen, von 3 bis 4 m Wassersäule, bis zu zirka 100% gesteigert werden konnte. Von dem hier berücksichtigten Gewinn an nutzbarem Gefälle ist der, im Falle einer Turbinenanlage auch bei der Verwendung von Sommerturbinen in nahezu gleichem Masse in Betracht fallende, wegen der benötigten vermehrten Wasserführung erhöhte Gefällsverlust im Oberwasserkanal allerdings nicht in Abzug gebracht. Aus praktischen, speziell konstruktiven Gründen empfiehlt Herschel aber, sich mit einem Wirkungsgrad von 25 bis 28% zu begnügen, um die zur Erzeugung des vermehrten Gefälles aufzuwendende Betriebswassermenge nicht über das zwei- bis höchstens zweieinhalbfache der Förderwassermenge (bezw. der zur Betätigung der Turbine benötigten Wassermenge) steigern zu müssen. Herschel glaubt, die Verwendung der Gefällsvermehrer trotz ihres niedrigen Wirkungsgrades gegenüber den einen solchen von vielleicht mindestens 50% aufweisenden verhältnismässig grossen Sommerturbinen, mit den bedeutend geringeren Kosten für Installation, Unterhalt und Verzinsung der ersteren, gleich beim Bau des Turbinengebäudes, als vorteilhaft begründen zu können. Namentlich dem von einer anderen Seite nach Abbildung 5 je für eine Maschineneinheit vorgeschlagenen Paare von Ejektoren, mit elliptischem Querschnitt,

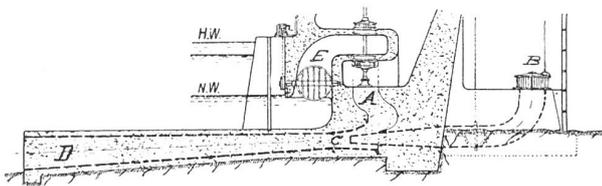


Abbildung 5

gegenüber, glaubt Herschel seinem durchlochten Rohrstück eine bedeutend günstigere Wirkung in Aussicht stellen zu können, entgegen der Ansicht anderer erfahrener Konstrukteure von Turbinenanlagen.

Beim gleichen Wettbewerb in Genf für das Werk „La Plaine“ wurde übrigens ein ähnlicher Vorschlag für die Gefällsvermehrung mittels Ejektoren von Ingenieur M. Nivert (Chamonix) unterbreitet, mit seinem von der Jury mit einem höheren Preise bedachten, dem Vorschlage Herschel vorangestellten Projekte³⁾. Der Nivert'sche Vorschlag ist mangels näherer Angaben nur in einer auf keine Genauigkeit Anspruch machenden Skizze in Abbildung 6 angedeutet. Über tatsächliche Versuche mittels Ejektoren zum Zweck der Vermehrung des nutzbaren Hochwassergefälles bei Turbinen scheint noch nicht viel in die Öffentlichkeit gelangt zu sein.

In der Schweiz sind eine grosse Anzahl von Niederdruckanlagen im Bau begriffen, oder projektiert, deren Leistungsfähigkeit unter Umständen bei Hoch-

wasser bedeutend zurückgehen kann. Nicht alle dieser Anlagen sind in der stets sehr wünschenswerten Lage, mit einer durch einen Stausee akkumulierfähigen Hochdruck-Wasserkraftanlage gekuppelt werden

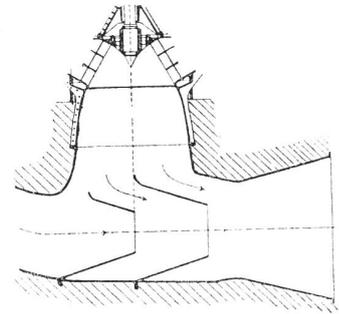


Abbildung 6

zu können. In Anbetracht dieses Umstandes dürfte es zeitgemäss sein, dass den von vielen Seiten so günstig beurteilten Bestrebungen von Saugey, Herschel, Nivert und anderen erhöhte Beachtung zuteil werde durch Anhandnahme weiterer Versuche und Studien, die vielleicht zur Verbreitung von praktisch mit Vorteil verwertbaren Konstruktionen führen dürften, wie dies in den letzten Jahren, zu anderen Zwecken, bei einigen Hochdruckanlagen in der Schweiz, durch Anwendung eines verwandten Prinzipes mittels Heberleitungen von sehr grossen Durchmessern, auf Vorschläge und Anregung des Verfassers dieser Zeilen, auch geschehen konnte. (Zweite Druckleitung für das Kubelwerk und Wasserfassung für die Kraftanlage Brusio). Saugheber von grossen Durchmessern kommen neuerdings auch mit Vorteil zur Verwendung bei Wehranlagen zum Zweck einer automatischen Regulierung des Oberwasserspiegels⁴⁾. Beide, ein durch ausströmendes Wasser erzeugtes partielles Vacuum, in Verbindung mit grossen Heberleitungen finden bekanntlich nach den erstmaligen Vorschlägen für den Elbe-Trave-Kanal von Professor Hotop bei modernen Anlagen von Schiffschleusen mit grossem Erfolg vielfach Verwendung.

K. E. Hilgard.



Die Lastschiffahrt auf dem Bodensee.

Von Schiffmeister AUGUST ROTH in Ermatingen.

Schon seit frühester Zeit herrschte auf dem Bodensee und Rhein ein ziemlich reger Verkehr von Frachten aller Art, welcher mittelst den in Form und Gestalt bis heute so ziemlich gleich gebliebenen Segelschiffen aufrecht erhalten wurde. War doch bis gegen Mitte des vorigen Jahrhunderts, bis Dampfschiffe und Eisenbahnen auch die Gegend des schwäbischen Meeres in ihren Dienstkreis zogen, die Segelschiffahrt das einzige Verkehrsmittel, welches den fünf Uferstaaten den Austausch ihrer Güter von Schaffhausen bis Bregenz zu vermitteln hatte.

³⁾ Siehe Rapport du Jury etc. Schweiz. Bauzeitung vom 21. Dezember 1907.

⁴⁾ Patente von Heyn (Wasserigel), Gregotti, Büchler u. a.