

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 81/82 (1923)
Heft: 12

Artikel: Spiegelbewegung in Wasserschlössern
Autor: Schoklitsch, Armin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38883>

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: 19.02.2026

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

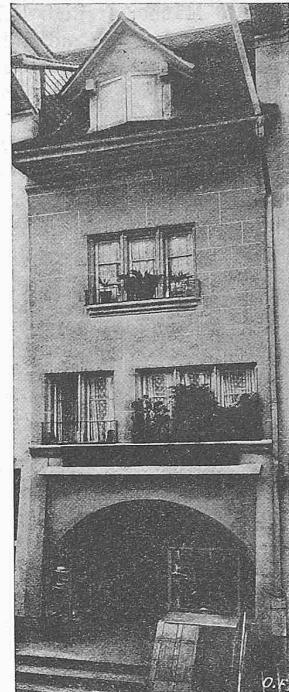
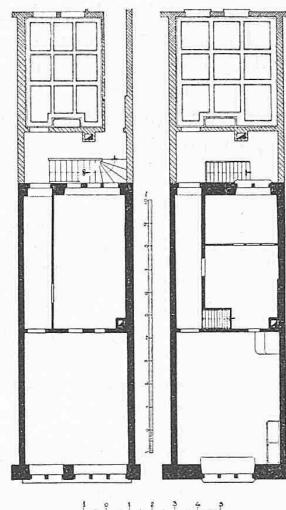
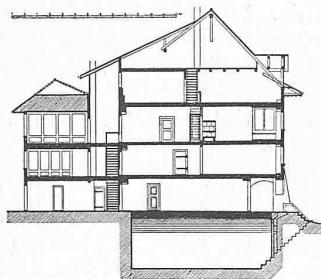
Was die bernischen Land-Städte wie Burgdorf, Thun, Biel, und namentlich die ganz kleinen wie Neuenstadt, Landeron, Erlach u. a. m. anlangt, sei auf den Bürgerhaus-Band Kanton Bern, I. Teil (den V. der ganzen Reihe), verwiesen, der 1917 erschienen ist und aus dem wir in Bd. 70 der S. B. Z. (Nov./Dez. 1917) Text und Bildproben gebracht haben, deren Vergleich mit den stadtbernerischen Bauformen recht interessant ist.

(Schluss folgt.)

**Aus: Bürgerhaus in der Schweiz. — XI. Band:
Kanton Bern, II. Teil.**

Herausgegeben vom S. I. A. — Verlag des Art. Institut Orell Füssli, Zürich.

Schnitt, I. und II. Stock und Ansicht des Hauses Aarbergergasse 25, Bern. Erbaut 1575. (Dachfenster und Hinterhaus aus dem XVIII. Jahrhundert.)



Spiegelbewegung in Wasserschlössern.

Von Privatdozent Dr. techn. Ing. Armin Schoklitsch, Graz.

(Schluss von Seite 131.)

Das für die Versuche benötigte Wasser wurde von einem Hydranten entnommen und in einen Behälter eingeleitet, der etwa 1 m³ Wasser fasste und den Weiher mit konstantem Spiegel vorzustellen hatte; er war zu diesem Zwecke mit zwei je 0,90 m langen Ueberläufen ausgestattet. Der Druckstollen bestand aus einem 64,6 m langen Gussrohrstrang von 100 mm Durchmesser. Das Wasserschloss am Ende des Rohrstranges konnte durch eine verstellbare Querwand unterteilt und hinsichtlich seines Querschnittes beliebig verändert werden. Der Durchfluss im Beharrungs-Zustand konnte mit Schiebern beliebig eingestellt werden und für den plötzlichen Abschluss der vom Wasserschloss abgehenden Druckrohre war, um die Schieber nicht ver-

stellen zu müssen, an jeden derselben ein Hahn montiert, so, dass durch eine rasch durchgeführte Vierteldrehung des Wirbels der Abfluss plötzlich eingeleitet oder abgesperrt werden konnte. Durch in die Wasserschlosswandung eingesetzte Spiegelglasstreifen konnte das Verhalten des Wasserspiegels leicht und genau beobachtet werden. 43,4 m vom Stollenanfang ist im Rohrstrang eine Abzweigung eingebaut, die durch einen Schieber abgeschlossen werden kann; auf ihr konnte ein Standrohr oder ein Zwischenwasserschloss aufgesetzt werden.

Bevor mit den Versuchen begonnen werden konnte, mussten die Druckverluste im Druckstollen der Versuchsanlage erhoben werden; hierzu wurden bei verschiedenen Schieberstellungen im Wasserschloss der Zufluss vom Wasserpfosten so geregelt, dass der Spiegel im ersten Behälter genau in den Ueberlaufkanten lag, der Druckverlust gemessen und der zugehörige Durchfluss, aus dem die mittlere Geschwindigkeit im Stollen leicht zu ermitteln war, durch Eichung bestimmt. Auf diese Weise wurden bei den mittleren Geschwindigkeiten von

$$U = 0,10 \quad 0,20 \quad 0,30 \quad 0,40 \quad 0,50 \text{ m/sec}$$

$$0,019 \quad 0,054 \quad 0,12 \quad 0,22 \quad 0,36 \text{ m}$$

als Gesamtdruckverlust gemessen.

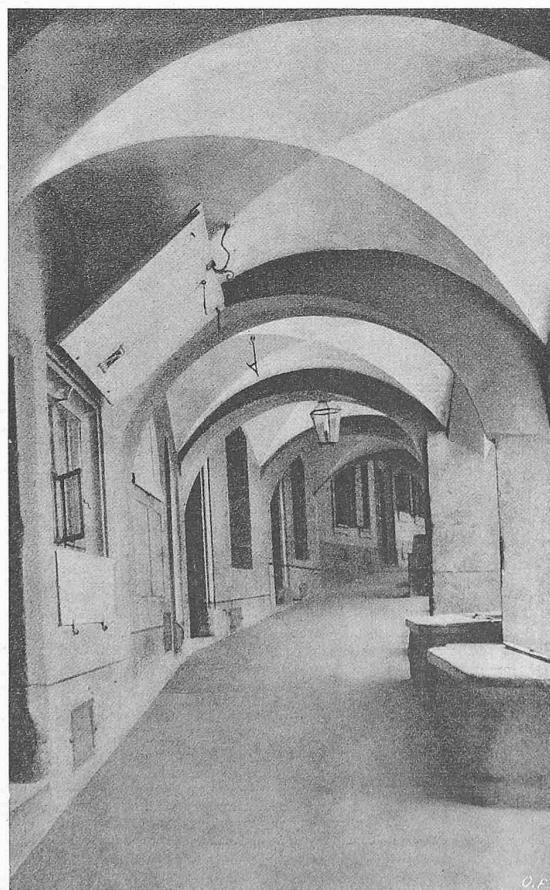
Die Spiegelbewegung wurde zuerst in einem Wasserschloss mit konstantem Querschnitt bei plötzlichem Öffnen und bei plötzlichem Schließen der Druckrohre untersucht. Als Beispiel seien die Abbildungen 1 und 2 angeführt, in denen den erhobenen Wasserstandslinien jene nach dem Verfahren von Pressel strichiert beigezeichnet sind. Zum Beispiel der Abbildung 1 wurde als grösste Senkung des Wasserspiegels unter den Ruhewasserspiegel 0,13 m gemessen, während die Formeln ergaben:

Forchheimer 0,137 m Schmitthenn-Haller 0,142 m
Dubs 0,134 m Strickler 0,134 m
Pressel 0,146 m (m = 3,809)

Für den Fall der Abb. 2 ergaben sich die Werte:

Forchheimer	— 0,232 m	Strickler	—	— 0,240 m
Harza	— 0,211 m	Schmitthenn-Haller	—	— 0,248 m
Johnson	— 0,202 m	Pressel	—	— 0,215 m
Prášil	— 0,230 m	Dubs	—	— 0,272 m
gemessen	— 0,202 m	(m = 3,48)		

Die Piezometerlinie (bei regelmässigen Stollen eine Gerade) schwingt, wie die Versuche gelehrt haben, um ihren jeweiligen Schnittpunkt mit der Ebene des Stollenmundloches auf und ab; die Lage dieses Schnittpunktes



Lauben an der unteren Junkerngasse (vergl. Seite 143) mit den mittelalterlichen Fensterverschlüssen durch Klappläden.

ändert sich mit der Geschwindigkeit im Stollen; er liegt im Wasserspiegel, wenn der Spiegel im Wasserschloss seine höchste oder tiefste Lage erreicht hat, die Geschwindigkeit im Stollen also gleich Null ist. Seine tiefste Lage unter dem Spiegel beträgt $\frac{U^2}{\mu^2 2g}$. Bei längeren Stollen und bei Geschwindigkeiten, wie sie in der Praxis vorkommen, genügt es in der Regel, den Drehpunkt der Piezometerlinie stets im Spiegel liegend anzunehmen.

Zum Schlusse seien für die Ueberprüfung der angeführten Formeln auch noch Messungen herangezogen, die *E. L. Lauchli*¹⁾ im Tallulah-Fälle-Kraftwerk in Georgia anstellte. Der dortige Stollen hatte eine Länge von $L = 2033$ m, einen Querschnitt von $F = 14,0$ m² und einen Profilradius $R = 1,0$ m. Der Stollen war in Beton glatt hergestellt, und Lauchli erwähnt, dass er nach einjährigem Betrieb glatter geworden ist. Das Wasserschloss endlich hatte einen Querschnitt von 197,8 m². Bei einem Durchfluss von 26,2 bzw. 13,6 m³/sek betrug die mittlere Geschwindigkeit im Stollen $U = 1,87$, bzw. 0,97 m/sec, der Gesamtgefällesverlust 1,49, bzw. 0,49 m, und es wurden die grössten Spiegelerhebungen mit — 5,71, bzw. — 3,17 m, beobachtet. Den Verlauf der Spiegelbewegung stellt Abbildung 3 dar, in die auch die nach der Methode von Pressel ermittelten Wasserstandslinien eingezzeichnet sind. Besonders betont sei, dass die Druckrohre nicht plötzlich abgeschlossen werden konnten, dass das Schliessen der Klappen vielmehr bis zu 40 Sekunden dauerte, wodurch die geringfügigen Unterschiede gegenüber der Berechnung, die plötzliches Schliessen voraussetzt, zu erklären sind. Tabelle II stellt die Ergebnisse der direkten Messung den nach den verschiedenen Formeln berechneten Spiegelausschlägen gegenüber.

Die Ergebnisse der Versuche zusammenfassend sei vor allem hervorgehoben, dass alle Berechnungsweisen die Spiegelausschläge in der Regel etwas grösser ergeben als sie gemessen werden, also, wenn auch ungewollt, eine für den Projektanten durchaus sichere Rechnung gewähren. Die von Strickler empfohlenen Näherungsformeln zu benutzen

¹⁾ Eng. Rec. Band 71 (1915) S. 373.

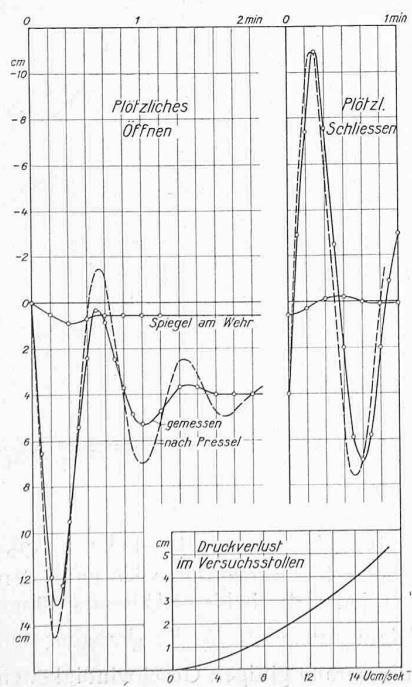


Abbildung 2.

Abbildung 1 (nebenan).

Tabelle II.

U m/sec	H _B m	Q m ³ /sek	c	m	$\frac{H_B}{L}$ 0/00	Höchste Spiegellage Z m								
						gemessen	Pressel	Präsl	Förch-heimer	Dubs	Harza	Johnson	Schmittner-Haller	Strickler
1,87	1,49	26,2	69,3	0,0580	0,733	5,71	6,20	6,30	6,20	5,92	6,46	5,83	6,41	6,30
0,97	0,46	13,6	64,6	0,0667	0,226	3,19	3,38	3,24	3,45	3,58	3,54	3,36	3,58	3,64

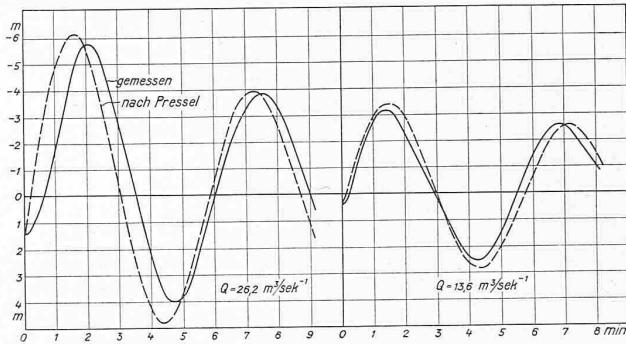


Abbildung 3.

liegt kein Anlass vor, da sie weder genauer noch leichter auswertbar sind als die übrigen Formeln.

Graphische Ermittlung der Wasserstandslinien.

Die graphische Ermittlung der Wasserstandslinien in Wasserschlössern infolge von Entnahmeveränderungen wurde schon von *F. Präsl*¹⁾ und von *E. Braun*²⁾ versucht. Wesentlich einfacher als die von diesen beiden Autoren angegebenen Verfahren lässt sich graphisch die Spiegelbewegung ermitteln, wenn der Konstruktion die Pressel'schen Gleichungen

$$\Delta U = \frac{g}{L} \Delta t (z - H) \quad \dots \quad (15)$$

$$\text{und} \quad \Delta z = - \frac{F}{F_s} U \Delta t + \frac{Q}{F_s} \Delta t \quad \dots \quad (17)$$

zu Grunde gelegt werden. In diesen Gleichungen ist Δt konstant und bekannt, sodass die Gleichung (15) auch in der Form

$$\Delta U = a (z - H) \quad \dots \quad (33)$$

geschrieben werden kann; der Zusammenhang zwischen ΔU und $(z - H)$ ist linear, sodass Gleichung (15) graphisch durch eine Gerade dargestellt werden kann, deren Neigungstangente gleich a ist. Analog kann Gleichung (17) in der Form angeschrieben werden:

$$\Delta z = - \beta U + \gamma \quad \dots \quad (34)$$

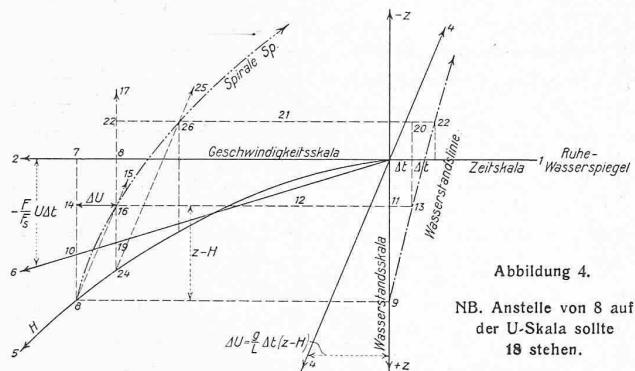
Δz wird darnach durch die Ordinatendifferenz zwischen einer in der Entfernung γ parallel zur U -Achse gezogenen und einer mit der Neigungstangente β durch den Ursprung gezogenen Geraden dargestellt. Handelt es sich um gänzliche Entlastung, so ist Q und daher auch γ gleich Null, wie nebenbei erwähnt sei.

Der Vorgang der graphischen Ermittlung der Wasserstandslinie sei nun einmal für den einfachen Fall gänzlicher Entlastung vorgeführt. Man zieht (Abb. 4, S. 148) in der Höhe des Ruhewasserspiegels eine Horizontale 1—2, trägt von

¹⁾ «Schweiz. Bauzeitg.», Bd. 52 (1908) S. 334.

²⁾ Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1920 S. 143.

einem angenommenen Punkte o als Ursprung in irgend einem Maßstab nach rechts die Zeitskala mit dem Intervall Δt , nach links die Geschwindigkeitskala U auf. Auf der durch den Ursprung o gezogenen Lotrechten wird die Wasserstandskala (nach oben —, nach unten +) aufgetragen, hierauf, wie in der Abbildung 4 zu erkennen, auch durch den Ursprung laufend, die der Gleichung (15) entsprechende Gerade 4 gezogen. Unter der Geschwindigkeitskala wird die Linie der Gesamtdruckverluste 5 im gleichen Maßstab wie die Wasserstandskala und überdies die der Gleichung (17) entsprechende auch durch den Ursprung gehende Gerade $-\frac{F}{F_s} U \Delta t$ (6) gezeichnet. Im Augenblicke der Entlastung



herrscht im Stollen eine bestimmte, bekannte Geschwindigkeit U ; an der ihr entsprechenden Stelle 7 der U -Skala zieht man nun eine Lotrechte bis zur Kurve 5, erhält dort den Punkt 8 und von dort wieder eine Horizontale zur Wasserstandskala zum Punkt 9, der die Lage des Beharrungszustandes vor der Entlastung angibt und von dem ausgegangen wird. Die Strecke (7—10) stellt nun die erste graphische Auswertung der Gleichung (17), nämlich die Hebung Δz des Spiegels während der Zeit Δt nach der Entlastung dar. Dieses Δz wird nun am besten mit dem Zirkel von 9 aufwärts bis 11 aufgetragen, durch diesen Punkt die Horizontale 12 gezogen, auf der im Abstande Δt rechts von 11 der dem Zeitintervall Δt entsprechende neue Punkt 13 der Wasserstandslinie liegt. Die Strecke (8—14) stellt nun jenes $(z - H)$ dar, das in Gleichung (15) einzusetzen wäre. Um ΔU graphisch zu erhalten, braucht nur parallel zu 4 durch 8 die Gerade 15 gezogen zu werden; (14—16) gibt dann schon das ΔU der Gleichung (15) und die Lotrechte 17 durch 16 schneidet auf der U -Skala die Geschwindigkeit U ab, die im Stollen nach Verlauf der Zeit Δt herrscht. (18—19) ist das Δz für das nächste Zeitintervall, und so fort.

Aehnlich ist der Vorgang, wenn es sich nur um Entnahmeveränderungen handelt; dann ist für Q in der Gleichung

(17) jener Durchfluss zu setzen, auf den übergegangen wird, dementsprechend parallel unter die U -Skala in der Entfernung $\gamma = \frac{Q}{F_s} \Delta t$ eine Gerade zu ziehen und als Δz dann, wie schon zuvor erwähnt, der Ordinatenunterschied zwischen diese Geraden und der geneigten Geraden, die die $-\frac{F}{F_s} U \Delta t$ darstellt (vergl. Abbildung 5) anzusehen.

Besitzt das Wasserschloss einen Ueberlauf, so wird bis zur Erreichung der grössten Höhe über der Ueberlaufschwelle in der bisher beschriebenen Weise verfahren; von da ab gilt aber die Gleichung (17) nicht mehr. Jetzt muss über der *U*-Skala eine Linie gezeichnet werden, die den Zusammenhang zwischen der Ueberfallhöhe und dem der Geschwindigkeit *U* im Stollen entsprechenden Durchflusse *U* · *F* angibt, und aus der die weiteren Δz entnommen werden.

Auch die Wasserstandslinien in zwei hintereinander liegenden Wasserschlössern (etwa ein Ausgleichsbecken im Verlaufe des Stollens und ein enges Wasserschloss an dessen Ende) können mit Vorteil graphisch gefunden werden. Abbildung 6 stellt als Beispiel das Verfahren dar, das im wesentlichen gleich dem in Abbildung 5 gezeigten ist. Die Konstruktion wird mit dem Endwasserschloss begonnen; um die auf der Spirale $S\phi_H$ liegenden Punkte, die in Abbildung 4 mit 16, 26, ... bezeichnet sind, zu erhalten, darf jetzt, weil ja der Spiegel im Zwischenwasserschloss, um den die Spiegelschwingungen im Endwasserschloss vor sich gehen, selbst in Bewegung ist, nicht einfach der Wasserstand im Endwasserschloss horizontal projiziert werden, sondern es muss die Spiegelhöhendifferenz z_H zwischen Zwischen- und Endwasserschloss mit dem Zirkel übertragen werden; für das Zwischenwasserschloss ist aber diese Horizontalprojektion zutreffend. Dafür können hier die Δz nicht ohne weiteres abgegriffen werden. Das für die Spiegelhebung im Endwasserschloss nötige Wasser kommt ja aus dem Zwischenwasserschloss und verringert hier die Spiegelhebung. Während der Zeit Δt ändert sich also im Zwischenwasserschloss die Spiegellage um den Betrag:

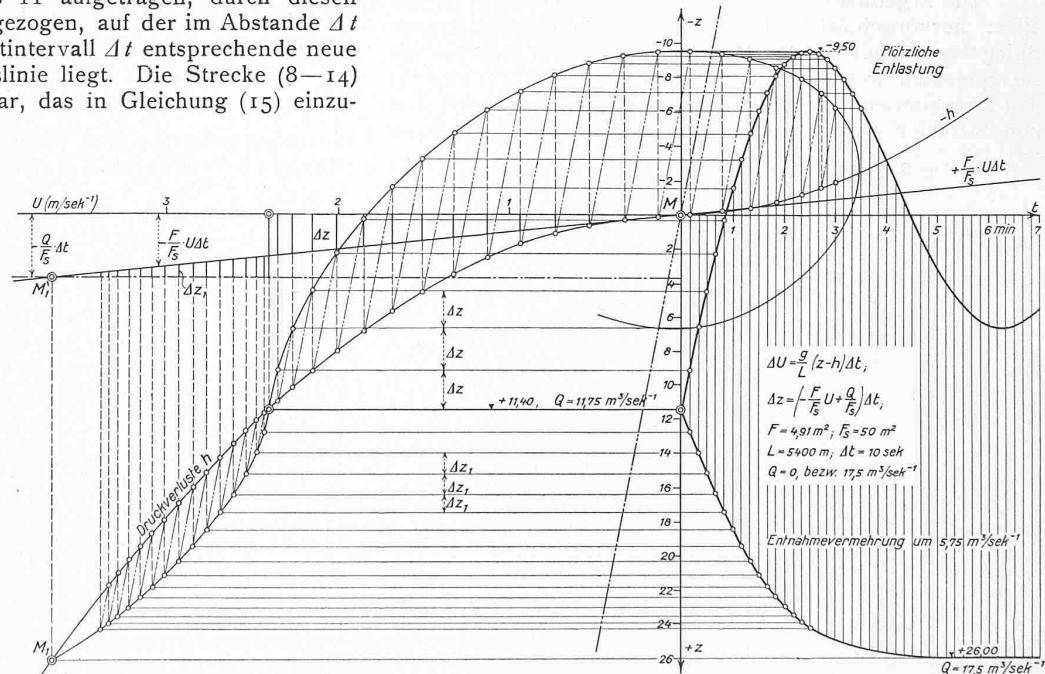


Abbildung 5.

$$\Delta z = -F_I U_I \Delta t + F_{II} U_{II} \Delta t = -\Delta z'_I + \Delta z''_I \quad (35)$$

Um diese Gleichung graphisch auszuwerten, wird unter den U_I - und U_{II} -Skalen durch jeden der beiden Skalenursprünge eine Gerade mit der Neigungstangente $\frac{F}{F_s} \Delta t$ gezogen; auf den Lotrechten durch die gerade giltigen Geschwindigkeiten

U_I und U_{II} wird durch die U -Skalen und die erwähnten Geraden $\Delta z'_I$ und $\Delta z''_I$ abgeschnitten. Wird nun $\Delta z'_I$ horizontal auf $\Delta z'_I$ projiziert, so erhält man dort das gesuchte Δz_I . Die Linie, die die so gefundenen Punkte verbindet, verläuft wellig, da ja, wenn der Spiegel im Endwasserschloss steigt, Wasser in dieses abfließt und die Spiegelhebung verringert, wenn dann der Spiegel dort wieder fällt, Wasser zurück ins Zwischenwasserschloss strömt und dort den Spiegelanstieg vermehrt.

Der elektrische Wassergeschwindigkeitsmesser System DBF.¹⁾

Zur Messung der Wassergeschwindigkeit bzw. der Wassermenge in offenen Gerinnen wird in den weitaus meisten Fällen der Woltmann'sche Flügel in irgend einer Ausführungsform benutzt, besonders da, wo eine andere Messung nicht anwendbar ist. Bekanntlich besteht der Woltmann'sche Flügel bei allen Ausführungsarten in der Hauptsache stets aus einem Triebad, z. B. in Form eines Schiffspropellers oder eines Laufrades mit nur zwei bis vier Schaufeln, und einem damit gekuppelten Zählwerk. An diesem selbst ist eine elektrische Kontaktvorrichtung angebracht, die nach je 25, 50 oder 100 Umdrehungen des Flügels für einige Sekunden den Stromkreis einer elektrischen Glocke schliesst. Trotz zum Teil sehr sinnreich ausgedachter Vorrichtungen sind alle diese Flügel mit den Nachteilen behaftet, die nun einmal von den Kontaktvorrichtungen und galvanischen Elementen unzertrennlich sind, und die sich bei dem fast unvermeidlichen Zutritt von Feuchtigkeit oder Wasser in Folge elektrolytischer Erscheinungen noch viel stärker bemerkbar machen als in trockener Luft. Weitaus der grösste, zugleich grundsätzliche und wohl von jedem Messenden empfundene Mangel ist aber der, dass auch mit dem besten Flügel nur die mittlere Geschwindigkeit während einer bestimmten Zeit,

des Wassers nicht oder nur mit Mühe erkannt werden können. Die Messungen werden dadurch nicht nur zeitraubend, sondern häufig auch unsicher, weshalb vorgeschlagen wurde, diese Flügel nicht unterhalb bestimmter Wassergeschwindigkeiten zu benutzen. Dies würde aber in manchen Fällen die Verwendung von mehreren Flügeln mit verschiedener Empfindlichkeit und unter Umständen sogar teure Holzeinbauten in die Turbineneinläufe bedingen, wenn man nicht geradezu auf die Messung verzichten will. Es hatte also namentlich der mit Abnahmeproben von Wasserturbinen beschäftigte Ingenieur das Bedürfnis nach einem Apparat zur unmittelbaren Anzeige der augenblicklichen, wirklichen Wassergeschwindigkeit.

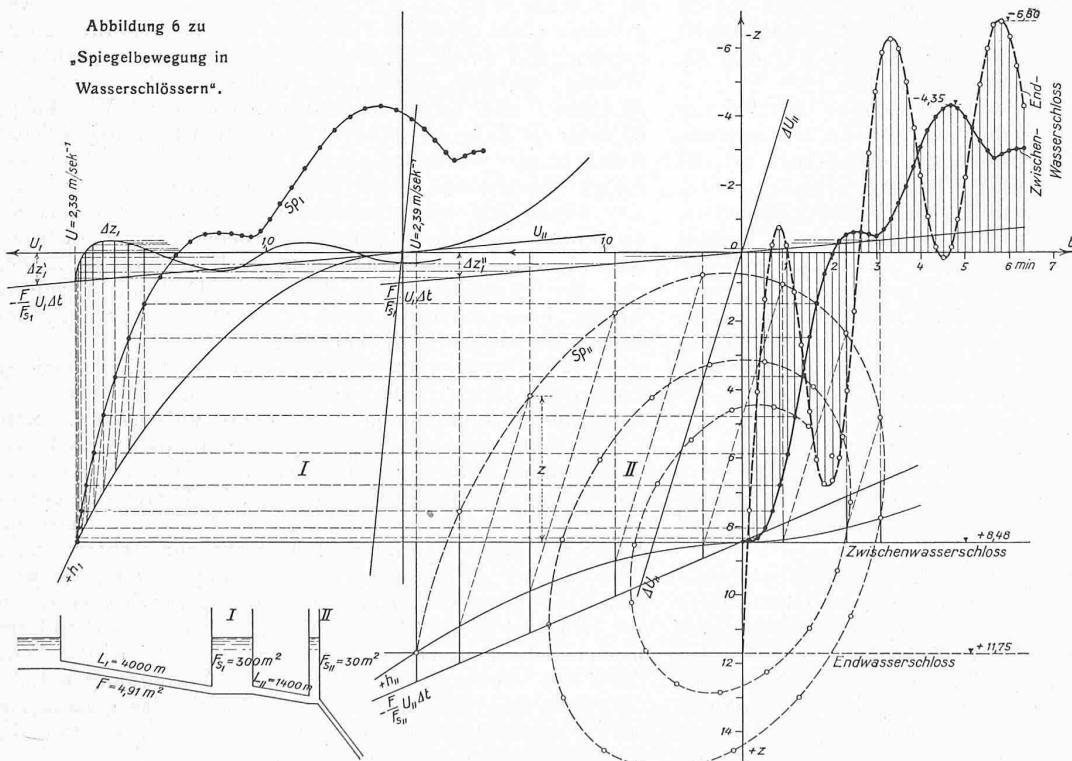
Es lag nahe, hierzu eine dem gewöhnlichen Tachometer ähnliche Vorrichtung zu bauen und die Bewegung oder Zeigerstellung auf z. T. mechanische und z. T. elektrische Weise an die Beobachtungstelle über Wasser zu übertragen. Der Gedanke war aber wegen des verhältnismässig grossen Kraftbedarfs für einen solchen Mechanismus und wegen der grossen Masse der beweglichen Teile nicht ausführbar. Auch hätte der Apparat wohl nicht gut abgedichtet werden können, ohne dass unzulässig hohe Reibung entstanden wäre. Bedeutend vorteilhafter war es, den Propeller zum Antrieb einer kleinen elektrischen Dynamo zu benutzen und den von ihr erzeugten Strom auf ein über Wasser befindliches Voltmeter zu übertragen. Da die Spannung eines leer laufenden elektrischen Generators bei unveränderlicher Erregung des Magnetfeldes der Umdrehungsgeschwindigkeit des Ankers genau proportional ist, war damit ein vorzügliches Mittel zur unmittelbaren Bestimmung der Drehzahl des Flügels, bzw. der damit theoretisch proportionalen Wassergeschwindigkeit gefunden.

Die Ausführung bot freilich wesentliche Schwierigkeiten, weil einander widerstrebende Anforderungen zu erfüllen waren. So war wegen des beschränkten Raumes und der geringen Antriebskraft des Propellers und zwecks eines leichten Anlaufs vor allem eine möglichst kleine

Maschine mit sehr leichtem Anker und unveränderlicher Erregung nötig, die aber eine verhältnismässig hohe Spannung erzeugen sollte, damit die zusätzlichen Widerstände der Leitungen und die veränderlichen Übergangs-Widerstände an den Steckkontakte der Leitung usw. die Genauigkeit der Messung nicht merklich beeinflussen könnten. Erforderlich war ferner eine wenigstens annähernd proportionale Teilung des Spannungsmessers, sowie die einwandfreie Messung bei Rücklauf des Wassers bzw. des Propellers, und dazu als Hauptforderung die vollkommenen Abdichtung

wenigstens des Generators gegen das Wasser, ohne Anwendung von Stopfbüchsen oder wesentliche Reibung verursachender Lager. Ebenfalls wegen der Proportionalität zwischen Drehzahl und Spannung konnte nur ein Voltmeter mit sehr geringem Strombedarf in Frage kommen. Ein verhältnismässig grosser Strom hätte nicht nur einen

Abbildung 6 zu
„Spiegelbewegung in
Wasserschlössern“.



und zudem nur durch Rechnung ermittelt, und dass Stillstand, Rücklauf oder gar wechselnde Strömungsrichtung

¹⁾ Diese Bezeichnung «DBF» ist darauf zurückzuführen, dass dieser Wassergeschwindigkeitsmesser in der vorliegenden Form aus der gemeinsamen Arbeit der Ingenieure R. Dubs (Zürich), S. Bitterli (Rheinfelden) und Rich. Fischer (Zürich) entstanden ist.