

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 61/62 (1913)
Heft: 5

Artikel: Neuere Messmethoden zur Bestimmung von Wassermengen auf Grund von Versuchen der Schweizerischen Landeshydrographie
Autor: Zuppinger, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-30760>

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: 24.04.2025

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

Auf dem Papierstreifen des Chronographen sind daher übereinander die Zeit, der Schirmweg und eventuell auch die Umdrehungen der Turbine aufgezeichnet. In den Endpunkten des Diagramms für die Schirmmessung werden dann senkrechte Linien errichtet, welche die zugehörige Zeit festlegen. Ein solcher Chronographenapparat ist ersichtlich in Abbildung 7 des Limnigraphenhäuschens; er war aber in dem vorliegenden Fall im Bureau der Kraftzentrale aufgestellt.

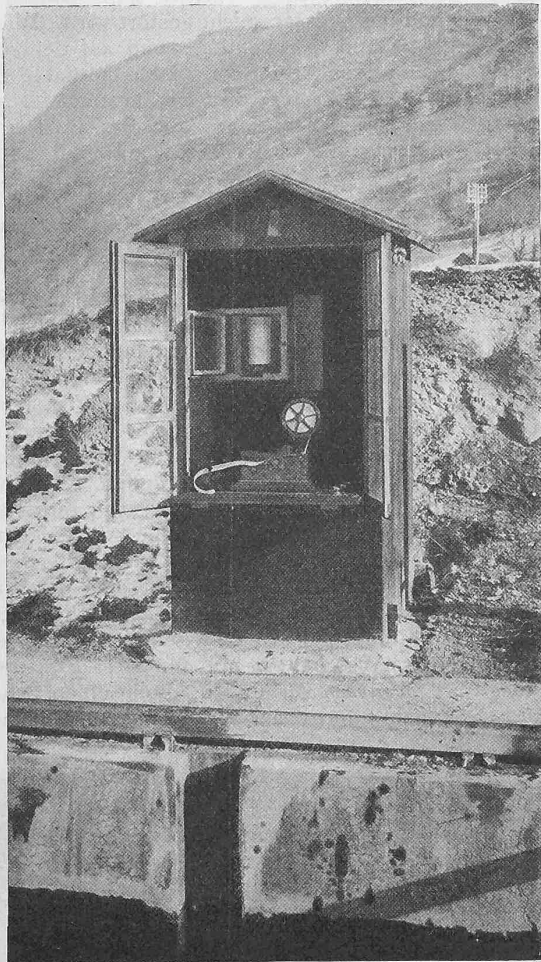


Abb. 7. Limnigraph am Messkanal des Kraftwerks Ackersand.

Ganz unabhängig vom Chronographen ist der *Limnigraph* (siehe Abb. 7), der auch mit den Versuchen der Schirmmessungen eigentlich nichts zu tun hat, sondern mehr dazu dient, den alltäglichen Wasserverbrauch der Turbinen fortlaufend anzugeben. Dieser Apparat besteht aus einer von einem Uhrwerk betriebenen und mit Papier bespannten Walze, auf der eine mit einem Schwimmer verbundene Schreibfeder kontinuierlich die Wasserstandshöhe im Kanale registriert. Da nun im Ackersand der Abfluss des Wassers mittelst Ueberfall erfolgt, wurde zunächst, unter Zuhilfenahme von Schirmmessungen, die den verschiedenen Ueberfallhöhen entsprechenden Wassermengen direkt durch Versuche bestimmt. Hieraus wurde dann eine Wassermengenkurve in Funktion der Wasserspiegelhöhen bestimmt und der Limnigraphenbogen darnach eingeteilt. Auf diese Weise wird auf letzterem unmittelbar die von den Turbinen verbrauchte Wassermenge kontinuierlich registriert (siehe Tafel 7 der Mitteilungen Nr. 2 der Schweizerischen Landeshydrographie). Der ganze Apparat ist in einem Holzhäuschen *A* untergebracht (siehe die Abbildungen 1, 3, 7), das durch eine elektrische Lampe genügend erwärmt wird, um bei grosser Kälte ein Einfrieren des Wassers im Schwimmerrohr und der Tinte im Schreibstift zu verhindern.

Auf die *Versuche mit Schirm* im Ackersand zurückkommend, sind solche in No. 2 der Mitteilungen von Ing. Lüttschg sehr einlässlich beschrieben. Es würde hier zu weit führen, alle jene Versuche wiederzugeben, namentlich auch solche mit schräger Stellung des Schirmes und bei künstlich erzeugter ungleichförmiger Strömung im Messkanal. Ich beschränke mich deshalb auf eine Wiedergabe derjenigen Versuche, welche sich unmittelbar mit den Ergebnissen der übrigen Messmethoden vergleichen lassen.

Es sei zunächst auf den Einfluss der früher erwähnten Wellenbewegung oder *Pulsationen* aufmerksam gemacht, welche durch die Beruhigungsschleuse *D* aufgehoben werden sollten. Obschon diese Schleuse rund 120 m von den Turbinen entfernt ist, treten dort bei aus dem Wasser gehobener Schütze Wellen bis zu 0,20 m Höhe auf; ist dagegen die Schütze 0,70 m tief eingetaucht, so ist an der Oberfläche beinahe keine Wellenbewegung zu beobachten. Trotzdem bewirkten diese Pulsationen des Wassers etwelche Verschiedenheit der Geschwindigkeiten des Schirmes zwischen den einzelnen Kontakten, Differenzen die an dem Chronographenstreifen zum Ausdruck kamen, sich aber auf die ganze Länge verteilt wieder aufhoben. Um den Einfluss solch ungewöhnlich starker Pulsationen zu erproben, wurden je drei Schirmmessungen mit Beruhigungsschleuse und drei ohne solche ausgeführt und die Resultate zeigten in der Tat keine wesentlichen Unterschiede, dank der Länge des Kanals von 14 m. Immerhin soll auch für gewöhnliche Fälle in Rücksicht auf eventuelle Pulsationen die Messstrecke nie kürzer genommen werden als etwa 10 m, wenn grössere Länge nicht möglich.

Tabelle II
Ergebnisse der Schirmmessungen.

Messungsgruppe		II	III	III A.	III B.
Mittlere Wasserspiegelhöhe $H_W =$	m	699,067	699,116	699,123	699,118
Mittlere Wassertiefe $T =$	m	1,490	1,539	1,546	1,541
Kanalbreite $B =$	m	3,484	3,484	3,484	3,484
Wasserquerschnitt $F = B \times T =$	m ²	5,190	5,362	5,386	5,369
Mittlere Geschwindigkeit . . $V_m =$	m	0,203	0,242	0,242	0,242
Wassermenge $Q = F \times V_m =$	Liter	1052	1298	1303	1299

Wassermessung mit elektrischem Flügel.

Bekanntlich verwendet man heutzutage keine mechanischen (Woltmann'sche) Flügel mehr, sondern nur noch solche mit elektrischem Glockensignal nach 25, 50 oder 100 Umdrehungen der Flügelwelle; auch ist man für Messungen in Werkkanälen mit regelmässigem Profil abgekommen, von der sog. Integrationsmethode, wobei der Flügel mit konstanter Geschwindigkeit in vertikaler Richtung durch das ganze Profil auf- und abbewegt wurde.

Der im Ackersand gebaute Messkanal eignete sich natürlich vorzüglich für Flügelmessungen. Die Kanalsohle hat die Kote $H_S = 697,577$ m über Meer, und bei den Versuchen II, III, IV betrug die mittlere Wasserspiegelhöhe $H_W = 699,079$, sodass die mittlere Wassertiefe $T = H_W - H_S = 1,502$ m war. Die Kanalbreite im Messprofil betrug $B = 3,484$ m. Das Messprofil H für den Flügel wurde gewählt 5,00 m oberhalb dem Ueberfall *B* (siehe Abb. 1 und 3) und durch die 30 m oberhalb befindliche Beruhigungsschleuse *D*, sowie durch den Ueberfall wurde bewirkt, dass im ganzen Messprofil H , im Gegensatz zu normalen Verhältnissen, fast dieselben Geschwindigkeiten auftraten, ausser natürlich an den Wänden und an der Sohle. Das Profil wurde eingeteilt in acht Vertikale mit je sechs Höhenpunkten, also 48 Messpunkte.

Zur Ausführung der Flügelmessungen wurden abwechselnd zwei Flügel verwendet, die vor und nach den Messungen sorgfältig tariert wurden, doch konnte, wie vorauszusehen, keine Veränderung der Konstanten festgestellt werden. Beide Instrumente zeichneten sich durch grosse Empfindlichkeit aus, indem ihre Anlaufgeschwindigkeiten nur rund 0,05 bezw. 0,07 m betragen. Solche Empfindlichkeit war im Ackersand umso notwendiger, als die zu messenden Geschwindigkeiten sich innerhalb der Grenzen

0,08 und 0,52 m/sek. bewegten. Um ferner den Einfluss der erwähnten Pulsationen des Wassers für diese Messungen unschädlich zu machen, wurde der Flügel in jedem einzelnen Punkte etwa 90 sek belassen. Die Geschwindigkeit wurde somit in jedem Punkt durchschnittlich dreimal gemessen.

Tabelle III. Ergebnisse der Flügelmessungen.

Messungsgruppe		II	III	IV
Mittlere Wasserspiegelhöhe $H_W =$	m	699,067	699,116	699,054
Mittlere Wassertiefe $T =$	m	1,490	1,539	1,477
Kanalbreite $B =$	m	3,484	3,484	3,484
Wasserquerschnitt $F = T \times B =$	m ²	5,192	5,362	5,145
Mittlere Geschwindigkeit . $V_m =$	m	0,202	0,240	0,193
Wassermenge . $Q = F \times V_m =$	Liter	1051	1289	996

stände bei den fünf Messungsgruppen nicht gleich hoch, sodass die erhaltenen Versuchsergebnisse nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden können.

Da der Wasserabfluss aus dem Messkanal mittelst Ueberfall stattfindet, so ist die Ueberfallhöhe h massgebend für den Vergleich der gemessenen Wassermengen. Ing. Lütshg hat deshalb auf Tafel 10 seiner Mitteilungen die mit dem Flügel gemessenen Wassermengen Q graphisch dargestellt als Funktion der zugehörigen Ueberfallhöhen h , ebenso die berechneten Q nach Frese, und die übrigen damit verglichen laut Tafel 13.

In der Tabelle IV seien dieselben Resultate in etwas anderer, wie mir scheint übersichtlicherer Form zusammengestellt, ebenfalls in chronologischer Reihenfolge.

Tabelle IV. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse Ackersand.

Messungsgruppe		Ueberfall			Versuche						
Datum	No.	Wasserspiegel H_m in m	Ueberfallhöhe h in m	Berechnete Wassermenge Q in l	Versuch No.	Uhr	Dauer Min.	Messungsmethode	Gemessene Wassermenge Q in l	Differenzen ΔQ	
										Liter	%
1. August 1912	II	699,067	0,304	1040	1	2 ³² bis 2 ⁵⁹	27	Schirm	1052	1	0,095
					2	3 ⁰⁸ bis 4 ²⁰	77	Flügel	1051		
13. Sept. 1912	III A.	699,123	0,360	1339	3	10 ⁵⁶ bis 11 ¹⁵	19	Schirm	1303	(53)	(4—)
					4			Salzlösung	(1356)		
13. Sept. 1912	III	699,116	0,353	1301	5	11 ¹⁸ bis 12 ²²	64	Flügel	1289	9	0,7
					6	12 ⁵⁰ bis 1 ¹²	22	Schirm	1298		
13. Sept. 1912	III B.	699,118	0,355	1312	7	4 ⁰⁰ bis 4 ²⁵	25	Schirm	1299	6	0,46
					8	4 ⁰⁰ bis 4 ⁰⁷	7	Salzlösung	1305		
11. Dez. 1912	IV	699,054	0,291	975	9			Flügel	996	3	0,3
					10	11 ³⁷ bis 2 ⁰⁸	—	Schirm	993		

Wassermessung mit Ueberfall.

Wie eingangs erwähnt, musste im Ackersand der Ueberfall B leider gleichzeitig auch als Regulierschütze dienen (siehe Abb. 1 und 3). Dies brachte es mit sich, dass aus konstruktiven Gründen an jeder der beiden Kanalwänden ein 37 mm breiter Eisenblechstreifen vorragte, der eine kleine Kontraktion des Wasserstrahles verursachte. Es ergab sich daraus eine Verengung in der Breite von $\frac{b^1}{B} = \frac{3,412}{3,482} = 0,979$, für welches Verhältnis wir aber keine zuverlässige Formel besitzen. Die beste wäre für diesen Fall diejenige von Frese, die gilt aber nur für $\frac{b}{B} \leq 0,90$.

Ferner wurde der Ueberfallstrahl beeinträchtigt durch die beiden Zahnstangen zum Aufziehen der Schütze (siehe Abb. 3 und 4). Diese verengten nicht nur die nützliche Breite des Ueberfalles, sondern sie verursachten auch einen kleinen Rückstau, sodass diese Berechnung der Wassermenge keine genaue sein konnte. Immerhin wurde sie doch durchgeführt nach der Formel von Frese, um wenigstens einen ungefähren Vergleich zu haben mit den übrigen Messergebnissen.

Es ist schade, dass die erwähnten Umstände eine einwandfreie Ueberfall-Messung nicht erlaubten; es sollte aber nicht besonders schwierig sein, die Schütze derart umzubauen, dass jene Hindernisse verschwinden würden. Eine sehr dankbare Aufgabe wäre es dann, die Ueberfallkoeffizienten unter verschiedenen Verhältnissen zu erproben, wie dies leider selten möglich ist.

Zusammenstellung und Vergleich der Versuchsergebnisse.

Alle Versuche im Ackersand mussten mit beiden Turbinen im regelmässigen Betriebe des Elektrizitätswerkes ausgeführt werden, doch war man darauf bedacht, eine möglichst gleichmässige Belastung einzuhalten. Immerhin war nicht zu verhüten, dass der Unterwasserspiegel, wenn auch in kleinen Grenzen, schwankte.

Diesen Schwankungen während der einzelnen Versuche wurde durch Einführung eines mittlern beobachteten Wertes Rechnung getragen. Es waren aber diese mittlern Wasser-

menge in Abbildung 8 finden sich diese Versuchsergebnisse in Funktion von h in vergrössertem Masstabe graphisch aufgetragen und die Mittelwerte durch eine stark ausgezogene Kurve verbunden. Daneben ist eine punktierte Kurve eingezeichnet, die aus dem Ueberfall berechneten Wassermengen darstellend: Daraus ergibt sich eine ungleich-

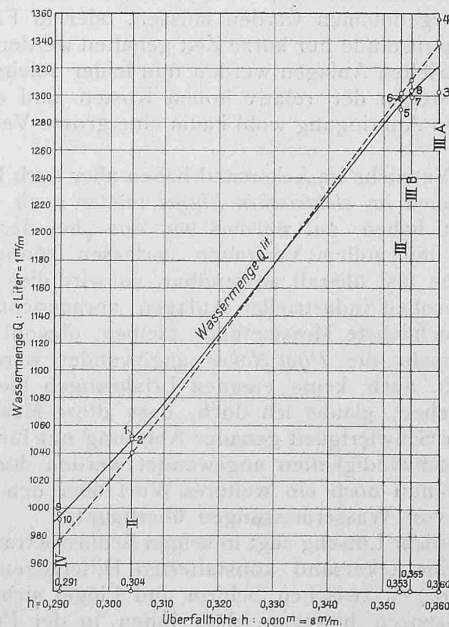


Abb. 8. Graphische Darstellung der Versuchsergebnisse.

verteilte Differenz der letztern berechneten Q zu den effektiv gemessenen, welcher Differenz aber aus den bei den Messungen mit Ueberfall angeführten Gründen keine besondere Wichtigkeit zukommt. Immerhin scheint es, dass der Einfluss der beiden Zahnstangen ein verschiedener ist, je nachdem die Ueberfallhöhe kleiner oder grösser ist.

Schlussfolgerungen und Genauigkeitsgrad.

Bezüglich des *Ueberfalls* haben wir also hier wiederum einen Fall, bei dem dieser vollkommen versagt hat, wie dies leider in der Praxis so häufig vorkommt und worüber ich mich in meinem vorerwähnten Aufsatz über „Versuche und Erfahrungen aus dem Wasserturbinenbau“ eingehend ausgesprochen habe.

Aus den Versuchen mit *Salzlösung* haben wir bereits gesehen, dass der Versuch 4 nicht einwandfrei ist und deshalb nicht als Vergleich mit den übrigen Messungen dienen darf.

Übrigens zeigt nach Abbildung 8 auch der gleichzeitige Versuch 3 mit Schirm eine Anomalie, indem der betreffende Punkt 3 ganz aus der Kurve herausfällt. Wäre dies nicht der Fall, so wäre bei III A die Differenz ΔQ bedeutend kleiner. Wahrscheinlich ist die Ursache dieser Anomalie auf einen unglücklichen Zufall in der Schwankung des Wasserspiegels zurückzuführen.

Versuch 8 dagegen mit *Salzlösung* ergibt gegenüber dem gleichzeitigen Versuch 7 mit Schirm eine Differenz von bloss 0,46%, was gewiss eine schöne Uebereinstimmung ist.

Wassermessungen mit *Salzlösung* scheinen daher in der Tat empfehlenswert zu sein z. B. bei Wildbächen und Pelton-turbinen, während für Francisturbinen die Resultate weiterer Versuche abzuwarten sind.

Die *Schirmmessungen* dagegen ergaben gegenüber Flügelmessungen eine Differenz

$$\Delta Q_m = \frac{0,095 + 0,7 + 0,3}{3} = 0,365\%$$

und zwar das eine Mal zugunsten des Schirmes, das andere Mal zugunsten des Flügels. Nun ist allgemein bekannt, dass die Schirmmessung in Verbindung mit elektrischer Aufzeichnung die genaueste Messmethode ist, die es heute gibt und die es wahrscheinlich überhaupt geben kann. Die konstatierten, wenn auch kleinen Differenzen, ΔQ müssten deshalb *scheinbar* zuungunsten des Flügels sein, was aber doch nicht der Fall ist, wie wir bei Besprechung des Genauigkeitsgrades sehen werden.

Der grösste Vorteil einer Schirmmessung besteht nach meiner Ansicht in einer ungemein raschen und sicheren Operation der Wassermessung. Letzteres ist notwendig in Versuchsanstalten, wo in kürzerer Zeit viele Messungen vorgenommen werden müssen, oder in Fällen, wo Beharrungszustände nur kurze Zeit gehalten werden können. Bei industriellen Anlagen werden nun leider solche Schirm-anstalten wegen der relativ hohen Kosten und der meist schwierigen Anbringung wohl kaum eine grosse Verbreitung finden.

Die Versuche im Ackersand haben aber auch bewiesen, dass wir auch im *elektrischen Flügel* immer noch ein Messinstrument haben, auf welches wir uns „bei der nötigen Vorsicht“ mit vollem Vertrauen verlassen können. Und da derselbe fast überall anwendbar, so wird dies wohl für Turbinenproben industrieller Anlagen voraussichtlich auch die gebräuchlichste Messmethode bleiben, obwohl z. B. in Amerika mehr die *Pitot-Röhre* angewendet werden soll. Wenn mir auch keine eigenen Erfahrungen hierüber zu Gebote stehen, glaube ich doch, dass diese Messmethode wegen der Schwierigkeit genauer Ablesung nur für grössere Wassergeschwindigkeiten angewendet werden dürfe.

Und nun noch ein weiteres Wort über den *Genauigkeitsgrad* von Wassermessungen überhaupt.

Ingenieur Lütshg sagt in seinen Schlussbetrachtungen, dass die im Ackersand konstatierten Differenzen $\Delta Q = 0,095$ bis $0,7\%$ zwischen Schirm und Flügel sich in solchen kleinen Grenzen bewegen, dass ihnen in der Praxis fast kein Wert zukomme. Ich stimme dieser Ansicht vollkommen bei, solange es sich für einen Industriellen darum handelt, den Wirkungsgrad seiner Motoren annähernd zu kennen, wobei in der Tat 1% mehr oder weniger keine Rolle spielt. Anders aber ist es bei Abnahmeversuchen von Turbinen, wo bekanntlich Fehlbeiträge von auch nur 1% gegenüber der Garantie mitunter zu langweiligen Streitigkeiten führen können.

Man kann verschiedener Ansicht sein, ob und in welchem Betrag in solchen Fällen eine *Toleranz* in Anwendung kommen solle. Ich für meinen Teil habe als alter Praktiker in meinem mehrfach erwähnten Aufsatz die Ansicht ausgesprochen: „dass bei industriellen Turbinenproben im allgemeinen eine gewisse Toleranz bis auf etwa $\pm 2\%$ walten sollte, sei es wegen oft unvermeidlicher Beobachtungsfehler, sei es wegen Unbestimmtheit in der Anwendung bekannter Koeffizienten oder Formeln“. Selbstverständlich hängt es von den jeweiligen Umständen ab, ob überhaupt eine Veranlassung zu solcher Toleranz vorliegt und wie hoch sie etwa eingeschätzt werden darf. Die als Maximum angegebenen $\pm 2\%$ dürften vielleicht doch etwas hoch gegriffen sein, obwohl sie sich auf alle drei Operationen zusammen (Wassermessung, Gefällsbestimmung und Bremsversuche) bezogen.

Was beweisen uns nun die Versuche im Ackersand in dieser Beziehung? Die dortige Wassermessung wurde in besonders hergestelltem Messkanal, mit den bestbekanntesten Hilfsmitteln und gewiss mit grösster Sorgfalt ausgeführt, und dennoch haben sich dabei Differenzen bis zu $0,7\%$ ergeben. Welche Genauigkeit kann man dann erwarten z. B. von einer Flügelmessung in einem gewöhnlichen (allerdings regelmässigen) Werkkanal aus mehr oder weniger rohem Mauerwerk?

Nach meiner Ansicht liegt kein Grund vor, warum in diesen Fällen nicht auch ebenso genaue Resultate erzielt werden können, *wenn* die Verhältnisse günstig liegen und *wenn* man mit der nötigen Sorgfalt operiert. Im Ackersand haben nämlich, trotz aller guten Einrichtungen, *Nebenumstände* mitgespielt, wie solche ja bei industriellen Proben leider häufig vorkommen (wenn auch wieder anderer Natur) und welche das Ergebnis der Messungen beeinflussen können.

Erstens mussten die Versuche bei regelmässigem Betrieb des Elektrizitätswerkes ausgeführt werden, was z. B. bei Abnahmeversuchen von Turbinen nur in seltenen Fällen zulässig ist, d. h. in solchen, wo man einer konstanten Kraftentnahme während der Versuche sicher ist. Letzteres war mehr oder weniger der Fall im Ackersand, weil dieses Werk eine chemische Industrie betreibt. Immerhin musste man zur Erreichung eines perfekten Beharrungszustandes mit elektrischen Widerständen nachhelfen und trotzdem ergaben sich kleinere Schwankungen im Wasserspiegel.

Zieht man ferner in Betracht, dass eine einzelne Schirmmessung während etwa einer Minute erfolgte, während eine Flügelmessung über eine Stunde in Anspruch nahm, so kamen in letzterem Fall jene Schwankungen des Wasserspiegels viel eher zum Ausgleich.

Ein weiterer Faktor für die Ungenauigkeit bestand darin, dass die mittlere Wassergeschwindigkeit bloss etwa $0,24$ m/sek. betrug (Min. $0,08$, Max. $0,52$ m). Wiewohl die Flügel auch auf so kleine Geschwindigkeiten tariert sind, habe ich die Erfahrung gemacht, dass Messungen unter solchen Verhältnissen weniger exakt waren als bei grösseren Geschwindigkeiten, wie sie gewöhnlich in Werkkanälen vorkommen.

Unter all diesen Umständen ist es wahrlich nicht zu verwundern, wenn eine der Messgruppen (III) eine Differenz zwischen Schirm und Flügel von $0,7\%$ ergeben hat, während II und IV in den Grenzen $0,095$ und $0,3$ geblieben sind.

Zum Schlusse empfehle ich die eingangs erwähnten Broschüren den Interessenten zu aufmerksamem Studium und danke den Herren Verfassern derselben, namentlich Herrn Ingenieur Lütshg, für die vielfachen ergänzenden Aufklärungen, die sie die Güte hatten, mir bereitwilligst zu erteilen. Nicht weniger aber sei hier auch der Direktion des Elektrizitätswerkes Ackersand dafür gedankt, dass sie es ermöglicht hat, solche für die Praxis höchst wertvolle Versuche durchzuführen und der Oeffentlichkeit bekannt zu geben. Möchten noch recht viele Industrielle solchem gemeinnützigem Beispiele folgen!