

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 63 (1971)
Heft: 4

Artikel: Seit 75 Jahren Eichungen hydrometrischer Flügel beim eidg. Amt für Wasserwirtschaft in der Papiermühle bei Bern
Autor: Fischer, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921200>

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

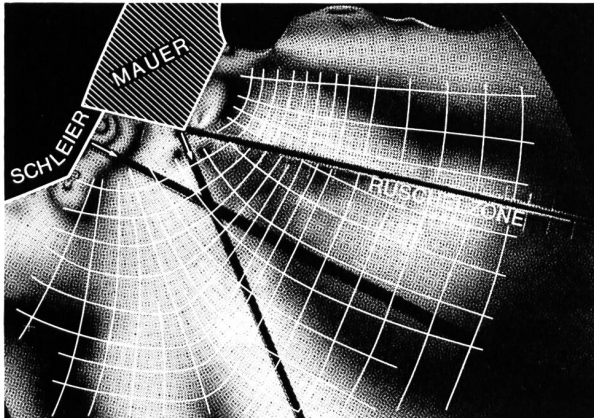
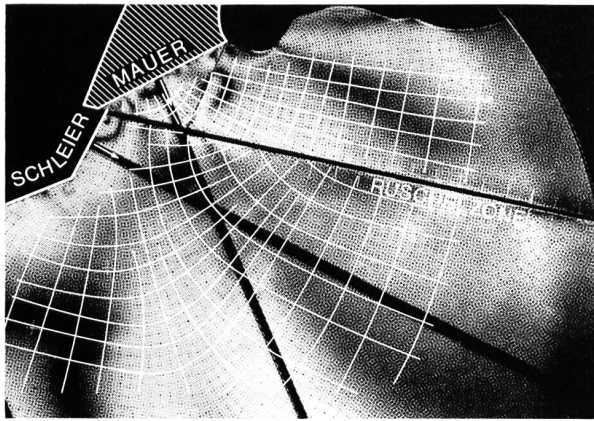
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 21.02.2026

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



Bilder 9a und b Spannungsoptische Überprüfung des Einflusses des zusätzlichen Fundamentaushubes in der untersuchten Kluftfläche (Bild 8 oben); links oben (Bild 9a) mit Hauptspannungstrajektorien ohne, unten mit Zusatzaushub.

Adresse des Verfassers:
N. Schnitter, dipl. Ing. ETH, Vizedirektor der
Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, 5400 Baden

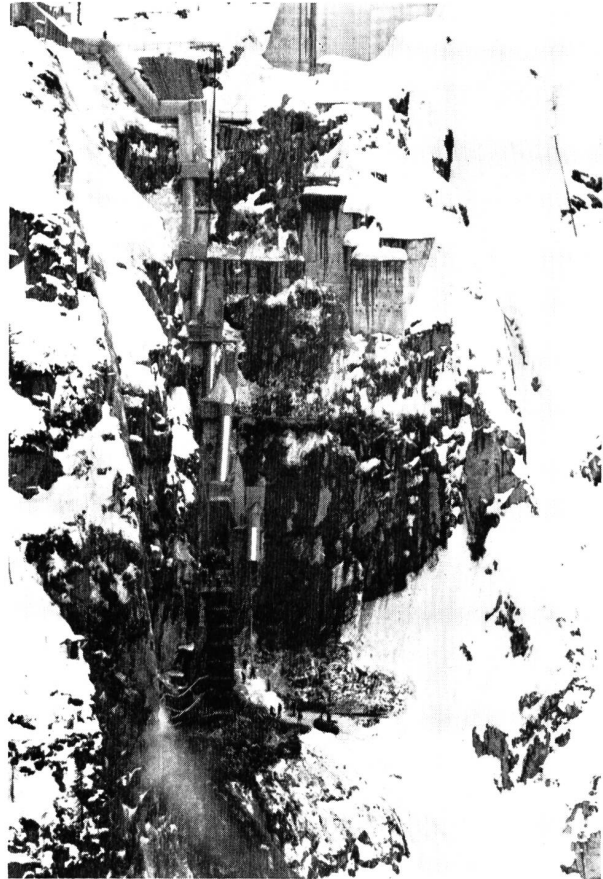


Bild 10 Winterarbeit auf Emosson; rechtes Talsperren-Widerlager. (Aufnahme vom 25. März 1971)

Bildernachweis:
M. Darbellay: Photos 3a und b, 4, 5b und c
N. Schnitter: Photo 5a
Brown, Boveri & Co. AG: Photos 9a und b
G. A. Töndury: Photo 10

SEIT 75 JAHREN EICHUNGEN HYDROMETRISCHER FLÜGEL BEIM EIDG. AMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT IN DER PAPIERMÜHLE BEI BERN

Max Fischer

DK 551.48.018

Schon beim Einsatz der ersten Woltmann'schen Flügel hat man erkannt, dass die Drehzahl in Funktion der Strömungsgeschwindigkeit experimentell bestimmt werden muss. Aus dieser Erkenntnis heraus hat das Hydrographische Büro als Vorgängerin der Unterabteilung Landeshydrographie unseres Amtes, schon 1896, also vor 75 Jahren, eine Flügeleinrichtung betrieben. Diese Anlage war vor allem für die amtseigenen Instrumente bestimmt, doch wurden auch private Eichaufträge angenommen. Auf Bild 1 ist der von Hand betriebene Messwagen ersichtlich. Im Vordergrund erkennt man Dr. Epper, den damaligen Direktor des Hydrographischen Büros, welcher sich durch verschiedene Entdeckungen auf diesem Gebiet einen Namen gemacht hat.

Der Schlepptank hatte eine Länge von 130 m, eine Breite und Wassertiefe von je 1,20 m.

Im Zeitabschnitt von 1914 bis 1950 war über dem gleichen Tank ein elektrisch angetriebener Messwagen in Betrieb. Die maximale Schleppgeschwindigkeit betrug 5 m/s.

1951 wurde die ganz neu konzipierte Anlage mit einem 140 m langen, 4 m breiten und 2 m tiefen Tank gebaut. Die Anlage wurde in eine Halle verlegt, um die von Wind und Temperaturdifferenzen verursachten Strömungen auszuschalten. Mittels einer elektronischen Steuerung wurde der Messwagen auf konstante Schleppgeschwindigkeit geregelt. Die höchste Fahrgeschwindigkeit betrug 8 m/s.

Die immer steigenden Anforderungen an die Flügeleichen hinsichtlich Genauigkeit zwangen uns, die Anlage im Jahre 1967 nochmals zu modernisieren. Bild 2 zeigt den Eichtank mit dem Schleppwagen, Bild 3 das Kommandopult. Die elektronische Steuerung, der Schleppwagen, die Schienen und das Signalübertragungssystem wurden erneuert. Die übliche Registriereinrichtung für die Messwerte wurde durch eine elektronische Zählvorrichtung mit Digitalanzeige ergänzt. Dies war nötig, um die hohen Impulsfrequenzen der immer mehr aufkommenden 1-Tourenkontaktflügel erfassen zu können. Der Weg wird

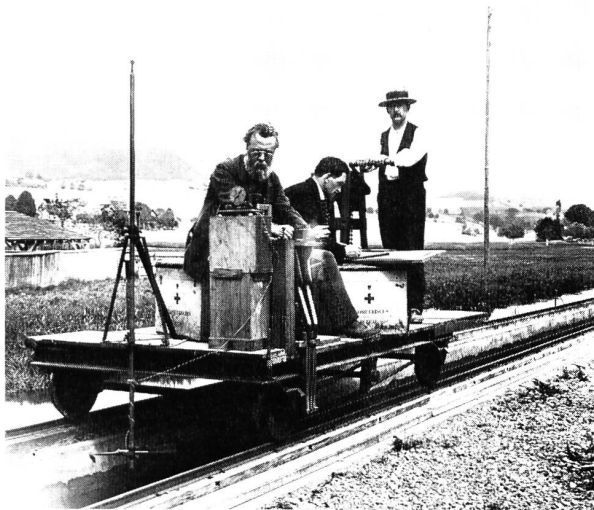
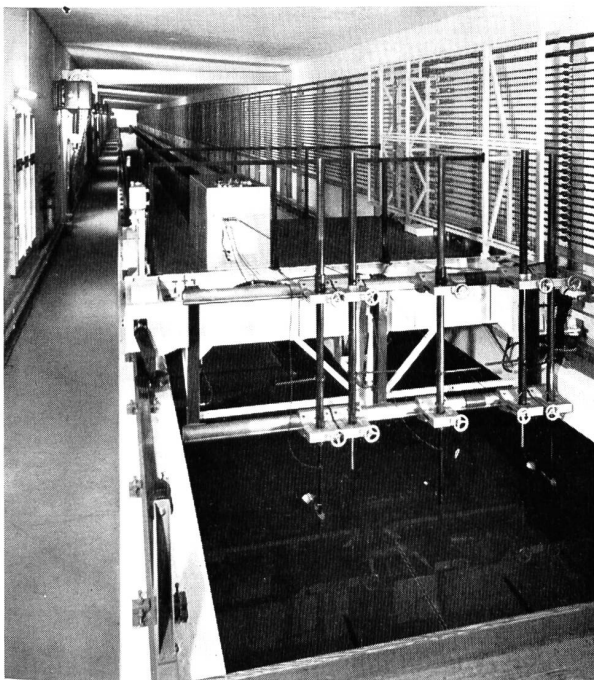


Bild 1

dabei in Millimetern und die Zeit in 1/000 s gemessen.

Wie schon früher erwähnt, hat sich Dr. Epper auch auf dem Gebiete des Eichwesens einen Namen gemacht. So hat er das nach ihm benannte Phänomen entdeckt, welches hier kurz erläutert sei. Wird nämlich der Flügel im Eichtank mit der Grundwellengeschwindigkeit geschleppt, so dreht er langsamer. Bekanntlich gehört zu jeder Wassertiefe im Schlepptank eine bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Grundwelle, die sich mit der einfachen Formel $v = \sqrt{gt}$ berechnen lässt. g bedeutet dabei die Erdbeschleunigung und t die Wassertiefe. Wird nun der Flügel mit dieser Geschwindigkeit durch den Tank geschleppt, so folgt auch der vom Instrument und dessen Befestigungsstange erzeugte Wellenberg mit der gleichen Geschwindigkeit. Die mitlaufende Welle bewirkt eine Vergrößerung des benetzten Tankquerschnittes, wodurch zwangsläufig Sekundärbewegungen der sich in der Nähe

Bild 2



befindlichen Wasserteilchen entstehen, die eine Verzögerung der Relativgeschwindigkeit bewirken. Diese Erscheinung kann in einem schmalen Geschwindigkeitsbereich in den Grenzen von 0,5 bis 1,5 mal der Grundwellengeschwindigkeit auftreten. Je schmaler der Eichtank ist, um so ausgeprägter tritt diese Erscheinung auf. Den Eichanstalten ist dieses Phänomen natürlich bestens bekannt. Es wurde hier erwähnt, um den Kunden der Eichanstalten eine Erklärung über die oft auftretenden Lücken von Messpunkten auf den Eichdiagrammen zu geben, denn diese Punkte werden wohl gemessen, aber in den Diagrammen meistens nicht eingetragen.

Beim Einsatz hydrometrischer Flügel ist es wichtig, dass die gleichen Stangen und Briden wie bei der Eichung verwendet werden. Die Flügelstangen verursachen in der Strömung eine Stauzone nach vorne und nach der Seite, welche die Drehzahl des Flügels beeinflusst. Um die Stauzone sichtbar zu machen, liess man ein Gitter auf der ruhigen Wasseroberfläche des Schlepptanks sich spiegeln. Bei der Schleppfahrt entstehen durch die Verdrängung der Flügelstange Erhebungen und Einsenkungen der Wasseroberfläche, die das Spiegelbild des Gitters verzer-

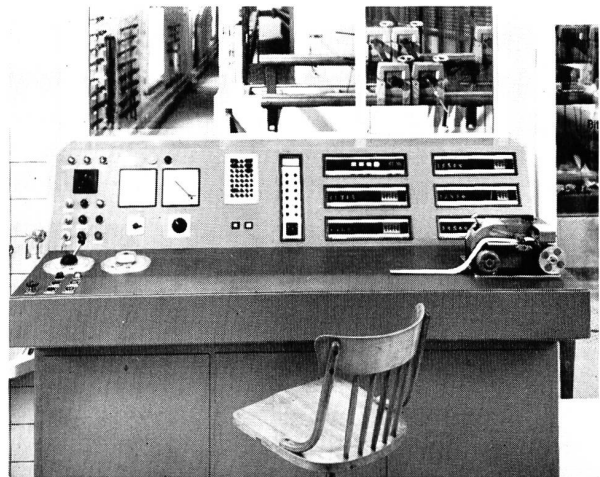


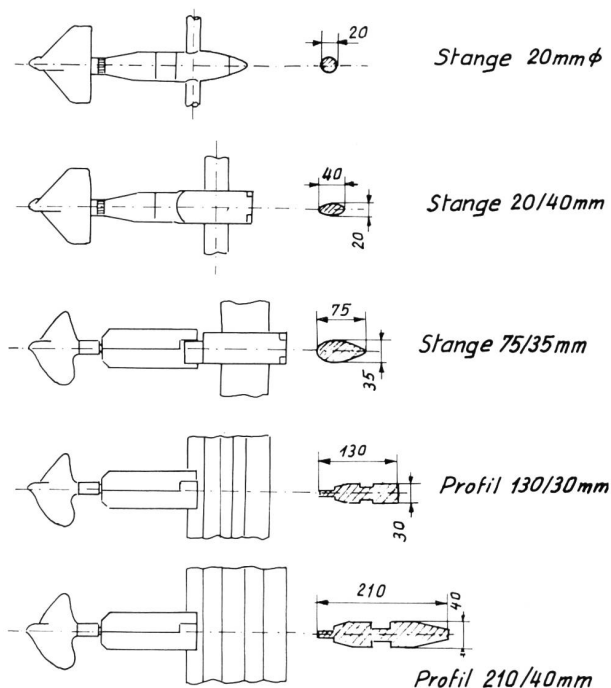
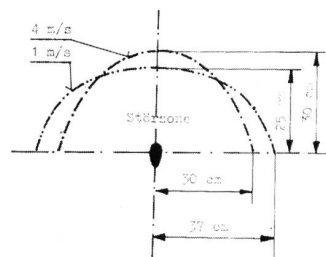
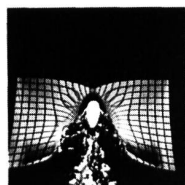
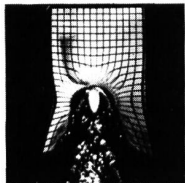
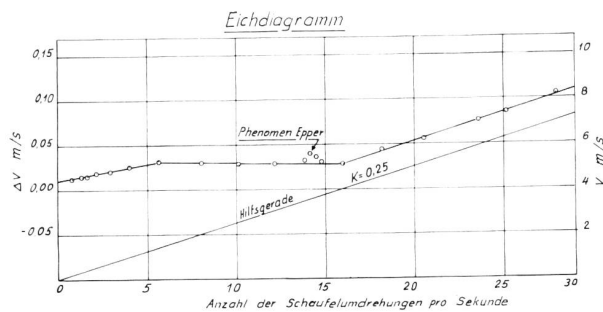
Bild 3

ren. Aus diesen Verzerrungen kann nun die Einflusszone abgeschätzt werden. Auf Bild 5 ist ein Beispiel für das Stangenprofil 75/35 mm zu sehen. Bei 1 m/s Fahrgeschwindigkeit reicht die Stauzone ca. 25 cm nach vorne und ca. 37 cm nach der Seite; bei 4 m/s je 30 cm nach vorne und nach der Seite.

Die Einflüsse der gebräuchlichsten Stangenprofile auf die Eichung hydrometrischer Flügel wurden aus vielen Eichungen zusammengetragen und miteinander verglichen. So für die runde Stange mit 20 mm ϕ , die spitzovale Stange 40/20 mm, die Stange mit dem Tropfenprofil 75/35 mm, das Profil 130/30 mm, das Profil 210/40 mm (Bild 6) sowie für die Kreuzmittelpunkte der Stangenprofile 75/35 und 210/40.

Auf Diagramm (Bild 7) sind die Abweichungen der verschiedenen Stangenprofile in Funktion der Schleppgeschwindigkeit dargestellt, wobei die Stange 75/35 als Basis dient. Die zum Teil beträchtlichen Abweichungen zeigen, wie wichtig es ist, dass bei der Messung die gleiche Flügelstange verwendet wird wie bei der Eichung.

Bei grossen Schleppgeschwindigkeiten kann es vorkommen, dass die Strömung hinter der Stange vollständig abreisst und dass vom Wasserspiegel her Luft nach unten gesaugt wird. Es bildet sich dann ein Luftsack hin-



ter der Stange, der den Flügel in der Weise beeinflusst, als ob das Stangenprofil verdickt wäre. Der Flügel dreht in diesem Falle langsamer. Diese Störung ist unstabil und kann durch Tiefersetzen des Flügels oder durch die Montage einer horizontalen unmittelbar unter der Oberfläche an der Stange befestigten Platte unterdrückt werden. Diese Erscheinung kann auch bei Messungen in schnellfließenden Gewässern auftreten.

Auf dem Bild 8 ist der Unterschied, links ohne und rechts mit dieser Ablösung klar zu erkennen. Die Aufnahmen wurden bei gleichen Schleppgeschwindigkeiten gemacht.

Eine Hauptfrage, die schon die Pioniere auf dem Eichgebiet beschäftigte und die auch heute immer wieder gestellt wird, betrifft die Uebertragbarkeit der Eichresultate auf die Messungen. Oder anders ausgedrückt: Hat die in der Eichstätte ermittelte Beziehung Flügeldrehzahl-Schleppgeschwindigkeit auch im strömenden Wasser ihre Gültigkeit? Diese Frage ist durchaus berechtigt, denn die relative Anströmung im Schlepptank ist immer eine laminare, während auch in sehr langsam fließenden Gerinnen immer eine gewisse Turbulenz vorhanden ist. Dazu kommen noch die in jedem Fluss mehr oder weniger vorhandenen Pulsationen. Um diese Frage abzuklären, wurde ein sogenannter Dynamoflügel konstruiert, mit welchem die Drehgeschwindigkeit des Flügels direkt gemessen und registriert werden kann. Bild 9 zeigt dieses Instrument, in seine Hauptbestandteile zerlegt. Die Flügelschaukel treibt einen kleinen Gleichstromgenerator an. Die drehzahlabhängige Spannung wird mit dem auf der rechten Bildhälfte abgebildeten Kompensatorschreiber registriert.

Dieser Flügel wurde dann in einige Flüsse eingesetzt, wobei die Ganglinien der Drehgeschwindigkeit der Schaufel aufgezeichnet werden konnten.

Wie auf Bild 10 ersichtlich, hat man in den fürs Auge gleichmässigen Strömungen Abweichungen bis zu 10 Prozent von der mittleren Drehgeschwindigkeit festgestellt. Die Frequenz liegt in der Grössenordnung von $\frac{1}{2}$ bis 1 Hertz.

Zuerst glaubte man an einen Instrumentenfehler. Eine gleichmässige gerade Linie beim Schleppen im Eichtank hat jedoch diese Zweifel beseitigt.

Es stellt sich nun die Frage: wie reagieren die verschiedenen Schaufelformen und vor allem wie verhalten sich die leichten gegenüber den schweren Schaufeln in solchen Strömungen? Um diese Frage abzuklären, hat man versucht, die natürliche Turbulenz im Schlepptank nachzuahmen. Man dachte sich die Turbulenz hinsichtlich des Flügels in radiale und achsiale Schwingungen zerlegt, die bei der Schleppfahrt der Hauptströmung überlagert werden. Diese Schwingungen wurden durch eine Maschine erzeugt, die auf dem Schleppwagen montiert war. Ueber einen Kurbeltrieb wurde die Flügelstange in translatorische Schwingungen versetzt. Bei diesen Versuchen hat uns Prof. B. Chaix beraten, wofür wir ihm hier bestens danken. Durch seine Vermittlung stellte uns die Firma Charmilles SA Genf in ebenfalls verdankenswerter Weise die auf Bild 11 gezeigte Maschine zur Verfügung. Unter Vernachlässigung von Gliedern höherer Ordnung lautet die Bewegungsgleichung des Kurbeltriebes:

$$w' \text{ oder } u' = rw \sqrt{1/2 (1 + [\lambda/2]^2)}$$

dabei bedeuten:

r = Exzentrizität (Amplitude)

L = Länge der Pleuelstange, 28 cm

$$\lambda = r/L$$

w' = translatorische Geschwindigkeit radial

u' = translatorische Geschwindigkeit achsial

$$\frac{w'}{v} \cdot 100$$

$$\frac{u'}{v} = 100$$

Turbulenzintensität in %

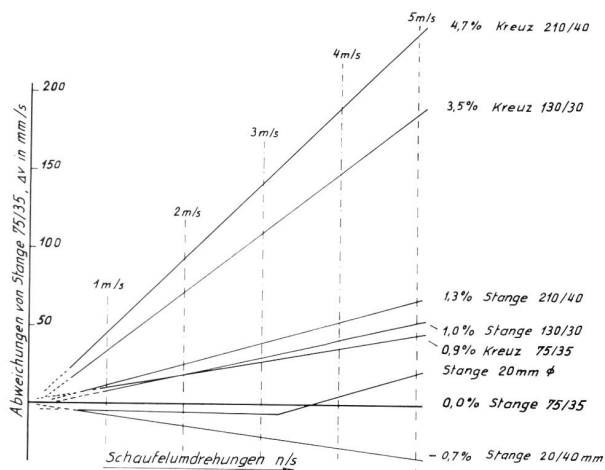


Bild 7

Die Exzentrizität konnte in den Grenzen von 1 bis 8 cm eingestellt werden, die Frequenz war stufenlos regulierbar. In Bild 12 sind die Abweichungen der Drehzahlen von der Grundeichung (ohne Schwingung) in Funktion der Turbulenzintensität für achsiale und radiale Schwingungen für den Ott-Schräkantflügel dargestellt. Die Abweichungen der Drehzahlen bei achsialen Schwingungen

sind bei allen Flügeln positiv. Bei gleicher Turbulenzintensität bewirken die höheren Frequenzen mit kleineren Amplituden grössere Drehzahlabweichungen. Die Abweichungen der leichten Schaufeln sind kleiner als diejenigen der schweren. Das ging besonders deutlich aus einem Vergleich von zwei Schräkantflügeln hervor. Die beiden Schaufeln hatten die gleiche Form, waren aber aus verschiedenen Materialien hergestellt: aus Blei und Araldit.

Die Abweichungen bei radialen Schwingungen sind bei den meisten Flügeln negativ. Eine Ausnahme bilden die Komponentenflügel, die praktisch keine oder nur geringe Abweichungen aufwiesen. Im allgemeinen sind alle Flügeltypen bei radialen Schwingungen nur von der Turbulenzintensität abhängig, so dass Punkte verschiedener Frequenzen und Amplituden auf eine einzige Kurve fallen. Eine Abhängigkeit vom spezifischen Gewicht der Schaufeln konnte hier nicht festgestellt werden.

Angenommen, die Turbulenz in der Natur sei homogen, das heisst, die zur Hauptfliessrichtung überlagerten Bewegungen der Wasserteilchen seien auf alle Richtungen gleich verteilt, so müssen die erhaltenen Abweichungen der Flügeldrehzahlen, welche durch die radialen und achsialen Komponenten verursacht werden, superponiert werden. Dem Einfluss der radialen Komponenten muss wegen der beiden möglichen Hauptrichtungen, vertikal und horizontal, gegenüber demjenigen der achsialen Komponente

Bild 8

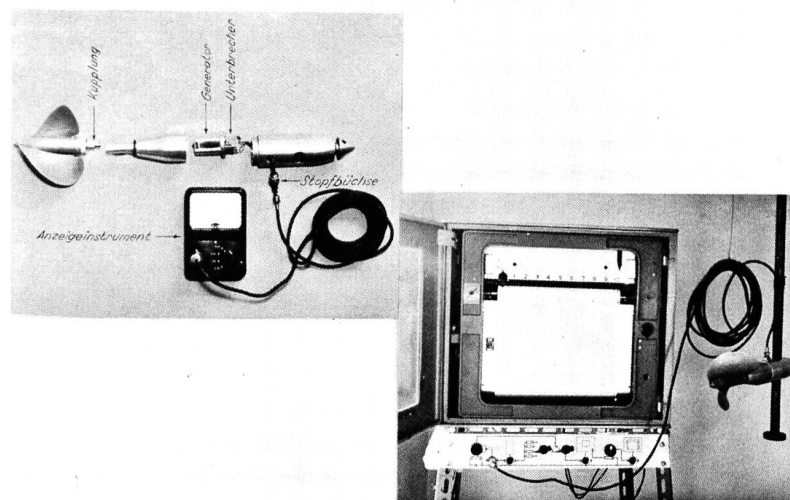
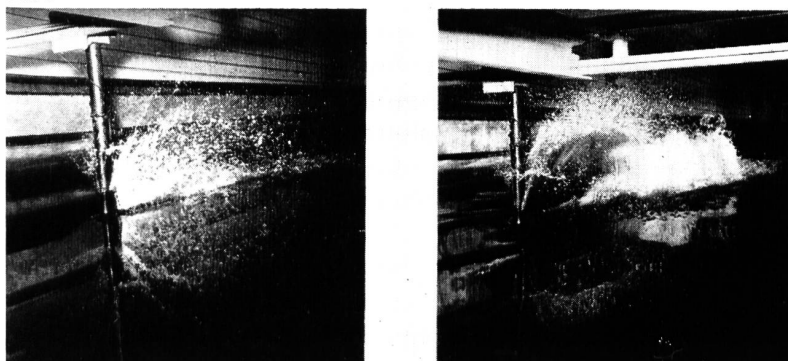


Bild 9

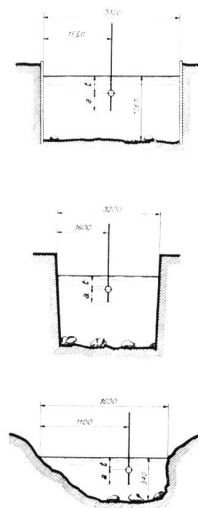
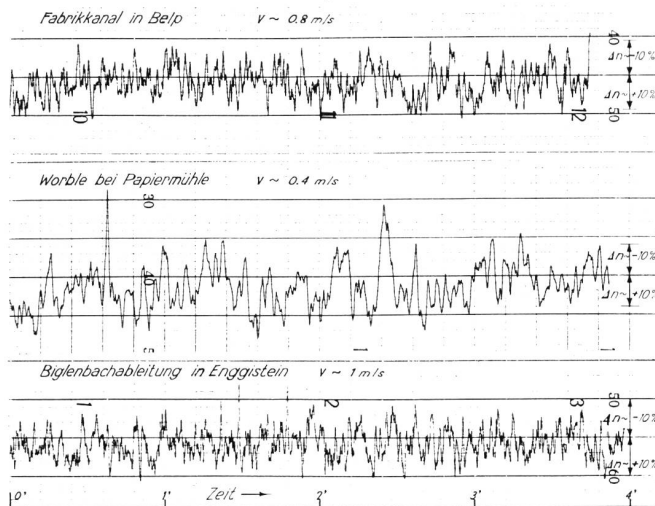
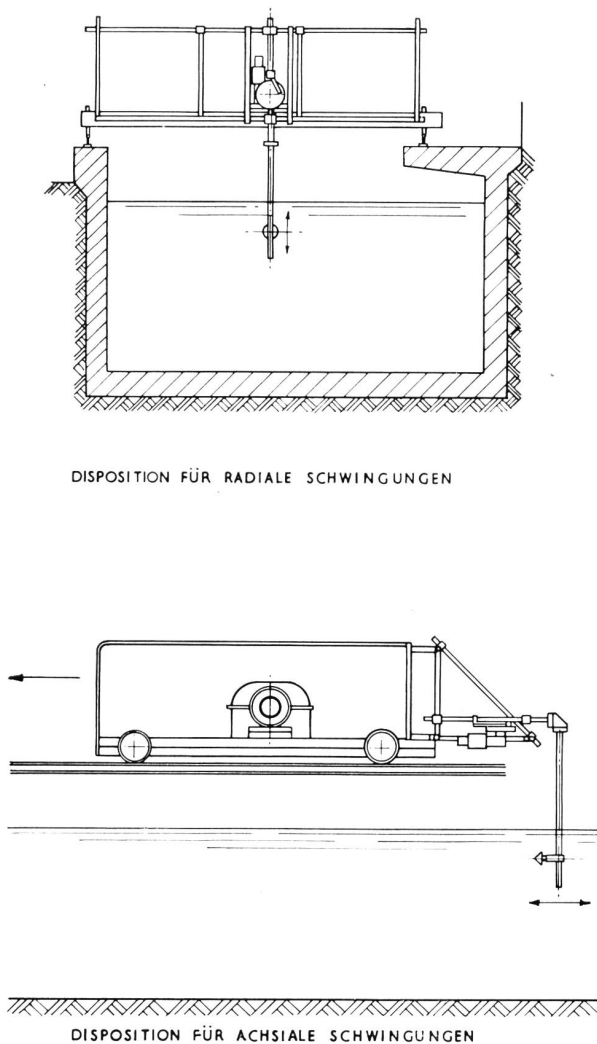


Bild 10
Aufzeichnungen des
Dynamoflügels

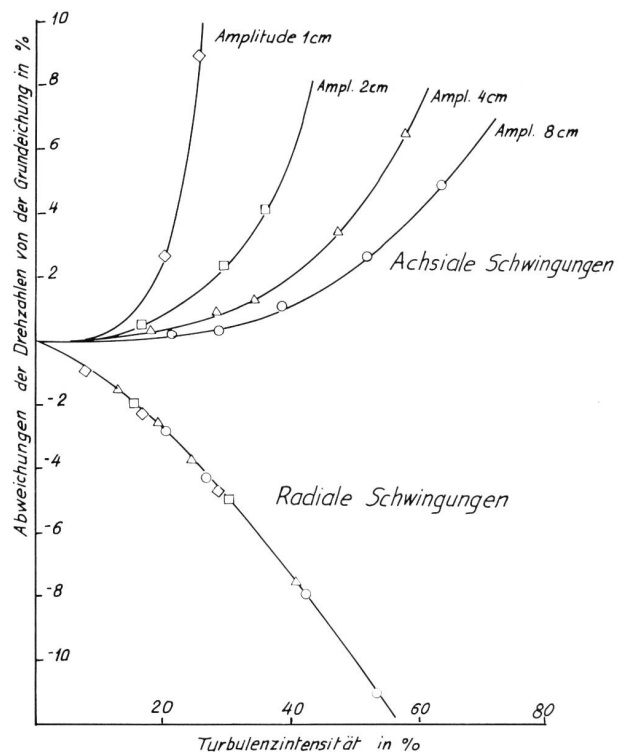
Bild 11



das doppelte Gewicht zugemessen werden, so dass von der radialen Komponente $2/3$ und von der achsialen nur $1/3$ superponiert werden muss. Auf Bild 13 sind die Abweichungen aller untersuchten Flügel in Funktion der Turbulenzintensität nach den oben erwähnten Gesichtspunkten dargestellt.

Die Differenzen, die bei diesen Versuchen auftreten, sind beträchtlich. Man muss dabei aber bedenken, dass die Schwingungen absichtlich übertrieben wurden, um die Tendenzen klar erkennen zu können. Die in der Natur auftretende Turbulenzintensität dürfte in normalen Fällen 10 Prozent kaum überschreiten, so dass die Abweichungen in relativ engen Grenzen bleiben.

Bild 12



Die hier kurz gestreiften Probleme, die beim Eichen auftreten können, sind bei weitem nicht vollständig aufgezählt. Da von der industriellen Seite her für die Turbinen- und Pumpenabnahme immer genauere Messungen verlangt werden, müssen auch die Flügeleichen stets verfeinert werden, was immer wieder neue Probleme aufwirft, so dass die Versuche nie abreißen werden.

Trotz den vielen Problemen wird die Flügelmessung bei Vergleichen mit andern Durchflussmessmethoden immer wieder als Basis benützt. Das Vertrauen in die Flügelmessungen ist sicher gerechtfertigt, beweisen doch gerade diese Vergleichsversuche, wie genau mit diesen Instrumenten gemessen werden kann.

In den 75 Jahren seit Bestehen der ersten Eichanlage in Papiermühle wurden über 15 000 Eichungen durchgeführt. Der Jahresdurchschnitt der letzten 20 Jahre liegt bei etwas über 400 Eichungen, wobei im Jahre 1949 als Spitzenwert annähernd die doppelte Anzahl erreicht wurde. Auf unser Amt entfallen ca. 60 Prozent. Die restlichen 40 Prozent verteilen sich auf Kunden aus der Schweiz und auf Auftraggeber aus allen fünf Kontinenten.

Adresse des Verfassers:
M. Fischer, Sektionschef im Eidg. Amt
für Wasserwirtschaft, Bollwerk 27, 3011 Bern

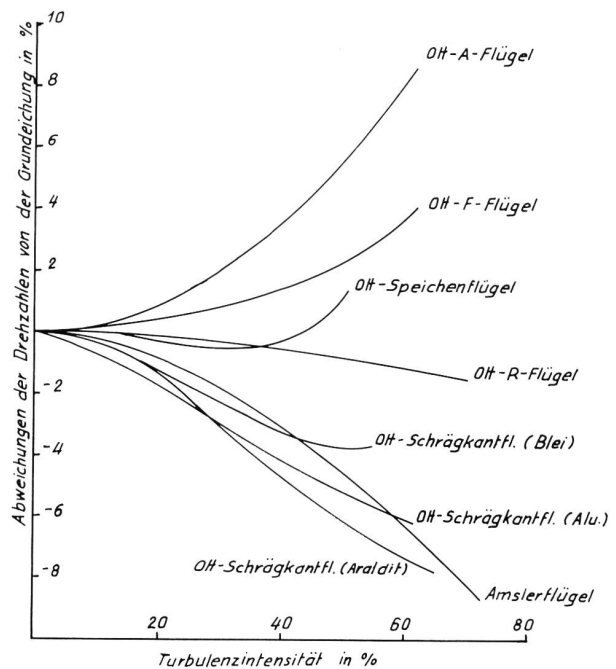


Bild 13

DIE KÜHLUNG VON KERNKRAFTWERKEN MIT FLUSSWASSER

Untersuchungen der VAW über die Strömungsverhältnisse bei der Fassung und der Rückgabe¹⁾

Daniel Vischer

DK 628.3 : 621.039 : 621.311

Der ständig wachsende Bedarf an elektrischer Energie ruft zwangsläufig nach einer Bereitstellung neuer Kraftwerke. Diese Bereitstellung konnte in der Schweiz bisher durch den systematischen Ausbau der Wasserkraftwerke erfolgen. Da diese Möglichkeit jedoch heute nahezu ausgeschöpft ist, müssen nun andere Energiequellen herangezogen werden. Hierfür kommt praktisch nur die Nutzung von Bodenschätzen in thermischen Kraftwerken in Frage.

Bekanntlich wird bei den konventionellen Dampfkraftwerken der Wärmeinhalt von fossilen Brennstoffen (Kohle und Mineralöl) zur Erzeugung von Dampf verwendet, der die Dampfturbinen und die mit ihnen gekuppelten Generatoren antreibt. Dabei werden aber nur ungefähr 35 bis 40 % des Wärmeinhaltes in elektrische Energie umgewandelt, während die restlichen 60 bis 65 % als Abwärme anfallen. Davon gehen ungefähr 6 bis 10 % als Rauchgasabwärme direkt in die Atmosphäre, der verbleibende Rest muss abgeführt werden. Die ebenfalls als konventionell ansprechbaren Gasturbinenkraftwerke, bei denen die in einer Brennkammer erhitzten Gase die Turbinen antreiben, weisen noch geringere Anlagewirkungsgrade, nämlich etwa 20 bis 25 % auf.

Die erst in den letzten 20 Jahren entwickelten Kernkraftwerke sind ebenfalls Dampfkraftwerke. Sie erzeugen den Dampf jedoch mittels der Wärme, die bei der im Reaktor gesteuerten Kernspaltung (Spaltung von Uran) frei wird. Die Umwandlung der Wärmemenge in elektrische Energie gelingt dabei zu 30 bis 35 %, so dass die Abwärme mit entsprechend 65 bis 70 % leicht grösser ist

als bei den konventionellen thermischen Kraftwerken. Ueberdies entweicht bei den Kernkraftwerken keine Abwärme durch Rauchgase in die Atmosphäre.

Trotz des niedrigeren Anlagewirkungsgrades sind die Kernkraftwerke bei der Erzeugung von Grundlastenergie heute wirtschaftlich konkurrenzfähig. Es ist deshalb verständlich, wenn bei der Gegenüberstellung mit Projekten von konventionellen Kraftwerken die an Bedeutung zunehmenden Umweltprobleme ausschlaggebend sind. Jedenfalls haben diese in der Schweiz die Waage offensichtlich zu Gunsten der Kernkraftwerke gesenkt, weil es scheint, dass die Gefahr einer radioaktiven Verseuchung durch die Kernkraftwerke leichter zu bannen ist, als diejenige einer Luftverpestung durch die konventionellen Kraftwerke, während die Schwierigkeiten bei der Abführung der Abwärme bei beiden Kraftwerktypen etwa die gleichen sind.

Aus diesen Erwägungen heraus wird nun in der Schweiz die Verwirklichung von Kernkraftwerken stark gefördert. So konnten die Nordostschweizerischen Kraftwerke bereits im Jahre 1969 als erste Anlage das Kernkraftwerk Beznau I in Betrieb nehmen, und sie planen für 1972 die Fertigstellung der Zwillingsanlage Beznau II. Vorher, das heisst 1971 (also in diesem Jahr), soll das von den Bernischen Kraftwerken gebaute Kraftwerk Mühleberg seine Produktion aufnehmen. Und die auch von anderen Energieversorgungsgruppen verfolgten Projekte für die Kernkraftwerke Kaiseraugst und Leibstadt sind bereits fast bis zur Ausführungsreife gediehen. Es ist ferner bekannt, dass noch einige weitere Projekte bearbeitet werden, wie Gösgen, Graben, Rheinklingen, Rüti, Verbois usw.

¹⁾ Einführungsvorlesung an der ETH Zürich vom 11. Februar 1971.