

**Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

**Untersuchungen über den Energieverlust des Wassers in  
Turbinenkanälen**

**Oesterlin, Hermann**

**Berlin, 1903**

1. Kapitel. Beschreibung der Apparate und der Versuchsanordnung

[urn:nbn:de:bsz:31-274039](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274039)

## 1. Kapitel.

### Beschreibung der Apparate und der Versuchsanordnung

Die Gesamtenergie eines Wasserteilchens an jeder beliebigen Stelle des Kanales setzt sich zusammen aus seiner potentiellen Energie entsprechend seiner geodätischen Höhe  $z$ , aus einem zweiten Energie teil, entsprechend der an der betreffenden Stelle vorhandenen Druckhöhe  $h$  und aus seiner kinetischen Energie entsprechend der Geschwindigkeitshöhe  $\frac{c^2}{2g}$ . Von diesen Werten kann bei dem Versuche

direkt nur die geodätische Höhe  $z$  und die Druckhöhe  $h$  genau bestimmt werden. Die Größe der Geschwindigkeit an einer beliebigen Stelle des Kanales durch Messung festzustellen ist bei sehr schnell fließendem Wasser sehr schwierig; nur an dem Kanal I mit 5 mm Breite konnte im Einflußquerschnitt, in dem die Geschwindigkeit des Wassers klein ist, Messungen mit einem feinen eingeführten Pitot-Röhrchen, im Ausflußquerschnitt Messungen der Ausflußparabeln verwandt werden. Versuche, die Richtung der Geschwindigkeiten durch Färben von Wasserfäden aufzufinden, mißglückten. Auch bei Einleiten alkalischer Farbstoffe mittelst eines feinen Kapillarrohres in das durch den Kanal fließende angesäuerte Wasser, trat ein Zerfließen der Farbe ein.<sup>1)</sup>

Möglich blieb daher nur die indirekte Ableitung der Geschwindigkeiten aus den der Messung leicht zugänglichen Druckhöhen, welche im nächsten Kapitel behandelt wird.

Die Versuchskanäle hatten sämtlich eine einfach gekrümmte Mittellinie, welche beim Versuch stets horizontal gelegt wurde. Die in dieser Lage senkrechten Kanalbreiten  $b$  waren im Vergleich zur Druckhöhe bei allen Versuchen so klein, daß es zulässig erschien, die Verschiedenheit der Geschwindigkeit in den Punkten senkrechter Linien zu vernachlässigen.

<sup>1)</sup> Experimente von Hele-Shaw, s. Engineering. Vol. LXVII. No. 1723. Jahrg. 1899.

Da die Wasserteilchen auf konstanter mittlerer Höhe verbleiben, so ist bei dieser Versuchsanordnung auch eine Bestimmung der geodätischen Höhe  $z$  nicht nötig.

Die mittlere Geschwindigkeit in einem Kanalquerschnitt wurde durch Messung der gesamten durch den Kanal gehenden Wassermenge erhalten, und zwar wurde entweder das in einer bestimmten Zeit ausfließende Wasser abgefangen und gewogen, oder es wurden Wassermessungen mittelst Danaide,<sup>1)</sup> oder auch mittelst Überfallwehr vorgenommen. In den Tabellen der Versuchswerte ist die Art der Wassermessung angegeben.

Die Bestimmung der Druckhöhen  $h$  als Wassersäulen in  $m$  geschah, wie schon angedeutet, mittelst Piezometer in der Weise, daß die Druckhöhen bei allen Kanälen bezogen auf die die Breiten  $b$  halbierende Mittelebene  $A$  abgelesen wurden. Die Apparate sind zu diesem Zweck folgendermaßen ausgestattet.

Der Kanal I (Tafel I) besteht aus 2 Teilen, aus Boden und Seitenwänden in einem Stück und aus dem Deckel. Das Material beider Teile ist Messing. Der Kanal hat nur eine Breite  $b$  von 5 mm<sup>2)</sup> und ist dadurch, daß die Schaufelform aus einfachen Kreisbögen besteht, besonders zu den ersten theoretischen Betrachtungen geeignet.

An dem Apparat sind zur Messung der Druckhöhen Glasröhrchen angebracht, die mittelst Hähnen mit feinen Löchern in dem Deckel des Kanales verbunden, oder mit einem Schlauch an kleine in den Deckel eingelötete Messingröhrchen von 2 mm l. W. angeschlossen werden. Diese Röhrchen dichten nach Entfernung des Schlauches gut eingepaßte Stöpsel mit Messingstiftchen so ab, daß die innere Wand des Kanales vollständig glatt bleibt. Da sich die letzte, nach Angaben des Herrn Professor Brauer ausgeführte Anordnung sehr gut bewährte, wurde sie bei allen weiteren Apparaten verwandt.

Bei dem Kanal I ermöglichten die Röhrchen auch das Einführen eines weiteren gut eingepaßten Pitot-Röhrchens, das durch seitliche Anbringung eines kleinen Loches und durch Druckmessungen in verschiedener Richtung einen Einblick in die Geschwindigkeitsverhältnisse in der Mitte der Breite des Kanales ge-

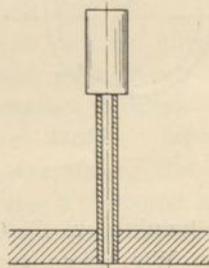


Fig. 3.

<sup>1)</sup> Brauer, Ein neues Verfahren der Wassermessung. Zeitschr. d. V. d. Ing. 1892. S. 1492.

<sup>2)</sup> Die Tafeln zeigen nur die Grundrisse der Kanäle, da die Breiten  $b$  konstant bleiben. Nur bei Kanal VII ist die Breite veränderlich und deshalb der Aufriß angegeben.

stattet. Ferner wurden hier auch die Ausflußparabeln auf der Innen- und Außenseite des ausfließenden Strahles aufgenommen (Tafel II).

Der Wassereinfluß erfolgt aus einem an dem Deckel angelöteten Blechgefäß, dessen Boden mit dem Kanal aus einem Stück besteht.

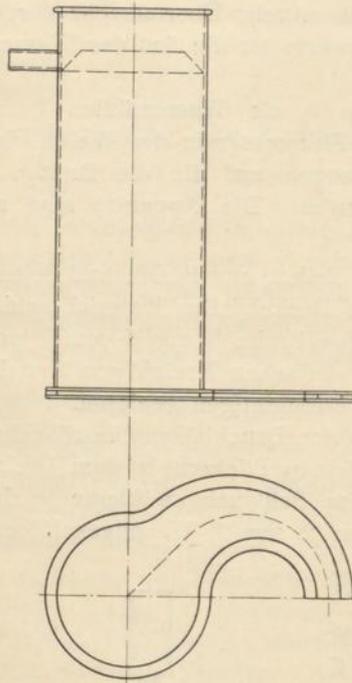


Fig. 4.

Vorrichtungen zur Zerteilung des einfließenden Wassers und ein Überlauf sorgen für ruhige Einstellung des Wasserspiegels in dem Gefäße. Da aber das Gefälle nicht verändert werden konnte, so war mit diesem Apparat nur ein Versuch möglich (Versuch 1); anders bei dem Kanal II mit dem 3 Versuche (Versuch No. 2, 3, 4) angestellt wurden.

Dieser Kanal II (Tafel III u. IV) hat bei einer konstanten Breite von 50 mm bedeutend größere Abmessungen. Er ist aus Gußeisen sauber hergestellt, an den Innenwänden unbearbeitet und mit einem 5 mm starken Messingblech gedeckt, in welchem über 100 obiger Messingröhrchen angebracht sind. Die Schaufelform wurde durch Konstruktion nach einem Geschwindigkeitsriß<sup>1)</sup> in der Weise erhalten, daß bei Annahme der Geschwindigkeitskurve als eine Gerade ein über dieser Geraden als Durchmesser geschlagener Halbkreis in 10 gleiche Teile geteilt und durch Projektion

der Teilpunkte auf die Geschwindigkeitskurve deren Zeitteilung erlangt wurde. Wir haben somit eine sich fortwährend ändernde Krümmung des Kanales bei anfangs sich verkleinerndem, gegen Ausfluß sich vergrößerndem Krümmungsradius.

Zunächst wurde dieser Kanal an ein hochgestelltes Reservoir mit festem Überlauf angeschlossen (Versuch No. 2, Tafel III). Das Gesamtgefälle betrug 3,672 m. Dabei mußte an dem Ende des Kanales ein Hahn zum Drosseln angebracht werden, da die bei dem hohen Gefälle nötige Wassermenge für freien Ausfluß nicht zur Verfügung stand, und eine Drosselung mit einem in der Leitung befindlichen Schieber keine

<sup>1)</sup> Brauer, Turbinentheorie. Kap. III.

sichere Druckhöhenmessung zuließ. Durch die Anwendung des Hahnes aber wurden die Beobachtung störende Stauungen am Ende des Kanales hervorgebracht, und ich beschloß daher, um diesen Übelstand zu vermeiden und um der Praxis entsprechende Turbinenkanäle untersuchen zu können, eine neue Versuchsanordnung vorzunehmen.

Es wurde ein neues ca. 3,5 cbm Wasser fassendes Reservoir mit verstellbarem Überlauf (Gefälle 1,82 bis 2,1 m) konstruiert und ausgeführt, das mehrere Wände zur Beruhigung des durch ein sich konisch erweiterndes Rohr (200/500 mm l. W.) einfließenden Wassers enthielt. Dadurch wurde erreicht, daß bei Entnahme von über 40 l/Sek. ein vollständig ruhiger Wasserspiegel sich einstellte. Das Wasser wurde von einer Zentrifugalpumpe aus einer Zisterne gehoben, in welche es nach Passieren des Kanales und eines zur Wassermessung bestimmten Überfallwehres wieder zurückfloß. Das Wasser des Überlaufes wurde durch eine besondere Rohrleitung direkt in die Zisterne zurückgeführt. Die Pumpe arbeitete also immer mit derselben Wassermenge. Sie wurde mittelst eines an eine Akkumulatorenbatterie angeschlossenen Elektromotors betrieben. Mit dieser ganzen Anlage konnte ein ruhiger Beharrungszustand während der Versuche herbeigeführt werden.

Zunächst wurde der Kanal II angeschlossen. Tabelle 3 u. 4 und Tafel IV zeigen die Resultate der Versuche bei verschiedenem Gefälle.

Der ruhige Übergang des Wassers von der von dem Reservoir herabführenden Rohrleitung von 200 mm l. W. zu dem Kanal wurde durch ein besonderes gußeisernes Rohr-Übergangsstück bewirkt.

Dann folgte mit der gleichen Anordnung die Untersuchung der 5 weiteren Kanäle, von denen 4 in gleicher Weise hergestellt, sich nur durch die Schaufelform unterschieden (Tafel V). Bei allen 4 Kanälen waren Einfluß- und Ausflußquerschnitt gleich, ebenso wie Einfluß- und Ausflußwinkel. Sie waren je aus 4 Teilen zusammengesetzt. Zwei Eisenbleche, als Schaufeln, wurden

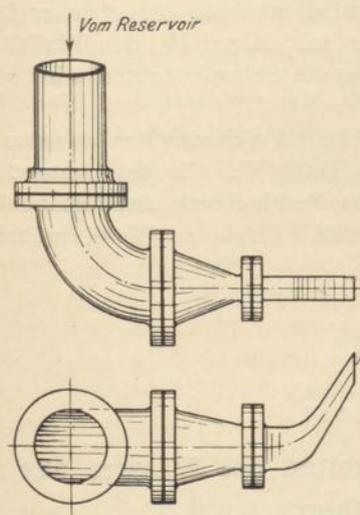


Fig. 5.

seitlich an zwei Gußplatten, als Rahmen, angeschraubt, die genau nach Schablonen hergestellt an den Seiten die Schaufelform zeigten.

An jedem der 4 Kanäle wurden dann noch 2 gleiche, geradlinige gußeiserne Verlängerungsstücke zwischen den vorstehenden Blechen befestigt, und zwar immer dieselben. Der Ausflußquerschnitt und die Breite  $b$  bleibt bei allen fast konstant ( $b = 160$  mm). Auch hier wurde ein ruhiger Einfluß des Wassers durch ein Übergangsstück und durch geradlinige Verlängerung der Kanäle vor dem Einflußquerschnitt erhalten.

Die Druckhöhenmessungen waren mittelst in die Gußplatten eingesetzter Messingröhrchen zuerst im Einflußquerschnitt und dann in einem Querschnitt des Verlängerungsstückes vorzunehmen. Der Verlust, der zwischen diesen beiden Querschnitten durch Reibung eintrat, konnte also nach der Messung der Wassermenge am Überfall aus den Versuchswerten (Tabelle 5, 6, 7, 8) (Tafel V) berechnet werden. In den Ausflußquerschnitten selbst waren keine sicheren Messungen vorzunehmen, da die Bleche am Ende nicht mehr so genau senkrecht zwischen den Gußplatten durch die Schrauben festgehalten werden konnten, wie längs des Kanales. Eine sehr genaue Querschnittsbestimmung ist aber bei der hohen Geschwindigkeit besonders am Ende der Kanäle unbedingt nötig.

Zu den aus Tafel V ersichtlichen Schaufelformen ist noch zu erwähnen, daß diese bei Kanal III mit einem Geschwindigkeitsriß versehen, bei Kanal IV und V mittelst Kreisbögen und Tangenten konstruiert sind.

Kanal VI ist nicht gekrümmt und dient dazu bei gleicher Länge des Wasserfadens in der Kanalmitte mit Kanal IV den Einfluß der Krümmung zu zeigen. Weiteres über die Schaufelformen wird später mitgeteilt.

Der letzte, der Kanal VII unterscheidet sich von den anderen vor allem durch seine variable Breite (Tafel V). Er ist mittelst Geschwindigkeitsriß konstruiert und aus Messingblech zusammengelötet. Die Druckhöhen wurden im Querschnitt 1. u. 4. an Messingröhrchen gemessen (Tabelle 9).

## 2. Kapitel.

### Bestimmung der Geschwindigkeiten des Wassers aus den Druckhöhen.

Zur Lösung dieser Aufgabe sollen zunächst die hier in Betracht kommenden Gleichungen der Hydrodynamik aufgestellt werden.

In Turbinenkanälen, in welchen das Wasser eine gekrümmte Bahn beschreiben muß, steigt bekanntlich (Tafel 1. 3. 4.) der Druck von der