

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 81/82 (1923)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Hydrodynamische Versuche und Studien im Maschinenlaboratorium der E.T.H.  
**Autor:** Prášil, Franz  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-39029>

### **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:** 15.03.2025

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

## Hydrodynamische Versuche und Studien im Maschinenlaboratorium der E. T. H.<sup>1)</sup>

Von Prof. Dr. F. Prüstl, E. T. H., Zürich.

Das Gebiet der Hydrodynamik, soweit es derzeit für den Gebrauch in der Technik in Anwendung kommen kann, lässt sich folgendermassen einteilen: 1. Mittelwert-Hydrodynamik, 2. Analytische Hydrodynamik, 3. Experimentelle Hydrodynamik, 4. Statistische Hydrodynamik.

In der Mittelwert-Hydrodynamik werden die bei Strömungsvorgängen auftretenden Geschwindigkeiten und Pressungsverteilungen örtlich nur eindimensional untersucht, d. h. für Geschwindigkeit und Pressung nur die einem Durchflussquerschnitt zukommenden Mittelwerte eingeführt, sodass in der Funktionsdarstellung dieser Grössen als örtliche Variable nur der Abstand des Querschnittes von einem Anfangspunkt, gemessen in der Kanalaxe, vorkommt; neben dieser Ortsveränderlichen tritt bei zeitlich veränderlicher Bewegung noch die Zeit als Variable hinzu; auf die Geschwindigkeits- und Pressungsverteilung innerhalb eines Durchflussquerschnittes wird hierbei nicht oder nur unter Verwendung von Korrekptions-Koeffizienten Rücksicht genommen. Die Mittelwert-Hydrodynamik umfasst also die

heutigen Tag die hervorragendsten Mathematiker und Physiker gearbeitet haben; es kommen hierbei die scharfsinnigsten Methoden der Analysis in Anwendung, die jedoch nicht in dem Masse verständlich und handlich sind, dass sie dem in seinen Arbeiten an kurze Termine gebundenen praktisch tätigen Ingenieur ein jederzeit bereites Hilfsmittel sein können.

Es ist daher wohl verständlich, dass man bemüht ist, Mittel zu ersinnen, um die Strömungsvorgänge auf experimentellem Wege, namentlich auch in bildlicher, möglichst naturgetreuer Darstellung veranschaulichen zu können; die Methoden hierfür sind aber erst in Entwicklung begriffen; wenn sie einmal ausgebildet und auch für die technischen Bedürfnisse brauchbar sein werden, wird man wohl von einer „experimentellen Hydrodynamik“ sprechen können.

Die Technik hat aber auch ein Interesse an Darstellungs-Methoden, durch die die Ergebnisse der Rechnung und des Experimentes derart veranschaulicht werden, dass aus denselben praktische Schlussfolgerungen gezogen werden können. Es handelt sich also gewissermassen um eine methodische Statistik, sodass man auch von einer „statistischen Hydrodynamik“ wird sprechen können.

Im Rahmen dieser Einteilung erfolgte die Besprechung einiger einschlägiger Probleme und die Vorführung entsprechender Experimente.

### 1. Mittelwert-Hydrodynamik.

Die ältere Turbinentheorie benützt durchaus Mittelwerte für die Strömungs-Geschwindigkeiten und Pressungen; soweit die Strömung in Leit- und Laufrad-Kanälen in Betracht kommen, hat man durch genügend klein dimensionierte lichte Durchflussflächen und durch Vermeidung starker Krümmungen für die Berechtigung der Mittelwert-Rechnung gesorgt und diese Mittelwerte in die formellen Grundlagen, d. h. die Formeln der *Bernoulli'schen* und der *Euler'schen* Theorien eingesetzt. Allerdings sind schon früh diese einfacheren Betrachtungen erweitert worden; es sei diesbezüglich auf die im Jahre 1877 von *v. Reiche* entwickelte Theorie der ausgeglichenen Axialturbine, sowie auf die, die Ablenkung in der Girardturbine korrigierende Schaufelungsmethode von *Meissner* hingewiesen. In der Theorie von *Reiche* wird dem Einfluss der vom Radius abhängigen und mit diesem veränderlichen Umfangsgeschwindigkeit auf die

Strömung durch das Rad Rechnung getragen; die Schaufelung von *Meissner* korrigiert die Strömungsform; in beiden Fällen werden theoretisch die Trägheitskräfte berücksichtigt. Die bei Bestimmung der Schaufelung von Francis-turbinen verwendete Aufteilung in Teilturbinen ist ebenfalls eine Abweichung von der einfachen Mittelwert-Methode.

Weitere interessante Beispiele der Mittelwert-Hydrodynamik sind die Wasserschloss-Probleme und die allgemeine Theorie von *Allievi* der Strömungen von Wasser in Röhren und Leitungen. Auch bei diesen Problemen werden nur Mittelwerte von Geschwindigkeiten und Pressungen in die mathematische Formulierung eingeführt; es sei hierbei auf die vom Vortragenden für das „Forchheimer-Heft“ vom 15. Dezember 1922 der Zeitschrift „Die Wasserkraft“ gelieferte Abhandlung: „Schaulinien örtlich und zeitlich veränderlicher Strömungen“ aufmerksam gemacht.

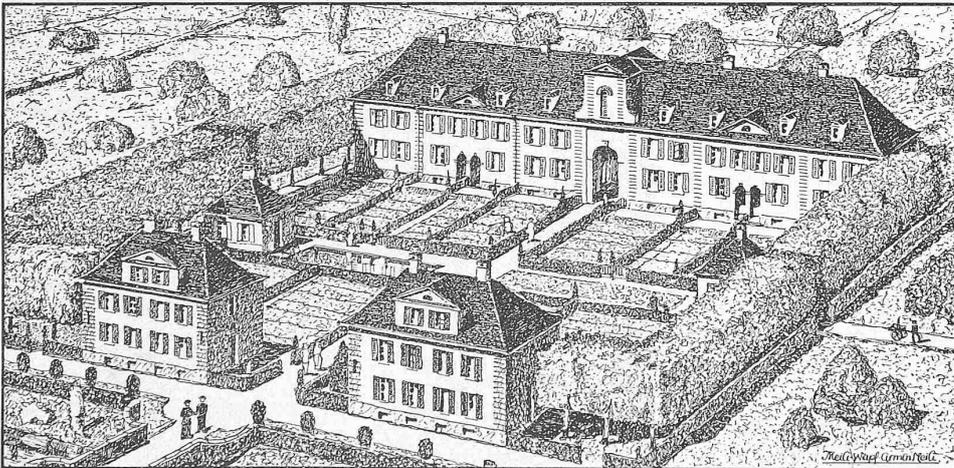
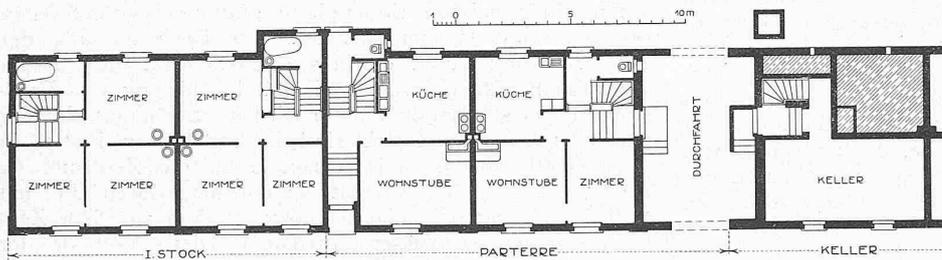


Abb. 13 und 14. Grundrisse 1:300 und Gesamtbild der Angestellten-Häuser Steiner's Söhne in Malzers.

Probleme der Hydraulik und wird bei der Anpassungsfähigkeit, die sie eben durch die Verwendung von Korrekptions-Koeffizienten an die konkreten Erscheinungen besitzt, wohl auch ferner das meist verwendete theoretische Hilfsmittel der Hydrotechnik bilden; sie kann aber naturgemäss niemals Aufschluss über die Verteilung der inneren Bewegungserscheinungen geben. Um einen solchen in mathematischer Fassung zu erhalten, muss die Ortsbestimmung mit mehr als einer Koordinate, also mehrdimensional erfolgen. Auf Grundlage der von *Euler* aufgestellten Fundamentalgleichungen der Hydrodynamik ist die klassische Hydrodynamik entstanden, an deren Ausbau bis auf den

<sup>1)</sup> Autoreferat über die Vorträge und experimentellen Vorführungen am 2., 3. und 4. Oktober 1923 anlässlich des vom S. I. A. veranstalteten Kurses über technische Fragen aus dem Gebiete der Bau-, Maschinen- und Elektro-Ingenieur-Wissenschaften.

### 2. Analytische Hydrodynamik.

Als praktisches Grundproblem kann die Frage nach der örtlichen und zeitlichen Geschwindigkeits- und Pressungs-Verteilung in einem Kanal von gegebener Form und gegebener Bewegung bezeichnet werden. Die direkte analytische Lösung dieses Problems erfordert in den weitaus meisten Fällen einen für die Praxis unbrauchbaren Aufwand schwierigster mathematischer Methoden; hingegen ist es leichter, analytische Ausdrücke für theoretisch mögliche Strömungsformen zu finden und hieraus brauchbare Kanal- oder Körperformen für bestimmte Zwecke abzuleiten. Die so erhaltenen Saugrohrformen, d. h. die hyperbolische Form und die Manschettensform wurden im Vortrag unter Vorweisung entsprechender Zeichnungen, Diagrammen, Formeln und Rechnungstabellen behandelt.

Als weitere Beispiele der Anwendung der analytischen Hydrodynamik wurden die rein zweidimensionalen Theorien von *Kucharski* „Strömungen einer reibungsfreien Flüssigkeit bei Rotation fester Körper“<sup>1)</sup> und von *Bauersfeld* „Die Grundlagen zur Berechnung schnelllaufender Kreisräder“<sup>2)</sup> besprochen; die erste bezieht sich auf Zellenräder, die zweite auf Flügelräder; schliesslich wurden als Uebergang zu den Beispielen der experimentellen Hydrodynamik Ergebnisse der Promotionsarbeit von Dipl. Ingenieur E. T. H. *Oertli* „Untersuchung der Wasserströmung durch ein rotierendes Kreisrad“<sup>3)</sup> unter Vorweisung einschlägiger Abbildungen besprochen und einzelne zweidimensionale Strömungsformen auf Grundlage der Theorie der konformen Abbildungen geometrisch gezeichnet oder in schon fertigen Bildern vorgewiesen, wie z. B. die Störung einer einfachen Strömung durch eine Quelle, die Strömung von Quelle zu Senke, die einfache Strömung um einen Kreiszyylinder, die mit Zirkulation verbundene einfache Strömung um einen Kreiszyylinder u. a. m.

### 3. Experimentelle Hydrodynamik.

Die auf reine zweidimensionale Formen umgerechneten Saugrohrströmungen, sowie die eben erwähnten abstrakten Beispiele wurden nun im Experiment vorgeführt, indem unter Anwendung entweder von durch Düsen in die bewegte Flüssigkeit eingeführte Lösung von Kaliumpermanganat oder durch Einstreuen von kleinen Körnern dieses Stoffes kontinuierliche Farbbänder erzeugt wurden, die umso mehr exakte, sich theoretischen Bildern nähernde Strombilder ergeben, je dünner die Stromschicht ist, also je mehr die Strömung den Charakter einer Laminarströmung besitzt. Es wurden weiter auch die Strömungsercheinungen an einem Ueberfall, die Erzeugung von Zirkulation durch Reibung an einem rotierenden Zylinder, die Strömung durch eine Drosselklappe bei verschiedenen Durchflussgeschwindigkeiten und diejenige durch einen Leitapparat vorgeführt.

### 4. Statistische Hydrodynamik.

Zur Erläuterung der unter diesem Namen zusammengefassten Methoden wurden folgende Beispiele vorgeführt:

1. Die Nebeneinanderstellung der in einem bestimmten Querschnitt des Messkanals der hydraulischen Abteilung durch Messung mit fünf verschiedenen hydrometrischen Flügeln bei möglichst unverändert gehaltenem Wasserdurchfluss und durch Isotachen dargestellten Geschwindigkeitsverteilung; diese Nebeneinanderstellung kann die Grundlage bilden für die Beurteilung der Empfindlichkeit und Stabilität der verschiedenen Flügelkonstruktionen.

2. Die Darstellung der Werte der Durchflusswiderstände an der Drosselklappe der Niederdruckturbinen der hydraulischen Abteilung in Abhängigkeit von der Klappenstellung und Durchflussmenge.

3. Die Nebeneinanderstellung der Charakteristiken von ausgeführten Turbinen verschiedener Schnellläufigkeit zur

<sup>1)</sup> Verlag von Oldenbourg, München-Berlin, 1918.

<sup>2)</sup> Z. V. D. I. Jahrgang 1922, Hefte 19 und 21.

<sup>3)</sup> Erschienen im Verlag von Rascher & Cie., Zürich. Ein Auszug dieser bemerkenswerten Arbeit wird im nächsten Band erscheinen. Red.

Kennzeichnung der mit dem Anwachsen der Schnellläufigkeit verbundenen Aenderung des Wirkungsgrades und Wasserverbrauchs im ganzen Arbeitsbereich der Turbine.

\*

In diesen Vorträgen konnten naturgemäss die einschlägigen Theorien nicht entwickelt und mathematisch diskutiert, sondern nur ein Ueberblick über die derzeit in Behandlung stehenden Probleme gegeben, immerhin aber darauf hingewiesen werden, dass noch ein reiches Feld für wissenschaftliche Forschung und für Anpassung der Ergebnisse derselben an die Bedürfnisse der Technik offen steht; in diesem Sinn ist zu hoffen, dass auch dieser Beitrag dem Zwecke des ganzen Kurses entsprochen hat.

### Zeitkurven im Strömungsfeld eines Leitapparates.

Unter den gelegentlich der Vorträge im diesjährigen Hochschulkurs im Maschinenlaboratorium am 4. Oktober vorgeführten Versuchen (vergl. das vorstehend abgedruckte Referat), wurde die Erstellung des Bildes einer Durchflussströmung durch einen Leitapparat mit zwölf Schaufeln nach dem Verfahren von Hele Shaw vorgeführt. Dieses Verfahren ist durch die beistehende Abbildung 1 dargestellt; die Strömung erfolgt von innen nach aussen zwischen einer weissen Bodenplatte und einer geschliffenen Glasplatte mit  $\frac{1}{2}$  mm Abstand. Die Distanzhaltung der Platten erfolgt durch die aus dünnem Kautschuk geschnittenen Schaufelprofile. Durch Einführung von Farbstoff in das strömende Wasser wird die Strömung sichtbar gemacht; zu dem Zweck sind in der untern Platte, in einem Kreis von 8 cm Durchmesser um das Zentrum, 64 Löcher gleichmässig verteilt angeordnet, durch die mit Kaliumpermanganat gefärbtes Wasser dem aus dem Zentrum kommenden Wasser zuströmt.<sup>1)</sup> Diese Methode der

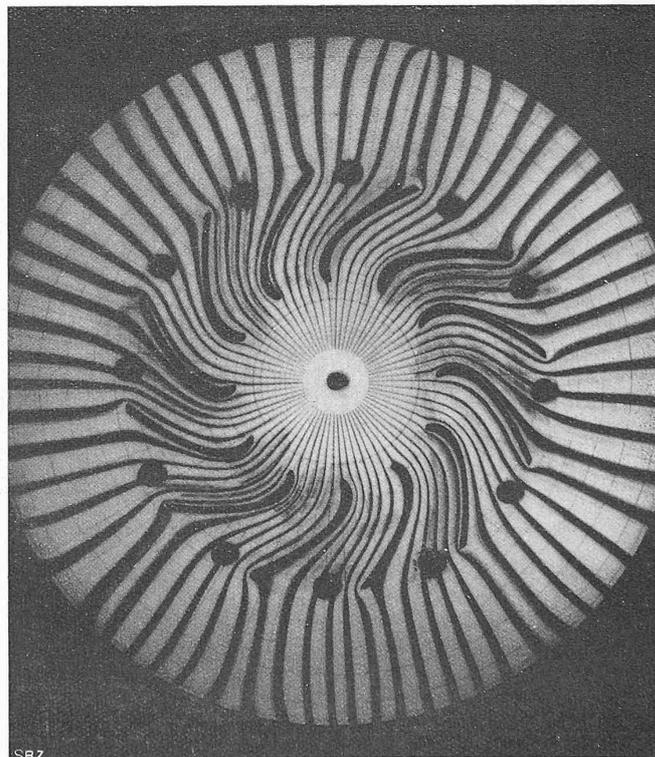


Abbildung 1.

Darstellung solcher Strömungen durch ruhende Kanäle hat bereits Dr. H. Oertli am gleichen Apparat verwendet und in

<sup>1)</sup> Die in den Abbildungen 1 und 2 sichtbaren schwarzen Punkte am äusseren Umfang des Leitapparates sind in der Glasplatte vorhandene Löcher, die für einen andern Versuch benötigt wurden, für die vorliegenden aber wieder zugemacht worden waren; sie sind somit wegzudenken.