Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 111/112 (1938)

Heft: 16

Artikel: Messung von Strömungswiderständen und Sichtbarmachung von Kanalströmungen

Autor: Kropf, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-49931

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

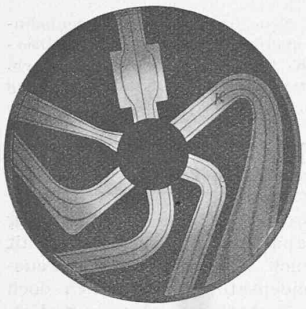
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 16.07.2025

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



Laminarströmungen:
Abb. 3. $d = 1$ mm, V mittel
Farbzufuhr konstant

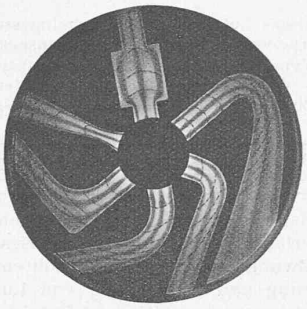


Abb. 4. $d = 1$ mm, V mittel
Farbzufuhr intermittierend

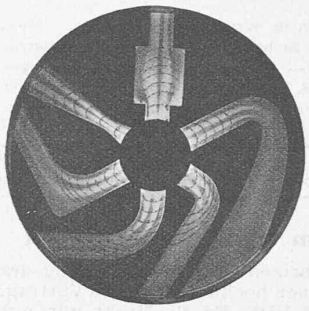


Abb. 5. $d = 1$ mm, V klein
Farbzufuhr intermittierend

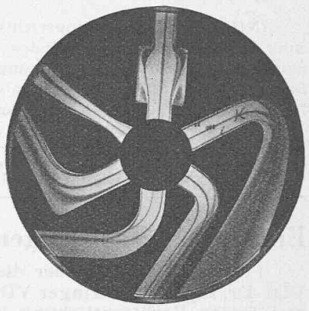


Abb. 6. $d = 5$ mm, V klein
Farbzufuhr konstant

Messung von Strömungswiderständen und Sichtbarmachung von Kanalströmungen

Von W. KROPF, Dipl. Masch.-Ing. E. T. H., Burgdorf

Systematische Erforschung zwecks Verminderung der bei Strömungen auftretenden Widerstände hat es den Firmen, die Turbinen, Pumpen und Gebläse bauen, ermöglicht, mit diesen Maschinen die heute üblichen hohen Nutzeffekte zu erreichen. Die Fortschritte im Flugzeugbau und die strömungstechnischen Verbesserungen im Automobilbau sind das Ergebnis der Erforschung des Wesens der Strömungswiderstände. Ebenso grosse Bedeutung haben diese gleichen Probleme auch für den Wasserbau, den Leitungsbau, für das Installationsgewerbe und für die Lüftungstechnik.

Es ist daher zu einer wichtigen Aufgabe des technischen Unterrichtes geworden, mit möglichst einfachen und anschaulichen Mitteln beim zukünftigen Ingenieur, Techniker und Konstrukteur das Verständnis und Wissen zu fördern in den Fragen: Wie werden Strömungswiderstände verursacht und wie wirken sie sich aus? Einrichtungen, die diesem Zwecke dienen und die für den technischen Hochschul- und Mittelschulunterricht bestimmt sind, sollten auch gestatten, die Vorgänge quantitativ zu erfassen.

Es sind Strömungsmodelle in zweckmässigen Ausführungen auf dem Markt erhältlich, die erlauben, Widerstände nachzuweisen, die durch Einbauten im Parallelstrom verursacht werden. Dagegen fehlen fertige Modelle, die gestatten Widerstände kenntlich zu machen, wie sie bei Kanalströmungen auftreten und durch Kanalkrümmungen oder durch allmähliche und plötzliche Erweiterungen verursacht werden. Solche Modelle sollten womöglich so beschaffen sein, dass der Einfluss verschiedenartiger Kanalformen gleichzeitig gezeigt und in Vergleich gezogen werden kann und dass der Einbau anderer Form-Elemente mit Leichtigkeit durchführbar ist.

Im Folgenden werden drei Objekte beschrieben, die für den erwähnten Zweck vom Verfasser im maschinentechnischen Laboratorium des Technikums Burgdorf entwickelt wurden und die zum Teil die Firma Uetz in Bern herstellt.

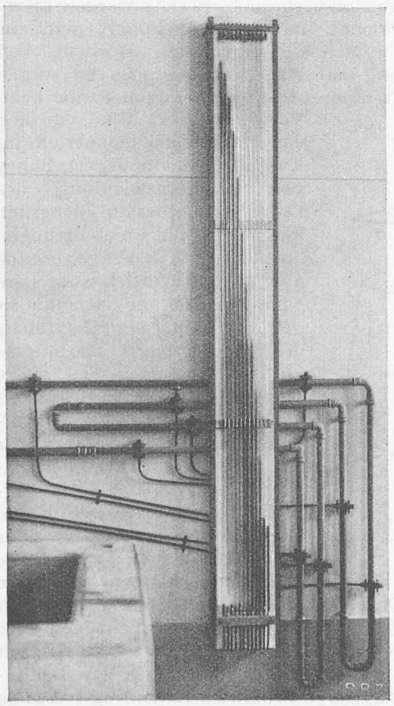


Abb. 1. Rohrschleife zur Messung von Strömungswiderständen

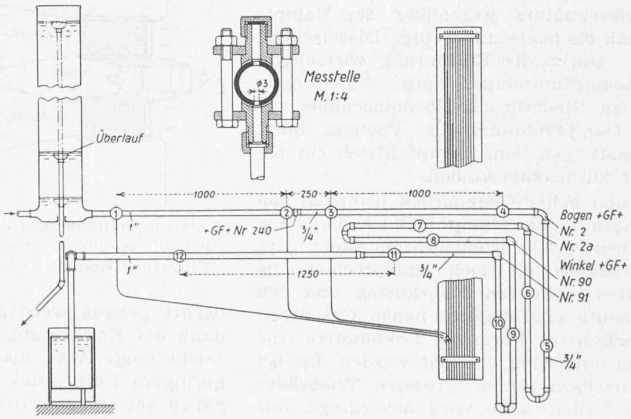


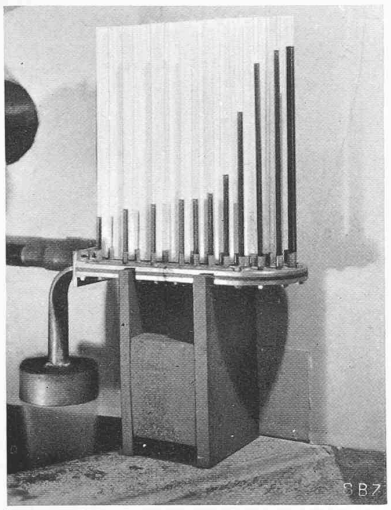
Abb. 2. — 1 : 10

1. Zur quantitativen Ermittlung von Leitungswiderständen verschiedenster Art wurde die in den Abb. 1 und 2 ersichtliche Schleife aus handelsüblichen, galvanisierten Rohren installiert. In diesem Rohrstrang sind jeweils in genügender Entfernung von den Widerstand erzeugenden Elementen (Reduktionen, Bögen und Winkeln) Druckmesstellen 1-12 angeordnet, die sich, abgesehen von den Entfernungen 2-3 und 11-12, über das Rohrmittel gemessen, einschliesslich der Bogenlängen, in je genau 1 m Abstand folgen. Die Messbohrungen sind in der Folge der Strömung einzeln mit Glasrohren verbunden, an denen sich die Differenzdrücke ablesen lassen. Der Wasserzufluss erfolgt aus einem reichlich bemessenen Behälter mit Ueberlauf, der Abfluss in einen Behälter mit unverändertem Wasserspiegel. Die Wassermessung geschieht durch Auffangen in einem geeichten Messkanal.

Der bei verschiedenen Durchflussmengen gemessene Totalwiderstand 1-12 und die Streckenwiderstände 1-2, 3-4, 4-5 usw., sowie die durch Subtraktion des Reibungswiderstandes 3-4 von den Ablesungen 4-5, 6-7, 8-9 und 10-11 erhaltenen zusätzlichen Krümmerwiderstände Nr. 2, Nr. 2a, Nr. 90 und Nr. 91 wurden als Funktion der Durchflussmengen in Rastern mit logarithmischer Teilung aufgetragen. Die Widerstände der Reduktion und der Erweiterung Nr. 240 ($^3/_4$"-1") wurden mit Hilfe des Energiegesetzes aus den Ablesungen 2-3 bzw. 11-12 unter Berücksichtigung der Rohrreibungswiderstände 1-2 und 3-4 berechnet. Alle Messungen zeigten überzeugend die allgemeine Gültigkeit des Potenzgesetzes. Der aus der Neigung der Widerstandslinien bestimmbare Geschwindigkeits-Exponent hat für die Gesamtschleife 1-12 den Wert 1,78. Auch für die Einzelwiderstände weicht er wenig von diesem Werte ab; einzig für den Winkel Nr. 91 ergibt sich der Exponent 2,04.

Die zusätzlichen Krümmerwiderstände Nr. 2, 2a, 90 und 91 nehmen mit abnehmendem Krümmungsradius zu. Je schroffer die Ablenkung erfolgt, umso ausgesprochener werden die Ablenkungswiderstände durch den Geschwindigkeitsausgleich *nach* dem Krümmer verursacht. Die Krümmerwiderstände wirken sich nicht im Krümmer selbst aus, sondern zur Hauptsache beim Uebergang in das anschliessende gerade Rohrstück. Diese Tatsache tritt deutlich in Erscheinung, wenn man durch Vergleich der Messungen 4-5 mit 5-6, 6-7 mit 7-8 und 8-9 mit 9-10 feststellt, dass zwei im gleichen Drehsinn hintereinander geschaltete 90°-Krümmer den Verlust eines 90°-Krümmers nicht verdoppeln, denn der Ausgleich der Geschwindigkeiten, der in der Hauptsache die Verluste erzeugt, hat in beiden Fällen nur einmal zu erfolgen.

2. Um die Erkenntnisse, die solche Widerstandsmessungen vermitteln, zu vertiefen, hat der Verfasser einen *Strömungsapparat* gebaut. Zwei Glasscheiben von 450 mm äusserem Durchmesser mit undurchsichtigen Zwischenlagen gestatten die Herstellung von sechs durchleuchteten, im Querschnitt rechteckigen Kanalformen verschiedenster Art (Abb. 3 bis 6). Die Dicke d der



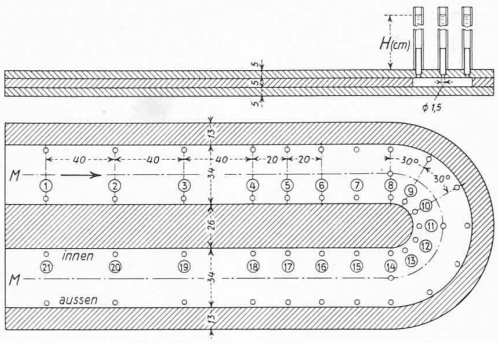


Abb. 7. Modell zur Druckbestimmung in einem Krümmer. — Masstab 1 : 4

Abb. 8 (links). Krümmer-Modell

Das Wasser ist nur in der äussern Glasrohrreihe gefärbt

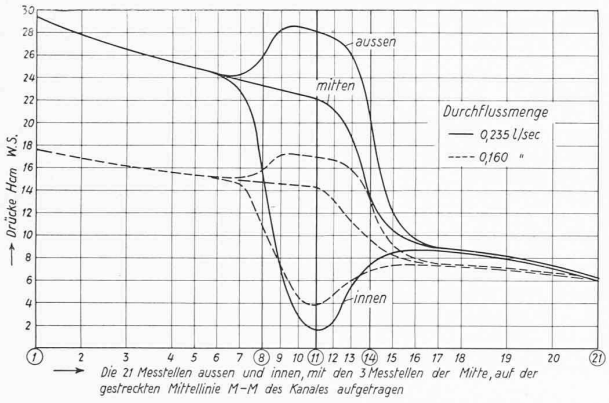


Abb. 9. Druckverlauf in einem Krümmer

leicht auswechselbaren Zwischenlagen ist in weiten Grenzen von 1 bis 20 mm veränderlich, sodass sich ein- wie dreidimensionale Strombilder erzeugen lassen. Die Strömung verläuft von innen nach aussen; drei mitströmende Farbfäden lassen den Strömungscharakter erkennen. Die Farbstoffbänder vibrieren, verbreitern sich oder lösen sich auf an den Stellen wo die Widerstände am grössten sind, wo infolge von Geschwindigkeitsvernichtung Turbulenz auftritt.

Die Farbstoffzufuhr lässt sich bei allen Stromfäden gleichzeitig unterbrechen und wieder zuschalten. Aus dem verschieden raschen Vorrücken gleichzeitig eintretender Farbteilchen (in den Abb. 4 und 5 punktiert angedeutet) erkennt man die Geschwindigkeitsverteilung.

Der gleiche Apparat einschliesslich der Glasscheiben kann durch Einbau eines angetriebenen Pumpenlaufrades mit Einblickmöglichkeit in das Innere der Radzellen dazu verwendet werden, um z. B. das im Bereiche einer Schaufelzelle verschiedenartige Abströmen des Wassers aus dem Laufrad sichtbar zu machen. Es kann so einerseits der Einfluss der Laufradschaufelzahl und anderseits verschiedenartig geformter Leitapparate und Spiralgehäuse gezeigt werden.

3. Das *Krümmermodell* Abb. 7 und 8 dient zur quantitativen Untersuchung der Strömung in einem U-förmigen Kanal von rechteckigem Querschnitt 5 × 34 mm. Ueber einer äusseren und einer inneren Reihe von je 21 Druckmessöffnungen und über den drei Bohrungen 8, 11 und 14 längs der Mittelaxe sind Glasstandrohre angebracht.

Die bei zwei verschiedenen Durchflussmengen an den Standrohren abgelesenen Wasserstände sind in Abb. 9 aufgetragen. Aus diesem Druckverlauf erkennt man den Einfluss der Zentrifugalwirkung infolge der Ablenkung des Wasserstromes. Die Rückwirkung des Krümmers reicht bis zu der Messstelle 5, die Nachwirkung bis 17. Längs der inneren Messlochreihe steigt der Druck nach der Messstelle 11 nicht mehr im gleichen Masse an, wie er vor 11 infolge der Geschwindigkeitsvermehrung abgenommen hat. Die Hauptverluste im Krümmer treten daher längs den inneren Strombahnen auf, infolge der dort vorhandenen ungünstigen Rückgewinnung von Druckenergie aus Geschwindigkeitsenergie. Längs der äusseren Kontur des Krümmers geht die Strömung, wie die Nachrechnung mit Hilfe der Energiegleichung es bestätigt, fast verlustlos vor sich. Ungleicher Energieinhalt infolge ungleicher Verluste im Wasserstrom verursacht daher die in Abb. 6 im Kanalkrümmer *K* erkennbare dreidimensionale Strömung. Der Farbfaden *a* fliesst schon kurz nach der Ablenkung nach den Stellen geringerer Energie ab und wird von den Farbfäden *m* und *i* umströmt. Bei der Laminarströmung Abb. 3 (Kanal *K*) ist dies nicht der Fall. Die Energieunterschiede kommen dort gegenüber dem überall starken Reibungseinfluss nicht mehr zur Auswirkung.

Magnetische Legierungen

Das Material zum Bau von Magneten schien unabänderlich gewählt — Kohlenstoffstahl für Dauermagnete, Weicheisen für Elektromagnete —, als in den Jahren 1903 und 1904 Dr. Friedrich Heusler die nach ihm benannten Legierungen herstellte, die aus etwa 63 % Kupfer, 25 % Mangan und 12 % Aluminium bestehen, also aus lauter unmagnetischen Metallen, während die Legierung doch ferromagnetische Eigenschaften hat und zwar etwa im gleichen Masse wie Gusseisen. Kurz vor dem Weltkriege schuf man dann für Dauermagnete einen besonders geeigneten Stahl, indem man 5 ÷ 6 % Wolfram oder Molybdän zusetzte und diese Legierung besonders härtete. Aber erst in den allerletzten Jahren hat man die Legierungsforschung im Hinblick auf ferromagnetische Hochleistungslegierungen systematisch betrieben, und zwar vor allem in Amerika und in Japan.

Dabei schenkte man den Legierungen von Eisen mit Nickel, das ja auch ferromagnetisch ist, besondere Aufmerksamkeit[1]). Die Amerikaner C. F. Burgess und J. Ashton hatten schon etwa um 1911 festgestellt, dass Eisenlegierungen mit mehr als dreissig Hundertteilen Nickel sich besser für Elektromagnete eigneten als reines Eisen. Man entwickelte schliesslich eine etwa der Formel $FeNi_3$ entsprechende Legierung von 78 ½ % Nickel und 21½ % Eisen, die man Permalloy nannte. Sie wurde bedeutend verbessert, indem man sie in Blechen unter reinem Wasserstoffgas für mehrere Stunden auf 1000 bis 1200° C erhitzte, wodurch man Verunreinigungen wie Schwefel, Kohlenstoff u. a. los wurde. Diese verbesserte Legierung erhielt den Namen Hipernik (High Permeability Nickel). Abarten von Permalloy und Hipernik sind die Legierungen Mumetal (76 % Ni plus 17 % Fe plus 5 % Cu plus 2 % Cr oder Mn), die zwar einer englischen Firma patentiert ist, aber in Deutschland in der Heraeus Vakuum-Schmelze in Hanau am Main hergestellt wird. Die Legierung «1040» von Siemens & Halske besteht aus 72 % Ni plus 11 % Fe plus 14 % Cn plus 3 % Mo. «Rhometal» sieht dem Mumetal sehr ähnlich, während «Permenorm» aus 52 % Eisen plus 48 % Nickel zusammengesetzt ist.

Ganz kürzlich hat nun der Japaner Hakar Masumoto die Fe-Si-Al-Legierungen systematisch untersucht und zwar bis zum Gehalt von 15 % Si und 14 % Al. Als hervorragende Legierung fand sich dabei eine, die aus Eisen mit 8 ÷ 11 % Kieselstoff und 5 ÷ 6 ½ % Aluminium besteht. Diese von ihrem Entdecker «Sendust» genannte Legierung erwies sich als ganz hervorragend in ihren magnetischen Eigenschaften, ist aber ausserordentlich spröde, hart und brüchig. Trotzdem lässt sie sich als Spulenkern gut verwenden, da man sie nur in pulverisierter Form in unmagnetischen Patronen verpackt zu verwenden braucht.

Der gleiche Forscher Masumoto, zusammen mit K. Honda, T. Mishima und Y. Schirakawa hat sich auch der Legierungsforschung für Dauermagnete gewidmet. K. Honda allein hatte den sogenannten KS-Magnetstahl geschaffen, der aus Eisen mit 35 % Kobalt, 7 ÷ 9 % Wolfram oder Molybdän und ½ % Kohlenstoff bestand, und der durch Zusatz von Titan verbessert werden konnte. Die genannten Forscher fanden nun, dass der Kohlenstoff unnötig war und dass kohlenstoffreies Eisen bessere Resultate ergibt. Als Endergebnis dieser Forschungen kam schliesslich Mishima's MK-Magnetstahl heraus, der wie folgt zusammengesetzt ist: 5 ÷ 40 % Ni oder 5 ÷ 30 % Ni plus ½ ÷ 40 % Kobalt plus 1 ÷ 20 % Al plus weniger als 1½ % Kohlenstoff mit oder ohne Zusatz von Mangan (½ % ÷ 10 %), Chrom (1 ÷ 5 %) oder Wolfram (½ ÷ 8 %).

In Amerika hat kürzlich die General Electric Co. eine ausserordentlich kräftige Legierung für permanente Magnete heraus-

[1]) Vergl. *G. Giorgi:* Le leghe magnetiche a ferro-nickel e le loro applicazioni industriali. «Energia Elettrica», Oktober 1937. Red.