

# Untersuchung über die Grösse des Durchflusskoeffizienten von Venturidrüsen

Autor(en): **Gregorig, R. / Wohlgroth, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **105/106 (1935)**

Heft 1

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-47371>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

klar, dass sie sich unbedingt auch zu überzeugenden Lösungen formulieren lassen. Selbstverständlich kann man sich mit hyperphilosophischen und hyperkritischen Ueberlegungen den Weg zur Lösung eines jeden Problems verbauen.  
Martin Risch.

**Heizung und Lüftung.** Die Heizzentrale für Gemeindehaus und Kirche befindet sich im Untergeschoss am Westende des Kirchgemeindehauses und umfasst eine Kesselanlage für die Warmwasser-Pumpenheizung des Gemeindehauses und die gesamte Warmwasserbereitung, sowie die Kesselanlage für die nach dem Niederdruck-Dampfsystem durchgebildete Heizung der Kirche. Bemerkenswert ist, dass trotz der grossen Distanz von 110 m zwischen den Heizkörpern der Kirche und den Kesseln, und bei ungünstigen Höhenverhältnissen, die Anlage mit einem äusserst geringen Kesseldruck von 0,08 at, unter Vermeidung jeglicher Kondensapparate, vollständig geräuschlos arbeitet. Gesamter Wärmebedarf: Kirchgemeindehaus 385 000 kcal/h, Kirche 185 000 kcal/h; gesamte Kesselheizfläche (einschl. Warmwasserbereitung) 85 m<sup>2</sup>.

Ganz besondere Aufmerksamkeit und Sorgfalt wurde in heiztechnischer und hygienischer Hinsicht der Projektierung der Heizungsanlage der Pauluskirche gewidmet, da die sachgemässe und wirtschaftliche Heizung grosser und nicht dauernd benützter Räume hohe Anforderungen stellt. Es sind unter den Fenstern Heizkörper aufgestellt und derart verkleidet worden, dass eine Kaminwirkung entsteht, die die kalten abfallenden Luftströmungen nicht in den Bereich der Anwesenden gelangen lässt (Abb. 16). Ferner sind unter den Fussbänken Heizröhren und bei den Eingängen Heizflächen angeordnet worden. Die gesamte Heizungs-Einrichtung ist in mehrere Gruppen unterteilt, die eine Anpassung an die schwankenden Betriebsverhältnisse gestatten. Durch diese Anordnungen ist eine gleichmässige Erwärmung im Bereiche der Kircheninsassen, unter Vermeidung von Zugerscheinungen, erreicht worden. Die gesamte Heiz- und Warmwasseranlage stammt von der Firma H. Lier in Zürich.

Für Kochzwecke wird überall Elektrizität verwendet. Die beiden grossen Säle des Kirchgemeindehauses haben eine Ventilationsanlage System Ing. J. Schlatter (†) erhalten. Experten für die Heizungs- und Ventilationsanlagen waren Ing. M. Hottinger und Ing. H. Morf.

### Untersuchung über die Grösse des Durchflusskoeffizienten von Venturidüsen.

Von Dr. Ing. R. GREGORIG und Dipl. Ing. H. WOHLGROTH, Zürich.

Unter gleichem Titel erschien in der „SBZ“ Bd. 99, S. 225\* (Nr. 18 vom 30. April 1932), eine eingehende Abhandlung von Dir. A. Engler über diesen Gegenstand. Der Inhalt jener Arbeit sei kurz zusammengefasst: Es wurden die in den Druckleitungen für die Turbinen und Pumpen des Kraftwerkes Wägital eingebauten Venturidüsen von Dir. Engler geeicht. Die Form der axialsymmetrischen Düsen ist in Abb. 1 wiedergegeben (Strömungsrichtung von 1 nach 2). Die Eichung ergab sehr kleine Werte für den sogenannten Durchflusskoeffizienten der Venturidüse, was man sich bei den grossen Dimensionen der Düse und so feiner Bearbeitung nicht ohne Weiteres erklären konnte. Dir. Engler weist auf die Stauung des Wassers im Punkt E der Abb. 1 hin; er vereinfacht das Strömungsbild, indem er die Venturiströmung mit einer Senkströmung vergleicht. Die auf dieser etwas willkürlichen Annahme

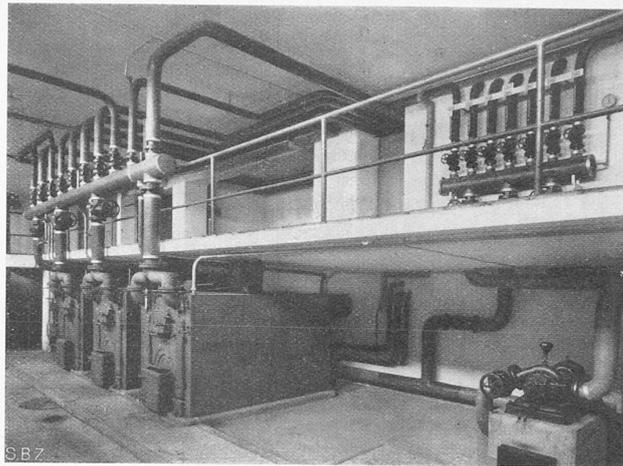


Abb. 15. Heizzentrale im Untergeschoss des Kirchgemeindehauses.

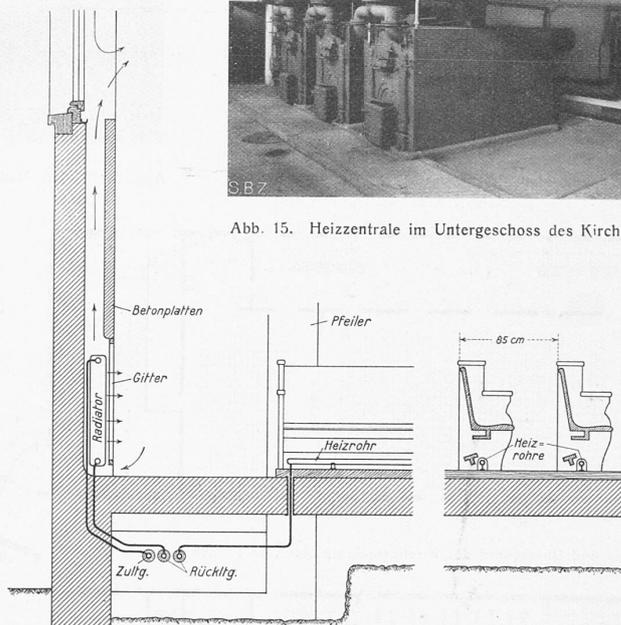


Abb. 16. Kirchenheizung durch Wandradiatoren und Fussbankrohre. — 1 : 60.

ermittelten Durchfluss-Koeffizienten stimmen mit der Erfahrung sehr befriedigend überein.

Abb. 1 zeigt auch das Bild der Aequipotentiallinien, das im hydraulischen Laboratorium der E. T. H. experimentell mittels des elektrischen Analogons<sup>1)</sup> aufgenommen wurde.

Bei Annahme (mit Engler) konstanter Geschwindigkeit über die Querschnitte 1 und 2 (s. Abb. 1) schreibt sich die Energiegleichung zu

$$\alpha_1 \frac{c_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \alpha_2 \frac{c_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \zeta \alpha_2 \frac{c_2^2}{2g} \quad (1)$$

wobei  $c$  die mittlere Geschwindigkeit,  $p$  den Druck,  $z$  die Höhe,  $\alpha$  den Aufwertungsbeiwert für die kinet. Energie und  $\zeta$  den Verlustbeiwert bedeuten. Bei horizontaler Venturidüsenaxe ( $z_1 = z_2$ ) vereinfacht sich obige Gleichung zu

$$\alpha_1 \frac{c_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \alpha_2 \frac{c_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \zeta \alpha_2 \frac{c_2^2}{2g} \quad (2)$$

Gleichung (2) und die Kontinuitätsgleichung

$$c_1 F_1 = c_2 F_2 = Q \quad (3)$$

liefern durch Elimination der Geschwindigkeiten  $c_1, c_2$  und bei Annahme von  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

$$Q \text{ mit Reibung} = \frac{F_2}{\sqrt{\alpha \left[ 1 + \zeta - \left( \frac{F_2}{F_1} \right)^2 \right]}} \sqrt{2g h} \quad (4)$$

wobei  $F_1, F_2$  die durchströmten Querschnitte und  $h$  die Differenz der Druckhöhe zwischen Punkt 1 und Punkt 2 bedeuten. Es ist also

$$h = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$$

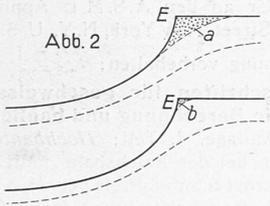
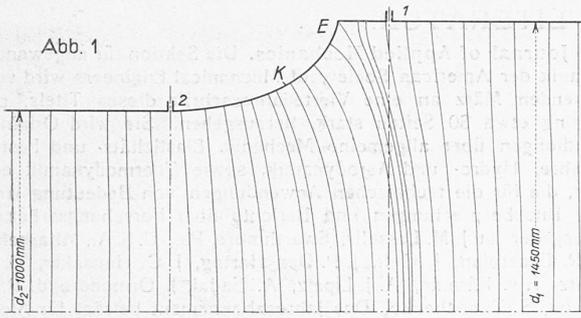
Bei idealer reibungsloser Strömung gestaltet sich wegen  $\alpha_1 = 1$  und  $\zeta = 0$  die Wassermengenformel zu

$$Q \text{ ohne Reibung} = \frac{F_2}{\sqrt{1 - \left( \frac{F_2}{F_1} \right)^2}} \sqrt{2g h} \quad (5)$$

Der Düsendurchflusskoeffizient  $\mu$  ist als

$$\mu = \frac{Q \text{ mit Reibung}}{Q \text{ ohne Reibung}} = \frac{1 - \left( \frac{F_2}{F_1} \right)^2}{\sqrt{\alpha \left[ 1 + \zeta - \left( \frac{F_2}{F_1} \right)^2 \right]}} \text{ definiert.} \quad (6)$$

<sup>1)</sup> H. Gerber: „Experimentelle Methoden zur Ermittlung von Potential-Strömungsbildern“, Escher Wyss Mitteilungen, Jahrg. 1928, Heft Nr. 6; Hohenemser: „Experimentelle Lösung ebener Potentialaufgaben“, Forschungsheft, Jahrg. 1931, Heft Nr. 10, S. 370.



Im vorliegenden Fall beträgt  $\left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2 = 0,226$ . Nimmt man nach Engler  $\alpha = 1,05$  und  $\zeta = 0,01$  an, so errechnet sich aus Gleichung (6) für den Düsendurchflusskoeffizienten ein Wert  $\mu = 0,897$ .

Die Geometrie der Venturidüse hat eine Stauung des Wassers in der Ecke E und eine Diffusorströmung unmittelbar nach der Krümmung zur Folge (s. Abb. 2). Eine Auswertung der experimentellen Bestimmung des Stromlinienbildes ergab im Querschnitt 1 und 2 Geschwindigkeitsverteilungen, aus welchen man entnehmen kann, dass die Wassergeschwindigkeiten an der Innenbegrenzung des Venturirohres verschieden von der mittleren Kontinuitätsgeschwindigkeit sind. Am Rand der Querschnitte nennen wir die Geschwindigkeiten  $K_1c_1$  und  $K_2c_2$ . Die Indexe „1“ und „2“ beziehen sich auf die Querschnitte 1 und 2. Eine eingehende Auswertung ergab für  $K_2 = 1,054$  und  $K_1 = 0,820$ .

Wenn man wie oben unter  $c_1$  und  $c_2$  die mittleren Geschwindigkeiten versteht, so lässt sich die Energiegleichung in einer verfeinerten Form schreiben, nämlich:

$$\alpha_1 \frac{(K_1c_1)^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \alpha_2 \frac{(K_2c_2)^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \zeta \alpha_2 \frac{(K_2c_2)^2}{2g} \quad (7)$$

Im Querschnitt 2 kann praktisch noch von keiner Grenzschicht die Rede sein. Den Beweis liefert eine Arbeit von Kirsten.<sup>3)</sup> Die Reynolds'schen Zahlen, die bei den Kirsten'schen Versuchen vorkamen, sind sehr klein ( $Re$  etwa 43 000 im Mittel). Die Reynolds'schen Zahlen der vorliegenden Venturiströmung sind erheblich grösser ( $Re$  etwa 9 000 000). Die Erfahrung zeigt, dass der Aufwertungs-faktor der kinet. Energie mit steigender Reynolds'scher Zahl und abnehmender Anlaufstrecke asymptotisch gegen 1 abnimmt, sodass man besser  $\alpha_2 = 1,00$  (anstatt  $\alpha_2 = 1,05$ ) setzt.

Die Kontinuitätsgleichung  $c_1F_1 = c_2F_2 = Q$  liefert dann mit der Beziehung (7) die zur Gleichung (6) analoge Formel

$$\mu = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2}}{\sqrt{(1 + \zeta) K_2^2 - \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^2 K_1^2 \alpha_1}}$$

was mit Einsetzen der schon ermittelten Werte  $K_1$  und  $K_2$

$$\mu = 0,8967$$

ergibt. Dies bedeutet 0,33 ‰ Abweichung gegenüber dem Eichergebnis von  $\mu = 0,897$ . (Die von Engler angegebene Messgenauigkeit beträgt 1,7 bis 1,9 ‰)

Diese verblüffende Übereinstimmung darf nicht irreführen. Man muss sich stets bewusst sein, dass mit reibungsloser Flüssigkeit gerechnet wurde. In Wirklichkeit wird sich als Folge der Existenz einer Grenzschicht ein Ablösungswirbel in der Ecke E (s. Abb. 2) ausbilden. Die relative Ausbildung des Wirbels nimmt ab mit zunehmender Reynolds'scher Zahl. Abb. 2 zeigt die Ausbildung des Ablösungswirbels bei kleinen Reynolds'schen Zahlen (Fall a) und desgleichen für grosse Reynolds'sche Zahlen (Fall b).<sup>3)</sup>

<sup>3)</sup> „Experimentelle Untersuchungen der Entwicklung der Geschwindigkeitsverteilung bei der turbulenten Rohrströmung“, Diss. Leipzig 1927.

Die gute Übereinstimmung ist sehr wahrscheinlich auf die grosse Reynolds'sche Zahl zurückzuführen. Mit wachsender Reynolds'scher Zahl nimmt ja bekanntlich der Einfluss der Zähigkeit und damit auch die Ausbildung einer Grenzschicht ab. Mit  $Re \rightarrow \infty$  nähern wir uns der reibungslosen Potentialströmung, die mit derjenigen in unserem Experiment vollständig übereinstimmt. Da nun in der Venturidüse von Rempen  $Re$  so gross ist, stimmen unsere „elektrischen“ Versuchswerte so genau mit dem Eichergebnis überein. Jedenfalls darf behauptet werden, dass die vorliegende Bestimmung des Durchflusskoeffizienten der Venturidüse des Kraftwerkes Rempen Anspruch auf grössere Genauigkeit hat als die Rechenart mit Annahme konstanter Geschwindigkeit über den Rohrquerschnitt. Bei Berücksichtigung nur der Stauung im Punkte E, nicht aber der Wirkung der erwähnten Diffusorströmung (s. Abb. 2) erhält man einen Durchflusskoeffizienten für die Düse von  $\mu = 0,935$ .

Diese empirische Tatsache zeigt, dass neben dem Verhältnis  $d_2/d_1$  auch die Form der Kurve  $K$  (s. Abb. 1) von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist, und dass man bei Strömungsproblemen mit vereinfachenden Annahmen sehr vorsichtig umgehen muss.

### MITTEILUNGEN.

**Ein neues akustisches Messverfahren zur Bestimmung der Spannungsverhältnisse in Staumauern** wird in Heft 17 der „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ vom 2. September beschrieben. Der neue Dehnungsmesser, der im Vergleich zu den hydraulischen und elektrischen Messgeräten durch seine einfache Bedienung und Konstruktion auffällt, besteht aus Messgerät und Empfangsapparat. Eine gespannte Stahlsaite, die sogenannte Messsaite, dient als tonerzeugendes, massenarmes Messelement, das mit seiner Halterung an den verschiedenen Messtellen des Baukörpers eingesetzt wird. In jedem dieser Geberelemente ist ein Elektromagnet eingebaut, der durch Zuleitung von der entfernt liegenden Messtation erregt wird und die Messsaite anzupft. Im Empfangsgerät befindet sich eine auf einen Normalton einstellbare Vergleichssaite. Die Messsaite schwingt nun nach kurzer Betätigung ihres Magneten frei aus und induziert dabei in der Magnetwicklung einen Wechselstrom mit der Frequenz ihrer Eigenschwingung, der telephonisch abgehört und mit dem Vergleichssaitenton verglichen wird. Die Vergleichssaite wird auf gleiche Weise in Schwingung versetzt. Jede geeichte Messsaite besitzt eine Saitenkonstante, welche die Grösse der Dehnung oder Zusammendrückung der Messtelle angibt, wenn zum Tonvergleich die Messkala der Vergleichssaite um einen Tongrad verstellt werden muss. Das Produkt aus Tongrad Differenz mal Saitenzahl ergibt die Formänderung am Objekt. Das Abhören von Messsaite und Vergleichssaite erfolgt nacheinander oder für genauere Messungen gleichzeitig. Zur Bestimmung der Druckspannungen im Baugrund wird eine Messdose verwendet, die den sinnvollen Einbau der Messsaite enthält. — Für die Messtechnik im Tiefbau bietet das neue Verfahren bedeutende Vorteile wegen der Wetterfestigkeit der Geräte, ihrer Unabhängigkeit vom Anpressdruck und infolge der fehlerfreien Fernübertragung. Es gestattet die Ueberwachung vieler Messpunkte in wenigen Minuten auch an schwer zugänglichen Orten. Da die Messsaite massenarm ist und ohne Vergrösserungsmechanik arbeitet, wird dauernd eine grosse Messgenauigkeit gewährleistet. Herstellerin der Geräte ist die Akt.-Ges. H. Maihak in Hamburg. Dr. G-r.

**Normalisierung und Tieferlegung der Brünigbahn.** Ueber die allen Ernstes betriebene Propaganda für eine Abkürzung der Fahrzeit zwischen Luzern und Interlaken (M.O.B.-Genfersee) durch normalspurigen Ausbau (d. h. Neubau) der Brünigbahn und Senkung der heutigen Kulmination (1002 m ü. M.) mittels künstlicher Entwicklung und Kehrtunnel zwischen Giswil und Kaiserstuhl und einem Basistunnel von 3,5 km (bei Lungern, 751 m ü. M., 36 Mill. Fr. Baukosten), bezw. gar 8,5 km (Giswil-Brienzwylert!) werden wir nach

<sup>3)</sup> Bezüglich experimenteller Beweise hierfür siehe: Q. Kirstner: „Untersuchung der Ueberfallkoeffizienten für einige Wehre mit gerundeter Krone“, Mitteilung des Hydraulischen Instituts der T. H. München, Heft 1; ferner Dr. Ing. L. A. Ott: „Ausfluss, Durchfluss und Ueberfall“, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Heft 18, 1932.