

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107/108 (1936)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Zum Schwallproblem in Wasserkanälen  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48295>

### **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**

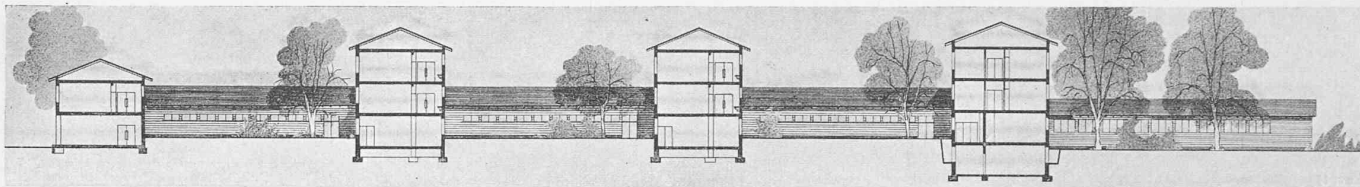
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

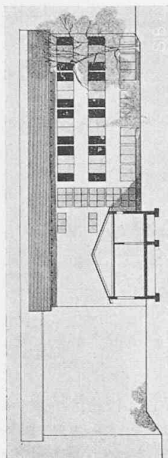
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 01.04.2025

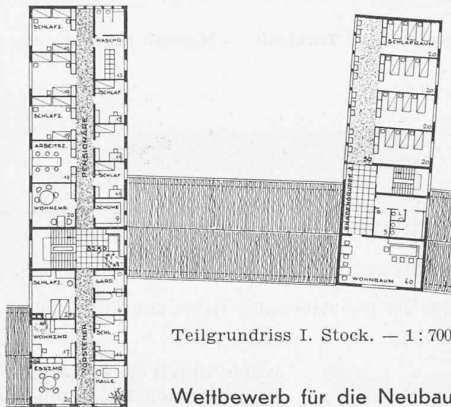
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



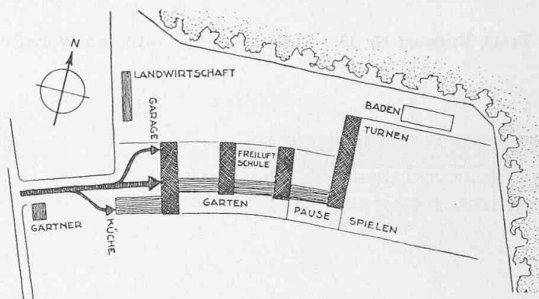
Schnitte durch Schlafzimmerflügel, Nordansicht der verbindenden Wohntrakte, rechts Hauptbau und Speisesaal. — 1 : 700.



Ostfront eines Schlafzimmersflügels. Schnitt durch Wohntrakt. — 1 : 700.

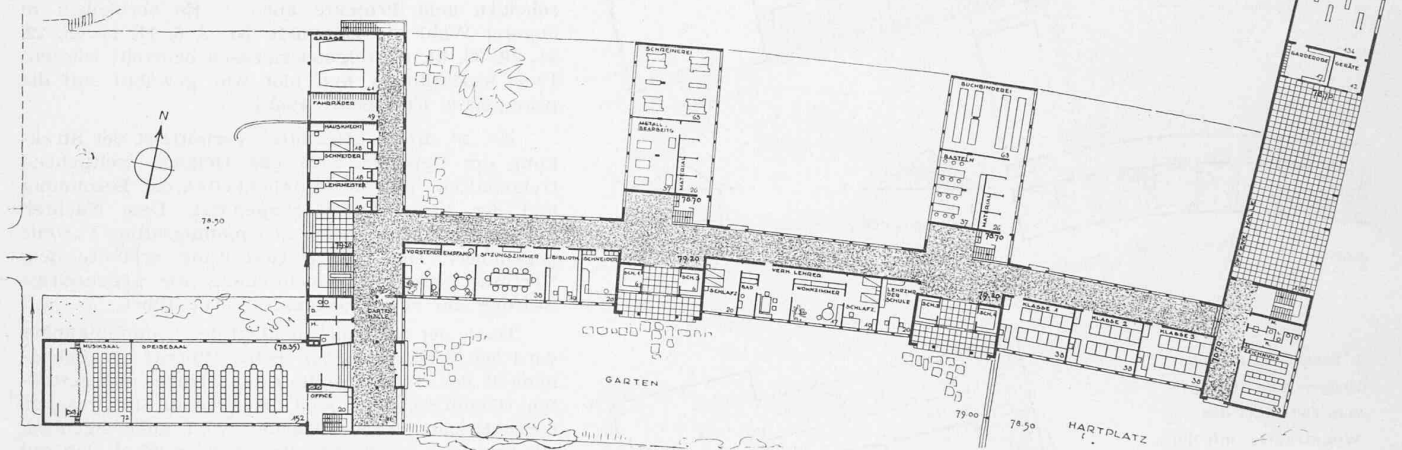


Teilgrundriss I. Stock. — 1 : 700.

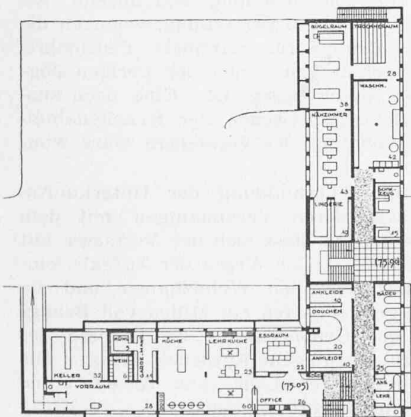


Lageplan 1 : 4000 zum Entwurf Nr. 32.

Wettbewerb für die Neubauten der burgerlichen Waisenhäuser in Bern.  
II. Preis (3000 Fr.), Entwurf Nr. 32. — Verfasser Arch. PETER ROHR, Bern,



Grundriss vom Erdgeschoss des Entwurfs Nr. 32. — Masstab 1 : 700.



Untergeschoss des Hauptbaues. — 1 : 700.

Nr. 32, Motto «Orbis».

Nach Lage und Aufteilung im Gelände weist dieses Projekt vorzügliche Qualitäten auf. Die kammförmige Anordnung der höhern Gebäudeteile gestattet nicht nur eine starke Zusammenfassung, sondern gewährt auch eine wohlthuende Durchdringung der Baumassen mit dem Grünen. Der Gruppierung der Zöglinge in *Anstalts-Familien* wird hier besonders sichtbar Ausdruck verliehen. Die Trakte für Verwaltung und Wirtschaft

öffnen sich mit einladender Gebärde gegen den Eingang und trennen den Verkehrsraum des Besucher- und Zubringerdienstes vom innern Anstaltsbezirk.

Die grundrissliche Organisation ist sehr gut durchdacht und gewährleistet einen ebenso sparsamen als reibungslosen Betrieb der Anstalt. Die allzu reichlichen Masse der Korridore und Vorplätze wirken sich stark auf die Baukosten aus. Die Lage der Schlafräume für die männlichen Pensionäre über den Zimmern der weiblichen Diensthofen, alle an ein einziges Treppenhaus gebunden, muss abgelehnt werden. Die Belichtung von Küche, Lingerie und Bügelzimmer ist ungenügend.

So sehr die baukörperlich empfindsame Einfühlung ins Gelände anspricht, so wenig vermag die Gestaltung der Fassaden zu erfreuen. So sehr der an sich lobenswerte Wille zur Einfachheit dem Sinn und Geist der Aufgabe entspricht, so wenig vermag die manirierte nüchterne Aermlichkeit diesem Gedanken Ausdruck zu verleihen. Das Projekt stellt eine bemerkenswerte, durchaus logische Lösung der Aufgabe im Sinne des Kamm-baues dar. — Baukosten 1139 000 Fr. (Schluss folgt.)

Zum Schwallproblem in Wasserkanälen.

Das Problem der Entstehung und Fortpflanzung von positiven und negativen Translationswellen in offenen Kanälen, auch Problem der Schwall- und Sunkbildung, oder kurz Schwallproblem genannt, haben schon im letzten Jahrhundert vor allem die französischen Hydrauliker de Saint Venant und Boussinesq in mathematisch-theoretischer Hinsicht grundlegend bearbeitet. Eine umfassende, für die Anwendung in der Praxis allgemein dienliche Lösung des Problems, die auch erlaubt, den zeitlichen Verlauf und die Form des Schalles in irgend einem Profil eines Wassergerinnes um voraus genauer zu berechnen, fehlte aber noch bis vor kurzem. Dr. H. Favre hat sich nun die Aufgabe gestellt, eine solche Lösung zu suchen<sup>1)</sup>. Dabei ist es ihm gelungen, aufbauend auf den genannten Arbeiten und unter glücklicher Mitverwendung der heute schon hoch entwickelten Technik des wasserbaulichen Modellversuchs, einen vereinfachten, in

<sup>1)</sup> «Etude théorique et expérimentale des ondes de translation dans les canaux découverts». Par Henry Favre, Dr. ès Sc. techn., Privat-docent à l'E. P. F., Directeur-adjoint du Laboratoire de Recherches hydrauliques annexé à l'E. P. F., Zürich. 215 Seiten mit 62 Abbildungen und 4 Tafeln. — Paris 1935, Verlag Dunod; für die deutsche Schweiz, Deutschland und Oesterreich: Verlag Rascher & Cie., Zürich. Preis brosch. 15 Fr.



II. Preis (3000 Fr.), Entwurf Nr. 32. — Verfasser Arch. PETER ROHR, Bern. — Gesamtansicht von Süden. — Masstab 1:700.

klarer und prägnanter Form dargestellten Rechnungsgang zu entwickeln, der die Vorausberechnung von allen möglichen Schwallerscheinungen gestattet, die z. B. in den Zu- und Ableitungskanälen von Wasserkraftwerken als Folge wechselnder Belastung eintreten. Dr. Favre übergibt damit der Praxis ein schon längst ersehntes, für die direkte Anwendung geeignetes Berechnungsverfahren, dessen Richtigkeit durch Versuche voll- auf bestätigt ist, solange die Schwallhöhe nicht mehr als  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{4}$  der Wassertiefe beträgt (was in der Praxis meist zutrifft). Das Berechnungsverfahren ist auch anwendbar, wenn dieses Verhältnis von Schwallhöhe zu Wassertiefe überschritten wird, doch haben die rechnerischen Resultate dann nicht mehr den nämlichen Genauigkeitsgrad.

Wenn auch die mathematische Kompliziertheit des Problems eine explizite Berechnung der massgebenden Größen nicht gestattet, so ist es doch möglich, mit der Methode der Differenzenrechnung relativ rasch zum Ziel zu gelangen. Wie durchgerechnete Beispiele ergeben, ist in der Regel eine zwei- bis dreimalige Wiederholung der Differenzenrechnung ausreichend, um praktisch einwandfreie, zuverlässige Resultate zu erhalten. Die wichtigste vereinfachende Annahme, die Dr. Favre seinen Untersuchungen zugrunde legte und die eigentlich erst die Lösung des Problems in so verhältnismässig einfacher Form ermöglichte, ist die Annahme ebener Begrenzung der Schwalloberfläche (d. h. die Schwalloberfläche erscheint im Längsschnitt des Wassergerinnes als gerade Linie). Diese Annahme erscheint a priori nicht ohne weiteres statthaft, sie wurde aber durch äusserst sorgfältig ausgeführte Modellversuche als für die praktische Lösung des Problems durchaus zulässig nachgewiesen. Die Ueberprüfung für die Zulässigkeit dieser Annahme, wie auch die Nachprüfung der mathematischen Entwicklungen und Lösungen, erfolgte in einem eigens zu diesem Zwecke hergestellten Betonkanal von 73 m Länge, 0,42 m lichter Breite und 0,4 m Höhe. Bei Zugrundelegung eines Modellmasstabes von 1:50 entspricht dieses Modellgerinne in Wirklichkeit einem rechteckigen Werkkanal von rd. 3,7 km Länge, 21 m lichter Breite und einer Wassertiefe von 7,5 bis 10 m, dies entsprechend der Wassertiefe in den Modellversuchen von 15 bis 20 cm. Das Gefälle des Versuchskanals betrug für eine Serie von Versuchen  $0,282\text{‰}$ ; für eine andere Serie von Versuchen lag die Sohle auf die ganze Länge horizontal. Die versuchstechnische Ausrüstung des Kanals ist eingehend beschrieben und zeigt, welche genaue und zuverlässig arbeitende Methoden, unter Beiziehung der neuesten photographischen und photogrammetrischen Aufnahmemethoden zur Anwendung gelangten, um möglichst ins Detail gehende Aufnahmen der Modellbilder zu erhalten. Die Uebereinstimmung zwischen den Ergebnissen des Modellversuchs und den auf rechnerischem Weg ermittelten Resultaten ist eine überraschend gute, sodass das von Dr. Favre ausgearbeitete Berechnungsverfahren berufen ist, in der Praxis des Wasserbaues eine seit langer Zeit unangenehm empfundene Lücke auszufüllen.

Die geschickte Verbindung zwischen theoretischer Entwicklung und Modellversuch ermöglichte es auch, gute Aufschlüsse über die am Kopfe positiver Translationswellen (Schwälle) eintretende Wellenbildung zu gewinnen, die in einem für die Praxis sehr wertvollen Diagramm zusammengefasst sind, aus dem unmittelbar das Verhältnis zwischen berechneter, sog. mittlerer Schwallhöhe und maximaler Höhenlage des höchsten Wellenkammes, sowie eintretender Wellenlänge abgelesen werden kann. Man ist dadurch in die Lage gesetzt, die tatsächlich zu erwartende maximale Höhe des Schwalles, d. h. die höchste zu erwartende Benetzung der Kanalwänden zum voraus zu bestimmen. Auf Grund davon kann der projektierende Ingenieur die Höhe der erforderlichen Sicherungsmassnahmen an Böschungen und Kanalwänden weitgehend dem tatsächlich Erforderlichen anpassen und so zu einer möglichst wirtschaftlichen Ausführung des Kanals beitragen.

Eine weitere willkommene Anwendung der Berechnungsmethode bietet die Beiziehung von Kanalhaltungen zur Spitzendeckung bei Wasserkraftwerken. Erst die durch die neue Berechnungsmethode mögliche genaue Ermittlung des zeitlichen Verlaufes von Schwallvorgängen gestattet, zum voraus zuverlässig zu berechnen, wie weit und in welchem Mass eine Kanalhaltung zur Spitzendeckung herangezogen werden darf, bzw. kann. Es ist dies ein Anwendungsgebiet von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung; liegen doch gerade jene Wasserkraftwerke mit grossen Kanälen zumeist in der Nähe grösserer Verbrauchszentren, die besonders in der Uebergangszeit vom Sommer zu Winter und Winter zu Frühling die Erzeugung kurz

dauernder Belastungspitzen erforderlich machen (Lichtspitzen von  $\frac{1}{4}$  bis 1 Stunde Dauer). Solche Spitzenleistungen erzeugt man mit besonderem Vorteil in den nahe den Verbrauchszentren liegenden Werken und vermeidet wo immer möglich deren Zuleitung über lange Hochspannungsleitungen von fern gelegenen Hochdruckakkumulierwerken. Es ist dies um so eher möglich, als gerade in den Jahreszeiten mit solchem Spitzenbedarf (bei uns im Winter) die Kanäle im normalen Tagesbetrieb nur relativ geringe Wassermenge zu führen haben, was ein Hochhalten des Kanalwasserspiegels und damit die Bereithaltung einer erheblichen Wasserreserve für kurz dauernde Spitzendeckung ohne weiteres gestattet. Eine sinngemäss ähnliche praktische Anwendung der Berechnungsmethode von Dr. Favre bietet sich für die Dimensionierung von Wasserschlössern bei Hochdruckanlagen mit Freispiegelstollen, bei denen sehr oft der letzte Teil des Stollens vor dem Beginn der Druckleitung auf eine grössere Länge mit erweitertem und vertieftem Profil zu einer offeneren Wasserkammer ausgebildet und ein Entlastungsüberfall entweder am untern oder obern Ende dieser Wasserkammer oder auch weiter stollenaufwärts angeordnet ist.

Die mit dem neuen Berechnungsverfahren nunmehr bestehende Möglichkeit, die zeitliche Veränderung des Wasserspiegels in irgend einem Punkt eines Kanals zu bestimmen, ist auch dort von Bedeutung, wo ein Kanal durch Veränderung der Betriebsweise inskünftig stärkeren und vor allen Dingen rascher eintretenden und wechselnden Schwankungen des Wasserspiegels unterworfen werden soll. Dies kann eintreten, wenn ein bisher als normales Laufwerk betriebenes Kanalwerk inskünftig zu kurz dauernder Spitzendeckung herangezogen werden soll, wie weiter oben angedeutet. Wird in einem solchen Fall auf Grund der neueren erdbaulichen Untersuchungs-Methoden festgestellt, welche Intensität an zeitlicher Wasserspiegelschwankung den in Frage stehenden Kanalböschungen zugemutet werden darf, so kann die Berechnungsmethode von Dr. Favre dazu benützt werden, festzulegen, in welchem Masse der Kanal zur Spitzendeckung, d. h. zu vorübergehender Akkumulierung benützt werden darf.

So relativ einfach das Berechnungsverfahren auf Kanäle mit konstantem Querprofil angewendet werden kann, so zeitraubend ist dessen genaue Anwendung bei Kanälen mit variablem Querschnitt. In diesem Falle kann die Berechnung unter Annahme eines geschätzten mittleren Profiles vorgenommen werden, wobei aber die Genauigkeit nicht mehr die nämlich gute sein kann. Es wäre deshalb sehr zu begrüssen, wenn zur Gewinnung besserer Anhaltspunkte über die dann zu erwartende Genauigkeit Versuche an einer bestehenden, hierfür geeigneten Kanalanlage durchgeführt werden könnten.

In einem Kapitel ist der Fall von Schwall- und Sunkwellen in Schifffahrtskanälen als Folge von Schleusungsvorgängen behandelt. Da die oben erwähnte vereinfachende Annahme ebener Begrenzung der Schwalloberfläche hier nicht mehr anwendbar ist, sind besondere Formeln für diesen Fall entwickelt, die eine rechnerische Behandlung des Vorganges gestatten. Die Versuche haben eine gute Bestätigung der Formeln gezeigt für Schwälle, deren Höhe kleiner als  $\frac{1}{4}$  der Tiefe ist, was dem Bereich der praktischen Anwendung entspricht.

Zusammenfassend muss vom Standpunkt des projektierenden Wasserbauingenieurs der Arbeit von Dr. Favre ungeteilter Beifall gezollt werden. Die Klarheit und Prägnanz, mit der er die komplizierte Materie behandelt und in einer für die Praktiker relativ leicht lesbar und anregend geschriebenen Form vorlegt, aufbauend auf streng wissenschaftlicher, mathematischer Grundlage, jedoch ohne sich in weitschweifige mathematische Detailentwicklungen zu verlieren, darf als muster-gültig bezeichnet werden. Man merkt es dem Buch immer und immer wieder an, wie sehr dem Verfasser daran gelegen ist, für ein kompliziertes Problem eine übersichtliche und umfassende Lösung zu geben, die ganz auf die unmittelbare Anwendung in der Praxis zugeschnitten ist. Es mag in diesem Zusammenhang besonders auf die recht anschauliche Darstellung der Reflexion, Teilung, Kreuzung und Ueberlagerung von Schwallerscheinungen hingewiesen werden, sowie auf die knappe Beschreibung der interessanten Versuchseinrichtungen und Messmethoden, die ein anschauliches Bild vom heutigen Stand des wasserbaulichen Modellversuches vermitteln.

Der Aufbau des Buches ist kurz folgender:

In einem ersten Teil von 114 Seiten werden die mathematischen Grundlagen gegeben, ein zweiter Teil von 71 Seiten behandelt die durchgeführten Modellversuche und deren Vergleich mit den Rechnungsergebnissen, während schliesslich ein

dritter Teil von 20 Seiten an einem Beispiel den Rechnungsgang erläutert. Am Schluss sind die wichtigsten Formeln und der Rechnungsgang in tabellarischer Form zusammengefasst, was die direkte praktische Anwendung des Rechnungsverfahrens erleichtert. Ein bis in die jüngste Zeit nachgeführtes Literaturverzeichnis orientiert ausserdem über die in den letzten rd. 100 Jahren erschienenen einschlägigen Veröffentlichungen.

Die Arbeit ist an der Versuchsanstalt für Wasserbau der E. T. H. Zürich unter Leitung von deren Direktor, Prof. Dr. E. Meyer-Peter, und mit finanzieller Unterstützung durch den Jubiläumsfonds 1930 der E. T. H. entstanden. Sie gibt deshalb zugleich bereitetes Zeugnis für die nützliche, fruchtbringende, der praktischen Anwendung im Wasserbau dienende Tätigkeit dieser Anstalt, wofür die interessierte Fachwelt wieder einmal dankbar sein darf.

K. J e n n y.

Anmerkung der Redaktion. Der Verfasser, Priv.-Doz. Ing. Dr. Henri Favre, liest über «Les ondes de translation dans les canaux découverts» an der E. T. H. im laufenden Sommersemester (Donnerstag 9 bis 10 h, im Hörsaal 40c), worauf hiermit aufmerksam gemacht sei.

### Ein neues Messprinzip für Wärmemengenzähler, Flüssigkeits- und Gasmesser.

Bei der Wasser-, Gas- und Elektrizitätsversorgung ist das Messen der jedem Verbraucher gelieferten Menge eine Selbstverständlichkeit, nicht aber bei der zentralen Beheizung mehrerer Wohnungen oder Häuser. Den offenkundigen Vorteilen, welche die durchgehende Verwendung genauer Wärmemesszähler den sparsamen Verbrauchern und damit der Volkswirtschaft böte, steht u. a. die hiedurch bedingte Erhöhung der Installationskosten gegenüber. Ein Wärmemesszähler muss deshalb, um Verbreitung zu finden, nicht nur genau, sondern auch billig sein. Diesen doppelten Zweck verfolgt eine Neukonstruktion, die wir im Folgenden auf Grund eingehender, uns vom Erfinder, Ing. Manlio Goetzl, Trieste, zur Verfügung gestellter Unterlagen beschreiben<sup>1)</sup>.

**Wärmemessung.** Die ungemein einfache Messeinrichtung, wie sie der Entwurf Abb. 1, dem Wärmebedarf einer grösseren Wohnung entsprechend, für ein maximales Durchflussvolumen von 500 l/h Wasser, eine Rücklaufftemperatur von maximal 70° und einen Temperaturabfall von 20° normal, 30° maximal darstellt, kommt ohne Flügelrad, Venturirohr oder komplizierte Hilfsanordnungen aus. Sie greift auf die Poiseuille-Strömung in engen Röhren und Spalten zurück: Einem turbulenzfrei durchströmten, in den Rücklauf eingebauten<sup>2)</sup> Rohrkörper 1 aus sechs konzentrischen Röhren wird ein ebenfalls laminar durchflussener  $8 \times 10^{-3}$  mm schmaler, lotrechter Spalt 4 parallel geschaltet<sup>3)</sup>. Die sekundlich durch das Rohrstück und den Spalt fliessenden Wassermassen sind einander proportional. Der gemeinsame Druckabfall  $\Delta p$ <sup>4)</sup> ist nämlich

$$\Delta p = \frac{12l}{d^2 f} \left( \frac{\eta}{\rho} \right)_1 M_1 = \frac{12s}{hb^3} \left( \frac{\eta}{\rho} \right)_2 M_2$$

( $l$  = Länge,  $f$  = Gesamtquerschnitt des Rohrstücks,  $d$  = Abstand zwischen den konzentrischen Röhren;  $s$  = Länge,  $h$  = Höhe,  $b$  = Breite des Spalts,  $\eta$  = Zähigkeit,  $\rho$  = Dichte,  $M$  = sekundlich das Rohrstück, bezw. den Spalt durchströmende Wassermasse). Die Umleitung 22 ermöglicht es, die den Spalt 4 enthaltende Kammer quer durch den Rücklauf zu legen, sodass die Spalttemperatur dank den gut leitenden Trennwänden 23 gleich der Temperatur im Rücklauf ist. Daher hat in obiger Gleichung der temperaturabhängige Quotient  $\eta/\rho$  beidseitig den selben Wert, und

$$M_2 = k h M_1,$$

wobei der Faktor  $k$  nur von den geometrischen Daten abhängt. Wie alsbald darzulegen, wird die Spalthöhe  $h$  andererseits proportional mit dem Temperaturunterschied  $T_1 - T_2$  zwischen Vor- und Rücklauf verändert, sodass  $M_2$  dem Produkt

<sup>1)</sup> Vergl. «SBZ», Band 102, S. 273\*, Nr. 22 vom 25. Nov. 1933 (Wärmemengenzähler von Siemens) und Bd. 105, S. 283\*, Nr. 24 vom 15. Juni 1935 (Mechanischer Wärmemesszähler von Z. Benes).

<sup>2)</sup> Im kälteren Rücklauf, wo die Zähigkeit des Wassers grösser ist und die Ringspalten entsprechend weiter gewählt werden können. Die Abmessungen des Rohrstücks der Abb. 1 basieren auf der mittleren Strömungsgeschwindigkeit  $w_m = 0,285$  m/s; die kritische Geschwindigkeit beträgt bei 70° C  $w_k = 0,285$  m/s.

<sup>3)</sup> Der Spalt, gebildet von den auf einige  $10^{-4}$  mm genau geschliffenen Schmalseiten der beiden Glas- oder Quarzscheiben 10 und 10', wird durch die Platinblättchen 11 und die beiden Schrauben des Rahmens 12 auf dem bezeichneten Abstand gehalten.

<sup>4)</sup>  $\Delta p$  beträgt vorliegendenfalls  $2 \times 10^{-3}$  at. Gegenüber dem Druckabfall im Spalt ist jener in den Zuleitungen durchaus zu vernachlässigen.

$M_1 (T_1 - T_2)$ , also der sekundlich abgegebenen Wärmemenge  $q$  proportional wird<sup>5)</sup>:

$$M_2 = k' q.$$

Die Parallelschaltung des Spalts 4 mit dem Rohrstück 1 geschieht über die beiden gleichen Glaszylinder 8 und 8', auf deren Kolben 26 der Anfangs-, bezw. Enddruck des Rohrs 1 wirkt; der eine Kolben steigt ebenso langsam empor, wie sich der andere senkt. Der von einem Kolben in der Zeit  $t$  zurückgelegte Weg ist offenbar proportional  $\int M_1 dt$  und damit proportional der gelieferten Wärmemenge  $Q = \int q dt$ ; diese kann also unmittelbar auf einer Skala abgelesen werden<sup>6)</sup>. Die Anordnung ist so bemessen, dass es während der Heizperiode mindestens einen Monat dauert, bis der halbe Wasserinhalt des einen Zylinders in den andern Zylinder verdrängt worden ist. Sodann vertauscht man mittels des Zweibegehahns 6 die Rolle der beiden Zylinder<sup>7)</sup>, und das Messwasser durchfliesst den Spalt 4 im umgekehrten Sinn.

Die oben angegebene Regulierung der Spalthöhe kommt mit Hilfe eines Quecksilberfadens zustande, der, die Rille 14 anfüllend<sup>8)</sup>, bis zur Höhe seiner Kuppe den Spalt verdeckt und sowohl mit dem Rücklaufthermometer 18 wie mit dem Vorlaufthermometer 19 kommuniziert.

Das Rücklaufthermometer ist eine quecksilbergefüllte Glas-kugel. Die in ihr bei einer mittleren Temperatur  $T$  enthaltene Quecksilbermasse  $m_2$  erfährt bei einer Erhöhung der Rücklaufftemperatur um  $\Delta T_2$  die Verminderung

$$\Delta m_2 = c_2 \Delta T_2, \quad c_2 = m_2 (\beta_{Hg} - \beta_G)$$

( $\beta_G, \beta_{Hg}$  = räumliche Ausdehnungskoeffizienten von Glas, bezw. Quecksilber).

Im Vorlaufthermometer füllt die  $T^0$  warme Hg-Masse  $m_1$  den engen Zwischenraum vom Volumen  $V_Z$  zwischen einer Hohlkugel aus Glas und einem kugelförmigen Quarzkern vom Volumen  $V_Q$  und dem räumlichen Ausdehnungskoeffizienten  $\beta_Q$  aus. Bei Erhöhung der Vorlaufftemperatur um  $\Delta T_1$  erweitert sich dieser Zwischenraum um  $(\beta_G - \beta_Q) V_Q \Delta T_1$ ; er fasst infolgedessen (bei Berücksichtigung der thermischen Ausdehnung des Quecksilbers) eine um  $\Delta m_1$  vergrösserte Quecksilbermasse  $\Delta m_1$ :

$$\Delta m_1 = c_1 \Delta T_1, \quad c_1 = m_1 \left[ (\beta_G - \beta_Q) \frac{V_Q}{V_Z} - \beta_{Hg} \right].$$

<sup>5)</sup> Es ist hervorzuheben, dass die gemessene Grösse ( $M_2$ ) wirklich dem Produkt aus dem Temperaturabfall in die sekundlich durchfliessende Wassermasse, nicht in das Durchflussvolumen (wie bei andern Wärmemesszählern) proportional ist — ein wegen der Temperaturabhängigkeit von  $q$  zu beachtender Umstand.

<sup>6)</sup> Offenbar ist diese Ablesung nur bei undurchlässiger Abdichtung der beiden Zylinderräume von einander richtig. Diesem Zweck dienen die Quecksilberringe 27. Sie gewähren ausserdem ein reibungsloses Gleiten der Leichtmetall-Kolben 26 in den Zylindern, was, nebst genauer Gleichheit der Querschnitte und der (geringen) Kolbengewichte in den beiden Zylindern, Bedingung für die vorausgesetzte Gleichheit der Druckabfälle längs des Spalts 4 und längs des Rohrstücks 1 ist.

<sup>7)</sup> Praktisch wird die Apparatur in einen Kasten zu verschalen sein, der zur Ablesung und Umschaltung mit einem Schlüssel geöffnet werden muss.

<sup>8)</sup> Die Kapillarität verhindert das Quecksilber, in den engen Spalt einzudringen.

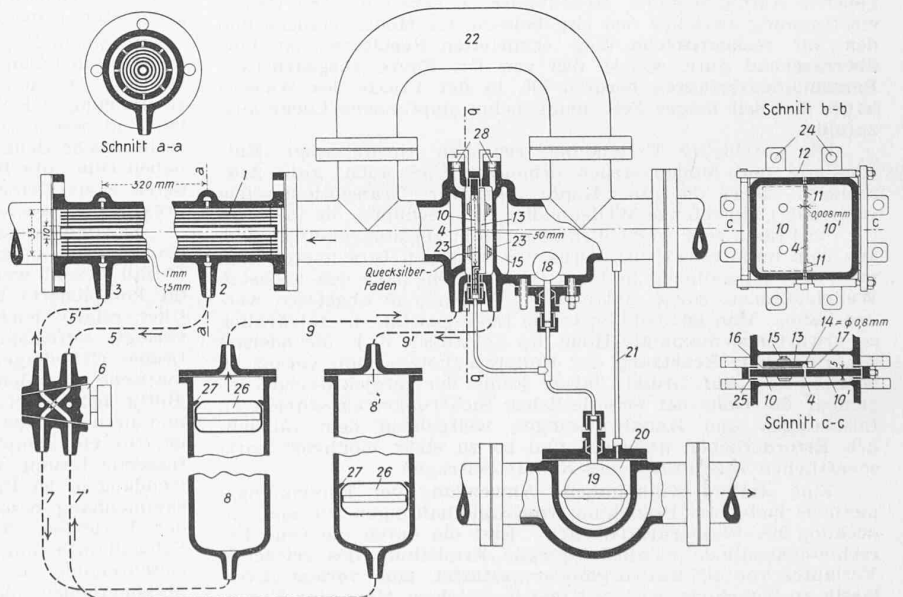


Abb. 1. Wärmemengenzähler nach Ing. Manlio Goetzl, Trieste (schematisiert).

1 Rohrkörper, 2 obere, 3 untere Druckentnahmestelle, 4 Spalt, 5 u. 5' Verbindungsrohre, 6 Zweibegehahn, 7 u. 7' Verbindungsrohre, 8 u. 8' Sammelylinder, 9 u. 9' Verbindungsrohre, 10 u. 10' Scheiben, 11 dünne Metallblättchen, 12 Rahmen, 13 Scheiben, 14 Quecksilberrille, 15 Schrauben, 16 Metallblättchen, 17 Seitenspalte, 18 Rücklauf-, 19 Vorlauf-Thermometer, 20 Kammer, 21 Verbindungsrohre, 22 Umleitung, 23 Trennwände, 24 Bolzen, 25 Dichtung, 26 Kolben, 27 Quecksilberringe, 28 Füllöffnungen.