

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 70 (1952)
Heft: 12

Artikel: Verminderung des Wärmedurchganges bei ungleichmässiger Geschwindigkeitsverteilung und ungenauer Rohrteilung
Autor: Gregorig, R. / Trommer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-59577>

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: 14.01.2026

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

ermöglichen. Es zeigt sich, dass eine vollständige Niederlegung der bestehenden Bauten keine Vorteile bietet, die den grösseren Kostenaufwand rechtfertigen würden. Andererseits ist eine zu

weitgehende Auswertung der Altbauten eine mehr scheinbare Oekonomie, die einer befriedigenden architektonisch-räumlichen Gesamtlösung schadet. Schluss folgt

Verminderung des Wärmedurchganges bei ungleichmässiger Geschwindigkeitsverteilung und ungenauer Rohrteilung

Von Dr. Ing. R. GREGORIG und Dipl. Ing. H. TROMMER, Forschungsabteilung der Escher Wyss AG., Zürich

Schluss von Seite 155

DK 536.242

IV. Versuche

1. Versuchsanordnung

Der Hauptzweck der anschliessend durchgeführten Versuche war die Überprüfung der theoretischen Ergebnisse an einem Querstrom-Wärmeaustauscher. Das Versuchsbündel bestand aus zwei Reihen zu je fünf geraden Kupferrohren von 16 mm Innen-, 18 mm Aussendurchmesser und 260 mm nützlicher Länge in fluchtender Anordnung. Die Wahl einer minimalen Anzahl von nur zwei Rohrreihen ergab sich aus dem Bedürfnis, die Versuchsanordnung den für die theoretischen Berechnungen getroffenen Annahmen möglichst genau entsprechend zu gestalten. Insbesondere wird hierbei die infolge des Druckverlustes entstehende ausgleichende Wirkung auf das ursprünglich vorhandene Geschwindigkeitsprofil klein gehalten. Die genaue Querteilung betrug 28 mm, die Längsteilung 36 mm (2d), und es wurden folgende ungenaue Querteilungen untersucht:

- | | |
|------------------|---------------------------|
| a) $L_1 = 23$ mm | $L_2 = 33$ mm |
| b) $L_1 = 20$ mm | $L_2 = 36$ mm |
| c) $L_1 = 18$ mm | $L_2 = 38$ mm (Berührung) |

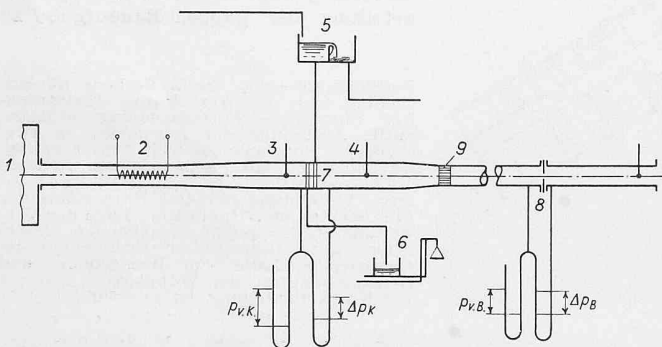


Bild 8. Schematische Darstellung der Versuchseinrichtung.

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 1 Ventilator | 5 Wasserverfall |
| 2 Elektr. Heizung | 6 Wassermengenmessung |
| 3 Temp.-Messung der Luft am Eintritt | 7 Rohrbündel |
| 4 Temp.-Messung der Luft am Austritt | 8 Luftmengenmessung (Blende) |
| | 9 Gleichrichter |

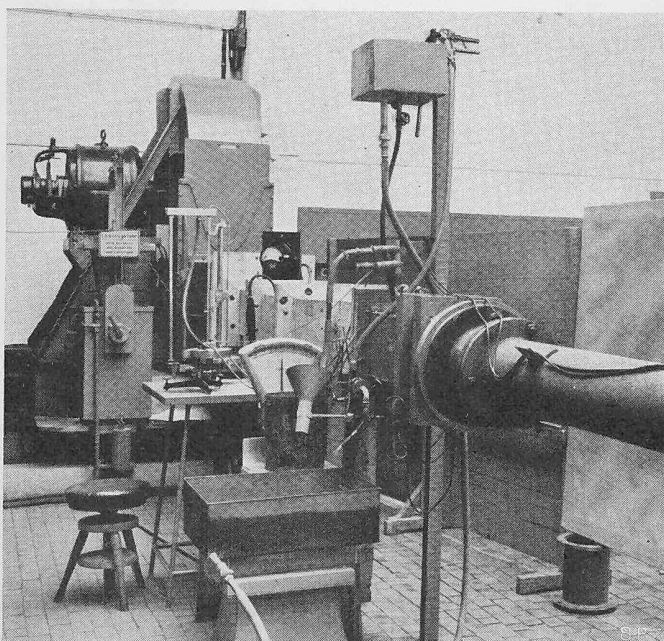


Bild 9. Versuchseinrichtung.

Als Versuchsmedien wurde in den Rohren Wasser und ausserhalb der Rohre Luft verwendet, wobei natürlich das Wasser im Gegenstrom geführt wurde. Bild 8 zeigt das Schema der Versuchsanordnung, Bild 9 die Einrichtung selber, und Bild 10 das Versuchsbündel mit einer ungenauen Rohrteilung nach a).

2. Messergebnisse

a) Ungleichmässige Geschwindigkeit

Die durch Vorschaltung verschiedener Drahtnetze über den Anströmquerschnitt verwirklichte Geschwindigkeitsverteilung ist auf Bild 11 für zwei Querschnitte vor — wovon der eine unmittelbar vor der ersten Rohrreihe — und einen Querschnitt direkt nach dem Bündel dargestellt. Wie man daraus ersehen kann, ergibt sich schon vor dem Rohrbündel deutlich eine ausgleichende Wirkung auf die Geschwindigkeitsverteilung. Da nun die geringe Anzahl Rohre nur eine relativ kleine Abkühlung der Luft bewirkt, die zudem im vorliegenden Fall zahlenmässig ungefähr der Erwärmung des Wassers gleichkommt, ist die für die theoretische Berechnung getroffene Voraussetzung, wonach die Temperaturdifferenz des inneren Mediums als sehr viel kleiner gegenüber derjenigen des äusseren Mediums angenommen wurde, hier nicht erfüllt. Die Berechnung des Verhältnisses der übergehenden Wärmemengen nach Beziehung (5) würde darnach schon zum vornherein im Vergleich zu den entsprechenden Messwerten einen zu grossen Einfluss der Geschwindigkeitsverteilung ergeben. Diesem Umstand wird im folgenden insofern Rechnung getragen, als die theoretische Beziehung für Q/Q_0 unter Berücksichtigung dieser sich für den Versuch anders ergebenden Annahme in bezug auf die Temperaturdifferenzen der beiden Medien neu hergeleitet wird. Nach einer durch die Messergebnisse in vollem Umfange bestätigten einfachen Überlegung kann dabei die logarithmische Temperaturdifferenz als unabhängig von der Geschwindigkeitsverteilung vorausgesetzt werden, wodurch sich die Ableitung äusserst einfach gestaltet. Die zwischen den Koordinaten z und $z + dz$ (Bild 1) vom äusseren an das innere Medium abgegebene Wärmemenge wird darnach

$$dQ = Kw^\beta abf \Delta t_{\log} dz$$

Mit dem von früher übernommenen Ansatz für die Geschwindigkeitsverteilung

$$\omega = \omega_1 + K' \frac{z}{h}$$

ergibt sich

$$dQ = K \times \frac{h}{K'} \omega_0^\beta abf \Delta t_{\log} \omega^\beta d\omega$$

Daraus folgt durch Integration

$$Q = Kw_0^\beta abfh \Delta t_{\log} \times \frac{\omega_2^{\beta+1} - \omega_1^{\beta+1}}{(\beta+1)(\omega_2 - \omega_1)}$$

Die analoge Beziehung für die abgegebene Wärmemenge bei angenommener gleichmässiger Geschwindigkeitsverteilung ergibt ganz einfach

$$Q_0 = Kw_0^\beta abfh \Delta t_{\log}$$

Da die Wärmeübergangszahl nach Grimson für eine kleinere Anzahl als 10 Rohrreihen (in der Strömungsrichtung) eine be-

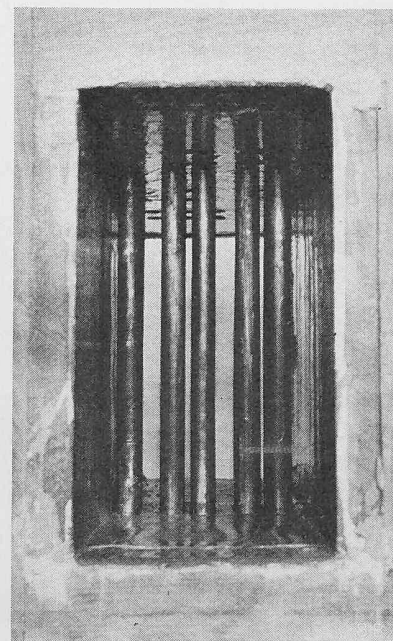


Bild 10. Rohrbündel mit ungenauer Teilung.

stimmte Reduktion erfährt, ergeben die nach den beiden oben stehenden Beziehungen berechneten Wärmemengen Q und Q_0 zu hohe Werte für den Versuch.

In der Folge interessiert jedoch lediglich das Verhältnis dieser beiden Wärmemengen, und da die erwähnte Reduktion sowohl bei gleichmässiger als auch bei ungleichmässiger Geschwindigkeitsverteilung gleich gross vorausgesetzt werden muss⁷⁾, erübrigt es sich, näher darauf einzutreten. Man erhält somit die den vorliegenden Versuchsbedingungen entsprechende Beziehung

$$(13) \quad \frac{Q}{Q_0} = \frac{\omega_2^{\beta+1} - \omega_1^{\beta+1}}{(\beta+1)(\omega_2 - \omega_1)} = \frac{k}{k_0}$$

Die Messresultate sind auf Bild 12 in der üblichen Weise mit der Nusseltschen Zahl, beziehungsweise der Wärmeübergangszahl α — was in diesem Falle bis auf eine Konstante das selbe ist — für das im vorhergehenden Bild 11 gezeigte lineare Geschwindigkeitsprofil (streng gültig nur für $Re_0 = 25000$) und die zugehörige gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung als Funktion der Reynoldsschen Zahl graphisch dargestellt. Aus dieser Darstellung geht hervor, dass kein mit Sicherheit bestimmbarer Einfluss der ungleichmässigen Geschwindigkeitsverteilung festgestellt werden kann. Für einen beim Durchtritt durch das Rohrbündel nach Bild 11 geschätzten mittleren Wert von $\omega_1 = 0,6$, ($\omega_2 = 2 - \omega_1 = 1,4$) ergibt sich nach der Beziehung (13) für k/k_0 bzw. $\alpha/\alpha_0 = 0,995$, womit die Messergebnisse wenigstens für einen bestimmten Fall ($Re_0 = 25000$) als bestätigt betrachtet werden können.

b) Ungenaue Rohrteilung

Die Messresultate sind hier auf Bild 13 ebenfalls mit der Nusseltschen Zahl, beziehungsweise der Wärmeübergangszahl α als Funktion der Reynoldsschen Zahl und mit der dimensionslosen ungenauen Rohrteilung $\Delta_1 = L_1/L_0$ als Parameter dargestellt. Bild 14 zeigt ferner die Gegenüberstellung der Messwerte zu den entsprechenden theoretisch berechneten Werten für $Re_0 = 20000$ und $\delta = d/L_0 = 0,643$ in Funktion der dimensionslosen engeren Rohrteilung. Die ausgezogene Kurve stellt dabei die Messergebnisse und die gestrichelte Kurve die sich aus der Beziehung (12) oder nach Bild 7 ergebenden Berechnungswerte dar. Wie man daraus ersieht, ist auch hier — zumindest für das praktisch in Frage kommende Gebiet relativ kleiner Abweichungen von der genauen Rohrteilung — die Übereinstimmung der theoretischen Resultate mit den sich aus den Messungen ergebenden durchaus befriedigend.

Für grössere Ungenauigkeiten macht sich der Einfluss der für die Berechnung getroffenen vereinfachenden Annahme in bezug auf die Ausbildung der Strömung (vgl. Abschn. 5) natürlich immer stärker bemerkbar. In diesem Zusammenhang muss hier noch darauf hingewiesen werden, dass bei einer gleichzeitigen Ungenauigkeit der Rohrteilung sowohl in der Quer- als auch in der Längsrichtung unbedingt auch ein grösserer störender Einfluss auf den Wärmedurchgang zu erwarten ist. So wurde zum Beispiel an der Ausführung eines Querstrom-Wärmeaustauschers nach Entfernen sämtlicher Abstandhalter eine Verminderung der Wärmeübergangszahl um 27 % gemessen, wobei allerdings die Ungenauigkeit der Rohrteilung in beiden Richtungen als ziemlich gross zu bezeichnen war.

⁷⁾ Ribaud et Brola: «Académie des Sciences», déc. 47.

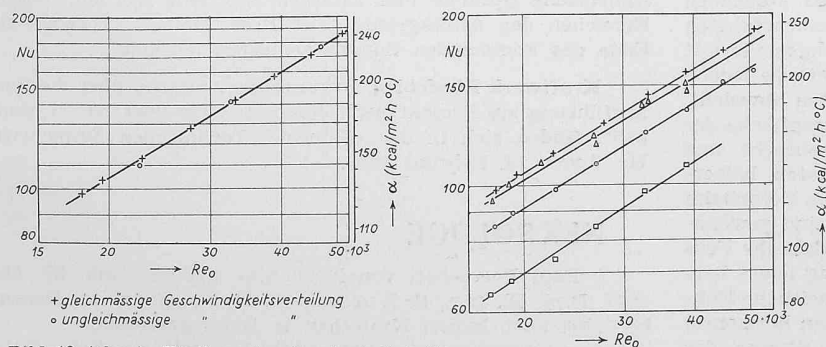


Bild 12 (oben), Einfluss der Geschwindigkeitsverteilung auf die Wärmeübergangszahl.

Bild 13 (rechts), Einfluss der ungenauen Rohrteilung auf die Wärmeübergangszahl.

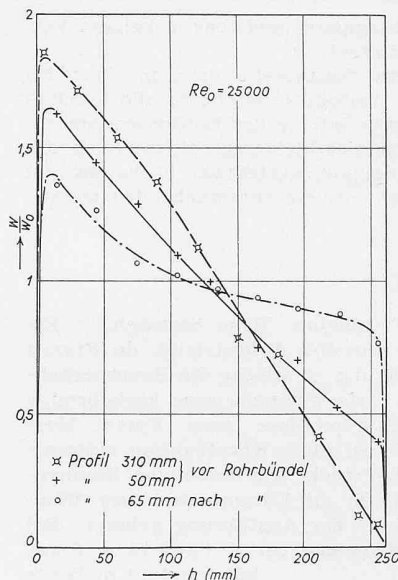


Bild 11. Gemessene prozentuale Geschwindigkeitsverteilung.

beim Durchtritt durch das Rohrbündel nicht ändert und dass die Temperaturänderung des inneren Mediums als sehr klein gegenüber derjenigen des äusseren Mediums bezeichnet werden kann. In allen anderen Fällen ist der Einfluss der Geschwindigkeitsverteilung noch kleiner als angegeben. Es kann zusammenfassend gesagt werden, dass wenn der Konstrukteur die «Totwassergebiete» vermeidet, die Geschwindigkeitsverteilung praktisch keinen Einfluss auf den Wärmedurchgang hat.

Hinsichtlich des Einflusses einer ungenauen Rohrteilung ist die Anordnung im Querstrom allgemein empfindlicher auf Herstellungsgenauigkeit als diejenige im Längsstrom. Kleine Rohrteilungen — im absoluten Sinne aufgefasst — sind dabei natürlich diesem Einfluss wiederum stärker unterworfen als grössere Rohrteilungen. Für das Nichtüberschreiten eines vorgeschriebenen Verlustes an übertragener Wärmemenge muss die Rohrteilung umso genauer eingehalten werden, je kleiner die relative Temperaturänderung des äusseren Mediums ist. Es kann allgemein gesagt werden, dass eine mittlere Ungenauigkeit in der Rohrteilung von etwa 10 % eine Verminderung der übertragenen Wärmemenge von nur wenigen Prozenten zur Folge hat. Bei grösseren Abweichungen steigt dann der Verlust immer stärker an. Daraus ergibt sich, dass es sich meistens nicht lohnt, durch zusätzliche Distanzhalter, gelochte Platten oder ähnliches die mittlere Ungenauigkeit in der Rohrteilung weit unter ungefähr 10 % zu treiben, da die

V. Praktische Schlussfolgerungen

Bei Vermeidung der sogenannten «Totwassergebiete» ist der Einfluss der Geschwindigkeitsverteilung des äusseren Mediums auf den Wärmedurchgang allgemein als sehr klein zu bezeichnen. Er ist zudem bei Längsstrom wiederum kleiner als bei Querstrom. Für eine von unten nach oben vom Wert Null auf den maximalen Wert ansteigende lineare Geschwindigkeitsverteilung ergibt sich eine Verminderung der übertragenen Wärmemenge innerhalb des praktisch vorkommenden Gebietes von bis zu etwa 5 %. Dieser Wert gilt jedoch nur für den Fall, dass sich das Geschwindigkeits-Profil

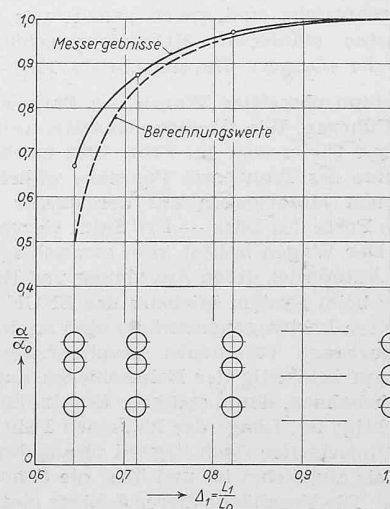


Bild 14. Vergleich zwischen theoretisch und experimentell ermittelten Wärmeübergangszahlen in Funktion der Ungenauigkeit in der Rohrteilung bei Querstrom.

Verbesserung des Wärmeüberganges meistens in keinem Verhältnis mehr zum Aufwand steht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei einigermaßen sorgfältiger Werkstattausführung die tatsächlich übertragene Wärmemenge infolge des Einflusses von ungenauer Rohrteilung und in viel kleinerem Masse auch der ungleichmässigen Geschwindigkeitsverteilung höchstens um ungefähr 5 % niedriger liegt als die entsprechenden theoretischen Werte.

MITTEILUNGEN

Wehrverschlüsse aus Eisenbeton. Beim Stauwehr in Rivières am Tarn stellte die Société d'Electricité de France eine Wehröffnung zur Verfügung, in welche die Bauunternehmung Campenon Bernard, Paris, versuchsweise kreisförmige Schützen- und Dammbalkenverschlüsse nach Patent Mesnager einbaute. Bekanntlich ist diese Konstruktion erstmals in den Jahren 1928/31 nach Projekt des damaligen Bauingenieurs der Buss A.G., Basel, für die Dammbalken des Stauwehres Cize-Bolozon am Ain¹⁾ zur Ausführung gelangt. Bei beiden Wehren sind die Öffnungen bei 17 bzw. 16 m Stau-

höhe und 10 m Weite relativ schmal, so dass sich gewölbte Abschlussselemente, die stark flussabwärts gerichtete Auflagerkräfte ergeben, einbauen lassen. Beim Wehr Cize-Bolozon sind neun Dammbalkenelemente im Gewicht von 12 bis 14 t von 2,45 bis 1,2 m Höhe und rd. 6,6 m Radius erstellt worden, während beim Wehr Rivières diese aus sechs untern Körpern von 1,05 m Höhe und sieben obern, 1,5 Meter hohen Bögen mit 7,25 m Krümmungsradius bestehen.

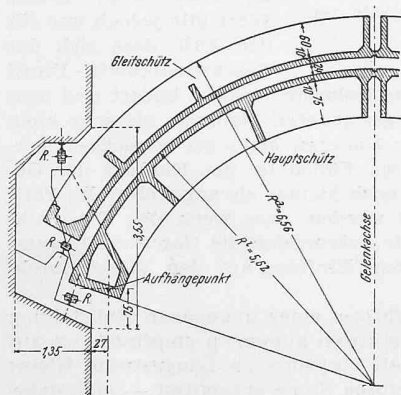


Bild 1. Horizontalschnitt durch die Eisenbetonschütze des Stauwehres Rivières am Tarn.

Die Stegdicke variiert dabei zwischen 20 und 12 cm. Die als Dreigelenkbogen wirkende Eisenbetonschütze (Bild 1) setzt sich aus einer 3,95 m hohen, absenkbaaren Gleitschütze und einer 13,3 m hohen Hauptschütze zusammen. Es sind mit Horizontal- und Vertikalrippen verstärkte Plattenkonstruktionen, deren Dicke von 10 auf 18 cm zunimmt. Der Krümmungsradius der Stauwand beträgt 5,62 m und das Gewicht der Schützteile etwa 30 bzw. 100 t. Bei der Ausbildung der Dichtungen wurden Gummistäbe verwendet. Die Schützenantriebe sind gleich gebaut wie diejenigen der benachbarten stählernen Hakendoppelschützen. Näheres berichtet die «Oesterr. Bauzeitschrift» 1951, Nr. 11.

Autopneubereifter Wagen des Pariser «Métro» mit seitlicher Führung. Wie «Railway Gazette» vom 21. Dez. 1951 und «Le Génie Civil» vom 15. Febr. 1952 melden, führt die Régie Autonome des Transports Parisiens während einiger Monate mit einem Motorwagen auf der ausser Betrieb stehenden Strecke Porte des Lilas — Pré Saint Gervais Versuchsfahrten durch. Der Wagen besitzt zwei zweiachsige Drehgestelle mit je vier Autopneus, deren Anordnung und Betriebsweise jedoch von der beim System Michelin der SNCF üblichen abweicht. Die breiten Lastwagenpneuräder sind an der Aussenfläche der mit Spurkranz versehenen Stahllaufräder angebracht und laufen auf beidseitig der Bahnschienen angeordneten, hölzernen Fahrbahnen, deren späterer Ersatz durch eine Betonbahn beabsichtigt ist. Längs der hölzernen Fahrbahn sind gewöhnliche Bahnschienen flach liegend so angebracht, dass ihr Fuss dem Gleis zugekehrt ist und über die Schotterung leicht hervorsteht. Die Fussfläche dieser Schiene dient als seitliche Führung für die an jedem Drehgestell vorn und hinten horizontal montierten vier Führungspneus. Die scharfen Kurven des Métro liessen die Verwendung der dem System Michelin

eigenen vielachsigen Drehgestelle nicht zu, so dass zur Erzielung der erforderlichen Auflagefläche breite Lastwagenpneus gewählt werden mussten. Obschon dadurch die Reibung vergrössert wurde, wird diese Anordnung doch als Vorteil betrachtet, da sie eine rasche Beschleunigung und Verzögerung ermöglicht, was sich bei nahe aufeinanderfolgenden Stationen besonders günstig auswirkt. Beim Plattwerden eines der Autopneus läuft das mit ihm verbundene Stahlrad auf den Bahnschienen, und der Druckabfall im Autopneu wird dem Wagenführer durch Aufleuchten einer Lampe angezeigt. Der 46 m lange Versuchswagen, ausgerüstet mit zwei 130 PS 600 V Gleichstrommotoren, wiegt 19 t (gegenüber 40 t für Wagen der bisherigen Bauart). Die Anfahrbeschleunigung beträgt 1,2 m/s² und die Verzögerung 1,4 m/s².

Der Zürcher Baukostenindex stand am 1. Februar 1952 auf 202,4 Punkte (1939 = 100). Im Vergleich zum Stand vom Sommer 1950, als der Index auf 179,5 gefallen war, ergibt sich eine Steigerung um 22,9 Punkte oder 12,7 %. Die Rohbaukosten erhöhten sich seit August 1951 um 3,1 %, die Innenausbaukosten um 2,0 % und die übrigen Kosten um 2,9 %. Der neuerliche Anstieg der Baukosten, der nicht das Ausmass der vom Februar bis August 1951 eingetretenen Erhöhung erreichte, ist bei den Erd-, Maurer- und Zimmerarbeiten auf Materialpreisaufschläge zurückzuführen, im Metallgewerbe, bei den Schreiner- und Plattenlegerarbeiten ausserdem auch auf Lohnerhöhungen. Gegenüber der Vorerhebung haben sich die Ausheizung sowie die Jalousieläden und Rolljalousien am stärksten verteuert (um 6,8 bzw. 6,6 %); überdurchschnittliche Erhöhungen zeigen ferner die Schreinerarbeiten um 5,0 %, die Glaser- und Tapezierarbeiten um je 4,7 %, die Gärtnerarbeiten um 4,0 %. Auch Zimmerarbeiten, Werkanschlüsse, Erd-, Maurer- und Kanalarbeiten sowie die Kosten der Zentralheizungsinstallation sind stärker angestiegen als der Gesamtindex. Demgegenüber blieben die Kosten für Kochherd und Boiler sowie für Schlosser- und Gipserarbeiten praktisch unverändert. Die Malerarbeiten, die vom Februar bis August 1951 am stärksten aufgeschlagen hatten, zeigen nun als einzige Gruppe eine Ermässigung um 1,8 %. Der nach den Normen des S. I. A. berechnete Kubikmeterpreis ist seit August 1951 um Fr. 2.58 auf Fr. 105.14 oder um 2,5 % gestiegen.

Persönliches. Dem Ordinarius für Eisenbahn- und Verkehrswesen an der Techn. Hochschule Stuttgart, Prof. Dr. Ing. Dr. rer. pol. h. c. Carl Pirath, wurde von der Techn. Hochschule Hannover die Würde eines Doktor-Ingenieur ehrenhalber verliehen. Er ist vom Zürcher Stadtrat zusammen mit Dr. M. E. Feuchtinger (Ulm) und gleichzeitig wie die Gruppe Dir. Kremer (Hannover) und Prof. Dr. K. Leibbrand (Zürich) mit der Aufstellung eines Generalverkehrsplans für Zürich beauftragt worden. — Dipl. Ing.-Agr. P. Hohl, G. E. P., I. Adjunkt der Abtlg. für Landwirtschaft im Eidg. Volkswirtschaftsdepartement, ist durch die UNO zum Experten für landwirtschaftliche Fragen von Bolivien ernannt worden. — Das Architekturbureau unseres verstorbenen Kollegen H. Ch. Müller (Thalwil) wird von seinen langjährigen Mitarbeitern unter der Firma Jäger & Dindo, Architekten, weitergeführt.

Eidg. Technische Hochschule. Anstelle des aus Gesundheitsrücksichten zurückgetretenen Prof. Dr. G. Zoppi ist Dr. G. Calgari, von Osco (Tessin), zurzeit Direktor der Scuola Magistrale Cantonale in Locarno, als o. Professor für italienische Sprache und Literatur gewählt worden. Wegen Erreichen der Altersgrenze tritt Prof. Dr. Ch. Clerc auf Ende des kommenden Sommersemesters zurück.

Kraftwerk Birsfelden. Ergänzende Angaben über die Bauausführung zur Projektbeschreibung in SBZ 1949, Nr. 37, Seite 515*, finden sich in der «Schweiz. Technischen Zeitschrift» Nr. 7 vom 14. Februar 1952.

NEKROLOGE

† **Paul Perrochet**, von Neuchâtel, geboren am 27. Mai 1871, Dipl. El. Ing., S. I. A. und G. E. P., ist am 11. Dezember 1951 nach kurzer Krankheit in Basel gestorben.

Der Heimgegangene hatte 1890 bis 1894 am Eidg. Polytechnikum studiert und anschliessend bei Prof. E. Meyer assistiert. Nach einer Praxis bei Brown, Boveri in Baden und bei ihrem Vertreter R. Ericson in Moskau trat Perrochet

¹⁾ SBZ 1932, Band 99, Seite 248, 333, Ferner: «Revue générale de l'Electricité» vom 12. und 19. März 1932 (mit Bildern).