

Ueber die Genauigkeit von Dampfmessungen mittels Düsen bei Abnahmeversuchen

Autor(en): **Bosch, M. Ten**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **93/94 (1929)**

Heft 17

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-43440>

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.

INHALT: Ueber die Genauigkeit von Dampfmessungen mittels Düsen bei Abnahmeversuchen. — Eisenbetonkurs des S. I. A. in Lausanne 1929. — Bezirkskrankenhaus Waiblingen, Württemberg. — Ferien- und Sommerhaus Dr. J. Henggeler in Oberallenberg bei Männedorf. — Betriebswissenschaftliches Institut an der E. T. H. — Zur Gründung einer Abteilung für allgemeine Betriebsforschung an der E. T. H. —

Die neue Seebrücke von Lindau am Bodensee. — Mitteilungen: Ueber den elektrischen Eisenbahnbetrieb in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Internationaler Kongress für Photogrammetrie, Zürich 1930. Der Bahnhof von Lens. Weltausstellung Barcelona. Das Dornier-Flugschiff „Do X“. Die Petroleumbohrungen in der Ebene von Orbe. — Korrespondenz. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 94

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 17

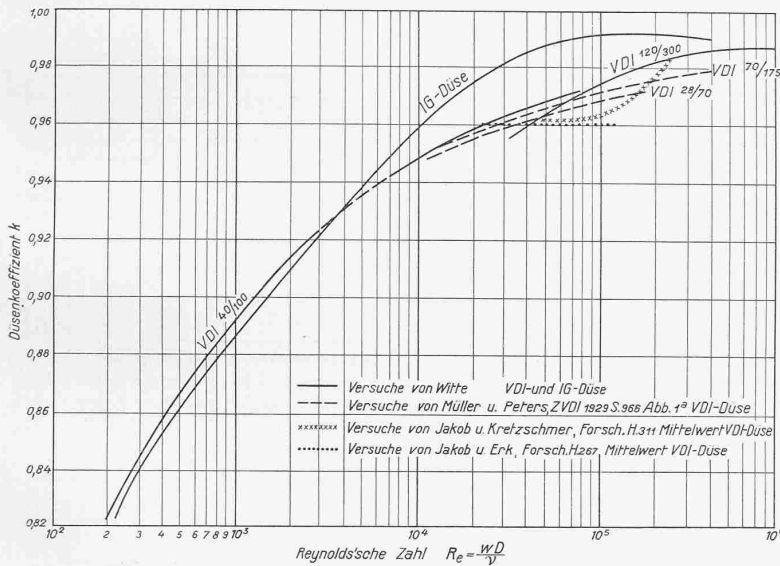


Abb. 1. Durchflusszahlen k der Normaldüsen, zusammengestellt auf Grund der neuesten Versuchsarbeiten.

Bei der normalen Messeinrichtung werden die statischen Drücke unmittelbar vor und nach der Düse gemessen (p_0 und p_m). Der Druckunterschied Δp ist nur ein Mass für die Geschwindigkeitszunahme durch die Düse; die Geschwindigkeit in der Düsenmündung ist noch von der Zuströmungsgeschwindigkeit w_0 im Rohr abhängig. Die für inkompressible Flüssigkeiten geltenden Formeln

$$w = \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}} \text{ und}$$

$$G = \mu f w \gamma = \mu f \sqrt{2g \Delta p \gamma} \text{ kg/s}$$

sind somit nur gültig für Zuströmungsgeschwindigkeit $w_0 = 0$. Die in obiger Formel enthaltene Kontraktionszahl

$$\mu = \frac{\text{engster Strahlquerschnitt}}{\text{Düsenmündungsquerschnitt}}$$

ist immer kleiner als 1. Sobald $w_0 > 0$ wird, ist die Geschwindigkeit durch die Düse grösser und die Gleichung für G geht über in

$$G = k f \sqrt{2g \Delta p \gamma}.$$

Der Düsenkoeffizient

$k = \frac{\text{Tatsächlich durchgehendes Dampfge wicht}}{\text{Theoretische Dampfmenge, ohne Zuflussgeschwindigkeit u. Kontraktion}}$ ist immer grösser als μ und kann auch grösser als 1 werden.

Für elastische Flüssigkeiten lautet die Strömungsgleichung von de St. Venant & Wantzl (Stodola 5. Aufl., S. 34) bei Abwesenheit von Wirbelung und Reibung:

$$\frac{w_m^2 - w_0^2}{2g} = - \int_{p_0}^{p_m} v dp$$

worin $v = 1/\gamma$ das spezifische Volumen ist. Für eine adiabatische Ausdehnung gilt die Zustandsgleichung:

$$p_0 v_0^\kappa = p_m v_m^\kappa = \text{konst.},$$

so dass die theoretische Durchflussmenge

$$G = 3600 f \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{p_m}{p_0} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_m}{p_0} \right)^{\frac{\kappa + 1}{\kappa}} \right] \frac{p_0}{v_0}} \text{ kg/h}$$

wird. Für überhitzten Dampf ist $\kappa = 1,3$.

Ueber die Genauigkeit von Dampfmessungen mittels Düsen bei Abnahmeversuchen.

Von Dipl. Ing M. TEN BOSCH, Prof. an der E. T. H., Zürich.

Bei Gegendruck- und bei Anzapf-Dampfturbinen kann die Dampfmenge nicht als Kondensat gemessen werden, sodass der genauen Messung durch Düsen (oder durch Stauscheiben) eine grosse praktische Bedeutung zukommt. Ueber die Genauigkeit der Düsenmessungen bestehen weit auseinander gehende Ansichten. Während einerseits die Messgenauigkeit so hoch eingeschätzt wird, dass (wie bei Kondensatmessungen) keine Toleranzen zugelassen werden, lehnten z. B. bei der Weltkraftkonferenz in London die Amerikaner die Düsenmessungen bei Abnahmeversuchen als viel zu ungenau vollständig ab. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf genaue Messung durch Düsen; die Messung durch Stauscheiben dagegen wird hier nicht näher untersucht.

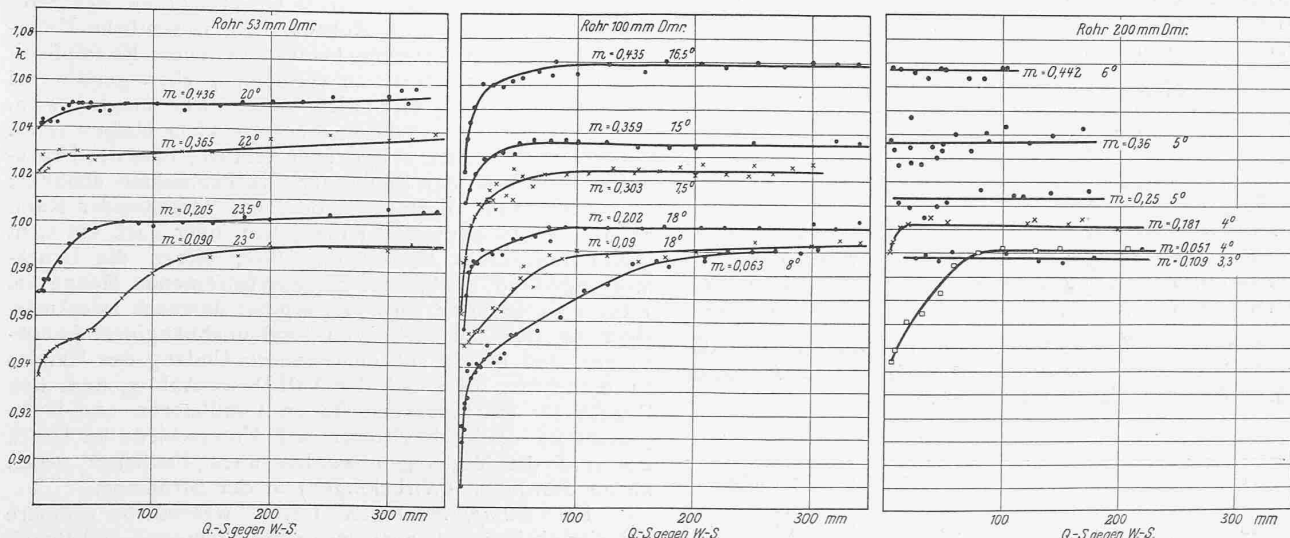


Abb. 2. Ergebnisse der Eichungen von abgerundeten IG-Messscheiben mit Wasser bei verschiedenen Rohrdurchmessern, nach Dr. R. Witte.

Vor kurzem sind zwei neue Versuchsarbeiten über Durchflusszahlen von Düsen erschienen. Die eine von Witte (Z. V. D. I., Band 72, Seite 1493, 20. Nov. 1928) mit Wasser, Dampf und Oel, die andere von Jakob und Kretzschmer (Forsch. Heft 311 des V. D. I.) mit Luft. Dabei zeigten die Durchflusszahlen der VDI-Düsen erhebliche Abweichungen, die allerdings zum Teil darauf zurückzuführen sind, dass Witte die Reynoldschen Zahlen

$$Re = \frac{w D}{\nu}$$

D = Rohrdurchmesser in m, w = mittlere Geschwindigkeit im Rohr in m/s, ν = kinematische Zähigkeit in s/m^2 auf den Rohrdurchmesser D bezog, während Jakob und Kretzschmer den Düsendurchmesser d einsetzten. Beide Kurven müssen beim Vergleich deshalb gegenseitig um den Betrag von $\log D/d$ verschoben werden. Ausserdem ist die von Jakob und Kretzschmer gefundene S-förmige Kurve für den Düsenkoeffizienten k unwahrscheinlich, weil sie sich auf nur einen, weit abgelegenen Messpunkt stützt (vergl. Abb. 20 bis 35 in Forsch. Heft 311).

In der Abb. 1 sind die Düsenkoeffizienten k nach den Messergebnissen von Witte (IG- und VDI-Düsen), von Jakob und Kretzschmer (VDI-Düsen) in dem zuverlässig bestimmten Teil der Mittelwerte, sowie die neuesten Versuche von Müller & Peters (Z. V. D. I. 1929, S. 966) mit Wasser (VDI-Düsen) und die früher (1924) von Jakob & Erk gefundenen Werte mit Luft (VDI-Düsen, Forsch. Heft 267) eingetragen, und zwar alle auf die gleichen Reynoldschen Zahlen $Re = \frac{w D}{\nu}$ bezogen. Die Abbildung zeigt, dass bei diesen mit grosser Sorgfalt durchgeführten Versuchen die Durchflusszahlen der VDI-Düsen innerhalb einer Messgenauigkeit von $\pm 1\%$ miteinander übereinstimmen.

Diese Beobachtungen bestätigen das Aehnlichkeitsgesetz für Strömungen, wonach bei konstantem Wert von $m = \frac{\text{Düsenquerschnitt}}{\text{Rohrquerschnitt}}$ die Durchflusszahlen k nur von der Reynolds'schen Zahl abhängen, solange die Strömungsgeschwindigkeit klein ist gegenüber der Schallgeschwindigkeit.

Aus den Versuchen von Witte folgt weiter, dass für grosse Reynolds'sche Zahlen ($Re > 10^5$) die Koeffizienten k der IG-Düsen einen konstanten Wert annehmen (Abb. 2). Trägt man diese als Funktion von m auf, so bilden sie eine einzige Kurve (Abb. 3) mit einer Streuung von 1% (für 46 verschiedene Düsen), unabhängig vom Rohrdurchmesser. Witte zieht daraus die Schlussfolgerung, dass die IG-Düsen so sicher hergestellt werden können, dass sie im einzelnen keiner Eichung mehr bedürfen.

Materialwerte für Wasserdampf.

p at a	Zähigkeit kg s/m^2			Spez. Volumen m^3/kg			Kin. Zähigkeit s/m^2		
	200°	300°	400°	200°	300°	400°	200°	300°	400°C
	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$	$\times 10^{-6}$				$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$
1	1,66	2,05	2,4	2,25	2,75	3,25	3,7	5,6	7,8
4	1,70	2,10	2,44	0,54	0,665	0,79	0,92	1,4	1,9
10	1,86	2,20	2,5	0,21	0,265	0,315	0,39	0,58	0,8

Aus diesen Zahlen folgt, dass für Wasserdampf die Reynolds'sche Zahl grösser als 10^5 wird, wenn $w d$ grösser als die folgenden Tabellenwerte ist:

p at a	$w d >$ als		
1	3,7 m^2/s	5,6 m^2/s	7,8 m^2/s
4	0,9	1,4	1,9
10	0,4	0,6	0,8

GENAUIGKEIT VON DAMPFMESSUNGEN MITTELS DÜSEN.

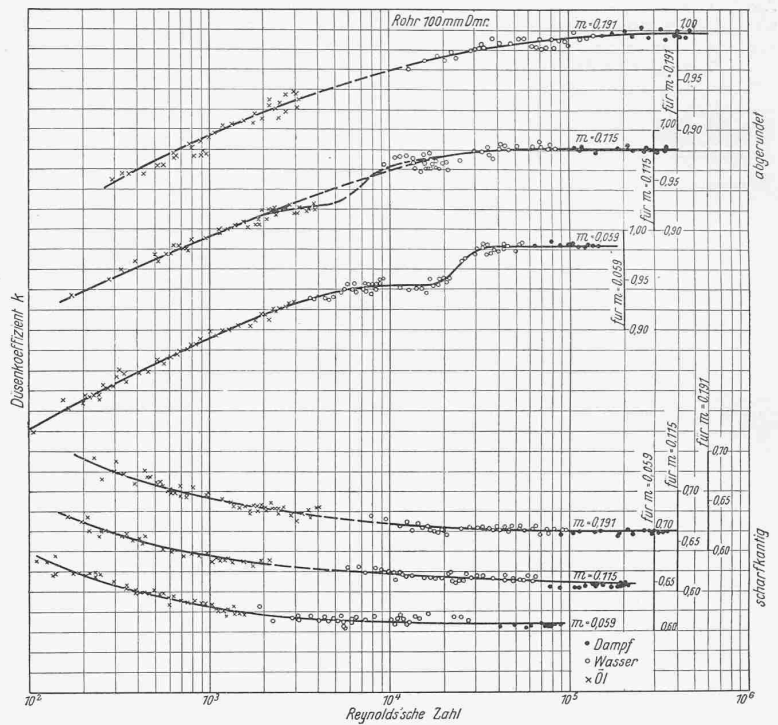


Abb. 3. Durchflusszahlen k der IG-Düsen in Abhängigkeit der Reynolds'schen Zahl nach Versuchen von Dr. R. Witte.

d. h. für Drücke grösser als 4 at a liegen die praktischen Dampfströmungen fast immer oberhalb dem Wert $Re = 10^5$.

Es muss aber immer vor Augen gehalten werden, dass die Koeffizienten k nur für solche Anlagen gelten, die in allen Einzelheiten mit der Versuchsanordnung genau übereinstimmen.

Ausserdem sind die sorgfältigen Eichergebnisse (die immerhin Abweichungen von $\pm 1\%$ aufweisen) mit kaltem Wasser gewonnen, das unter einem konstanten Druck (Niveau) steht, während man beim Abnahmeversuch immer mit schwankenden Dampfdrücken und mit hohen Dampftemperaturen zu rechnen hat.

1. GENAUE MESSUNG DES DRUCKUNTERSCHIEDES AN DER DÜSE BEI DAMPFSTRÖMUNGEN.

Die Messung des Druckunterschiedes bietet bei Wasser oder bei trockenen Gasen fast keine Schwierigkeiten. Dr. Witte hat alle Düsen an zwei um 180° versetzten Stellen angebohrt, sodass der Druckunterschied zweimal gemessen werden kann. Bei grossen Werten von m erhielt er aber schon bei Wasser, trotz Gleichrichtung der Strömung durch vorgelegten Rohrbündeln, wesentliche Unterschiede in den Ablesungen beider Messstellen. Er empfiehlt deshalb grosse m -Werte zu vermeiden, aber gerade bei Abnahmeversuchen wird dies meist nicht möglich sein, weil der Druckverlust durch die Düse klein bleiben muss.

Seine Versuche zeigen aber deutlich, dass der Druckunterschied von der Stelle der Druckentnahme abhängig ist. Vorstehende Dichtungen, oder ein vorstehender Rand an der Anschweisstelle der Flanschen, oder auch ein nicht genau zentrischer Einbau der Düse, stören die Druckmessungen so stark, dass die durchströmende Menge um 1 bis 2% unsicher wird. Es scheint demnach zweckmässiger zu sein, an Stelle von zwei unabhängigen Anbohrungen den Druck auf dem ganzen Umfang des Randes zu entnehmen (wie bei der VDI-Düse, Abb. 5, nach den Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren). Dadurch gleichen sich Unterschiede im Druck aus und die Messungen werden unempfindlicher gegen kleine Störungen (Wirbelungen) in der Strömung.

Bei Dampfmessungen treten wesentlich grössere Schwierigkeiten auf, auch wenn die Strömung vollständig

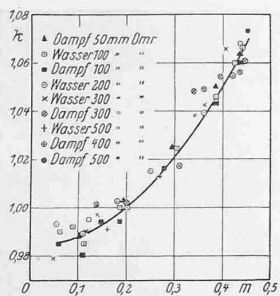


Abb. 4. Durchflusszahlen der abgerundeten IG-Drosselscheibe in Abhängigkeit von m (nach Dr. Witte).

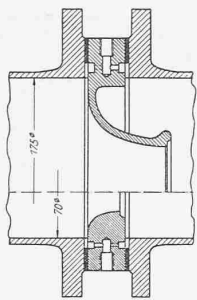


Abb. 5. VDI-Normaldüsen für 70 und 175 mm Rohrdurchmesser.

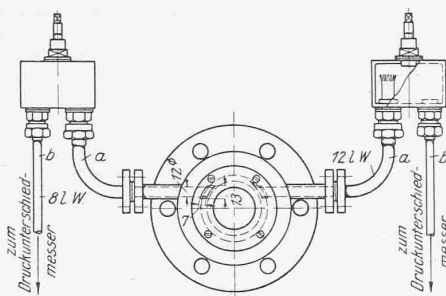
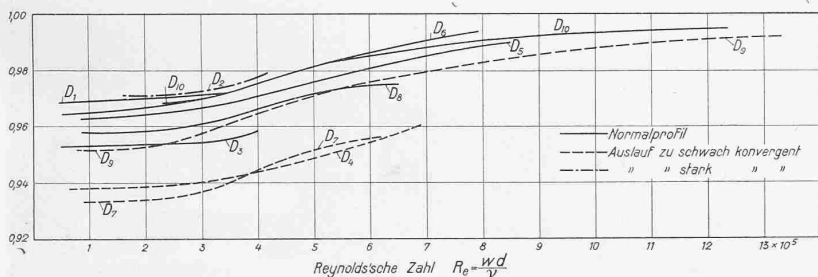
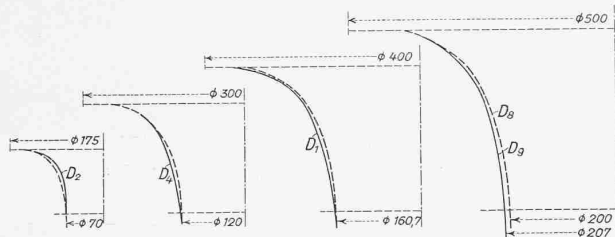


Abb. 6. Ansicht des von Dr. W. Pflaum bei seinen Messungen verwendeten Stauringes. (Nach VDI-Forschungsheft Nr. 298)

Abb. 7. VDI-Düsen, darunter die zugehörigen k nach Jakob und Kretzschmar.

Soll-Profil gestrichelt, ausgeführtes Profil ausgezogen. Die weg gelassenen Düsen 1, 5 und 10 haben nur unwesentliche oder keine Abweichungen vom Soll-Profil.



ruhig ist. Da der Dampf kondensiert, ist die erste Bedingung, dass die Höhe der dadurch gebildeten Wassersäulen in beiden Schenkeln der U-Röhre gleich gross ist. Deshalb werden immer sogen. Niveaufässer (Kondenstöpfe, Abb. 6) angeordnet. Ausserdem ist es wesentlich, dass die Verbindungsleitungen zwischen den Messdüsen und dem Differentialmanometer völlig dicht und völlig frei von Luft sind. Sorgfältiges Durchblasen und Entlüften der Leitungen, sowie Niveaunkontrolle bei vollständig abgestelltem Dampf sind deshalb weitere Vorbedingungen für die zuverlässige Messung des Druckunterschiedes. Aber dennoch können plötzlich, während des Versuches, sich Luftblasen in den Messleitungen festsetzen, die durch einfaches Klopfen oder Rütteln nicht immer entfernt werden können, und die das Messresultat vollständig fälschen. Es wird wohl diese bekannte Erscheinung sein, die die Amerikaner veranlasste, Düsenmessungen bei Abnahmeversuchen abzulehnen.

Diesen für die Zuverlässigkeit der Messung äusserst störenden Faktor hat Dr. Ing. W. Pflaum (Forsch. Heft 298, 1928) systematisch untersucht. Er hat gefunden, dass sowohl die Zuleitungsrohre als auch die Bohrungen an der Düse 12 mm betragen sollten, um das Ansammeln von Luftblasen zu verhindern, die sich namentlich bei scharfen Umlenkungen oder an der Einmündung der Messleitungen festsetzen. Witte verwendete Bohrungen von 2 bis 3 mm Durchmesser, normal betragen sie 5 bis 6 mm.

Ausserdem sollte der obere Rand des Standröhrchens (vergl. Abb. 6) kronenartig ausgebildet werden. Diese Form ermöglicht ein gleichmässigeres Abfliessen des überschüssigen Wassers als ein scharfer Rand. Weiter ist darauf zu achten, dass das Innere des Niveaufässes fettfrei bleibt; schon geringe Spuren (von der Montage oder von der Packung herrührend) können den Abfluss des Wassers und dadurch die Druckmessung stören.

Die weitere Erfahrung muss zeigen, ob durch Beachtung aller dieser Einzelheiten die Störungen durch Luftblasen sicher vermieden werden; die Nichtbeachtung macht das Messresultat sehr unsicher, wenn nicht gar unbrauchbar.

Die unvermeidlichen Schwankungen, die bei Abnahmeversuchen im Dampfdruck auftreten, verursachen ebenfalls Schwankungen in den

beiden Röhren des Differential-Manometers. Das genaue Ablesen des Mittelwertes wird dadurch in erheblicher Weise erschwert, und verschiedene Beobachter werden meist verschiedene Mittelwerte ablesen, die um 1 bis 2 mm und mehr auseinander liegen können. Bei einer mittleren Höhe der Quecksilbersäule von 100 bis 150 mm macht das 1 bis 1,4 und mehr Prozent aus. Da die Dampfmenge mit $\sqrt{\Delta p}$ proportional ist, wird die durchströmende Dampfmenge durch die Druckmessung um 0,5 bis 0,7 und mehr Prozent unsicher.

2. MESSUNG DER DAMPFTEMPERATUR.

Bei Abnahmeversuchen werden meist geeichte Thermometer, seltener Thermoelemente verwendet. Das Buch von Knoblauch & Hencky „Anleitung zu genauen Temperaturmessungen“ enthält die Bedingungen für einen zweckmässigen Einbau des Thermometers. Wenn diese beachtet werden und das Dampfrohr gut isoliert ist, sind bei der Temperaturmessung keine wesentlichen Schwierigkeiten vorhanden, so lange die Dampftemperatur konstant bleibt. Bei Temperaturschwankungen dagegen entstehen Fehler, weil das Thermometer, infolge seines Einbaues in einem verhältnismässig dicken Rohr, den Temperaturschwankungen des Dampfes nur sehr langsam folgt. Auch hierüber liegen einige Messungen vor, die zeigen, dass bei einer Aenderung der Dampftemperatur das Thermometer nach einer halben Stunde noch nicht den stationären Zustand erreicht hat, denn zuerst muss das Eintauchrohr und auch die ganze Dampfleitung die neue Temperatur angenommen haben. Ich schreibe es dieser Trägheit des Thermometers zu, dass z. B. bei den kürzlichen Versuchen von Dr. Witte in Baden Thermometer und Thermoelement, die beide geeicht und an der gleichen Messstelle eingebaut waren, Unterschiede bis zu 4 °C in den Ablesungen aufwiesen, trotzdem die Schwankungen der Dampftemperatur höchstens 10 °C betrugten. Das Thermoelement mit der viel kleinern Masse reagiert viel rascher auf eine Aenderung der Dampftemperatur, als das eingebaute Thermometer. Ein Temperaturmessfehler von 4 °C verursacht einen Fehler in der Messung der Dampfmenge von fast 0,5 %. Bei grösseren Temperaturschwankungen und bei schlecht isolierten Dampfleitungen kann der Fehler wesentlich grösser werden.

Schlussfolgerung zu 2: Wenn man bei Laboratoriums-Versuchen mit kaltem Wasser oder mit kalter Luft und bei genau konstant gehaltenem Druck mit einer Messgenauigkeit von $\pm 1 \%$ rechnet, so wird man bei Betriebsmessungen mit Dampf mit schwankender Spannung und Temperatur, auch wenn die Messungen äusserst sorgfältig und sachgemäss durchgeführt werden, keine grössere Messgenauigkeit als $\pm 2 \%$ erwarten dürfen.

3. EINFLUSS KLEINER ABWEICHUNGEN BEI DER HERSTELLUNG ODER BEIM EINBAU DER DÜSEN.

Wie wesentlich schon *kleine* Abweichungen in der Düsenform die Ausflusszahlen beeinflussen, zeigen die Versuche von Jakob & Kretschmer, die in Abb. 7 zusammengestellt sind, und die Abweichungen bis zu 4 % aufweisen. Bei beiden VDI-Düsen nach Abb. 5 können die Druckentnahmestellen aus konstruktiven Gründen nicht geometrisch ähnlich ausgeführt werden. Diese kleine, scheinbar unbedeutende Abweichung des Aehnlichkeitsgesetzes verursacht schon fast $\frac{1}{2}$ % Abweichung in der Ausflussziffer k (vergl. Abb. 1).

Die Abweichungen bei den kürzlich bei Brown, Boveri & Cie. in Baden durchgeführten Düseneichungen können z. B. schon durch Abweichungen von der IG-Düse erklärt werden. Der Einfluss anderer kleiner Abweichungen ist bis heute noch nicht systematisch untersucht worden, doch sind von Dr. Witte, sowie vom Kaiser-Wilhelm-Institut Versuche zur Klärung dieser Fragen in Angriff genommen.

ZUSAMMENFASSUNG.

1. Das Eichen der Düsen kann mit kaltem Wasser durchgeführt werden.
2. Sollen Normaldüsen ohne besondere Eichung verwendet werden, so ist eine Profilkontrolle mittels Schablone unerlässlich. Auch kleine Abweichungen von der genauen normalen Düsenform dürfen *nicht* zugelassen werden.
3. Düsenbohrungen und Anschlussleitungen für das Differentialmanometer müssen 12 mm Durchmesser haben.
4. Der Druck soll auf dem ganzen Umfang des Düsenrandes entnommen werden.
5. Bei Düsenmessungen muss eine *gerade, glatte* Rohrstrecke von mindestens 10 Rohrdurchmessern vorgeschaltet sein. Ventile unmittelbar vor der geraden Strecke beeinflussen durch Wirbelbildung das Messergebnis.
6. Auch bei Beachtung aller Sorgfalt bei Druck- und Temperaturmessungen wird man bei betriebsmässigen Abnahmeversuchen keine grössere Messgenauigkeit als etwa 2 % erreichen können.

Eisenbetonkurs des S. I. A. in Lausanne 1929.

Da viele der Vortragenden uns ihre Arbeiten zur Veröffentlichung zur Verfügung gestellt haben, können wir uns für heute mit einem summarischen Ueberblick über den Verlauf des Kurses begnügen.

Nachdem am Dienstag Ing. J. Landry, Direktor der Ingenieurschule Lausanne, und Ing. A. Walther, Vizepräsident des S. I. A., den Kurs eröffnet hatten, sprach Ing. Prof. A. Paris über Rohrleitungen aus Eisenbeton. Er behandelte das fabrikmässig hergestellte Rohr, das sich durch gleichmässig gute Qualität auszeichnet, und das an Ort und Stelle betonierte Rohr, dessen Vorteil namentlich darin liegt, dass die vielen Stösse vermieden werden. Wichtig ist in jedem Falle die Verwendung eines Betonmaterials, das namentlich durch gute Zementdosierung und sorgfältige Wahl der Zuschlagstoffe eine grosse Zugfestigkeit aufweist. Ausführlich wurden die Kraftwirkungen angegeben, die der Berechnung zu Grunde liegen, sowie diese selbst.

Am Mittwoch gab Ing. Freyssinet, Paris, ein „Exposé sommaire de quelques idées nouvelles sur le retrait“. Seine äusserst interessanten und originellen Ausführungen waren gefolgt von kinematographischen Aufnahmen über den Bau der Hallen von Orly und des Viaduktes von Plougastel. Sie zeigten, mit welcher äusserster Sorgfalt die Bauinstallationen durchgeführt wurden und wie mit ihnen erst die

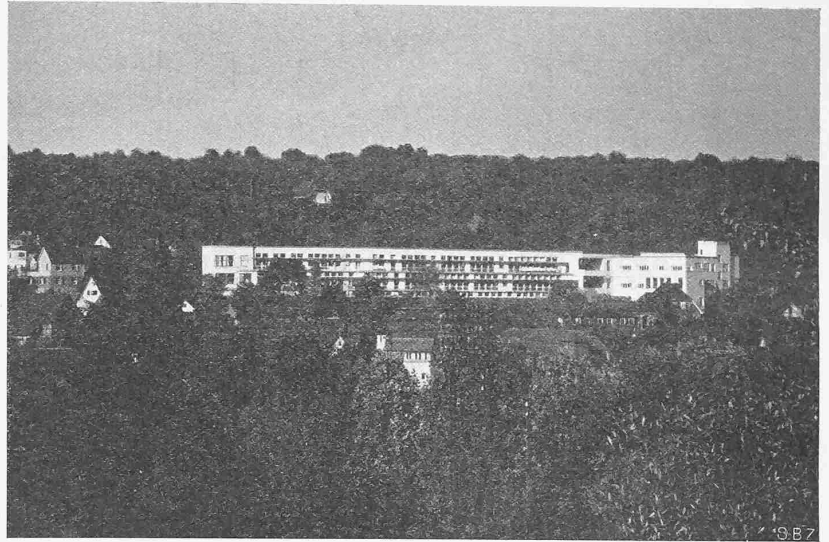


Abb. 1. Das Bezirkskrankenhaus Waiblingen, aus Süden gesehen.

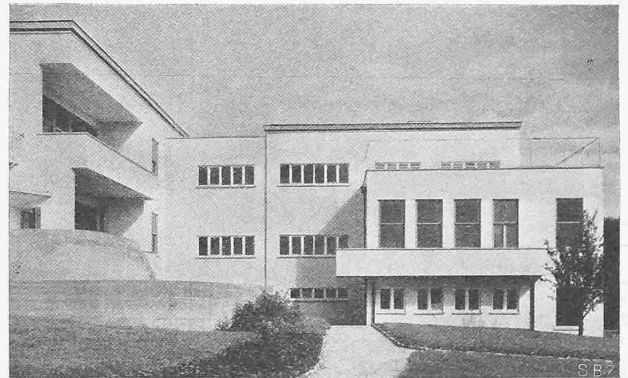


Abb. 2. Westansicht von Operations- und Schwesternbau.

wirtschaftliche Ueberlegenheit des gewählten Systems gesichert werden konnte. — Am Nachmittag entwickelte Prof. Dr. M. Paschoud die Darstellung der elastischen Linie gerader Balken mittels Fourierscher Reihen. Diese erstmals von S. Timoshenko im Jahre 1925 veröffentlichte Methode gestattet, die elastische Linie eines Tragwerkes mit beliebiger Genauigkeit in expliziter Form darzustellen; an einigen Beispielen wird ihre Verwendbarkeit gezeigt.¹⁾ Im zweiten Teil beschäftigte sich der Vortragende mit den Methoden zur Berechnung hochgradig statisch unbestimmter Systeme unter Verwendung geeigneter Grundsysteme. — Ing. A. Staub zeigte an Hand von Lichtbildern die Scheitelhebung der Strassenbrücke über die Murg bei Frauenfeld mittels hydraulischer Pressen, die horizontal im Scheitel angesetzt wurden. — Abends empfing die Universität Lausanne die Kursteilnehmer im Palais de Rumine durch eine Ansprache von Rektor Paschoud; bei dieser Gelegenheit sprach Dr. G. Juvet über „Quelques aspects de la mécanique ondulatoire et de la théorie des quanta“.

Am Donnerstag bildete den Hauptgegenstand das Referat von Ing. Caquot, Professor an der „Ecole supérieure des Mines“ in Paris: „Aperçu général sur la résistance de la matière et son application au béton armé“. Betrachtungen über den Zusammenhang zwischen Druck-, Zug- und Schubfestigkeit, über lokale Ueberanstrengung und über die Wirkung der Eisen im Beton waren die Hauptpunkte seiner tiefgehenden Ausführungen. Er vertrat die Auffassung, dass die heutige Wissenschaft durch ihre analysierende Kleinarbeit auf einem toten Punkt angelangt sei, der nur durch eine umfassendere, gewissermassen intuitive

¹⁾ Vergl. unter Literatur auf S. 135 ffd. Bd. (14. Sept.).