**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung

**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

**Band:** 107/108 (1936)

**Heft:** 13

**Artikel:** Luft-Modellversuche an Drosselklappen für Druckleitungen von Wasserkraftanlagen

**Autor:** Keller, C. / Salzmann, F.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-48273

**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**

INHALT: Luft-Modellversuche an Drosselklappen für Druckleitungen von Wasserkraftanlagen. — Neue Rechenreinigungsmaschinen für Wasserkraftwerke. — Ideenwettbewerb für ein kantonales Verwaltungs-Gebäude mit Zentralbibliothek in Luzern. — Gesellschaft zur Förderung der Forschung auf dem Gebiet der techn. Physik an der E. T. H. — Luftschutz-Verdunkelungsübung in Thun. — Mitteilungen: Projekt für den Neubau der Sustenstrasse. Amerikanischer Zugverkehr unter Sandstürmen. Einsturz eines Kanalisationsgrabens. Telephonanlage am Grossglockner. Seilschwebebahn auf den Mont Revard. Wetterfühligkeit. Mangel an Ingenieuren in Deutschland. Diskussionsversammlung über Bahnfragen. Eidg. Techn. Hochschule. Mailänder Mustermesse. Genfer Automobilsalon. — Zur Bauausschreibung der SBB für die Lorrainehaldelinie mit Aareübergang in Bern. — Wettbewerbe: Dorfplatz in Vernier. — Nekrologe: Eugen Meyer. Alfr. Stern. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Schweizer. Verband für die Materialprüfungen der Technik — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 107 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. 13

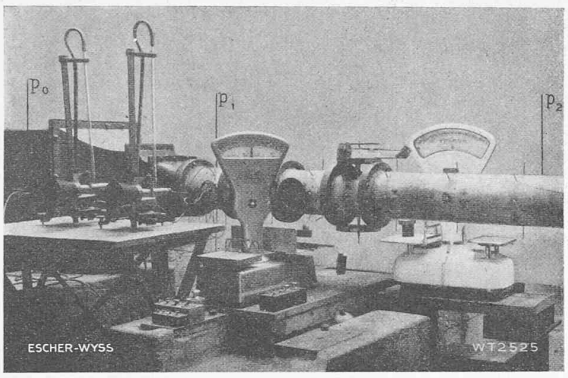


Abb. 1. Ueberblick über die Versuchsanordnung.

# Luft-Modellversuche an Drosselklappen für Druckleitungen von Wasserkraftanlagen.

Von Obering. Dr. C. KELLER und Ing. Dr. F. SALZMANN, Escher-Wyss Maschinenfabriken A.-G., Zürich.

[*Vorbemerkung der Redaktion.* Der Bauingenieur, der eine Hochdruck-Wasserkraftanlage zu entwerfen hat, sieht sich jeweils in die Notwendigkeit versetzt, am Druckstollen-Einlauf besondere Abschlussorgane vorzusehen, die unter Umständen sehr erheblichen Beanspruchungen ausgesetzt werden können. Dazu werden meist um eine senkrecht zur Stollenaxe liegende Achse drehbare Drosselklappen benützt, deren Berechnungsgrundlagen indessen in statischer wie in dynamischer Hinsicht noch recht dürftig sind. Zur Abklärung der auf und in solchen Klappen wirkenden Kräfte sind schon Modellversuche mit Wasser angestellt worden, die aber mit ziemlich hohen Kosten und Gefahren verbunden sind. Es ist daher gerade für den Bauingenieur von höchstem Interesse, von den im Forschungslaboratorium von Escher-Wyss in Zürich entwickelten neuen Möglichkeiten experimenteller Untersuchung von Drosselklappen mittels Anströmens durch Luft statt durch Wasser Kenntnis zu nehmen, durch welche Methode unter ganz beträchtlicher Verminderung der Kosten und Ausschaltung jeglicher Gefahr sehr wertvolle Aufschlüsse gewonnen werden. Wir danken deshalb der EWAG, dass sie uns durch Ueberlassung der Bildstöcke ermöglicht, noch vor Erscheinen ihres bezüglichen Mitteilungsheftes unsern Lesern hiervon Kenntnis zu geben.]

## *I. Allgemeines.*

Als Absperrvorrichtungen für Druckleitungen von Wasser-Kraftanlagen dienen meistens kreisplatten- oder linsenförmige Drosselklappen. Solche Organe werden auch zum Abschliessen und Drosseln von Gasströmen in Rohrleitungen und bei Behältern verwendet. Ueber die von einer strömenden Flüssigkeit auf eine Drosselklappe in jeder Stellung ausgeübten Kräfte sind bis heute nur sehr wenige Angaben bekanntgeworden[1]). Eingehendere Daten sind jedoch für eine zuverlässige Festigkeitsberechnung und beste Materialausnützung vor allem an grossen Drosselklappen für hydraulische Anlagen unerlässlich. Die Messung der Kräfte und Momente an ausgeführten hydraulischen Drosselklappen in Betriebszuständen[1]) ist nicht einfach, kostspielig und liefert im wesentlichen nur das an der Drehvorrichtung am Ende der Welle angreifende Drehmoment; die für den Konstrukteur wichtige Druckverteilung über die Klappe selbst und die Einzelmomente auf die Klappenhälften sind bei Betrieb mit Wasser sehr schwer zu messen. Die Umständlichkeit dieser Versuchsdurchführung ist wohl der hauptsächlichste Grund für das Fehlen von einschlägigen Forschungsarbeiten.

Um tiefer als bisher in die einer theoretischen Berechnung unzugänglichen Strömungsvorgänge einzudringen, sind in den Laboratorien von Escher-Wyss die nachfolgend beschriebenen neuartigen Versuche durchgeführt worden. Im Gegensatz zur bisherigen allgemeinen Praxis wurde an Stelle von Wasser für die vorliegenden Zwecke durchgehend Luft als Strömungsmittel verwendet[2]). Die mit Luft erhaltenen Ergebnisse lassen sich nämlich gut auf Wasser übertragen, wenn nur dafür gesorgt wird, dass im Modellversuch die Luftgeschwindigkeit im Vergleich zur Schallgeschwindigkeit, d. h. die Mach'sche Zahl, klein gehalten wird. Dann kann die Luftströmung mit genügender Näherung ebenfalls als inkompressibel behandelt werden. Erst bei hohen Geschwindigkeiten macht sich der Einfluss der Kompressibilität bemerkbar. So hat deren Vernachlässigung bei der Berechnung des Staudruckes normaler Luft bei rd. 68 m/sec Geschwindigkeit einen Fehler von erst 1 %, bei ca. 96 m/sec von erst 2 % zur Folge. Eine Druckänderung atmosphärischer Luft von 150 mm WS bewirkt erst eine Volumenänderung von einem Prozent. Für viele Messzwecke, wie auch für die vorliegenden, kann demnach die Luft ruhig als volumenbeständig angesehen werden.

Um die Ergebnisse der Modellversuche auf die Grossausführung übertragen zu können, ist ferner die Bedingung geometrischer Aehnlichkeit von Modell und Ausführung zu erfüllen. Dies gilt insbesondere für die nähere Umgebung der Klappe (Rohrdurchmesser, Zulauf, Krümmer usw.). Von der theoretischen Forderung gleicher Reynolds'schen Zahlen kann im vorliegenden Falle, wo es sich nicht um reine Reibungserscheinungen handelt, ohne nennenswerte Fehler abgewichen werden, da bei nicht anliegender Strömung und Wirbelbildungen nach den bisherigen Erfahrungen der experimentellen Strömungslehre die Widerstände und Drücke in weiten Grenzen praktisch unabhängig von der Reynolds'schen Zahl sind.

Allerdings können an der Klappenoberfläche, wie die hier zu besprechenden Messungen zeigen, insbesondere an der Hinterseite gegenüber dem Gegendruck so grosse Unterdrücke auftreten, dass bei der Wasserströmung der Dampfdruck des Wassers stellenweise erreicht wird. Von diesem Moment an tritt in Wirklichkeit Kavitation (Hohlraumbildung) auf, eine Erscheinung, die durch den Luftversuch nicht erfasst werden kann. Beim Wasserbetrieb kann der Druck nicht unter den Dampfdruck sinken, wohl aber beim Luftbetrieb. Im Betriebsfalle mit Wasser werden daher die Druckunterschiede und damit die resultierenden Kräfte und Momente bei Auftreten von Kavitation geringer sein, als man sie aus dem Luftversuch errechnet.

Bei Beachtung dieser Umstände bietet der Ersatz der Wasserströmung durch den Luftversuch erhebliche Vorteile: Geringe Versuchskosten, rasches und übersichtliches Messverfahren infolge kleiner Modelle (Holz), kleine Antriebsleistungen der Versuchseinrichtung, Möglichkeit genauer Messung von Drücken und Geschwindigkeiten an den zu untersuchenden Modellen durch passende Druckanbohrungen an beliebigen Stellen. Im Folgenden werden von den ausgedehnten Untersuchungen von Escher-Wyss ausführliche Messresultate an einer einzelnen Klappe, sowie an zwei kombinierten Drosselklappen besprochen, wie sie ältere Versuche mit Wasser nicht zu liefern vermochten.

## *II. Die Versuchseinrichtungen.*

Abb. 1 gibt einen Ueberblick der Versuchsanordnung. Von links tritt, von einem Gebläse geliefert, Luft unter Ueberdruck von 50 bis 100 mm WS in einen Beruhigungsbehälter mit Gleichrichter. Ein düsenförmiger Einlauf führt weiter zum eigentlichen Rohrquerschnitt ($D = 194$ mm). Am Beginn der Modellrohrleitung im Abstand rd. 4 $D$ von der Drosselklappe sind am Umfang Druckmesstellen ringsum gleichmässig verteilt, an denen der Druck $p_1$ (kg/m² = mm WS) vor der Klappe gemessen wird. Eine Rückwirkung der Klappe ist bis zur Stelle des Eintrittsdruckes $p_1$ nicht mehr spürbar. Der Gegendruck nach der Klappe sei mit $p_2$ bezeichnet, mit $p_0$ der zur Verfügung stehende Gesamtdruck $p_0 = p_1 + \varrho c_1^2/2$ [$\varrho = \gamma/g$ = Dichte (kg sec² m⁻⁴) des Strömungsmediums, $c_1$ = Geschwindigkeit (m/sec)] entsprechend dem Gefälle $H$ in m ($\gamma H = p_0 - p_2$). $p_0$ wurde vor dem Eintritt mittels Pitot-Rohr bestimmt. Die mittlere Geschwindigkeit im Rohr folgt unter Vernachlässigung kleiner Reibungsverluste im Einlauf einfach zu

$$c_1 = \sqrt{\frac{p_0 - p_1}{\varrho/2}} = \sqrt{2\,g\,H}$$

Im Abstand 1,25 $D$ von der Achse der ersten Drosselklappe kann eine zweite eingebaut werden. Dann schliesst sich eine

[1]) Eine Zusammenstellung der bisher veröffentlichten Drehmoment-Messungen an Wasserklappen und einige grundsätzliche Erkenntnisse gibt Ing. *L. Du Bois:* «A propos des vannes-papillon», Bulletin Technique de la Suisse Romande, 1934, S. 55, 61.

[2]) Ein analoger Ersatz von Dampf durch Luft und die sich daraus ergebenden versuchstechnischen Vorteile zur Behandlung von Strömungs-Problemen der Dampftechnik wurden bereits früher behandelt. Vergl. Prof. Dr. *J. Ackeret,* Dr. *C. Keller,* Dr. *F. Salzmann:* «Die Verwendung von Luft als Untersuchungsmittel für Probleme des Dampfturbinenbaues», «S B Z», 1934, Bd. 104, S. 259*, 275*, 292*.

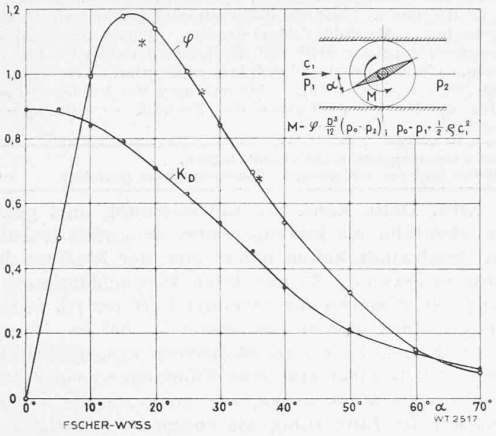


Abb. 4. Drehmoment und Durchflussbeiwert für eine einzelne Drosselklappe.

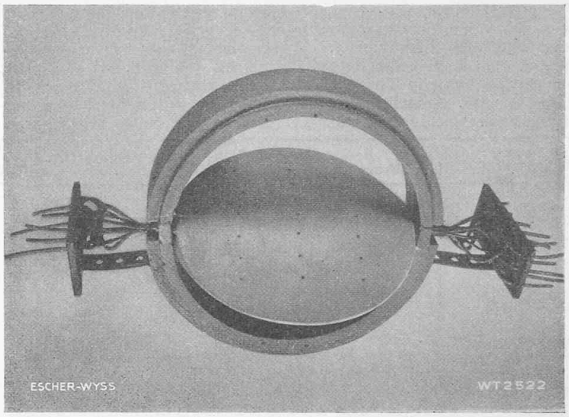


Abb. 2. Modellklappe mit Druckmessanschlüssen.

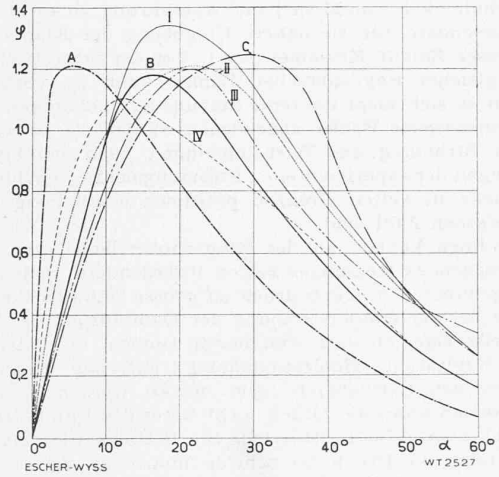


Abb. 5. Drehmomentmessungen an Drosselklappen.
I D = 1,99 m, II D = 0,21 m, IV D = 0,203 m Amerikanische Messungen mit Wasser;
III D = 1,2 m Französische Messung (Neyret-Beylier) mit Wasser (Drehaxe zur Symmetrieaxe exzentrisch);
A Versuch Escher Wyss D = 0,194 m (dünne Platte) mit Luft;
B Versuch Escher Wyss D = 0,194 m (grösste Dicke 0,155 D) mit Luft;
C Versuch Escher Wyss D = 0,35 m (grösste Dicke 0,257 D) mit Wasser.

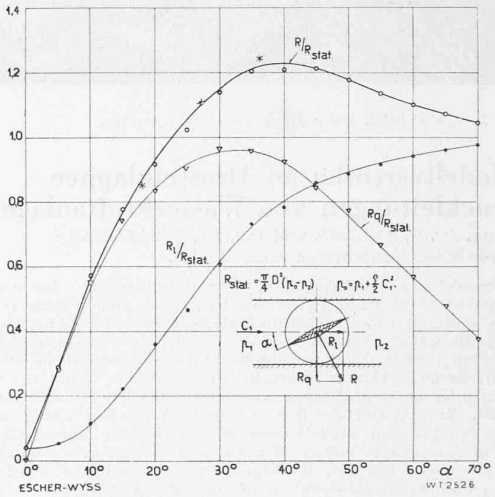


Abb. 6. Längs- und Querkomponente ($R_t$, $R_q$), sowie resultierende Klappenreaktion (R).

Rohrstrecke von 8 $D$ Länge an, nach welcher die Luft ins Freie austritt. Der Gegendruck $p_2$ in unserer Anordnung ist also der Atmosphärendruck. Längs der Leitung sind weitere Druckanschlüsse zur Kontrolle des Druckverlaufes mittels Präzisions-Manometern angebracht. Die Anordnung entspricht dem Falle der in geschlossenen Druckleitungen eingebauten Drosselklappen.

Zur Messung der durch die Luftkräfte auf die Klappe ausgeübten resultierenden Drehmomente $M$ an der Klappenwelle wurde diese in Kugellagern gehalten. Ueber Scheiben am einen Wellenende führen dünne Drähte zu den Waagschalen, auf denen durch Ausbalancieren mit Gewichten die Umfangskräfte direkt gemessen werden. Die Stellung der Klappe kann an der Gradeinteilung der Scheibe abgelesen werden. — Zur Bestimmung der Druckverteilung auf der Klappenoberfläche wurden dünne Röhrchen in den Plattenkörper eingelassen, die an der Oberfläche endigen. Längs der Klappenwelle wurden die Röhrchen gemäss Abb. 2 nach aussen geführt für den Anschluss an die Präzisions-Manometer. — Für die direkte Ermittlung der Gesamtreaktion auf die Klappe konnte die Welle nach Entfernung der Lagerung im Rohr beidseitig fest in eine sogenannte Blattfeder-Komponentenwaage eingespannt werden (vergl. Abb. 3). Bei kleinem Spiel an der Rohrdurchdringung der Welle können durch Drehung des Waagekörpers beliebige Kraftkomponenten unmittelbar abgewogen werden.

### *III. Versuchsresultate.*

Der Querschnitt einer untersuchten Einzelklappe ist aus den Abb. 7, 8, 9 ersichtlich.

a) *Die Drehmomente M.* Wie das auf die Klappe wirkende resultierende hydraulische Drehmoment $M$ (in der Schliessrichtung) vom Winkel $\alpha$ zwischen Klappenebene und Rohraxe abhängt, zeigt Abb. 4. Nach dem Vorschlag von Schnyder[3]) ist dabei das Drehmoment in der anschaulichen Form

$$M = \varphi\, M_{\text{stat}}$$

gegeben, wobei $M_{\text{stat}}$ das in der geschlossenen Stellung auf eine Klappen*hälfte* wirkende Drehmoment (in mkg) bedeutet:

$$M_{\text{stat}} = \frac{D^3}{12}\,(p_0 - p_2) = \frac{D^3}{12}\,\gamma H$$

Wird im Versuche das Drehmoment $M$ durch direkte Messung ermittelt, so errechnet sich umgekehrt der dimensionslose Beiwert $\varphi$ zu

$$\varphi = \frac{12\,M}{D^3\,(p_0 - p_2)} = \frac{12\,M}{D^3\,\gamma H}$$

Bei $\alpha = 16^0$ erreicht das Drehmoment seinen Höchstwert $\varphi_{\max} = 1{,}18$. Bei halbgeschlossener Stellung ($\alpha = 45^0$) beträgt $\varphi$ nur noch 0,43. Die Kurve erreicht bei $\alpha = 90^0$ den Wert Null.

In Abb. 5 sind die bisher bekannt gewordenen summarischen Drehmomentmessungen mit Wasser, wie Du Bois[1]) sie zusammenstellte, mit den Luft-Modellmessungen von Escher-Wyss (Kurve A und B) verglichen. Die Lage dieser Kurven bestätigt die prinzipielle Eignung des Luftversuches. Die Abweichungen der einzelnen Kurven sind lediglich durch die verschiedene Klappenform und den Einbau bestimmt. Ein Vergleich der Kurven A, B, C lehrt, dass die Dicke keinen wesentlichen Einfluss auf das resultierende maximale Drehmoment hat. Bei dünnen Platten tritt $M_{\max}$ bei kleineren Schliesswinkeln auf, als bei verhältnismässig dicken.

b) *Die Durchflussbeiwerte.* Die im Rohr eingebaute Klappe bildet ein Hindernis für die durchströmende Flüssigkeit. Zur Bestimmung der durchfliessenden Menge $Q_{\text{eff}}$ bei dem zur Verfügung stehenden Gesamtgefälle $H$ dient der Durchflussbeiwert

$$K_D = \frac{Q_{\text{eff}}}{Q_{\text{theor}}} = \frac{c_1}{\sqrt{2\,g\,H}} = \frac{c_1}{\sqrt{\dfrac{p_0 - p_2}{\varrho/2}}}$$

[3]) Dr. Ing. *O. Schnyder:* «Ueber Drosselklappen», Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1935. H. 25, S. 266.

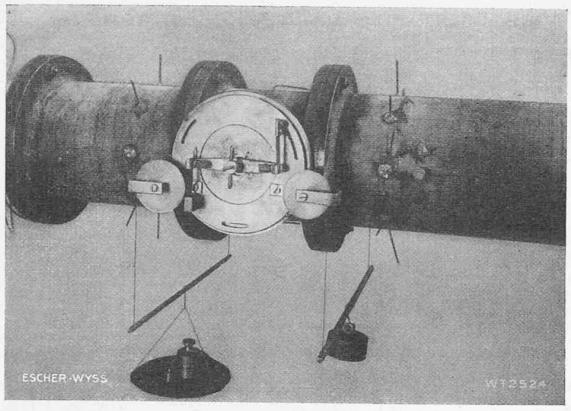


Abb. 3. Komponentenwaage zur Bestimmung der Reaktionen auf die Klappe.

## Luft-Modellversuche an Drosselklappen

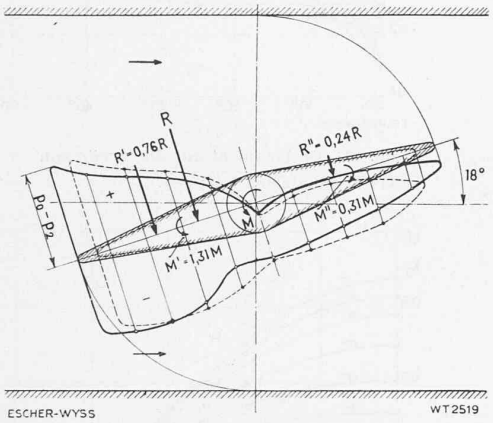


Abb. 7. Gemessener Druckverlauf an einer Drosselklappe, $\alpha = 18^0$.

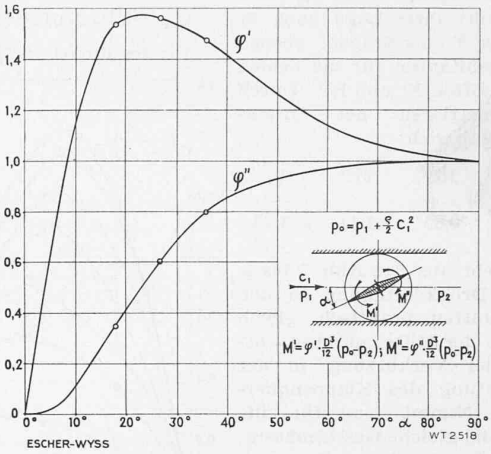


Abb. 10. Die auf die beiden Klappenhälften wirkenden Teilmomente $M' = \varphi' \cdot M_{stat}$ und $M'' = \varphi'' \cdot M_{stat}$.

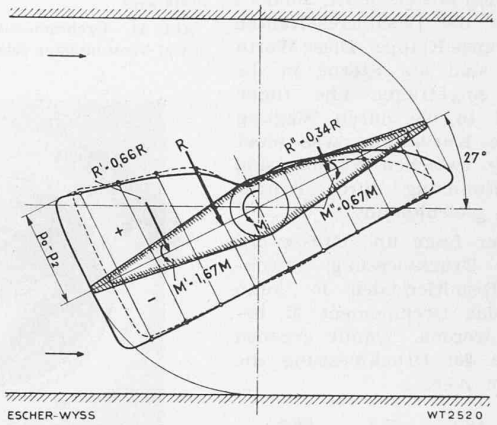


Abb. 8. Gemessener Druckverlauf an einer Drosselklappe, $\alpha = 27^0$.

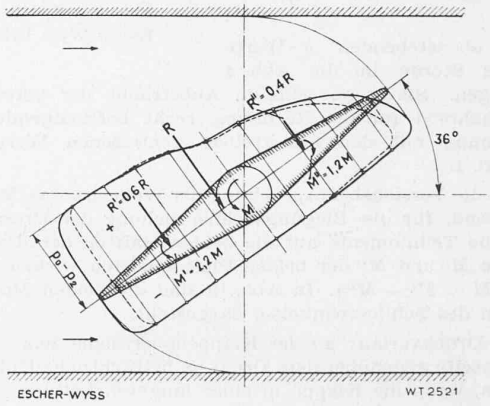


Abb. 9. Gemessener Druckverlauf an einer Drosselklappe, $\alpha = 36^0$.

In der Druckdifferenz $p_0 - p_2$ ist auch der kleine Druckabfall infolge Rohrreibung eingeschlossen. $K_D$ bezieht sich also streng genommen auf Klappe plus eine der Versuchsanordnung entsprechende Zu- und Abflussrohrstrecke.

Der Wert $K_D$ ist ebenfalls in Abb. 4 aufgetragen. Die eingetragene Kurve beginnt bei $K_D = 0{,}885$. Ohne Einbeziehung der Rohrreibung ergäbe sich für die Klappe allein in geöffneter Stellung $K_{D_0} = 0{,}975$. Bei grösseren $K_D$-Werten überwiegt der durch die Klappe erzeugte Druckabfall, und $K_D$ wird praktisch gleich $K_{D_0}$. $K_{D_0}$ ist mit Hilfe der direkten Kraftmessungen gemäss folgendem Abschnitt auf die Klappe gewonnen worden.

c) *Die auf die Klappe wirkenden Kraftresultanten:* In der auf Abb. 3 gezeigten Stellung misst die Waage die Längskomponenten $R_l$ der resultierenden Kraft $R$ auf die Klappe. Durch Drehen des Waagekörpers um $90^0$ erhält man $R_q$. Die Kräfte werden auf dünne Drähte übertragen, die über leicht bewegliche Rollen zum Gegengewicht und zur Waagschale führen.

In Abb. 6 sind sowohl die gemessenen Komponenten $R_l$ und $R_q$ wie auch die resultierende $R$ in ihrem Verhältnis zur statischen Resultante $R_{stat} = (p_0 - p_2)\, D^2\pi/4$ für verschiedene Schliesswinkel $\alpha$ der Klappe aufgetragen. Bei geschlossener Klappe ist $\frac{R_l}{R_{stat}} = 1$ und $\frac{R_q}{R_{stat}} = 0$. $\frac{R_q}{R_{stat}}$ beginnt mit dem Werte Null bei $\alpha = 0^0$, durchläuft dann ein Maximum und wird bei $\alpha = 90^0$ wieder Null. $\frac{R_l}{R_{stat}}$ hingegen beginnt bei $\alpha = 0^0$ bereits mit einem positiven Wert entsprechend dem Widerstand der Klappe und nähert sich mit wachsendem $\alpha$ dem Werte 1. Die Gesamtresultante durchläuft bei etwa $\alpha = 40^0$ ihren Grösstwert. $R_l$ gibt direkt den durch den Klappenkörper erzeugten Widerstand in der Leitung. Gemäss dem Impulssatz entspricht diesem Widerstand ein Druckverlust von $\Delta p = \frac{R_l}{D^2\pi/4} = \gamma\, \Delta H$.

d) *Die Druckverteilung auf der Klappe.* Die Druckverteilung an der Klappenoberfläche wurde für die drei Schliesswinkel $\alpha = 18^0$, $\alpha = 27^0$, $\alpha = 36^0$ aufgenommen, und zwar sowohl in der Mittelebene wie auch in zwei um 46 mm von der Mitte beidseitig verschobenen Ebenen (vergl. Abb. 2). Die zu erwartende Symmetrie der Druckverteilung in den beiden Seitenebenen wurde durch die Messung bestätigt. In den Abb. 7, 8, 9 sind die gemessenen Ueber- bezw. Unterdrücke gegenüber den Gegendruck $p_2$ von der Längsaxe des Querschnittes aus aufgetragen, positiv nach oben, negativ nach unten.

Die ausgezogenen Kurven geben den Druckverlauf für den Mittelschnitt, die gestrichelten jenen in den Seitenschnitten. Bei kleinerem Winkel $\alpha$ liegt die Strömung an der Rückseite offenbar noch teilweise an (Druckanstieg), bei grösserem reisst sie am Plattenrande ab, sodass dann im Totwasserraum hinter der Klappe der Druck praktisch konstant ist.

Die Resultante $R$ für den Mittelschnitt steht praktisch normal zur Längsaxe des Querschnittes und wird in einem gewissen Masstab durch den Flächeninhalt der ausgezogenen Kurve dargestellt. Eine kleine vernachlässigbare Komponente in der Längsrichtung ergäbe sich aus den Druckkräften infolge der endlichen Dicke der Klappe, anderseits aber auch infolge der von der Flüssigkeit auf die Klappe übertragenen Schubspannungen (Reibung).

Die Resultante $R$ ist für den Mittelschnitt ihrer Lage nach in Abb. 7 bis 9 eingetragen, ebenso die Teilresultanten für die beiden Klappenhälften $R'$ und $R''$. Durch Ausplanimetrieren der Druckfläche ergab sich:

| $\alpha$ | 18° | 27° | 36° |
|---|---|---|---|
| $R/R_{stat}$ | 0,85 | 1,11 | 1,25 |

Man sieht aus den Abb. 7 bis 9, dass die Druckverteilung in den Seitenschnitten praktisch gleich ist wie in der Mitte, nur mit entsprechender Verkürzung in der Längsrichtung des Klappenquerschnittes. Nimmt man für alle Schnitte die gleiche Gesetzmässigkeit für die Druckverteilung an, so gelten die obenstehenden Beziehungen zwischen $R/R_{stat}$ nicht nur für den Mittelschnitt, sondern auch für die Gesamtresultanten auf die ganze Klappe. Diese Werte $R/R_{stat}$ sind als Sterne in die Abb. 6 eingetragen und fügen sich gut in die durch Wägung erhaltene Kurve ein, was einer Kontrolle zwischen Wägung und Kraftbestimmung durch Druckmessung gleichkommt.

Aus der Lage und Grösse der aus der Druckmessung gewonnenen Resultierenden $R$ kann wieder das Drehmoment $M$ berechnet werden. Damit ergeben sich aus der Druckmessung die folgenden Werte:

| $\alpha$ | 18° | 27° | 36° |
|---|---|---|---|
| $\varphi$ | 1,09 | 0,94 | 0,67 |

Die obenstehenden $\varphi$-Werte sind als Sterne in die Abb. 4 eingetragen. Sie zeigen eine in Anbetracht der vereinfachenden Annahmen für die Rechnung recht befriedigende Uebereinstimmung mit den unmittelbar gemessenen Werten nach Abschnitt 1.

Für die Torsionsbeanspruchung der Welle ist das Moment $M$ massgebend, für die Biegungsbeanspruchung der Drosselklappe jedoch die Teilmomente auf die beiden Hälften der Klappe. Die Momente $M'$ und $M''$ der beiden Plattenhälften wirken sich entgegen ($M = M' - M''$). In Abb. 10 sind die beiden Momente in Funktion des Schliesswinkels $\alpha$ dargestellt.

Der Druckverlauf an der Klappenoberfläche zeigt, dass auf der Rückseite gegenüber dem Druck $p_2$ beträchtliche Unterdrücke auftreten, wenn die Klappe in einer längeren Leitung eingebaut ist. Sie betragen in den drei Fällen maximal 95 %, 70 % und 60 % des Druckgefälles $p_0 - p_2$. Im wirklichen Betrieb mit Wasser ist bei grösseren Druckgefällen und verhältnismässig kleinem Gegendruck also leicht möglich, dass auf der Rückseite der Klappe während des Schliessens der Dampfdruck des Wassers erreicht wird, sodass sich der aus den Abb. 7 bis 9 zu erwartende Unterdruck gar nicht voll ausbilden kann. In diesem Falle wird also weder die Resultante noch das Drehmoment den vollen Wert annehmen, die Beanspruchung der Klappe wird also kleiner sein als die auf Grund des Luftversuches ermittelte.

e) *Kombination zweier Klappen.* In zahlreichen Versuchen sind im Strömungslaboratorium von Escher-Wyss verschiedene Klappenanordnungen untersucht worden. Messresultate an zwei hintereinandergeschalteten Klappen mit parallelen Wellen, wie sie aus Sicherheitsgründen oft vorgesehen werden, sind in den Abb. 11 bis 13 gezeigt. Der Drehwinkel der ersten Klappe ist $\alpha_1$, derjenige der zweiten $\alpha_2$ und die Momente $M_1 = \varphi_1 M_{stat}$, bezw. $M_2 = \varphi_2 M_{stat}$. Der Druck vor der ersten Klappe ist $p_1$, nach der zweiten $p_2$, wieder unter Einschluss des kleinen Druckabfalles in der Leitung. Die maximale Beanspruchung jeder Klappe ist nicht geringer als im Falle der Einzelklappe; die $\varphi_{max}$-Werte

## Luft-Modellversuche an Drosselklappen für Druckleitungen.

Die den Kurven in Abb. 11 bis 13 angeschriebenen Winkel sind $\alpha_1$, die Abszissen sind Winkel $\alpha_2$.

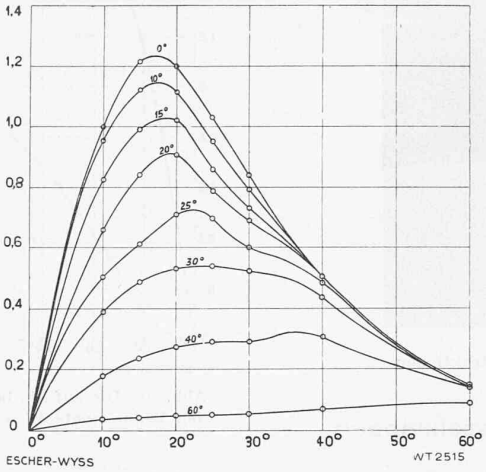


Abb. 11. Drehmoment auf die *erste* von zwei kombinierten Klappen.

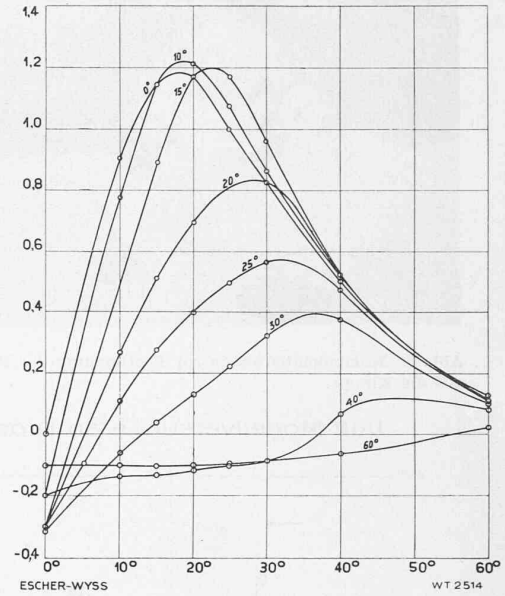


Abb. 12. Drehmoment auf die *zweite* von zwei kombinierten Klappen.

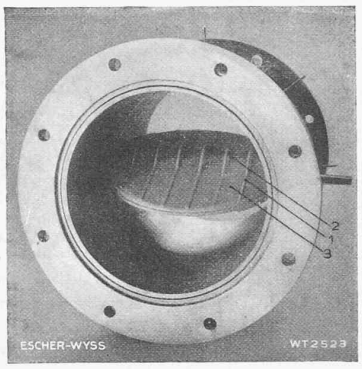


Abb. 14. Modell einer neuen Escher Wyss Drosselklappe.

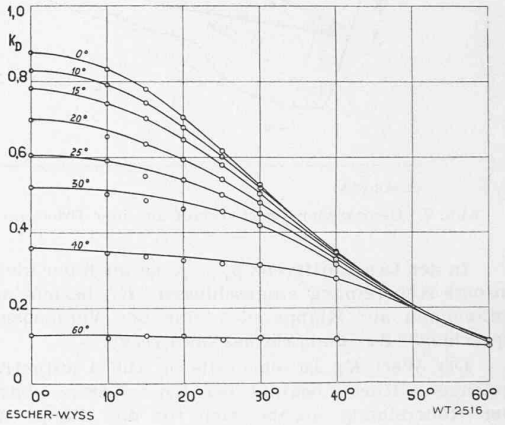


Abb. 13. Durchflussbeiwert für zwei kombinierte Klappen.

sind im Gegenteil um einige Prozente grösser und treten etwa in den gleichen Stellungen auf. Man erkennt die gegenseitige Beeinflussung in den negativen Drehmomenten, die in der geöffneten Stellung auf die zweite Klappe ausgeübt werden, wenn die erste etwas verdreht wird. Die auf den Gesamtdruckabfall $p_0 - p_2$ über beide Klappen bezogenen Durchflussbeiwerte $K_D$ ergeben sich aus Abb. 13.

### *IV. Konstruktives.*

Die vertiefte Kenntnis der in jedem Belastungsfalle auf die Klappe wirkenden Kräfte ermöglicht nun auch eine zweckmässigere Bauart von Drosselklappen. Das Modell einer neuen «Escher-Wyss»-Bauart, wofür Schutzrechte angemeldet sind, zeigt Abb. 14. Der ganze Plattenkörper ist auch für grosse Ausführungen von mehreren Metern Durchmesser geschweisst. Auf die Welle als Holm werden unter sich parallele einteilige Tragplatten 1 mit passenden zentralen Bohrungen aufgeschoben, die die Biegungsmomente $M'$ und $M''$ auf die Klappenhälften übernehmen. Bei der Bohrung in der Mitte (2) sind die Platten zur Aufnahme der Biegungsbeanspruchungen oben und unten verbreitert. Zwischen die Tragplatten werden lediglich Deckbleche 3 geschweisst, welche die Klappenoberfläche bilden. Die Verstärkungspartien 2 der Tragplatten 1 ragen über die Oberfläche hinaus; da sie in Stromrichtung stehen, geben sie jedoch sehr wenig Widerstand. Der Klappenkörper kann auf diese Weise auch für stark beanspruchte Klappen dünn gehalten werden, sodass der gesamte Strömungswiderstand in normaler geöffneter Stellung klein bleibt.