

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298373







# Über Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft.

---

Von

**OTTO KRELL jr.,**

Ingenieur.

*F. Nr. 25902*



München und Berlin.

Druck und Verlag von R. Oldenbourg.

1904.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

II 31246

Akc. Nr. 279149

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

## Über Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft.

Notwendigkeit weiterer Verbreitung exakter Luftmessungen . . . . .	1
Unzweckmäßigkeit mechanischer Meßwerkzeuge für den praktischen Ingenieur. . . . .	3
Definition des dynamischen Druckes . . . . .	4
Definition des statischen Druckes . . . . .	4

## Messung des dynamischen Druckes.

Péclet'sche Röhre . . . . .	5
Des Verfassers Versuchseinrichtung . . . . .	6
Einfluß der Windrichtung auf die Mündung der Péclet'schen Röhre . .	6
Versuch von Ser mit der Péclet'schen Röhre . . . . .	8
Charakteristische Punkte der Druckkurve. . . . .	11
Stauhügel und Böschungswinkel . . . . .	11
Versuch von Ser über Verteilung des statischen und dynamischen Druckes in einem luftdurchströmten Rohr . . . . .	14
Kritik der Serschen Versuche . . . . .	15
Die Mittel zur Erzeugung eines Versuchsluftstromes von der statischen Pressung $\pm 0$ . . . . .	18
Zahlenmäßige und graphische Zusammenstellung sämtlicher Versuche mit der Péclet'schen Röhre . . . . .	19
Unzweckmäßigkeit der Aspirationsanemometer als Schlußfolgerung aus den Versuchen . . . . .	21
Vergleichender Versuch über den Einfluß der verschiedenen Gestalt der Rohrmundstücke . . . . .	22
Recknagels Stauscheibe und seine Methode, den statischen Druck zu eliminieren . . . . .	25
Bourdon's Multiplicateur . . . . .	25



## Messung des statischen Druckes.

Druckmessung mittelst der stumpf in der Kanalwand endigenden Röhre	27
Die Sersche Druckscheibe	28
Druckdiagramm der Druckscheibe (Nullpunktdiagramm)	29
Bestätigung des Recknagelschen Koeffizienten durch das Druckdiagramm der Druckscheibe	30
Das Nullkreisdiagramm der Druckscheibe	31
Sers T-Rohr als Druckmesser	32
Sers Kombination der Pécletschen Röhre mit der Serschen Druckscheibe	32
Prandtl's Druckmeßrohr	32
Des Verfassers »Druckfahne«	33
Der Kollektor von Abbé	35
Der Kollektor von Nipher	36
Versuchsergebnisse mit Nipherkollektoren	38
Kritik des Nipherkollektors	38
Des Verfassers »Drucksonde«	40
Diagramm der Drucksonde	40
Nullkreisdiagramm der Staukugel	41
Nullpunktdiagramm der Staukugel	43
Nullpunktdiagramm der Pécletschen Röhre, verglichen mit dem der Staukugel	44
Theorie und Kritik der Drucksonde	46

## Recknagelsche Stauscheibe und Krellsches Pneumometer.

Recknagels Versuchseinrichtung	49
Störung der Versuche durch den »Mitwind«	50
Experimentelle Erzeugung der Geschwindigkeitshöhe mittels der Pitotschen Röhre (Medium Wasser)	52
Das gleiche Experiment, ausgeführt mit der Recknagelschen Stauscheibe (Medium Luft)	54
Das Pneumometer von Krell sen.	56
Das Pneumometer als Druckmeßinstrument	56
Stauscheibe von Rietschel	60
Stauscheibe von Prandtl	60
Tabelle I: Geschwindigkeitshöhen, Pneumometer- und Drucksondenwerte für Luftgeschwindigkeiten bis 100 m pro Sek. bei 0° C und 760 mm Barometerstand	62
Tabelle II: Reduktionskoeffizienten für die Werte der Tabelle I bei verschiedenen Temperaturen und Barometerständen	64



## Über Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft.

Die allgemeine Anwendung der elektrischen Energie zu den verschiedensten Zwecken hat auch auf dem Gebiete der Lüftungsanlagen einen tiefgreifenden Einfluß ausgeübt. Es können heute an Stellen, an denen elektrischer Strom vorhanden ist, mit verhältnismäßig geringem Energieaufwand durch mechanische Luftbewegung Anforderungen befriedigt werden, deren Erfüllung früher ausgeschlossen oder doch wenigstens ungeheuer erschwert gewesen wäre.

Die Sicherheit, mit welcher ein mechanischer Ventilator arbeitet, ohne von Witterungs- und Temperatureinflüssen abhängig zu sein, und seine dem Gefühl des Maschinentechnikers so viel näher liegende Wirkungsweise gegenüber den auf Temperaturgefälle beruhenden Zugwirkungen der sonst üblichen Lüftungseinrichtungen haben etwas Bestechendes.

Ein mechanischer Ventilator wird wohl nie vollständig versagen. Dies ist freilich ein Vorzug von zweifelhaftem Werte, denn nur diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß auf dem Gebiete mechanischer Ventilation noch mehr gesündigt wird, als bei Anlagen mit natürlichem Zuge, weil sich hier ein begangener Fehler gewöhnlich wenigstens zum Teil durch erhöhten Energieaufwand auf Kosten des Wirkungsgrades verdecken läßt. Dies

führt aber notwendigerweise zur Energievergeudung und in dieser liegt daher auch die gefährliche Klippe, welche der Lüftungstechniker, der mechanische Kraft zur Bewegung der Luft benutzt, in erster Linie zu vermeiden hat.

Nur beispielsweise sei hier einer Anlage gedacht, welche von einer auf dem Gebiete der Lüftung speziell arbeitenden Firma zur Entstaubung einer Werkstatt der Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg A.-G. ausgeführt worden war und eines Kraftaufwandes von 110 PS zum Betriebe bedurfte. Lediglich durch zielbewusste Verbesserung der Luftführung auf Grund eingehender Messungen<sup>1)</sup> mit hydrostatischen Mefsinstrumenten<sup>2)</sup> konnte Professor Prandtl den Kraftbedarf auf 35 PS herabmindern, wobei die Saugwirkung sogar noch eine bessere war als zuvor.

Angesichts solcher Tatsachen und mit Rücksicht auf die weitverbreitete Anwendung mechanischer Ventilatoren mit elektrischem Antrieb kann heutzutage der Maschineningenieur und Elektrotechniker nicht mehr der Notwendigkeit aus dem Wege gehen, sich ein eigenes Urteil über Lüftungsmaschinen und -Einrichtungen zu bilden; denn nur dann, wenn Kraftquelle, Ventilator und Luftleitungsanlage nach einheitlichen Gesichtspunkten richtig gewählt wurden, kann eine in allen Teilen gleichwertige und in ihrer Gesamtheit zweckmäßige Anlage entstehen.

Nur auf Grund vielfacher Erfahrungen wird es möglich sein, Einrichtungen zu schaffen, deren Energieaufwand im richtigen Verhältnis zu den gegebenen örtlichen und wirtschaftlichen Verhältnissen steht, und diese Erfahrung ist wiederum nur zu gewinnen durch ständiges Nachprüfen mittels zuverlässiger Messungen, ob und inwieweit die vorausberechneten und geschätzten Verhältnisse an der ausgeführten Anlage wirklich eingetreten sind, und welche Ursachen gegebenen Falles für die Abweichung der erzielten von der erwarteten Wirkung maßgebend gewesen sein können.

<sup>1)</sup> S. a. Dr. A. Wolpert und Dr. H. Wolpert, Die Ventilation 1901.

<sup>2)</sup> O. Krell sen., Hydrostatische Mefsinstrumente.



Zu solchen Untersuchungen ist es aber eben erforderlich, über zuverlässige Mittel zur genauen Messung der Geschwindigkeit und des statischen Druckes der bewegten Luft zu verfügen.

So ist auch die vorliegende Arbeit dem unabweisbaren Bedürfnis entsprungen, eine brauchbare Meßweise zur Ermittlung von Geschwindigkeit und Druck bewegter Luft nachzuweisen, wobei es in erster Linie notwendig erschien, die bekannten oder wenigstens in der Litteratur behandelten Meßweisen einer eingehenden Prüfung zu unterziehen.

Wer sich die Mühe nimmt, den weiteren Ausführungen bis zum Schlufs zu folgen, wird es begreiflich finden, daß alle mechanischen Anemometer (rotierende und statische), Schalenkreuzanemometer und Pendelanemometer etc. bei den Versuchen von vornherein ausgeschlossen wurden. Alle diese Instrumente sind für die praktischen Bedürfnisse des Ingenieurs unbrauchbar, weil sie von einer empirischen Aichung mit besonderen Mitteln, die nicht jedem Techniker zur Verfügung stehen, abhängig sind, und weil zudem der Besitzer eines solchen Werkzeuges niemals bei den Messungen die Gewißheit besitzt, ob sich die »Konstante« seines Instrumentes nicht in der Zwischenzeit durch etwas unsanfte Behandlung desselben oder dergleichen Zufälligkeiten geändert hat.

Ich komme am Schlusse meiner Ausführungen noch einmal auf diese Meßweisen zurück und bemerke einstweilen nur, daß das unmittelbar aus der Praxis hervorgegangene Bedürfnis aus obigen Gründen zu der ausschließlichen Untersuchung der hydrostatischen bzw. manometrischen Meßweisen geführt hat.

Die manometrischen Verfahren zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Luft beruhen alle auf der mehr oder weniger genauen Messung der dynamischen Pressungsverhältnisse an dem in den bewegten Luftstrom gebrachten Meßwerkzeug, während zur Bestimmung des statischen Druckes dasjenige Instrument das geeignetste sein würde, welches von dynamischen Wirkungen möglichst wenig beeinflusst wird. Es sei hier gestattet, die Umgrenzung der Begriffe des dynamischen und statischen Druckes zu geben.

#### 4 Über Messung von dynamischem und statischem Druck bewegter Luft.

Unter dynamischem Druck der Luft versteht man in der Physik denjenigen Pressungszustand der Luft, welcher in der Umgebung eines in einen bewegten Luftstrom gebrachten festen Körpers unmittelbar und ausschliesslich durch die lebendige Energie der Luft erzeugt wird.

Unter statischem Druck dagegen versteht man denjenigen Pressungszustand, welcher an der Mefsstelle völlig unabhängig von den durch die Luftbewegung hervorgebrachten Druckverhältnissen noch besteht.

---



## Messung des dynamischen Druckes.

Schon Péclet hat in der 1860 erschienenen dritten Auflage seines »Traité de la chaleur« S. 154 und 175 die manometrische Messung der Luftgeschwindigkeit behandelt, wobei er einen auch jetzt noch öfter angewendeten Apparat vorschlägt, welcher an der betreffenden Stelle des Rohres die unmittelbare Feststellung der Geschwindigkeitshöhe gestatten soll.

Er führt (Fig. 1) zwei dünne Rohre *a* und *e* in das Ventilationsrohr ein, von denen das eine *e—c* rechtwinkelig zur Rohrwand einmündet und zum Messen des statischen Druckes bestimmt ist, das andere *b—c* rechtwinkelig abgebogen mit seiner zugespitzten Mündung dem Luftstrom entgegengekehrt ist und zur Feststellung der dynamischen Druckhöhe dienen soll. Péclet behauptet, daß der Druck auf die dem Luftstrom direkt entgegengesetzte Öffnung der Meßröhre *a b c* der Geschwindigkeitshöhe der bewegten Luft an dieser Stelle gleich sei, selbstverständlich vermehrt oder vermindert um den an der Meßstelle herrschenden positiven oder negativen statischen Druck. Um diesen letzteren Einfluß gleich bei der Messung auszuschneiden, empfiehlt er den Anschluß beider Röhrechen an ein gemeinsames Differentialmanometer, dessen Angabe dann direkt der Geschwindigkeitshöhe  $\left(\frac{v^2}{2g} \gamma\right)$  entsprechen soll. Péclet ist mit dieser Anordnung

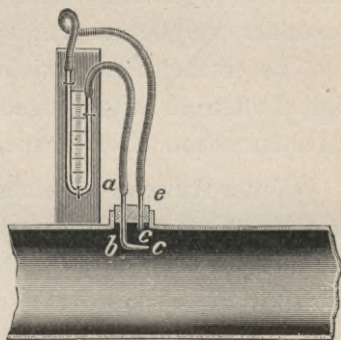


Fig. 1.

sehr zufrieden und bedauert nur, kein genügend empfindliches Manometer zu besitzen, welches auch für die geringeren Geschwindigkeiten von 1, 2 und 3 m pro Sek. eine Messung der Geschwindigkeitshöhen gestatten würde.

In der Formel bedeutet  $v$  die Geschwindigkeit der Luft in Metern pro Sek.,  $g$  = die Beschleunigung der Schwere = 9,81 und  $\gamma$  das spez. Gewicht der Luft unter Berücksichtigung des Barometerstandes, der Temperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes. Da es sich im Folgenden nur um Vergleichswerte handeln wird, bei welchen es auf die absoluten Beträge nicht ankommt, so ist überall Barometerstand, Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft nicht in Rechnung gezogen, dagegen streng darauf gesehen worden, daß nur gleichzeitig bzw. unter gleichen Verhältnissen gewonnene Werte miteinander verglichen wurden.

Es erscheint nun wichtig, das Verhalten einer solchen dem Luftstrom entgegengehaltenen Rohrmündung genauer zu untersuchen. Der Versuch wurde wie folgt vorgenommen:

Unter Anwendung eines Sirocco-Zentrifugal-Ventilators mit elektrischem Antrieb wurde ein mit besonderer Sorgfalt in allen Teilen gleichgerichteter Luftstrom aus einem 60 cm weiten runden Rohr geblasen. 50 cm vor d. h. außerhalb der Rohrmündung wurde die rechtwinkelig abgebogene Meßröhre, Fig. 2, von nebenstehender Gestalt (etwa  $\frac{2}{3}$  der wahren Größe) so in das Innere des Luftstromes gebracht, daß der kurze Schenkel durch Drehen um die Achse des langen alle Stellungen der Windrichtung gegenüber einnehmen konnte. Die von der Achse des kurzen Schenkels dabei beschriebene Kreisfläche lag also parallel zu der Windrichtung.

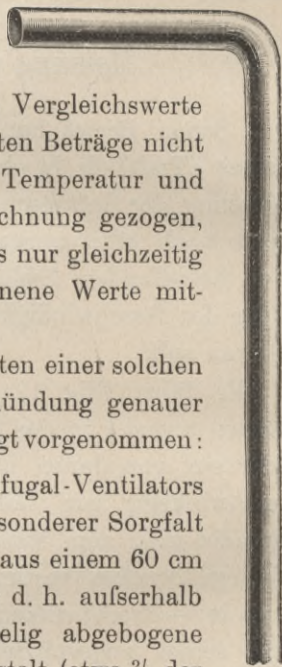


Fig. 2.

Durch Versuche, auf welche später noch näher eingegangen werden soll, war festgestellt worden, daß im Luftstrom 50 cm vor der Mündung fast genau der gleiche Druck herrschte wie im Versuchsraum am Aufstellungsort des Mikromanometers<sup>1)</sup>, so

<sup>1)</sup> s. O. Krell sen., Hydrostatische Meßinstrumente.



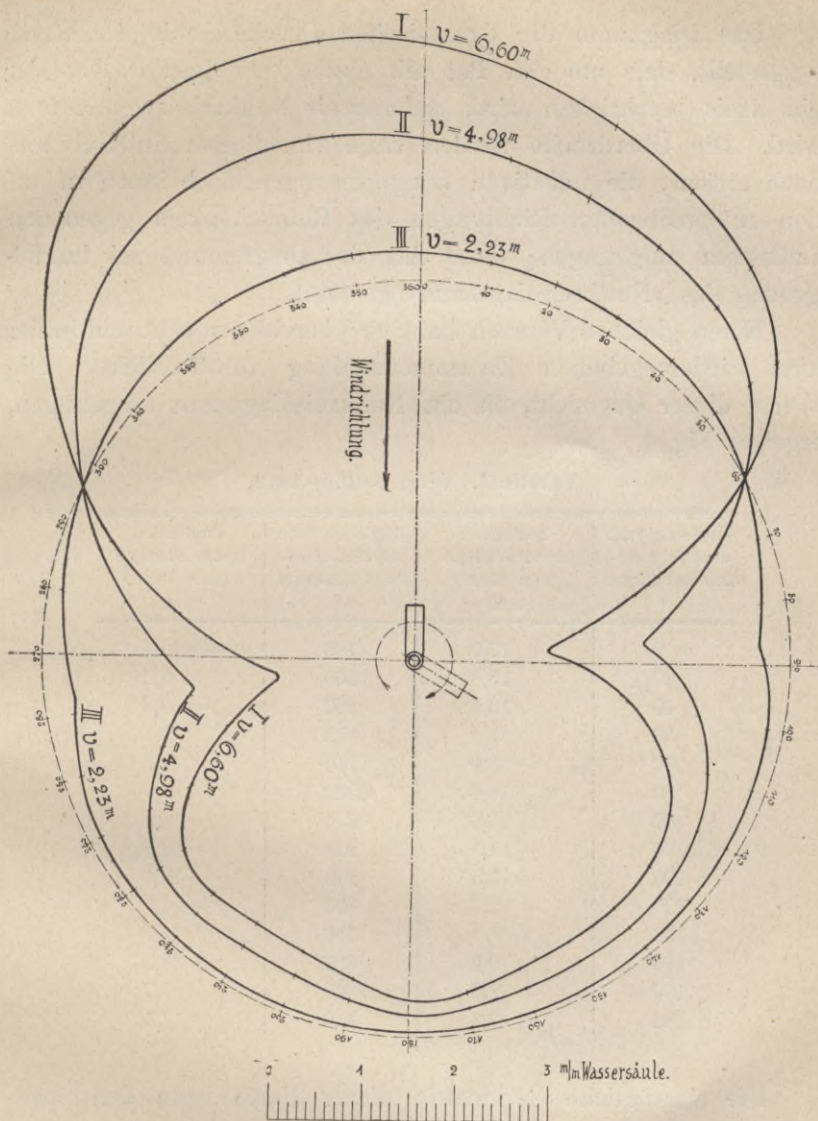


Fig. 3. Druckdiagramm für Messungen mit rechtwinklig abgeschnittener Röhre.

daß also die gemessenen Drucke allein auf den Einfluß der Windgeschwindigkeit zurückgeführt werden können.

Die Messungen wurden zunächst für drei verschiedene Windgeschwindigkeiten vorgenommen und ergaben die in den drei Kurven der Fig. 3 zusammengestellten Resultate.

Das Diagramm der dynamischen Drucke ist in der Weise hergestellt, daß um den Pol mit einem beliebigen Halbmesser ein Kreis beschrieben wird, welcher als Nullkreis angenommen wird. Die Überdrucke werden dann von diesem Nullkreis aus nach außen, die negativen Saugpressungen nach innen zu auf den entsprechenden Richtungen des Rohrschenkels gegen den Luftstrom aufgetragen; diese Art des Diagrammes sei im folgenden das »Nullkreisdiagramm« genannt.

Einen gleichen Versuch hat Ser<sup>1)</sup> bereits gemacht und in der hier wiedergegebenen Zusammenstellung veröffentlicht. Die Werte dieser Übersicht, in ein Nullkreisdiagramm aufgetragen, ergeben Fig. 4.

Tabelle 1. (Ser, S. 363) 1888.

Angle du tube avec la direc- tion du courant °	Indication manométrique (mm d'eau) mm	Angle du tube avec la direc- tion du courant °	Indication manométrique (mm d'eau) mm
0	17,5	180	+ 3,1
20	15,8	200	+ 2,0
40	10,5	220	+ 0,8
56	0	228	0
60	— 3,0	240	— 2,1
80	— 16,4	260	— 5,4
82	— 17,6	270	— 8,4
90	— 11,9	278	— 16,8
100	— 5,5	280	— 16,8
120	— 2,7	300	— 4,4
136	0	306	0
140	+ 0,2	320	+ 8,0
160	+ 2,3	340	+ 15,7
180	+ 3,1	360	+ 17,5

Die vorzügliche Symmetrie dieser Werte legte den nachträglich als irrig erkannten Schluß nahe, daß die Gleichmäßigkeit des von Ser verwendeten Luftstromes eine bessere gewesen sei als diejenige unseres Versuchsstromes, welcher offenbar in den symmetrischen Stellungen der Rohrmündung nicht ganz gleiche Geschwindigkeiten bzw. Windrichtungen besaß.

<sup>1)</sup> Ser, Traité de Physique Industrielle 1888.



Um diese örtlichen Einflüsse auszuschneiden, wurden die Versuche in der Weise wiederholt, daß die Drehung des kurzen Schenkels nicht um die Achse des langen, sondern um eine zu

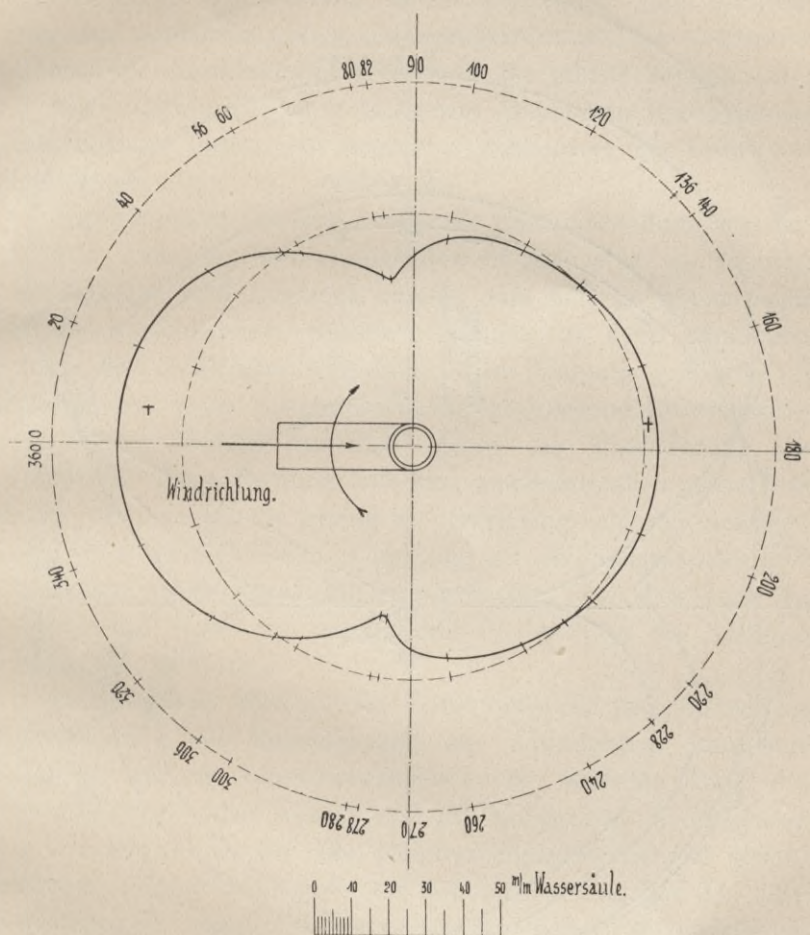


Fig. 4.

dieser parallel durch die Mündung des kurzen Schenkels gelegten Achse vollführt wurde, so daß die Mündung den Ort im Luftstrom nicht wechselte. Diese Maßnahme hatte den erwarteten Erfolg, so daß sich die auf diese Weise erhaltenen Schaulinien, was Symmetrie anlangt, mit der Serschen messen können. (Fig. 5.)

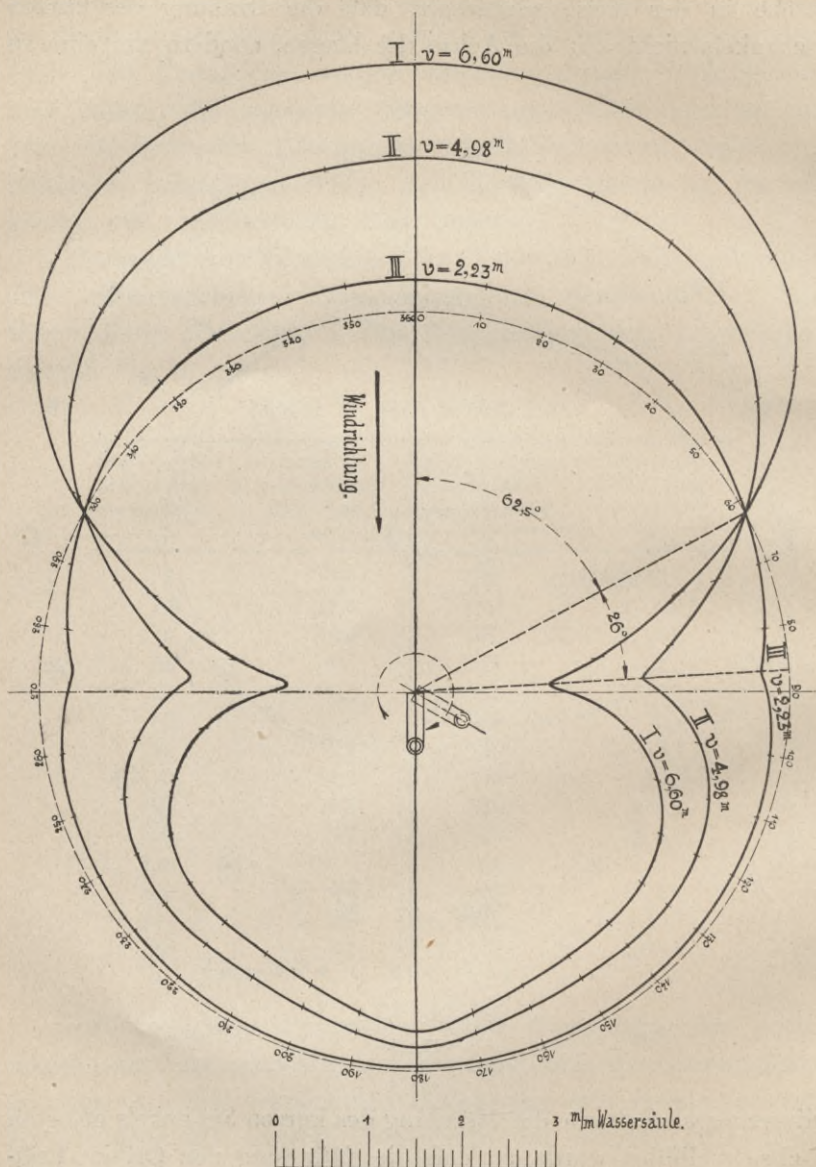


Fig. 5. Druckdiagramm für Messungen mit rechtwinklig abgeschnittener Röhre.



Die mit dem später näher zu beschreibenden Krellschen Pneumometer an der Meßstelle bestimmten Luftgeschwindigkeiten sind bei den Schaulinien eingeschrieben, und es ist ersichtlich, daß die größte Staupressung, welche sich ergibt, wenn die Mündung dem Luftstrom gerade entgegengekehrt ist, der Geschwindigkeitshöhe gleichkommt, ebenso wie die größte Saugpressung bei fast rechtwinkelig zum Luftstrom stehendem Rohrschenkel auch beinahe genau den negativen Zahlenwert der Geschwindigkeitshöhe zeigt.

Bemerkenswert ist ferner, daß die Schenkelstellung für den Druck  $\pm 0$  für alle Geschwindigkeiten die gleiche ist, was dadurch im Diagramm zum Ausdruck kommt, daß sich die Schaulinien für die verschiedenen Geschwindigkeiten in dem nämlichen Punkte des Nullkreises schneiden. Die Pressung  $\pm 0$  tritt im Meßrohr auf, wenn der rechtwinkelig abgebogene Rohrschenkel unter einem Winkel von  $62,5^\circ$  gegen die Windrichtung gestellt wird. Diese Stellung ließe sich außerordentlich genau feststellen, weil schon die geringste Verdrehung aus der richtigen Lage einen beträchtlichen Ausschlag am Mikromanometer (mit Übersetzungsverhältnis 1:50) hervorbrachte, wie dies auch in dem steilen Verlauf der Druckkurven in der Nähe der Nulllinie zum Ausdruck kommt.

Die saugende Wirkung des Luftstromes bei fast rechtwinkliger Stellung des Rohrschenkels zur Windrichtung kann nur durch die Bildung eines Stauhügels an der vorderen Kante der Rohrmündung erklärt werden, und ich bin geneigt, die Böschung des Stauhügels als für alle Geschwindigkeiten nahezu gleichbleibend anzunehmen, weil die Schenkelstellung für die Nullpressung auch für alle Geschwindigkeiten nahezu die gleiche ist.

Die bemerkenswerte Tatsache, daß die Rohrmündung um etwa 28 Grad dem Luftstrom entgegengekehrt werden muß, damit an derselben die Pressung  $\pm 0$  entsteht, weist darauf hin, daß der Böschungswinkel des Stauhügels  $\beta$  an der Mündung in Fig. 6 gleich dem Neigungswinkel  $\alpha$  des Rohres gegen die Windrichtung sein und daher etwa  $62^\circ$  betragen muß, denn nur wenn die Böschungsfläche des Stauhügels parallel zu der Ebene

der Rohrmündung verläuft, können die Luftfäden keinerlei Druck- oder Saugwirkung auf die im Rohr befindliche Luftsäule ausüben.

Das Sersche Diagramm stimmt nun darin mit unseren Versuchen ganz überein, daß auch bei ihm die größte Staupressung unter  $0^\circ$  der größten Saugpressung gleich ist. Aus dieser Gleichheit könnte geschlossen werden, daß auch Ser in einem Luftstrom von der statischen Pressung  $\pm 0$  gemessen hat,

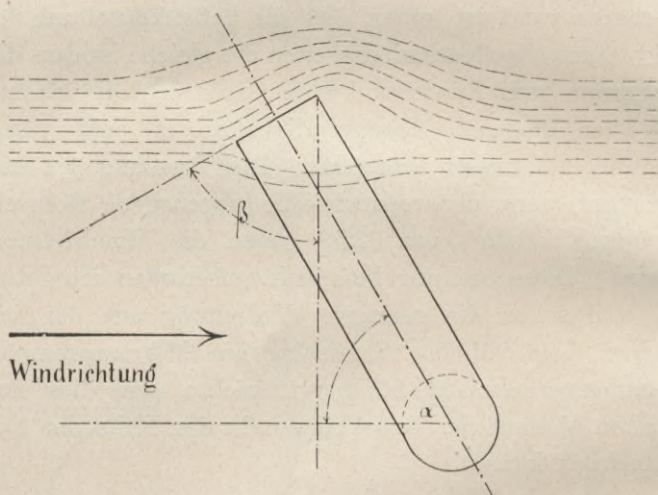


Fig. 6.

denn eine zusätzliche statische  $+$  oder  $-$  Pressung, welche ihr Vorzeichen während des Versuches nicht ändern kann, müßte die maximalen  $+$  und  $-$  Werte des Diagrammes in entgegengesetztem Sinne beeinflussen und die zahlenmäßige Gleichheit der Größt- und Kleinstwerte um das Doppelte ihres eigenen Betrages stören. Bei der guten Übereinstimmung der Serschen und unserer Versuche war es sehr auffallend, daß die Richtungen für die Nullpressung und für die negativen Größtwerte beträchtliche Abweichungen unseren Messungen gegenüber zeigten, und daß eine  $+$  Pressung bei abgekehrter Rohrmündung im Serschen Diagramm auftritt.



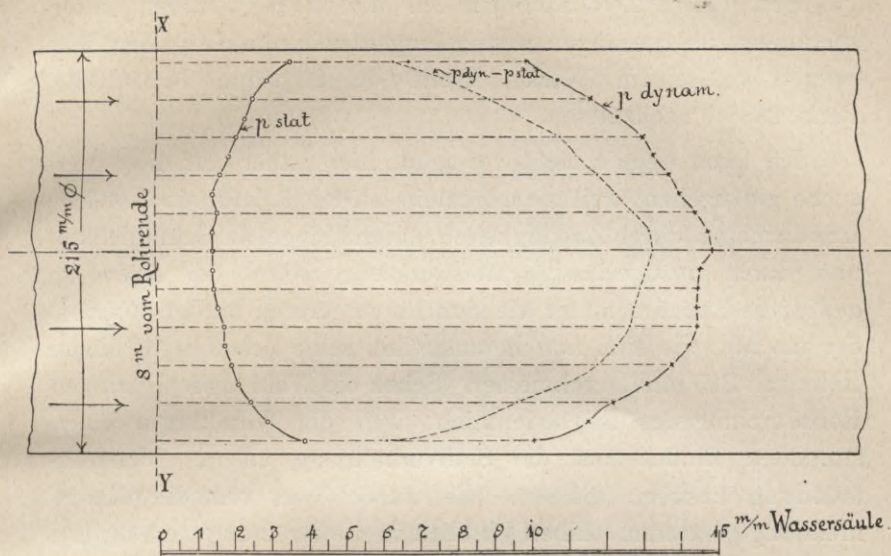


Fig. 7.

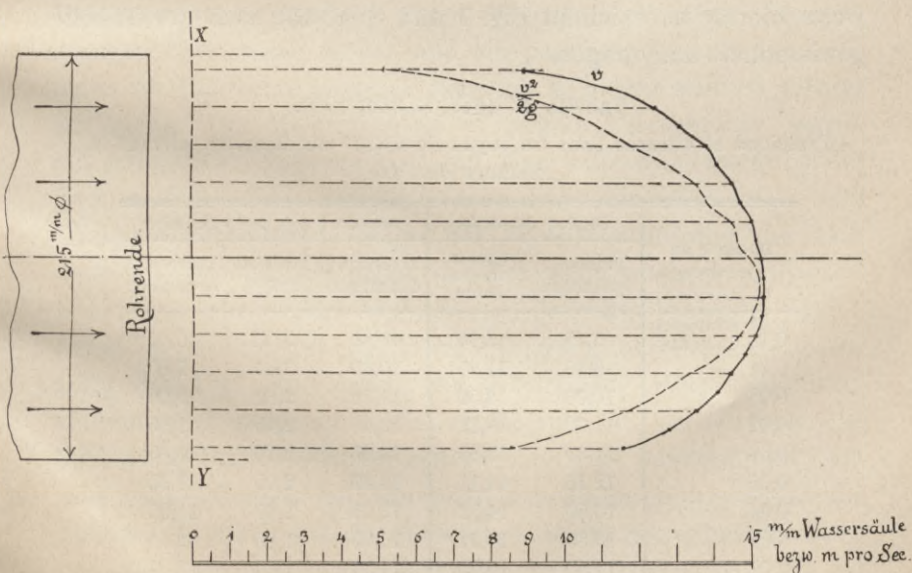


Fig. 8.

Erst einige Zeit nachdem ich bereits zu weiteren Untersuchungen übergegangen war, gelang es mir, die Serschen Messungen in seinem Werk »*Traité de Physique Industrielle*, Paris 1888«, nachzulesen.

Ich kann es mir nicht versagen, hier näher auf diese Versuche einzugehen, weil sie ungemein lehrreich dafür sind, welche Irreführungen durch Zufälligkeiten, durch Mangel an Gründlichkeit und durch unzuverlässige Meßwerkzeuge selbst bei einem so gewiegten Experimentator wie Ser hervorgerufen werden können. Ser machte, wie sich nun herausstellte, seine Versuche in einem Rohr mit 215 mm Durchmesser. Schon die Wahl dieses geringen Rohrdurchmessers ist bedenklich, weil die Wandungen einen störenden Einfluß auf die Stauverhältnisse an der Meßrohrmündung ausüben müssen. Es wurde 8 m von der Kanal-mündung gemessen. Einen Einblick in die Strömungsverhältnisse an dieser Stelle geben die Versuche, welche von ihm mit demselben Kanal von 215 mm Durchmesser an der Mündung und ebenfalls 8 m von ihr entfernt gemacht wurden. Die Versuchswerte hierfür habe ich in Fig. 7 und 8 (S. 13) nach der Tabelle gewissenhaft aufgetragen.

**Tabelle 2. (Ser, S. 366) 1888.**

Pressions et vitesses dans un tuyau de 0,215<sup>m</sup> de diamètre suivant la distance de l'axe

Distance au centre	Section de sortie		Section à 8 m de l'extrémité		
	Pression dynamique	Vitesse correspondante	Pression dynamique	Pression statique	Différence de pression
0,10 au dessus du centre	5,15	8,96	10,00	3,60	6,40
0,09	8,10	11,25	10,85	3,00	7,85
0,08	10,00	12,50	11,70	2,62	9,08
0,07	11,00	13,11	12,40	2,45	9,95
0,06	11,80	13,85	13,05	2,20	10,85
0,05	12,75	14,11	13,35	2,00	11,35
0,04	13,50	14,52	13,75	1,80	11,95
0,03	13,85	14,11	14,05	1,65	12,40
0,02	14,50	15,05	14,50	1,70	12,80
0,01	14,65	15,12	14,80	1,55	13,25
0,00	14,95	15,34	14,90	1,57	13,33



Distance au centre	Section de sortie		Section à 8 m de l'extrémité		
	Pression dynamique	Vitesse correspondante	Pression dynamique	Pression statique	Différence de pression
0,01 au dessous du centre	15,25	15,35	14,60	1,55	13,15
0,02	15,25	15,35	14,55	1,55	13,00
0,03	15,05	15,32	14,50	1,65	12,85
0,04	14,75	15,17	14,50	1,80	12,70
0,05	14,25	14,91	14,25	1,85	12,40
0,06	13,40	14,49	13,85	2,00	11,85
0,07	12,70	14,11	13,15	2,20	10,95
0,08	11,70	13,52	12,25	2,55	9,70
0,09	10,50	12,80	11,55	3,00	8,55
0,10	8,60	11,59	10,15	4,00	6,15

Ser begnügt sich damit festzustellen, daß eine starke Änderung sowohl des dynamischen als des statischen Druckes in ein und demselben Kanalquerschnitt stattfinden könne, und zwar sei der statische Druck gegen die Wandung zunehmend, der dynamische abnehmend. Daß aber eine solche statische Druckverteilung innerhalb eines Querschnittes sofort Querströmungen hervorrufen müßte und ein paralleler Verlauf der Luftfäden zur Rohrachse ausgeschlossen ist, zu diesem Schluss gelangt Ser nicht. Die Meßergebnisse in seinem Versuchsrohr weisen mit zwingender Notwendigkeit auf eine Schraubenbewegung der Luft im Rohre hin, denn nur dann kann ein Beharrungs- und Gleichgewichtszustand infolge der Zentrifugalwirkung der Luft eintreten, welcher eine gegen die Rohrwand wachsende, symmetrisch zur Kanalachse verlaufende statische Pressung ergibt. Dabei ist es durchaus nicht zur Erklärung der Schraubenbewegung der Luft erforderlich, die Verwendung eines Schraubenventilators anzunehmen. Man erhält auch bei Verwendung von Schleudergebläsen mitunter schraubenförmige Bewegung im Luftrohr, wie ich dies bei unserer Versuchseinrichtung feststellen konnte. In bezug auf die Rohrachse ist die Schraubenbewegung der Luft vollkommen symmetrisch, und so kommt es, daß Ser für sein Diagramm die vorzügliche Symmetrie erhält, welche er auch im Text ganz besonders hervorhebt und welche auch mich



zu dem irrigen Schlufs führte, dafs die Gleichmäfsigkeit seines Versuchsstromes der des unsrigen überlegen gewesen sei. Durch die Angabe, dafs 8 m von der Mündung innerhalb des Rohres gemessen worden sei, wird nun auch der Überdruck in der Schaulinie Fig. 4 für die dem Luftstrom abgekehrte Stellung des Mefsrohres erklärlich. Aber wie soll dann die Übereinstimmung der positiven und negativen Höchstpressung im Serschen Diagramm erklärt werden, welche nach unseren Versuchen, die insofern einwandfrei sind, als die Mündung des Mefsrohres ihren Ort nicht änderte, keine zufällige, sondern sogar eine sehr bezeichnende ist? Auch dazu bietet die Schraubenbewegung der Luft den Schlüssel. Bei früheren Versuchen konnten in Luftkanälen Steigungen der Schraubenlinie bis zu  $44^{\circ}$  gegen die Mantellinie des Rohres festgestellt werden, wobei die absolute Geschwindigkeit in Richtung der Schraubenlinie also um ca. 0,4 gröfser war als die in der Richtung der Rohrachse auftretende Komponente. Dadurch, dafs nun Ser nicht die Vorsicht gebrauchte, das Rohr um die Mefsrohrmündung zu drehen, sondern diese in einem Kreis von der Schenkellänge des Rohres um die Achse des langen Schenkels herumführte, brachte er die Mündung in Gegenden des Luftstromes, in welchen die absolute Geschwindigkeit der Luft zufällig so grofs war, dafs ihre dynamische Saugwirkung nicht nur den statischen Überdruck an dieser Stelle, sondern auch die durch ihn hervorgerufene Vergröfserung der höchsten Staupressung in der Kanalsachse ausgleichen konnte. Hätte Ser zufällig eine andere Schenkellänge für sein Mefsrohr gewählt, so hätte er wahrscheinlich eine Übereinstimmung der maximalen Stau- und Saugpressung nicht erhalten. Auch die Verschiebung der Richtung für die Nullpressung im Serschen Diagramm, Fig. 4, um  $6^{\circ}$  nach vorne dem unsrigen, Fig. 5, gegenüber und das nochmalige Schneiden der Nulllinie auf der Lee-seite<sup>1)</sup> der Kurve läfst sich mit der Schraubenbewegung der Luft an der Mefsstelle ausreichend erklären. Ser ist also keineswegs berechtigt, von diesen Versuchen (Seite 364) zu schreiben:

<sup>1)</sup> Leeseite, seemännischer Ausdruck für die dem Winde abgekehrte Seite.

»Les nombres que nous venons de donner ne s'appliquent évidemment qu'au cas particulier de l'expérience, mais le fait général de la variation de pression avec l'inclinaison du tube doit être toujours le même et montre combien dans les mesures manométriques, il faut avoir soin de diriger le tube et de présenter son orifice exactement dans la direction qui convient.«

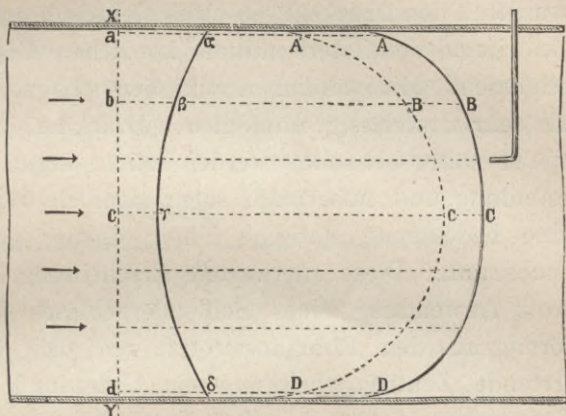


Fig. 7a.

Dieser Versuch und der über die Geschwindigkeitsverteilung im Rohr beweisen, daß von ihm selbst seine Mahnung bezüglich des genauen Einstellens des Meßrohres in die Windrichtung nicht genügend beachtet wurde.

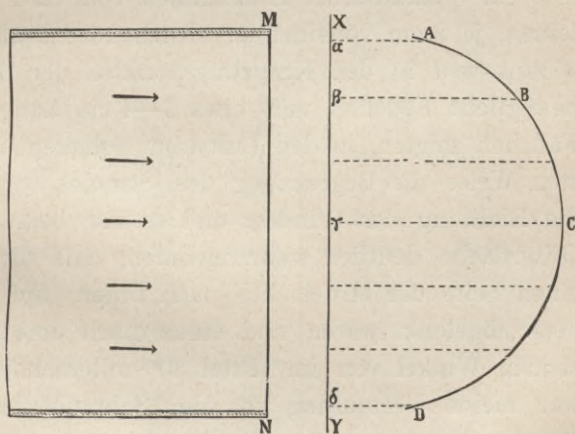


Fig. 8a.

Seine Geschwindigkeitskurven, welche in Fig 7a und 8a photographisch wiedergegeben sind, können außerdem nur als Schema dienen, weil sie die Werte seiner Tabelle nicht genau wiedergeben, wie die von mir vorgenommene graphische Darstellung der Tabellenwerte in Fig. 7 und 8 zeigt.

Um dem Leser ein eigenes Urteil über die Beschaffenheit des von mir verwendeten Versuchsstromes zu geben, mögen hier



die Maßnahmen beschrieben sein, welche zur Herstellung eines möglichst geraden und gleichmäßigen Luftstromes ergriffen wurden. Ein 8 m langes Blechrohr von 60 cm Durchmesser wurde an den Druckstutzen eines elektrisch angetriebenen Sirocco-Zentrifugal-Ventilators mittels konischen Übergangsrohres angeschlossen. Mit sämtlichen zum Versuche vorbereiteten, zum Teil als sehr zuverlässig empfohlenen Druckmeßinstrumenten, welche später näher behandelt werden sollen, ergab sich an der Rohrmündung und außerhalb, sogar ziemlich weit von ihr entfernt, eine bedeutende statische Unterpressung gegenüber dem Versuchsraum. Diese unerwartete Erscheinung ließ vermuten, daß trotz Anwendung eines Schleudergebläses die Luft schraubenförmig aus dem Rohr ausströmte und daß durch die dabei auftretende Zentrifugalwirkung ein Unterdruck in der Mitte des Luftstrahles entstand. Zur Untersuchung des Stromes wurde nun ein quadratischer Holzrahmen von ca. 1 m Seitenlänge mit feinen, je 2 cm voneinander abstehenden Drähten kreuzweise bespannt und in den Kreuzungspunkten der Drähte feine, leichtbewegliche Fädchen von etwa 3—4 cm Länge befestigt. Diese Fädchen zeigten, in den Luftstrom gehalten, in der anschaulichsten Weise die Begrenzung des Stromes sowie an jeder Stelle die Richtung des Windes, und es war beim Visieren über die Gitterfläche deutlich wahrzunehmen, daß die Fädchen auf der einen Seite der Mittelachse nach unten, auf der anderen nach oben abgelenkt waren und einen nach dem Umfange zu wachsenden Winkel von im Mittel  $30^{\circ}$  miteinander bildeten. Damit war meine Vermutung von der Schraubenbewegung des Luftstromes bestätigt. Zur Gradrichtung des Luftstromes wurden nun in das Ende des Luftrohres 53 Blechrohre von 80 mm Durchmesser und 500 mm Länge eingeschoben. Der Erfolg war gut, aber nicht vollkommen, denn es konnte immer noch Unterpressung, wenn auch nur eine sehr geringe, in der Achse des Luftstromes festgestellt werden. Erst nachdem zwischen Ventilator und Versuchsrohr noch ein zufällig vorhandenes, 6 m langes, quadratisches, mit 5 parallelen Wänden der Länge nach durchzogenes Rohr eingeschaltet war, konnte eine zufriedenstellende



Beschaffenheit des Luftstromes für die Versuche festgestellt werden.

Zu dem Diagramm, Fig. 5, zurückkehrend, bemerke ich, daß ich die Eintragung der Zahlen für die genauen Meßwerte in die Figur der Deutlichkeit wegen unterliefs; weil aber diese Messungen doch für gewisse Zwecke von grundlegender Bedeutung sein können, so gebe ich die gemessenen Werte in nachstehender Zusammenstellung, Tabelle 3, wie sie ermittelt wurden.

Tabelle 3.

Neigungswinkel des Meßrohres gegen die Wind- richtung	$v = 2,23 \text{ m}$	$v = 4,98 \text{ m}$	$v = 6,60 \text{ m}$	$v = 20 \text{ m}$	$v = 24,3 \text{ m}$
	Druck in mm $H_2 O$	Druck in mm $H_2 O$	Druck in mm $H_2 O$	Druck in mm $H_2 O$	Druck in mm $H_2 O$
Grad					
0	0,32	1,63	2,62	26,0	39,5
10	0,316	1,60	2,59	25,7	38,8
20	0,30	1,57	2,53	25,3	38,0
30	0,284	1,48	2,35	24,2	36,5
40	0,25	1,24	1,99	20,7	32,2
50	0,15	0,79	1,30	12,7	22,0
60	0,034	0,15	0,26	3,0	5,5
62,5	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,00$	$\pm 0,0$	$\pm 0,0$
70	-0,08	-0,56	-1,00	-9,0	-18,5
80	-0,19	-1,24	-2,00	-19,7	-33,2
87,5	-0,31	-1,59	-2,60	-26,0	-39,5
90	-0,24	-1,37	-2,35	-25,8	-39,0
100	-0,14	-0,92	-1,68	-21,2	-32,5
110	-0,10	-0,66	-1,25	-15,2	-24,2
120	-0,09	-0,53	-0,97	-9,7	-15,2
130	-0,076	-0,49	-0,84	-6,5	-9,1
140	-0,06	-0,48	-0,81	-6,2	-8,5
150	-0,054	-0,48	-0,78	-6,7	-8,7
160	-0,05	-0,46	-0,70	-6,2	-7,7
170	-0,044	-0,34	-0,56	-5,0	-6,0
180	-0,036	-0,24	-0,40	-3,7	-4,6
190	-0,044	-0,35	-0,56	-5,2	-6,1
200	-0,05	-0,46	-0,71	-6,3	-7,6
210	-0,054	-0,49	-0,80	-6,7	-8,6
220	-0,060	-0,50	-0,83	-6,2	-8,2
230	-0,076	-0,51	-0,86	-6,6	-9,1
240	-0,090	-0,55	-0,98	-9,8	-15,0
250	-0,100	-0,68	-1,26	-15,3	-24,0
260	-0,140	-0,97	-1,70	-21,5	-32,5

Neigungswinkel des Meßrohres gegen die Wind- richtung	$v = 2,23$ m Druck in mm $H_2O$	$v = 4,98$ m Druck in mm $H_2O$	$v = 6,60$ m Druck in mm $H_2O$	$v = 20$ m Druck in mm $H_2O$	$v = 24,3$ m Druck in mm $H_2O$
Grad					
270	— 0,240	— 1,40	— 2,40	— 25,7	— 39,0
272,5	— 0,310	— 1,60	— 2,62	— 26,0	— 39,5
280	— 0,190	— 1,26	— 2,04	— 19,6	— 33,0
290	— 0,080	— 0,58	— 1,00	— 8,8	— 18,2
298	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,0	+ 0,0
300	0,034	0,14	0,24	3,0	5,5
310	0,150	0,78	1,27	12,8	22,2
320	0,25	1,22	1,97	20,6	32,1
330	0,284	1,46	2,34	24,0	36,7
340	0,30	1,56	2,54	25,3	38,0
350	0,316	1,59	2,58	25,7	38,9
360	0,32	1,62	2,62	26,0	39,5

Die Zusammenstellung der Tabellenwerte in einem Nullkreisdiagramm ergibt die Fig. 9, welche Fig. 5 gegenüber im Maßstab etwas anders gehalten ist und die Kurven für die höheren Geschwindigkeiten enthält.

Wie aus der Abhandlung über Anemometer von Neumayer<sup>1)</sup> zu entnehmen ist, wird die Tatsache der Saugwirkung eines über eine Rohrmündung hinwegstreichenden Windes dazu benutzt, um die Geschwindigkeit dieses Windes zu messen. Unser Diagramm, Fig. 9, zeigt aber, daß diese Art der Messung zur Bestimmung der maximalen Saugpressung nur in solchen Fällen anwendbar ist, in denen die jedesmalige Einstellung auf den maximalen Saugdruck zum Zweck der Messung vorgenommen werden kann. Eine unverrückbar, z. B. senkrecht aufgestellte Röhre mit horizontaler Mündungsebene würde selbst bei ganz horizontalen Winden nicht den Wert der Geschwindigkeitshöhe geben, weil nach dem Diagramm, Fig. 9, die Richtung des Rohres für die maximale Saugpressung von der Senkrechten zum Luftstrom abweicht. Außerdem würden aber schon die geringsten Abweichungen des Windes von der horizontalen Richtung große Meß-

<sup>1)</sup> Anemometerstudien auf der Deutschen Seewarte von Dr. G. Neumayer, bearbeitet von Dr. Hugo v. Hasenkamp, Hamburg 1897.



fehler ergeben, wie aus dem steilen Verlauf der Druckkurve (Diagramm Fig. 9) gerade an dieser Stelle geschlossen werden kann. Selbst wenn die von Neumayer bestimmten Koeffizienten eine bessere Übereinstimmung zeigen würden, wäre die Ein-

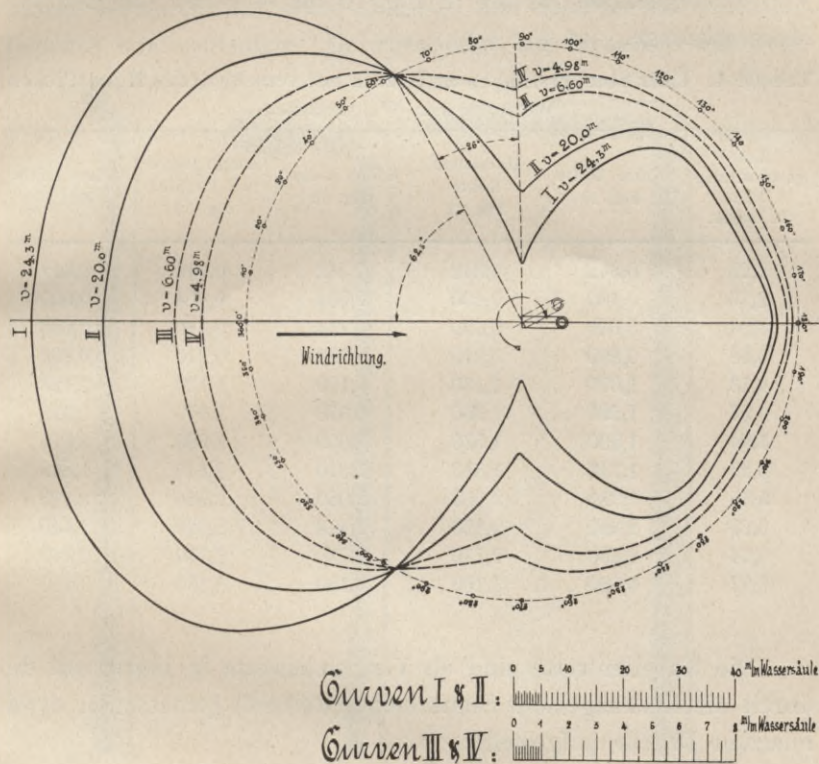


Fig. 9.

richtung wegen ihrer großen Empfindlichkeit gegen die geringste Richtungsänderung des Windes gegenüber der Horizontalen für Messungen unbrauchbar.

Die Gegend der positiven Staupressung in der Schaulinie erweist sich im Gegensatz hierzu wegen des sehr flachen Verlaufes der Druckkurve an dieser Stelle vorzüglich geeignet zu Messungen, indem geringe Ungenauigkeiten in der Einstellung der Rohrmündung zur Windrichtung nur einen verschwindenden Einfluß auf das Meßergebnis ausüben.



Für diese Art von Messungen wurde auch der Versuch gemacht, den Einfluß der verschiedenen Ausbildung der Mündungen zu bestimmen, wie sie häufiger zum Messen von dynamischem Druck Anwendung finden. Die nachstehende Tabelle 4 enthält die Versuchsergebnisse für die in Fig. 10 bis 14 genau dargestellten Meßwerkzeuge.

**Tabelle 4. Über Staupressungen an Röhren mit verschiedenen Mundstücken.**  
Werte in mm Wassersäule.

Luft- geschwindig- keit in m/Sek.	Kurze Röhre Fig. 10	Halblange Röhre Fig. 11	Spitze Röhre Fig. 12	Lange Röhre mit Trichter Fig. 13	Stauscheibe Fig. 14
2,29	0,342	0,342	0,342	0,342	0,342
2,76	0,460	0,490	0,504	0,494	0,507
3,23	0,660	0,690	0,714	0,680	0,686
3,68	0,860	0,910	0,920	0,910	0,890
4,13	1,070	1,130	1,150	1,120	1,123
4,57	1,290	1,350	1,370	1,370	1,379
4,94	1,530	1,570	1,600	1,590	1,615
5,27	1,740	1,810	1,810	1,810	1,838
5,65	1,980	2,050	2,060	2,080	2,118
6,20	2,350	2,450	2,410	2,420	2,540
6,64	2,650	2,770	2,770	2,770	2,780
6,97	3,000	3,150	3,150	3,150	3,210

Die Tabellenwerte sind als Vergleichswerte in bezug auf die durch die Recknagelsche Stauscheibe (Reihe 6) gemessenen dynamischen Drucke aufgestellt.

Wie man sieht ist die Übereinstimmung eine ganz gute, wenn der kurze Schenkel nicht allzu kurz wie z. B. in Fig. 10 gewählt wird.

Alle bisher besprochenen Meßwerkzeuge lassen sich teils gut, teils vorzüglich zu Geschwindigkeitsmessungen benutzen, es haftet ihnen jedoch der Fehler an, daß sie gleichzeitig mit dem dynamischen Druck auch die an der Meßstelle herrschende statische Pressung (Über- oder Unterpressung) mitmessen. Sie sind also zur Geschwindigkeitsmessung nur brauchbar, wenn man die Möglichkeit hat, entweder die statische Pressung auszuschneiden oder diese an der Meßstelle zu ermitteln.

Ein Bestreben, sich vom statischen Druck an der Meßstelle unabhängig zu machen, finden wir allenthalben.

So beschreibt Pécelet in der dritten Auflage seines bereits obengenannten Werkes »*Traité de la chaleur*« (Seite 153) eine bei seinen Messungen benutzte Methode den Einfluß des statischen Druckes auszuschneiden. Er verwendet zur Messung des dyna-



Fig. 10.

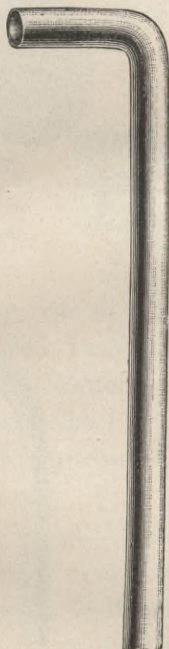


Fig. 11.

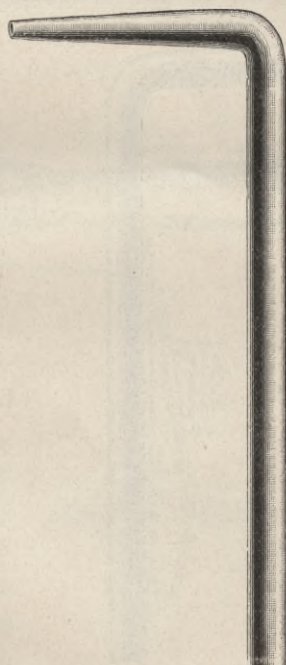


Fig. 12.

mischen Druckes das konisch zugespitzte Mundstück Nr. 12 unserer Tabelle und mißt den statischen Druck durch Einführung einer stumpf endigenden Röhre senkrecht zur Kanalachse, deren Mündung mit der Kanalwand abschneidet. Die Fig. 1 (Seite 5) zeigt seine Anordnung, aus welcher weiter ersichtlich ist, daß er die Leitungen der beiden Meßrohre mit den beiden Schenkeln einer mit Wasser gefüllten U-Röhre verbindet, wodurch er unmittelbar den in beiden Angaben enthaltenen statischen Druck ausgleicht und so die reine Geschwindigkeitshöhe zu erhalten



hofft. Diese Art der Messung kann aber nicht ganz befriedigen, denn der statische Druck ist an einer anderen Stelle gemessen als der dynamische, und wir haben an den Serschen Versuchen gesehen, daß gerade gegen die Wandung der Kanäle hin mitunter sehr beträchtliche Druckabweichungen vorhanden sein können, wenn die Luftbewegung nicht genau parallel zur Kanal-

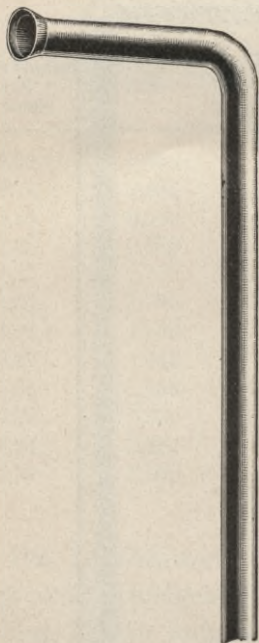


Fig. 13.



Fig. 14.

achse stattfindet, und das ist bei gewöhnlichen Anlagen fast niemals der Fall.

Diesen Nachteil, welcher mit der Kombination von ungleichwertigen Messungen verbunden ist, vermeidet Recknagel mit seiner Methode auf folgende Weise. Er stellte fest — und wir werden sehen, wie gut die von ihm gewonnenen Ergebnisse mit den unsrigen übereinstimmen — daß im Mittelpunkt der dem Luftstrom abgekehrten Seite der Stauscheibe eine Unterpressung entsteht, welche gleich 0,37 der vorne in der Mitte der Scheibe



entstehenden Geschwindigkeitshöhe ist. Bezeichnet man den statischen Druck an der Meßstelle mit  $p_o$ , die Stauempressung vorne an der Scheibe mit  $p_v$ , die Unterempressung hinten mit  $p_h$ , so ist die vorne gemessene Gesamtempressung  $p_o + p_v$ , die hinter der Scheibe gemessene Gesamtempressung  $p_o - p_h$ . Recknagel mißt nun einmal die Gesamtempressung vorne, dreht dann die Scheibe um  $180^\circ$  und mißt die Gesamtempressung hinten und bildet die Differenz beider Messungen, wodurch er erhält

$$(p_o + p_v) - (p_o - p_h) = p_v + p_h.$$

Man sieht, daß auf diese Weise der statische Druck  $p_o$  eliminiert werden kann. Nachdem ferner erwiesen ist, daß numerisch  $p_h = 0,37 p_v$  ist, so erhält man für den ganzen Pressungsunterschied zwischen Vorder- und Rückseite der Stauscheibe  $1,37 p_v$ , woraus sich  $p_v$  die Geschwindigkeitshöhe und somit die Geschwindigkeit selbst berechnen läßt.

Übertrifft dieses Verfahren dasjenige Péclets ganz bedeutend an Zuverlässigkeit, so muß doch in der nicht gleichzeitigen Messung besonders bei nicht ganz stetigen Geschwindigkeits- oder Druckverhältnissen noch ein Mangel der Meßweise erblickt werden.

Der Vollständigkeit wegen sei hier noch eine eigenartige Einrichtung erwähnt, welche Ser beschreibt. Es ist der Multiplicateur Bourdon (Fig. 15). Bourdon verwendete zur Windmessung drei ineinandergesetzte ejektorartige Doppelkonen, von denen jeder die Saugwirkung des von ihm eingeschlossenen verdrei- bis vierfachen, so daß z. B. bei 4 m Windgeschwindigkeit, für welche bekanntlich die Geschwindigkeitshöhe  $\sim 1$  mm W. S. beträgt, im größten Doppelkonus 4 mm, im zweiten 16 mm, im

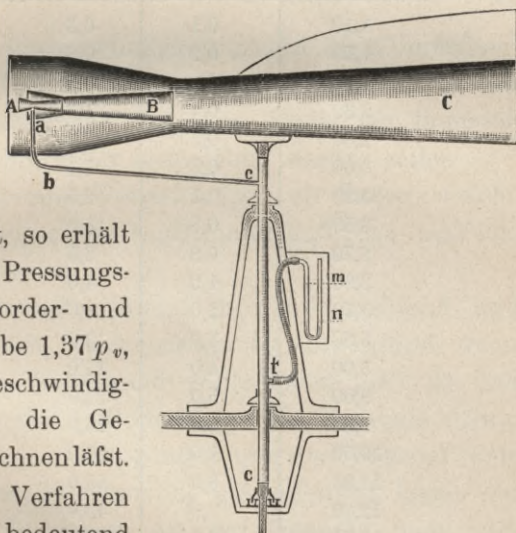


Fig. 15.

dritten und kleinsten 64 (65) mm gemessen wurden. Bourdon legte seine Beobachtungen in einer Tabelle nieder, welche hier aus dem Serschen Werke<sup>1)</sup> wiedergegeben ist.

**Bourdon. Tabelle 5.**

Vitesse du vent et dépressions observées à chacun des trois tubes.

Vitesse du vent en mètres par seconde $v = \sqrt{\frac{2ge}{d}}$	Pressions vives en millimètres d'eau $e = d \frac{v^2}{2g}$	Dépressions en millimètres d'eau		
		au 1 <sup>er</sup> Tube extérieur	au 2 <sup>e</sup> Tube moyen	au 3 <sup>e</sup> Tube intérieur
1,10	0,1	0,3	0,9	4
1,50	0,2	0,6	1,8	6
1,90	0,3	0,9	3,6	11
2,30	0,4	1,3	4,6	17
2,60	0,5	1,7	6,0	21
3,00	0,6	2,1	7,5	28
3,20	0,7	2,5	9,2	35
3,50	0,8	3,0	10,8	44
3,70	0,9	3,5	14,0	56
3,90	1,0	4,0	16,0	65
5,70	2,0	8,0	32,0	135
6,90	3,0	13,0	52,0	210
8,00	4,0	17,0	70,0	290
9,00	5,0	21,0	87,0	370
9,80	6,0	26,0	110,0	450
10,50	7,0	30,0	126,0	530
11,30	8,0	35,0	149,0	620
12,00	9,0	40,0	168,0	710
12,70	10,0	45,0	190,0	800

Nach Ser soll Bourdon durch seine Einrichtung in den Stand gesetzt worden sein, die Schwankungen eines unter dem Einfluß seines Multiplikators stehenden Wasserspiegels zur Bewegung eines Schreibstiftes zu benutzen, welcher die Windgeschwindigkeiten registrierte.

Über den Einfluß schräg auftreffenden Windes sind Bemerkungen nicht gemacht.

<sup>1)</sup> Ser, Traité de Physique Industrielle 1888, S. 356/57.



## Messung des statischen Druckes.

Die Messung der Luftgeschwindigkeit ist also nach Vorstehendem mit verschiedenen Instrumenten möglich, besonders gut mit der Recknagelschen Stauscheibe und dem Krellschen Pneumometer, welche noch ausführlicher besprochen werden sollen.

Viel weniger leicht sind Vorrichtungen zu finden, welche die dynamischen Wirkungen des Luftstromes aufheben und nur den statischen Druck ergeben.

Das vielfach angewandte stumpf in der Kanalwand und senkrecht zu ihr mündende Druckmeßrohr ist einwandfrei, wenn die Mündung klein, die Kanalwand vollkommen glatt ist und keine örtlichen zentrifugalen Luftpressungen das Ergebnis stören. Diese schwer zu erfüllenden Bedingungen und der Umstand, daß man bei der Messung an die Wandung gebunden ist, lassen ein befriedigendes Gefühl bei dieser Art der Messung nicht aufkommen. Ganz zu verwerfen sind aber solche Messungen, wenn nicht auf bündigen Anschluß des Meßrohres an der Kanalwand gesehen wird, weil in diesem Fall ähnliche Verhältnisse, wie bei der freien Röhre (Fig. 5) auftreten können, so daß unter Umständen Saugpressungen festgestellt werden können, wo in Wirklichkeit Überdrucke vorhanden sind.

Im Hinblick auf diese Erwägungen erscheint auch die Péclet'sche Anordnung des Druckmeßrohres (Fig. 1) nicht einwandfrei.

Auch hier war es Ser, welcher diesen Mangel zuerst empfunden zu haben scheint, denn er beschreibt mehrere Instrumente, welche die statische Druckmessung an beliebigen Stellen des Kanalquerschnittes ermöglichen sollen.

So versieht er z. B. das Ende des Meßrohres mit einer flachen scharfkantigen Blechkrempe und muß damit, wie wir später nachweisen werden, gute Werte erhalten haben, sobald die Ebene der Blechkrempe mit der Windrichtung parallel eingestellt war.

Auch Rietschel<sup>1)</sup> hat bei seinen Untersuchungen über den Widerstand von Filterstoffen zu den Druckmessungen die gleiche Einrichtung angewandt, scheinbar ohne von der Vorbenutzung durch Ser zu wissen.

Um nun die Empfindlichkeit dieses Meßwerkzeuges gegen unrichtige Einstellung zur Windrichtung festzustellen, machte ich den Versuch, einen freien Luftstrom ohne jeden statischen Druck in verschiedenen Richtungen auf die Scheibe, Fig. 14, treffen zu lassen, wobei sich die in Tabelle 6 zusammengestellten Werte ergaben.

**Tabelle 6.**

Dynamische Pressungen im Mittelpunkt einer kreisförmigen dünnen (0,3 mm) Scheibe bei konstanter Luftgeschwindigkeit in ihrer Abhängigkeit von der Neigung der Scheibenfläche gegen die Windrichtung.  
Lufttemperatur 17,5° C., Barometerstand 734 mm.

Winkel der Scheiben- achse mit der Wind- richtung °	Staudruck in mm W. S.	Winkel der Scheiben- achse mit der Wind- richtung °	Staudruck in mm W. S.
0	2,57	180	— 0,96
5	2,56	185	— 0,97
15	2,42	205	— 1,15
25	2,15	225	— 1,48
45	1,37	240	— 1,92
65	0,60	245	— 2,50
80	0,22	250	— 1,98
90	+ 0	255	— 1,00
95	— 0,20	265	— 0,20
105	— 1,00	270	+ 0
110	— 2,00	280	0,22
115	— 2,50	295	0,62
116	— 2,56	315	1,45
120	— 1,96	335	2,18
135	— 1,48	345	2,45
155	— 1,16	355	2,56
175	— 0,98	360	2,57

<sup>1)</sup> Gesundheits-Ingenieur, 1889. Nr. 24.



In Fig. 16 sind die Verhältnisse in der Weise durch eine Schaulinie veranschaulicht, daß vom Mittelpunkt der Meßrohrmündung aus als Nullpunkt die numerischen Tabellenwerte

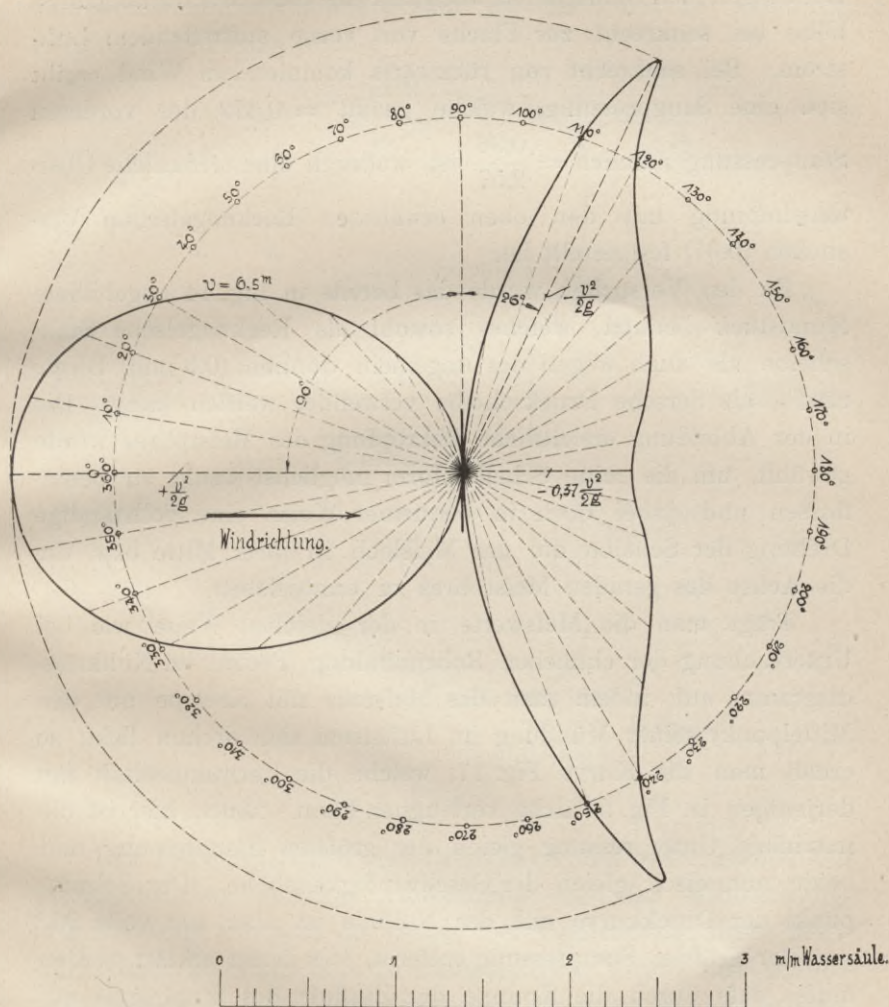


Fig. 16.

der Drucke auf den zugehörigen Windrichtungen aufgetragen sind. Für die Windrichtungen, welche die Scheibe bzw. Kremepe von rückwärts treffen, haben daher die Drucke negatives Vorzeichen.

Der Kürze wegen soll fernerhin diese Art des Diagrammes das Nullpunktdiagramm genannt werden.

Als maximale Staupressung ergibt sich natürlich, wie bei der Recknagelschen Stauscheibe, auch hier die volle Geschwindigkeitshöhe bei senkrecht zur Fläche von vorne auftreffendem Luftstrom. Bei senkrecht von rückwärts kommendem Wind ergibt sich eine Saugpressung, welche genau  $= 0,372$  der vorderen Staupressung nämlich  $= \frac{0,96}{2,57}$  ist, wodurch eine erfreuliche Übereinstimmung mit den oben erwähnten Recknagelschen Versuchen (0,37) festgestellt ist.

Zu den Versuchen wurde das bereits in Fig. 14 abgebildete Mundstück benutzt, welches sowohl als Recknagelsche Stauscheibe als auch wegen des ungemein dünnen (0,3 mm) Blechrandes als Sersche Druckscheibe verwendet werden kann. Die in der Abbildung ersichtliche Abkröpfung des Mefsrohres wurde gewählt, um die reine Scheibenform möglichst wenig zu beeinflussen und dabei doch in bequemer Weise eine vollständige Drehung der Scheibe um das Mefsloch in ihrer Mitte bzw. um die Achse des geraden Mefsrohres zu ermöglichen.

Trägt man die Mefswerte in der gleichen Weise wie bei Untersuchung der einfachen Rohrmündung (Péclet) im Nullkreisdigramm auf, indem man das Mefsrohr mit Krempe um den Mittelpunkt seiner Mündung im Luftstrom sich drehen läßt, so erhält man die Kurve Fig. 17, welche die Verwandtschaft mit derjenigen in Fig. 5 nicht verleugnen kann. Auch hier ist die maximale Unterpressung gleich der größten Staupressung und beide numerisch gleich der Geschwindigkeitshöhe. Der Schnittpunkt der Druckkurve mit der Nulllinie ist aber um volle  $90^\circ$  von der größten Staupressung entfernt, was damit erklärt werden muß, daß durch die Krempe der Einfluß des Stauhügels auf die Rohrmündung gänzlich beseitigt wird, wogegen er bei der einfachen Rohrmündung (Fig. 5) in dieser Stellung fast seine maximale Wirkung (Saugwirkung) auf diese ausüben kann.

Bemerkenswert ist, daß die besonderen Stellungen für die Nullpressung und den maximalen Unterdruck um den gleichen



Winkel von ca.  $26^\circ$  in den beiden Diagrammen (Fig. 17 und Fig. 5) voneinander entfernt sind, was darauf schliesen läßt, daß die Gesetzmäßigkeit in der Stauhügelbildung nicht nur von der Luftgeschwindigkeit, sondern auch von der Form der Mündung ziemlich unabhängig ist.

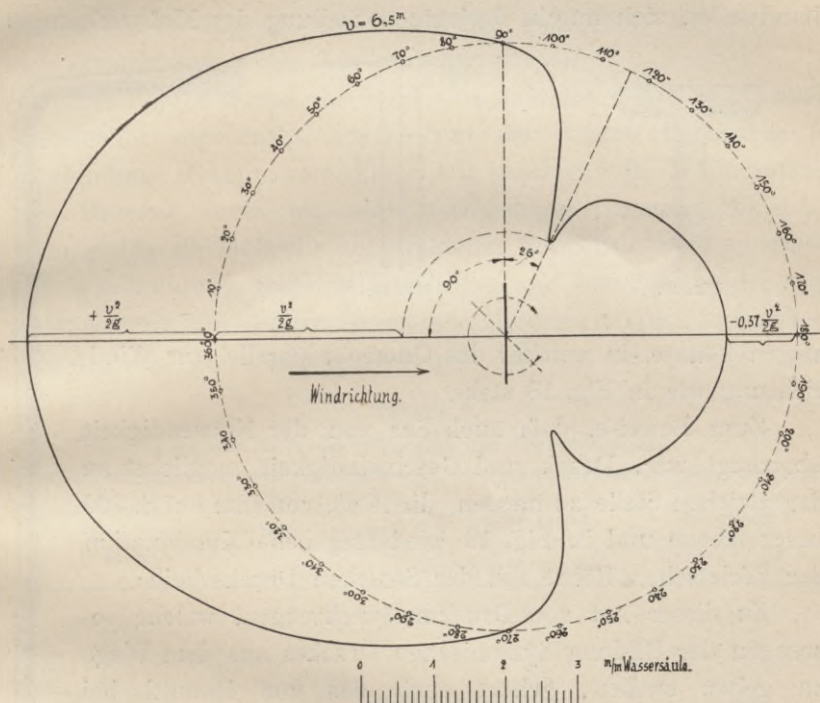


Fig. 17.

Das steile Ansteigen der Druckkurve auf der Leeseite bei verhältnismäßig geringer Abweichung von der Windrichtung (Fig. 16) zeigt übrigens die Gefahr bei Verwendung dieses Meßwerkzeuges zu statischen Druckmessungen, sobald nur einigermaßen unregelmäßige Luftströmungen vermutet werden müssen.

Daß schon Ser sich dieses Nachteiles der Druckmeßscheibe bewußt war, beweist sein Versuch, sich von der genauen Einstellung in die Windrichtung durch das in Fig. 18 dargestellte Meßwerkzeug frei zu machen. Die Nachprüfung einer solchen Einrichtung wurde von mir als kaum lohnend unterlassen.

Jedoch kann auf Grund der Ergebnisse des Versuches Fig. 5 ohne weiteres behauptet werden, daß z. B. bei einer Windrichtung senkrecht zum Querrohr ein der Sauggeschwindigkeitshöhe sehr nahe kommender Unterdruck sich ergeben muß, so daß der Vorteil der Einrichtung, wenn ein solcher überhaupt vorhanden ist, sich nur in derjenigen Stellung des Meßwerkzeuges

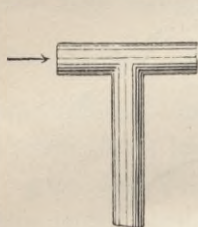


Fig. 18.

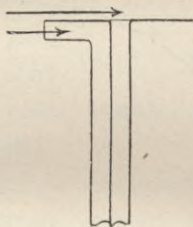


Fig. 19.

zeigen könnte, in welcher das Querrohr parallel zur Windrichtung wie in Fig. 18 steht.

Zum Beweise, daß auch Ser von der Notwendigkeit überzeugt war, Druck und Geschwindigkeit möglichst an der gleichen Stelle zu messen, diene die von ihm auf S. 360 beschriebene und in Fig. 19 wiedergegebene Kombination der Pécletschen Röhre mit der Serschen Druckscheibe.

Zu dieser Art von Druckmeßwerkzeugen, welche sozusagen der Bildung dynamischen Druckes aus dem Wege zu gehen suchen, gehört auch das von Prandtl bei seinen Untersuchungen von Entstaubungseinrichtungen verwendete Rohr, welches in Fig. 20 dargestellt ist. Die Schneide am Rohrende ergab sich als die einfachste Art des Verschlusses eines Rohrendes und tut dieselben Dienste wie eine Spitze, welche man eigentlich erwartet.

Im glatten Teil des Rohres sind beiderseits einige kleine Meßlöcher angebracht, welche den statischen Druck ins Innere der Meßröhre fortzupflanzen haben.

Mit der Schneide gegen den Luftstrom gehalten, ergibt dieses Instrument ebenso gute Resultate wie das richtig eingestellte Rohr mit der Krempe und kann, gewissenhaft gebraucht, wenigstens für den Beobachter selbst einwandfreie Ergebnisse liefern,

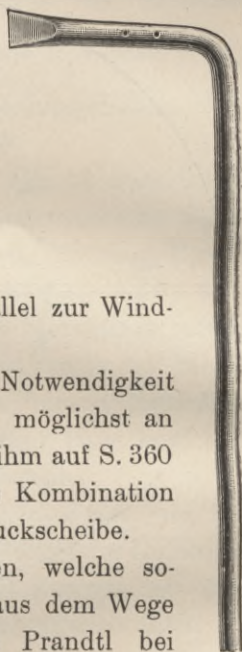


Fig. 20.



der ja allein zu beurteilen in der Lage ist, inwieweit er bei der Messung die nötige Vorsicht hat walten lassen.

Der Gedanke liegt nun nahe, die Richtkraft des Windes selbst dazu zu benutzen, um eine richtige Einstellung der Meßlöcher selbsttätig zu erreichen. Das Ergebnis dieser Überlegung ist in der in Fig. 21 zur Darstellung gebrachten Konstruktion der »Druckfahne« zum Ausdruck gekommen.

Auf beiden Seiten der hohl ausgebildeten Fahne sind kleine Meßlöcher angebracht, welche mit der hohlen Drehachse in Verbindung stehen; von dieser aus geschieht die Weiterleitung des Druckes durch ein sehr nachgiebiges Gummiröhrchen zu dem gleich als Meßrohr ausgebildeten Fahnenstock. Der gegen die Windrichtung gekehrte Stab dient nur dem Zwecke der Ausbalanzierung, um in allen Lagen eine Messung möglich zu machen. Die Angaben der Druckfahne waren, wie aus der Tabelle 7 her-

Tabelle 7.

Tabelle über die Versuche mit der Druckfahne.

Geschwindigkeit der Luft in m/Sek.	Geschwindigkeits- höhe in mm Wassersäule $\frac{v^2}{2g} \cdot \gamma$	Druck an der Fahne gemessen $p$ in mm Wassersäule	Gemessener Unterdruck $p$ in % von $\frac{v^2}{2g} \cdot \gamma$
10,8	7,70	— 0,22	— 2,86
15,6	16,05	— 0,49	— 3,05
18,1	21,65	— 0,62	— 2,86
20,15	26,8	— 0,75	— 2,80
21,3	30,0	— 0,88	— 2,93
23,4	36,1	— 1,08	— 2,99
25,8	43,8	— 1,26	— 2,88

vorgeht, bis auf 2,91 % der entsprechenden Geschwindigkeitshöhen genau, so daß damit eine praktische Verwendbarkeit dieser Einrichtung gegeben sein dürfte, besonders wenn man berücksichtigt, daß dieser Prozentsatz für alle Geschwindigkeiten ziemlich genau gleich nach Größe und Vorzeichen ist und daher höchstwahrscheinlich nur von einer immer noch vorhandenen, wenn auch ganz geringen Spiralbewegung des austretenden Luftstromes herrührt. Diese Annahme scheint berechtigt, weil der

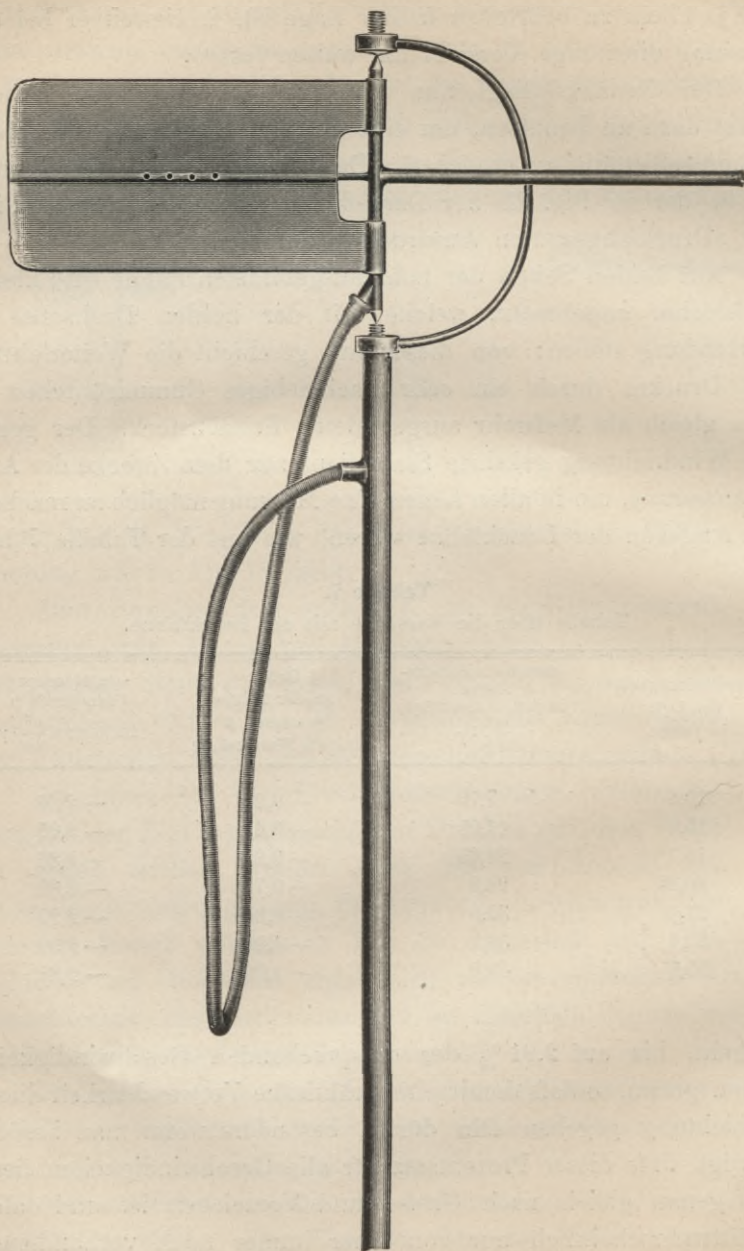


Fig. 21.



Fehler erstens stets negativ ist und somit auf die durch die Zentrifugalwirkung erzeugte Unterpressung im Strahlmittel hinweist, zweitens aber proportional der Geschwindigkeitshöhe ist, was auch am einfachsten durch Spiralbewegung der Luft erklärt werden kann. Ich stehe deshalb nicht an, die Angaben dieses Instrumentes für ganz zutreffend zu halten, und glaube, daß der Nachweis der vollkommenen Unabhängigkeit von dynamischen Einflüssen in einem ideal gleichmäßigen Luftstrom von der statischen Pressung  $\pm 0$  würde erbracht werden können. Ein solcher Luftstrom scheint aber ungemein schwer hergestellt werden zu können. Die Lagerung mittels Spitzen in dem federnden Bügel gestattet ein sehr rasches Herausnehmen und Wiedereinsetzen der Fahne, und liegen somit auch keine Schwierigkeiten für den Transport in einem flachen Etuis vor.

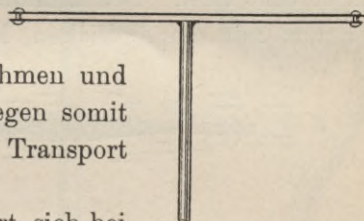


Fig. 22.

Außer der hier besprochenen Art, sich bei den Messungen von der dynamischen Druckhöhe freizumachen, wurde auch der Weg eingeschlagen, den statischen Druck an einem Punkte in einer Luftleitung dadurch zu isolieren, daß man den dynamischen Druck durch möglichst viele Hindernisse, welche die bewegte Luft in ihrem Weg immer wieder ablenken, zu vernichten sucht, während von dem statischen Druck solche Hindernisse natürlich überwunden werden. Bevor jedoch diese Instrumente besprochen werden, möge eine Einrichtung erwähnt sein, die von Abbé herrührt.<sup>1)</sup> Sie bildet gewissermaßen eine Übergangsstufe zwischen der ersten und der zuletzt gekennzeichneten Methode.

Zwei große dünne kreisförmige Stahlblätter werden in überall gleichem, verhältnismäßig geringem Abstand miteinander verbunden, das Meßrohr mit seiner Öffnung wird in der Mitte der einen Scheibe durch diese hindurchgeführt, so daß es genau mit der inneren Oberfläche dieses Stahlblattes glatt abschneidet. Damit werden jedenfalls bei den in Fig. 22 angegebenen Ver-

<sup>1)</sup> Report of the Chief Signal Officer 1887, 2, 144.

hältnissen alle anderen Strömungen als die zu den Stahlscheiben parallelen in der Umgebung der Meßöffnung vermieden. Abbé behauptet nun nachgewiesen zu haben, daß sein Instrument in jeder beliebigen Lage zum Luftstrom gehalten, nur die statischen Pressungsverhältnisse wiedergibt. Die Reibungs- und Wirbelungswiderstände zwischen den nahe zusammengebrachten Platten mögen den dynamischen Druck allerdings vernichten, es ist aber nicht denkbar, daß z. B. bei senkrecht auf die Scheiben auftreffendem Luftstrom die über die Scheibenränder abfließende Luft die statischen Druckverhältnisse zwischen den Scheiben unberührt läßt. Der Einfluß mag vielleicht gering sein, sodaß er nur mit empfindlichen Manometern festzustellen wäre, aber

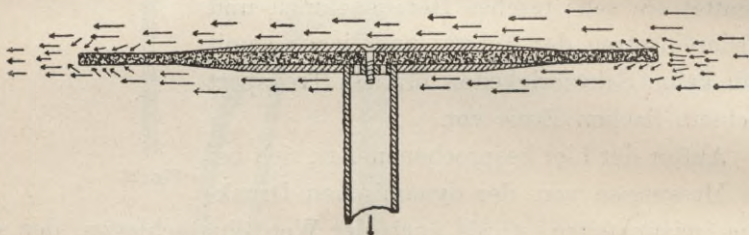


Fig. 23.

nach den Meßergebnissen an der glatten Rohrmündung (Fig. 5) muß ein solcher Einfluß vermutet werden. Leider war es mir bis jetzt unmöglich mit dem Abbéschen »Kollektor« wie dieses Instrument an der angeführten Stelle genannt wird, Kontrollversuche anzustellen.

Von ganz ähnlichen Überlegungen liefs sich offenbar Francis E. Nipher leiten, als er seinen in Fig. 23 dargestellten »Kollektor« konstruierte, welchen er in seiner Abhandlung über Windpressung beschreibt.<sup>1)</sup> Er legt zwischen zwei plankonvexe runde Platten mehrere Lagen Drahtgewebe und läßt die Gewebelagen  $\frac{1}{2}$  Zoll über die Plattenränder vorstehen. Die in der Abbildung eingezeichneten Pfeile sind seiner Darstellung entnommen und geben ein Bild von der Vorstellung, welche ihn bei dieser Kon-

<sup>1)</sup> Francis E. Nipher, a method of measuring the pressure at any point on a Structure, due to wind blowing against that structure.

Transactions of the Academy of Sciens of St. Louis 1898.



struktion geleitet haben mag. Er nimmt an, daß der Luftstrom beim Auftreffen auf den Rand der Gewebescheiben im Gewirr der Maschen die kinetische Energie verliert, bevor er bis zu den Scheibenrändern vorgedrungen ist, so daß eine dynamische Wirkung auf den Zwischenraum und somit auf das Meßergebnis nicht ausgeübt werden kann. In gleicher Weise soll die Saug-

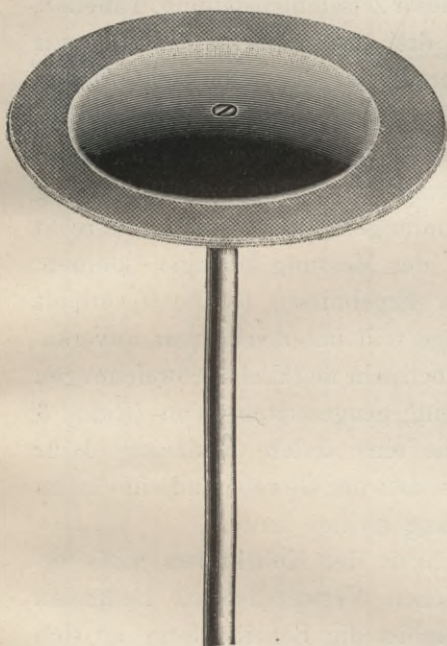


Fig. 24.

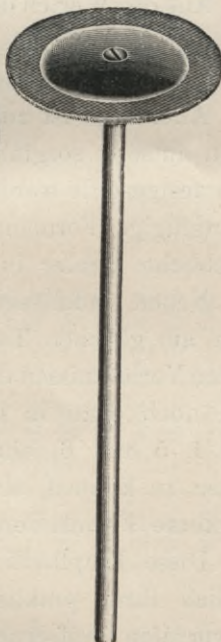


Fig. 25.



Fig. 26.

pressung auf der dem Wind abgekehrten Seite von den Scheibenrändern ferngehalten werden.

Zur Untersuchung dieser Einrichtung wurde aufer einem ganz genau nach den Angaben Niphers hergestellten »Kollektor«, Fig. 24, welcher in seinen Abmessungen etwas unbequem für Messungen in Kanälen ist, aus diesem Grunde noch ein kleinerer mit den Maßen nach Fig. 25 angefertigt. Weil ferner das vorstehende Gewebe leicht verletzt werden kann und dann sehr mangelhafte Meßwerte entstehen, wurde ein weiterer Kollektor nach Fig. 26 zu den Versuchen herangezogen, bei welchem die

Scheiben sternförmig mit schmalen Strahlen versehen sind, zwischen denen die Drahtgazelagen gefasst und vor gröberen Beschädigungen geschützt werden.

Alle Kollektoren wurden in drei Stellungen zur Windrichtung erprobt, senkrecht mit der Scheibenfläche gegen den Luftstrom, unter  $45^{\circ}$  dagegen geneigt und mit der Gewebekante gegen ihn gerichtet.

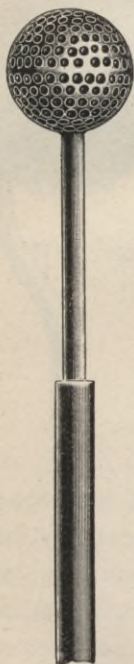


Fig. 27.

Aus den Werten dieser Zusammenstellung, Tabelle 8, ergibt sich für alle drei Arten eine in der Tat ganz brauchbare 'Annäherung an das angestrebte Ideal.

Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Kollektoren äußerst sorgfältig behandelt worden sind, nachdem festgestellt werden konnte, daß verhältnismäßig geringfügige Formänderungen am Geweberand recht erhebliche Fehler in der Messung erzeugen können.

Neben tadellosen Ergebnissen (Reihe 9) erhielt man am gleichen Tage und unter scheinbar unveränderten Verhältnissen doch sehr merkliche Abweichungen und noch dazu in entgegengesetztem Sinn (Reihe 3 und 4, 5 und 6) ohne eine andere Erklärung dafür finden zu können, als daß der Geweberand eine kaum merkbare Formänderung erlitten hatte.

Diese Empfindlichkeit der Kollektoren muß bezüglich ihrer praktischen Verwendbarkeit Bedenken hervorrufen, außerdem ist die Scheibenform an sich höchst ungeeignet für verschiedene Windrichtungen gleichmäßige Verhältnisse im Luftstrom zu erzeugen, und endlich werden die starken Ablenkungen, welche der Luftstrom durch die verhältnismäßig großen Scheiben erhält, in Luftleitungen von gewöhnlichen Abmessungen eine Rückwirkung auf die statischen Pressungen in der Umgebung der Scheibe hervorrufen können, wodurch das Messergebnis getrübt wird.

Das Bestreben, diese Nachteile zu vermeiden, ohne den Grundgedanken des Nipherschen Kollektors — die Vernichtung des dynamischen Druckes — aufzugeben, führte zu der in Fig. 27 gezeichneten Konstruktion. In eine etwa 2,5 cm im Durchmesser



Tabelle 8.

Angaben der verschiedenen Nipherkollektoren in m/m W-S. bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten in einem Luftstrom von der stat. Pressung  $\pm 0,00$ .

Luftgeschwindigkeit in m/sek.	Zugehörige Geschwindigkeitshöhe in m/m Wassersäule	Großer Nipherkollektor				Kleiner Nipherkollektor				Nipherkollektor mit Sternscheiben			
		Kollektorfläche 90° zum Luftstrom	Kollektorfläche 45° zum Luftstrom	Kollektorfläche parallel zum Luftstrom		Kollektorfläche 90° zum Luftstrom	Kollektorfläche 45° zum Luftstrom	Kollektorfläche parallel zum Luftstrom	Kollektorfläche 90° zum Luftstrom	Kollektorfläche 45° zum Luftstrom	Kollektorfläche 90° zum Luftstrom	Kollektorfläche 45° zum Luftstrom	Kollektorfläche parallel zum Luftstrom
5,5	1,993	+ 0,50	+ 0,00	- 0,10	- 0,10	+ 0,15	+ 0,20	- 0,07	- 0,20	+ 0,00	- 0,08	+ 0,00	+ 0,00
6,75	3,003	+ 0,65	+ 0,05	- 0,15	- 0,08	+ 0,23	+ 0,35	- 0,10	- 0,30	+ 0,00	- 0,12	+ 0,00	+ 0,00
8,0	4,218	+ 0,80	+ 0,10	- 0,20	- 0,05	+ 0,28	+ 0,50	- 0,15	- 0,38	+ 0,00	- 0,18	- 0,05	- 0,05
9,5	5,948	+ 0,90	+ 0,12	- 0,25	+ 0,05	+ 0,25	+ 0,65	- 0,18	- 0,50	+ 0,00	- 0,25	- 0,10	- 0,10
11,0	7,974	+ 0,98	+ 0,10	- 0,25	+ 0,15	+ 0,21	+ 0,87	- 0,22	- 0,58	+ 0,00	- 0,28	- 0,15	- 0,15
12,5	10,297	+ 0,78	+ 0,10	- 0,25	+ 0,25	+ 0,03	+ 1,10	- 0,22	- 0,63	+ 0,00	- 0,37	- 0,18	- 0,18
13,5	12,011	+ 0,55	+ 0,10	- 0,35	+ 0,42	- 0,17	+ 1,30	- 0,25	- 0,68	- 0,04	- 0,47	- 0,20	- 0,20
15,0	14,828	+ 0,35	+ 0,00	- 0,37	+ 0,60	- 0,47	+ 1,65	- 0,25	- 0,68	+ 0,00	- 0,51	- 0,25	- 0,25
16,5	17,942	+ 0,00	- 0,12	- 0,45	+ 0,70	- 0,87	+ 1,95	- 0,25	- 0,70	- 0,15	- 0,65	- 0,35	- 0,35
18,0	21,352	- 0,25	- 0,25	- 0,50	+ 0,75	- 1,17	+ 2,20	- 0,25	- 0,70	- 0,20	- 0,75	- 0,40	- 0,40
Reihe		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	

messende Hohlkugel aus gelochtem dünnen Messingblech oder Drahtgewebe wird das Meßrohr soweit eingeführt, daß die Mündung sich im Mittelpunkt befindet; der Hohlraum der Kugel wird mit dichtem Wust aus feiner Lametta (flachgewalzter dünner Kupferdraht mit dünnem Silber- oder Messingüberzug) oder mit feinem Schrot ausgefüllt. Dieses Meßwerkzeug hat vor allem

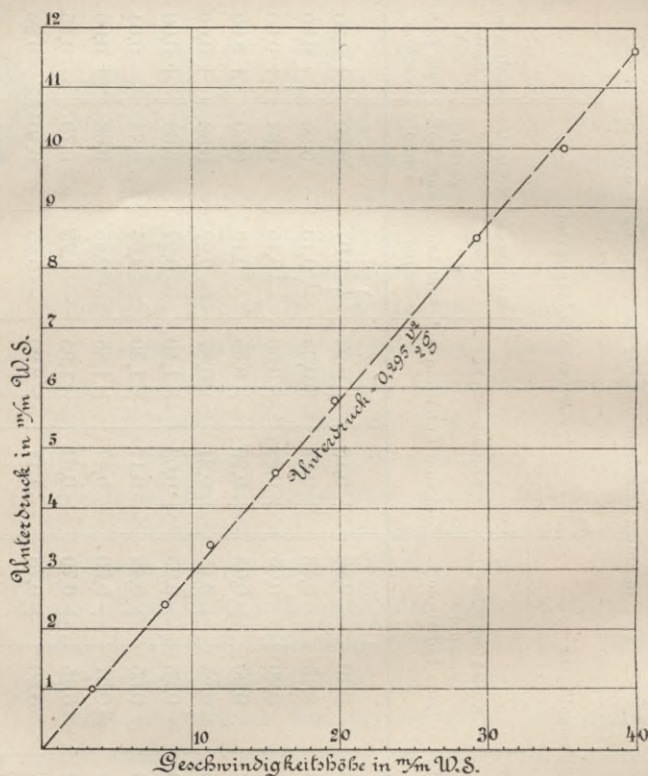


Fig. 28.

den Vorzug, daß es infolge seiner Kugelform keine bevorzugten Oberflächenteile hat, so daß es ganz gleichgültig für die Bildung des Staukegels ist, in welcher Richtung der Luftstrom auf die Kugel trifft.

Die Meßwerte für verschiedene Geschwindigkeiten sind in dem Diagramm, Fig. 28, zusammengestellt. Die Geschwindigkeitshöhen sind als Abszissen aufgetragen, die dazugehörigen Meß-



werte der Kugel als Ordinaten. Diese Meßwerte schwanken nicht wie bei den Kollektoren um den Nullwert, sondern sind ausgespro-

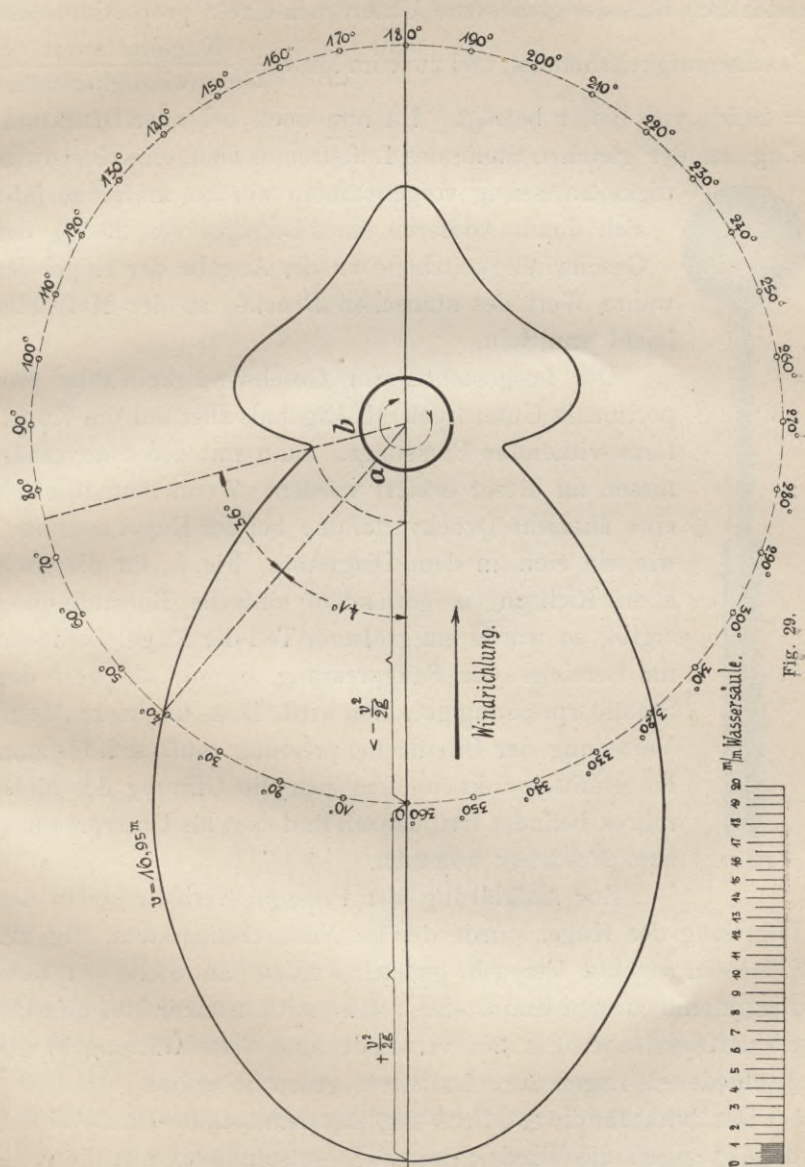


Fig. 29.

chene Saugpressungen, welche mit zunehmender Luftgeschwindigkeit größer werden.

Dadurch könnte die Einrichtung für statische Druckmessungen wertlos erscheinen. Aus dem Diagramm ist jedoch ohne weiteres ersichtlich, daß der gemessene Unterdruck direkt proportional der Geschwindigkeitshöhe ist, und zwar im Mittel  $\frac{\text{Kugelmefswert}}{\text{Geschwindigkeitshöhe}}$

= 29,5% von dieser beträgt. Da nun doch bei jeder Druckmessung an der gleichen Stelle des Luftstromes auch eine Geschwindigkeitsmessung vorgenommen werden muß, so läßt sich durch Addieren eines Betrages von 29,5% der Geschwindigkeitshöhe zu der Angabe der Kugel der wahre Wert des statischen Druckes an der Meßstelle leicht ermitteln.

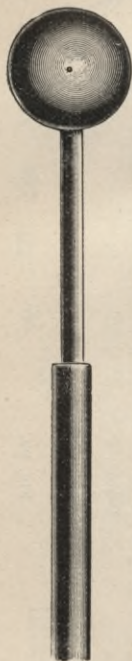


Fig. 30.

Der festgestellte, zur Geschwindigkeitshöhe proportionale Unterdruck als Ergebnis aller auf die Kugelform wirkenden Pressungen kann mit den Stauverhältnissen an dieser erklärt werden. Wenn man nämlich eine ähnliche Druckverteilung bei der Kugel annimmt, wie sie sich in dem Diagramm, Fig. 5, für die nach allen Richtungen gewendete einfache Rohrmündung ergibt, so würde ein größerer Teil der Kugeloberfläche im Bereiche der Saugpressung liegen, als von der Stauüberpressung getroffen wird. Diese ungleichmäßige Verteilung der Oberflächenpressung muß sich bis zum Kugelmittelpunkt, in dem sich die Öffnung des Meßrohres befindet fortpflanzen und dort als Unterpressung zum Ausdruck kommen.

Zur Aufklärung der Pressungsverhältnisse in der Umgebung der Kugel wurde der im Nullkreisdiagramm, Fig. 29, (S. 41) dargestellte Versuch gemacht, indem an Stelle der siebartig durchlöcherten Kugel eine solche mit nur einer Meßöffnung an der Oberfläche, Fig. 30, verwendet und diese Öffnung in die verschiedenen Lagen zum Luftstrom gebracht wurde.

Der Punkt für die  $\pm 0$ -Pressung liegt demnach bei einem Winkel von  $41^\circ$  gegen die Windrichtung. Es entsteht auch hier die volle Geschwindigkeitshöhe unter dem Winkel  $0^\circ$ . Die Verhältnisse auf der Unterdruckseite sind bei der Kugel etwas mehr verwischt,



und es kommt vor allem nicht zur Ausbildung der vollen Geschwindigkeitshöhe im Punkte der maximalen Saugpressung. Ferner beträgt hier auch der Winkel zwischen der Nullrichtung und derjenigen

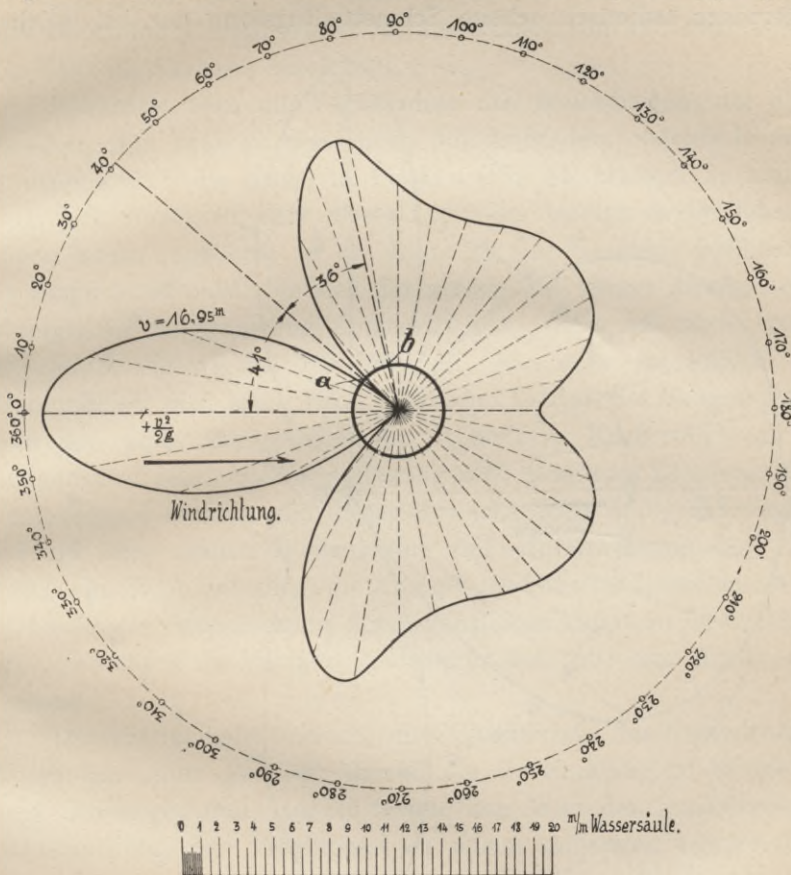


Fig. 31.

für maximale Unterpressung nicht  $26^\circ$ , wie bei der Serschen Scheibe und bei der Pécletschen Röhre, sondern  $34^\circ$ . Dagegen überragt die Saugpressung auf der dem Luftstrom abgekehrten Seite den Wert  $0,37 h$  bei der Stauscheibe um ein Geringes. Alle diese Erscheinungen sind darauf zurückzuführen, daß die den Kugelkörper umfließenden Luftfäden an der runden Form eine gute Führung erhalten und die Saugwirbel nicht so vollständig zur Ausbildung kommen können wie beim Vorbeiströmen an scharfen Kanten.

Das in Fig. 31 dargestellte Nullpunktdiagramm der Staukugel zeigt auch sehr deutlich die grössere Gleichmässigkeit der Unterdruckwerte. Die Unterdruckkurve stellt sich hier als eine geradezu ästhetisch schöne Schmetterlingsform dar, bei welcher

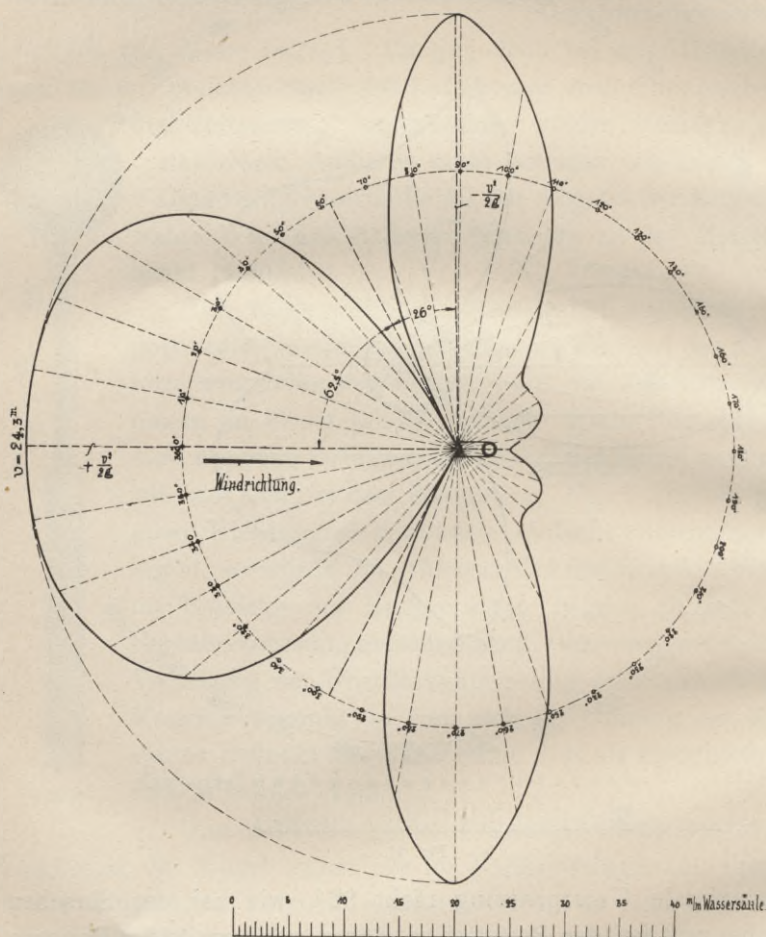


Fig. 32.

die gleiche Wellenfolge zu erkennen ist wie bei der Saugkurve der Serschen Scheibe, Fig. 16.

Um auch den Vergleich mit der einfachen Mündung der Pécletschen Röhre zu geben, trage ich in Fig. 32 das zu Fig. 5 gehörige Nullpunktdiagramm nach, welches die gleiche charak-



teristische Wellenfolge bei der Saugkurve zeigt, wie die übrigen Nullpunktdiagramme.

Der Kürze halber sei wieder die dem Wind abgekehrte Seite des stauenden Körpers, also bei der Kugel von  $41^\circ$  über  $180^\circ$  bis  $319^\circ$  als Leeseite bezeichnet.

Betrachtet man die Verhältnisse des Stauschattens auf der Leeseite, und zwar im besonderen den Luftfaden, welcher in der  $\pm 0$  Zone ( $41^\circ$ ) die Kugel im Punkt *a* (Fig. 31) berührt, so kann man sich vorstellen, daß dieser Luftfaden infolge seiner lebendigen Kraft, möglichst in der Richtung der Tangente bleibend, so lange fortschießt, bis sich der größte Teil seiner kinetischen Energie in Saugpressung umgesetzt hat. Dies ist nach dem Diagramm Fig. 31 bei  $78^\circ$  der Fall, also etwa im Punkte *b*. Von hier ab wird seine Bahn unter dem Einfluß des Saugraumes und der noch übriggebliebenen lebendigen Kraft etwa auf *c* zu gerichtet sein. Die Saugpressung wird dabei eine Zeit lang beschleunigend wirken, und dieser Zuwachs an lebendiger Energie erzeugt den zweiten Wellenkamm der Unterpressung bei ca.  $140^\circ$ , von da ab unterliegt die Energie des Fadens allmählich vollkommen der Saugpressung durch gänzliches Aufgehen in Wirbel, wie dies durch das Saugdruckminimum bei  $180^\circ$  zum Ausdruck kommt.

Der vorstehende Versuch, die Charakteristik der Unterdruckkurve mit einer gewissen Vorstellung in Einklang zu bringen, mag Anhänger und Gegner finden, den Wert der punktweisen Untersuchung der Pressungen an einem stauenden Körper für die Klärung der Stauverhältnisse wird man nicht in Abrede stellen können.

Es lohnt nach dieser Abschweifung wieder zu den Verhältnissen an der Mefskugel zurückzukehren und diese näher zu beleuchten. Die Angaben der Mefskugel sind, wie bemerkt, von der an dem Mefsorte herrschenden Windgeschwindigkeit abhängig, und zwar erniedrigt diese die Angabe des Instrumentes von der gewählten Ausführung um 29,5% der Geschwindigkeitshöhe. Wo die mittlere Geschwindigkeit im Kanal einigermaßen bekannt ist, hat die Kugel wegen ihrer Unabhängigkeit von der Wind-

richtung den Vorteil bequemer Handhabung, indem man unbekümmert um die Lage des Instrumentes den zu untersuchenden Querschnitt gewissermaßen punktweise abtasten, »sondieren«, kann. Wegen dieser Eigenschaft möchte ich auch für das Werkzeug den Namen »Drucksonde« vorschlagen.

Was nun die besondere Eigenschaft der Drucksonde anlangt, eine um 29,5% der am Meßpunkt herrschenden Geschwindigkeitshöhe niedrigere Pressung anzuzeigen, so sieht man, daß das Nullkreisdiagramm der Kugel, Fig. 31, über diese Erscheinung Aufklärung gibt.

Man könnte z. B. annehmen, daß im Mittelpunkt der Kugel sich die verschiedenen auf der Oberfläche herrschenden Druckwirkungen zu einem mittleren Druck zusammensetzen, welcher mittels des bis in den Kugelmittelpunkt reichenden Meßrohres gemessen wird. Zur Berechnung des mittleren Druckes kann man sich die ganze Kugeloberfläche in kleine Flächenelemente von z. B. je 1 qmm eingeteilt denken. Errichtet man auf jedem Flächenelement mit der dort herrschenden Druckhöhe ein Prisma, bildet die algebraische Summe aller dieser Prismen und dividiert durch die Gesamtoberfläche, so muß die sich ergebende Zahl die mittlere Druckhöhe sein. Diese Berechnung wurde auch wirklich ausgeführt, und zwar so, daß zunächst die Kugeloberfläche senkrecht zur Windrichtung in Kugelzonen gleicher Bogenlänge geteilt wurde. Durch Multiplikation dieser Zonenflächen mit dem mittleren Druck der Zone und algebraische Summierung aller dieser Ergebnisse erhält man den Gesamtwert, welcher durch die Kugelfläche zu dividieren ist, damit sich der mittlere Druck ergibt.

Graphisch läßt sich diese Aufgabe am besten lösen wie in Fig. 33 dargestellt.

Bekanntlich verhalten sich die Flächeninhalte von Kugelzonen wie deren Höhen. Projiziert man also die Zonenbögen alle auf den Kugeldurchmesser, so sind diese Projektionen proportional den Zonenflächen, und der so geteilte Kugeldurchmesser kann unmittelbar als Basis benutzt werden, auf welcher die zu den Zonen gehörigen mittleren Druckhöhen aufgetragen werden



können. Die Planimetrierung der Fläche und Division durch die Basis ergibt 8,6 mm, d. h. also 45% von dem Maximalwert 19,1 mm, welcher die Geschwindigkeitshöhe repräsentiert.

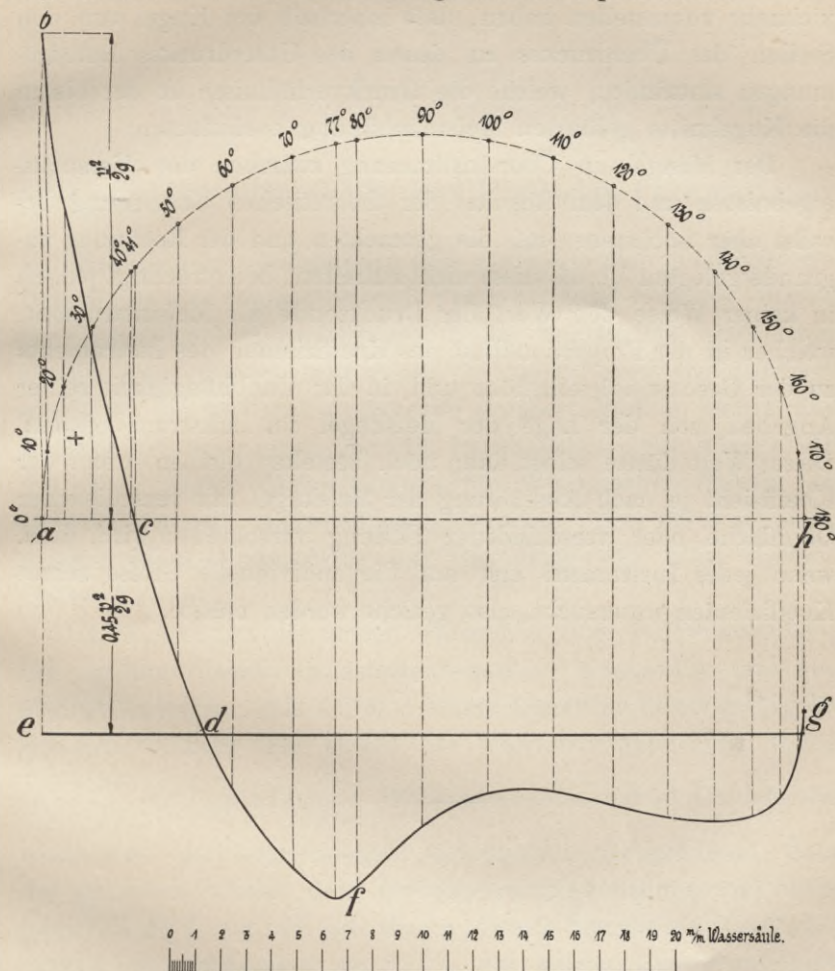


Fig. 33.

Es stimmt also unsere oben gemachte Annahme, daß der mit der Drucksonde gemessene Unterdruck den Mittelwert aller auf die Kugeloberfläche wirkenden Pressungen darstelle, mit den praktisch gemessenen Werten nicht besonders gut überein.

Der Grund ist darin zu suchen, daß in der Kugel trotz der dem Luftstrom bereiteten künstlichen Hindernisse nicht nur statische Einflüsse in Betracht kommen. Man wird sich vielmehr vorzustellen haben, daß innerhalb der Kugel von den Stellen des Überdruckes zu denen des Unterdruckes Luftströmungen stattfinden, welche die Druckverhältnisse an der bis in die Kugelmittle geführten Meßrohröffnung beeinflussen.

Der Mangel an Übereinstimmung zwischen den Versuchsergebnissen und dem Resultat der theoretischen Überlegung beweist aber höchstens, daß die gemachten und der Rechnung zugrunde gelegten Verhältnisse nicht zutreffen, beeinträchtigt jedoch in keiner Weise den Wert der Drucksonde als Meßinstrument, welcher in der Proportionalität des Koeffizienten des Instruments zu der Geschwindigkeitshöhe und in der Unabhängigkeit seiner Angaben von der Lage der Meßkugel im Luftstrom besteht. Dieser Wert dürfte selbst dann noch bestehen bleiben, wenn der Koeffizient je nach Ausführung der Meßkugel mit verschiedener Oberfläche oder verschiedener Füllung verschieden wird, d. h. wenn jedes Instrument erst auf die individuelle GröÙe seines Koeffizienten untersucht, also geaicht werden müÙte.

---



## Recknagelsche Stauscheibe und Krellsches Pneumometer.

Nachdem im vorstehenden eine gewissermaßen geschichtliche Darstellung der vorgenommenen Versuche gegeben wurde, indem die untersuchten Meßwerkzeuge in der Reihenfolge besprochen worden sind, wie ich schrittweise zu deren Erprobung gedrängt wurde, so bin ich noch Aufklärung darüber schuldig, warum das Krellsche Pneumometer und die Recknagelsche Stauscheibe als die zuverlässigsten Meßwerkzeuge für Windgeschwindigkeit bei allen Vergleichen zugrunde gelegt wurden. Dies führt zu einer eingehenderen Besprechung der Grundlagen für diese beiden Meßwerkzeuge.

Recknagel hat mit seinen Versuchen über Luftwiderstand<sup>1)</sup> die vor ihm überall als selbstverständlich hingestellte und geglaubte Annahme, daß auf eine einem Luftstrom direkt entgegengekehrte Öffnung der Druck der Geschwindigkeitshöhe wirke

$(p = \frac{v^2}{2g} \gamma)$  in gründlichster Weise beleuchtet und zum mindesten rechnerisch und experimentell einwandfrei nachgewiesen, daß der gemessene Druck dem der Geschwindigkeitshöhe um nicht mehr als 10% und die aus diesem Druck berechnete Geschwindigkeit um nicht mehr als 3,15% der wahren Geschwindigkeit nachstehen. Diese beobachtete Differenz schreibt Recknagel dem »Mitwind« zu, womit er die Geschwindigkeit der von der bewegten Stauscheibe mitgerissenen Luft bezeichnet. Die Versuchseinrichtung Recknagels bestand nämlich in einem als Arm aus-

<sup>1)</sup> Über Luftwiderstand von G. Recknagel, Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie, Bd. X, S. 677 (1880).

gebildeten Rohr, an dessen Ende eine hohle Stauscheibe mit einer Öffnung in ihrer Mitte verbunden war. Dieser Arm wurde in Drehung versetzt, so daß die Fläche der Stauscheibe senkrecht zu dem von ihr beschriebenen kreisförmigen Weg stand. Das mit der Öffnung in der Scheibenmitte in Verbindung stehende Meßrohr mündete in eine pneumatische Glocke, die in der Drehachse angeordnet war und so die Entnahme der in ihr herrschenden Pressung gestattete. Die wirkliche Geschwindigkeit der Stauscheibe wurde aus der Tourenzahl des Armes berechnet und damit die erhaltenen Meßwerte verglichen, natürlich unter Berücksichtigung der Zentrifugalwirkung der Luft in der Meßröhre. Der Einfluß des obenerwähnten Mitwindes wird auch bei der Aichung der Flügelanemometer, welche in der gleichen Weise geschieht, wie Recknagel seine Versuche mit der Stauscheibe vorgenommen hat, so genau wie möglich in Rechnung gezogen.

Man mag nun von der Genauigkeit der Mitwindbestimmung Recknagels denken, wie man will, man wird immer zugeben müssen, daß die von ihm gemessenen Abweichungen des Druckes von der Geschwindigkeitshöhe durch den Mitwind erklärt werden können und die Annahme berechtigt ist, daß man bei Messungen in einem sich gegen die ruhende Stauscheibe bewegenden Luftstrom, in welchem Falle der Mitwind natürlich nicht auftritt, so nahe der wirklichen Geschwindigkeitshöhe kommt, daß jede andere Annahme sicher einen größeren Fehler ergeben würde, als wenn man den gemessenen Druck direkt als Geschwindigkeitshöhe hinnimmt.

Die Literatur über die Verhältnisse, wie sie bei der Stauscheibe eintreten, ist recht spärlich und beschränkt sich eigentlich auf die Versuche mit der Pécletschen Röhre und bei Wasser auf die Pitotsche Röhre. Die Angaben für den bei letzterem Instrument zu benutzenden Koeffizienten gehen auch beträchtlich auseinander. So gibt Weisbach als Koeffizienten 0,8 an, während in der neuesten Ausgabe der »Hütte« direkt die Geschwindigkeitshöhe als Meßergebnis der Pitotschen Röhre genannt wird. Eine desto reichere Behandlung hat die Frage des Gesamtdruckes



von bewegtem Wasser und Luft auf entgegenstehende Flächen erfahren.

Bei der vollkommenen Übereinstimmung der Verhältnisse für Wasser und Luft, so lange es sich bei letzterer um geringe Pressungen handelt, bei denen der Einfluß ihrer Elastizität nicht zur Geltung kommt, sei es gestattet, diese Gebiete hier gemeinsam zu besprechen.

Es muß von vorneherein streng unterschieden werden zwischen dem Gesamtdruck einerseits, welcher von einer bewegten Flüssigkeit auf eine entgegenstehende Fläche ausgeübt wird und der in den üblichen Maßen für mechanische Kräfte (kg,  $\mathcal{A}$  etc.) ausgedrückt werden kann, und dem Flüssigkeitsdruck andererseits, welcher an jeder Stelle der Fläche durch die Staupressung in der in ihrer Bewegung aufgehaltenen Flüssigkeit entsteht, und der durch die erzeugte Flüssigkeitshöhe zu messen ist. Während die Abhängigkeit des Gesamtdruckes von Geschwindigkeit, Form der Fläche, Neigung derselben gegen die Stromrichtung etc. weder theoretisch noch praktisch bis jetzt in eine gesetzmäßige Form gekleidet werden konnte<sup>1)</sup>, zeigten die Methoden von Péclet, Pitot und Recknagel, welche alle die hydraulische Staupressung benutzten, einen Weg, der aller Wahrscheinlichkeit nach zu brauchbaren Ergebnissen führen konnte.

Wenn man bedenkt, daß die Hauptschwierigkeit die Pitotsche und Pécletsche Röhre sowie die Recknagelsche Stauscheibe zu aichen, darin liegt, die Geschwindigkeiten der gegen diese Instrumente bewegten Medien zu bestimmen, so wird man gerade in der Bewegungslehre flüssiger Körper ganz von selbst auf die äußerst einfache Beziehung zwischen der Ausflußgeschwindigkeit und der zur Erzeugung derselben erforderlichen Pressung hingewiesen. Diese Pressung wird bekanntlich durch eine Flüssigkeitssäule des betreffenden Mediums dargestellt von einer Höhe, welche der zu der erzeugten Ausflußgeschwindigkeit gehörenden Fallhöhe entspricht. Daher auch die Bezeichnung »Geschwindigkeitshöhe«.

<sup>1)</sup> S. a. J. F. D'Aubuisson de Voisins, *Traité d'hydraulique*, 1840, 281 und ff.  
S. a. Dr. A. Föppl, *Vorlesungen über technische Mechanik*, 1898, S. 372, 378.

Wie man nun in sehr einfacher Weise durch den Versuch die Richtigkeit des Gesetzes für die Ausflugschwindigkeit nachweisen kann, so mußte doch auch mittels der Pitotschen Röhre der Beweis geliefert werden können, daß beim Vernichten dieser Geschwindigkeit der zur Erzeugung derselben erforderliche hydraulische Druck wiedergewonnen wird.

Bei der fast unmeßbar geringen inneren Reibung von Wasser und Luft bestand die Hoffnung, daß der Versuch der doppelten Umsetzung aus Druckhöhe in Geschwindigkeit und aus dieser Geschwindigkeit wieder in Druckhöhe fast verlustfrei sich vollziehen würde. Allerdings stellen Weisbach<sup>1)</sup> und andere den Geschwindigkeitskoeffizienten für Wasser zu 0,967 für eine Druckhöhe von 2 cm und zu 0,994 für eine solche von 103 m fest; aber die Überlegung, daß die zur Feststellung verwendeten Methoden mit Hilfe der Ausflugsmenge des Wassers und der Sprungweite des Strahles nur mittlere Geschwindigkeiten des Strahles liefern konnten, ließ erwarten, daß der mittlere Faden des ausfließenden Strahles, weil er sich nur an anderen Wasserteilchen reiben kann, während der Mantel des Strahles an dem festen Rande der Ausflußöffnung stärker zurückgehalten wird, der theoretischen Ausflugschwindigkeit ungemein nahe kommen müsse. Es kam daher bei dem Versuch darauf an, diesen mittleren Faden durch eine möglichst zugespitzte Pitotsche Röhre herauszufangen und zur Erzeugung der Druckhöhe zu benutzen.

Der Versuch wurde mit der in Fig. 34 dargestellten Anordnung gemacht und gelang über alle Erwartungen. Das Wasser in der Versuchsröhre *A* stieg bei einer Druckhöhe von ca. 1800 mm genau so hoch unter dem Einfluß des Staudruckes wie in der mit dem Gefäß kommunizierenden Röhre *B*. Jedenfalls lag die Differenz der Wassersäulen innerhalb des Beobachtungsfehlers. Bei der Schärfe der Ablesung in den dicht nebeneinander gestellten Röhren kann der Beobachtungsfehler aber keinesfalls mehr als 1 mm betragen haben, was in Prozenten ausgedrückt 0,0556 % ausmachen würde. Wenn beachtet wird, daß eine Differenz über-

<sup>1)</sup> J. Weisbach, Lehrbuch der theoretischen Mechanik, 4 Aufl., 1862, I. 787.



haupt nicht beobachtet wurde, die Annahme des Fehlers von 1 mm vielmehr nur unter dem Eindruck geschätzt ist, daß es eine ganz verlustlose Umsetzung nicht geben könne, so darf wohl von einem auch die Theorie vollkommen befriedigenden exakten Nachweis des Gesetzes gesprochen werden.

Es muß bemerkt werden, daß eine sehr genaue Einstellung der Röhrenpitze auf die Mitte des Strahles vorgenommen werden mußte, damit man dieses vorzügliche Resultat erhielt; die geringste Verschiebung nach dem Rande des allerdings nur 4 mm starken Strahles hatte sofort ein beträchtliches Sinken der Staudrucksäule im Gefolge.

Die gleichen Versuche mit einer Stauscheibe ergaben genau das gleiche Resultat.

Der Versuch mit Luft liefs mit Rücksicht auf die noch geringere innere Reibung ein wenigstens gleich gutes Ergebnis erwarten. In diesem Falle mußte jedoch zur Erhöhung der Genauigkeit in der Messung der Differenz der beiden Druckhöhen ein Mikromanometer (mit Steigung 1:50) benutzt werden. Die gewählte Schaltung geht aus Fig. 35 hervor, welche im übrigen sich selbst erklären dürfte. Der statische Druck von 160 mm Wassersäule im Gefäß wurde dadurch hergestellt, daß sein oberes offenes Ende dem Luftstrom eines kräftigen Ventilators entgegengestellt wurde, wodurch eine Staupressung im Inneren des Gefäßes erzeugt werden konnte. Die hier angewendete genauere Meßmethode gestatte auch eine

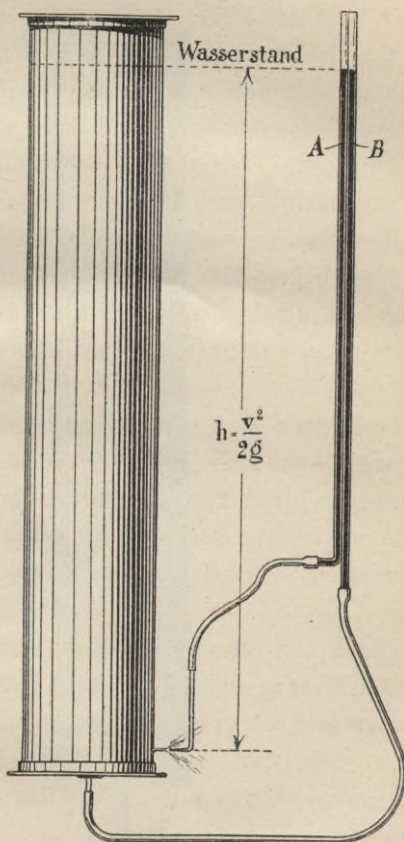


Fig. 34.

Größenbestimmung der Verluste. Bei einem Druck von 80 mm W. S. ergab sich der Unterschied, zwischen statischem Druck und dy-

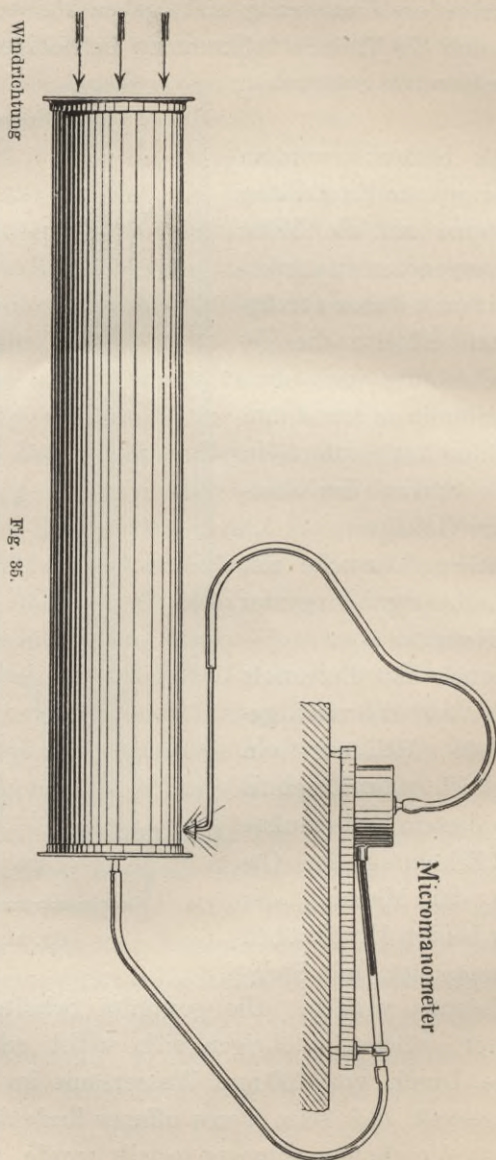


Fig. 35.

namischem gemessen mittels der Péclet'schen Röhre zu 0,035 bis 0,055 mm, also von 0,0437 bis 0,0686 ‰; letzterer Verlust ergab



sich auch bei Anwendung der Stauscheibe bei 160 mm Druck W. S., indem 0,11 mm Unterschied gemessen wurde, also ebenfalls 0,0686 % der Geschwindigkeitshöhe. Der sich hieraus ergebende Umsetzungskoeffizient von 0,999314 darf aber wohl auch bei sehr genauen Messungen gleich 1 gesetzt werden und auch hier die Annahme gerechtfertigt erscheinen, daß der geringste Fehler gemacht wird, wenn bei Verwendung der zugespitzten Pitotschen bzw. Pécletschen Röhre und der Stauscheibe Staudrucke direkt als Geschwindigkeitshöhen angenommen werden.

Es ist ersichtlich, daß zum Nachweis dieses Umsetzungsverhältnisses nicht einmal die Kenntnis des Gesetzes notwendig ist, nach welchem sich Druck in Geschwindigkeit und diese in Druck umsetzt, und insofern kann der Versuch wohl als ein Fundamentalversuch bezeichnet und zur Vorführung in der Experimentalphysik empfohlen werden.

Es darf übrigens nicht verschwiegen werden, daß auch Recknagel den Zug eines Schornsteines zu einem solchen Versuch benutzte, indem er durch eine Öffnung unten in den Schornstein Luft einströmen und auf eine Stauscheibe stoßen ließ. Der erzeugte Staudruck wurde hierbei direkt durch den im Schornstein herrschenden Unterdruck aufgehoben.

Nicht ganz verständlich ist es, weshalb Recknagel diesem Versuch nicht mehr Gewicht beilegt, sondern ihn nur ganz flüchtig berührt, da er doch ebenso wie die obengeschilderten schlagender als alle umständlichen Rechnungsmethoden mit Berücksichtigung des so schwer zu bestimmenden Mitwindes und der Zentrifugalkwirkungen die geradezu ideale Eigenschaft seiner Stauscheibe vor Augen führt.

Wie oben erwähnt, haftet der Recknagelschen Stauscheibe, wenn sie zur Messung von Windgeschwindigkeiten benutzt werden soll, nur der kleine Mangel an, daß der Staudruck vorne und der Saugdruck hinten bei umgedrehter Scheibe nicht gleichzeitig gemessen werden können.

Diesen Mangel beseitigte Krell sen.<sup>1)</sup> dadurch, daß er, wie in Fig. 36 dargestellt, sowohl die Vorderseite als auch die Rück-

<sup>1)</sup> O. Krell sen., hydrostatische Meßinstrumente.

seite der hohlen Stauscheibe in der Mitte durchbohrte und eine Scheidewand einsetzte, so daß mittels der an den Kammern angesetzten Meßröhrchen direkt die Differenz der Drucke vorne und hinten, also der Wert  $1,37 p$  gemessen werden konnte.<sup>1)</sup>

Diese Einrichtung in Verbindung mit empfindlichen Mikromanometern, Fig. 37, belegt Krell sen. mit Namen »Pneumometer« (*πνεῦμα* der Hauch, Wind) und hat damit einen für den Gebrauch äußerst zuverlässigen und bequemen Geschwindigkeitsmesser geschaffen.

Ich beschränke mich hier darauf, eine Abbildung dieser Einrichtung zu geben, aus welcher auch ohne nähere Beschreibung das Hauptsächliche entnommen werden kann, und verweise im Übrigen auf seine Abhandlung über »Hydrostatische Meßinstrumente«.

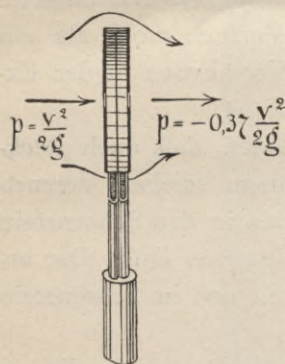


Fig. 36.

Der Apparat ist insofern universell, als er außer seiner Verwendbarkeit als Geschwindigkeitsmeßinstrument gleichzeitig auch ein einwandfreies Mittel darstellt, an jeder Stelle den statischen Druck zu errechnen. Man hat nämlich nur nötig, nachdem man die Geschwindigkeitshöhe zu  $h = \frac{p}{1,37}$  bestimmt hat, worin

$p$  die ganze Pressungsdifferenz zwischen Vorder- und Rückfläche der Stauscheibe bedeutet, die Gesamtpressung  $p_v$  auf die Vorderfläche allein zu messen, indem man den Meßschlauch für die rückwärtige Öffnung der Stauscheibe vom Mikromanometer löst. Die Differenz  $p_v - h$  ergibt dann die an der Meßstelle herrschende statische Pressung.

Wer den ungeheuren Aufwand an Arbeit und Zeit kennt, welcher an allen meteorologischen Stationen ständig geleistet werden muß, um die Rotationsanemometer, Schalenkreuze etc. durch stets wiederholte genaue Bestimmung der »Konstanten« in

<sup>1)</sup> Daß durch eine solche Einrichtung der statische Druck eliminiert wird, ist auf Seite 25 nachgewiesen worden.



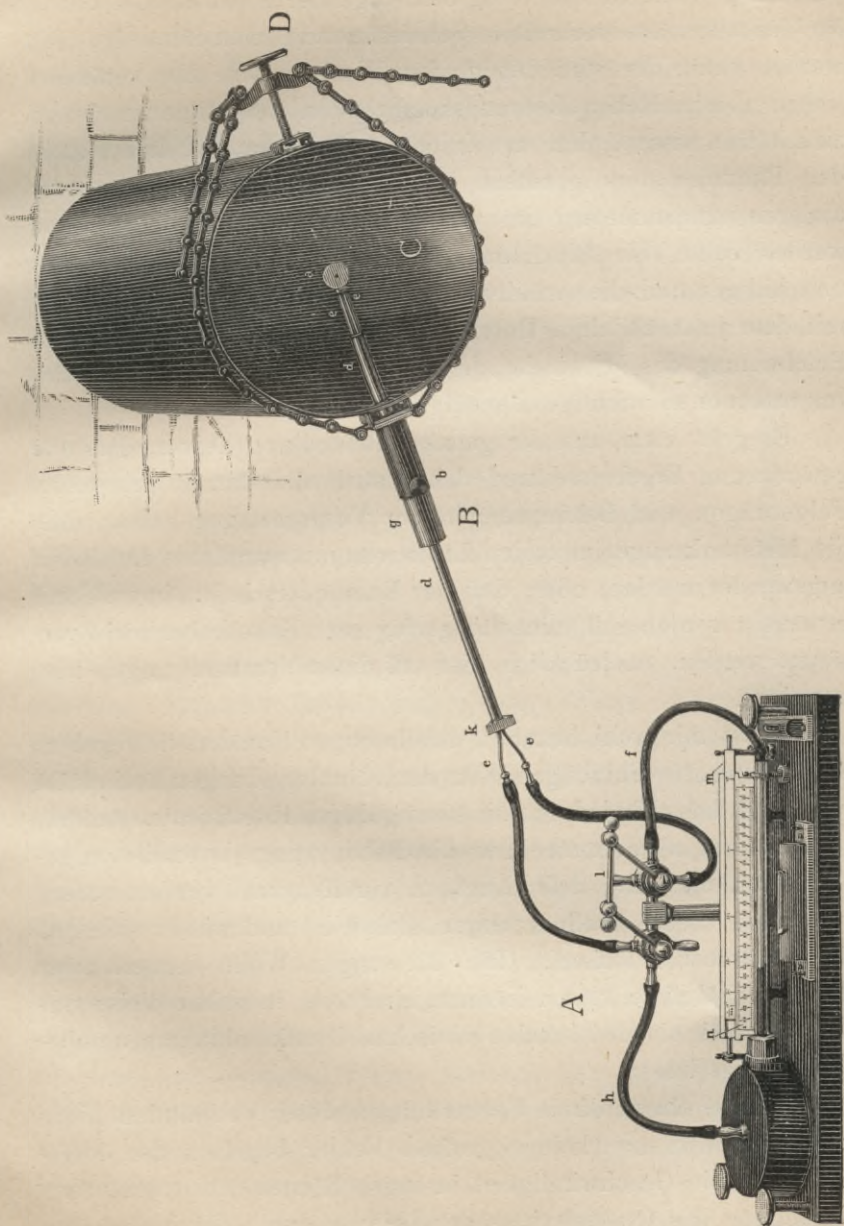


Fig. 37.

wissenschaftlich gebrauchsfähigem Zustande zu erhalten, und wer vor allem weiß, in wie wenig befriedigender Weise die Gleichung für das allerwärts verbreitete Schalenkreuzanemometer aufgestellt werden kann, der wird den großen Wert des von allen veränderlichen mechanischen Reibungskoeffizienten freien Pneumometers zu schätzen wissen. Ich stehe nicht an zu behaupten, daß mittels des Pneumometers geradezu die Aichung von Rotations- oder anderen Anemometern im bewegten Luftstrom vorgenommen werden sollte, die Einrichtungen hierfür würden viel einfacher und billiger und die Arbeiten viel weniger zeitraubend sein als mit dem jetzt üblichen Rotationsapparat, bei welchem die lästige Erscheinung des Mitwindes der Aichung die für wissenschaftliche Instrumente so wichtige Genauigkeit nimmt.

Es geht zwar aus der ganzen Abhandlung hervor, daß alle gewonnenen Ergebnisse und daher auch die daraus gezogenen Folgerungen und Behauptungen zur Voraussetzung haben, daß die Meßwerkzeuge im freien Luftstrom mit parallelen Luftfäden angewendet werden, oder, daß der Kanalquerschnitt, in welchem gemessen werden soll, nicht zu gering sei. Es soll aber nicht versäumt werden, ausdrücklich hier auf diese Voraussetzungen hinzuweisen.

Es ist mir wohl bekannt, daß in engen Kanälen die reguläre Ausbildung des Stauhügels von den Kanalwandungen beeinflusst wird, und daß sich dadurch die sonst gültigen Koeffizienten ändern, bis jetzt ist aber immer nur die Behauptung als solche aufgestellt worden, ohne daß Angaben veröffentlicht worden wären, wie groß dieser Einfluß enger Röhre ist und wie er sich auf die Stauscheibe äußert. Die Messungen Wolffs hätten zwar diese Verhältnisse klären können, sind aber in keiner Weise verwertbar, weil sie den lokalen statischen Druck vollkommen unberücksichtigt lassen.

Solange einwandfreie Feststellungen dieser Verhältnisse nicht vorliegen, wird man keinen großen Fehler begehen, den Meßfehler für die Geschwindigkeit in engen Röhren der prozentualen Verengung des Querschnittes der Leitung durch die Stauscheibe gleichzusetzen. Man wird also z. B. mit kleinen Stauscheiben



von 6 mm Durchmesser = 28,3 qmm in einem Rohr von 60 mm Durchmesser = 2830 qmm etwa mit 1 % Genauigkeit messen können. Hauptbedingung für alle diese Behauptungen ist die Verwendung ganz dünner Scheiben, deren Dickenabmessungen im Verhältnis zu ihrem Durchmesser sehr gering sind. Diese Bedingung zu erfüllen wird allerdings um so schwieriger, je kleiner im Durchmesser die Stauscheiben werden.

Nach den Feststellungen der Versuche darf ich wohl behaupten, daß die doppelseitige Stauscheibe gegenwärtig als dasjenige Instrument angesehen werden kann, welches in den weitesten Grenzen benutzbar ist und, in nicht zu extremen Verhältnissen verwandt, genaue Resultate liefert.

Immer aber wird sie allen Rotationsinstrumenten gegenüber einen beträchtlichen Vorsprung behalten, durch die momentane Angabe der Meßwerte, die Unabhängigkeit von mechanischen Reibungswiderständen und die Konstanz der Koeffizienten.

Ein einmal selbst für extreme Verhältnisse geaichtes Pneumometer z. B. wird, solange es überhaupt Resultate liefert, stets richtige Werte geben, während ein für ähnliche Verhältnisse geaichtes Flügelanemometer nur in unmittelbarer Nähe der Aichstelle und unter ständiger Kontrolle durch dieselbe verwendbar bleiben wird. Der praktische Ingenieur kann mit einem von mechanischen Reibungs- und Festigkeitsverhältnissen abhängigen Meßwerkzeug ohne Gelegenheit zur Nachaichung nicht das geringste anfangen. Benutzt er es doch, so wird ihm zum mindesten das so ungemein wertvolle Vertrauen in die gewonnenen Meßergebnisse fehlen, ganz abgesehen davon, daß durch umständliche Meßmethoden die Lust am häufigen Messen verloren geht und dann gar zu leicht an Stelle von objektiven Feststellungen subjektive Vermutungen treten, welche den projektierenden Ingenieur wertvoller Erfahrungen berauben können.

Es ist oben darauf hingewiesen worden, daß die Stauscheibe (auch die zweiseitige) möglichst geringe Abmessungen in

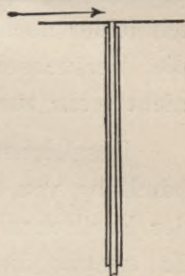


Fig. 38.

der Dicke haben sollte, um gute Ergebnisse bei den Messungen zu gewähren. Von diesem Gesichtspunkt aus scheint ein von Geheimrat Rietschel meines Wissens neuerdings versuchtes Instrument geradezu ideal zu sein, dessen Darstellung im Schnitt in Fig. 38 gegeben ist. Die Scheibe besteht aus einem einfachen dünnen Blech, wie unsere Versuchsscheibe in Fig. 14. Die Pressung auf der Rückseite wird durch ein als Mantel über das Meßrohr für die Vorderseite geschobenes Rohr entnommen, welches mit seinem Rande bis dicht an die Rückseite der Stauscheibe geführt ist. Wenn nicht die Pressungsverhältnisse durch das Rohr in der Scheibenmitte gegenüber der glatten Scheibe gestört werden, müssen die Angaben vorzügliche sein. Ob dies zutrifft, konnte ich leider noch nicht durch eigene Versuche feststellen, weil mir die Versuchseinrichtung bei Bekanntwerden des Instrumentes nicht mehr zur Verfügung stand.

Degleichen erfahre ich kurz vor Drucklegung dieser Abhandlung von einem Instrument, mit welchem Prandtl an Stelle der Krellschen doppelseitigen Stauscheibe gemessen haben soll. Er ersetzte die hohle Stauscheibe durch ein einfaches rundes Blech und führte zur Messung der Stauüber- und -unterpressung vor und hinter der Scheibe dünne gebogene Rohre bis nahe an die Mittelpunkte der Blechscheibe. Dieses Instrument muß in der Tat vorzügliche Resultate liefern und soll in staubführenden Luftströmen weniger leicht verschmutzen als die hohle Stauscheibe. Leider konnte ich auch dieses Instrument noch nicht auf seine Eigenschaften untersuchen.

Sollte es mir gelungen sein, durch die Mitteilung vorstehender Versuchsergebnisse mit den verschiedenen Meßwerkzeugen die hydrostatischen Meßmethoden gefördert und vielleicht eine Anregung zu ihrer weiteren Ausbildung gegeben zu haben, so würde ich mich dadurch reich für die aufgewendete Mühe entschädigt sehen.

Zum Schluß ist es mir eine angenehme Pflicht, der E. A. vorm. Schuckert & Co. und den Siemens-Schuckert-Werken G. m. b. H. meinen verbindlichsten Dank dafür auszusprechen, daß sie in



richtiger Einschätzung des praktischen Wertes der Versuche bereitwilligst die dazu notwendigen Mittel und Versuchsräume zur Verfügung stellten. Außerdem schulde ich aber auch den Herren Oberingenieur Stauch und Ingenieur Regensteiner großen Dank für die Aufopferung, mit der sie mich bei den zum Teil recht mühseligen Messungen unterstützten.

Tabelle I.

In der Tabelle bedeutet  $h$  die Geschwindigkeitshöhe für trockene Luft  $= 1,293 \frac{v^2}{2g}$  bei  $0^\circ$  Celsius und 760 mm Barometerstand. Die Werte sind alle in Millimetern Wassersäule angegeben.  $v$  bedeutet die zugehörige Luftgeschwindigkeit in m/sek. In der dritten Reihe unter  $p_p$  sind die zu den Geschwindigkeiten gehörigen Angaben der doppelseitigen Stauscheibe (Pneumometerkopf) enthalten, die um  $37\%$  über den Geschwindigkeitshöhen liegen, also die Zahlenwerte von  $1,37 \times 1,293 \frac{v^2}{2g}$  darstellen. In der vierten Reihe sind die bei Messungen mit der »Drucksonde« zu den Angaben derselben zu addierenden Werte verzeichnet.

$h$	$v$	$p_p$	$p_s$	$h$	$v$	$p_p$	$p_s$
0,00016	0,05	0,00022	0,00005	0,1483	1,50	0,2031	0,0438
0,00066	0,10	0,0009	0,00019	0,1583	1,55	0,2169	0,0467
0,00148	0,15	0,0020	0,00044	0,1687	1,60	0,2311	0,0498
0,00246	0,20	0,0036	0,00078	0,1794	1,65	0,2458	0,0529
0,0041	0,25	0,0056	0,00121	0,1905	1,70	0,2609	0,0562
0,0059	0,30	0,0081	0,00174	0,2018	1,75	0,2765	0,0595
0,0081	0,35	0,0111	0,00238	0,2135	1,80	0,2925	0,0630
0,0105	0,40	0,0144	0,00310	0,2255	1,85	0,3090	0,0665
0,0133	0,45	0,0183	0,00392	0,2379	1,90	0,3259	0,0702
0,0165	0,50	0,0226	0,00487	0,2506	1,95	0,3433	0,0740
0,0199	0,55	0,0273	0,00588	0,2636	2,00	0,3611	0,0778
0,0237	0,60	0,0325	0,00699	0,2906	2,10	0,3982	0,0857
0,0278	0,65	0,0381	0,00820	0,3090	2,20	0,4370	0,0911
0,0323	0,70	0,0442	0,00954	0,3486	2,30	0,4776	0,1027
0,0371	0,75	0,0508	0,01094	0,3796	2,40	0,5200	0,1119
0,0422	0,80	0,0578	0,01244	0,4119	2,50	0,5643	0,1235
0,0476	0,85	0,0652	0,01404	0,4455	2,60	0,6103	0,1314
0,0534	0,90	0,0731	0,01575	0,4804	2,70	0,6582	0,1416
0,0595	0,95	0,0815	0,01755	0,5167	2,80	0,7078	0,1525
0,0659	1,00	0,0903	0,01944	0,5542	2,90	0,7593	0,1635
0,0727	1,05	0,0995	0,02144	0,5931	3,00	0,8126	0,1750
0,0797	1,10	0,1092	0,0235	0,6333	3,10	0,8676	0,1866
0,0871	1,15	0,1194	0,0257	0,6748	3,20	0,9245	0,1990
0,0949	1,20	0,1300	0,0280	0,7177	3,30	0,9832	0,2118
0,1030	1,25	0,1411	0,0308	0,7618	3,40	1,0437	0,2248
0,1114	1,30	0,1526	0,0328	0,8073	3,50	1,1060	0,2380
0,1201	1,35	0,1645	0,0354	0,8541	3,60	1,1701	0,2520
0,1292	1,40	0,1770	0,0381	0,9022	3,70	1,2360	0,2660
0,1386	1,45	0,1898	0,0409	0,9516	3,80	1,3037	0,2809



$h$	$v$	$pp$	$ps$	$h$	$v$	$pp$	$ps$
1,0024	3,90	1,3732	0,2958	17,942	16,5	24,580	5,295
1,0544	4,00	1,4446	0,3120	19,046	17,0	26,093	5,620
1,1078	4,10	1,5177	0,3270	20,182	17,5	27,650	5,955
1,1625	4,20	1,5926	0,3460	21,352	18,0	29,253	6,300
1,2185	4,30	1,6694	0,3597	22,555	18,5	30,900	6,66
1,2758	4,40	1,7478	0,3765	23,790	19,0	32,592	7,02
1,3345	4,50	1,8283	0,3938	25,059	19,5	34,332	7,39
1,3945	4,60	1,9104	0,4115	26,360	20,0	36,114	7,78
1,4558	4,70	1,9944	0,4295	29,063	21,0	39,816	8,57
1,5184	4,80	2,0802	0,448	31,897	22,0	43,699	9,41
1,5823	4,90	2,1678	0,467	34,862	23,0	47,761	10,29
1,6475	5,00	2,2571	0,486	37,960	24,0	52,005	11,19
1,8164	5,25	2,4885	0,536	41,188	25,0	56,428	12,14
1,9935	5,50	2,7311	0,588	44,550	26,0	61,033	13,14
2,1788	5,75	2,9850	0,643	48,043	27,0	65,818	14,16
2,3725	6,00	3,2503	0,700	51,667	28,0	70,784	15,23
2,5742	6,25	3,5267	0,759	55,423	29,0	75,929	16,34
2,7843	6,50	3,8145	0,821	59,312	30,0	81,257	17,49
3,0026	6,75	4,1136	0,886	63,331	31,0	86,764	18,66
3,2292	7,00	4,4240	0,971	67,484	32,0	92,453	19,90
3,4639	7,25	4,7456	1,021	71,766	33,0	98,319	21,16
3,7070	7,50	5,0786	1,093	76,182	34,0	104,37	22,47
3,9581	7,75	5,4226	1,166	80,730	35,0	110,60	23,8
4,2177	8,00	5,7783	1,242	85,409	36,0	117,01	25,2
4,4854	8,25	6,1450	1,323	90,220	37,0	123,60	26,6
4,7615	8,50	6,5232	1,405	95,162	38,0	130,37	28,1
5,0450	8,75	6,9117	1,488	100,24	39,0	137,23	29,6
5,3381	9,00	7,3131	1,586	105,44	40,0	144,46	31,1
5,6385	9,25	7,7249	1,662	110,78	41,0	151,77	32,7
5,9477	9,50	8,1483	1,754	116,25	42,0	159,26	34,3
6,2647	9,75	8,5826	1,847	121,85	43,0	166,94	35,9
6,5902	10,00	9,0286	1,944	127,58	44,0	174,78	37,7
7,2657	10,50	9,9540	2,142	133,45	45,0	182,83	39,4
7,9742	11,00	10,925	2,350	139,45	46,0	191,04	41,2
8,7156	11,50	11,940	2,571	145,58	47,0	199,44	42,9
9,4898	12,00	13,001	2,800	151,84	48,0	208,02	44,8
10,297	12,50	14,107	3,038	158,23	49,0	216,78	46,7
11,137	13,00	15,258	3,288	164,75	50,0	225,71	48,6
12,011	13,50	16,455	3,545	237,25	60,0	325,03	70,0
12,917	14,00	17,696	3,820	322,92	70,0	442,40	94,7
13,856	14,50	18,982	4,090	421,77	80,0	577,83	124,3
14,828	15,00	20,314	4,375	533,81	90,0	751,33	157,5
15,833	15,50	21,691	4,672	659,02	100,0	902,86	194,4
16,871	16,00	23,113	4,980				

Tabelle II

des relativen Gewichts von trockener Luft bei verschiedenen Temperaturen und  
 $\alpha = 0,003665$  Barometer

$t$	700	705	710	715	720	725	730	735	740
— 5°	0,9382	0,9449	0,9516	0,9583	0,9650	0,9717	0,9784	0,9851	0,9919
— 4°	0,9347	0,9414	0,9481	0,9548	0,9614	0,9681	0,9748	0,9815	0,9882
— 3°	0,9312	0,9379	0,9445	0,9512	0,9578	0,9645	0,9711	0,9778	0,9845
— 2°	0,9278	0,9344	0,9411	0,9477	0,9543	0,9610	0,9676	0,9742	0,9809
— 1°	0,9244	0,9310	0,9376	0,9442	0,9508	0,9574	0,9640	0,9706	0,9773
0°	<b>0,9210</b>	<b>0,9276</b>	<b>0,9342</b>	<b>0,9408</b>	<b>0,9473</b>	<b>0,9539</b>	<b>0,9605</b>	<b>0,9671</b>	<b>0,9737</b>
1°	0,9176	0,9242	0,9308	0,9374	0,9438	0,9504	0,9570	0,9636	0,9701
2°	0,9142	0,9208	0,9273	0,9339	0,9403	0,9469	0,9534	0,9600	0,9665
3°	0,9109	0,9174	0,9240	0,9305	0,9369	0,9435	0,9500	0,9565	0,9630
4°	0,9077	0,9142	0,9205	0,9272	0,9336	0,9401	0,9466	0,9531	0,9595
5°	0,9044	0,9109	0,9173	0,9238	0,9302	0,9367	0,9432	0,9496	0,9561
6°	0,9011	0,9076	0,9141	0,9205	0,9269	0,9333	0,9398	0,9463	0,9527
7°	0,8979	0,9044	0,9108	0,9172	0,9236	0,9300	0,9364	0,9429	0,9493
8°	0,8947	0,9011	0,9075	0,9139	0,9203	0,9267	0,9331	0,9395	0,9459
9°	0,8916	0,8980	0,9043	0,9107	0,9170	0,9234	0,9298	0,9362	0,9426
10°	0,8885	0,8948	0,9012	0,9075	0,9138	0,9202	0,9265	0,9329	0,9393
11°	0,8854	0,8917	0,8980	0,9043	0,9106	0,9169	0,9233	0,9296	0,9360
12°	0,8822	0,8885	0,8948	0,9011	0,9074	0,9137	0,9200	0,9263	0,9327
13°	0,8791	0,8853	0,8916	0,8979	0,9041	0,9104	0,9145	0,9230	0,9293
14°	0,8761	0,8823	0,8886	0,8948	0,9010	0,9073	0,9136	0,9199	0,9261
15°	0,8730	0,8792	0,8855	0,8917	0,8979	0,9042	0,9104	0,9167	0,9229
16°	0,8700	0,8762	0,8824	0,8886	0,8948	0,9010	0,9072	0,9135	0,9197
17°	0,8670	0,8732	0,8794	0,8856	0,8917	0,8980	0,9042	0,9104	0,9166
18°	0,8640	0,8701	0,8763	0,8825	0,8886	0,8948	0,9010	0,9072	0,9134
19°	0,8610	0,8672	0,8733	0,8795	0,8856	0,8918	0,8979	0,9041	0,9103
20°	0,8581	0,8642	0,8703	0,8765	0,8825	0,8887	0,8948	0,9010	0,9071
21°	0,8551	0,8612	0,8674	0,8735	0,8795	0,8856	0,8918	0,8979	0,9040
22°	0,8522	0,8584	0,8645	0,8706	0,8766	0,8827	0,8884	0,8949	0,9010
23°	0,8494	0,8555	0,8616	0,8676	0,8736	0,8797	0,8858	0,8919	0,8980
24°	0,8465	0,8526	0,8587	0,8647	0,8707	0,8768	0,8828	0,8889	0,8950
25°	0,8437	0,8497	0,8558	0,8618	0,8678	0,8738	0,8799	0,8859	0,8920
26°	0,8408	0,8468	0,8529	0,8589	0,8648	0,8709	0,8769	0,8829	0,8889
27°	0,8381	0,8441	0,8501	0,8561	0,8620	0,8680	0,8740	0,8800	0,8860
28°	0,8352	0,8412	0,8472	0,8532	0,8591	0,8650	0,8710	0,8770	0,8830
29°	0,8324	0,8384	0,8444	0,8503	0,8562	0,8622	0,8681	0,8741	0,8801
30°	0,8297	0,8356	0,8416	0,8475	0,8534	0,8593	0,8653	0,8712	0,8772



Tabelle II

verschiedenen Barometerständen im Vergleich zu Luft von 0° bei 760 mm stand.

745	750	755	760	765	770	775	780	Differenz für 1 mm
0,9985	1,0052	1,0119	<b>1,0187</b>	1,0254	1,0321	1,0388	1,0455	0,00134
0,9947	1,0015	1,0082	<b>1,0149</b>	1,0215	1,0282	1,0349	1,0416	0,00133
0,9910	0,9977	1,0044	<b>1,0111</b>	1,0177	1,0244	1,0310	1,0377	0,00133
0,9874	0,9941	1,0007	<b>1,0074</b>	1,0140	1,0206	1,0272	1,0339	0,00132
0,9838	0,9904	0,9970	<b>1,0037</b>	1,0103	1,0169	1,0235	1,0301	0,00132
<b>0,9802</b>	<b>0,9868</b>	<b>0,9934</b>	<b>1,0000</b>	<b>1,0066</b>	<b>1,0132</b>	<b>1,0197</b>	<b>1,0263</b>	<b>0,00131</b>
0,9766	0,9832	0,9898	<b>0,9964</b>	1,0029	1,0095	1,0160	1,0226	0,00131
0,9730	0,9795	0,9861	<b>0,9927</b>	0,9992	1,0058	1,0123	1,0188	0,00130
0,9695	0,9760	0,9825	<b>0,9891</b>	0,9956	1,0021	1,0086	1,0151	0,00130
0,9660	0,9725	0,9790	<b>0,9856</b>	0,9921	0,9986	1,0050	1,0115	0,00129
0,9625	0,9690	0,9755	<b>0,9820</b>	0,9884	0,9949	1,0013	1,0078	0,00129
0,9591	0,9655	0,9720	<b>0,9785</b>	0,9849	0,9914	0,9978	1,0042	0,00128
0,9556	0,9621	0,9685	<b>0,9750</b>	0,9814	0,9878	0,9942	1,0006	0,00128
0,9522	0,9586	0,9650	<b>0,9715</b>	0,9779	0,9843	0,9906	0,9970	0,00127
0,9489	0,9553	0,9617	<b>0,9681</b>	0,9744	0,9808	0,9871	0,9936	0,00127
0,9455	0,9519	0,9583	<b>0,9647</b>	0,9710	0,9774	0,9837	0,9901	0,00127
0,9422	0,9486	0,9549	<b>0,9613</b>	0,9676	0,9739	0,9813	0,9866	0,00126
0,9389	0,9452	0,9515	<b>0,9579</b>	0,9642	0,9705	0,9767	0,9830	0,00126
0,9356	0,9419	0,9482	<b>0,9545</b>	0,9607	0,9670	0,9733	0,9796	0,00125
0,9323	0,9386	0,9449	<b>0,9512</b>	0,9574	0,9637	0,9699	0,9762	0,00125
0,9291	0,9353	0,9416	<b>0,9479</b>	0,9541	0,9604	0,9665	0,9728	0,00124
0,9258	0,9321	0,9383	<b>0,9446</b>	0,9508	0,9570	0,9632	0,9694	0,00124
0,9227	0,9289	0,9351	<b>0,9414</b>	0,9476	0,9538	0,9599	0,9661	0,00123
0,9195	0,9257	0,9319	<b>0,9381</b>	0,9442	0,9504	0,9565	0,9628	0,00123
0,9163	0,9225	0,9287	<b>0,9349</b>	0,9410	0,9472	0,9533	0,9595	0,00122
0,9132	0,9194	0,9255	<b>0,9317</b>	0,9378	0,9439	0,9500	0,9562	0,00122
0,9101	0,9162	0,9223	<b>0,9285</b>	0,9346	0,9407	0,9467	0,9529	0,00122
0,9070	0,9131	0,9192	<b>0,9254</b>	0,9315	0,9376	0,9436	0,9497	0,00121
0,9040	0,9101	0,9162	<b>0,9223</b>	0,9283	0,9344	0,9405	0,9466	0,00121
0,9009	0,9070	0,9131	<b>0,9192</b>	0,9252	0,9313	0,9373	0,9434	0,00121
0,8979	0,9040	0,9100	<b>0,9161</b>	0,9221	0,9281	0,9341	0,9402	0,00120
0,8949	0,9009	0,9069	<b>0,9130</b>	0,9190	0,9250	0,9310	0,9370	0,00120
0,8919	0,8979	0,9039	<b>0,9100</b>	0,9160	0,9220	0,9279	0,9339	0,00120
0,8889	0,8949	0,9009	<b>0,9069</b>	0,9128	0,9188	0,9247	0,9308	0,00119
0,8860	0,8919	0,8979	<b>0,9039</b>	0,9098	0,9158	0,9217	0,9277	0,00119
0,8830	0,8890	0,8949	<b>0,9009</b>	0,9068	0,9127	0,9186	0,9246	0,00118

# Gesundheits-Ingenieur.

Zeitschrift

für die

gesamte Städtehygiene.

---

Herausgegeben von

**E. v. Böhmer**, Regierungsrat im Kaiserl. Patentamt, **Prof. Dr. Dunbar**, Direktor des Staatl. Hygienischen Instituts zu Hamburg, Regierungsrat **Hermann Harder**, Berlin, **Prof. Proskauer**, Berlin-Charlottenburg.

---

Das Programm des »Gesundheits-Ingenieurs«, Zeitschrift für die gesamte Städtehygiene, umfasst die Gebiete: Wasserversorgung und alle mit ihr verknüpften verwickelten Aufgaben, die Städtereinigung einschliesslich des Kanalisationswesens, Abwasserbeseitigung und Reinigung, die ganze Strassenhygiene, das Abdeckereiwesen und Leichenwesen, die Fragen der Volksernährung und Nahrungsmittelkontrolle einschliesslich des Schlachthauswesens, alle Fragen der Wohnungsbauhygiene und Baupolizei, Heizungswesen, Beleuchtungswesen, Rauchplage, Bäder, Krankenhauswesen, Armenversorgung, Gefängniswesen, die Fragen der Schulhygiene und des öffentlichen Kinderschutzes, des Schutzes gegen Seuchen einschliesslich Desinfektion, der Gewerbehygiene und des Feuerlöschwesens sowie noch manche andere in das Gebiet der Städtehygiene fallende Fragen.

Die Zeitschrift erscheint monatlich 3mal und kostet jährlich M. 20.—.

---

*Probenummer gratis und franko.*

---

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW



In Kürze erscheint:

# Graphische Rohrbestimmungs-Methode für Wasserheizungen.

Von W. Schweer.

Preis elegant gebunden ca. M. 5.—.

---

Das Buch enthält auf 10 in zweifarbigem Druck auf starkem Papier hergestellten, zum Gebrauch auf dem Zeichentische geeigneten Tafeln für die Wärmemengen bis 1 000 000 WE die Widerstandshöhen der Richtungs- und Querschnittsänderungen und der Wasserreibung in den Röhren als Ordinaten der Kurven für die üblichen Rohrdimensionen von 11 bis 246 mm lichter Weite in natürlicher Gröfse. Kleine Widerstandshöhen bis 0,005 m sind auf besonderen Diagrammen in fünffacher Gröfse abzugreifen.

Als Einheit sind den Ordinaten die in der Praxis am häufigsten vorkommenden Werte zugrunde gelegt; mit Hilfe eines dem Buche beigegebenen auf der Ähnlichkeitslehre der Dreiecke beruhenden Streckenteilers kann sehr bequem und schnell für jede vorkommende Rohrlänge die Widerstandshöhe mit dem Zirkel abgegriffen werden.

Durch Anwendung eines bestimmten Höhenmafsstabes repräsentiert die Strangskizze die Druckhöhen, und in einfachster Weise werden ohne Rechnen allein mittels Zirkel die Rohrdimensionen derartig ermittelt, dafs in jedem einzelnen Kreislaufe Druckhöhe und Widerstandshöhe vollkommen gleich werden.

Hierdurch wird erreicht, dafs, soweit die Rohrleitung in Betracht kommt, sämtliche Heizkörper einer Anlage bei jeder Wassertemperatur gleichmäfsig und gut funktionieren müssen, dafs die bisher zur Beseitigung von Ungleichmäfsigkeiten als Notanker benutzten teuren Justiereinrichtungen fortfallen, dafs dieses gute Funktionieren der Heizung unter Aufwand des denkbar geringsten Rohrmaterials herbeigeführt wird. —

Bei der Projektierung ergibt sich die Annehmlichkeit, dafs der genaue Preis der Rohrleitung mit wenig Zeitaufwand zu ermitteln ist.

In dem Buche ist an verschiedenen Beispielen die Anwendung dieser Methode für die Wasserverteilung von unten sowie von oben gezeigt. Ebenso ist die Anwendung bei Heizkörpern, welche tiefer als der Kessel liegen, erörtert. Auch für motorischen Zirkulationsimpuls, Schnellumlaufheizung, ist diese Methode an einem Beispiele erläutert.

Verlag von R. Oldenbourg in München und Berlin.

---

**Schillings**

# Journal für Gasbeleuchtung

und

verwandte Beleuchtungsarten sowie für Wasserversorgung.

**Organ des**

**Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern.**

Herausgeber und Chef-Redakteur

Geh. Hofrat **Dr. H. Bunte,**

Professor an der Technischen Hochschule in Karlsruhe,  
General-Sekretär des Vereins.

---

Jährlich 52 Hefte. Preis M. 20.—.

---

Das Journal für Gasbeleuchtung und verwandte Beleuchtungsarten sowie für Wasserversorgung. Organ des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern, steht nun in seinem 47. Jahrgange. Es behandelt nicht nur die Kohlengasbeleuchtung und Wasserversorgung, auf welchen Gebieten es unter den Publikationen aller Länder eine führende Stelle einnimmt, in ihrem ganzen Umfange, sondern gibt auch eingehende Informationen über die verwandten Beleuchtungsarten, Azetylen, Petroleum, Spiritusglühlicht, Luftgas sowie elektrische Beleuchtung. Auch die Hygiene wird, soweit sie im Hinblick auf die Beleuchtung, Wasserversorgung, Städtereinigung usw. in Betracht kommt, in gebührender Weise berücksichtigt. — Besondere Aufmerksamkeit wird allen bewährten und aussichtsreichen Neuerungen im Installationswesen sowohl auf dem Gebiete der Licht- als der Wasserversorgung gewidmet.

Berichte über die einschlägigen Fachvereine, die Abschnitte »Literatur«, »Auszüge aus den Patentschriften«, »Statistische und finanzielle Mitteilungen«, »Korrespondenz« und »Brief- und Fragekasten« vervollständigen den Inhalt jeder Nummer.

---

*Probenummer gratis und franko.*

---





S. 61





WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

31246

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298373