© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Über die Wirkungsweise zylindrischer Sonden zur Untersuchung aërodynamischer Felder.

(Gekürzte Fassung.)

Mit 5 Textfiguren und 2 Tafeln (I u. II).

Von

F. Ebi.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1
II. Die Sonde von K. Gegauff, ihre Eigenschaften und ihre Verwendung	2
III. Versuchsanordnung	6
IV. Messungen an Kreiszylindern	8
A. Fehlerquellen	8
B. Der charakteristische Neigungswinkel	10
C. Einfluss der Entfernung der Messöffnungen vom Zylinderende auf die Druckwerte	13
D. Das aërodynamische Feld eines Zylinders	16
V. Zusammenfassung der Resultate	23

I. Einleitung.

Um das „aërodynamische Feld“ eines von Luft umströmten Körpers zu bestimmen, können zwei Methoden angewandt werden. Die erste Methode gibt uns qualitativ Aufschluss über den Verlauf der Strömung um ein Hindernis, indem sie optisch die Stromlinien durch Fäden, Flammen etc. sichtbar zu machen versucht. Bahnbrechend hiefür waren die Arbeiten von *F. Ahlborn*[1]). Sollen quantitative Resultate erhalten werden, so hat man sich der zweiten, der manometrischen oder Sondenmethode zu bedienen. Das Messinstrument, die Sonde, muss uns daher in den Stand setzen, sämtliche zur Kenntnis der Strömungsverhältnisse an einem Ort des

[1]) *F. Ahlborn.* Über den Mechanismus des hydrodyn. Widerstandes. Abh. a. d. Geb. d. Nat. Hamburg *17* 1902 und Phys. ZS. *9.* 201. 1908.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

aërodynamischen Feldes notwendigen Grössen bestimmen zu können. Diese sind 1. der statische Druck, 2. die Windgeschwindigkeit und 3. die Stromrichtung. Eine Sonde aber darf, damit durch sie selbst die wirklichen Werte nicht merklich verändert werden, nur geringe Dimensionen haben. Ein solches überaus einfaches Instrument von kleinster Ausdehnung, mit dem alle drei notwendigen Grössen gefunden werden können, hat vor zwei Jahren *K. Gegauff* hergestellt und dessen Haupteigenschaften beschrieben [2]). Untersuchungen von *A. Hagenbach* [3]) liessen es jedoch als wünschenswert erscheinen, noch genaueren Aufschluss über die Vorgänge an den Sonden zu gewinnen. Ich habe es daher auf Anregung der Herren Professoren A. Hagenbach und H. Zickendraht unternommen, diese weitern Untersuchungen durchzuführen und gleichzeitig das Anwendungsgebiet der Sonde dadurch zu erweitern, dass auch die Bestimmung des Krümmungsradius der Stromkurve in irgend einem Punkt des Feldes mit ihr durchgeführt werden kann.

II. Die Sonde von K. Gegauff, ihre Eigenschaften und ihre Verwendung.

Die Gegauff'sche Sonde [4]) besteht aus einer geraden feinen Stahl- oder Messingröhre von der Dicke einer Stricknadel. Das eine Ende, der Sondenkopf, ist meist abgerundet und stets verschlossen. Unmittelbar davor (1 mm) befindet sich eine feine, senkrecht zur Nadelachse gebohrte Oeffnung von 0,4 mm Durchmesser. Wird die Sonde in den Luftstrom eingeführt, so pflanzt sich durch das Loch am Sondenkopf der an der betreffenden Stelle des Stromes vorhandene Druck ins Innere der Sonde fort und kann, da das offene Ende mit einem Manometer in Verbindung steht, an dessen geeichter Skala abgelesen werden. Unter α sei der Winkel zwischen der Axe der Oeffnung und der Stromrichtung verstanden. Wird die Sonde um ihre Axe gedreht, so erhält man für die verschiedenen Werte von α verschieden grosse Druckwerte p, wobei p stets den Druck in mm Wasser bedeuten mag. Ist $\alpha = 0^0$, so zeigt das Manometer maximalen Ueberdruck an. Mit wachsendem α nimmt der Druck ab, um bei einem für eine bestimmte Sonde charakteristischen Neigungswinkel zu verschwinden. Wird die Sonde über diesen ihr eigentümlichen Winkel gedreht, so wird der Druck negativ und weist bei ca. 85^0 einen maximalen Unterdruckswert auf. Zwei Stellungen der Sonde sind für die Aus-

---

[2]) *K. Gegauff.* Sondenmessungen im aërodyn. Felde. Dissertation, Basel 1916.
[3]) *A. Hagenbach* u. *K. Gegauff.* Phys. ZS. *18.* 21. 1917.
[4]) *K. Gegauff.* l. c.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

messung eines Punktes im aërodynamischen Feld von fundamentaler Bedeutung: Erstens diejenige Stellung, bei der $\alpha = 0^0$ ist, und zweitens die, bei welcher der Druck zu Null wird. Misst man an einem Orte, wo kein statischer Druck vorhanden ist, so sollte man, wenn $\alpha = 0^0$, den an jener Stelle herrschenden dynamischen Druck erhalten. Vergleichende, von A. Hagenbach durchgeführte Untersuchungen mit der Stauscheibe und Pitotröhre liessen aber die mit der Sonde erhaltenen Werte um 5—6 % kleiner erscheinen[5]). Nun gilt bei der Stauscheibe und Pitotröhre für die Windgeschwindigkeit die Beziehung:

$$v = \sqrt{\frac{p_d \cdot 2g}{\sigma}} \qquad 1)$$

Dabei bedeute v die Windgeschwindigkeit in m/s, p_d den dynamischen Druck, g die Beschleunigung der Schwerkraft und σ die auf Wasser bezogene Dichte der Luft.

Da nach obigem der dynamische Druck mit einer Sonde gefunden wird aus: $p_d = K \cdot p'_d$[6]), wo p'_d der mit der Sonde bestimmte maximale Überdruck und K ihr charakteristischer Proportionalitätsfaktor sei, so erhält man mit einer Sonde die zu bestimmende Windgeschwindigkeit aus:

$$v = \sqrt{\frac{K \cdot p'_d \cdot 2g}{\sigma}} \qquad 2)$$

Im Allgemeinen ist der statische Druck an einer Stelle der Strömung von Null verschieden. Dann zeigt die Sonde, wenn der Sondenmund dem Winde zugekehrt ist, also $\alpha = 0^0$, die Summe aus statischem und dynamischem Druck an, und die Gleichung für v geht, wenn unter $P = p_s + p'_d$ der Gesamtdruck verstanden ist, über in:

$$v = \sqrt{\frac{K \cdot 2g\,(P - p_s)}{\sigma}} \qquad 3)$$

In diesem Fall ist zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit die Kenntnis des an der Messstelle herrschenden statischen Druckes p_s erforderlich. Dieser lässt sich mit einer geeichten Sonde auf einfache Weise messen. Die Eichung selbst geschieht an einem Punkt ohne statischen Druck. Ob ein Punkt im aërodynamischen Feld von statischem Druck frei ist, wird nach der von Ser herrührenden „Methode der dünnen Scheibe“ festgestellt. *K. Gegauff* benützte zu seinen Untersuchungen[7]) eine 0,4 mm dünne kreis-

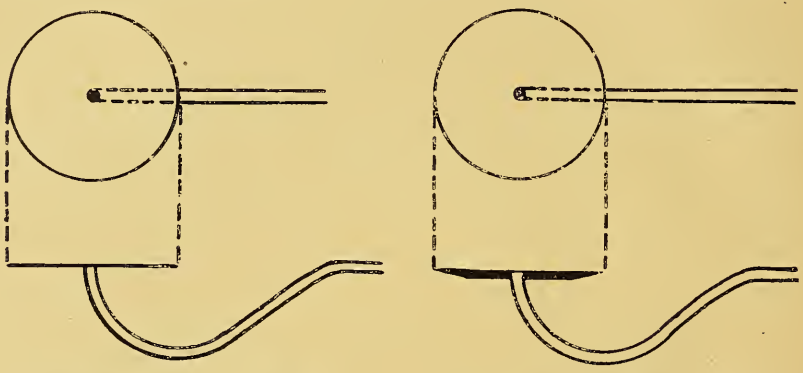
[5]) *A. Hagenbach* u. *K. Gegauff*. l. c.

[6]) Methode zur Bestimmung von K, siehe Seite 5 dieser Arbeit.

[7]) *K. Gegauff*. l. c. pag. 22.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

förmige, oben polierte Scheibe mit einem von beiden Seiten messerscharf zugeschliffenen Rand. Im Zentrum der Scheibe, deren Radius 12,5 mm betrug, befand sich eine kreisförmige Oeffnung von 0,4 mm Durchmesser. Durch ein halbkreisförmig um die Scheibe herumgebogenes Ansatzröhrchen war die Oeffnung mit dem Manometer in Verbindung gebracht. Dadurch wurde erreicht, dass die Plattenöffnung beim Drehen stets am gleichen Ort im Luftstrom blieb. Da aber nach dieser Art selbst konstruierte Scheiben stets starke Unsymmetrien aufwiesen und deren Resultate mir daher nicht einwandfrei zu sein schienen, so wählte ich eine neue Scheibenform. Der Durchmesser der neuen Kreisscheibe blieb gleich, hingegen besass sie eine Dicke von 1,2 mm. Auf der



„Ser" Scheibe v. *K. Gegauff.* Neue Scheibenform.

Figur 1.

Oberfläche wurden auch die geringsten Unebenheiten wegpoliert, und der Rand wurde diesmal nur von der untern Seite conusförmig und ebenfalls messerscharf zugeschliffen. So wurde eine glatte Oberfläche mit scharfem Rand erzielt, über die bei paralleler Stellung der Scheibe mit dem Luftstrom die Stromlinien ohne abgelenkt zu werden hingleiten, und auf die sie keinen dynamischen Druck ausüben können. Aus Fig. 1 sind die früher von *K. Gegauff* und die von mir in meiner Arbeit verwendete Scheibenform ersichtlich.

Aus dem Druckdiagramm Tafel I, Fig. 2 der neuen Scheibensonde kann ihr Verhalten bei zwei verschiedenen Windgeschwindigkeiten abgelesen werden. Man ersieht daraus, und das ist ein absolutes Erfordernis, dass für beide Geschwindigkeiten von 5.7 $^{m}/_{s}$ und 7.3 $^{m}/_{s}$ die Scheibe in beiden parallelen Stellungen zur Stromrichtung den Druck null anzeigt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zur Auffindung einer Nullstelle wird nun folgendes Verfahren eingeschlagen: Man dreht die Scheibe parallel zum Luftstrom, liest den Manometerausschlag ab, dreht sie darauf um genau 180° und liest wieder den Ausschlag an der Libelle ab. Ist der Druckwert für beide Stellungen derselbe, so ist dies erstens ein sicheres Zeichen dafür, dass beidemal die Scheibe sich parallel zum Luftstrom befand, zweitens bedeutet der abgelesene Druck den an jener Stelle im aërodynamischen Feld vorhandenen statischen Druck. Um eine Nullstelle aufzufinden, verschiebt man die Scheibe im Feld so lange, bis das Manometer für beide Scheibenstellungen keinen Ausschlag mehr anzeigt. Ist dies gelungen, so ist die gefundene Stelle zur Eichung der Nadelsonde geeignet. Die Sonde wurde zur Eichung wie auch zur Ausmessung des aërodynamischen Feldes am Koordinatenapparat[8]) festgelagert, sie blieb aber um ihre Axe drehbar. Mit dem Stativ fest verbunden war ein Teilkreis, durch dessen Mitte die Sonde hindurchging. Mittels eines an ihr befestigten Zeigers konnte die Stellung des Sondenmundes gegen die Windrichtung abgelesen werden. Dreht man nun an der zur Eichung geeigneten Stelle die Sonde nach der einen Seite so lange um ihre Axe, bis der am Manometer abgelesene Ausschlag null ist, und wiederholt diese Bewegung hierauf nach der andern Seite hin ebenfalls so lange, bis kein Ausschlag mehr am Manometer erfolgt, so wird der doppelte Wert des für diese Sonde charakteristischen Neigungswinkels α abgelesen. Dreht man die Sonde hierauf um diesen Winkel α selbst zurück, so erhält man die Stellung der Sonde, in der die Oeffnung gerade der Stromrichtung zugekehrt ist. Die Zeigerstellung gibt jetzt die Windrichtung an und der am Manometer abgelesene Ausschlag ist proportional dem dynamischen Druck. Den dynamischen Druck p_d stellen wir durch Vergleichsversuche mittels der Scheibensonde oder der Stauscheibe fest. Aus dem Verhältnis

$$\frac{p_d}{p'_d} = K$$

ergibt sich dann der einer bestimmten Sonde eigentümliche und konstante Proportionalitätsfaktor[9]).

Die mit einer auf solche Weise geeichten Sonde erhaltenen statischen Druckwerte dürfen aber nur dann als absolut einwandfreie Werte bezeichnet werden, wenn nachgewiesen ist, dass der charakteristische Neigungswinkel α für alle vorkommenden Windgeschwindigkeiten konstant ist. Für die Sonden erweist er sich,

[8]) *H. Zickendraht.* Ann. d. Phys. *35* (IV) 64. 1911.

[9]) Vergleiche Seite 3 dieser Arbeit.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wie aus Tabelle I hervorgeht, innerhalb gewisser Geschwindigkeitsgrenzen als konstant, während man erwarten sollte, dass er mit wachsender Geschwindigkeit kleiner würde.

Tabelle I.

	Sonde I			Sonde II			Sonde III			Sonde IV		
Charakt. Neigungswinkel α:	44.0°			43.5°			44.0°			43.5°		
Windgeschwindigkeit in m/s:	3.2	7.3	8.3	5.4	6.9	8.0	2.8	6.8	7.9	5.7	7.6	9.5
Druck in mm Wasser:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dass an den Sonden der Nachweis einer Veränderung des charakteristischen Neigungswinkels nicht möglich ist, mag den geringen Dimensionen dieses Messinstrumentes als auch dem relativ kleinen angewandten Luftgeschwindigkeitsintervall zugeschrieben werden. Da nun die Sonde einen dünnen Kreiszylinder darstellt, wurden im Folgenden an Kreiszylindern mit verschiedenen Dimensionen Messungen angestellt, um womöglich eine Abhängigkeit des Neigungswinkels von der Windgeschwindigkeit nachzuweisen und das eigentümliche Verhalten der Nadelsonde aufzuklären.

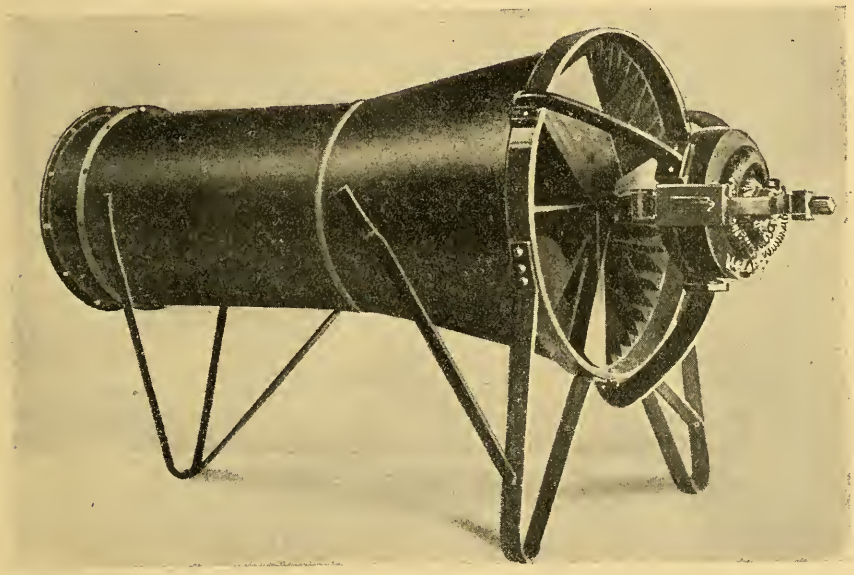
III. Versuchsanordnung.

Zur Erzeugung des zu den Untersuchungen notwendigen Luftstromes diente ein speziell für aërodynamische Zwecke gebauter dreiflügeliger Ventilator von 50 cm Durchmesser. Er wird von einem kräftigen Elektromotor angetrieben. Die Flügel laufen im weiten Ende eines 45 cm langen Konus, der sich nach vorn auf 35 cm Durchmesser verjüngt. Daran schliesst sich ein 52 cm langes Zylinderrohr an. Ein absolutes Erfordernis zur Erzielung einwandfreier Messungen ist ein homogener Luftstrom. Zu seiner Herstellung sind besondere Massnahmen notwendig. In unserm Fall ist unmittelbar vor den Flügeln eine grosse Anzahl der Drehrichtung entgegengestellter Leitschaufeln eingesetzt. Am Ende des Zylinderrohres vermag ein Gleichrichter aus feinem Drahtnetz durch besonders sorgfältige Behandlung noch vorhandene Ungleichheiten im Luftstrom zu eliminieren. Diese einfache und sinnreiche Konstruktion rührt vom Verfertiger des Ventilators, Herrn Dr. *F. Klingelfuss* in Basel her. Die feine Einregulierung, die ich für meine Messungen vorgenommen habe, hat bewiesen, dass sich der Ventilator mit komplizierteren Apparaten anderer Institute messen darf. In Fig. 3 ist der Ventilator reproduziert.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Messungen der Geschwindigkeitsverteilung im vertikalen und horizontalen Mittelschnitt des Luftstromes in 20 cm Abstand vor dem Zylinderrohr zeigten Schwankungen, die höchstens 0,8 % der Geschwindigkeit selbst betrugen. Es ist dies eine Genauigkeit, die für die vorzunehmenden Messungen völlig genügt, da die hierbei auftretenden Fehler innerhalb der übrigen Fehlergrenzen sich bewegen.

Der Elektromotor war ans städtische Gleichstromnetz mit einer Spannung von 220 Volt angelegt. Zur Erzeugung der verschiedenen Luftstromgeschwindigkeiten diente ein Regulierwiderstand aus 24



Figur 3.

resp. 30 parallel geschalteten Lampen. Dadurch konnten Stromgeschwindigkeiten bis zu 8.5 resp. 9.5 m/s erzielt werden. Infolge der Spannungsschwankungen im städtischen Netze litt zwar die Genauigkeit etwas. Die Schwankungen blieben aber immerhin von der Grössenordnung der übrigen Fehler und traten nur während der Spitzenzeit störend auf. Die Messungen wurden daher ausserhalb der Spitzenzeit ausgeführt. Die Luftstromgeschwindigkeiten wurden mittels einer Stauscheibe oder mit der schon beschriebenen Scheibensonde bestimmt. Stauscheibe und Sonden, wie auch die benützten Kreiszylinder, waren mit dem an einem windstillen Ort aufgestellten Manometer durch eine luftdicht abgeschlossene Leitung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verbunden. Als Druckmessinstrument diente ein nach Art der Töplerschen Drucklibelle konstruiertes Mikromanometer[10]). Das unter dem stumpfen Winkel von 169°19' geknickte Glasrohr enthielt Alkohol vom spezifischen Gewicht 0,8134. Beide Schenkel des Manometers waren mit einer Millimeterteilung versehen. Mit einer Lupe konnten die Zehntel Skalenteile noch leicht geschätzt werden.

Zur Berechnung der am Manometer abgelesenen Druckwerte in Millimeter Wasser dient die Gleichung

$$p = \frac{2 \cdot s_1 \cdot l \cdot \sin\frac{a}{2}}{s}$$

Dabei bedeutet p den gesuchten Druck in mm Wasser, s_1 das spez. Gewicht der Flüssigkeit, s das spez. Gewicht des Wassers, l den Manometerausschlag, und a den Winkel des einen Glasrohrschenkels mit der Verlängerung des andern.

Durch Einsetzen der bekannten Werte in obige Gleichung erhielt ich für 1 Skalenteil eine Empfindlichkeit von 0.1511 mm Wasser.

IV. Messungen an Kreiszylindern.

Die Gegauff'sche Sonde ist ein langer hohler Kreiszylinder mit sehr kleinem innerm und äusserm Durchmesser. Verlässt man die Dimensionen, wie sie die Sonden aufweisen, und geht man zu Zylindern mit grossen Durchmessern über, so wird man voraussichtlich bei gleichen Versuchsverhältnissen zu analogen Messresultaten gelangen. Untersuchungen an solchen Zylindern haben sich nun als notwendig erwiesen, da aus Messungen an Sonden allein auf die Art des aërodynamischen Feldes der Sonden nicht geschlossen werden konnte. Daher sollen die folgenden Untersuchungen an solchen Kreiszylindern zur Aufklärung über das aërodynamische Feld des Zylinders und der Gegauff'schen Sonde und ihre Wirkungsweise beitragen.

Zunächst seien etwa vorhandene Fehlerquellen geprüft.

A. Fehlerquellen.

Die Versuchsanordnung bei den Zylindern war die gleiche wie bei den Sondenmessungen. Der Kreiszylinder wurde senkrecht in den parallelen Luftstrom eingeführt und war so lang, dass er beiderseits aus ihm herausragte. Diese Anordnung, d. h. die Ver-

---

[10]) *H. Zickendraht.* Ann. d. Phys. *35* (IV) 61. (Fig. 4) 1911.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wendung des „unendlich langen“ Zylinders war nötig, damit die Luft den Zylinder nur in den zur Zylinderaxe senkrechten Ebenen umströmen konnte. Vergleicht man die an Zylindern grossen Durchmessers erhaltenen Druckverteilungen mit denen an dünnen Zylindern oder Sonden, so findet man bei gleichen Versuchsbedingungen analoge und vergleichbare Werte. Immerhin bestehen gewisse Unterschiede. Namentlich fallen die Unterdruckwerte bei weiten Zylindern wesentlich geringer aus als bei Sonden.

Vor Beginn der Versuche wurde jeder Zylinder sorgfältig poliert, da Untersuchungen an Zylindern mit berussten Flächen[11]) ergeben haben, dass dann stark veränderte Druckverteilungen auftreten und insbesondere sich die Lage des charakteristischen Neigungswinkels α verschiebt. Vor den Messungen wurde jede Oeffnung unter dem Mikroskop auf ihre Güte geprüft; etwa vorhandene Unregelmässigkeiten der Ränder wurden dadurch entfernt, dass die Oeffnungswandung mit einer feinen polierten Stahlnadel so lange ausgerieben wurde, bis alle Unebenheiten verschwunden waren. Bei Messungen mit Oeffnungsdurchmessern von 0.3 – 0.7 mm zeigte sich an Zylindern die gleiche Erscheinung wie an Sonden[12]): Löcher mit kleinerem Durchmesser als 0,3 mm sind zu genauen Messungen nicht mehr verwendbar. Die Manometerflüssigkeit stellt sich nur langsam ein, sie kriecht und die Messwerte fallen kleiner aus als die, welche man mit Oeffnungen von 0.4 – 0.7 mm erhält.

Verkleinert man den Durchmesser des Sondenmundes so weit, bis er mit der Dicke der allen Körpern anhaftenden Gashaut vergleichbar wird, so kann sich diese Verengerung des Sondenmundes in den Messresultaten geltend machen; es scheint sogar nicht aussichtslos, von dieser Seite her Untersuchungen über die Dicke der adhärierenden Gasschicht aufzustellen.

Weitere Fehler könnten entstehen, wenn die Oeffnungen nicht genau normal, sondern schräg zur Zylinderaxe gebohrt wären. Um auch den Einfluss solcher Oeffnungen auf die Messresultate zu bestimmen, bohrte ich in zwei Zylinder zwei Löcher unter einem Winkel von 30° zum Zylinderradius. Während die Axe der einen Oeffnung in einer zur Zylinderaxe senkrechten Ebene lag, befand sich die andere Oeffnungsaxe in einer durch die Zylinderaxe gelegten Ebene. Mit den beiden schräggebohrten Oeffnungen durchgeführte Druckbestimmungen liessen aber erkennen, dass solche Bohrungen zu exakten Messungen nicht verwendet werden können.

---

[11]) *A. Lafay:* C. R. *150.* 1312. 1910.

[12]) *K. Gegauff:* l. c. pag. 14.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Genauigkeit der einzelnen Ergebnisse wird nämlich durch das Auftreten von andauernd beträchtlichen Schwankungen der Manometerflüssigkeit während der Versuchsreihe wesentlich vermindert.

B. Der charakteristische Neigungswinkel.

Frühere Sondenmessungen[13]) ergaben innerhalb gewisser Grenzen die Konstanz des Winkels[14]), unter dem der Sondenmund gegen den Luftstrom gerichtet werden muss, damit der dynamische Druck eben zu Null wird. Insbesondere ist nachgewiesen worden, dass die Grösse dieses Winkels für ein Geschwindigkeitsintervall von 3—8 m/s merklich konstant ist. Der charakteristische Neigungswinkel bleibt auch für alle gemessenen Sonden mit einem äussern Durchmesser von 1.0—2.0 mm ungefähr gleich; jedenfalls konnte für die dabei auftretenden Schwankungen keine Gesetzmässigkeit gefunden werden.

Geht man nun von den dünnen Sonden zu relativ dicken Hohlzylindern über, so fragt es sich, ob bei diesem Uebergang der charakteristische Winkel gleich bleibt. Ich untersuchte vier Zylinder mit verschieden grossem Umfang und bestimmte an jedem Zylinder bei drei Luftgeschwindigkeiten die Druckverteilung an seiner Oberfläche. Die vier Messkörper hatten einen Durchmesser von 13.0 mm, 17.9 mm, 31.7 mm und 40.6 mm. Die Oeffnungen waren alle fast gleich gross (0.4—0.5 mm) und die verwendeten Geschwindigkeiten waren ca. 3 m/s, 7 m/s und 8 m/s. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass an jedem Zylinder für alle drei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten der Neigungswinkel konstant bleibt. Von den vielen durchgeführten Versuchsreihen seien zwei in Tabelle II. und III. und in den Druckdiagrammen Fig. 4 und 5, Tafel I, wiedergegeben.

Vergleicht man hingegen die charakteristischen Winkel der vier Zylinder unter sich, so sind wohl Unterschiede, jedoch keine Gesetzmässigkeiten zu erkennen. Das Mittel der vier Winkelgrössen beträgt 39.5°. Die merkwürdige Erscheinung, dass dieser Winkel α bei den Zylindern mit 31.7 und 40.6 mm Durchmesser etwas grösser ist als an den beiden kleinern, konnte nicht aufgeklärt werden. In der Oeffnungsform kann die Ursache nicht gesucht werden; denn sie alle waren vor Gebrauch mikroskopisch geprüft worden. Nach *Lafay* deformieren rauhe Oberflächen die Druckverteilung. Zur Vermeidung dieses Fehlers wurde jeweils vor der Untersuchung die ganze Zylinderoberfläche poliert. Eine mögliche Ursache könnte im Verhältnis der Wandungsdicke zur

---

13) *A. Hagenbach* u. *K. Gegauff*. l. c. pag. 23.

14) Siehe diese Arbeit, pag. 6.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Oeffnungsgrösse gefunden werden, doch haben auch Messungen hierüber kein befriedigendes Resultat gezeitigt. Dieselbe Unregelmässigkeit beobachteten *A. Hagenbach* und *K. Gegauff*[15]) auch an Sonden. So erhielten sie z. B. bei einer ersten Neusilbersonde

Tabelle II.

Zylinderdurchmesser: 13.0 mm. Öffnungsdurchmesser: 0.4 mm.						
α^0	v = 2.5 m/s		v = 6.7 m/s		v = 8.1 m/s	
	Ausschlag in Skt.	Druck in mm W.	Ausschlag in Skt.	Druck in mm W.	Ausschlag in Skt.	Druck in mm W.
0°	2.8	0.42	20.4	3.08	26.5	4.00
10	2.4	0.36	19.2	2.90	25.4	3.84
20	2.0	0.30	14.8	2.24	20.0	3.02
30	1.1	0.16	7.6	1.15	10.2	1.54
38.75	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
40	-0.1	-0.02	-1.3	-0.19	-1.9	-0.29
50	-1.1	-0.16	-9.8	-1.49	-12.0	-1.81
60	-1.8	-0.27	-15.6	-2.36	-20.1	-3.04
70	-2.2	-0.33	-18.5	-2.80	-24.0	-3.63
80	-2.1	-0.32	-17.9	-2.70	-21.3	-3.22
90	-1 8	-0.27	-14.2	-2.14	-18.2	-2.75
100	-1.6	-0.24	-13.2	-1.99	-17.6	-2.66
120	-1.6	-0.24	-13.0	-1.96	-17.6	-2.66
140	-1.6	-0.24	-14.2	-2.14	-18.2	-2.75
160	-1.6	-0.24	-14.2	-2.14	-18.4	-2.78
180	-1.6	-0.24	-13.8	-2.08	-18.4	-2.78
200	-1.6	-0.24	-13.8	-2.08	-18.3	-2.76
220	-1.6	-0.24	-13.9	-2.10	-18.2	-2.75
240	-1.6	-0.24	-13.2	-1.99	-17.6	-2.66
260	-1.6	-0.24	-13.2	-1.99	-17.5	-2.64
270	-1.9	-0.29	-13.8	-2.08	-18.6	-2.81
280	-2.2	-0.33	-16.7	-2.52	-22.2	-3.35
290	-2.1	-0.32	-18.7	-2.82	-24.3	-3.67
300	-1.9	-0.29	-15.4	-2.33	-20.2	-3.05
310	-1.1	-0.16	-9.0	-1.36	-12.0	-1.81
320	-0.1	-0.02	-1.3	-0.20	-1.7	-0.26
321.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
330	1.1	0.16	7.9	1.19	10.4	1.57
340	2.0	0.30	15.0	2.27	19.0	2.87
350	2.6	0.39	19.4	2.93	25.4	3.84
360	2.8	0.42	20.5	3.10	26.6	4.01

[15]) *A. Hagenbach* u. *K. Gegauff*. l. c. pag. 29.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle III.

Zylinderdurchmesser: 40.6 mm. Öffnungsdurchmesser: 0.5 mm.						
α^0	v = 3.6 m/s		v = 7.4 m/s		v = 8.4 m/s	
	Ausschlag in Skt.	Druck in mm W.	Ausschlag in Skt.	Druck in mm W.	Ausschlag in Skt.	Druck in mm W.
0	4.8	0.73	24.1	3.64	30.4	4.59
10	4.1	0.62	22.5	3.40	27.3	4.12
20	3.1	0.47	17.8	2.69	21.2	3.19
30	1.6	0.24	9.4	1.42	12.0	1.81
40	0.1	0.02	0.5	0.08	0.6	0.09
40.5	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
50	-1.4	-0.21	-7.4	-1.12	-10.0	-1.51
60	-2.4	-0.36	-12.1	-1.83	-16.1	-2.43
65	-2.6	-0.39	-13.2	-1.99	-17.1	-2.58
70	-2.6	-0.39	-12.8	-1.93	-16.6	-2.51
80	-2.0	-0.30	-9.6	-1.45	-12.3	-1.89
90	-1.8	-0.27	-8.7	-1.31	-11.6	-1.75
100	-1.8	-0.27	-8.8	-1.33	-11.5	-1.74
120	-1.7	-0.26	-8.9	-1.34	-11.5	-1.74
140	-1.7	-0.26	-8.9	-1.34	-11.4	-1.72
160	-1.7	-0.26	-8.6	-1.30	-11.3	-1.71
180	-1.8	-0.27	-8.5	-1.28	-11.0	-1.66
200	-1.8	-0.27	-8.3	-1.25	-10.5	-1.59
220	-1.7	-0.26	-8.7	-1.30	-11.5	-1.74
240	-1.7	-0.26	-8.6	-1.30	-11.5	-1.74
260	-1.7	-0.26	-8.7	-1.31	-11.5	-1.74
270	-1.7	-0.26	-8.8	-1.33	-11.7	-1.77
280	-2.0	-0.30	-9.4	-1.42	-12.5	-1.89
290	-2.4	-0.36	-12.3	-1.86	-16.1	-2.43
295	-2.6	-0.39	-13.2	-1.99	-16.8	-2.54
300	-2.5	-0.38	-12.0	-1.81	-15.6	-2.36
310	-1.4	-0.21	-8.2	-1.24	-9.5	-1.44
319.5	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
320	0.2	0.03	0.6	0.09	0.6	0.09
330	2.0	0.30	9.0	1.36	11.2	1.69
340	3.7	0.56	17.1	2.58	20.9	3.16
350	4.7	0.71	22.0	3.32	27.1	4.09
360	5.0	0.75	24.2	3.66	30.6	4.62

als Wert für den charakteristischen Neigungswinkel: 46.7° und bei einer zweiten Neusilbersonde von gleichen Dimensionen: 45.7°. Bildet man von neun untersuchten Sonden das Mittel der cha-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

rakteristischen Winkelwerte, so erhält man hiefür 44.9°. Da es für die vier Zylinder zu 39.5° bestimmt worden war, so dürfen wir daraus den Schluss ziehen, dass mit zunehmendem Umfang des umströmten Zylinders der Luftstosswinkel, für den der dynamische Druck auf die Oberfläche auf Null herabsinkt, sich nach vorn gegen die Windrichtung verschiebt.

Nun sind mir im Laufe meiner Arbeit Untersuchungen ähnlicher Art an Zylindern von *A. Lafay*[16]) bekannt geworden, und ich finde meine Ergebnisse durch seine Resultate bestätigt. Lafay führte seine Versuchsreihen bei Luftgeschwindigkeiten von 18 und 25 m/s durch und benützte dabei Zylinder von 74 mm, 50 mm und 34 mm Durchmesser. Leider findet sich in seinen Aufzeichnungen keine Notiz, in welcher Entfernung vom Zylinderende die Drucköffnungen lagen. Und doch wäre gerade diese Angabe zu Vergleichszwecken sehr erwünscht; denn ich werde im folgenden Kapitel noch darlegen, dass die Druckwerte je nach der Lage der Oeffnung nicht unwesentliche Unterschiede aufweisen.

C. Einfluss der Entfernung der Messöffnung vom Zylinderende auf die Druckwerte.

Wir wissen, dass der mittels Sonden bestimmte dynamische Druck um ca. 5% zu klein ausfällt gegenüber dem mit der Stauscheibe gemessenen Wert[17]). Vor allem ist der Grund darin zu suchen, dass die Sonden mit ihren Messöffnungen als verkürzte Pitotrohre zu betrachten sind. Diese zeigen aber zu geringe Druckwerte an.[18]) Es wäre aber nun auch denkbar, dass das nahe Sondenende die Resultate beeinflussen könnte. Besonders auffallend waren die Ergebnisse mit einer Messingsonde, bei welcher die Abrundung des Sondenkopfes unmittelbar neben der Oeffnung beginnt. Die Druckwerte weisen hier bedeutende Abweichungen auf. So fällt der dynamische Druck, verglichen mit dem an der Stauscheibe gemessenen, um 13% zu klein aus. Das Verhältnis des Unterdrucks bei $\alpha = 180°$ zum maximalen dynamischen Druck bei $\alpha = 0°$ beträgt 1.02 statt wie bei den übrigen Sonden ca. 0.85, und der charakteristische Neigungswinkel ist nur 41°, während sonst der dynamische Druck erst bei einer Drehung um 44.5° gegen die Windrichtung zu Null wird. Diese Resultate bewogen mich, zuerst an Sonden und dann an verschieden weiten Zylindern den Einfluss

---

16) *A. Lafay.* C. R. *151.* 144. 1911.

17) Siehe Seite 3 dieser Arbeit.

18) *O. Krell* jun. Messungen von dyn. u. statischem Druck bewegter Luft. München u. Berlin 1904.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Entfernung des Sondenmundes von dem Sonden- resp. Zylinderende zu untersuchen.

In eine Stahlsonde von 1.8 mm äusserm und 1.0 mm innerm Durchmesser wurden in einer Entfernung von 1.5 mm und 60 mm vom Ende zwei Oeffnungen gebohrt und nacheinander die Druckverteilungen an beiden Stellen der Sonde festgestellt. Beide Oeffnungen hatten gleich grosse Durchmesser und bei beiden Messreihen betrug die Luftgeschwindigkeit 5.4 m/s. Aus den Messungen geht hervor, dass die Lage der Messöffnung tatsächlich nicht ohne wesentlichen Einfluss auf die zu bestimmenden Druckwerte ist. So werden für die Oeffnung am Sondenende der dynamische Druck um 2% und der Neigungswinkel um 0.75° kleiner, während das Unterdrucksmaximum um 17% und der Unterdruck bei $\alpha = 180°$ um 21% grösser ausfallen als die entsprechenden Werte mit der Oeffnung in der Sondenmitte.

Um nun in erster Linie die so stark abweichenden Resultate an der auf Seite 13 erwähnten Messingsonde mit dem äussern Durchmesser von 2.4 mm aufzuklären, konstruierte ich sie in grössern Dimensionen nach. Hierzu wählte ich einen Zylinder mit 13,0 mm Durchmesser. Der Zylinderkopf wurde dem Ende der Messingsonde genau nachgebildet und die Abrundung begann ebenfalls unmittelbar neben der 0.4 mm weiten Messöffnung. Sie befindet sich vom äussersten Ende 5 mm weit entfernt. Zu Vergleichszwecken diente eine in der Zylindermitte gebohrte gleichgrosse Oeffnung. Die benützte Geschwindigkeit betrug 8.1 m/s. Die in Tabelle IV wiedergegebenen Druckverteilungen findet man in Fig. 6, Tafel I, graphisch dargestellt. Der Vergleich der Druckwerte an der Endöffnung gemessen mit denjenigen an der Oeffnung in der Zylindermitte liefert uns einige besonders wichtige Resultate. Wir können demnach gegenüber dem „unendlich langen“ Zylinder verzeichnen:

1. Der mittels Endöffnung beobachtete dynamische Druck fällt gegenüber dem in der Zylindermitte gemessenen Druck um 6% kleiner aus.
2. Der charakteristische Neigungswinkel verschiebt sich um $2^1/_4°$ nach vorn.
3. Das Unterdrucksmaximum ist um 57% grösser.
4. Der Winkel, unter dem diese maximale Saugwirkung eintritt, ist um 15° nach vorn verschoben.
5. Der Unterdruckswert bei $\alpha = 180°$ ist beim Zylinderende um 47% grösser. Ganz allgemein sind die Unterdrucks- resp. die Saugverhältnisse auf der Leeseite am Zylinderende von

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

denjenigen in einiger Entfernung vom Zylinderkopf oder am „unendlich langen“ Zylinder wesentlich verschieden.

Tabelle IV.

Zylinderdurchmesser: 13.0 mm.			
Luftgeschwindigkeit: 8.1 m/s.			
α	Öffnung am Rand. p in mm Wasser	Öffnung in der Mitte. p in mm Wasser	Differenz der Drucke
0°	3.78	4.00	0.22
10°	3.47	3.84	0.37
20°	2.57	3.02	0.45
30°	1.21	1.54	0.33
36.5°	0.00	—	—
38.75°	—	0.00	—
40°	- 0.53	- 0.29	0.24
50°	- 2.57	- 1.81	0.76
60°	- 4.15	- 3.04	1.11
70°	- 5.44	- 3.63	1.81
80°	- 5.68	- 3.22	2.46
85°	- 5.69		
90°	- 5.57	- 2.75	2.82
100°	- 5.02	- 2.66	2.36
120°	- 4.78	- 2.66	2.12
140°	- 4.91	- 2.75	2.16
160°	- 4.88	- 2.78	2.10
180°	- 4.08	- 2.78	1.30
200°	- 4.78	- 2.76	2.02
220°	- 4.92	- 2.75	2.17
240°	- 4.76	- 2.66	2.10
260°	- 4.99	- 2.64	2.35
270°	- 5.62	- 2.81	2.81
275°	- 5.68		
280°	- 5.74	- 3.35	2.39
290°	- 5.53	- 3.67	1.86
300°	- 4.54	- 3.05	1.49
310°	- 2.68	- 1.81	0.87
320°	- 0.77	- 0.26	0.51
321.0°	—	0.00	—
323.5°	0.00	—	—
330°	0.94	1.57	0.63
340°	2.48	2.87	0.39
350°	3.55	3.84	0.29
360°	3.82	4.01	0.19

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der Grund für diese merkwürdigen Erscheinungen ist wohl darin zu finden, dass die zuvor parallele Strömung jetzt, nach Einschieben des Zylinders, das Zylinderende nicht nur in der durch die Oeffnung gehenden und zur Axe des Zylinders senkrechten Ebene umströmt, sondern dass sie auch den Zylinderkopf seitlich umfliesst. Infolge dessen entstehen auf der Leeseite des Zylinderendes die bedeutend stärkeren Unterdrucke.

Nimmt die Distanz der Messöffnung vom Zylinderende zu, so muss, weil dann die seitlichen störenden Strömungen schwächer werden, die beobachtete Druckverteilung immer weniger von derjenigen um einen „unendlich langen" Zylinder differieren. Die in Tabelle V und Fig. 7, Tafel I niedergelegten Messresultate, die an einem Zylinder von 31.7 mm Durchmesser mit Oeffnungen gewonnen wurden, von denen die eine 10 mm von dem nicht abgerundeten Ende entfernt und die andere in der Zylindermitte gebohrt war, mögen die Richtigkeit obiger Behauptung belegen.

Da zwischen den mit Sonden und Stauscheibe gemessenen dynamischen Druckwerten eine Differenz von ca. 5—6% besteht, so ist es nicht ohne Interesse, zu erfahren, ob diese Unterschiede auch für die mit Stauscheibe und Zylindern erhaltenen Druckwerte gefunden werden. Vergleichende Messungen hierüber haben nun gezeigt, dass schon bei einem Zylinder von 17.9 mm Durchmesser die Differenz: Dynamischer Druck (Stauscheibe) minus maximaler dynamischer Druck (Zylinder) sehr klein geworden ist und bei einem Zylinder von 31.7 mm Durchmesser nicht mehr beobachtet werden konnte.

D. Das aërodynamische Feld eines Zylinders.

Zur Aufklärung der Druck- und Stromverhältnisse um Zylinder und zur Deutung der Vorgänge um zylindrische Sonden genügen die bisherigen Untersuchungen nicht. Aus ihnen haben wir erst Aufschluss über die Druckverteilung an ihren Oberflächen erhalten. Unbekannt sind noch die Verhältnisse in dem sie umgebenden Felde. Zur Untersuchung des letzteren verwendete ich wie bisher die manometrische Methode; denn nur sie gibt zahlenmässigen Aufschluss. Als Messinstrument diente mir eine Messingsonde von 1.7 mm äusserm Durchmesser. Ihre Konstanten wurden bestimmt zu: $\alpha = 43.5^0$ u. $K = 1.06$. Mit dieser Sonde wurde der Zustand des Feldes eines umflossenen Zylinders von 44.9 mm Durchmesser in über 200 Punkten beobachtet.

Nun ist der Zustand in einem Punkte des Feldes gegeben, wenn man kennt:

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Tabelle V.

Zylinderdurchmesser: 31.7 mm.			
Luftgeschwindigkeit: 8.5 m/s.			
α^0	Druckwerte an:		Differenz der Druckwerte in mm Wasser
	einer 10 mm vom Ende entfernten Öffn.	einer in der Zylindermitte befindl. Öffn.	
0°	4.36	4.68	0.32
10°	4.08	4.40	0.32
20°	2.99	3.41	0.42
30°	1.37	1.84	0.47
38.5°	0.00		—
40°	– 0.33	0.07	0.40
41°		0.00	—
50°	– 2.12	– 1.56	0.56
60°	– 2.95	– 2.49	0.46
65°		– 2.67	—
70°	– 3.47	– 2.60	0.87
75°	– 3.48		—
80°	– 3.40	– 1.99	1.41
90°	– 3.23	– 1.96	1.27
100°	– 3.17	– 1.81	1.36
120°	– 3.09	– 1.84	1.25
140°	– 3.27	– 1.82	1.47
180°	– 3.32	– 1.84	1.48
220°	– 3.30	– 1.85	1.45
240°	– 3.39	– 1.85	1.54
260°	– 3.17	– 1.85	1.32
270°	– 3.25	– 1.86	1.39
280°	– 3.32	– 2.07	1.25
290°	– 3.47	– 2.67	0.80
295°	– 3.59	– 2.71	0.88
300°	– 3.55	– 2.50	1.05
310°	– 2 26	– 1.36	0.90
319°		0.00	—
320°	– 0.32	0.26	0.06
321.5°	0.00		—
330°	1.66	1.96	0.30
340°	3.17	3.47	0.30
350°	4.17	4.38	0.21
360°	4.40	4.68	0.28

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

1. Den statischen und den dynamischen Druck, resp. den Gesamtdruck.
2. Die Stromrichtung und
3. Die Windgeschwindigkeit.

Die ersten zwei Grössen erhält man direkt mit der Sonde, während die dritte nach der Formel

$$v = \sqrt{\frac{K \cdot 2g\left(P - p_s\right)}{\sigma}}$$

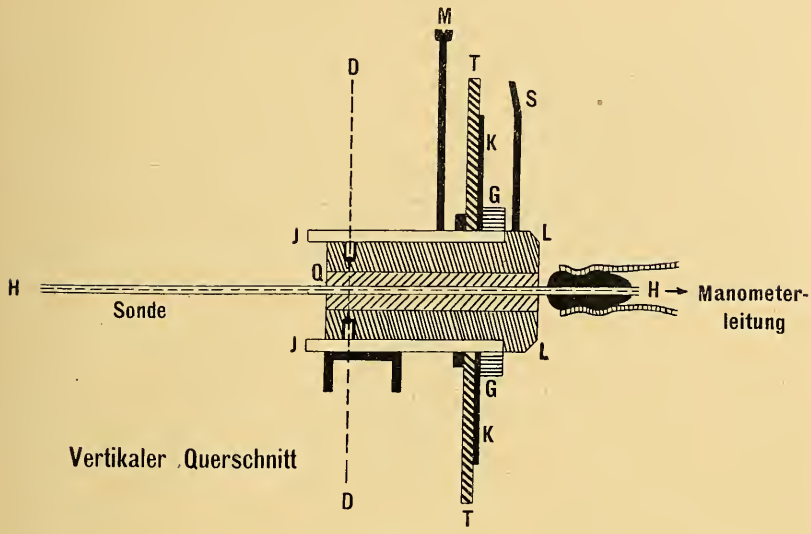
berechnet werden muss. Mittels der beobachteten Stromrichtungen können ferner die Stromlinien graphisch dargestellt werden. Das so erhaltene Stromlinienbild gibt jedoch, streng genommen nur dann einwandfrei das wirkliche Strömungsbild wieder, wenn unendlich viele Punkte im Feld vermessen worden sind. Solange nur der Zustand einer beschränkten Anzahl von Punkten bestimmt ist, bleibt beim Zeichnen der Stromlinien stets eine Willkür bestehen. Die Genauigkeit in der Darstellung der Stromlinien kann nun aber gesteigert werden, wenn in jedem Punkt ausser der Stromrichtung noch die Krümmung der Stromlinien bestimmt wird [19]). Diese findet man, sobald die Stromrichtung in zwei in der Windrichtung aufeinanderfolgenden benachbarten Punkten ermittelt wird. Die beiden beobachteten Richtungen sind dann als die Tangenten an die Stromkurve zu betrachten.

Diese Aufgabe ist ebenfalls mit der Gegauff'schen Sonde lösbar. Man benötigt nur eine Vorrichtung, die gestattet, die Sonde sowohl um ihre Axe zu drehen, als sie auch in der jeweiligen Stromrichtung etwas zu verschieben. In den Fig. 8, 9 und 10 sind der vertikale und horizontale Querschnitt und die Vorderansicht der Apparatur angegeben.

Auf einem Zylinderrohr J von 2.4 cm innerem Durchmesser, das am Koordinatenapparat befestigt werden kann, ist der Teilkreis T aufgelötet. Davor liegt eine lose Scheibe K aus Karton, welche durch den vor ihr liegenden Gummiring G gegen den festen Teilkreis gepresst wird. Sie trägt nur drei Marken A, B und C (Fig. 10), die zweimal den charakteristischen Neigungswinkel der verwendeten Sonde einschliessen, und dient ausschliesslich zur Erleichterung der Winkelablesungen am Teilkreis T. In die Röhre J ist ein auch auf die Rohraxe centrierter Zylinder L eingepasst, der einen quaderförmigen Hohlraum enthält. Der Zylinder L kann mit dem Stift S um seine, d. h. um die Apparaturaxe gedreht und durch die Schraube M (Fig. 8) arretiert werden. In den Hohl-

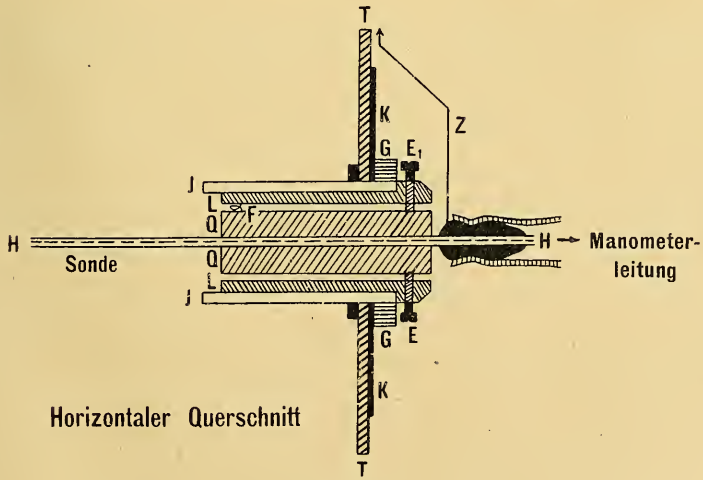
[19]) *A. Hagenbach* u. *K. Gegauff*. l. c. pag. 28.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



Figur 8.

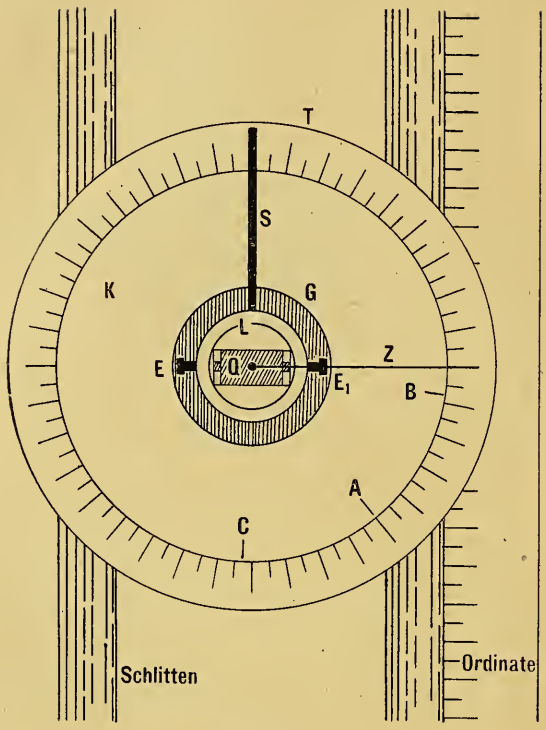
raum ist ein gut abgepasster und in der Mitte die Sonde enthaltender Quader so eingelassen, dass er nur um die zur Apparaturaxe H H senkrechte Axe D D (Fig. 8) etwas hin und her bewegt werden kann. Mittels der beiden Schrauben E E_1 (Fig. 9) lässt sich die in dem Quader dicht eingefügte, aber doch noch drehbare Sonde derart einstellen, dass ihre Axe mit derjenigen des



Figur 9.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Vorderansicht des Messapparates



Figur 10

Apparates zusammenfällt. Vor Beginn einer Untersuchung muss die Oeffnungsaxe der Sonde der Bewegungsrichtung des Quaders parallel gerichtet werden[20]).

Der Zylinder, dessen Feld mit dem beschriebenen Apparat ausgemessen wurde, war 200 mm vom Ventilatorende entfernt senkrecht in den Luftstrom eingeführt. Beide Enden ragten über den Luftstromquerschnitt hinaus. Während das eine Ende an einem Stativ befestigt war, wurde das andere, da es für die Messungen freigehalten werden musste, an einem angelöteten Draht aufgehängt. Das den Messungen zu Grunde liegende rechtwinklige Koordinatensystem nahm seinen Anfang in dem dem Ventilator zunächst liegenden Punkt des Zylinderquerschnitts. Die X-Achse

[20]) Ich möchte hier nicht verfehlen, des im Okt. 1918 an der Grippe so plötzlich dahingeschiedenen Institutsmechanikers, Herrn *J. Hunziker*, für die Hilfe, die er mir ganz besonders bei der Herstellung dieses Instrumentes hat angedeihen lassen, in Dankbarkeit zu gedenken.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

fiel mit der Mitte des Luftstroms zusammen und wurde in der Windrichtung positiv gerechnet. Die Y-Achse wurde nach oben positiv und nach unten negativ gewählt. Bei diesem „unendlich langen" Zylinder genügt es aus den früher besprochenen Gründen, die Messungen nur in der durch die X- und Y-Axe bestimmten und zur Zylinderaxe vertikalen Ebene durchzuführen.

Die während der Versuchsreihe im Laboratorium herrschende Luftdichtigkeit σ wurde, da die Temperatur 21° C und der Barometerstand 740 mm Quecksilber betrugen, nach der Formel

$$\sigma = 1.293 \cdot \frac{B}{760} \cdot \frac{1}{1+\alpha t} \text{ zu } 1.178 \text{ Kg/m}^3$$

bestimmt. Dadurch erhält man für die Geschwindigkeit v, da $g = 9.81$ m/s² und $K = 1.06$ ist, den Ausdruck:

$$v = 4.219 \sqrt{P - p_s}$$

Die Resultate der Ausmessung findet man auf Taf. II graphisch zusammengestellt. In der oberen Hälfte bedeuten die gestrichelten Linien die unter Ermittlung der Stromlinienkrümmung erhaltenen Stromlinien, während die ausgezogenen Linien Kurven gleichen statischen Drucks darstellen. Die untere Hälfte enthält die einzelnen beobachteten Stromrichtungen.

Da aus der Figur die Druck- und Stromverhältnisse im aërodynamischen Feld des Zylinders in übersichtlicher Weise zur Darstellung kommen, erübrigt es sich, die vielen ausgemessenen Werte noch tabellarisch wiederzugeben. Ich begnüge mich, um den Gang der Messung doch anzudeuten, mit der Zusammenstellung der einzelnen Bestimmungen für zwei Ordinaten des Feldes (Tabelle VI). Sie enthält die beobachteten Werte P, p_s, α und Δ_α und die berechneten Werte der Windgeschwindigkeit v in m/s. P bedeudet den Gesamtdruck und p_s den statischen Druck. Der Winkel α gibt in Graden die Richtungsverschiebung des Windes gegen die ursprüngliche Stromrichtung an und ist positiv genommen für eine im Sinne des Uhrzeigers erfolgte Ablenkung des Windes. Mit Δ_α ist die Aenderung des Winkels α beim Uebergang zum benachbarten Punkt bezeichnet.

Aus dem gezeichneten Stromlinienbilde geht nun deutlich hervor, dass an der Stelle des Zylinders, wo der dynamische Druck auf Null herabsinkt, die Stromlinien tangential zur Zylinderoberfläche gerichtet sind, und dass bei ca. 70° der Luftstrom dort, wo p_d den grössten maximalen Unterdruckwert erreicht, rasch vom Zylinder abfliesst und dabei zu starken Wirbelfeldern Anlass gibt.

Tabelle VI.

Abszisse ↓	Ordinate →	−95	−75	−55	−35	−20	−5	0	5	15	25	45	65	85	105
x = −10 mm.	P	3.47	3.49	3.47	3.47	3.50	3.48	3.52	3.51	3.49	3.49	3.50	3.51	3.48	3.46
	p_s	0.09	0.20	0.42	0.81	1.64	2.66	2.74	2.68	1.90	1.34	0.50	0.28	0.08	0.02
	V	7.56	7.47	7.18	6.73	5.66	3.72	3.63	3.76	5.24	6.07	7.14	7.39	7.60	7.64
	α	−5.5°	−7.0°	−10.5°	−15.0°	−19.0°	−11.5°	−0.5°	9.5°	21.0°	20.5°	13.5°	8.5°	7.5°	6.0°
	Δ_α	−0.5°	—	—	−1.0°	−3.5°	−3.0°	—	2.5°	3.0°	1.0°	1.0°	1.0°	—	—
	Ordinate →	−100	−80	−60	−40	−30	−18	0	18	30	40	60	80	100	
x = +10 mm.	P	3.44	3.45	3.45	3.48	3.49	3.47	—	3.49	3.50	3.48	3.47	3.45	3.43	
	p_s	0.01	−0.03	−0.03	−0.06	−0.12	−0.54	—	−0.54	−0.18	−0.17	−0.10	−0.03	0.00	
	V	7.64	7.60	7.60	7.81	7.85	8.26	—	8.26	7.93	7.89	7.81	7.68	7.64	
	α	−5.5°	−7.0°	−11.5°	−16.5°	−22.0°	−39.5°	—	40.0°	23.0°	17.5°	11.0°	7.5°	6.0°	
	Δ_α	—	—	—	—	—	+2.0°	—	−2.0°	−1.0°	—	—	—	—	

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/, www.zobodat.at

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Unter der Annahme, dass die Druckverteilung um Sonden derjenigen um die Zylinder analog sei (siehe Seite 9), ist zu erwarten, dass sich demnach auch bei den Sonden die Stromlinien da tangential an die Sondenoberfläche anlegen, wo p_d null ist. Wir erhalten also mit der Sonde, solange die Stromlinien gegen die Sondenoberfläche gerichtet sind, die dynamischen Druckkomponenten auf die Messtellen ihrer Oberfläche.

Der Zustand des direkt hinter dem Zylinder liegenden Gebietes konnte infolge der dort sich abspielenden pulsatorischen Vorgänge nicht ermittelt werden. Mittels der Sondenmethode werden eben nur Mittelwerte gemessen, während die Stromverhältnisse hinter dem Zylinder nur durch Messung von Momentan-Werten erhalten werden können.

Zusammenstellung der Resultate.

1. Eine Abhängigkeit des charakteristischen Neigungswinkels (bei dem der dynamische Druck zu Null wird) von der Luftgeschwindigkeit konnte für das Intervall von 3—8 m/s bei den gemessenen Sonden und Zylindern nicht nachgewiesen werden.
2. Es wurde hingegen eine Abhängigkeit dieses Winkels von dem Zylinderumfang in dem Sinn gefunden, dass mit zunehmendem Zylinderumfang dieser Winkel kleiner wird.
3. Die Entfernung der Messöffnung vom Zylinder-(Sonden-)Ende ist von wesentlichem Einfluss auf die Bestimmung der Druckverteilung um diese Widerstandskörper.
4. Die mit Zylindern von grösserm Durchmesser als 31.7 mm erhaltenen maximalen dynamischen Druckwerte weisen gegenüber denjenigen der Stauscheibe unter 90° keine Unterschiede mehr auf.
5. Es wurde gezeigt, dass mit der Sonde auch die Stromlinienkrümmung an irgend einem Punkt des aërodynamischen Feldes bestimmt und damit der Stromlinienverlauf exakter als bisher ermittelt werden kann.

Manuskript eingegangen 7. Oktober 1919.

Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Legende.

Fig. 2. Druckdiagramm der neuen Scheibensonde.
Fig. 4. Druckdiagramm eines Zylinders mit 13,0 mm Durchmesser, bei einer Öffnung von 0,4 mm Weite und drei verschiedenen Geschwindigkeiten.
Fig. 5. Druckdiagramm eines Zylinders mit 40,6 mm Durchmesser, bei einer Öffnung von 0,5 mm Weite und drei verschiedenen Geschwindigkeiten.
Fig. 6. Druckdiagramm eines Zylinders mit 13,0 mm Durchmesser.
Kurve —·—·— Druckverteilung am Ende des Zylinders.
Kurve — — — Druckverteilung in der Mitte des Zylinders.
Fig. 7. Druckdiagramm eines Zylinders mit 31,7 mm Durchmesser.
Kurve —·—·— Druckverteilung am Ende des Zylinders.
Kurve — — — Druckverteilung in der Mitte des Zylinders.

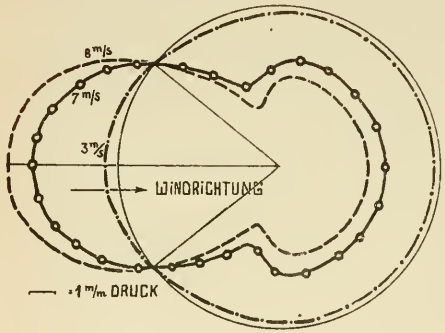


FIG. 4.

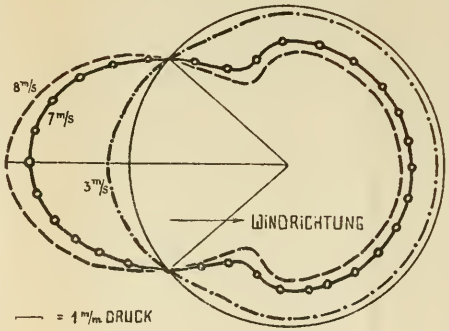


FIG. 5.

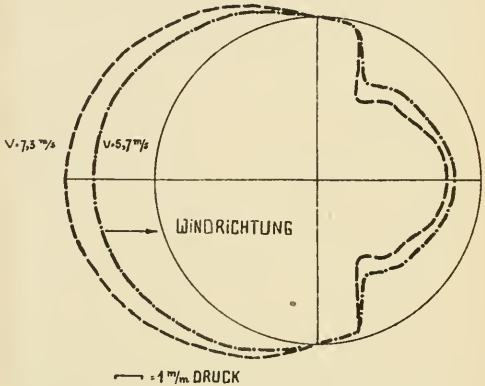


FIG. 2.

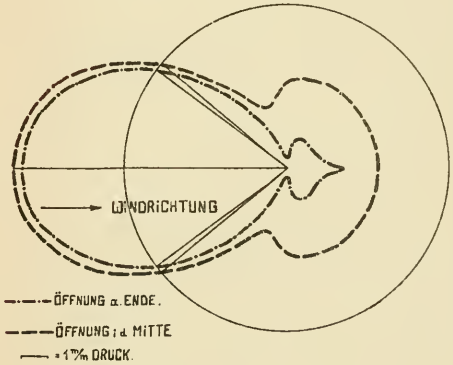


FIG. 6.

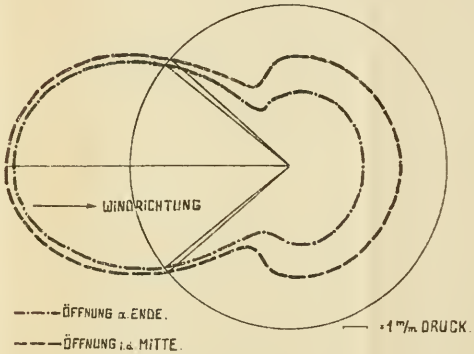


FIG. 7.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

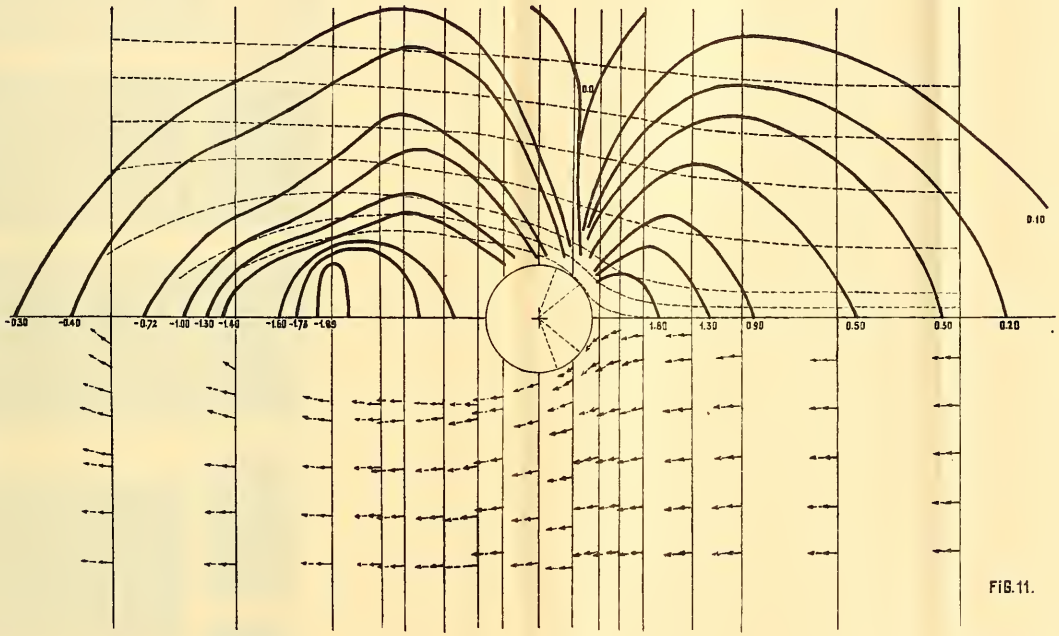


Fig. 11.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel

Jahr/Year: 1919-1920

Band/Volume: 31_1919-1920

Autor(en)/Author(s): Ebi F.

Artikel/Article: Über die Wirkungsweise zylindrischer Sonden zur Untersuchung aerodynamischer Felder 1-23