Zwei mit Hilfe der neuen Verstärker entdeckte Erscheinungen.

Von H. Barkhausen.

1. Geräusche beim Ummagnetisieren von Eisen.

Durch die Verbesserung der neuen Vakuumröhren-Verstärker ist es leicht möglich, eine 10000 fache Strom-, d. h. eine 100-millionenfache Leistungsverstärkung zu erzeugen. Dadurch können noch elektrische oder magnetische Wechselfelder wahrnehmbar gemacht werden, die sich sonst wegen ihrer Schwäche unserer Kenntnis vollkommen entziehen würden. Es ist für sie gewissermaßen ein Mikroskop erfunden worden, und zwar gleich eins mit 10000 facher Vergrößerung! So hat W. Schottky kürzlich darauf hingewiesen[1]), daß man bei großen Verstärkungen die Elektronen in den Verstärkerröhren selbst gewissermaßen fliegen hören kann, da der durch sie gebildete Strom gemäß der kinetischen Gastheorie spontane Schwankungen ausführt.

Eine ähnliche Erscheinung entdeckte ich vor zwei Jahren bei Gelegenheit von Versuchen, die ich gemeinsam mit Herrn Dr. Tuczek anstellte: Eisen gibt beim Ummagnetisieren ein Geräusch; bei ganz gleichmäßiger Änderung der magnetomotorischen Kraft klappen die Molekularmagnete sprungweise in ihre neue Lage und erzeugen dadurch in einer darüber geschobenen Spule unregelmäßige Induktionsstöße, die sich im Telephon als Geräusch erkenntlich machen.

Ich habe diese Erscheinungen jetzt etwas näher verfolgt. Fig. 1 zeigt die einfache Versuchsanordnung. Die zu untersuchenden Eisenkerne E wurden in eine kleine Spule S von 25 mm Durchmesser und 300 Windungen hinein gesteckt. An die Spule war einerseits ein Telephon T über einen 10000 fachen Verstärker V angeschlossen, anderseits ein Spiegelgalvanometer G. Letzteres war so stark gedämpft, daß ein Ausschlag viele Sekunden lang fast unverändert bestehen blieb. Dann zeigt praktisch jede Änderung des Ausschlags eine ihm proportionale Änderung des die Spule durchsetzenden Induktionsflusses an. Bei Bewegung des 10 cm langen, U-förmigen Magneten M konnte so gleichzeitig die Änderung der Induktion und die Stärke des Geräusches beobachtet werden. Der Anteil des Eisenkerns an ersterer wurde dadurch bestimmt, daß der meist wesentlich schwächere Galvanometerausschlag bei gleicher Magnetbewegung, aber ohne Eisenkern beobachtet und abgezogen wurde. Die Bewegung geschah mit der Hand. Die Genauigkeit war daher nicht sehr groß.

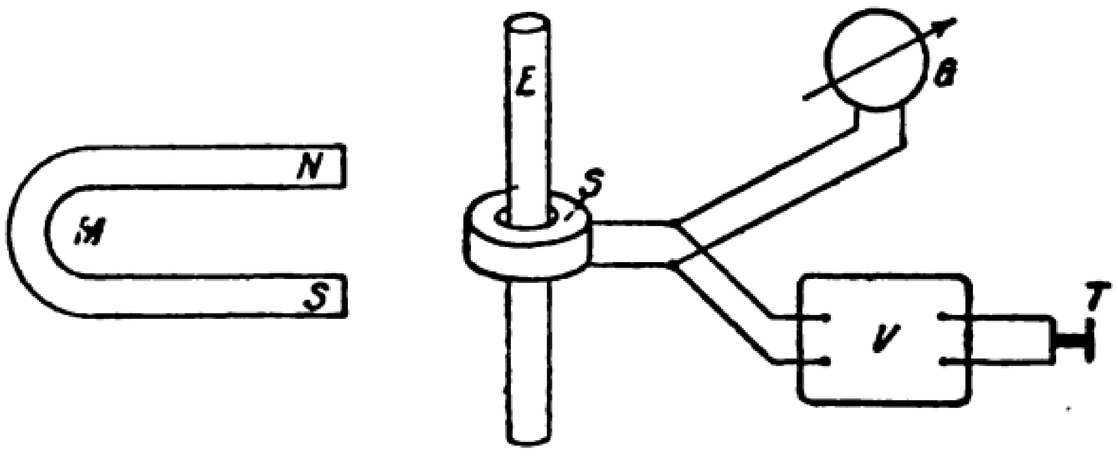


Fig. 1.

Zunächst zeigte sich, daß das Geräusch um so schwächer wurde, je dicker die Kerne waren. 20 mm dicke Kerne gaben schließlich gar kein Geräusch mehr. Der Grund ist, wie später gezeigt wird, in der zu geringen Änderung der Induktion (pro Flächeneinheit) zu suchen; der kleine Magnet genügte nicht, dickere Kerne hinreichend stark zu magnetisieren. So gab ein dicht liegendes Paket Bleche ein schwächeres Geräusch, als ein einzelnes Blech aus dem gleichen Paket. Am besten geeignet waren 1 bis $^1/_2$ mm dicke Drähte oder 5 bis 10 mm breite dünne Blechstreifen. Bei Anwendung stärkerer Magnete wird man auch stärkere Eisenkerne verwenden können.

Weiter wurde an einer großen Zahl verschiedener Kerne festgestellt, daß das Geräusch um so stärker war, je weicher das Eisen war. Gehärteter Stahl gab fast gar kein Geräusch, weiches, geglühtes Eisen ein besonders starkes. Hierfür konnte aber nicht die bekanntlich geringere Magnetisierbarkeit des Stahls die Ursache sein, die sich auch durch einen etwas geringeren Galvanometerausschlag bei gleicher Magnetstellung bemerkbar machte. Denn der Unterschied im Geräusch war auch vorhanden, wenn das weiche Eisen 2- bis 3 mal schwächer magnetisiert wurde. Ganz weiches Eisen gab noch ein Geräusch, wenn der Magnet in mehr als $^1/_2$ m Abstand bewegt wurde. In größerer Nähe war bei ihm das Geräusch so stark, daß es auch ohne Verstärker im Telephon deutlich hörbar war. Der Unterschied zwischen verschiedenen Eisensorten ist so groß, daß man darauf geradezu eine Methode zur Eisenuntersuchung aufbauen könnte.

Die Änderung des Magnetfeldes wurde meist so gemacht, daß der Magnet entweder seitwärts entfernt, um 180° gedreht und wieder genähert wurde, oder so, daß er in einem bestimmten Abstande, besonders in großer Nähe, langsam um 180° herumgedreht wurde. Das Geräusch war bei dieser Bewegung an verschiedenen Stellen sehr verschieden stark. Die Änderung des Galvanometerausschlages entsprach nicht immer der Geräuschstärke. Hielt man mit einer Än-

1) Vgl. Verh. d. D. Phys. Ges. **20**, 71, 1918.

Digitized by Google
Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN

derung in Richtung R (Fig. 2) an einem Punkte A an, war sofort alles ruhig und blieb auch vollkommen ruhig, wenn man von A eine Rückwärtsbewegung bis B machte, überhaupt den Magneten zwischen A und B beliebig hin und her bewegte. Sobald man aber die Lage A mit dem Magneten nur ein wenig überschritt, setzte ganz plötzlich das volle Geräusch wieder ein. Dabei wurden bei weiterer Bewegung in Richtung R die Grenzen A und B gewissermaßen nach rechts mit weiter geschoben. Die Grenze A blieb auch dann bei beliebiger Bewegung zwischen A und B überraschend scharf erhalten. Die Grenze B war unscharf, das Geräusch schwoll langsam an, wenn man über B hinaus, etwa bis C, zurückging. Gleichzeitig wurde dann auch die Grenze A unscharf, etwa in der in Fig. 3 angedeuteten Weise. — Das Galvanometer zeigte auch im Bereich zwischen A und B ziemlich starke Änderungen. Es war in seiner Bewegung auch kein Sprung zu bemerken, wenn A überschritten wurde und des Geräusch plötzlich einsetzte. Doch war die Beobachtungsmethode nicht sonderlich genau.

Bei den dicken Kernen wurde wahrscheinlich selbst bei stärkster, mit dem Magneten herstellbarer Änderung das Gebiet $A-B$ nicht überschritten. Daher konnte bei diesen, wie oben bemerkt, kein Geräusch eintreten.

Man kann sich dies eigentümliche Verhalten des Eisens vielleicht in folgender Weise erklären: Die einzelnen Molekularmagnete schließen sich zu mehr oder weniger großen Verbänden mit mehr oder weniger großer Stabilität zusammen. Ein Geräusch entsteht nur bei der Sprengung oder Bildung größerer Verbände. Bei einer Bewegung gemäß Fig. 2 ändern sich in dem Bereich

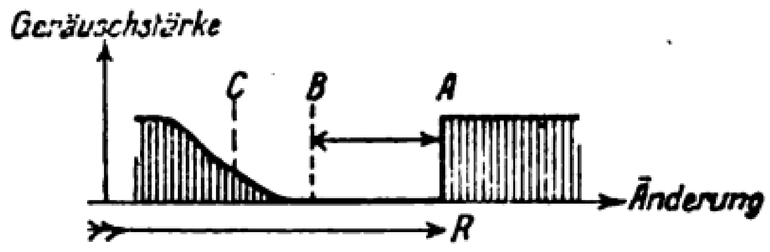


Fig. 2.

$A-B$ nur die kleinen Verbände, es entsteht kein Geräusch. Bei einer Bewegung über B hinaus werden allmählich auch die mittleren und größeren Verbände in Richtung $-R$ in Mitleidenschaft gezogen. In Richtung $+R$ sind dagegen alle kleineren und mittleren Verbände schon bei der ersten, von weit her bis A gekommenen Änderung überwunden. Es sind nur noch die größeren, in dieser Richtung stabileren Verbände übrig geblieben, die erst bei einer weiteren Änderung über A hinaus überwunden werden. — In guter Übereinstimmung mit dieser Vorstellung hört man bei Änderung über B hinaus ein gleichmäßiges, leises Sausen, während über A hinaus ein lautes prasselndes Geräusch einsetzt, in dem man bei sehr langsamer Änderung, z. B. wenn der Magnet in großer Entfernung bewegt wird, einzelne knallartige Stöße deutlich unterscheiden kann. — Im Stahl scheinen die Molekularmagnete nicht die Fähigkeit zu haben, sich zu größeren Verbänden zusammenzuschließen. Man hört bei ihm immer nur das leise Sausen. — Auch das durch Fig. 3 dargestellte Verhalten

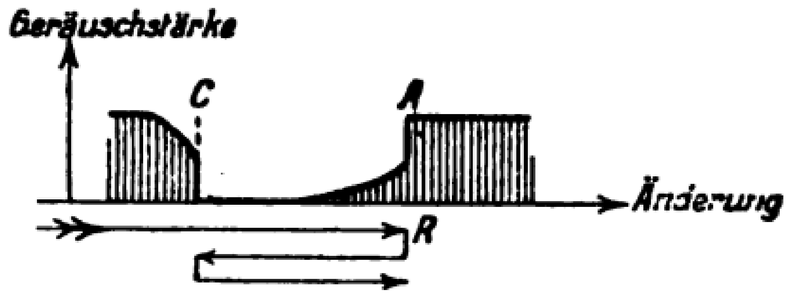


Fig. 3.

ist mit dieser Vorstellung in Übereinstimmung. Die bei der Rückwärtsbewegung (von B bis C in Fig. 2) ummagnetisierten schwachen Verbände werden in Richtung R wieder überwunden, bevor A erreicht ist.

Nicht recht erklärlich ist eine Erscheinung, die bei einem Streifen aus papierdünnem, ganz weichem Eisenblech eintrat. Eine Drehung des Magneten um 180° ergab das stärkste Geräusch, wenn der Magnet einen Abstand von 10 cm hatte. Beim Drehen in ganz geringem Abstande war das Geräusch merkwürdigerweise ganz schwach, auch wenn der Magnet ganz langsam herumgedreht wurde.

Eine genauere Untersuchung wäre, auch im Hinblick auf die praktische Anwendung, beim Magnetdetektor von Marconi und beim Telegraphon von Poulsen erwünscht.

2. Pfeiftöne aus der Erde.

Während des Krieges wurden Verstärker auf beiden Seiten der Front in ausgedehntem Maße zum Abhören feindlicher Ferngespräche benutzt. Infolge schlechter Isolation, zum Teil auch schon durch Induktionswirkung, breiten sich vagabundierende Erdströme in der weiteren Umgebung der Fernsprechleitung aus. Wenn diese auch äußerst schwach sind, so können sie doch durch die enorme, herstellbare Verstärkung noch hörbar gemacht werden. Die Abhörschaltung zeigt Fig. 4. Die beiden, meist einige 100 m weit auseinander liegenden Erdungen A, B führen einfach über den Verstärker zum Telephon.

Zu gewissen Zeiten hört man im Telephon einen ganz merkwürdig pfeifenden Ton. An der Front hieß es, man höre „die Granaten fliegen“. Soweit eine Bezeichnung durch Buch-

Digitized by Google
Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN

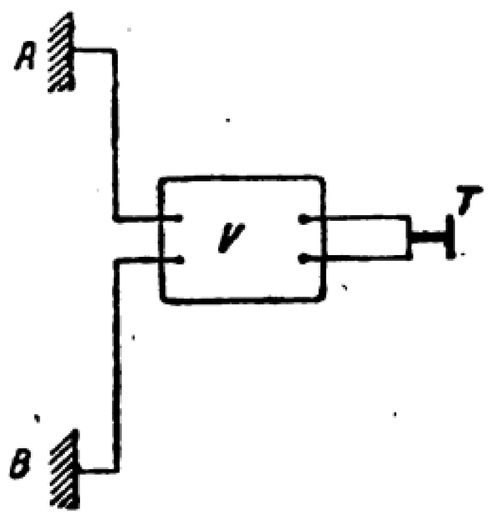


Fig. 4.

staben möglich ist, klang der Ton etwa wie piou. Physikalisch war es meiner Ansicht nach eine Schwingung von annähernd gleich bleibender Amplitude, aber sich sehr schnell ändernder Frequenz, etwa so, wie in Fig. 5 gezeichnet ist,

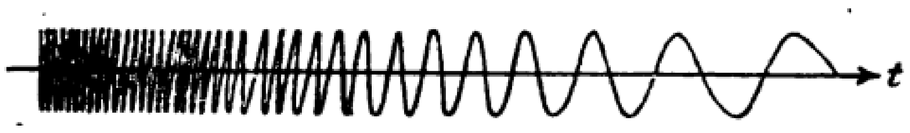


Fig. 5.

beginnend mit den höchsten hörbaren Tönen, die ganze Tonskala durchlaufend und mit den tiefsten hörbaren Tönen abklingend. Durch die Eigenschaften des Verstärkers werden dabei die Töne um die Frequenz 1000 herum besonders stark hervorgehoben. Der ganze Vorgang dauerte fast eine volle Sekunde lang. An manchen Tagen waren diese Pfeiftöne so stark und häufig, daß sie ein Abhören zeitweise unmöglich machten. Die Erscheinung hing sicher mit meteorologischen Einflüssen zusammen. Sie trat besonders des Vormittags an warmen Tagen im Mai und Juni auf, unterschied sich aber vollständig von den normalen atmosphärischen Störungen, die nur ein Knacken oder Brodeln im Telephon erzeugen. Die Erdelektroden, die gelegentlich auch Geräusche geben, können ebenfalls kaum die Ursache für die Pfeiftöne sein. Zunächst ist ein meteorologischer Einfluß auf oft tief vergrabene Erddrähte sehr unwahrscheinlich; dann traten ganz dieselben Pfeiftöne auch im Meere bei in Seewasser tauchenden Kupferelektroden auf. Und wie sollte schließlich ein so merkwürdiger, periodischer Vorgang an den Elektroden entstehen?

Viel näher liegt der Gedanke, daß der Verstärker selbst, etwa durch eine besonders starke atmosphärische Störung angestoßen, derartige Eigenschwingungen erzeugt. Ich habe mich aber vergeblich bemüht, im Laboratorium durch starke Schaltstöße und direkte Funkenüberschläge an einem solchen Verstärker Pfeiftöne hervorzurufen. Auch sind mir bei meinen zahlreichen Versuchen mit den Verstärkern sonst niemals solche Pfeiftöne begegnet.

Wodurch freilich in der Erde und im Meere zeitweise schwache Wechselströme so eigentümlicher Art entstehen können, erscheint zunächst unerklärlich. Vielleicht können hier weitere Mitteilungen aller derer, die mit diesen Apparaten zu tun gehabt haben, zur Aufklärung beitragen.

Dresden, Institut für Schwachstromtechnik, Mai 1919.

(Eingegangen 17. Mai 1919.)

Der Böenmesser, ein neues Instrument zur hydrodynamischen Untersuchung des Windes.

Von R. Seeliger.

(Mit Tafel XIV.)

Bekanntlich ist die Geschwindigkeit des Windes nicht zeitlich konstant oder nur langsam veränderlich, sondern sie schwankt dauernd in raschen Pulsationen um einen jeweiligen Mittelwert, eben um die „Windgeschwindigkeit“ im gewöhnlichen Sprachgebrauch. Erst seit wenigen Jahren hat man diesen raschen Pulsationen — die man als „Struktur des Windes“ bezeichnet — größere Aufmerksamkeit zugewandt; die bis jetzt vorliegenden Resultate einer genaueren Analyse haben auch bereits manche bemerkenswerte Gesetzmäßigkeiten ergeben und jedenfalls gezeigt, daß es sich — abgesehen von der großen praktischen Bedeutung für die Flugtechnik — um einen Vorgang handelt, der auch den Physiker interessieren dürfte[1]). An der verhältnismäßig geringen Ausdehnung des Beobachtungsmaterials trägt nun wohl hauptsächlich der Mangel an zur Untersuchung der Windstruktur geeigneten Instrumenten Schuld. Die bis jetzt vorliegenden Apparate, die sogenannten Böenschreiber[2]), sind alle recht kompliziert und kostspielig und erfordern eine stationäre Aufstellung und sorgfältige Wartung. Dagegen fehlt es noch ganz an einem handlichen transportablen Instrument, das etwa von der Größe und konstruktiven Einfachheit der üblichen Windmeßgeräte (Handanemometer mit Schalenkreuz oder Wildsche Stärketafel), nicht nur wie diese die mittlere Windgeschwindigkeit, sondern auch die Größe der genannten raschen Pulsationen bequem zu messen gestattet. Abgesehen von der weitgehenden Verwendungsmöglichkeit in der Praxis der Flugtechnik (ein Ersatz der jetzt üblichen und naturgemäß nur

1) R. Seeliger, Die Struktur des Windes, Die Naturwissenschaften 1917, S. 749.

2) R. Seeliger u. E. Bräuer, Die Methoden zur Untersuchung der Struktur des Windes, Met. Zt. 1918, 30, 82, 124.

Digitized by Google
Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN

rohen Schätzung der Böigkeit des Windes nach dem Gefühl scheint ein dringendes Bedürfnis zu sein), würde ein solches Instrument eine empfindliche Lücke in den Terminbeobachtungen der meteorologischen Stationen auszufüllen ermöglichen und durch regelmäßige Messung nicht nur der mittleren Geschwindigkeit, sondern auch der mittleren Schwankung derselben der wissenschaftlichen Windforschung bisher fehlendes Material verschaffen; vor allem aber würde es durch das Studium der Windstruktur im Freiballon der Theorie Anhaltspunkte von prinzipieller Bedeutung geben können.

Maßgebend für die Konstruktion eines derartigen Instruments sind nun die folgenden allgemeinen Gesichtspunkte. Dasselbe wird prinzipiell wie alle Windmeßgeräte aus einem mechanischen System bestehen müssen, welches durch den Winddruck in Bewegung gesetzt wird und der Forderung genügt, daß diese Bewegung den zeitlichen Variationen des Winddrucks nun nicht nur im Mittel, sondern bis in die Einzelheiten getreu folgt. Dazu ist aber nach bekannten Sätzen über erzwungene Bewegungen hinreichend und notwendig, daß seine Eigenfrequenz — geeignete Dämpfungsverhältnisse vorausgesetzt — groß ist gegen die Frequenz der höchsten harmonischen Komponente der äußeren Kraft (d. h. des Winddrucks), die man noch getreu wiedergegeben zu haben wünscht und die in unserem Falle, selbst für weitgehende Ansprüche zu etwa 5 sec^{-1} anzusehen sein dürfte. Aus praktischen Gründen brächte es nun erhebliche Nachteile mit sich, wenn man das genannte mechanische System direkt dem Wind aussetzen würde. Man wird deshalb in der üblichen Weise den Druck durch ein Staugerät aufnehmen und erreicht dadurch zwei Vorteile, nämlich: 1. Man kann die Stelle, an welcher die Geschwindigkeit des Windes gemessen werden soll, recht bequem in genügende Entfernung von dem in seinen Bewegungen zu beobachtenden mechanischen System verlegen und so alle Störungen ausschalten, welche durch den Körper des Beobachters infolge der Deformation der Stromlinien entstehen können. 2. Man kann durch Verwendung eines geeigneten Staugerätes eine genaue Orientierung gegen die Richtung des Windes unnötig machen; dies ist, da mit den Geschwindigkeitsschwankungen stets auch Richtungsschwankungen verbunden sind, sogar unbedingtes Erfordernis zu einer einwandfreien Messung und ist auf anderem Wege kaum zu erreichen. Als Staugerät, daß etwa in einiger Entfernung über dem Kopf des Beobachters fixiert zu denken ist, habe ich seiner für den vorliegenden Zweck vorzüglichen Eigenschaften wegen eine Doppelstauscheibe benutzt, die von Gerdien und Holm[1]) beschrieben worden ist und deren Angaben bis zu etwa 25° Neigung gegen die Windrichtung praktisch unabhängig vom Neigungswinkel sind.

Es handelte sich nun darum, die vom Staugerät erzeugte Druckdifferenz zu messen. Die übliche Methode der Druckmessung mit einem Flüssigkeitsmanometer ist für ein tragbares Instrument naturgemäß schon deshalb nicht zu verwenden, weil sie eine peinlich genaue Orientierung gegen die Vertikale und eine sehr stabile erschütterungsfreie Aufstellung erfordert. Auch die Verwendung von Membranmanometern führte nach vielen vergeblichen Versuchen zu keinem befriedigenden Resultat, wenigstens nicht für den vorliegenden Zweck, und zwar in erster Linie wegen der Schwierigkeiten, die Bewegung der Membran durch eine gegen Stöße genügend empfindliche Übertragung der Messung zugänglich zu machen. (Wie nebenbei bemerkt sei, eignen sich ihrer vorzüglichen elastischen Eigenschaften wegen Membranmanometer nach meinen Erfahrungen jedoch sehr gut für Böenschreiber, falls eine stabile Aufstellung mit optischer Registrierung z. B. nach dem Vorgang von Nernst und des Physiologen Frank gewählt werden kann.) Die genannten Schwierigkeiten zu beheben ist mir nun durch die folgende Anordnung gelungen, die meines Erachtens noch für viele andere Zwecke als Mikromanometer gute Dienste leisten dürfte, nämlich überall da, wo eine stabile Aufstellung des Druckmeßapparats sich nicht durchführen läßt. Man kann nämlich die statische Druckmessung ersetzen durch eine dynamische, d. h. durch die direkte Messung der Strömungsgeschwindigkeit in einer das Staugerät kurzschließenden Rohrleitung, und zwar im Prinzip einfach dadurch, daß man ein empfindliches Druckpendel (ähnlich der Wildschen Stärketafel) anbringt. Benutzt man als Direktionskraft für dieses nicht die Schwerkraft, sondern elastische Kräfte, so wird man praktisch vollkommen unabhängig von der Orientierung gegen die Vertikale und bei geeigneter Wahl des in die Strömung gebrachten Systems zugleich von äußeren Erschütterungen. Vorzüglich bewährt hat sich nun eine dünne elastische Lamelle[2]), welche an einem Ende festgeklemmt mit dem anderen

1) Gerdien, Ein Apparat zur Untersuchung der Windstruktur (Anemoklinograph). Jahrb. wissenschaftl. Ges. f. Flugtechnik **2**, 67—78, 1913/14. — R. Holm, diese Zeitschr. **20**, 27, 1919.

2) Der Einfachheit halber benutzte ich zunächst Spaltlamellen aus Glimmer, die in der Praxis aber wohl besser durch Metallstreifen z. B. aus dünnem versilberten Federstahl, zu ersetzen sein werden. In dem benutzten Modellapparat hatte das Glimmerplättchen die Dimensionen $15 \times 2 \times 0{,}013$ mm.

Digitized by Google
Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN

in die Strömung hineinragt und deren Ausbiegungen aus der Gleichgewichtslage in einem Mikroskop mit Okularmikrometer gemessen wird[1]). Die folgende einfache Überschlagsrechnung gibt über die zu erwartenden Verhältnisse hinreichende Auskunft. Natürlich handelt es sich dabei, wie generell gleich bemerkt sei, um nicht mehr als nur eine Abschätzung von Größenordnungen, die aber für unsere Zwecke auch vollkommen genügt. Wo ich durch Messungen im künstlichen Windstrom — ich konnte eine nach dem Muster des Prandtlschen Windkanals gebaute Anordnung auf der ehemaligen Militär-Hauptwetterwarte in Charlottenburg benutzen — einen direkten Vergleich mit der Erfahrung erhalten habe, hat sich jedenfalls hinreichende Übereinstimmung ergeben.

Die von dem Staugerät an den Enden der Rohrleitung erzeugte Druckdifferenz p ist für eine Windstärke von V m/sec gegeben durch

$$p = 0{,}005\ V^2\ \text{mm}\ Hg = 6{,}5\ V^2\ \text{Dyn/cm}^2. \quad (1)$$

Die mittlere Geschwindigkeit v der Strömung in der Rohrleitung ergibt sich daraus, wenn wir — was der Größenordnung nach hier wohl erlaubt ist — nach Poisseuille rechnen, in cm/sec zu

$$v = \frac{r^2}{8l}\, p \cdot \frac{1}{\eta} = 0{,}8\, \frac{r^2}{l}\, \frac{V^2}{\eta}, \quad (2)$$

worin r der Radius, l die Länge der Leitung in Zentimetern ist. Wählen wir $2r$ von der Größenordnung 1 cm, l von der Größenordnung 100 cm, so wird

$$v = 0.1\ V^2, \quad (3)$$

beide Geschwindigkeiten nun gemessen in m/sec. Nun betrachten wir eine Lamelle von der Länge λ, von der Breite β und der Dicke δ (mm). Wirkt auf diese am Ende der Längsseite eine Kraft P kg, so ist die Ausbiegung (mm)

$$h = \frac{4\lambda^3}{\delta^3 \beta}\, \frac{P}{E}. \quad (4)$$

Der Druck auf eine Fläche von 1 qm in einem Luftstrom von der Geschwindigkeit v m/sec ist nun empirisch gefunden worden zu rund $0{,}1\ v^2$ [2]) kg, so daß eine Fläche von der Länge $\alpha\lambda$ und der Breite β (entsprechend dem in die Strömung tauchenden Teil unserer Lamelle) den Druck erleidet

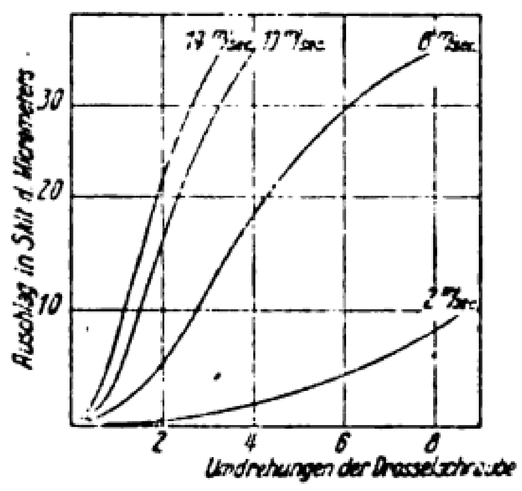
$$P = 0{,}1\ v^2\, \alpha\lambda\beta \cdot 10^{-6}. \quad (5)$$

Die Gleichungen 3, 4, und 5 ergeben also für die Ausbiegung bei einer Windgeschwindigkeit V die gesuchte Endformel:

$$h = 4 \cdot 10^{-9}\, \alpha\, \frac{\lambda^4}{\delta^3 E}\, V^4. \quad (6)$$

Wir wollen nun z. B. verlangen, daß noch bei einer Windgeschwindigkeit von 2 m/sec die Ausbiegung 0,1 mm beträgt. Setzen wir entsprechend etwa den tatsächlichen Verhältnissen $\lambda = 20$, $\alpha = \frac{1}{4}$, $E = 2 \cdot 10^4$ (gültig für Stahl und Glimmer), so bekommen wir für die Dicke δ der Lamelle die Größenordnung 0,01 mm, die sich ohne große Schwierigkeiten praktisch erreichen läßt.

Zugleich erkennt man aus Gl. (6), daß die Elongation mit V sehr rasch ansteigen würde. Um einen genügend großen Meßbereich zu haben bzw. nicht mit verschiedenen Lamellen arbeiten oder zwecks Vergrößerung des Meßbereiches die Empfindlichkeit der Anordnung unnötig herabsetzen zu müssen, ist es deshalb praktisch, die Strömung durch eine Mikrometerschraube abzudrosseln (die etwa direkt in Windgeschwindigkeiten geeicht ist). Es dient dann die Lamelle bei der Messung der mittleren Windgeschwindigkeit sozusagen als Nullinstrument und die Pulsationen bewirken Elongationen um jeweils dieselbe Ausgangslage; ihre Größe wird an der Okularskala abgelesen und die absolute Größe der entsprechenden Geschwindigkeitsschwankungen ist unmittelbar aus den Elongationen und aus der jeweiligen Stellung der Mikrometerschraube mit Hilfe graphisch gegebener Eichkurven zu entnehmen.



Die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung ergibt sich unmittelbar aus Gl. (6). Ist die im Okularmikrometer noch beobachtbare Verschiebung Δh, so ist nämlich:

$$\frac{\Delta V}{V} = 10^9 \cdot \frac{\delta^3 E}{\lambda^4}\, \frac{1}{16\alpha}\, \frac{\Delta h}{V^4}. \quad (7)$$

Setzen wir für Δh etwa 1/50 mm[1]), so er-

1) Bei richtiger Beleuchtung erscheint die Kante der Lamelle als scharfe leuchtende Linie im Gesichtsfeld.

2) Vgl. etwa Lanchester, Aerodynamik, Bd. I.

1) Es entsprachen bei den Versuchen 28 Skalenteile des Okularmikrometers einer Elongation von 1 mm.

Digitized by Google
Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN

halten wir für die oben angegebene Dimensionierung der Lamelle einen Fehler von nur 4 Proz. bei $V = 2$ m/sec und einen entsprechend kleineren für größere Geschwindigkeiten. Für kleinere Geschwindigkeiten als 2 m/sec sind naturgemäß die prozentuellen Fehler größer (ca. 60 Proz. bei $V = 1$ m/sec) entsprechend der hier gewählten Empfindlichkeit von $h = 0{,}1$ mm bei $V = 2$ m/sec, doch könnte durch Verwendung nur wenig dünnerer Lamellen — die Dicke δ geht in der dritten Potenz ein — ohne jede praktische Schwierigkeit die Genauigkeit noch erheblich gesteigert werden. Zu bemerken ist ferner, daß die Nullage praktisch absolut konstant ist; durch die Verwendung der Drosselschraube wird eine elastische Überbeanspruchung der Lamelle vermieden, so daß elastische Nachwirkungen in beobachtbarer Größe nicht auftreten. Endlich ist noch ein Wort zu sagen über den Einfluß der Temperatur auf das elastische System und auf die Strömung in dem Meßkanal. Sowohl die geometrischen Dimensionen wie der Elastizitätskoeffizient der Lamelle ändern sich nämlich mit der Temperatur; diese Einflüsse sind jedoch hier vollkommen zu vernachlässigen. Man findet nämlich aus Gl. (6) durch Differentiation nach der Temperatur bei konstantem V und nach Gl. (7) für den Einfluß jener den prozentuellen Fehler zu

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda} - \frac{\Delta E}{E}\right), \qquad (8)$$

und dieser ist selbst für die praktisch schon extrem große Schwankung von -30^0 auf $+30^0$ nur etwa 1 Proz.[1]), also durchaus zu vernachlässigen. Das Instrument zeigt also auch in diesem Punkt — und zwar ohne eine, z. B. bei Membranmanometern notwendige besondere Temperaturkompensation — sehr befriedigende Eigenschaften.

Störender wird dagegen der zweite oben genannte Temperatureinfluß wirken, da er sich vorläufig nur durch eine rein empirirische Reduktion der Beobachtungen mit Hilfe von Eichkurven eliminieren läßt, die bei verschiedenen Temperaturen aufgenommen sind. Es ist das der Einfluß auf den Koeffizienten η der inneren Reibung und damit auf die Strömungsgeschwindigkeit v im Lamellenrohr. Zur Abschätzung des so entstehenden Fehlers entnehmen wir aus den Gl. (2), (4) und (5), daß cet. par.

$$h \sim 1/\eta^2.$$

Rechnen wir nach der Sutherlandschen Formel für η in Abhängigkeit von der Temperatur, so finden wir die folgenden Werte

t	-30^0	-10^0	0^0	$+10^0$	$+30^0$
h_0/h_t	1,20	1,07	1,00	0,93	0,85

Wesentlich gemildert wird allerdings die Bedeutung dieses Fehlers durch den Umstand, daß für wissenschaftliche Zwecke in erster Linie das Verhältnis der Geschwindigkeitsamplitude zur mittleren Geschwindigkeit interessiert, bei dessen Bildung dieser Fehler herausfällt.

Die Eigenfrequenz des Grundtones der Lamelle endlich ergibt sich nach bekannten Formeln zu

$$N = \frac{1}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{\delta}{\lambda^2} \frac{m^2}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{s}}, \qquad (9)$$

woraus mit $m = 1{,}87$, $E = 2 \cdot 10^{12}$, $s = 2{,}5$ und den oben benutzten Größenverhältnissen $\lambda = 2$ und $\delta = 10^{-3}$ (cm!) der Wert von rund 30 folgt, der also der eingangs aufgestellten Forderung genügt. In Strenge wäre natürlich das System (Lamelle + Luftsäule im Rohr) zu betrachten; da bei den hier in Betracht kommenden Rohrlängen die Frequenz des Grundtones dieser Luftsäule jedoch weit oberhalb der Frequenz der Lamelle liegt, kann man hier wohl auf die sehr komplizierte Theorie des Gesamtsystems verzichten. Die Dämpfung der Lamelle hat sich durch besondere Versuche (Anreißen mit einer feinen Glasspitze unter dem Mikroskop) als hinreichend stark ergeben, nämlich als nahezu aperiodisch. Inwieweit die Dämpfung des Gesamtsystems mit hereinspielt, sollen weitere Versuche ergeben; die bisherigen Erfahrungen scheinen aber zu zeigen, daß Störungen von dieser Seite nicht in Betracht kommen.

In praxi wird man das Instrument natürlich empirisch eichen müssen. Derartige Eichkurven, erhalten in einem künstlichen Windstrom (vgl. oben), dessen Geschwindigkeit mit einem Prandtlschen Staugerät und Toluol-Mikromanometer festgelegt wurde, sind für einen Modellapparat in der umstehenden Figur reproduziert und dürften den typischen Verlauf derselben generell wiedergeben. Sie dienen zur graphischen Konstruktion der für den praktischen Gebrauch bestimmten Eichkurven, welche die mittlere Windgeschwindigkeit und die „Böigkeit des Windes“ (maximale Amplitude) unmittelbar zu entnehmen gestatten aus der Ablesung am Okularmikrometer und der Stellung der Drosselschraube.

Das Modellinstrument, welches nach diesen soeben auseinandergesetzten Prinzipien durchkonstruiert wurde, ist auf Tafel XIV in Totalansicht und im Konstruktionsschnitt wiedergegeben, die im wesentlichen wohl ohne weiteres

1) Über einen anderen Einfluß von Temperatur und Barometerstand auf die Angaben jedes hydrodynamischen Windmessers vgl. die zitierte Arbeit von Bräuer und Seeliger.

Digitized by Google Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN

verständlich sein werden. Die Herstellung hat die Firma C. P. Goerz in Berlin-Friedenau übernommen, welche auch den patentrechtlichen Schutz des neuen Meßprinzips erhalten hat. Über eingehende Versuche werde ich demnächst a. a. O. berichten, da an dieser Stelle wohl nur die mitgeteilten physikalischen Grundlagen interessieren dürften.

Greifswald, Mai 1919.

(Eingegangen 19. Mai 1919.)

BESPRECHUNGEN.

E. Lasker, Die Philosophie des Unvollendbar. gr. 8°. XII u. 626 S. m. 3 Abbildungen. Berlin u. Leipzig, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger. 1919. M. 24.—, geb. M. 28.— und Teuerungszuschlag.

Der Inhalt dieses sehr gedankenreichen Buches ist die Darlegung einer Entwickelungs-Philosophie, welche alle Gebiete des Denkens, Wertens und Handelns von den Grundtatsachen des Lebens aus begreifen will.

Den Prozeß des Fortschreitens der Wissenschaft faßt Lasker unter dem Gesichtspunkt der vitalen Anpassung auf, ohne doch dabei in die Fehler des Pragmatismus zu verfallen. Die allgemeinsten leitenden Maximen der wissenschaftlichen Forschung fallen für ihn zusammen mit denjenigen methodischen Prinzipien, welche alles Handeln überhaupt betreffen, den Prinzipien eines vollkommen geführten („macheidischen") Kampfes, die in einer allgemeinen Theorie des Kampfes auseinandergesetzt werden.

Der Gedanke, welcher im Titel des Werkes angedeutet ist, besteht in einer Anwendung der Paradoxien der Mengenlehre zur Widerlegung der streng physikalischen Weltauffassung, d. h. des mathematisch gefaßten Materialismus. Soweit sich Laskers mengentheoretische Argumentation gegen diese Ansicht wendet, wird man sie als bündig anerkennen müssen. Hingegen ist bei den weiteren Folgerungen, die Lasker an seinen Beweis knüpft (er geht bis zur vollständigen Leugnung des Determinismus), die Begründung verschiedentlich nicht zwingend.

Die Methodenfragen der Physik werden in dem Kapitel über das „Problem der Ursächlichkeit" behandelt. Hier vertritt Lasker den Standpunkt der strengen Kontinuums- und Nahewirkungstheorie. Dabei bemerkt er freilich nicht, daß die Newtonsche Theorie der Gravitation den Forderungen der Nahewirkungstheorie widerstreitet; die Beachtung dieses Umstandes hätte ihn wohl veranlaßt, sich weniger ablehnend gegen die Relativitätstheorie zu verhalten, zumal da seine Auffassung von physikalischem Zustand und von Kausalität mit der Relativitätstheorie durchaus vereinbar ist.

Laskers methodische Ausführungen über die Physik enthalten viele treffende Bemerkungen, allerdings auch einiges Anfechtbare. So wird bei der Erörterung des Kraftbegriffs die Newtonsche Kraft fälschlich als bestimmend für die Geschwindigkeit, anstatt für die Beschleunigung, erklärt und somit das wesentliche des Galileischen Trägheitsprinzips übersehen.

Von der Begründung, die Lasker für das Prinzip der Stetigkeit gibt, dürfte der Anhänger der Atomistik nicht überzeugt werden; sie beruht letzten Endes auf einer petitio principii. Überdies wird der Logiker inbetreff des mathematischen Kontinuums an Lasker die Frage richten, worauf er denn die Behauptung gründe, daß das Kontinuum als der „Inbegriff aller durch den Grenzbegriff zu erzeugenden Zahlen" eine „vollendbare" Menge ist. Dies bedürfte gerade bei Laskers Standpunkt eines genauen Nachweises, der freilich, wenn er in strenger Form gelänge, nichts Geringeres bedeuten würde als die Lösung des Hauptproblems in der logischen Grundlegung der mathematischen Analysis.

In den Abschnitten über die Methode und die Gesetze der Psychologie findet sich manches für den Physiker sehr Interessante, indem hier u. a. von der Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitstheorie gehandelt wird. —

Die Bedeutung des Laskerschen Werkes liegt vor allem in den großzügigen systematischen Gedanken, durch welche die philosophischen Grundprobleme der Physik, der Psychologie und der Ethik, neuartig beleuchtet werden, und in der Weltanschauung, die hier ihren gedanklichen Ausdruck findet.

Zugleich ist das Buch dadurch sehr wertvoll, daß es dem Leser, von dem keinerlei besondere philosophische oder fachwissenschaftliche Vorkenntnisse gefordert werden, eine reiche Auswahl an Gedanken früherer und zeitgenössischer Philosophen sowie an Begriffsbildungen und Theorien aus der Mathematik und Physik in schöner Darstellungsweise zur Kenntnis bringt.

P. Bernays.

Tagesereignisse.

Technischer Literatur-Kalender 1919. Anfang 1920 soll im Verlage R. Oldenbourg, München und Berlin, die 2 Ausgabe des Technischen Literatur-Kalenders erscheinen. Sie soll im Anhang eine Übersicht enthalten, die die Namen der auf einem umgrenzten technischen Gebiete, und zwar nicht nur in Buchform, sondern auch durch Mitarbeit an Zeitschriften tätigen technischen Schriftsteller des deutschen Sprachgebietes gemäß ihren eigenen Angaben zusammenstellen soll. Die bereits in der ersten Ausgabe verzeichneten Autoren erhalten die Fragebogen zur Ergänzung unaufgefordert zugesandt. Fehlende technische Schriftsteller wollen sich im Interesse der Vollständigkeit des Werkes mit der Schriftleitung, Oberbibliothekar Dr. Otto, Berlin W 57, Bülowstr. 74, in Verbindung setzen.

Personalien.

(Der Herausgeber bittet die Herren Fachgenossen, der Schriftleitung von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Technischen Hochschule Dr. K. G. Jonas für Chemie, an der Universität Frankfurt a. M. Dr. Walter Georgii für Meteorologie, an der Technischen Hochschule Wien Dr. Kurt Stockert für Nahrungsmittelchemie.

Ernannt: Frau Marie Curie, Professor der Physik an der Sorbonne in Paris zum ord. Professor der Radio-

Digitized by Google
Original from UNIVERSITY OF MICHIGAN