**9. Über die Druckkräfte der Schallwellen
und die absolute Messung der Schallintensität;
von W. Altberg.**

Dvořák hat in seinen bekannten akustischen Experimentaluntersuchungen ¹⁾ den Nachweis geführt, daß im Knoten einer stehenden Schallwelle ein konstanter Überdruck herrscht, und daß eine Schallwelle, welche sich in einem Rohre fortpflanzt und durch eine Querwand reflektiert wird, auf die reflektierende Wand einen Druck ausübt. In seiner Arbeit führt Dvořák (l. c. p. 58) die Überlegung von Mach an, welche das Auftreten der Druckkräfte von Schallwellen mechanisch begründet.

In neuester Zeit hat Lord Rayleigh ²⁾ das Auftreten von Druckkräften bei verschiedenen Formen oszillatorischer Bewegungen eingehend behandelt. Für eine ebene Schallwelle, welche auf eine ebene, vollkommen reflektierende Wand auffällt ist, nach Lord Rayleigh (l. c. p. 342) die Größe des auftretenden Druckes p bestimmt, wenn die pro Sekunde auffallende Energiemenge E und die Schallgeschwindigkeit V gegeben sind; es ist

$$p = \frac{2 E}{V}$$

eine Beziehung, welche sich mit der von Maxwell und Bartoli für Druckkräfte des Lichtes gefundenen deckt.

Auf Veranlassung des Hrn. Prof. P. Lebedew habe ich es unternommen eine Vorrichtung auszuarbeiten, welche gestattet die Druckkräfte, welche frei sich ausbreitende Schallwellen auf eine reflektierende Wand ausüben, zu messen und hieraus die Intensität der auffallenden Schallwellen im absoluten Maße zu bestimmen.

1) V. Dvořák, Pogg. Ann. 157. p. 42. 1876.

2) Lord Rayleigh, Phil. Mag. (6) 3. p. 338. 1902.

Es sind bisher zwei Methoden für die absolute Messung der Schallintensität vorgeschlagen worden: die refraktometrische von Boltzmann, welche von Toepler und Boltzmann¹⁾ ausgeführt und von Raps²⁾ weiter ausgearbeitet wurde, und die manometrische von M. Wien³⁾; beide Methoden führen auf absolute Messungen der Amplituden zurück und sind ohne weiteres nur auf harmonische Schwingungen anwendbar, während die Methode der Druckmessungen auf beliebige Komplexe von Schallschwingungen anwendbar ist.

I. Die Apparate und die Versuchsanordnung.

1. *Der Druckmesser* hatte die folgende Einrichtung: die die Schallwellen reflektierende Zinkwand WW (Fig. 1) hatte eine kreisförmige, mit einem Stutzen TT versehene Öffnung, in welche nach Belieben die Ringe R_1 bis R_6 fest eingesetzt werden konnten.

Fig. 1.

Die kreisförmige Öffnung des Ringes wurde durch einen aus Palmenholz gedrehten Stempel P (Durchmesser 21 mm, Länge 16,5 mm), der an einer Drehwaage angehängt war, unter Freilassung eines ringförmigen Schlitzes verschlossen; die auf den Stempel ausgeübten Druckkräfte wurden durch die Ablenkungen der Drehwaage gemessen.

Die freie Beweglichkeit des Stempels wurde nicht beeinträchtigt, wenn die Schlitzweite nicht unter 0,5 mm und seine Länge nicht über 15 mm genommen wurden. Um den Einfluß dieses Schlitzes auf die absolute Größe der zu messenden Druckkräfte zu untersuchen, wurden Beobachtungen mit verschiedenen Schlitzbreiten bez. Schlitzlängen gemacht, was sich durch Auswechselung der Ringe R_1 R_2 etc. leicht bewerkstelligen ließ; die angewandten sechs Ringe hatten die folgenden Dimensionen:

-
- 1) M. Toepler u. L. Boltzmann, Pogg. Ann. 141. p. 321. 1870.
 - 2) A. Raps, Wied. Ann. 50. p. 193. 1893.
 - 3) M. Wien, Wied. Ann. 36. p. 834. 1889.

	Länge	Innerer Durchmesser	Schlitzbreite
I	15 mm	22 mm	0,5 mm
II	15	23	1,0
III	15	25	2,0
IV	10	22	0,5
V	5	22	0,5
VI	1	22	0,5

Der Wagebalken der Drehwaage (Fig. 2) bestand aus einem Messingrahmen RR , welcher von einem Stahldraht T (Länge 30 cm, Durchmesser 0,23 mm) getragen wurde; an dem oberen Teile des Rahmens waren der Druckstempel P und ein entsprechendes Gegengewicht Q befestigt; bei dieser Anordnung konnte der Abstand L des Mittelpunktes von P von der Torsionsachse T in bequemer Weise gemessen werden.

Im Innern des Rahmens war eine Schaufel D befestigt, welche in ein mit *Glyzerin* gefülltes Gefäß G tauchte und die Schwingungen des Wagebalkens genügend dämpfte¹⁾; der Torsionsdraht T und das Glyzeringefäß G waren an demselben Stativ befestigt. Um die Vertikalstellung des Rahmens zu sichern, war dieser durch einen vertikalen Messingstab V , an welchem sich der Spiegel S befand, belastet.

Fig. 2.

Die reflektierende Wand bestand aus Zinkblech (Dicke 1,3 mm) und hatte eine konkave Form, da die auffallenden Wellen keine ebenen waren und von einer Schallquelle (dem Ende eines Kundtschen Rohres) ausgingen, welche sich in 50 cm Entfernung von dieser Wand befand; die Zinkwand

1) Bei der Anordnung der dämpfenden Schaufel D im Innern des Rahmens RR fallen die seitlichen Schwingungen fort, welche entstehen, wenn die Schaufel am unteren Ende des Stabes V sich befindet; vgl. P. Lebedew, Wied. Ann. 62. p. 163. 1897.

(Fig. 3) bestand aus einem ebenen mittleren Teile (Durchmesser 10 cm), in welchem sich die Öffnung für den Druckstempel P befand, und einem konischen Ansatz, welcher eine eingeschriebene Kugeloberfläche vom Halbmesser 50 cm berührte; der äußere Durchmesser des Ansatzes ($D = 30$ cm) war größer als die doppelte Wellenlänge der auffallenden Schallbewegung. Die reflektierende Wand hatte ein von der Torsionswaage unabhängiges Gestell, welches mit Stellschrauben

Fig. 3.

versehen war; die Wand konnte deshalb leicht so eingestellt werden, daß der Druckstempel sich frei in dem Ringe bewegte, der kreisförmige Schlitz überall dieselbe Breite hatte und die Vorderfläche des Stempels in der Ebene der Wand lag.

Um störende Wirkungen von Luftströmungen zu vermeiden, wurde der ganze Druckapparat in einem Zylinder aus Drahtgaze auf-

gestellt, der von außen mit einer Watteschicht bekleidet wurde.¹⁾ In der der Schallquelle zugekehrten Seite hatte der Drahtzylinder eine kreisförmige Öffnung ($D = 30$ cm), welche mit dünnem Musselin überspannt war; diese bietet den Schallwellen keinen merklichen Widerstand, hält aber die Luftströmungen in genügender Weise ab. Durch zwei kleine Glasfenster konnte die Spiegelablesung gemacht werden.

Die absolute Größe der Richtkraft des Torsionsdrahtes wurde in üblicher Weise aus Schwingungsbeobachtungen bestimmt; hierbei wurde sowohl die Zinkwand als auch das

1) Vgl. P. Lebedew, l. c. p. 163.

dämpfende Glyzeringefäß entfernt. Bei diesen Messungen wurden auf den oberen Rand des Rahmens der Drehwage Messingstäbe gelegt, welche in der Mitte mit Einschnitten für den Torsionsdraht versehen waren (Fig. 4). Aus

Fig. 4.

der Masse m und der Länge l wurde das Trägheitsmoment k dieser Stäbe berechnet ¹⁾ aus der bekannten Beziehung:

$$k = \frac{m l^2}{12}.$$

Für die beiden angewandten Messingzylinder ergaben die Messungen:

	I	II
m	33,9 g	51,7 g
l	12,3 cm	18,7 cm
k	427 G.C. ²	1507 G.C. ²

2. Als Schallquelle diente ein Kundtsches Rohr, welches nach dem Vorgange von R. König ²⁾ durch eine ununterbrochen rotierende Reibvorrichtung erregt wird. Die Methode, welcher sich R. König bediente, um das Ende des Kundtschen Rohres an die erregende Walze zu pressen, gestattete es nicht größere pressende Kräfte anzuwenden und entsprechend intensive Erregungen zu erhalten; deshalb wurde der Königsche Apparat in folgender Weise abgeändert: das Ende des horizontal eingeklemmten Kundtschen Rohres K wurde an die rotierende Walze R (Fig. 5) mittels zweier Hanfschnüre H gepreßt, welche ihrerseits zwischen zwei Holzblöcke MM gespannt waren; diese Vorrichtung gestattete es das Ende des Glasrohres mit einer Kraft von 50 kg anzupressen, ohne seine Schwingungen in der Längsrichtung des Rohres zu beeinträchtigen. Die Belastung konnte in folgender Weise nach Belieben geändert werden: das Brett mit den Holzklötzen MM war durch ein Gelenk A mit dem Gestell verbunden und trug an dem anderen Ende eine Stütze B , auf welcher der Hebel F lag; vom Beobachtungsplatze aus konnte durch die Laufschnur

1) Vgl. F. Kohlrausch, Praktische Physik § 29. 1901.

2) R. König, Wied. Ann. 12. p. 350. 1881.

SS das eine Hebelende gehoben werden, wodurch das Federdynamometer D gespannt wurde und einen entsprechenden Druck auf B ausübte; die federnde Kraft des Dynamometers dämpft die Stöße, welche das Rohrende durch unvermeidliche

Fig. 5.

Fig. 6.

Unebenheiten des Reibzeuges R erleidet. Das Gestell der Achse Q ist auf einem Steinpfeiler montiert und die Achse Q wird durch einen $0,4 = \text{HP}$ Drehstrommotor ¹⁾ angetrieben.

1) Ein $0,2 = \text{HP}$ Drehstrommotor erwies sich als zu schwach.

Durch passende Wahl der Riemenscheiben konnte die Zahl der Umdrehungen von 1 bis 9 pro Sek. gemacht werden, was einer Peripheriegeschwindigkeit des Reibzeuges von 0,4—3,4 m pro Sek. entsprach.

Das Reibzeug bestand aus einer Scheibe von Palmenholz (Durchmesser 10 cm, Breite 6 cm); über zwei Gummiringe G G (Fig. 6) wurden mehrere Lagen Tuch gelegt, welche durch die Messingringe F_1 F_1 und F_2 F_2 befestigt wurden; auf das Tuch wurde dann ein Streifen aus rohem, chinesischem Seidengewebe genäht¹⁾; während des Betriebes war das Reibzeug ununterbrochen mit einer wässrigen Alkohollösung²⁾ (20—25 proz.) benetzt, indem die Lösung aus dem Gefäße P durch ein gabelförmiges Glasrohr zugeführt wurde.

Das eine Ende des Kundtsches Rohres K wurde zu einer Kugel ($d = 5$ cm) ausgeblasen, da aufgekittete Korkscheiben auf die Dauer die starken Schwingungen nicht aushalten konnten; das andere Ende war glatt geschliffen. Die Länge des Rohres war 76 cm, sein äußerer Durchmesser 2,5 cm.

Fig. 7.

Die Wellenlänge wurde in üblicher Weise durch Staubfiguren bestimmt und ergab sich $\lambda = 10$ cm.

3. *M. Wiens Manometer*³⁾ wurde als Indikator verwendet, um in bequemer Weise die Stärke der Erregung des Kundtschen Rohres zu überwachen bez. einzelne Beobachtungen auf eine bestimmte Erregung reduzieren zu können. Als Manometerkapsel wurde die Kapsel eines Phonographen verwendet

1) Um das Tuch und die Seide von Fett zu befreien, wurden sie sorgfältig mit Äthyläther ausgelaut; der Seidenüberzug hat sich als wesentlich dauerhafter erwiesen wie Tuch, Flanell oder Leder.

2) Vgl. P. Lebedew, l. c. p. 162. Anmerkung.

3) M. Wien, l. c. p. 836.

(Fig. 8); ein passend gebogener Papierstreifen trug einen sehr kleinen ebenen Spiegel S und wurde mit seinen Enden an einen unbeweglichen Querleisten m und an die Glasmembran gekittet. Die Kapsel war mit einem Stück Kautschukrohr B

Fig. 8.

($l = 20$ cm) versehen, dessen freies Ende in beliebiger Entfernung von der Kugel des Kundtsches Rohres befestigt werden konnte und hierdurch die Möglichkeit gegeben wurde, ohne die Aufstellung des Manometers zu ändern, seine Ausschläge für jede Erregung des Rohres hinreichend groß zu machen.

Fig. 9.

An Stelle eines beleuchteten Spaltes wurde der Faden einer Glühlampe genommen ¹⁾ und die Verbreiterung seines Bildes mit dem Okularmikrometer des Beobachtungsfernrohres gemessen.

4. Die Aufstellung der Apparate wurde so gewählt (Fig. 9, Grundriß), daß der Beobachter von seinem Platze aus durch

1) Vgl. P. Leiberg, Journ. d. russ. phys. chem. Ges. 28. p. 93. 1896.

zwei Fernrohre F_1 und F_2 abwechselnd die Stellung des Druckapparates D und die des Wienschen Manometers M beobachten, sowie die Belastung des Schallapparates beliebig einstellen und am Dynamometer ablesen konnte.

Die Intensität der erregten Schallschwingungen war bei diesen Versuchen so groß, daß man dieselbe auf die Dauer nur ertragen kann, wenn man sich die Ohren mit passend ausgeblasenen Glaskugeln verstopft.

II. Die Versuche.

Die angestellte Untersuchung bezog sich auf das Studium der Eigenschaften der Schallquelle, auf das Verhältnis der Angaben des kontrollierenden Wienschen Manometers zu denen des Druckapparates, auf die Abhängigkeit der Messungen mit dem Druckapparate von den Schlitzdimensionen, und schließlich auf die absolute Messung der Schallintensität in einem speziellen Falle; die letztgenannten Messungen gestatten es, für den gegebenen Fall die Größenordnung der Arbeit zu berechnen, welche von der Schallquelle in Form von Schallschwingungen ausgestrahlt wird.

A. Die Eigenschaften der Schallquelle.

Das durch einen Motor erregte Kundtsche Rohr besitzt als Schallquelle folgende Vorzüge: Die Wellenlänge der Schwingung ist klein, die Erregung ist konstant, sie kann ununterbrochen beliebig lange dauern und die Schallintensität kann durch passende Wahl der Belastung in weiten Grenzen verändert werden.

Um die Abhängigkeit der Schallintensität sowohl von der Rotationsgeschwindigkeit des erregenden Reibzeuges als auch von der Belastung des Rohres zu untersuchen, wurden die Versuche in folgender Weise gemacht: Bei einer bestimmten konstanten Rotationsgeschwindigkeit wurde die Belastung des Rohres von 0 kg beginnend stufenweise vergrößert und die zugehörigen Ablenkungen des Druckapparates notiert.

Es ergab sich, daß für Belastungen, welche unter einem gewissen Minimalbetrage liegen, überhaupt keine Erregung des Kundtschen Rohres zu erhalten ist, daß bei einer gewissen Belastung die Erregung einsetzt und die Schallintensität rasch

mit der Belastung wächst; bei sehr großen Belastungen wird die Erregung unregelmäßig, weil dann der Seidenüberzug des Reibzeuges zu leiden beginnt.

Mit der Vergrößerung der Rotationsgeschwindigkeit des Reibzeuges steigert sich die Schallintensität bei gleichbleibender Belastung; bei Vergrößerung der Rotationsgeschwindigkeiten steigen sowohl die Minimalwerte als auch die Maximalwerte der Belastung, bei welchen das Rohr noch erregt wird.

Für die folgenden linearen Geschwindigkeiten V (Meter pro Sekunde) des Reibzeuges ergaben sich die Minimal- bez. Maximalbelastungen (in Kilogramm):

Versuchsreihe	I	II	III	IV
Geschwindigkeit V (Meter pro Sekunde)	1,1	1,9	2,7	3,4
Minimale Belastung (Kilogramm) . . .	2	6	16	25
Maximale Belastung (Kilogramm) . . .	20	25	30	40

In Fig. 10 sind die Resultate der Versuchsreihen I—IV dargestellt; als Abszissen sind die Belastungen (in Kilogramm), als Ordinaten die zugehörigen Ablenkungen des Druckapparates (in Skalenteilen) aufgetragen.

Fig. 10.

Die Intensität der Erregung des Rohres, sowie auch die Größen seiner Minimal- bez. Maximalbelastung hängen von der Benetzung des Reibzeuges und von der Konzentration der wässerigen Alkohollösung ab; mit wachsendem Alkoholgehalt nimmt die Erregung zu.

Die erzielte Schallintensität war sehr groß; die Ablenkungen des Druckapparates konnten bis ca. 80 Skt. gesteigert werden, während bei der stärksten Erregung mit der Hand (in der üblichen Weise) diese Ablenkung nur 1,5 Skt. erreichte, die Schallintensität war demnach bei mechanischer Erregung ca. fünfzigmal größer.

B. Das Wiensche Manometer.

Um bei den weiter folgenden Untersuchungen über den Einfluß der Schlitzweite auf die Angaben des Druckapparates die einzelnen Beobachtungen mit Hilfe des Wienschen Manometers auf eine bestimmte Schallintensität zu reduzieren, war es erforderlich, das Verhältnis der Angaben des Wienschen Manometers zu denen des Druckapparates für ein größeres Intervall zu untersuchen.

Tab. I stellt die gleichzeitigen Beobachtungen der beiden Apparate für verschiedene Belastungen (von 18 bis 2 kg) des Schallrohres dar; das Verhältnis der Ablenkungen p des Druckapparates zum *Quadrate* der Manometerausschläge a soll, laut Voraussetzung, konstant sein. Um dieses Verhältnis übersichtlicher darzustellen, ist es durch eine passend gewählte Zahl (0,0047) dividiert.

Tabelle I.

p Druckapparat	a Manometer	a^2	$\frac{p}{a^2}$	$\frac{1}{0,0047} \frac{p}{a^2}$
40	88	7744	0,0052	1,09
34	84	7056	48	1,02
30	81	6561	46	0,97
28	79	6241	45	0,95
25	72	5184	48	1,02
23	69	4761	48	1,02
22	67	4489	49	1,04
20	65	4225	47	1,00
13	53	2809	46	0,98
12	49	2401	50	1,06
11	48	2304	48	1,01
10	46	2116	47	1,00
8	40	1600	50	1,06
6	34	1156	52	1,10
5	34	1156	43	0,91
2	20	400	50	1,06
1,5	17	289	52	1,10

Aus der Tab. I ist ersichtlich, daß das Verhältnis $p:a^2$ innerhalb weiter Grenzen als konstant anzusehen ist; insbesondere gilt das für die Reduktionen, welche innerhalb kleiner

Intensitätsschwankungen, wie solche bei konstanter Belastung auftreten können, gemacht werden.

Die verhältnismäßig großen Schwankungen der aufeinander folgenden Werte der Tab. I erklären sich dadurch, daß das Reibzeug immer kleine exzentrische Ausbauchungen besitzt, weshalb die Schallintensität während einer Umdrehung der Achse etwas variiert; diese Variationen spiegeln sich in den Angaben des Manometers wider, indem die Ränder des verbreiteten Glühfadenbildes unscharf begrenzt erscheinen und hierdurch die Ablesungen unsicher werden. Die Größe dieser Variationen hängt ihrerseits in verwickelter Weise von der Belastung ab.

C. Die Wirkung der Schlitzweite.

Der Einfluß der Schlitzweite wurde untersucht, indem die Ringe R_1 bis R_6 (vgl. Fig. 1) in die Öffnung der reflektierenden Wand eingesetzt wurden und die entsprechenden Ablenkungen des Druckapparates abgelesen. Tab. II gibt ein Beobachtungsprotokoll wieder, in welchem die Ablenkungen p (in Skalenteilen) des Druckapparates auf einen konstanten Ausschlag a_0 des Wienschen Manometers ($a_0 = 67$ Teilstriche des Okularmikrometers) reduziert sind; die zufälligen Abweichungen vom Mittelwerte sind unter δ angeführt. Vor jeder Beobachtung wurde die Schallerregung durch Entlasten des Schallrohres unterbrochen und die Nulllage des Druckapparates notiert; diese Nulllage schwankte innerhalb eines Skalenteiles.

Tabelle II.

a beob.	p ber.	p_0 ber. ($a_0 = 67$)	δ
69	44	41,5	0,8
66	40	41,2	0,5
66	38	39,3	1,4
65	38	40,4	0,3
67	44	44,0	3,3
63	34	38,5	1,8
68	41	39,8	0,9

Mittelwert = $40,7 \pm 1,8$

Bei sämtlichen Beobachtungen dienten die Messungen mit dem Ringe R_1 als Vergleichsmessung; die erste Serie (Tab. III) umfaßt den Einfluß der Schlitzweite (bei konstanter Länge), die zweite Serie (Tab. IV) die der Schlitzlänge (bei konstanter Weite). Im folgenden sind je zwei unabhängige Beobachtungsreihen angeführt und die Resultate auf die Messungen mit R_1 reduziert.

Tabelle III.

Schlitzlänge = 15 mm.

Ring	Schlitzweite mm	I. Reihe		II. Reihe	
		p_1 Skt.	reduz.	p_2 Skt.	reduz.
R_1	0,5	$31,1 \pm 1,6$	1,00	$40,4 \pm 1,3$	1,00
R_2	1,0	$28,9 \pm 1,8$	0,93	$36,9 \pm 1,2$	0,91
R_3	2,0	$26,5 \pm 0,9$	0,85	$35,9 \pm 1,1$	0,89

Tabelle IV.

Schlitzweite = 0,5 mm.

Ring	Schlitzlänge mm	I. Reihe		II. Reihe	
		p_1 Skt.	reduz.	p_2 Skt.	reduz.
R_1	15	$40,7 \pm 1,3$	1,00	$37,7 \pm 1,1$	1,00
R_4	10	$36,1 \pm 0,9$	0,89	$29,6 \pm 1,0$	0,91
R_5	5	$29,9 \pm 1,9$	0,74	$24,0 \pm 1,1$	0,73
R_6	1	$16,1 \pm 0,7$	0,40	$11,6 \pm 1,9$	0,35

Die angeführten Zahlen berechtigen zu der Annahme, daß für die kleinste Schlitzweite von 0,5 mm und die größte Schlitzlänge von 15 mm (Ring R_1) die Angaben des Druckapparates nur wenig (wohl unter 10 Proz.) durch die Anwesenheit des Schlitzes verringert werden.

D. Absolute Messungen der Schallintensität.

Die absolute Messung des Druckes der Schallwellen mit dem Druckapparat setzt sich zusammen aus den Messungen:

- a) der Direktionskraft des Aufhängefadens in absolutem Maße;
- b) des Hebelarmes der Torsionswage in Zentimeter;
- c) der Fläche des Stempels in Quadratzentimeter;
- d) des beobachteten Ablenkungswinkels.

a) Die Messung der Direktionskraft D geschah in bekannter Weise durch Bestimmung der Dauer t einer einfachen Schwingung und durch die des Trägheitsmomentes K des Systems:

$$D = \pi^2 \frac{K}{t^2}.$$

Bezeichnen wir durch t die Dauer einer einfachen Schwingung, wenn der Rahmen R (Fig. 2), dessen Trägheitsmoment X ist, allein schwingt, und durch t_1 seine Schwingungsdauer, wenn er mit einem Zylinder (Fig. 4) von bekanntem Trägheitsmoment K_1 belastet ist, so ist

$$\frac{t^2}{t_1^2} = \frac{X}{X + K_1}.$$

Hieraus folgt

$$D = \pi^2 \frac{K_1}{t_1^2 - t^2}.$$

Während der Messung der Schwingungsdauer wurde sowohl der Dämpfer mit Glyzerin (G , Fig. 2) als auch die reflektierende Wand W (Fig. 3) entfernt; es wurden je zehn Doppelschwingungen beobachtet und hieraus konnte die Periode leicht auf 0,1 Sek. genau ermittelt werden. Als Körper, deren Trägheitsmomente bekannt sind, dienten zwei Messingstäbe (Fig. 4), deren Momente $K_1 = 427 \text{ g cm}^2$ bez. $K_2 = 1507 \text{ g cm}^2$ waren. Die Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	t	D
Rahmen R (Fig. 2) allein . . .	4,1 Sek.	—
Rahmen $R + K_1$ (427 g cm ²) . .	5,2	412
Rahmen $R + K_2$ (1507 g cm ²) . .	7,25	416

Als Mittelwert bekommen wir für die Größe der Direktionskraft D des Torsionsdrahtes, d. h. des Drehmomentes, welches den Draht um den Einheitswinkel (57,3°) tordiert

$$D = 414 \text{ Dynes. cm.}$$

Die Messungen ergaben weiter

b) Die Entfernung L des Mittelpunktes des Stempels von der Torsionsachse (Hebelarm der Torsionswage) $L = 5,0 \text{ cm.}$

c) Den Durchmesser d des Stempels $d = 2,1 \text{ cm.}$; hieraus berechnet sich sein Querschnitt $\sigma = 3,5 \text{ qcm.}$

d) Der Skalenabstand R betrug $R = 2485$ Skt.; in der Entfernung von 50 cm von dem Ende des Kundtschen Rohres riefen die Druckkräfte des Schalles bei intensiver Schallerregung eine Ablenkung von $n = 50$ Skt. hervor.

Hieraus berechnet sich die Größe der Druckkräfte p der Schallwellen in Dynes pro 1 qcm

$$p = \frac{D}{2R} \cdot \frac{n}{L \cdot \sigma} = 0,24 \left(\frac{\text{Dynes}}{\text{qcm}} \right).$$

Auf Millimeter Quecksilber umgerechnet, ergibt sich $p = 0,00018$ mm Hg, oder in Atmosphären ausgedrückt $p = 0,2$ Milliontel Atmosphäre.

Aus dem gemessenen Werte des Druckes p berechnet sich nach Lord Rayleigh die auf 1 cm² der reflektierenden Wand pro Sekunde auffallende Energiemenge E , wenn die Schallgeschwindigkeit (bei 17 ° C.) $v = 34200$ cm gegeben ist. Es ist

$$E = \frac{1}{2} p V = 4100 \left(\frac{\text{Ergs}}{\text{cm}^2 \text{ sec}} \right) = 5,6 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\text{PS}}{\text{cm}^2} \right).$$

Auf Grund dieser Zahlen läßt sich eine Schätzung anstellen über den Betrag der gesamten Energiemenge, welche von dem tönenden Kundtschen Rohr in Form von Schallwellen ausgestrahlt wird. Da es bei dieser Schätzung nur auf die Größenordnung ankommt, können wir die vereinfachende Voraussetzung machen, daß sich die Schallwellen nach allen Richtungen von der Schallquelle mit gleicher Intensität ausbreiten, d. h. daß durch jeden Quadratzentimeter der Kugeloberfläche, welche mit dem Halbmesser $R = 50$ cm um das Ende des Kundtschen Rohres beschrieben ist, die Energiemenge $E = 5,6 \cdot 10^{-7}$ PS wandert. Dann berechnet sich die gesamte ausgestrahlte Energiemenge A von der Größenordnung

$$A = 0,02 \text{ PS.}$$

Bei dieser geringen ausgestrahlten Energiemenge ist die Schallintensität betäubend groß; die Schallquelle gestattet aber durch Vergrößerung der Rotationsgeschwindigkeit und der Belastung die Intensität noch erheblich zu steigern.

Die Resultate dieser Untersuchung lassen sich in folgender Weise zusammenfassen:

Sich frei ausbreitende Schallwellen üben auf reflektierende Wände Druckkräfte aus, welche den Maxwell-Bartolischen Druckkräften des Lichtes vollkommen analog sind; durch Messung dieser Druckkräfte der Schallwellen läßt sich die Schallintensität, wie es Lord Rayleigh angegeben hat, in absolutem Maße bestimmen.

Zum Schlusse sei es mir gestattet Hrn. Prof. P. Lebedew für die Anregung zu dieser Untersuchung, Hrn. Privatdozent N. Kasterin für die wertvolle Unterstützung, und Hrn. Prof. A. Sokolow für die mir zur Verfügung gestellten Hilfsmittel meinen Dank auszusprechen.

Moskau, Physik. Laborat. d. Univ., im August 1902.

(Eingegangen 5. März 1903.)