BnF Gallica

Annalen der Physik (Leipzig)

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

{BnF Gallica

Spindler, Paul (de Chemnitz). Annalen der Physik (Leipzig). 1866.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
reutilisationcommerciale@bnf.fr.

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXXVII.

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

FÜNFTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

SIEBENTER BAND.

NEBST SIEBEN FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1866.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

ANNALEN

DER

PHYSIK

UND

CHEMIE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

HUNDERT SIEBENUNDZWANZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE ZWEIHUNDERTUNDDRITTER.

NEBST SIEBEN FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1866.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Inhalt

des Bandes CXXVII der Annalen der Physik und Chemie.

Erstes Stück.

Seite

I. Optische Experimental-Untersuchungen; von G. Quincke . . . 1
   I. Ueber das Eindringen des total reflectirten Lichts in das dünnere Medium.

II. Ueber die Abhängigkeit des Strahlungsvermögens der Körper von der Natur der umgebenden Mittel; von G. v. Quintus-Icilius 30

III. Ueber Wasserstoff-Entwicklung an der Anode; von W. Beetz 45

IV. Experimental-Untersuchungen über die Volta-elektrische Induction; von H. Buff 57

V. Ueber einige sonderbare Wirkungen der Molecularkräfte bei Flüssigkeiten; von G. van der Mensbrugghe 97

VI. Die Statik der Netzhaut und die pseudoskopischen Erscheinungen; von H. Scheffler 105

VII. Ueber die Wärme des elektrischen Funkens; von A. Paalzow 126

VIII. Ueber die Bestimmung der elektromotorischen Kräfte; von J. L. Hoorweg 140

IX. Ueber die Bestimmung der Brechungs-Exponenten doppeltbrechender Substanzen aus ihren Polarisationswinkeln; von F. Pfaff 150

505.3
A614

647057

Seite

X. Ueber die Verbindungen von phosphorsaurem Natron mit Fluornatrium; von C. Rammelsberg 158

XI. Ueber das Verhalten des Gypses im Wasser bei höheren Temperaturen und die Darstellung von Anhydrit auf nassem Wege; von F. Hoppe-Seyler 161

XII. Ueber den Chrysotil im edlen Serpentin von Reichenstein; von E. Reusch 166

XIII. Ueber einen Gasbrenner zur Intonation grofser Röhren; von Demselben 168

XIV. Die chemische Zusammensetzung des Magneteisens aus dem Pfitschthal; von E. Söchting 172

XV. Nachtrag zu dem Aufsatz: Ueber die Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure und der atmosphärischen Luft bei 100°; von P. Blaserna 174

XVI. Ueber die Ermittelung des Refractionsaequivalentes der Grundstoffe; von A. Schrauf 175

(*Geschlossen am* 29.. *Januar* 1866.)

Zweites Stück.

I. Vergleichende Versuche über die Leistungen der Influenz-Maschine mit und ohne Metall-Belegung; von A. Töpler 177

II. Optische Experimental-Untersuchungen; von G. Quincke (Fortsetzung) 199

II. Ueber die elliptische Polarisation des bei totaler Reflexion eingedrungenen oder zurückgeworfenen Lichts.

III. Ueber die Bespinnung des Kupferdrahts der elektromagnetischen Spiralen; von J. Dub 237

IV. Ueber die Reibung der Gase; von O. E. Meyer 253

Zweite Abhandlung: Ueber die Strömung der Gase durch Capillarröhren.

V. Ueber die niederen Oxyde des Molybdäns; von C. Rammelsberg 281

VI. Ueber die Zusammensetzung der molybdänsauren Salze der Al-

Seite

kalien; von M. Delafontaine. Mit Zusätzen von C. Rammelsberg 293

VII. Ueber natürliches und künstliches Kupferwismutherz; von R. Schneider 302

VIII. Ueber eine neue Elektrisirmaschine; von W. Holtz . . . 320

IX. Zur Frage der Widerstands-Einheit; von W. Siemens . . 327

X. Notiz über die Refractions-Aequivalente und optischen Atomzahlen der Grundstoffe; von A. Schrauf 344

XI. Ein Zwillingskrystall von Manganblende; von Demselben . 348

XII. Ueber den Meteoriten von Sendhadja in Algerien 349

(*Geschlossen am* 1. *März* 1866.)

Drittes Stück.

I. Ueber die Reibung der Gase; von O. E. Meyer 353

Zweite Abhandlung: Ueber die Strömung der Gase durch Capillarröhren (Schluſs)

II. Studie über die Absorption der Wärme- und Lichtstrahlen; von C. Bohn 382

III. Ueber die Einwirkung von Schwefelkohlenstoff, Schwefelwasserstoff und Chlorwasserstoff auf einige Sauerstoffsalze bei erhöhter Temperatur; von W. Müller 404

IV. Ueber eine rein magnetische Wärme-Compensation des Bifilar-Magnetometers; von C. Braun 433

V. Ueber den in der Theorie der Batterie-Entladung angenommenen Widerstand des Schlieſsungsbogens; von K. W. Knochenhauer 443

VI. Ueber die mehrfachen Bilder in ebenen Glasspiegeln; von O. Bermann 450

VII. Zur theoretischen Berechnung der Vergröſserung beim Mikroskop; von Arndt 455

VIII. Ueber eine neue Bestimmung der Quecksilber-Einheit für elektrische Leitungswiderstände, ausgeführt im Laboratorium des Dr. Siemens von R. Sabine 461

IX. Ueber die Bestimmung der Disgregation eines Körpers und die wahre Wärmecapacität; von R. Clausius 477

Seite

X. Bemerkungen zu dem Aufsatz von Paalzow: Ueber die Wärme des elektrischen Funkens; von W. Feddersen 484

XI. Ueber eine neue Verbindung von Schwefelquecksilber und Schwefelkalium; von R. Schneider 488

XII. Ueber die krystallisirte Chromsäure; von C. Rammelsberg . 492

XIII. Zersetzung des Jodbleies durch Licht; von W. Schmid . 493

XIV. Polarisationsprisma von Hartnack und Prazmowsky . . 494

(*Geschlossen am* 3. *April* 1866.)

Viertes Stück.

I. Ueber eine neue Art akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen; von A. Kundt 497

II. Ueber die Bewegung im widerstehenden Medium; von O. Schiek 524

III. Ueber den bei der Schwefelsäure-Erzeugung stattfindenden Vorgang; von Rud. Weber 543

IV. Ueber die Methode der Schlierenbeobachtung als mikroskopisches Hülfsmittel, nebst Bemerkungen zur Theorie der schiefen Beleuchtung; von A. Töpler 556

V. Einiges zur Kenntniſs der chemischen Harmonica; von J. B. Zoch 580

VI. Ueber die Gültigkeit der aequivalenten Längen im einfachen Schlieſsungsbogen der Batterie; von K. W. Knochenhauer . 593

VII. Ueber die Polarisation der ausgestrahlten Wärme und ihren Durchgang durch parallele Platten; von G. Magnus 600

VIII. Ueber den Einfluſs der Absorption der Wärme auf die Bildung des Thaus; von Demselben 612

IX. Beitrag zur Kenntniſs der Zinnselenide; von R. Schneider . 624

X. Commutator von neuer Form; von A. Hörmann 638

XI. Ueber einen neuen Commutator; von Ph. Carl 640

XII. Eine Bemerkung über Meeresströmungen; von C. G. Jungk . 642

XIII. Kleine Versuche über elektrische Erscheinungen; von F. C. Henrici 646

XIV. Zur Berechnung der Mikroskop-Vergröſserung; von F. Place 656

(*Geschlossen am* 1. *Mai* 1866.)

Nachweis zu den Figurentafeln.

Taf. I. — Quincke, Fig. 1, S. 6 u. 213; Fig. 2, S. 17; Fig. 3, S. 26; Fig. 4, 5 u. 6, S. 204; Fig. 7, S. 207; Fig. 8, S. 215; Fig. 9, S. 236; Fig. 10, S. 219. — Beetz, Fig. 11, S. 46. — v. Quintus-Icilius, Fig. 12, S. 31. — Pfaff, Fig. 13, S. 151. — Hoorweg, Fig. 14, S. 148.

Taf. II. — Buff, Fig. 1, S. 59; Fig. 2, S. 75; Fig. 3, S. 78; Fig. 4, S. 79; Fig. 5, S. 82; Fig. 6 u. 7, S. 83; Fig. 8, S. 85; Fig. 9, S. 87; Fig. 10, S. 89; Fig. 11, S. 91. — Scheffler, Fig. 12 u. 13; S. 108; Fig. 14, 15 u. 16, S. 109; Fig. 17, S. 111; Fig. 18, 19, 20, S. 112; Fig. 21, S. 115; Fig. 22, S. 116; Fig. 23 u. 24, S. 117; Fig. 25 u. 26, S. 118; Fig. 27, S. 119; Fig. 28. S. 120.

Taf. III. — Töpler, Fig. 1 u. 2, S. 184; Fig. 3, S. 188; Fig. 4, S. 178. — Bermann, Fig. 5 u. 5*a*, S. 451; Fig. 6 u. 7, S. 453.

Taf. IV. — Holtz, Fig. 1, S. 320; Fig. 2 u. 3, S. 323.

Taf. V. — Kundt, Fig. 1, S. 500; Fig. 2, S. 505; Fig. 3, S. 514; Fig. 4, S. 513; Fig. 5, S. 505; Fig. 6, S. 510; Fig. 7, S. 512.

Taf. VI. — Hörmann, Fig. 1, 2, 3 u. 4, S. 639. — Carl, Fig. 5, 5*a* u. 5*b*, S. 641. — Zoch, Fig. 6, S. 581; Fig. 7, S. 583; Fig. 8, S. 584; Fig. 9, S. 586; Fig. 10, S. 588; Fig. 11 u. 12, S. 589. — Töpler, Fig. 13, S. 557; Fig. 14, S. 559; Fig. 15, 16 u. 17, S. 566; Fig. 18, S. 573; Fig. 19, S. 574.

Taf. VII. — Magnus, S. 616.

Berichtigungen.

Zum Aufsatz von Reishaus, Bd. 125.

S. 641 Z. 17 lies: Ganz besonders aufgefallen ist mir das bei den usw., statt: Ganz besonders aufgefallen ist mir, dafs bei den usw.

Zum Aufsatz von Reishaus, Bd. 126.

S. 182. Anmerk. 1 Z. 5 lies: Da eben der Begriff der Trägheit der Masse, statt: Da eben der Begriff der Masse

Zum Aufsatz von Knochenhauer, Bd. 126.

S. 229 Z. 11 v. o. lies: 16 statt: 15
S. 233 Z. 12 v. u. lies: 60 statt: 6
S. 235 Z. 10 v. o. lies: licht statt: leicht
S. 236 Z. 6 v. o. lies: kürzere statt: längere
S. 239 Z. 4 v. o. in gleichen Drähten zu streichen
S. 239 Z. 4 v. o. lies: 2,21 statt: 2,13
S. 239 Z. 16 v. o. und des Galvanometers einzuschalten
S. 241 Z. 10 v. u. lies: 16,4 statt: 17,4
S. 248 Z. 17 v. o. lies: kamen statt: kommen
S. 249 S. 3 v. o. lies: mir statt: nur
S. 262 S. 7 v. u. lies: Ladung statt: Temperatur

Zum Aufsatz von Söchting, Bd. 127.

S. 172 Z. 7 v. u. lies: octaëdrische statt: cylindrische Magneteisen

Zum Aufsatz von Töpler, Bd. 127.

S. 184 Z. 6 v. u. lies: abgewendeten statt: angewendeten
S. 196 Z. 7 v. o. lies: vollkommenen statt: unvollkommenen

Zum Aufsatz von Schneider, Bd. 127.

S. 308 Z. 13 v. u. und S. 313 Z. 11 v. o. lies: Mittel statt: Nickel

1866. ANNALEN No. 4.
DER PHYSIK UND CHEMIE.
BAND CXXVII.

I. *Ueber eine neue Art akustischer Staubfiguren und über die Anwendung derselben zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern und Gasen; von Dr. August Kundt.*

(Vom Hrn. Prof. Magnus der Akad. d. Wiss. zu Berlin im Auszuge mitgetheilt im Mai 1865.)

Seit der schönen Entdeckung Chladni's durch aufgestreuten Sand oder andere leichte Pulver die Schwingungsformen tönender Körper dem Auge sichtbar zu machen, ist dieſs einfache leichte Verfahren in den Händen verschiedener Physiker zu einem Hülfsmittel geworden, welches zu bedeutenden Aufschlüssen in der Akustik geführt hat. Wenn auch in neuerer Zeit durch andere Methoden, insbesondere durch die optische Untersuchung tönender Körper mittelst Spiegelung und die Schreibmethoden, in den Hintergrund gedrängt, ist jenes ältere Verfahren doch immer noch für das Studium der tönenden Körper von Wichtigkeit und bekanntlich ist ein Theil dessen, was man durch aufgestreuten Sand beobachten kann, theoretisch noch durchaus nicht zu dem erwünschten Abschluſs gekommen.

Bei allen bisher beobachteten Sand- oder sogenannten Klangfiguren auf tönenden Platten, Glocken oder Stäben sind es immer transversale Stöſse des festen tönenden Körpers, die den Sand oder Staub zu den Knotenlinien treiben. Auch die von Savart an longitudinal tönenden Stäben und Röhren entdeckten alternirenden Knotenlinien und Spiralen rühren, wie Seebeck gezeigt hat, von secundären transversalen Bewegungen des Stabes her. Später er-

gab sich freilich, dafs unter Umständen auch ohne dafs transversale Stöfse eines festen tönenden Körpers mitwirkten, durch Luftströmungen auf Platten Staubfiguren entstehen könnten, indem Faraday nachwies, dafs die eigenthümlichen von Savart entdeckten Figuren von Semen Lycopodii, die sich auf tönenden Platten zeigen, von Wirbeln und Luftströmungen herrühren, die von den Stellen der Ruhe zu den Vibrationscentren der Platte gerichtet sind. Diese Figuren sind jedoch nicht im eigentlichen Sinne Klangfiguren, indem sie nicht durch selbsttönende Luft hervorgebracht werden, sondern vielmehr durch continuirliche Luftströme bedingt sind, die durch die tönende Platte erzeugt werden. Staubfiguren durch tönende Luftmassen, also etwa im Innern einer Orgelpfeife, sind bisher nicht beobachtet worden, und ich habe mich selbst oft überzeugt, dafs in offenen oder gedeckten Pfeifen, kurzen oder langen, und selbst in kleinen Pfeifen auf die ein langes Glasrohr aufgesetzt war, die also eine ganze Reihe von Tönen geben, durchaus keine regelmäfsige Bewegung eines eingestreuten leichten Pulvers eintritt. Man kann freilich, wie bekannt, in einer Pfeife durch Sand sehr leicht die Stellen der Ruhe und gröfsten Bewegung der Luft sichtbar machen, wenn man in eine vertical stehende Pfeife eine kleine gespannte Membran auf die etwas Sand gestreut ist, hineinläfst. Wenn aber dann in der Mitte zwischen zwei Knotenpunkten der Sand auf der Membran hüpft, so ist es nicht die Luft direct, durch die dieſs geschieht, sondern die Luft setzt die Membran in Mitschwingung und diese bewegt nun erst durch ihre transversalen Stöfse den Sand.

Wenn nun aber auch unter gewöhnlichen Umständen eine tönende Luftmasse, z. B. die einer Orgel- oder Zungenpfeife, Sand oder Staub nicht zu bewegen, wenigstens nicht regelmäfsig in den Knotenpunkten anzuhäufen vermag, so ist es mir doch gelungen, indem ich eine Luftsäule auf eine eigenthümliche Art in stehende Schwingungen versetzte, durch diese tönende Luftsäule Sand oder Semen Lycopodii

nicht nur zu bewegen, sondern auch den Staub zugleich in einer ganzen Reihe von Luftwellen so regelmäfsig anzuordnen, dafs durch denselben alle einzelnen Wellen und die Bewegungen in ihnen aufgezeichnet werden. Die Sand- oder Staubfiguren — (unter Staub ist im Folgenden immer Semen Lycopodii verstanden, da diefs sich von allen leichten Pulvern am Besten für die Figuren eignet) — die stehende Luftwellen nach der im Folgenden zu beschreibenden Methode hervorbringen können, sind je nach den besonderen Umständen, unter denen sie entstehen, von ziemlich mannigfacher Form, das Grundschema derselben ist jedoch immer dasselbe. Es können im Folgenden nur die Hauptformen und hauptsächlichsten Eigenthümlichkeiten derselben angegeben werden, einen wirklichen Einblick in die mannigfachen kleinen Nüancirungen derselben kann nur die Anschauung gewähren. Die neuen Staubfiguren bieten aber nicht blofs das Interesse dar, zu sehen, dafs eine Luftwelle und wie sie sich in einem leichten Pulver aufzeichnet, dieselben nehmen, abgesehen davon dafs sie noch zur Untersuchung einiger specieller Phänomene dienen können, ein erhöhtes Interesse dadurch in Anspruch, dafs dieselben von einer Regelmäfsigkeit sind, die sie für Messungen zugänglich macht, und da die Länge derselben mit derjenigen der erzeugenden Luftwelle identisch ist, so hat man in ihnen ein Mittel, die Länge dieser Luftwellen zu bestimmen. Da aber an die Stelle der Luft jedes andere Gas oder jeder Dampf gebracht werden kann, so geben diese Staubwellen, wie später gezeigt werden wird, ein sehr einfaches Mittel zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen. Umfassende genaue Anwendungen dieser Methode habe ich bis jetzt noch nicht ausführen können, der Zweck des Folgenden ist hauptsächlich nur, jene Staubfiguren und ihre Hervorbringung zu beschreiben und zu zeigen, in welchem Umfange und mit welcher Genauigkeit dieselben für verschiedene Zwecke benutzt werden können.

In eine etwa 4 Fufs lange Glasröhre, deren Durchmes-

ser etwa $\frac{3}{4}$ Zoll beträgt, schütte man ein Wenig Semen Lycopodii, und vertheile dieſs durch Schütteln so in der Röhre, daſs es überall als Staub an den Wänden der Röhre haftet. Würde man nun die Röhre longitudinal tönen lassen, so würde der Staub sich am Boden der Röhre an bestimmten Stellen sammeln, die den Savart'schen spiralförmigen Knotenlinien angehören. Steckt man aber wenn der Staub in der ganzen Röhre vertheilt ist, in jedes Ende derselben einen gut schlieſsenden Kork und läſst die Röhre tönen, indem dieselbe etwa in einem oder zwei Knotenpunkten eingeklemmt ist, so wird nun der Staub nicht zu jenen Ruhestellen eilen, sondern sich eigenthümlich am Boden der Röhre lagern. Fig. 1 Taf. V giebt ein Bild der entstandenen Staubfigur für einige Zolle der Röhrenlänge. Man erblickt periodische Ausbreitungen des Staubes, *ab*, *bc*, *cd*, ... und zwar sind diese periodischen Anhäufungen von lauter kleinen Rippen und Reifen gebildet, die in kleinen Abständen neben einander liegen. Reibt man alsdann die Röhre noch einmal an, so wird man sehen, daſs der Staub aufwirbelt und wenn der Ton verklingt, sich ebenso wieder niederlegt. Die gröſseren periodischen Anhäufungen haben dabei ihre Form und Lage behalten, die kleinen Rippchen sind zwar nicht absolut dieselben geblieben, aber in ähnlicher Weise wieder vorhanden. Reibt man die Röhre mit einem recht schnellen Zuge und unterbricht diesen Zug plötzlich, indem man die Hand mit dem reibenden Tuch plötzlich auf der Röhre ruhen läſst, so ändert sich die Figur meist, die gröſseren periodischen Staubanhäufungen bleiben, aber die kleinen Rippchen sind verschwunden. Reibt man die Röhre anhaltend, so verschwinden allmählich die Staubfiguren und der Staub wandert zu den Knotenpunkten der Savart'schen Spiralen am Boden der Röhre. Reibt man jedoch die Röhre, nachdem der Staub überall an den Wänden vertheilt ist, recht vorsichtig und gut an, so zeigen sich die entstehenden Figuren noch regelmäſsiger als in Fig. 1. Fig. 2 giebt ein Bild der Lagerung des Staubes; man sieht,

dafs zwischen jeder Staubanhäufung sich eine ziemlich runde Stelle befindet, die selbst frei von Staub, von einem zarten Staubring umgeben ist.

Bevor wir aber zur eigehenderen Behandlung der Form der Figuren übergehen, wird es nöthig seyn, die Entstehungsweise zu betrachten. Wie schon oben angedeutet, sind es stehende Luftwellen im Innern der Röhre, die die Staubfiguren hervorbringen.

Dafs es wirklich die bewegte Luft ist, die das Semen Lycopodii in jene Formen legt, und nicht etwa irgendwie die longitudinalen oder transversalen Oscillationen der Röhre selbst die erregende Ursache sind, ergiebt sich mit Bestimmtheit daraus, dafs erstens die besprochenen Staubfiguren nicht entstehen wenn die Röhre an den Enden offen ist; zweitens, dafs in einer Röhre, wie später unten genauer angegeben werden wird, die Zahl der Staubanhäufungen sich ändert, wenn die Röhre statt mit Luft mit irgend einem andern Gase gefüllt ist; und drittens, dafs in einer luftleeren, an beiden Enden verstöpselten Röhre sich die Figuren *nicht* bilden, sondern das Semen Lycopodii sofort beim Tönen zu den Punkten der Savart'schen Spirale eilt, die gerade am Boden der Röhre liegen.

Die Frage ferner, wie denn die Luft in einer geschlossenen Röhre in so regelmäfsige Schwingungen gerathe, dafs diese den Staub in so bestimmte Figuren anordnen, beantwortet sich experimentell ebenso einfach. Bekanntlich sind die Töne longitudinalschwingender Stäbe oder Röhren aufserordentlich kräftig und geräth die Luft durch dieselben in sehr energische Vibrationen. Untersucht man nun, wo denn eine solche Röhre oder ein Stab seine Oscillationen der Luft mittheilt, so wird man finden, dafs diefs vorzugsweise nur durch den Stofs der freien Enden gegen die Luft geschieht. Es läge nahe zu vermuthen, dafs einmal die hin und her gleitenden Theilchen der Röhrenwände die Luft durch Reibung mit in Bewegung setzen; und zweitens, dafs die mit den longitudinalen Oscillationen immer verbundenen transversalen Bewegungen sich der Luft

mittheilen. So weit jedoch meine Versuche über diesen Punkt reichen, ist es mir nicht gelungen, längs einer longitudinal tönenenden Röhre wahrnehmbare Oscillationen der Luft nachzuweisen. Die Erregungsstelle des Tones liegt jedenfalls hauptsächlich an den freien Enden.

Man darf also auch nicht annehmen, dafs in den geschlossenen Röhren die Luft etwa durch die secundären transversalen Schwingungen, oder durch Reibung der Röhrenwände gegen die Luft in Bewegung gesetzt würde. Die Erregung stehender Wellen in der Röhre kann nur von den Enden herrühren. Hat man eine an beiden Enden durch ebene Platten, also etwa durch Korke verschlossene Röhre, hält dieselbe in der Mitte und reibt nun an einem Ende, so verlängern und verkürzen sich gleichzeitig die beiden freien Enden, und es ist klar, dafs die in der Röhre abgeschlossene Luftmasse von den ebenen Endflächen abwechselnd zusammengepreſst und dilatirt wird, und zwar geschieht diefs genau so oft in einer Secunde wie die Glasröhre selbst Schwingungen macht. An jedem Ende erhält die Luftsäule genau so viele Stöfse als die Schwingungszahl der Röhre beträgt. In Folge dessen mufs die Luftsäule in stehende Schwingungen gerathen und zwar so, dafs ihr Ton genau derselbe ist, wie derjenige der Glasröhre. Da nun im Glas die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles eine bedeutend gröfsere ist, als in der Luft, so gehört bekanntlich zu demselben Ton eine sehr viel längere longitudinale Glaswelle als Luftwelle, und zwar verhalten sich für longitudinale Schwingungen die demselben Ton zugehörenden Wellen in zwei Körpern direct wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in denselben. Im Glas pflanzt sich der Schall beinahe 16mal so schnell fort als in der Luft, wird nun eine Glasröhre in der Mitte gehalten und an einem Ende gerieben, so ist die ganze Länge derselben eine halbe Welle, und zählt man jetzt die periodischen Staubanhäufungen, so findet man deren 16. Eine jede derselben würde mithin einer halben Luftwelle entsprechen [1]).

1) Im Folgenden ist immer der Raum, den Verdichtung und Verdünung

Ein ganz directer Beweis dafür, dafs die im Innern der Röhre vorhandenen stehenden Luftwellen wirklich von den Stöfsen der verschlossenen Enden der Röhre herrühren, wird sich später ergeben; man überzeugt sich aber auch leicht durch den folgenden Versuch von der Richtigkeit des Gesagten.

Man klemme eine Röhre auf $\frac{1}{4}$ ihrer Länge, vom freien Ende an gerechnet, ein, reibe dann in der Mitte, so entstehen an der eingeklemmten Stelle und ebenfalls an $\frac{1}{4}$ der Länge von dem andern freien Ende Knotenpunkte. Verstöpselt man nun die beiden Enden der Röhre, so bilden sich die Staubfiguren ebenso wie oben, freilich in anderer Zahl. Bringt man jedoch die Korke statt an die Enden an die beiden Knotenpunkte, so hat man ebenfalls zwischen diesen beiden Korken eine abgeschlossene Luftsäule; es bilden sich aber in dieser beim Tönen nie die behandelten Staubfiguren, da jetzt durch die Korke keine Stöfse ausgeübt werden, weil in den Knotenpunkt die Glastheilchen sich durchaus nicht bewegen.

Läfst man jedoch den einen Kork an dem einen Knotenpunkt, bringt aber den andern in die Mitte zwischen die zwei Knotenpunkte, so bilden sich jetzt wieder sofort die Staubfiguren in der abgeschlossenen Luftsäule, da nun der Kork in der Mitte zugleich mit den Glastheilchen, die hin- und hergleiten, hin- und herbewegt wird, und also gegen die Luft stöfst. Ganz allgemein entstehen die Staubfiguren wenn beide Korke oder wenigstens einer derselben sich an einer solchen Stelle der Röhre befindet, wo die Glastheilchen sich hin- und herbewegen, nie aber dann wenn sie sich an den Knotenpunkten befinden, in denen zwar Verdichtungen und Verdünnungen, aber keine Bewegungen stattfinden.

zusammen umfassen, als eine Welle gerechnet, mithin der Raum zwischen zwei aufeinander folgenden Knotenpunkten stehender Wellen, als eine halbe Welle. Dafs die Staubanhäufungen hiernach nach halben und nicht nach ganzen Wellen zählen, ist natürlich, da für sie lediglich die aufeinander folgenden Knotenpunkte maafsgebend sind.

Es ist hier übrigens noch zu erwähnen, dafs es durchaus nicht nöthig ist, dafs die tönende Röhre an beiden Enden verschlossen sey, es genügt vollständig, dafs sich an einem Ende derselben oder in der Mitte zwischen irgend zwei Knotenpunkten eine feste Wand befinde. Diese stöfst alsdann gegen die Luft und setzt dieselbe in Schwingung, gerade wie die Luft einer offenen Pfeife in stehende Schwingungen geräth, dadurch dafs die Luft an dem einen Ende derselben in Bewegung gesetzt wird. Man thut jedoch im Allgemeinen besser die Röhre an beiden Enden zu schliefsen, da alsdann die Intensität der Oscillationen der Luft gröfser zu seyn scheint. Wenigstens bilden sich die Staubfiguren in diesem Fall leichter und regelmäfsiger.

Genau genommen könnten sich in einer an beiden Enden geschlossenen longitudinal tönenden Röhre nur dann energische regelmäfsig stehende Luftwellen bilden, wenn die dem Ton zugehörige Luftwelle ein aliquoter Theil der Länge der ganzen Röhre ist. Nichtsdestoweniger bilden sich in jeder an beiden Enden geschlossenen Röhre, von der im Allgemeinen das Verlangte nicht gelten wird, jene Staubfiguren, jedoch hängt die Form derselben mit von dem Verhältnifs der Länge der Glasröhre und der zugehörigen Luftwelle ab. Es wird später eine Vorrichtung angegeben werden, mittelst deren es leicht möglich ist, den Einfluſs des Verhältnisses der Röhrenlänge zu der Länge der zugehörigen Luftwelle auf die Bildung der Staubfiguren zu studiren, hier mag es vorläufig genügen, anzugeben, dafs die stehenden Wellen in einer an den Enden verschlossenen Glasröhre einmal regelmäfsiger sind und dann, dafs die Intensität derselben eine gröfsere ist, wenn die Länge der Röhre möglichst genau ein Vielfaches der zugehörigen Luftwelle ist, als wenn diefs nicht der Fall. Da nun von der Regelmäfsigkeit der Luftwellen, eben sowohl wie von ihrer Intensität die Form der Staubfiguren abhängen mufs, so ändert sich diese auch und ist verschieden, je nach dem Verhältnifs der Röhrenlänge zur Länge der Luftwellen.

Die Staubfiguren zeigen sich je nach den Umständen

immer etwas verschieden, die hauptsächlichsten Nüancirungen sind, wie schon angegeben, in den Figuren 1 und 2 Tafel V gezeichnet. Von diesen zeichnet sich besonders Fig. 2 aus durch die eigenthümlichen Löcher, die sich zwischen je zwei Staubanhäufungen finden. Diese »Löcher« bezeichnen, wie sich später mit einem anderen Apparat ergeben wird, die Stellen der Knotenpunkte der stehenden Luftwellen. Darüber, wie die Löcher zu Stande kommen, möchte ich jetzt noch keine ganz bestimmte Ansicht aussprechen, nur das läfst sich mit Bestimmtheit sagen, dafs sie nicht vollkommen unabhängig sind von den Schwingungen der Glasröhre selbst. An den Stellen der Knotenpunkte der longitudinalen Bewegung sind dieselben bedeutend gröfser als zwischen zwei Knotenpunkten oder an den freien Enden der Röhre, vielleicht nur deshalb, weil zwischen zwei Knotenpunkten des Semen Lycopodii mit gröfserer Kraft von den Wänden der Röhre fortgeschleudert und dann von den Schwingungen der Luft gelagert wird, als an einem Knotenpunkt, wo die wirkliche Bewegung der Glastheilchen sehr gering ist. Die Figur mit ganz regelmäfsig runden Löchern an den Stellen der Knotenpunkte der Luftwellen in der ganzen Länge einer Röhre gut zu erhalten, ist übrigens nicht so leicht und erfordert einige Uebung. Sehr viel liegt an der Art, wie man beim Reiben der Röhre die Hand führt, ebenso ist es nicht gleichgültig für die Staubfiguren, womit man die Röhren reibt, und wie sie während des Reibens gehalten werden. Zum Reiben bediene ich mich gewöhnlich eines ziemlich dicken wollenen Stückes Tuch, welches ganz und gar, aber nicht zu sehr, mit Wasser angefeuchtet ist. Ebenso gute Dienste wie ein Stück wollenes Tuch thut ein Stück einer wollenen Strickerei, etwa die eines Strumpfes. Man kann die Röhren, wenn man sie tönen läfst, entweder in der Mitte oder auf ein Viertel mit der linken Hand, die man gegen einen Tisch stemmt, wagerecht halten, oder aber in eine oder zwei Klemmen der Art, wie sie in Fig. 5 Taf. V gezeichnet ist, einklemmen. Als Staub für die Figuren eignet

sich entschieden am Besten Semen Lycopodii; Sand oder andere schwerere Pulver werden von den Luftwellen in einer longitudinal tönenden Röhre nicht bewegt, das angewandte Pulver mufs ein so leichtes und feines seyn, wie Semen Lycopodii.

Wenn aber auch je nach den verschiedenen Umständen die Form der Staubwellen variiren kann, so bleibt doch die Zahl derselben in einer Röhre immer genau dieselbe oder variirt anscheinend höchstens um einen kleinen Bruchtheil einer halben Welle. *So lange das Verhältnifs der Schallgeschwindigkeit der Luft und des angewandten Glases dieselbe bleibt, ist es überdiefs ganz gleichgültig, welche Länge und welchen Querschnitt die angewandte Glasröhre hat.* Bei irgend einer Glasröhre, die mit einem Knotenpunkt in der Mitte tönt, mag sie nun einen Querschnitt oder eine Länge haben, welche sie will — ich habe Röhren von 6 Fufs Länge und 3 Zoll Durchmesser und Röhren von 1 Fufs Länge und 1 Linie Durchmesser im Innern angewandt — beträgt die Anzahl der in derselben entstehenden Stauhwellen, d. i. der halben Luftwellen, immer etwa 16. Läfst man dagegen die Röhre mit zwei Knotenpunkten tönen, und zählt die halben Luftwellen, so erhält man deren 32 [1]), läfst man die Röhre mit drei Knotenpunkten tönen, so erhält man 48 Staubwellen usw. Im ersten Fall, bei einem Knotenpunkt, stellt die Glasröhre eine halbe Glaswelle dar, im zweiten schwingt sie als eine ganze Welle, der Ton ist somit um eine Octave gestiegen, im dritten endlich schwingt sie als $\frac{3}{2}$ Wellen, und der Ton ist abermals um eine Quinte gestiegen. Demgemäfs mufs auch die Gröfse der zugehörigen Luftwellen abgenommen haben im Verhältnifs von $3:2:1$, oder die Anzahl derselben für eine gegebene Länge sich verhalten wie $1:2:3$ d. i. wie $16:32:48$. Für die Bestimmung des Verhältnisses der Schallgeschwindigkeit von Glas zu derjenigen der

1) Die Geschwindigkeit des Schalles im Glase ist immer 16mal so grofs angenommen als diejenige der Luft bei gewöhnlicher Temperatur; für die meisten Glassorten beträgt sie nur etwas über 15.

eingeschlossenen Luft, ist es also auch ganz gleichgültig ob man die Glasröhre mit 1, 2 oder 3 Knoten tönen läfst; immer kommen auf $\frac{1}{2}$ Glaswelle, 16 halbe Luftwellen.

Die Staubwellen, wie sie im Innern einer Röhre erhalten werden, können nun zuvörderst in zweierlei Hinsicht zur Messung und numerischen Bestimmung benutzt werden. Erstens ist klar, dafs man mittelst derselben mit Leichtigkeit die Tonhöhe einer longitudinal tönenden Röhre, wenn sie an beiden oder wenigstens an einem Ende geschlossen ist, bestimmen kann. Man erzeugt in derselben die Figuren von Semen Lycopodii, und bestimmt möglichst genau die Länge einer Staubwelle, indem man die Gesammtlänge einer bestimmten Anzahl derselben mifst. Da für eine gegebene Temperatur die Geschwindigkeit des Schalles mit hinreichender Genauigkeit bekannt ist, so findet man aus der Länge der Staubwelle, die derjenigen der Luft gleich ist, die Schwingungszahl der Luft. Da diese dieselbe seyn mufs wie die der Röhre, so ist mithin auch diese gefunden.

Sodann leuchtet ein, dafs die Staubwellen nicht nur dazu dienen können, wie oben angegeben, das Verhältnifs der Schallgeschwindigkeit in Glas und Luft zu bestimmen sondern indem man die Luft in der Röhre durch irgend ein anderes Gas ersetzt, ebensowohl die Geschwindigkeiten des Schalles in diesen Gasen ergeben. Ist irgend eine an den Enden verschlossene Glasröhre mit einem andern Gase als Luft gefüllt, so werden auf eine Glaswelle nicht 16 Wellen innerhalb der Röhre kommen, sondern irgend eine andere Zahl, die bedingt ist durch das Verhältnifs der Schallgeschwindigkeit des Glases und des betreffenden Gases. Man sieht leicht, dafs *die Zahl der Staubwellen in Röhren, die mit verschiedenen Gasen gefüllt sind, sich umgekehrt verhalten müssen, wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in den betreffenden Gasen. Die Längen der Staubwellen sind den Schallgeschwindigkeiten direct proportional.*

Indem man nun die Schallgeschwindigkeit in der Luft gleich Eins setzt, kann man diejenige der andern Gase durch die der Luft, wie es gebräuchlich ist, ausdrücken.

Man kann sehr leicht irgend ein Rohr mit einem zu untersuchenden Gase füllen, und indem man dann die Staubwellen in dem Rohr erzeugt, die Schallgeschwindigkeit des Gases finden. Zur Demonstration kann man sehr bequem verschiedene Röhren ein für alle Mal mit verschiedenen Gasen füllen und kann dann in jedem Moment die Staubwellen hervorrufen und so die verschiedene Schallgeschwindigkeit der verschiedenen Gase zeigen. Es kommt hierbei auf die Gröfse der Glasröhren durchaus nicht an, und selbst verschieden grofse Glasröhren mit verschiedenen Gasen sind mit einander vergleichbar, da die Zahl der Staubwellen in den Gasen, auf die es allein ankommt, von der Gröfse des Rohres unabhängig ist. Ich habe mir anfangs solche Schallröhren verfertigt, indem ich aus einem Rohr, in das vorher ein Wenig Semen Lycopodii gestreut war, die Luft durch irgend ein gut getrocknetes Gas austreiben liefs, dann schnell die Enden mit Korken verschlofs, die nun durch einen guten Kitt luftdicht verschlossen wurden. Später, als ich erkannte, dafs es nicht nothwendig sey, dafs die stofsenden Endflächen der Röhren durchaus eben seyn müfsten, verfertigte ich mir die Röhren und liefs sie verfertigen, indem die Enden nicht verkittet, sondern zugeschmolzen wurden.

Eine passende und angenehme Gröfse für solche Schallröhren ist etwa 1 Meter Länge und 1 bis 1,5^{cm} Querschnitt.

Sehr geeignet für eine Demonstration der verschiedenen Schallgeschwindigkeiten sind Röhren gefüllt mit Luft, Kohlensäure, Leuchtgas und Wasserstoff. Läfst man diese Röhren mit zwei Knotenpunkten tönen, so erhält man nahezu für

Luft	32	Staubwellen
Kohlensäure	40	»
Leuchtgas	20	»
Wasserstoff	9	»

Demnach sind die Schallgeschwindigkeiten für die andern Gase, bezogen auf die der Luft als Einheit,

Kohlensäure $= \frac{32}{40} = 0{,}8$
Leuchtgas $= \frac{32}{20} = 1{,}6$
Wasserstoff $= \frac{32}{9} = 3{,}56$ [1])

Dulong erhält für Kohlensäure 0,79 und für Wasserstoff 3,8.

Man sieht dafs die hier auf eine aufserordentlich einfache Weise gefundenen Zahlen ziemlich gut mit denen von Dulong auf eine äufserst mühsame Art gefundenen stimmen, und überdiefs das Angenehme haben, dafs sie in jedem Moment, für jeden sichtbar, reproducirt werden können.

Statt mit Gasen kann man eben so gut die Röhren mit irgend welchen Dämpfen füllen. Ich begnüge mich anzuführen, dafs eine Röhre mit Aetherdampf bei gewöhnlicher Temperatur über 50 Staubwellen zeigt, wenn sie mit zwei Knotenpunkten tönt, und dafs es schon genügt, die Luft mit Aetherdampf zu sättigen, um in einer Röhre statt 32, beinahe 40 Staubwellen zu erhalten.

Zu wirklich scharfen Messungen für die Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen können jedoch die Staubwellen, in der Art wie sie bisher im Innern einer tönenden Röhre erzeugt wurden, aus mancherlei Gründen nicht dienen. Ich habe daher, bestrebt die Staubwellen zum Mittel einer wirklich scharfen Messung zu machen, eine etwas andere Methode zur Hervorbringung derselben angewandt, die, abgesehen davon, dafs durch sie das Gewünschte geleistet wird, noch einige andere wesentliche Vorzüge vor der bisherigen Methode besitzt.

Da nämlich, wie oben angegeben, die Luft im Innern der Röhren nur dadurch in stehende Schwingungen geräth, dafs die freien verstöpselten Enden gegen die Luft stofsen, so lag der Gedanke nahe, die freien durch eine ebene Fläche begränzten Enden ebenso wie gegen die Luft im Innern der Röhre gegen einen andern abgeschlossenen Luftraum stofsen zu lassen. Diefs läfst sich leicht auf fol-

1) Die Staubwellen entstehen in einer Wasserstoffröhre oft schwer; man thut dann gut die Röhre vor dem Anreiben vorsichtig etwas anzuwärmen.

gende Weise erreichen. Auf eine Glasröhre AA' (Fig. 6 Taf. V) befindet sich in der Mitte festgekittet ein Kork KK. Mit diesem pafst die erste Glasröhre in eine andere etwas weitere Röhre BB'. Die Röhre AA' ist an ihrem Ende A mit einem Kork verschlossen a, der die Form hat wie in der Figur, und dessen breiterer äufserer Rand den Querschnitt der Röhre BB' beinahe ausfüllt, ohne aber die Wände dieser Röhre stark zu berühren. Die Röhre BB' ist an ihrem Ende B mit einem gut in dieselbe passenden Kork b verschlossen, an dessen äufserem Ende sich ein eingekitteter Stiel von Glas oder Metall befindet, mittelst dessen der Kork in der Röhre bewegt werden kann. Wird der ganze Apparat nun bei KK in der Hand gehalten und reibt man das Ende KA' der innern Röhre, so wird während des Tönens das andere Ende derselben mit dem Kork a gegen das zwischen den Korken a und b befindliche Luftvolumen stofsen, und mithin dasselbe in Schwingung versetzen. Befindet sich daher Semen Lycopodii in der Röhre, so wird diefs durch die stehenden Luftwellen in der angegebenen Weise in der Röhre gelagert werden. Diese Methode die Staubwellen zu erzeugen, hat vor derjenigen mittelst einer einzigen an den Enden verschlossenen Röhre den Vorzug, dafs erstens die Röhre in der die Staubfiguren entstehen, selbst gar nicht tönt, die Regelmäfsigkeit der durch die Luft erzeugten Figuren kann daher nicht durch die Oscillationen der tönenden Röhre gestört werden; zweitens ist man im Stande durch den verschiebbaren Kork b die Länge der ins Tönen versetzten Luftsäule beliebig zu ändern, während die tönende Glasröhre selbst ganz ungeändert bleibt; endlich ist es bei dem angegebenen Apparat durchaus nicht nöthig, dafs man als Tonquelle eine Glasröhre anwendet, es kann vielmehr an die Stelle der Glasröhre AA' irgend ein massiver Stab von irgend einer Substanz gebracht werden, wenn man nur im Stande ist, denselben durch Reiben in longitudinale Schwingungen zu versetzen.

Durch verschiedene Stellung des Korkes b kann man

nun mit Leichtigkeit den Einfluſs studiren, den ein verschiedenes Verhältniſs der Länge der ganzen Luftsäule zu der Länge der einzelnen entstehenden Luftwellen auf die Form der Staubfiguren ausübt. Wir werden später sehen, daſs dieselben in der That sehr verschieden sind, je nachdem die Luftwelle ein aliquoter Theil der ganzen Länge der Luftsäule ist oder nicht.

Dadaurch ferner, daſs man die Glasröhre AA' durch einen Stab von irgend einem andern Material ersetzen kann, ist der Apparat nicht nur dienlich die Schallgeschwindigkeiten der Gase zu bestimmen, wozu schon die verstöpselten Röhren allein dienen konnten, sondern kann auch sehr bequem zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit aller festen Körper, die in longitudinalen Schwingungen gerathen können, benutzt werden. Bringt man nacheinander an die Stelle der Röhre AA' Stäbe von Metallen oder Holz oder dergleichen, erzeugt durch den Ton derselben in der übergeschobenen Röhre BB' die Staubwellen, und mifst nun die Länge des tönenden Stabes selbst und die Länge der zugehörigen Stauhwelle, so ist durch den Quotienten dieser Zahlen sogleich die Schallgeschwindigkeit jedes einzelnen festen Körpers, bezogen auf das der Luft als Einheit gegeben. Es ist hierbei übrigens gar nicht nöthig, daſs die Glasröhre, in der die Staubwellen entstehen, bis zur Mitte oder bis zu irgend einem andern Knotenpunkt der tönenden Röhre über dieselbe geschoben und dort mit einem Kork befestigt sey, man braucht nur das eine Ende eines tönenden Stabes einen oder einige Centimeter weit in eine etwas weitere am andern Ende geschlossene Glasröhre hineinzuschieben, um in der Röhre sogleich die Staubwellen zu erhalten.

Bevor wir jedoch zur Angabe der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit einiger fester Körper übergehen, ist es nöthig die Formen der Staubfiguren in dem beschriebenen Apparat genauer zu betrachten. Der Apparat, wie er in Fig. 6 Taf. V angegeben, erfüllt seinen Zweck zwar ganz gut, indem die Korke KK, a und b hinreichend Festigkeit

besitzen um eine Zeit lang vorzuhalten, um jedoch einen dauerhafteren Apparat zu besitzen, liefs ich denselben in der in der Fig. 7 Taf. V dargestellten Weise vom Mechaniker anfertigen. Auf die tönende Röhre AA', deren Länge 1 Meter und deren Durchmesser etwa 1^{cm} beträgt, ist in der Mitte der Kork KK gekittet. Dieser pafst bis zur Hälfte bis an den vorstehenden Rand in die äufsere Röhre BB'. Dieselbe trägt bei B einen aufgekitteten Messingring cc, in den ein Schraubengewinde geschnitten ist. Der Kork und die äufsere Röhre werden nun durch eine aufgeschraubte Kappe dd fest zusammengepreſst, wie aus der Figur leicht zu ersehen. Auf das andere Ende der Röhre BB' ist ebenfalls ein Messingring mit einem eingeschnittenen Schraubengewinde gekittet, auf welches die Kappe ee geschraubt wird. Durch diese geht mit Friction ein Messingstab f, der im Innern der Röhre einen in die Röhre passenden Stöpsel von schwarzer Kammmasse g trägt.

In das Ende A' der innern Röhre ist ebenfalls ein die Röhre beinahe schliefsender Stöpsel von Kammmasse h gekittet. Beide Stöpsel h und g sind, damit sie auf dem Glase, wenn etwa Sand in die Röhre gebracht wird, keine Schrammen machen, mit dünnem weichem Leder überzogen. Endlich kann man die Röhre BB' noch an den beiden Stellen m und n durchbohren lassen und mittelst um die Röhre gekitteter Ringe, kleine metallene Röhren an diese Einbohrungen setzen. In jeder dieser Röhren kann man einen Hahn anbringen, so dafs man dann, vorausgesetzt dafs die Röhre BB' an den Enden luftdicht verschlossen ist, die Luft aus derselben auspumpen, und irgend ein anderes Gas oder einen Dampf in dieselbe eintreten lassen kann. Die Kappe dd verschliefst die Röhre BB' hinreichend luftdicht, am andern Ende ist es nöthig die Hülse, durch die der Stiel f geht; durch ein übergeschobenes Kautschukrohr, luftdicht zu schliefsen. Die Seitenröhrchen und Hähne sind in der Zeichnung nur punktirt angegeben [1]).

1) Hr. Mechaniker Reichel hier in Berlin (Melchiorstrafse 20) fertigt

Bringt man nun in die Röhre BB' etwas Semen Lycopodii, vertheilt diefs durch Schütteln gleichmäfsig in der Röhre und läfst die andere Röhre tönen, während man zugleich den Stöpsel am Stiel f hin- und herschiebt, so wird man bald eine Stellung desselben finden, für welche das Semen Lycopodii sich auf einzelne Punkte am Boden der Röhre legt, die genau gleich weit von einander entfernt sind. Fig. 4 Taf. V giebt ein Bild der Lagerung des Staubes. Ist recht wenig Semen Lycopodii in der Röhre gewesen und ist die Stellung des Stöpsels richtig, so sind diese Punkte sehr scharf und zeigen sich nicht nur am Boden, sondern ziehen sich noch ringförmig an den Seitenwänden der Röhre in die Höhe. Die Staubhäufchen bezeichnen die Stellen der Knotenpunkte der stehenden Luftwellen, und der Raum zwischen 2 derselben ist gleich der Länge einer halben in der Röhre entstandenen Luftwelle. Einer dieser Punkte liegt immer an dem hinteren verschiebbaren Stöpsel, und ebenso liegt einer derselben an dem stofsenden Ende der tönenden Röhre. In Fig. 7 sind in der übergeschobenen Röhre die Stellen der Staubpunkte schwach angegeben. Dafs die Stellen, an denen sich der Staub anhäuft, wirklich die Knotenpunkte der tönenden Luftmasse bezeichnen, kann man nicht bezweifeln, wenn man sieht, wie während des Tönens der Staub von beiden Seiten sich zu den betreffenden Stellen hinbewegt. Es ist daher auch ganz nothwendig, dafs sich immer ein solcher Staubpunkt an dem hinteren Stöpsel der Röhre, an welcher sich immer ein Knotenpunkt bilden mufs, zeigt, merkwürdig bleibt es jedoch, dafs sich ein Staubhäufchen und damit also auch ein Knotenpunkt der Luft an dem stofsenden Ende der tönenden Röhre AA' in Fig. 7 Taf. V be-

Apparate dieser Art an, ebenso die oben beschriebenen mit verschiedenen Gasen gefüllten, und an den Enden zugeschmolzenen Röhren. Für eine Demonstration der verschiedenen Schallgeschwindigkeiten der Gase eignen sich besonders vier Röhren, gefüllt mit Kohlensäure, Luft, Leuchtgas und Wasserstoff. Wenn der Apparat (Fig. 7 Taf. V) nicht zu einer Untersuchung, sondern nur zu einer Demonstration der Staubwellen dienen soll, so sind die Hähne an den Seiten unnöthig.

findet. Es scheint unmöglich, dafs da, wo doch die Erregung des Tones stattfindet, auch zugleich ein Knotenpunkt seyn sollte. Ohne auf diese Eigenthümlichkeit eingehen zu wollen, beschränke ich mich darauf das Factum mitzutheilen, und noch hinzuzufügen, dafs, wenn auch öfter an dem stofsenden Ende selbst gerade keine sehr markirte Staubanhäufung sich zeigt, doch in der Entfernung einer halben Wellenlänge der Luft von jenem stofsenden Ende jedesmal sehr scharf und deutlich ein Staubhäufchen sich bildet.

Verschiebt man sodann den Stöpsel am Ende der Röhre, in der sich das Semen Lycopodii befindet, um die Hälfte des Abstandes zweier Staubpunkte, also um $\frac{1}{4}$ einer ganzen Luftwelle, nach der einen oder andern Seite und reibt die andere Röhre, so entsteht eine wesentlich andere Staubfigur, nämlich diejenige, die in Fig. 3 Taf. V abgebildet ist. An die Stelle der Staubhäufchen sind die »Löcher« der Figur getreten, und zwar befinden sich diese Löcher, von dem verschiebbaren Stöpsel am Ende der Röhre an gerechnet, genau an denselben Stellen, an denen sich vorher die Staubpunkte befanden, sie bezeichnen also ebenfalls die Stellen der Knotenpunkte der tönenden Luftsäule. Da sich an dem Stöpsel am äufseren Ende der Röhre ein Loch befindet, wo nothwendig immer ein Knotenpunkt seyn mufs, so kann nun kein solches rundes Loch sich an dem stofsenden Ende der tönenden Röhre befinden, sondern der Abstand des nächsten Loches von diesem Ende beträgt die Hälfte des Abstandes zweier Löcher, also $\frac{1}{4}$ der ganzen Länge einer stehenden Luftwelle.

In diesem Fall schwingt also die Luftsäule wie eine gedackte Orgelpfeife, die einen ihrer höheren Obertöne giebt. Der erste Knotenpunkt liegt um $\frac{1}{4}$ Wellenlänge von der Erregungsstelle des Tones entfernt, und der letzte liegt an der äufsern festen Decke der Luftsäule.

Die grofse Verschiedenheit der Staubfiguren bei den angegebenen verschiedenen Längen der Luftsäule ist sehr auffällig, und wenn man auch beim allmählichen Aendern

der Länge der Luftsäule die Figur mit den Löchern allmählich in die Staubpunkte übergehen sieht, so sieht man doch nicht klar ein, weſshalb sich in einem Falle der Staub energisch zu den Knotenpunkten bewegt, während er im andern nur zwischen zwei Knotenpunkten aufwirbelt und diese Knotenpunkte selbst von einem zarten Staubring umgeben sind. Nach einigen, sogleich anzugebenden Versuchen scheint es fast, als ob die Verschiedenheit der Figuren lediglich bedingt sey durch die Intensität der stehenden Luftwellen in der Röhre, dann bleibt jedoch noch immer zu erklären, weshalb die Intensität der Wellen eine so viel gröſsere ist, wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches der halben, als wenn sie ein Vielfaches der Viertel-Welle ist. Daſs die Intensität der Luftbewegung von wesentlichem Einfluſs ist, ergiebt sich jedoch leicht daraus, daſs wenn man bei derjenigen Länge der Luftsäule, bei der die Punkte entstehen, die tönende Glasröhre recht vorsichtig und leise anreibt, anfangs die Figur mit den Löchern auftritt, daſs ferner wenn das stoſsende Ende der tönenden Glasröhre den Querschnitt der Röhre, in der die Luftwellen entstehen sollen, nicht ganz ausfüllt, und also die Luft von einer kleineren Fläche gestoſsen wird, als bei den obigen Apparaten, ebenfalls immer die Figur mit den Löchern entsteht, auch wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches der halben Wellenlänge ist. Streut man endlich nicht Semen Lycopodii, sondern Sand in die Röhre des Apparats, so wird dieser, während er in einfachen, an den Enden verschlossenen Röhren nicht bewegt wurde, in dem Apparate sehr wohl bewegt, wenn die Länge der Luftsäule ein Vielfaches der halben Luftwelle, nicht jedoch, wenn dieselbe ein Vielfaches der Viertel-Welle beträgt. In dem Falle, in dem Semen Lycopodii Staubhäufchen bildet, wird der schwerere Sand bewegt, nicht jedoch wenn Semen Lycopodii die Figur mit den Löchern bildet, und zwar ist die entstehende Sandfigur im ersten Falle der Löcherfigur von Semen Lycopodii sehr ähnlich. An den Knotenpunkten wird der Sand nicht bewegt, zwischen denselben

aber lagert sich derselbe in ganz scharfen Querstreifen, wie sie in Fig. 4 Taf. V gezeichnet sind. Wo der Sand am Boden der Röhre dicker gelegen, sind diese Rippen breiter und weiter von einander entfernt liegend, wo er in geringerer Menge gelegen, sind die Rippen schmäler und liegen einander näher. Ebenso wie Sand [1]) verhielten sich andere schwerere Pulver, wie feine Eisenfeilspäne und dergleichen. Während also die Intensität der Luftbewegung in jedem Falle genügt, um das leichte Semen Lycopodii, wenn auch in verschiedener Weise, zu bewegen, ist sie nur in einem Falle, wenn sie Semen Lycopodii an den Knotenpunkten anhäuft, ausreichend um ein schweres Pulver zu bewegen.

Die Rippungen die in dem betreffenden Falle der Sand zeigt, sind aufserordentlich scharf und regelmäfsig, und viel hervortretender als die Querrippungen, die bei den Figuren mit Semen Lycopodii auftreten. Was die Entstehung dieser Querrippen überhaupt anlangt, so enthalte ich mich darüber an dieser Stelle jedes Urtheils; bisherige Erklärungsversuche sind mir durch andere, bis jetzt aber noch nicht zum Abschlufs gekommene Versuche, durchaus unsicher geworden, und ich möchte daher lieber überhaupt keine Erklärung versuchen, als eine solche geben, die ich später zurückzunehmen gezwungen wäre.

Bemerken will ich nur noch, dafs die Aehnlichkeit der Rippungen des Sandes mit der sogenannten Schichtung des elektrischen Lichtes, vielen, denen ich die Versuche zeigte, in die Augen fiel; es ist selbstverständlich, dafs diese Aehnlichkeit als eine rein äufserliche, ohne Aehnlichkeit der erzeugenden Ursachen aufzufassen ist. — Aufser körnige Substanzen habe ich auch noch versucht irgend dicke oder dunkle Dämpfe anzuwenden, um die Bewegung der Luftwellen sichtbar zu machen. Die Versuche gaben im All-

1) Der Versuch gelingt nicht gleich gut mit jedem Sande; um die Rippung gut zu erhalten, mufs der Sand nicht zu grobkörnig und rein seyn, sondern es ist besser, wenn die Körner desselben verschieden grofs und derselbe noch etwas Staub enthält.

gemeinen kein sehr befriedigendes Resultat, als ich jedoch die übergeschobene Röhre mit möglichst dicken Salmiaknebeln anfüllte und nun die andere Röhre rieb, war ich überrascht zu sehen, wie beim ersten Erklingen des Tones plötzlich die Salmiaknebel verschwanden; der Salmiak hatte sich am Boden der Röhre in den Knotenpunkten abgesetzt. Das Verschwinden der Nebel geschieht bei kräftigem Ton fast momentan.

Nachdem ich, soweit es möglich war, die verschiedenen Formen der Staubfiguren und ihre Eigenthümlichkeiten untersucht hatte, war es mein Bestreben zu ermitteln, ob und mit welcher Genauigkeit dieselben für Messungen, ins Besondere für die Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten dienen könnten. Ausgedehntere Versuchsreihen habe ich noch nicht beenden können, ich möchte jedoch hier zum Schluſs einige Versuche mittheilen, die wenigstens zeigen, welchen Grad von Genauigkeit die Messungen der Staubwellen, selbst ohne groſse Vorsichtsmaaſsregeln, zulassen.

Was die Messungen im Allgemeinen anlangt, so ist erstens zu erwähnen, daſs, wenn man Staub- oder Sandwellen in einem cylindrischen Rohr durch irgend eine Tonquelle, etwa einen Glasstab, erzeugt hat, die Länge einer Staubwelle genau dieselbe bleibt, welches äuſsere Ansehen auch die Staubwellen haben mögen. Mag nun die entstandene Figur die oben beschriebene Punktreihe, mag sie die Figur mit den Löchern seyn, immer bestimmt sich die Länge einer halben Luftwelle aus den verschiedenen Figuren als von gleichem Werthe. Man wird freilich der schärferen Figur immer den Vorzug geben, da sich bei ihr die Messung selbst leichter ausführen läſst, und so kann man aus einer Figur wohl einen genaueren, nie aber einen wirklich durchgehends anderen Werth der Luftwelle erhalten, als aus einer andern.

Je nach dem, was durch die Messung der Staubwellen erreicht werden soll, wird man die Anordnung zur Erzeugung der Staubwellen verschieden treffen, als specielles Beispiel für die Art der Anwendung der Methode und zu-

gleich als Beweis für die Genauigkeit derselben mögen folgende Bestimmungen der Schallgeschwindigkeiten in festen Körpern dienen.

Der Stab irgend einer Substanz, dessen Schallgeschwindigkeit bestimmt werden sollte, wurde entweder in der Mitte oder an zwei Stellen, die je um ein Viertel seiner Länge von den Enden entfernt lagen, in die oben angegebenen Klemmen, die an einen Tisch angeschraubt waren, eingeklemmt. Eine Glasröhre, deren Länge meist ungefähr das Doppelte des zu untersuchenden Stabes betrug, und die an dem einen Ende verstöpselt war, wurde nun mit dem offenen Ende einige Centimeter über den horizontal liegenden Stab geschoben und in dieser Lage durch andere Klemmen festgehalten. Befand sich nun in dieser Röhre Semen Lycopodii und wurde der Stab durch Reiben — bei Glas geschah das Reiben immer mit einem angefeuchteten Tuchlappen, bei Metall oder Holz mit einem Stückchen Leder, auf das Colophonium gestreut war — zum Tönen gebracht, so entstanden in der übergeschobenen Röhre die Staubwellen, die nun gemessen wurden. Da der Stab mit der Röhre nicht durch Korke oder dergleichen verbunden war, so gab derselbe beim Tönen auch nur genau den ihm zukommenden Ton, der nicht durch irgend störende Einflüsse, wie etwa die Stöpsel, die bei den oben beschriebenen Apparaten die stofsenden Enden der Glasröhren bilden, geändert wurde. Die Art des Einklemmens des Stabes hat wohl auf die Leichtigkeit, mit der man den Ton erzeugen kann, nicht aber auf die Höhe desselben Einflufs. Ist ein Stab nur annähernd in seinen Knotenpunkten befestigt, so giebt er immer genau denselben Ton, eine kleine Aenderung in der Befestigung ändert die Tonhöhe, wie ich mich durch Versuche überzeugt habe, nicht.

Sind die Staubwellen in der übergeschobenen Röhre erzeugt, so ist es nun nur nöthig die Länge einer einzelnen, und die Länge des tönenden Stabes zu kennen, um durch das Verhältnifs dieser Zahlen die Schallgeschwindigkeit des Stabes ausgedrückt durch die der Luft bei der vorhande-

nen Temperatur, zu haben. Die Länge des tönenden Stabes wurde jedesmal vor dem Versuche genau gemessen; um die Länge einer Staubwelle zu erhalten, wurde die Gesammtlänge einer ganzen Anzahl derselben, die gut ausgebildet waren, bestimmt. Indem man die Gesammtlänge von 20 Staubwellen mifst, beträgt der Fehler des Werthes einer Welle nur $\frac{1}{20}$ desjenigen, den man begehen würde, wenn man eine einzelne Welle messen wollte. Ueberdiefs wurde, um den Fehler der Messung so klein als möglich zu machen, dieselbe öfter wiederholt, wie aus dem folgenden Beispiel hervorgeht. Die Messung selbst wurde einfach mit einem Stangenzirkel ausgeführt, dessen Spitzendistanz dann jedesmal auf einem Maafsstab abgelesen wurde. Auf Temperatur ist in den folgenden Versuchen nicht Rücksicht genommen, für ganz genaue Versuche dürfte diefs natürlich nicht unterbleiben.

1. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Messing.

Messingstange $941^{mm},5$ lang 5^{mm} im Durchmesser. Es wurden zu drei Malen die Staubwellen in dem übergeschobenen Rohr erzeugt und jedesmal an verschiedenen Staubwellen 9 Messungen gemacht. Die Messingstange war an zwei Stellen eingeklemmt, entsprach also einer ganzen Messingwelle.

1. Versuch.

Anzahl der zusammen gemessenen Staubwellen	Gemessene Gesammtlänge derselben mm	Berechnete Länge einer halben Luftwelle [1] mm	
10	432,5	43,25	
»	432,5	43,25	
»	435,0	43,50	
9	389,5	43,28	
»	390,7	43,41	Mittel $= 43{,}30^{mm}$
»	390,0	43,33	
8	347,5	43,44	
»	345,0	43,13	
»	345,0	43,13	

1) Eine Staubwelle entspricht immer, wie schon oben angegeben, einer halben Luftwelle.

2. Versuch.

Anzahl der zusammen gemessenen Staubwellen	Gemessene Gesammtlänge derselben mm	Berechnete Länge einer halben Luftwelle mm	
10	433,2	43,32	Mittel = 43,29 mm
»	433,5	43,35	
»	435,0	43,50	
9	389,0	43,22	
»	388,5	43,17	
»	390,0	43,33	
8	346,5	43,31	
»	345,9	43,24	
»	345,0	43,13	

3. Versuch.

15	651,0	43,40	Mittel = 43,35 mm
»	652,0	43,47	
»	650,4	43,36	
»	649,3	43,29	
15 andere	649,6	43,31	
»	649,3	43,29	
»	653,0	43,53	
16 andere	649,0	43,27	
»	649,1	43,27	

Es ergiebt sich also die Schallgeschwindigkeit in der Messingstange nach diesen Versuchen folgendermaafsen:

$$\text{erster Versuch,} \quad v = \frac{941{,}5}{2 \,.\, 43{,}20} = 10{,}87$$

$$\text{zweiter Versuch,} \quad v = \frac{941{,}5}{2 \,.\, 43{,}29} = 10{,}87$$

$$\text{dritter Versuch,} \quad v = \frac{941{,}5}{2 \,.\, 43{,}35} = 10{,}86$$

Die in den drei Versuchen erhaltenen Zahlen stimmen also aufserordentlich gut überein.

Es wurde noch eine zweite der vorigen an Dimensionen fast gleiche Messingstange untersucht. Für dieselbe ergab sich in einem Versuch

$$v = 10{,}94;$$

bei einem zweiten Versuch, bei welchem die übergescho-

bene Röhre an dem äufseren Ende nicht verstöpselt war, ergab sich

$$v = 10{,}90.$$

Ob die beiden Stangen genau aus demselben Material bestanden, ist nicht ermittelt worden.

2. Stahl.

Es wurden zur Bestimmung drei runde Stahlstangen angewandt, von denen die erste 1002,7^{mm} Länge und 10^{mm} Dicke; die zweite 1001,7^{mm} Länge und 5^{mm} Dicke; die dritte 501^{mm} Länge und 5^{mm} Dicke hatte. Es wurde gefunden die Schallgeschwindigkeit v, für

die erste $v = 15{,}345$
die zweite $v = 15{,}334$
die dritte $v = 15{,}343$

Man sieht aus der Uebereinstimmung der Zahlen, dafs aus Stäben verschiedener Gröfse und Dicke sich die Schallgeschwindigkeit vollkommen gleich bestimmt. Die drei Stäbe waren aus derselben Stahlsorte gearbeitet.

3. Glas.

Die Schallgeschwindigkeiten im Glase variiren je nach der Art des Glases, und es haben also als Criterium der Genauigkeit der Methode nur die Beobachtungen Werth, die mit einem und demselben Glasstab angestellt sind.

Ein dünner Glasstab von 647^{mm} Länge ergab in drei aufeinander folgenden Versuchen

$$v = 15{,}24$$
$$v = 15{,}25$$
$$v = 15{,}24$$

4. Kupfer.

Für ein etwas über einen Fufs langes Stück Kupferdraht fand sich

$$v = 11{,}960.$$

Wertheim findet für Gufsstahl

$$v = 14{,}961$$

für Stahldraht

$$v = 15{,}108$$

und für Kupfer

$$v = 11{,}167$$

Zahlen die mit den obigen so gut übereinstimmen, wie es bei der jedenfalls vorhandenen Verschiedenheit des angewandten Materials zu erwarten ist.

Jedenfalls geht aber aus den mitgetheilten Beobachtungen hervor, dafs die Genauigkeit der Methode Nichts zu wünschen läfst, da die mit einem und demselben Stab nacheinander angestellten Versuche so gut übereinstimmende Resultate geben. Mit vermehrter Vorsicht bei den Versuchen, besonders mit Anbringung der Correction für die verschiedene Temperatur bei den verschiedenen Versuchen, würde die Uebereinstimmung noch gröfser seyn.

Von höherem Interesse als die Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten der festen Körper ist diejenige in den Gasen. Umfassendere Versuche habe ich über dieselben noch nicht beenden können; dafs die Methode aber auch für Gase und Dämpfe mit aufserordentlichem Vortheil anwendbar ist, leuchtet aus dem Mitgetheilten wohl ohne Weiteres ein. So weit meine Versuche bis jetzt reichen, bewährt sich auch in der That die Methode für Gase und Dampf sehr gut und sind von derselben scharfe Resultate zu erwarten. Handelt es sich übrigens nur um eine angenäherte Bestimmung für ein Gas oder einen Dampf, so genügt es, dieselben in eine Röhre zu bringen, die man an beiden Enden schliefst, wie es oben angegeben. Wie oben schon gezeigt, schliefsen sich die so erhaltenen Zahlen für Kohlensäure und Wasserstoff denjenigen, die Dulong erhielt, sehr nahe an.

Viel genauere Resultate erhält man natürlich mittelst des zusammengesetzten Apparates, indem man in die übergeschobene Röhre nacheinander verschiedene Gase bringt. Zum Beweise mögen folgende vorläufige Bestimmungen der Gröfse der Staubwellen für verschiedene Temperaturen der Luft dienen.

Bei einem aus einem tönenden Glasstab und einer übergeschobenen Glasröhre bestehenden Stab wurde die Gröfse der entstehenden Staubwelle bei 14° C. zu 35^{mm},743 gefunden. Sodann wurde die übergeschobene Röhre, in der die Staubwellen entstanden, bis auf 20° C. erwärmt.

Es war nun die Länge einer Staubwelle

= 36,570.

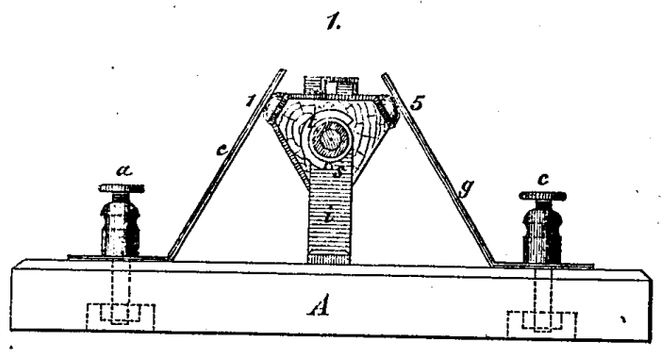
Eine neue Bestimmung bei 14° C. ergab wieder 35,797 und eine letzte Bestimmung bei 30°

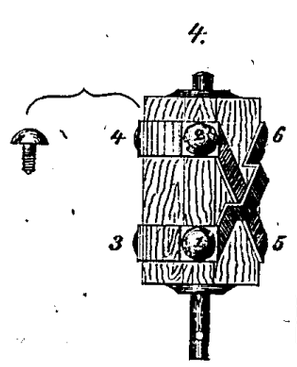
37^{mm},357.

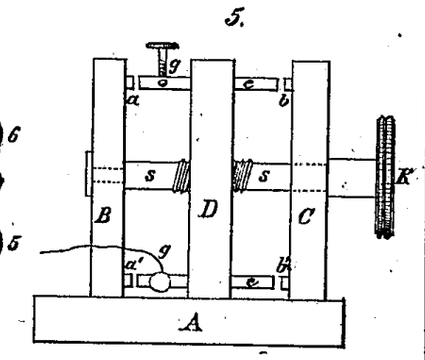
Wurde dagegen der tönende Glasstab angewärmt, so ergab sich keine Aenderung der Länge der Staubwelle; woraus folgen würde, dafs sich in festen Körpern, wenigstens im Glas, die Schallgeschwindigkeit mit der Temperatur nur sehr wenig ändert.

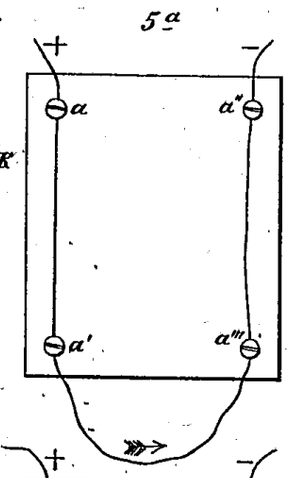
Aus Allem bisher mitgetheilten geht wohl zur Genüge hervor, dafs die angegebene Methode die Luftwellen durch Staub sichtbar zu machen sich im Besonderen für eine Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten eignet. Ich hoffe in nicht zu langer Zeit solche Bestimmungen geben zu können. Der Zweck dieser Mittheilung war hauptsächlich nur die Staubfiguren selbst zu beschreiben und einen Ueberblick über den Umfang und die Genauigkeit der Methode zu gewähren.

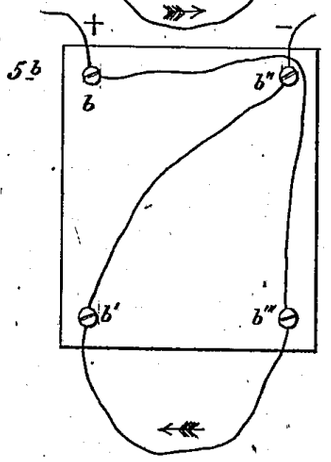
Ob und wie weit, abgesehen von der Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten, die beschriebene Sichtbarmachung der Luftwellen durch Staub, zur Untersuchung mancher anderer akustischer Fragen dienen kann, lasse ich, wenngleich sich manche Gesichtspunkte schon jetzt darbieten, dahin gestellt. Bevor man nämlich die Staubwellen zur Untersuchung anderer Fragen als solcher, bei denen es lediglich auf die Länge derselben ankommt, anwenden wollte, würde es vor Allem nöthig seyn, manche Einzelheiten der Figuren selbst zu erklären, und eine solche Erklärung der verschiedenen Formen der Figuren scheint für den Augenblick noch manche Schwierigkeiten zu haben.

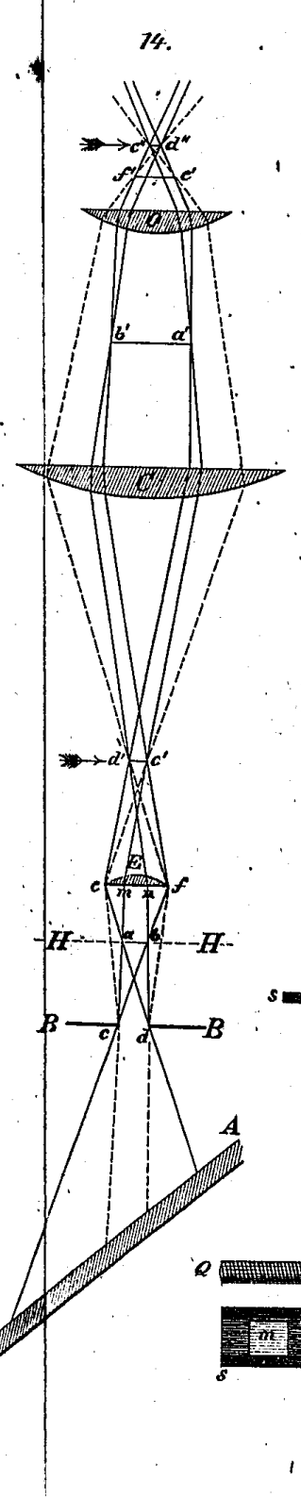


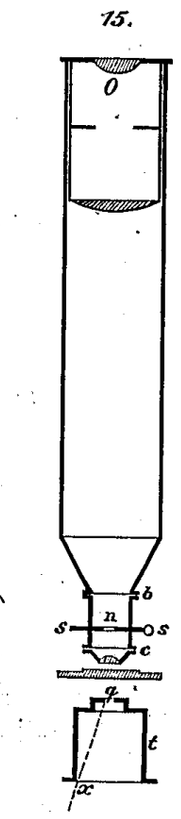


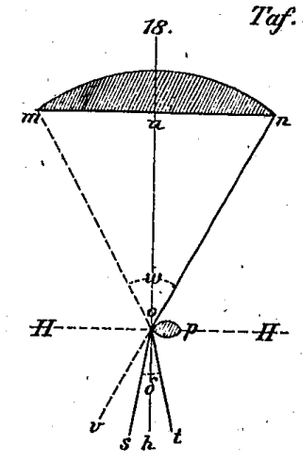


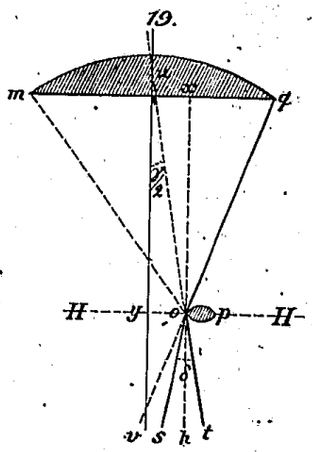


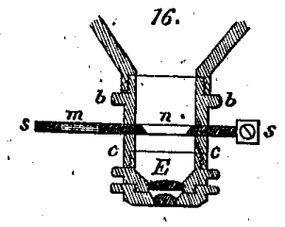


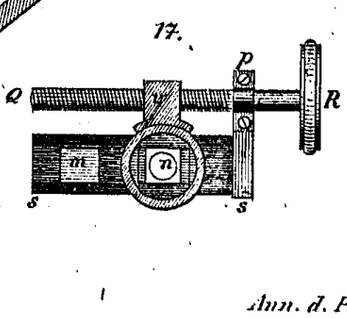


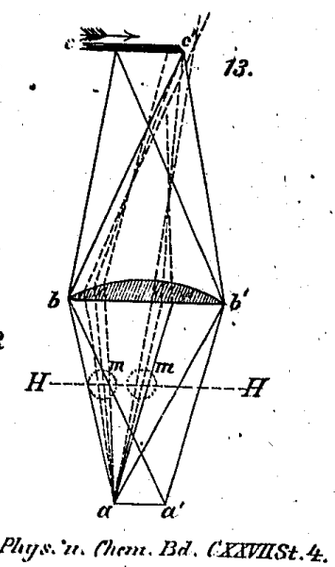


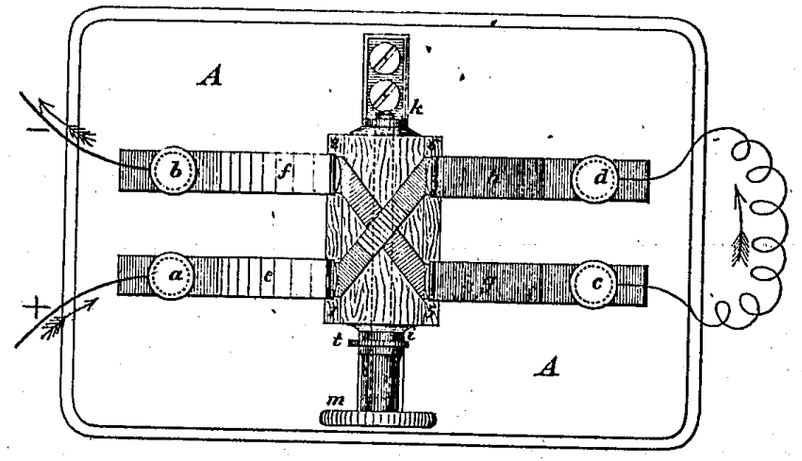


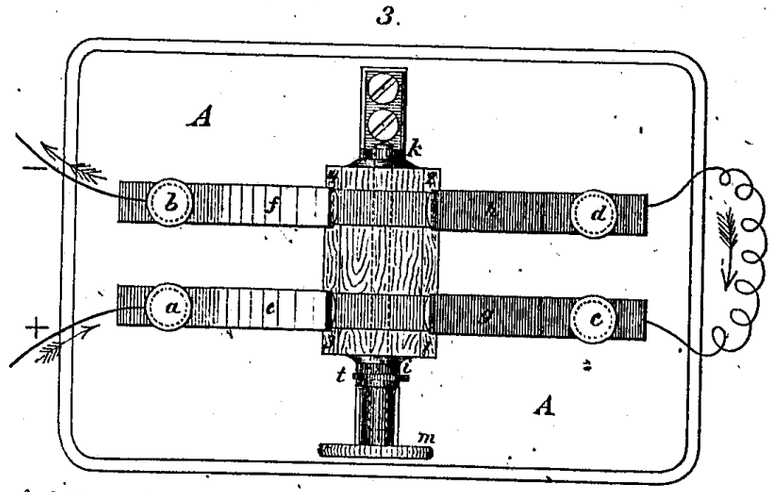


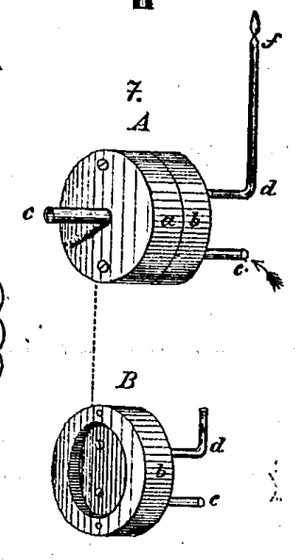


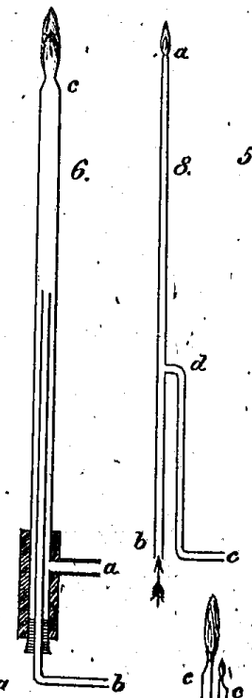


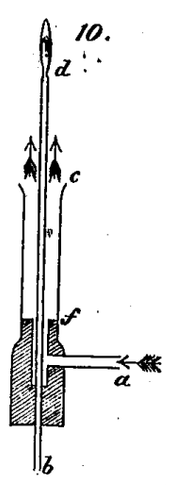


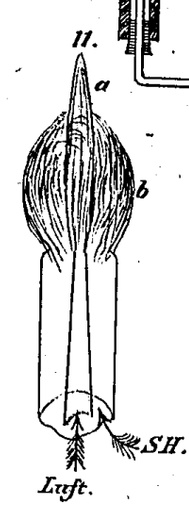


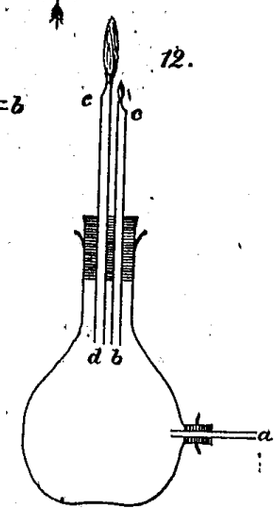


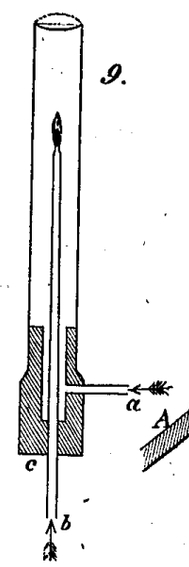












A. Schütze in Stein gest.