

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-physikalische Klasse
Jahrgang 1909, 14. Abhandlung

Eine neue Form des Ebertschen
Aspirations-Apparates

von

Dr. C. W. Lutz

Mit 1 Tafel

Vorgelegt am 3. Juli 1909

München 1909

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



DRUCKSCHRIFTEN

der

KGL. BAYER. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(mathematisch-physikalische Klasse)

Die mit * bezeichneten Schriften sind zwar nicht in Sonderabdrücken erschienen, es kann aber das Heft der Sitzungsberichte, in dem sie gedruckt sind, zu 1 Mark 20 Pfg. bezogen werden.

In dem nachfolgenden Verzeichnisse ist A. = Abhandlungen, Sb. = Sitzungsberichte.

- Bauernfeind, C. M. v. Beobachtungen und Untersuchungen über Naudet'sche Aneroidbarometer. 1874 1 M. 80 $\frac{1}{2}$
- Gedächtnissrede auf Jos. v. Fraunhofer. 1887 80 $\frac{1}{2}$
- Beetz, W. Antheil der bayer. Akademie der Wissenschaften an der Entwicklung der Electricitätslehre. Rede. 1873 90 $\frac{1}{2}$
- Cranz, C. und K. R. Koch. Untersuchungen über die Vibrationen des Gewehrlaufs. Abh. XIX,3 1899 I. 2 M.
- — — Fortsetzung XX,3 1900 I. 1 M. 60 $\frac{1}{2}$
- — — Abh. XXI,3 1901 II. 80 $\frac{1}{2}$
- *Ebert, Herm. Unsichtbare Vorgänge bei electrischen Entladungen. Sitzb. 1898 XXVIII. Bd. Heft 4.
- * — Zur Mechanik der Glimmlichtphänomene. Sitzb. 1899 XXIX. Bd. Heft 1.
- Periodische Seespiegelschwankungen (Seiches) am Starnberger See. Sitzb. 1900 Heft 3.
- Messungen der elektrischen Zerstreuung im Freiballon. Sitzb. 1900 Heft 3.
- Weitere Beobachtungen der Luftelektrizität in grösseren Höhen. Sitzb. 1901 Heft 1.
- Ueber die Möglichkeit radioaktivirende Emanationen in flüssiger Luft anzureichern. Sitzb. 1903 Heft 1.
- Ebert, Herm. und Hoffmann, B. Versuche mit flüssiger Luft. Sitzb. 1900 XXX. Bd. 20 $\frac{1}{2}$
- Ueber Pultationen von geringer Periodendauer in der erdmagnetischen Feldkraft. 1906, 3 40 $\frac{1}{2}$
- Elster, J. und Geitel, H. Ueber die radioaktive Emanation in der atmosphärischen Luft. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Ueber Methoden zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft an der Erdoberfläche sowie ihres Gehalts an radioaktiver Emanation und die nächsten Ziele dieser Untersuchungen. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Endrös, A. Die Seeschwankungen (Seiches) des Chiemsees mit 2 Tafeln. 1906, 2 1 M.
- Exner, F. Potentialmessungen. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Bericht über die Thätigkeit der luftelektrischen Stationen der Wiener Akademie im abgelaufenen Jahre. Sitzb. 1903 XXXIII. Bd. Heft 2.
- Finsterwalder, S. Die von optischen Systemen grösserer Oeffnung und grösseren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Mit 3 Tafeln. Abh. XVII,3 1891 3 M.
- Ueber die Konstruktion von Höhenkarten aus Ballonaufnahmen (mit 1 Tafel). Sitzb. 1900 Heft 2.
- Eine Grundaufgabe der Photogrammetrie und ihre Anwendung auf Ballonaufnahmen. Abh. 1903.

Sitzungsberichte
der
Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
Mathematisch - physikalische Klasse
Jahrgang 1909, 14. Abhandlung

Eine neue Form des Ebertschen Aspirations-Apparates

von

Dr. C. W. Lutz

Mit 1 Tafel

Vorgelegt am 3. Juli 1909



München 1909
Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

Das von H. Ebert¹⁾ im Jahre 1901 in die luftelektrische Meßtechnik eingeführte Aspirationsprinzip hat sich seither durchaus bewährt. Mit dem „Aspirationsapparat“ gelang es Ebert zuerst, die in der Luft in Form von Ionenladungen vorhandenen positiven und negativen Elektrizitätsmengen in absolutem Maße $\left(\frac{E. \text{ st. } E.}{m^3}\right)$ zu bestimmen. Neben den Ionendichten n_+ und n_- lassen sich mit demselben Apparat noch zwei weitere luftelektrische Elemente, die Ionenbeweglichkeiten v_+ und v_- messen.²⁾

Zahlreiche Beobachter haben an verschiedenen Orten der Erde ein wichtiges Beobachtungsmaterial mittels des Ebertschen Apparates gewonnen.³⁾ Die dabei in apparattechnischer Beziehung gemachten Erfahrungen haben nun mancherlei Wünsche zwecks weiterer Verbesserung des Aspirationsapparates laut werden lassen, namentlich in Hinsicht auf das Meßinstrument, das Exner-Elster-Geitelsche Elektroskop.⁴⁾ Bekanntlich handelt es sich bei den Aspirationsmessungen um die möglichst genaue Ermittlung eines kleinen Ladungsverlustes. Hierzu wird in der bisherigen Weise der Span-

¹⁾ H. Ebert, Phys. Zeitschr. 2, 662, 1901; Ill. Aeronaut. Mitt. 6, 178, 1902; Verh. d. D. Phys. Ges. 7, 35, 1905.

²⁾ H. Mache, Phys. Zeitschr. 4, 717, 1903.

³⁾ Eine Zusammenstellung des Beobachtungsmateriales findet sich bei: A. Gockel, Die Luftelektrizität, Leipzig 1908, S. 31 u. f. und H. Mache und E. v. Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität. Braunschweig 1909, S. 88 u. f.

⁴⁾ Über Fehlerquellen bei Ionenmessungen siehe u. a.: A. Daunerer, Inauguraldissertation, München (Techn. Hochsch.) 1903, S. 14.

nungsverlust direkt gemessen, den der Innenzylinder des Aspirators beim Durchströmen einer bekannten Luftmenge erfährt. Aus diesen beiden Größen und der Kapazität des Apparates kann dann der Ladungsverlust (gleich der in der durchgesaugten Luftmenge enthaltenen Elektrizitätsmenge) berechnet werden. Um nicht allzu große Fehler bei der Messung des meist kleinen Spannungsrückganges zu begehen, muß die Aspirationsdauer für jedes luftelektrische Element auf ca. 15 Min. ausgedehnt werden; die Gesamtmeßdauer für alle vier Elemente beträgt also über $1\frac{1}{2}$ Stunden. Eine wesentliche Abkürzung der Beobachtungszeit dürfte daher, namentlich wegen der meist raschen Veränderlichkeit der luftelektrischen Größen, vor allem anzustreben sein.

Verfeinert man die Ablesung durch Verwendung eines Mikroskopes, so stören die Mängel des Blättchenelektroskopes¹⁾ (Unregelmäßigkeit des Blättchenganges) erst recht, außerdem muß jetzt der Aspirationsapparat erst genau justiert werden und in seiner Lage auch während der ganzen Messung beharren. Ist eine derartige genaue Einstellung schon bei Messungen im freien Gelände unbequem, so wird sie auf bewegten Schiffen oder im Freiballon völlig unmöglich, wie Versuche erst in letzter Zeit wieder gezeigt haben.²⁾

Allen diesen Mängeln abzuhelfen, schien mir das Saitenelektrometer³⁾ in Verbindung mit einem von M. Hurmuzescu⁴⁾ angegebenen variablen Kondensator ganz besonders geeignet. Einen Ebertschen Aspirationsapparat mit Saitenelektrometer und variabler Kapazität hat die Firma Edelmann & Sohn nach meinen Angaben ausgeführt. Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung einen Längsschnitt durch den Apparat, Fig. 2 eine photographische Ansicht von vorne.

¹⁾ Cri-Cri-Erscheinung. H. Ebert, Phys. Zeitschr. 6, 642, 1905.

²⁾ K. W. F. Kohlrausch, Wiener Ber. 118 (IIa), 26, 1909; P. H. Dike, Terrestr. Magnet. 13, 120, 1909.

³⁾ C. W. Lutz, Phys. Zeitschr. 9, 100 und 642, 1908.

⁴⁾ M. Hurmuzescu, Le Radium 5, 331, 1908.

I. Beschreibung des Apparates.¹⁾

Der Innenzylinder *Z* eines Ebertschen Aspirators *A* (Fig. 1) sitzt mittels des vertikalen Trägers *t* auf dem Zuleitungsstab *st* eines Saitenelektrometers *S* auf und steht so mit der Saite *s* in leitender Verbindung. Der Saite gegenüber steht in geringem Abstände (1 bis 4 mm) die mit dem Gehäuse (Erde) leitend verbundene Influenzschneide *J*. Die sonst beim Saitenelektrometer verwendete zweite Schneide kann hier wegfallen, da für diesen Zweck das Elektrometer nur in „Influenzschaltung“ verwendet wird. Wird der Innenzylinder *Z* und damit die Saite geladen, so zieht die Influenzschneide sie zu sich heran, der entstehende Saitenausschlag wird am Okular-Mikrometer des Mikroskopes *M* (Fig. 2) abgelesen. Verwendet wird ein Zeiß-Mikroskop, Apochromatobjektiv 16 mm und Kompensationsokular Nr. 18 von 281facher Vergrößerung.

Da wir es hier, wie noch näher ausgeführt wird, mit einer Art Nullmethode zu tun haben, bei welcher eine ursprüngliche Saitenstellung durch Verschiebung des Kondensators genau wieder herzustellen ist, so ist eine möglichst große Einstellungsempfindlichkeit anzustreben. Dies wurde durch ein besonderes Okularmikrometer erreicht, welches nach Angaben Eberts durch die Firma Zeiß, Jena angefertigt wurde. Dieses Mikrometer (Fig. 3) trägt über und unter dem Mittelteilstrich (30) je ein kleines liegendes, in der Mitte offenes Kreuzchen. Beim Beginne der Aspiration wird das Mikroskop auf seinem Schlitten seitwärts so verschoben, daß der rechte, scharf zu beleuchtende Rand des Saitenbildes die linken inneren Enden der Kreuzchenstriche eben berührt. Fig. 3 zeigt das im Mikroskope sichtbare Bild. Diese Einstellung kann mit größter Schärfe vorgenommen werden. Schon eine Verschiebung des Kondensators um $0,5 \text{ Trommelteile} = \frac{1}{100} \text{ mm}$, entsprechend einer Kapazitätsänderung von $0,0077 \text{ cm}$ (siehe weiter unten S. 9), bringt eine wahrnehmbare Änderung der Saitenstellung

¹⁾ Der Apparat wird von der Firma M. Th. Edelmann & Sohn geliefert.

hervor. Hierin tritt deutlich die Überlegenheit der Hurmuzescuschen Methode, den Ladungsverlust mittels variabler Kapazität zu messen, über die alte Methode hervor, nach welcher ein kleiner Spannungsrückgang durch das relativ unempfindliche Blättchenelektroskop gemessen wird.

Das Okularmikrometer wird in Volt geeicht, so daß zu jedem Saitenausschlag (in Mikrometerteilen von 0 links an gerechnet) einer zu zeichnenden Eichkurve das Potential des Innenzylinders Z in Volt entnommen werden kann (s. Fig. 4).

Am oberen Teil des Saitenelektrometers ist der variable Kondensator K (Fig. 1 und 2) angebracht. Er besteht aus einem senkrecht in t eingesteckten dünnen zylindrischen Stiftchen k und einem Röhrchen r , zentrisch in dem verschiebbaren Rohrsystem $R_1 R_2$ gelagert. Mittels Zahnstange und Trieb läßt sich Rohr R_2 und damit r im Rohr R_1 verschieben und die Größe dieser Verschiebung an der in 100 Teile geteilten Trommel O (Fig. 2) ablesen. Einer vollen Trommelumdrehung entspricht eine Verschiebung des Kondensators um 2,1 cm. In seiner Normalstellung ist der Kondensator völlig zusammengeschoben, der Index i (Fig. 2) steht auf Trommelteil O . Nach Öffnung des Deckels d (Fig. 1 und 2) kann man in den Kondensator blicken, um sich von der richtigen Zentrierung des Stiftes k innerhalb r zu überzeugen. Auch kann man durch diese Öffnung zu der kleinen Schraube a (Fig. 1) gelangen, welche den Träger t im Stift st festklemmt, und so für eine richtige Zentrierung des Innenzylinders Z innerhalb des Aspirationsrohres A sorgen, wenn sich etwa einmal Z seitwärts gedreht haben sollte. Mittels eines Steckdeckels D (Fig. 2) kann der Aspirator vorne und durch den Schieber sch hinten verschlossen werden. Der ganze Aspirations-Apparat ist in einem tragbaren Holzkasten eingebaut, dessen vordere und hintere Seitenwand herausgenommen werden kann. Vor dem Wiedereinstellen dieser Seitenwände ist der vordere Rohrteil des Mikroskopes herauszuziehen und in das Loch l unter der Turbine T einzustecken. Dort wird auch der Schlüssel zum Aufziehen der Turbine beim Trans-

porte verwahrt. Die beiden Holzklötze h_1 und h_2 (Fig. 2) dienen zur Aufnahme der in einer Blechhülse steckenden Zamboni-Ladesäule, die Klötze h_3 und h_4 zur Aufbewahrung des Macheschen Zusatzkondensators U .

II. Wirkungsweise und Konstanten des Apparates.

Der Innenzylinder Z des Apparates (Fig. 1) sei auf ein Potential V Volt aufgeladen. Die Gesamtkapazität (Zylinderkondensator AZ + variabler Kondensator K + Saitenelektrometer S) bei ganz zusammengeschobenem Kondensator K betrage C cm. Während der Aspiration wird die Ladung des Innenzylinders:

$$M = C \cdot V$$

durch die im Luftstrome mitgeführten Ionen mehr und mehr neutralisiert, das ursprüngliche Potential V sinkt nach Durchsaugen einer bestimmten Luftmenge F auf einen Betrag V_1 . Verkleinert man nun die Kapazität C des Apparates durch Ausziehen des Kondensators so lange (um ΔC), bis das Anfangspotential V (dieselbe Saiteneinstellung siehe Fig. 3) wieder erreicht ist, so ist der Ladungsverlust ΔM :

$$\Delta M = V \cdot \Delta C.$$

Kennt man also V und ΔC , so läßt sich ΔM , d. i. die in der durchgesaugten Luftmenge F enthaltene Elektrizitätsmenge berechnen.

Zur Ermittlung des Potentials V aus dem Saitenschlag muß das Okularmikrometer wie erwähnt in Volt geeicht werden. Die Eichkurve wird zweckmäßig auf Millimeterpapier im Maßstabe 1 Volt = 1 mm (Ordinatenachse), 1 Mikrometerteil gleich 10 mm (Abszissenachse) gezeichnet. Fig. 4a zeigt in kleinerem Maßstabe eine Eichkurve bei stärkster Saitenspannung (Trommelteil 0 des Spannkopfes), Fig. 4b eine solche bei nur wenig entspannter Saite (Trommelteil 3), beide bei 4 mm Abstand der Influenzschneide von der Saite. Fig. 4c wurde bei stärkster Saitenspannung aber kleinerem Schneiden-

abstand ($= 1,5$ mm) erhalten. Je nach dem Spannungsbereiche, in dem man zu arbeiten gedenkt, wird man also Schneidenabstand und Saitenspannung¹⁾ wählen. Direkte Messungen ergaben folgende Empfindlichkeiten bei $4a:1$ Volt $= 0,1$ Mikr. T., bei $4b:1$ Volt $= 0,2$ Mikr. T., bei $4c:1$ Volt $= 0,3$ Mikr. T.

Aus Fig. 4a ist zu ersehen, daß die Saite erst bei einem Potential von ca. 630 Volt das Ende des Okularmaßstabes erreicht. Um noch höhere Spannungen messen zu können, wie dies vielleicht zum Einfangen besonders träger Ionen gewünscht werden könnte, ist der Schneidenabstand zu vergrößern, was bei einiger Geschicklichkeit vom Beobachter selbst vorgenommen werden kann.²⁾

Sollte bei größeren Ausschlägen das Seitenbild im Mikroskop unscharf werden, wie dies nach einer Verstellung der Influenzschneide eintreten kann, so ist der Träger der Schneide um seine Längsachse zu verdrehen. Zu diesem Zwecke lockert man, nach Herausnehmen des Elektrometereinsatzes, die Schraube durch die Deckplatte und verdreht dann den Schneidenträger entsprechend, bis die Bewegung der Saite genau senkrecht zur Mikroskopachse erfolgt, das Saitenbild also an jeder Stelle des Okularmikrometers scharf erscheint. Erst dann wird die Befestigungsschraube des Schneidenträgers wieder angezogen.

Hier sei gleich eine vorzügliche Eigenschaft des Saitenelktrometers erwähnt, nämlich seine äußerst geringe Empfindlichkeit gegen Neigungen und Erschütterungen, die selbst bei etwas entspannter Saite (Eichkurve Fig. 4b) noch besteht.

¹⁾ Um die Saite beim Transporte nicht zu gefährden, wird sie vom Fabrikanten beim Verschicken eines Elektrometers entspannt. Sie ist daher vor der Eichung ein für allemal anzu-pannen, wobei die Regel gilt: Anspannen der Saite $=$ Herausdrehen des Spannkopfes, abnehmende Zahlen der Teiltrommel. Teilstrich 0 (Anschlag) $=$ stärkste Saitenspannung.

Entspannen der Saite $=$ Hineindreihen des Spannkopfes, zunehmende Zahlen der Teiltrommel. Anschlag $=$ schwächste Saitenspannung.

²⁾ C. W. Lutz, Phys. Zeitschr. 9, 101, 1908.

Infolge dieser Eigenschaft wird sich jetzt der Ebertsche Aspirationsapparat auch zu Messungen auf Schiffen und im Freiballon verwenden lassen, wobei auch die an jedem Elektrometer angebrachte Temperaturkompensation von Vorteil sein wird.

ΔC kann aus der Trommelablesung berechnet werden, wenn die Kapazitätsänderung c beim Verschieben des Kondensators um seinen ganzen Hub (100 Trommelteile) bekannt ist. Diese Konstante wird auf experimentellem Wege bestimmt.

Mittels eines Harmschen Kondensators¹⁾ wird die Gesamtkapazität des Aspirations-Apparates für die beiden Endstellungen des Kondensators 0 und 100 gemessen. Sie beträgt für den beschriebenen Apparat bei ganz zusammengeschobenem Kondensator (Trommelteil 0) 25,59 cm bei ganz ausgezogenem Kondensator (Trommelteil 100) 24,04 cm. Einer Verschiebung des Kondensators um 100 Trommelteile entspricht also eine Kapazitätsverminderung $c = 25,59 - 24,04 = 1,55$ cm. Zu jeder Verschiebung um a Trommelteile läßt sich jetzt die Kapazitätsabnahme ΔC angeben:

$$\Delta C = \frac{1,55}{100} \cdot a \text{ cm.}$$

Dies setzt voraus, daß die Kapazitätsabnahme proportional der vom Kondensator zurückgelegten Wegstrecke erfolgt, was zu erwarten ist, wenn die Bewegung des Kondensatorröhrchens r (Fig. 1) achsial zum Stift k erfolgt. Um dies nachzuprüfen, ladet man das Saitenelektrometer bei zusammengeschobenem Kondensator auf und liest das zu dieser Kondensatorstellung $a = 0$ gehörige Potential V ab. Nun verschiebt man den Kondensator und erhält zu einer anderen Trommelstellung a_1 einen größeren Saitenausschlag, also ein höheres Potential V_1 . So fortfahrend lassen sich eine Reihe zusammengehöriger Werte V und a gewinnen, mit deren Hilfe sich eine Eichkurve (Fig. 5a bis e) zeichnen läßt. Wie man aus der Fig. 5

¹⁾ F. Harms, Phys. Zeitschr. 5, 47, 1904.

ersieht, ergibt die Eichung des Kondensators für verschiedene Anfangspotentiale (benützt wurde die Eichkurve Fig. 4 b) in der Tat stets eine Gerade.

Hier ist noch ein Umstand zu erwähnen. Die Kapazität des Saitenelektrometers ändert sich mit dem Saitenausschlag. Je größer der Saitenausschlag ist, je näher also die Saite der geerdeten Influenzschneide steht, desto größer ist auch die Kapazität. Freilich kann diese Kapazitätsänderung nur sehr klein sein, denn es ergaben sich bei wiederholten Messungen nach der Harmschen Methode für alle Saitenausschläge stets dieselben, S. 9 angegebenen Kapazitätswerte.

Nach der Methode von Th. Wulf¹⁾ gelang es, diese geringen Kapazitätsänderungen ihrem absoluten Werte nach zu messen. Steht die Saite bei ungeladenem Elektrometer 4 mm von der Influenzschneide entfernt (Eichkurve Fig. 4 a und b) und nähert sie sich um die ganze Länge des Okularmaßstabes (= 0,6 mm) der Influenzschneide, so wächst dadurch die Kapazität um 0,007 cm. Bei 1,5 mm anfänglichem Schneidenabstande (Eichkurve 4 c) beträgt diese Größe 0,009 cm. Diese Werte sind also so klein, daß sie bei unseren Messungen völlig vernachlässigt werden dürfen, um so mehr, als dabei die Saite nur einen kleinen Teil des Okularmaßstabes durchläuft. Es gelten also für alle Saitenausschläge die S. 9 angegebenen, nach der Harmsschen Methode bestimmten Kapazitätswerte, deren Richtigkeit sich übrigens mit Hilfe des variablen Kondensators leicht in folgender Weise nachprüfen läßt. Bei ganz zusammengeschobenem Kondensator (Kapazität C) ladet man den Apparat auf ein Potential V auf und zieht nun den Kondensator völlig aus. Hierdurch sinkt die Kapazität auf den Betrag C_1 , das Potential steigt auf den Wert V_1 . Da hiedurch die Ladung (Elektrizitätsmenge) auf dem Elektrometer nicht verändert wurde, so gilt, wie eine einfache Rechnung zeigt:

$$C = C_1 \cdot \frac{V}{V_1}.$$

¹⁾ Th. Wulf, Phys. Zeitschr. 10, 253, 1909.

Durch Wiederrückdrehen des Kondensators kann man sich davon überzeugen, daß keine Elektrizität durch Isolationsmangel während der Messung verloren ging. Setzt man für C_1 den nach Harms bestimmten Wert $C_1 = 24,04$ cm ein und bestimmt aus den abgelesenen Saitenausschlägen mittels der Eichkurve die Potentiale V und V_1 in Volt, so muß sich für C der bereits bekannte, nach der Harmsschen Methode ermittelte Wert $C = 25,59$ cm ergeben. Nachstehende Tabelle gibt in der ersten und zweiten Spalte die Anfangs- und Endpotentiale V und V_1 (aus Eichkurve Fig. 4b), wie sie sich bei der Eichung des Kondensators (S. 9 und Fig. 5) ergaben. In der dritten Spalte sind die Differenzen $V_1 - V$ und in der vierten die nach obiger Formel berechneten Werte für C angeführt.

V	V_1	$V_1 - V$	C
362,5	384,9	22,4	25,53
289,3	306,9	17,6	25,51
227,9	243,0	15,1	25,63
149,7	159,7	10,0	25,65
110,9	118,1	7,2	25,60
Mittelwert			25,58 cm

Der Mittelwert $C = 25,58$ cm stimmt also sehr befriedigend mit dem durch direkte Messung gefundenen Wert $C = 25,59$ cm überein.

Ist in der beschriebenen Weise V und ΔC ermittelt, so können wir bei bekannter Fördermenge F (vom Fabrikanten angegeben¹⁾ die im m^3 durchgesaugter Luft enthaltene Elektrizitätsmenge E berechnen.

$$\Delta M = E = \frac{V}{300} \cdot \frac{1,55}{100} \cdot \frac{a}{F} \cdot \frac{\text{E. st. E.}}{m^3}.$$

Wie die Messung am zweckmäßigsten im einzelnen durchgeführt wird, soll im nächsten Abschnitt gezeigt werden.

¹⁾ Diese Angaben wurden nach der Ebertschen Rauchmethode (Ill. Aeronautische Mitt., Heft 4, 1902) nachgeprüft. Dabei zeigte sich, daß diese Methode bei einiger Sorgfalt völlig befriedigende Werte liefert.

III. Handhabung des Apparates, Berechnung der Messungen.

1. Ionendichten n_+ und n_- .

Man stellt den Aspirations-Apparat auf einer horizontalen Unterlage auf, erdet ihn (Klemme e , Fig. 2), öffnet den Schieber sch , entfernt den Deckel D und den Verschlüßring v von der Turbine T , zieht diese auf, setzt sie durch Abwärtsdrücken des kleinen Pedales p in Gang und rückt die Nummernscheibe n auf Ziffer „5“. Mittels einer Zambonisäule wird sodann der Innenzylinder Z (Fig. 1) aufgeladen und beim ersten Glockensignal (Glockenzeichen „0“) der Saitenausschlag (rechter scharf zu beleuchtender Saitenrand) abgelesen. Sogleich nachher verschiebt man durch Drehen der Schlittenschraube sl (Fig. 2) das Mikroskop so lange, bis das Saitenbild die in Fig. 3 gezeichnete Lage einnimmt. Nach dieser Einstellung zieht man die Turbine neu auf und wartet das nächste Glockenzeichen „1“, das beim vorbeschriebenen Apparat nach 149 sec ertönt, ab. Zwischen je zwei Glockenzeichen fördert die Turbine $F = 0,19878 \text{ m}^3$ Luft. Die darin enthaltene Elektrizitätsmenge genügt in den meisten Fällen bereits, um einen deutlich wahrnehmbaren Rückgang des Saitenausschlages hervorzubringen. Wenn nicht, so wartet man ein weiteres Glockenzeichen „2“ ab, vorher neu aufziehend. Man hat dann die doppelte Fördermenge $2F = 2 \cdot 0,19878 = 0,39756 \text{ m}^3$ in die Rechnung einzusetzen. Nach Beendigung der Aspiration (bei Glockenzeichen „1“ bzw. „2“) verschiebt man mittels des Triebes O (Fig. 2) den Kondensator so lange nach auswärts, bis die Saite genau wieder in ihre Anfangslage zurückgekehrt ist (Fig. 3). Die Größe dieser Verschiebung wird in Trommelteilen a abgelesen. Um den toten Gang des Kondensatortriebes zu beseitigen, ist immer nur nach rechts (Uhrzeigersinn) zu drehen. Hat man beim Einstellen der Saite auf die Kreuzchenspitzen die Teilscheibe 0 versehentlich zu weit nach rechts gedreht, so drehe man ein gutes Stück zurück, um durch erneutes Rechtsdrehen nunmehr die richtige Einstellung zu erreichen. Zu demselben Zweck läßt sich die Scheibe 0 einige Teilstriche über Null hinaus zurückdrehen,

so daß auch die Einstellung auf den Nullpunkt durch eine Rechtsdrehung bewirkt werden kann.

Ist in der beschriebenen Weise, etwa für eine $+$ Ladung des Apparates die Messung durchgeführt, so wird der Innenzylinder durch leichtes Berühren mit der Hand entladen, das Mikroskop zurückgedreht, so daß die Saite wieder auf O (links) einsteht, nunmehr $-$ aufgeladen und weiter ganz in derselben Weise verfahren, wie eben angegeben. Während der ganzen Messung braucht die Turbine nicht abgestoppt zu werden, sie ist lediglich nach jedem Glockenzeichen neu aufzuziehen. Mittels der drei Größen V in Volt, a in Trommelteilen, F in m^3 berechnet sich die im m^3 enthaltene $-$ Elektrizitätsmenge (wenn der Innenzylinder $+$ geladen war) oder $+$ Elektrizitätsmenge (bei $-$ geladenem Innenzylinder) nach S. 11 zu:

$$E = \frac{1,55}{300 \cdot 100} \frac{V \cdot a}{F} \frac{\text{E. st. E.}}{m^3}.$$

Von dieser Elektrizitätsmenge E ist noch der Ladungsverlust über die Isolatoren abzuziehen. Zur Messung desselben wird das Elektrometer aufgeladen, das Aspirationsrohr vorne durch den Steckdeckel, hinten durch den Schieber verschlossen, und nunmehr der Apparat längere Zeit sich selbst überlassen. Die durch mangelhafte Isolation verlorengelungene Elektrizitätsmenge wird gerade so gemessen, wie E , nur daß jetzt die Turbine stillsteht.

Bei der vorzüglichen Isolation des Elektrometers (zwei Stopfen aus echtem Bernstein) ist dieser Ladungsverlust für die Aspirationsdauer von $2\frac{1}{2}$ bis 5 Min. so gering, daß er meist außerhalb der Fehlergrenze der Methode liegt und nicht weiter berücksichtigt zu werden braucht.

Wichtig sind außer den Absolutwerten E_+ und E_- namentlich die Differenzen $E_+ - E_- = Q$, sowie die Verhältnisse $q = \frac{E_+}{E_-}$, welche ein Maß für die Unipolarität geben.

Mit Rücksicht auf die bekannte Ladung der Gasionen $\varepsilon = 4,6 \cdot 10^{-10}$ E. st. E. ergibt sich die $+$ und $-$ Iondichte zu:

$$n_+ = \frac{E_+}{4,6 \cdot 10^{-4}} + \text{Ionenzahl im cm}^3$$

$$n_- = \frac{E_-}{4,6 \cdot 10^{-4}} - \text{Ionenzahl im cm}^3.$$

2. Ionenbeweglichkeit v_+ und v_- .

Man ladet den Innenzylinder $Z+$, steckt den beigegebenen Macheschen Hilfskondensator¹⁾ vor, erdet ihn und bestimmt in der unter 1. S. 12 angegebenen Weise den Ladungsverlust E_1 .

Hierauf ladet man auch den Innenzylinder des Vorsteckkondensators etwa mittels einer kleinen Kalomelbatterie auf ein niederes, ebenfalls $+$ Potential von ca. $\delta V = +16$ Volt auf und mißt aufs neue den Ladungsverlust E_2 , der jetzt bedeutend geringer ausfällt, da ein Teil der $-$ Ionen bereits im Vorschaltkondensator abgefangen wird. E_1 und E_2 seien, wenn nötig, schon wegen der Isolationsverluste korrigiert. Die Berechnung der E_1 und E_2 geschieht nach der Formel S. 13, nur ist hier für F die etwas geringere Fördermenge bei vorgestecktem Kondensator $F_s = 0,19020 \text{ m}^3$ (zwischen 2 Glockenzeichen) einzusetzen.

Aus der Gleichung

$$\Delta V = \delta V \cdot \frac{E_1}{E_1 - E_2}$$

berechnet sich jene Potentialdifferenz ΔV , die angelegt werden müßte, um im Vorsteck-Kondensator eben noch alle Ionen abzufangen. Hieraus ergibt sich dann nach Mache die Beweglichkeit der $-$ Ionen zu:

$$v_- = \frac{F_s \cdot \log_{\text{nat}} \frac{R}{r}}{2\pi L \cdot \Delta V} \quad \frac{\text{cm}}{\text{Volt}} \left| \frac{\text{sec}}{\text{cm}} \right.$$

¹⁾ H. Mache, Phys. Zeitschr. 4. 717, 1903. H. Mache und E. von Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität. Braunschweig 1909, S. 95.

worin bedeutet:

F_s = Fördermenge in $\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$ bei vorgeschaltetem Kondensator $= 1294 \frac{\text{cm}^3}{\text{sec}}$.

R = Innerer Radius des Kondensatorrohres (Mache) $= 1,5 \text{ cm}$.

r = Radius des Innenzylinders des Vorsteck-Kondensators $= 0,25 \text{ cm}$.

L = Länge desselben $= 12,0 \text{ cm}$.

In ganz derselben Weise wird bei — geladenen Innenzylindern das v_+ bestimmt.

Aus den vier Größen n_+ n_- und v_+ v_- zusammen läßt sich die spezifische Leitfähigkeit λ der Luft berechnen:

$$\lambda = \varepsilon (v_+ n_+ + v_- n_-).$$

Nachstehendes Beispiel soll die Anwendung der Formeln erläutern:

Am 10. August 1909 3^h p. m. wurden im Garten der Technischen Hochschule bei heiterem Wetter folgende Werte erhalten:

1. Ionendichten n_+ und n_- .

+ Ladung, Saitenausschlag $a = 31,9$, $V = 232 \text{ Volt}$ (Eichkurve Fig. 4 b), Kondensatorverschiebung nach 149 sec Aspirationsdauer (1 Glockenzeichen) von 0 auf 8,7, also $a = 8,7 \text{ Trommelteile}$; nach S. 13.

$$E_- = \frac{1,55}{300 \cdot 100 \cdot 0,19878} \cdot V \cdot a = 2,60 \cdot 10^{-4} \cdot 232 \cdot 8,7$$

$$E_- = 0,52 \frac{\text{E. st. E.}}{\text{m}^3}.$$

— Ladung: $a = 32,2$, $V = 236 \text{ Volt}$, Kondensatorverschiebung von 8,7 bis 18,7, $a = 10,0 \text{ Tr. T.}$ Der Kondensator braucht bei der zweiten Messung nicht erst auf 0 zurückgestellt zu werden.

$$E_+ = 2,60 \cdot 10^{-4} \cdot 236 \cdot 10,0 = 0,61 \frac{\text{E. st. E.}}{\text{m}^3}.$$

Isolationsprüfung.

Dieselbe wird am besten am Anfange oder nach Beendigung der gesamten Messung angestellt. Bei geschlossenem Apparat und stillstehender Turbine ergaben sich folgende Werte:

— Ladung $V = 236$ Volt, nach 60 Min. Kondensatorverschiebung $a = 10,0$ Tr. T. Verlust e in 149 sec (Aspirationsdauer):

$$e = \frac{1,55}{300 \cdot 100} \cdot 236 \cdot 10,0 \cdot \frac{149}{60 \cdot 60}$$

$$e = 0,005 \text{ E. st. E.}$$

Also zu vernachlässigen.

$$Q = E_+ - E_- = 0,61 - 0,52 = 0,09$$

$$q = \frac{E_+}{E_-} = \frac{0,61}{0,52} = 1,17$$

$$n_+ = \frac{E_+}{4,6 \cdot 10^{-4}} = \frac{0,61}{4,6 \cdot 10^{-4}} = 1330 + \text{Ionen im cm}^3$$

$$n_- = \frac{0,51}{4,6 \cdot 10^{-4}} = 1110 - \text{Ionen im cm}^3.$$

2. Ionenbeweglichkeiten v_+ und v_- .

a) Bei geerdetem Vorschaltkondensator:

+ Ladung $V = 230$ Volt, $a = 7,7$ Tr. T.

$$E_{1-} = \frac{1,55 \cdot a \cdot V}{300 \cdot 100 \cdot 0,1902} = 2,71 \cdot 10^{-4} \cdot 230 \cdot 7,7$$

$$= 0,48 \frac{\text{E. st. E.}}{\text{m}^3}$$

— Ladung $V = 232$ Volt, $a = 8,3$ Tr. T.

$$E_{1+} = 2,71 \cdot 10^{-4} \cdot 232 \cdot 8,3 = 0,52 \frac{\text{E. st. E.}}{\text{m}^3};$$

b) Vorschaltkondensator auf $\delta V = \pm 16$ Volt geladen:

$$E_{2-} = 0,17 \cdot \frac{\text{E. st. E.}}{\text{m}^3}$$

$$E_{2+} = 0,25 \cdot \frac{\text{E. st. E.}}{\text{m}^3}.$$

$$\begin{aligned} + \text{Ladung } \Delta V &= \delta V \cdot \frac{E_1}{E_1 - E_2} \\ &= 16 \cdot \frac{0,48}{0,48 - 0,17} = 24,8 \text{ Volt} \end{aligned}$$

$$- \text{Ladung } \Delta V = 16 \cdot \frac{0,52}{0,52 - 0,25} = 30,8 \text{ Volt}$$

$$v_- = \frac{F_s \cdot \lognat \frac{R}{r}}{2 \pi L \cdot \Delta V} = \frac{1294 \cdot \lognat \frac{1,5}{0,25}}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,0 \cdot \Delta V}$$

$$= v_- = 1,24 \frac{\text{cm} \mid \text{sec}}{\text{Volt} \mid \text{cm}}$$

$$v_+ = 0,99 \frac{\text{cm} \mid \text{sec}}{\text{Volt} \mid \text{cm}}$$

$$\lambda = \varepsilon (v_+ n_+ + v_- n_-)$$

$$= 4,6 \cdot 10^{-10} (0,99 \cdot 1330 + 1,24 \cdot 1110) \cdot 300$$

$$\lambda = 3,71 \cdot 10^{-4} \text{ E. st. E.}$$

Die vorstehenden Messungen wurden alle im Physikalischen Institute der Technischen Hochschule ausgeführt. Herr Prof. Dr. H. Ebert hat mir die hiezu nötigen Apparate in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestellt und auch sonst meine Arbeit durch wertvolle Ratschläge auf das wirksamste gefördert, wofür ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank aussprechen möchte.

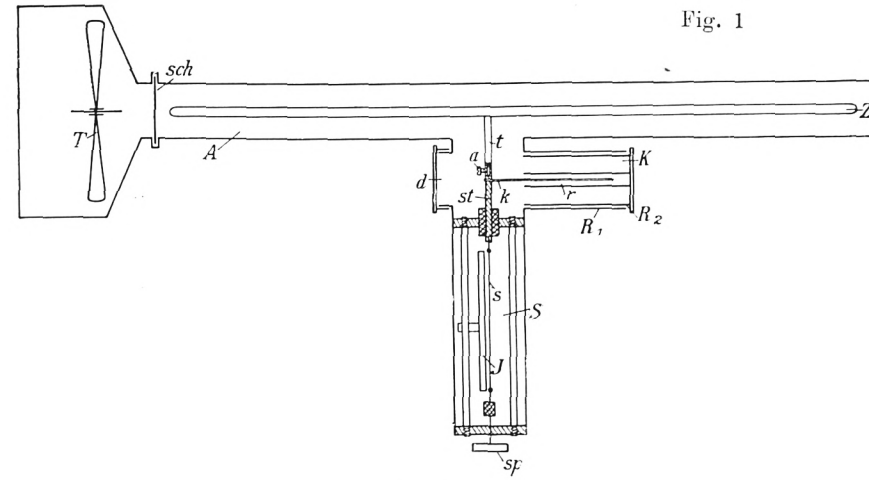


Fig. 1

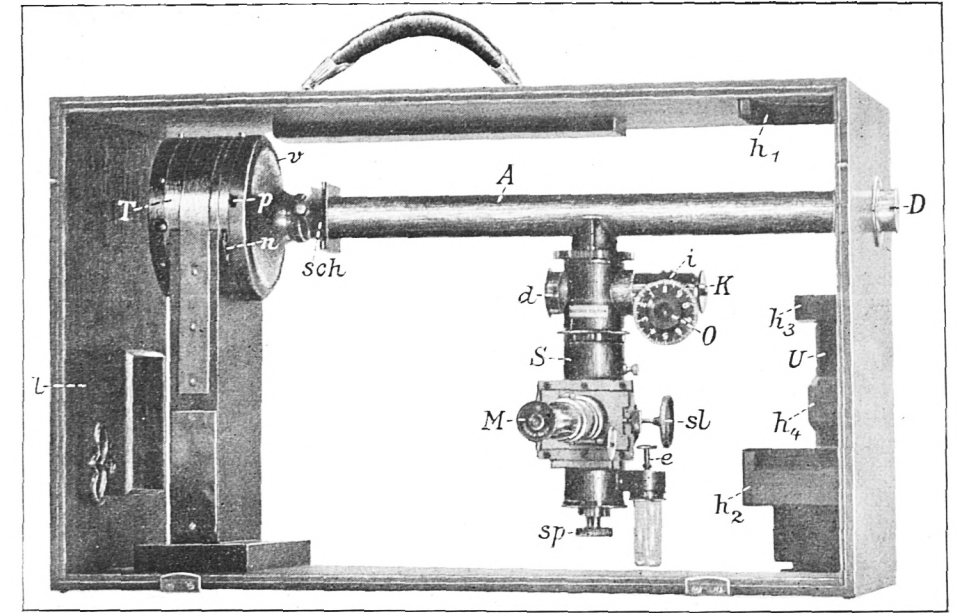


Fig. 2

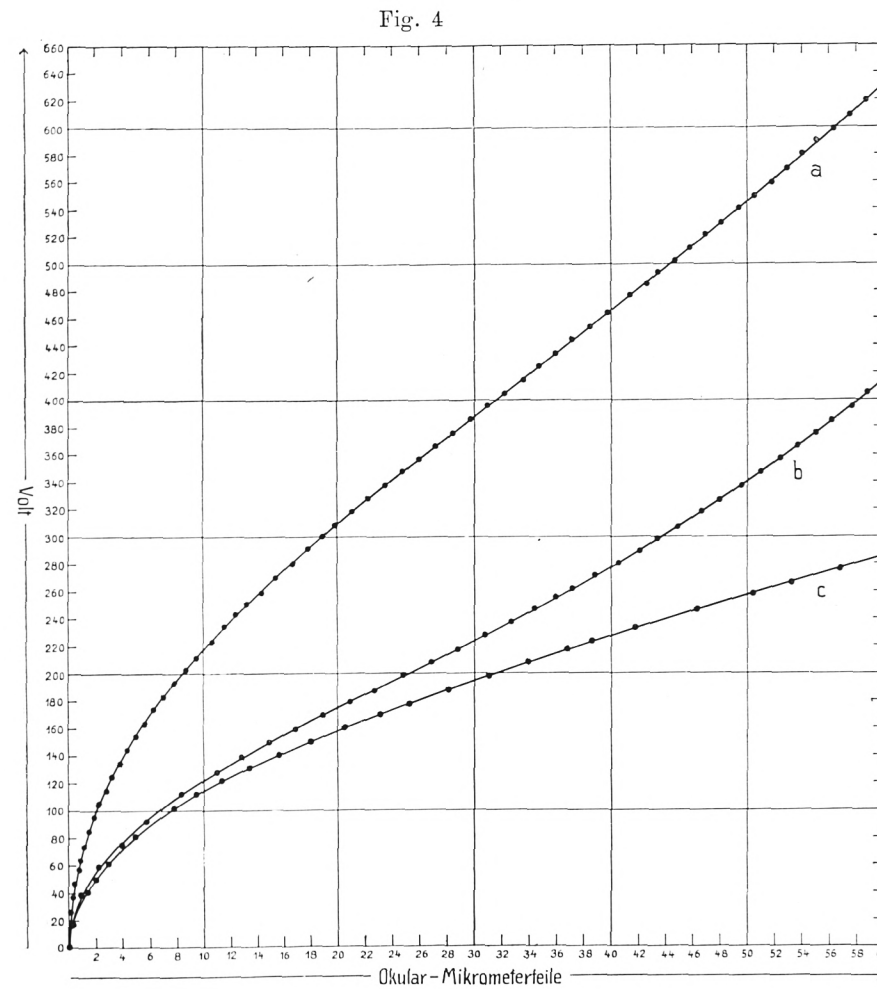


Fig. 4

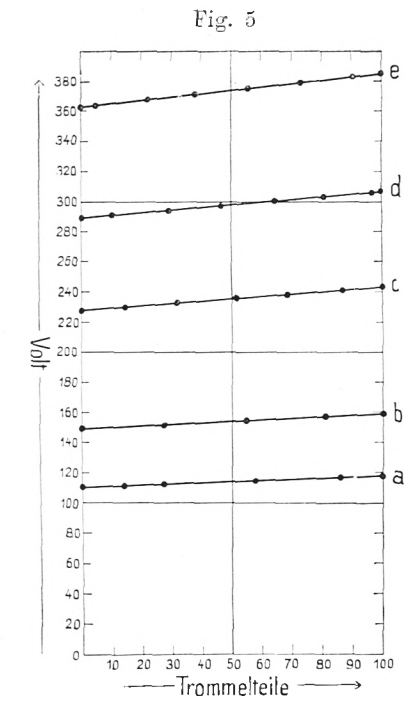


Fig. 5

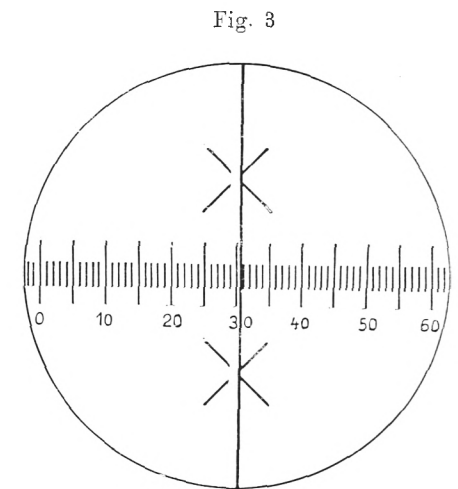


Fig. 3