Schriften
des
Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein.

Bogen 1—14. **Band XVI Heft 1.** **1914.**
Seite 1—206.

Vorstand: Geh. Med.-R. Prof. Dr. **V. Hensen,** Präsident; Geh.-R. Prof. Dr. **L. Weber,** Erster Geschäftsführer; Prof. Dr. **Reibisch,** Zweiter Geschäftsführer; Stadtrat a. D. **F. Kähler,** Schatzmeister; Lehrer **O. Strohmeyer,** Bibliothekar; Geh. Just.-R. **Müller,** Oberlehrer Prof. Dr. **Langemann,** Geh.-R. Prof. Dr. **Reinke,** Prof. Dr. **Johnsen,** Prof. Dr. **Mumm,** Prof. Dr. **E. Wüst,** Beisitzer.

Abhandlungen. — Sitzungsberichte.

Inhalt der Abhandlungen: R. Müns: Über Ionisation und Radioaktivität der Atmosphäre in Kiel. — John Breckwoldt: Die hydrographischen Veränderungen in Schleswig-Holstein. — H. Zahn: Über die Strahlung der Natriumflamme. — L. Weber: Meteorologische Beobachtungen im Jahre 1912 und 1913.

Über Ionisation und Radioaktivität der Atmosphäre in Kiel.

Von **R. Müns.**

Einleitung.

Die Forschungen auf dem Gebiete der Luftelektrizität nahmen ihren Anfang mit den berühmten Versuchen Franklin's, welche zu der Erfindung des Blitzableiters geführt haben. Durch die Franklinschen Versuche war die elektrische Natur des Gewitters und damit eine Potentialdifferenz zwischen Atmosphäre und Erde festgestellt. Kurze Zeit darauf gelang es Le Meunier, derartige Potentialdifferenzen nicht nur während eines Gewitters, sondern auch bei vollkommen wolkenlosem Himmel nachzuweisen. Durch diesen Nachweis der stets vorhandenen Potentialdifferenz zwischen Atmosphäre und Erde, durch die Erkenntnis des die Erde umgebenden elektrischen Feldes war der erste Schritt zur Erforschung der Luftelektrizität getan.

Die zweite grundlegende Tatsache war die Erkenntnis der elektrischen Leitfähigkeit der Atmosphäre oder der „Zerstreuung der Ladung in die umgebende Luft" durch Coulomb[1]) im Jahre 1785.

[1]) Coulomb, Mém. de l'Acad. de Paris (1785) pg. 616.

LIBRARY OF CONGRESS
DUPLICATE
EXCHANGE

Coulomb stellte für den Ladungsverlust ein Gesetz auf, das nach ihm benannte Zerstreuungsgesetz.

Die Versuche von Matteucci[1]), welche das Coulomb'sche Gesetz umzustoßen drohten, fanden wenig Beachtung. Systematische Untersuchungen über das Leitvermögen der freien Atmosphäre hat zuerst Linß[2]) angestellt. Er erkannte die Wichtigkeit der Elektrizitätsleitung der Luft für die Theorien der atmosphärischen Elektrizität.

Durch die Linß'schen Versuche sind die luftelektrischen Forschungen in neue Bahnen gelenkt worden. Jedoch war seine Methode zu primitiv, als daß sie den gewünschten Erfolg hätte bringen können.

Als die eigentlichen Begründer der modernen Theorie der Luftelektrizität sind die Herren Elster und Geitel in Wolfenbüttel anzusehen. Sie vervollkommneten die Linß'sche Methode und konstruierten den ersten brauchbaren Apparat zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Luft, den nach ihnen benannten Zerstreuungsapparat[3]). Sie nahmen umfangreiche Zerstreuungsmessungen an den verschiedensten Orten vor. Dabei fiel ihnen auf, daß die elektrische Zerstreuung in abgeschlossenen Räumen, Kellergewölben und Höhlen bedeutend größer sei als die der freien Atmosphäre. Ihre Versuche führten zu der Annahme, daß die Elektrizitätszerstreuung der Luft auf dem Vorhandensein freier Ionen beruht. Die Ungültigkeit des Coulomb'schen Gesetzes für gewisse Fälle[4]) fand ihre Aufklärung und das Vorhandensein eines Sättigungsstromes wurde nachgewiesen.

Da das Verhalten abgeschlossener Luftmengen Ähnlichkeit zeigte mit dem durch radioaktive Stoffe künstlich ionisierter Gase, so führten Elster und Geitel die Ionisation der Luft auf die Anwesenheit radioaktiver Stoffe zurück[5]). Rutherford[6]) hatte gefunden, daß die Zerfallsprodukte radioaktiver Stoffe sich auf die Oberfläche negativ geladener Körper niederschlagen und diese selbst radioaktiv machen.

Von diesen Tatsachen gingen Elster und Geitel bei ihren weiteren Versuchen[7]) aus, die sie dazu führten, ein einfaches Verfahren zur Bestimmung der Radioaktivität der Luft auszuarbeiten[8]).

[1]) C. Matteucci, Ann. Chim. Phys. 27, pg. 133 (1849) und 28, 385 (1850).
[2]) W. Linß, Met. Z.-S. 4, 345 (1887) und Elektrot. Z.-S. 11, 506 (1890).
[3]) J. Elster und H. Geitel, Phys. Z.-S. 1, 11 (1899).
[4]) H. Geitel, Phys. Z.-S. 2, 118 (1900).
[5]) J. Elster und H. Geitel, Phys. Z.-S. 2, 563 (1901).
[6]) E. Rutherford, Phil. Mag. 49, 1 und 161 (1900).
[7]) J. Elster und H. Geitel, Phys. Z.-S. 2, 591 (1901).
[8]) J. Elster und H. Geitel, Phys. Z.-S. 3, 305 (1902); ibid. 4, 96 u. 138 (1902).

Gerdien[1]) hat darauf hingewiesen, daß diese Elster-Geitel'sche Drahtmethode kein quantitatives Maß für den Gehalt der Luft an Induktionen oder radioaktiver Emanation ist, weil nach diesem Verfahren der Einfluß der spezifischen Geschwindigkeit der Induktionsträger und die Strömungsverhältnisse der Luft vernachlässigt werden. Auch Gockel teilt diese Ansicht.

Lindemann[2]), welcher die Radioaktivität der Atmosphäre in Kiel und ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren untersucht hat, kam zu dem Schluß: „Wir werden also zu dem Ergebnis geführt, daß wir nach dem Elster-Geitel'schen Verfahren wahrscheinlich gar keine Schwankungen des Radiumgehaltes in der Atmosphäre feststellen, sondern nur die mehr oder minder große Beweglichkeit der Träger der radioaktiven Induktionen".

Auf Veranlassung des Herrn Geheimrat Professor Dr. L. Weber unternahm ich es, die hier in Kiel im Herbst 1910 von Lindemann angestellten Versuche fortzuführen und gleichzeitig die Leitfähigkeit und den Ionengehalt der Atmosphäre, sowie die Ionenbeweglichkeit unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse zu untersuchen.

Anmerkung: Gleichzeitig ausgeführte Messungen nach der Elster-Geitel'schen Drahtmethode und nach einer Aspirationsmethode, welche Absolutbestimmungen der Luft an festen radioaktiven Substanzen gestattet[3]), hat bereits K. Kurz[4]) ausgeführt, aber nur, um eine Reduktion der Elster-Geitel'schen Aktivierungszahlen auf ein absolutes Maß zu ermöglichen. V. F. Heß[5]) bemerkt hierüber, daß diese Umrechnung nur anwendbar ist auf Mittelwerte aus größeren Beobachtungsreihen, da bei einer Einzelmessung nach der Elster-Geitel'schen Methode infolge der meteorologischen Verhältnisse die Beweglichkeit der radioaktiven Stoffe und somit auch der Aktionsradius des exponierten Drahtes stark veränderlich sein kann.

---

[1]) H. Gerdien, Phys. Z.-S. **6**, 465 (1905).

[2]) M. Lindemann, Inaug.-Dissert. Kiel 1911 und „Schriften des Naturwiss. Vereins für Schleswig-Holstein", Bd. XV, Heft **1**, 99 (1911).

[3]) K. W. F. Kohlrausch, Wiener Ber. **115**, Abt. 2a, 1321 (1906) und **119**, Abt. 2a, 1577 (1910).

H. Gerdien, Abh. d. Kgl. Ges. d. Wiss., Göttingen, math.-phys. Kl. **5**, Nr. 5, pg. 59 (1907) und Phys. Z.-S. **6**, 465 (1905).

K. Kurz, Inaug.-Diss., Gießen 1907 und Phys. Z.-S. **9**, 177—184 (1908).

[4]) K. Kurz, Abh. d. Kgl. Bayr. Akad. d. Wiss., **25**, 1. Abh. 43 (1909).

[5]) V. F. Heß, Wien. Ber. **119**, Abt. 2a, 146 (1910).

Erster Teil.

I. Die zur Untersuchung benutzten Apparate.

Zur Bestimmung der Aktivierungszahl dienten dieselben Apparate, welche Lindemann vor zwei Jahren hier gebraucht hat. Eine genaue Beschreibung derselben hat er in seiner Dissertation angegeben[1]). Ich möchte hier übrigens die Vorteile der von Lindemann angegebenen Verbesserungen des Exner'schen Elektroskops wiederholen, welche noch wenig bekannt sein dürften, da das Elektroskop nur in zwei Exemplaren existiert.

1. Der aus zwei Teilen bestehende Isolierkörper ist mit Hilfe einer Brücke höher gelegt; dadurch kommt auch die untere Seite des Bernsteins nicht mit der Außenluft in Berührung und ist in die Natriumtrocknung eingeschlossen.
2. Abbröckelndes Hydroxyd kann nicht an die Bernsteinplatten kommen und die Isolation gefährden.
3. Da der Blättchenträger den Bernstein ganz durchsetzt, erfolgt die Zuleitung während der Versuche nur von unten durch Aufsetzen auf andere Apparate (Zerstreuungskammer, Ionenaspirator). Drahtverbindungen und andere durch die Außenluft führende Zuleitungen sind auf diese Weise vermieden.
4. Durch einfaches Umsetzen ist es möglich, mit demselben Elektroskop schnell hintereinander auf verschiedenen Apparaten Messungen auszuführen.
5. Das Elektroskopinnere bleibt auch während der Versuche gänzlich von der Außenluft abgeschlossen und ist also dauernd gegen Staub und Feuchtigkeit geschützt. Die nur wenige Sekunden dauernde Ladung erfolgt am einfachsten von oben nach Entfernung einer dicht schließenden Kappe.

Die Ionenzählung, sowie die Bestimmung der Leitfähigkeit der Atmosphäre und der Ionenbeweglichkeit geschah mit Hilfe eines Aspirationsapparates, der nach meinen Angaben in den Werkstätten des Präzisions-Mechanikers Herrn H. Heustreu angefertigt wurde. Das Prinzip des Apparates stimmt im wesentlichen mit dem von

[1]) M. Lindemann, l. c. pg. 3.

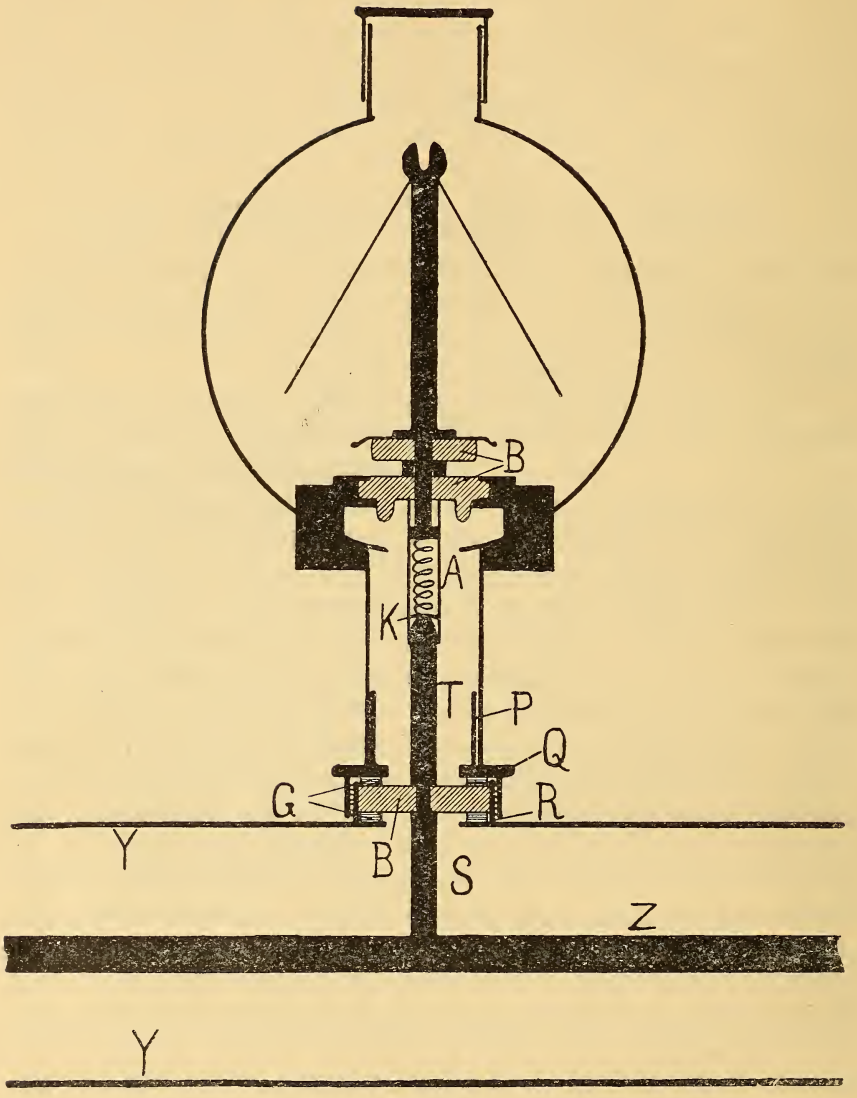
Gerdien[1]) und von Mache[2]) überein: Man läßt ein bekanntes Luftvolumen mit möglichst konstanter Geschwindigkeit durch einen Zylinderkondensator strömen, dessen äußere Wandung mit der Erde verbunden ist. Die Innenelektrode besteht aus zwei voneinander getrennten Teilen, deren jeder mit einem Elektroskop verbunden und auf ein meßbares positives oder negatives Potential geladen ist. Die Innenelektrode im ersten Teile des Zylinderkondensators ist bedeutend kürzer als diejenige im zweiten Teile; infolgedessen wird dem Luftstrom im ersten Kondensator nur ein gewisser Bruchteil seines Gehaltes an Ionen entzogen. Der zweite Teil des Zylinderkondensators ist so beschaffen, daß er dem Luftstrome den Rest der in ihm enthaltenen Ionen entzieht.

Der äußere Zylinder, ein geschwärztes Messingrohr mit kreisförmigem Querschnitt, hatte einen Durchmesser von 4,9 cm und eine Länge von 2×60 cm. Über der Mitte jeder Innenelektrode war er durchbohrt und mit einem kurzen Rohrstutzen R versehen (cf. Figur 1), in dem sich ein Bernstein-Isolator B von 2,5 cm Durchmesser und 0,5 cm Dicke befand. Auf dem Ansatz R wurde ein zweiter Ring Q aufgeschraubt, welcher zum Festhalten des Bernsteins diente. Damit der Bernstein nicht durch zu kräftiges Festschrauben dem Zerspringen ausgesetzt war, wurde unter und über ihn ein Gummiring G gelegt. Der Ring Q hatte einen 1,4 cm langen Rohransatz P, auf den das Elektroskop aufgeschoben werden konnte. Die Innenelektroden bestanden aus geschwärzten Messingrohrstäben mit abgerundeten Enden, von 0,7 cm Durchmesser. Der erste Stab war nur 8 cm, der zweite dagegen 58 cm lang. In die Mitte der Stäbe Z war ein Messingstift S eingeschraubt. Durch diesen und mit Hilfe eines zweiten Stiftes T wurde die Elektrode Z an den Bernstein B festgeschraubt. Auf diese Weise konnten die Innenelektroden genau in der Mitte des äußeren Zylinders Y festgehalten werden. Beim Aufsetzen des Elektroskops auf den Kondensator trat der Stift T in Berührung mit der federnden Kappe K am unteren Ende des Blättchenträgers. Damit war eine leitende Verbindung zwischen der Innenelektrode des Kondensators und dem Elektroskop hergestellt.

Für den Hauptkondensator wurde das oben erwähnte Lindemann'sche Elektroskop benutzt. Für den ersten Teil des Aspirations-

---

[1]) H. Gerdien, Göttinger Nachr., math.-phys. Kl., 1904, Heft 4, pg. 277.
[2]) H. Mache, Phys. Z.-S. **4**, 717 (1903).



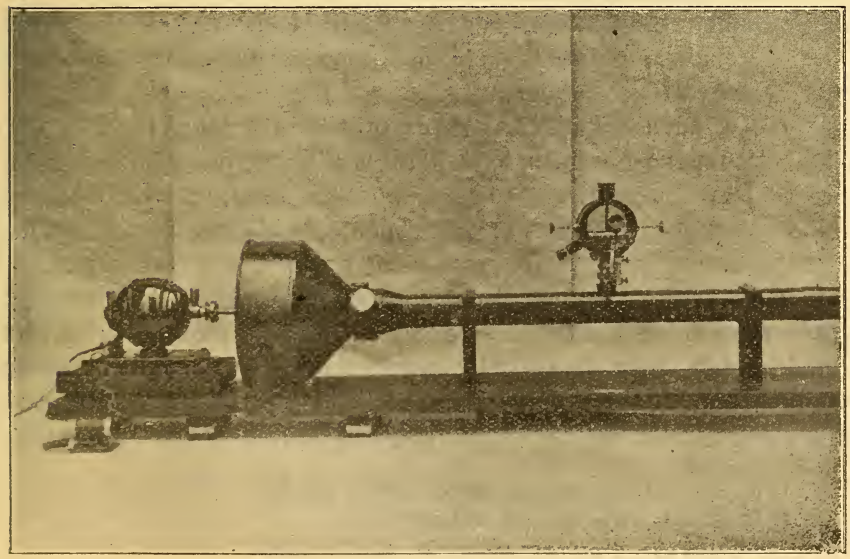
Figur 1.

apparates wurde ein verbessertes Exner'sches Elektroskop verwendet. Die unten beschriebenen Änderungen wurden daran vorgenommen, um dem Apparat dieselben Verwendungsmöglichkeiten zu geben, wie dem Elektroskop von Lindemann.

Der Bernstein-Isolator wurde ganz durchbohrt und ein von unten eingeführter Stift in leitende Verbindung mit dem Blättchenträger

gebracht. Eine in einer Hülse befindliche Spiralfeder mit Kappe stellte, ähnlich wie beim Lindemann'schen Elektroskop, die leitende Verbindung mit dem Stift T und also mit der Innenelektrode des Kondensators her. Das untere Ende des Elektroskops, an dem die Skala und Lupe befestigt sind, mußte wegen dieser Änderung um einige Zentimeter verlängert werden.

Das Ende des Hauptkondensators erweiterte sich etwas, um ein gewöhnliches Rosenmüller'sches Flügelrad-Anemometer von 7 cm Durchmesser aufzunehmen zwecks Bestimmung der Luftgeschwindigkeit und damit des durch den Apparat geströmten Luftvolumens. An das Ende des Anemometer-Ansatzes schloß sich eine große trichterförmige Erweiterung an, von 22,5 cm Durchmesser. Zur Erzeugung eines kräftigen Luftstromes konnte sich in dieser ein vierflügeliger Fächer-Aspirator bewegen, welcher direkt auf der verlängerten Achse eines Elektromotors befestigt war. Der Aspirationsapparat war mit Hilfe von Holzstützen auf einem Brett mit Filzunterlage befestigt. Getrennt von ihm, auf einem besonderen Brett, ebenfalls mit Filzpolstern, wurde der Elektromotor mit dem Aspirator aufgestellt, um jegliche Übertragung der durch den laufenden Motor hervorgerufenen Erschütterungen auf die Elektroskope zu verhindern. Zum Anlassen des Motors diente ein kleiner Regulierwiderstand von 1500 Ohm.



Figur 2.

In der Figur 2 ist der erste Teil des Kondensators, der vorne durch eine Kappe verschlossen werden konnte, nicht mit abgebildet. Vom Anfang des Hauptkondensators an sind alle Teile deutlich zu erkennen.

Dieser von mir konstruierte Apparat bietet bedeutende Vorteile gegenüber den bisher bekannten Ionen-Aspirationsapparaten:

1. Die Elektroskope befinden sich über dem Zylinderkondensator statt unter ihm, wie bei allen andern Aspirationsapparaten mit horizontalem Rohr. Diese Einrichtung gestattet ein bequemeres Ablesen der Elektroskope.
2. Auch im ersten Teil des Kondensators wird eine für Aluminiumblattelektroskope übliche hohe Potentialdifferenz von ca. 200 Volt angewendet. Die kurze Innenelektrode macht einen Hilfskondensator mit meßbar veränderlicher Kapazität zur Erniedrigung des Potentials während der Aspiration überflüssig.
3. Das Elektroskopinnere ist dicht gegen das Innere des Kondensators abgeschlossen. Dadurch wird das lästige Flattern der Aluminiumblättchen[1]) während der Aspiration vermieden; das sorgfältige Abdichten aller Ritzen und Fugen am Elektroskop mit Hilfe von Klebwachs, Paraffin[2]), Mastixlösung[3]) oder anderen Abdichtungsmitteln[4]) ist überflüssig.
4. Das ganze System, Elektroskop+Kondensator, wird mittelst einer Sonde durch den oberen Hals des Elektroskops geladen; hierbei braucht die Kappe nur auf wenige Sekunden entfernt zu werden.
5. Da auch bei einem hohen Potential von 200 Volt im ersten Kondensator noch kein Sättigungsstrom herrscht, so ist für jede Ionenart nur eine Aspiration nötig, um Leitfähigkeit und Ionengehalt der Atmosphäre, und aus diesen beiden Werten die Ionenbeweglichkeit bestimmen zu können.

Anmerkung: Einen Nachteil hat dieser Apparat: er ist reichlich groß. Aber er ist absichtlich so gemacht worden, um ihn den lokalen Verhältnissen anzupassen. Es wäre sehr leicht möglich, einen handlicheren brauchbaren Apparat nach diesem Prinzip herzustellen, von vielleicht nur 60 cm Gesamtlänge, allerdings ohne Motor. Bei

---

[1]) K. Kurz, Inaug.-Dissert., Gießen (1907), pg. 30.
[2]) H. Ebert, Phys. Z.-S. **2**, 663 (1901).
[3]) A. Gockel, „Die Luftelektrizität", pg. 22 (1908).
[4]) H. Gerdien, Göttinger Nachr., 1905, Heft 3, pg. 6.

derselben Luftgeschwindigkeit von 6 m und einem Durchmesser des äußeren Zylinders von höchstens 3 cm ließen sich die Längen der Innenelektroden auf 4 cm resp. 30 cm reduzieren.

II. Die Brauchbarkeit der Apparate.

Sollte der Aspirationsapparat als Ionenzähler dienen, so mußte er auch alle Ionen des durch ihn gehenden Luftstromes abfangen. Daß dies tatsächlich der Fall war, zeigt folgende Überlegung:

Bei Ionenzählungen handelt es sich um Ionen mit einer mittleren Beweglichkeit von 1 cm pro Sekunde bis herab zu einer Beweglichkeit von 0,2 cm pro Sekunde bei einem Gefälle von 1 Volt pro 1 cm. Bei den angestellten Versuchen herrschte in dem Kondensator ein Gefälle von rund 100 Volt pro 1 cm. Ein Ion mit einer Beweglichkeit von 1 cm pro Sekunde bei 1 Volt pro 1 cm würde also die Entfernung zwischen dem inneren und äußeren Zylinder von rund 2 cm in $^1/_{50}$ Sekunde zurücklegen. Der Aspirator erzeugte in dem Zylinderkondensator eine durchschnittliche Luftgeschwindigkeit von rund 6 m. Ein Luftteilchen legt also einen Weg von der Länge der Hauptelektrode, rund 60 cm, in $^1/_{10}$ Sekunde zurück, gebraucht also dazu fünfmal solange als ein Ion mittlerer Beweglichkeit, um von einer Kondensatorwand zur andern zu gelangen. Oder: Der Hauptkondensator allein ist imstande, alle Ionen bis herab zu einer Minimalbeweglichkeit von 0,2 cm pro Sekunde bei 1 Volt pro 1 cm Gefälle abzufangen.

Der Apparat ist also ein brauchbarer Ionenzähler.

Wir können die Brauchbarkeit des Apparates noch auf eine andere Art beweisen. Zu diesem Zweck wollen wir die Bahn eines in den Zylinderkondensator mit dem konstanten Luftstrom eintretenden Ions betrachten[1]).

Der Anfangspunkt eines rechtwinkligen Koordinatensystems liege in dem vorderen Ende der Innenelektrode. Die x-Achse falle mit der Achse des Zylinderkondensators zusammen und sei mit dem Luftstrome gleichgerichtet. Es sei nun:

R der Radius der äußeren Elektrode,
r der Radius der inneren Elektrode,
l die Länge der inneren Elektrode des Zylinderkondensators,

---

[1]) H. Gerdien, Terrest. Magn. a. Atmosph. Elektr. **10**, 69 (1905); Phys. Z.-S. **6**, 466 (1905); Abt. d. Kgl. Ges. d. Wiss., Göttingen, **5**, 4 (1907).

V die Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden und
G die Gewindigkeit des den Zylinder parallel zur Achse konstant durchstreichenden Luftstromes.

Ist F die Feldintensität im Abstande y von der Achse des Zylinderkondensators, so besteht die Beziehung:

$$F = \frac{V}{y \,.\, \log \,.\, \text{nat}\,(R/r)}.$$

Es gelten nun für ein Ion mit der spezifischen Geschwindigkeit u folgende Bewegungsgleichungen für die xy-Ebene:

$$\frac{dx}{dt} = G$$

$$\frac{dy}{dt} = -F \,.\, u = -\frac{V \,.\, u}{y \,.\, \log \text{nat} \,.\, (R/r)}.$$

Die Differentialgleichung der Bahnkurve ist also:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{V \,.\, u \,.}{G \,.\, y \,.\, \log \,.\, \text{nat} \,.\, (R/r)}.$$

Diese gibt integriert die Schar der Bahnkurven:

$$y^2 = -\frac{2 \,.\, V \,.\, u}{G \,.\, \log \,.\, \text{nat} \,.\, (R/r)} \cdot x + C.$$

Man erhält jede mögliche Bahn, indem man die Konstante C zwischen R^2 und r^2 variieren läßt. Es bedeutet also $\sqrt{C}$ den Abstand eines Ions von der Achse des Zylinderkondensators bei seinem Eintritt in das elektrische Feld; oder sein Abstand von der x-Achse beim Durchgang durch die Ebene $x = o$. Die obige Gleichung stellt eine Schar von Parabeln dar. Es bewegen sich also die Ionen auf Parabelbögen. Die Achsen der Parabeln fallen mit der Zylinderachse zusammen, und es ist der Abstand eines Ions bei seinem Eintritt in den Kondensator von der Achse gleich der doppelten Entfernung zwischen Scheitelpunkt und Brennpunkt der betreffenden Parabel. Alle Ionen, welche im Abstande $\sqrt{C} = y_0$ in den Zylinderkondensator eintreten, treffen die Innenelektrode in der Entfernung x von der Eintrittsebene:

$$x = (y_0^2 - r^2) \,.\, \frac{G \,.\, \log \,.\, \text{nat}\,(R/r)}{2 \,V \,.\, u}.$$

Betrachten wir nun den Grenzfall, daß ein Ion im maximalen Abstand $y_0 = R$ von der Zylinderachse in den Kondensator eintritt und erst von dem letzten Teile der Innenelektrode abgefangen wird, so wird die letzte Gleichung, indem wir $x = l$ setzen, zu:

$$l = (R^2 - r^2) \,.\, \frac{G \,.\, \log \,\text{nat}\,(R/r)}{2 \,V \,.\, u}.$$

Gelten alle Werte außer G in dieser Gleichung als konstant, so können wir daraus wichtige Bedingungen für die Geschwindigkeit des Luftstromes und damit für die Brauchbarkeit des Aspirationsapparates folgern. Für den oben betrachteten Grenzfall ergibt sich zunächst:

$$G = \frac{2 \cdot V \cdot u \cdot l}{(R^2 - r^2) \cdot \log \text{nat} \left(R/r\right)}.$$

Dann werden gerade noch alle Ionen mit der spezifischen Geschwindigkeit u von der Innenelektrode l bei dem herrschenden Potential V abgefangen.

Ist weiter:

$$G > \frac{2 \cdot V \cdot u \cdot l}{(R^2 - r^2) \cdot \log \text{nat} \cdot \left(R/r\right)},$$

so werden nicht alle Ionen von der Innenelektrode abgefangen, es herrscht kein Sättigungstrom im Kondensator. Das ist die Bedingung für den ersten Teil des Aspirationsapparates zur Bestimmung der Leitfähigkeit der Luft.

Wird schließlich:

$$G < \frac{2 \cdot V \cdot u \cdot l}{(R^2 - r^2) \cdot \log \text{nat} \left(R/r\right)},$$

so herrscht Sättigungsstrom und es werden alle Ionen vom Kondensator mit Sicherheit abgefangen. Diese Bedingung ist auf den zweiten Teil des Apparates, den Hauptkondensator zur Bestimmung des Ionengehaltes der Luft, den „Ionenzähler“ anzuwenden.

Diese Grundbedingungen für die Brauchbarkeit des Aspirationsapparates waren mit Sicherheit erfüllt, wie sich beim Einsetzen der einzelnen Werte ergibt.

G war im Mittel ungefähr 600 cm.

III. Die Bestimmung der Konstanten.

Die Eichung der Elektroskope geschah in folgender Weise:

Der Strom der städtischen Lichtleitung (—220 Volt, Erde) wurde durch einen konstanten großen Widerstand mit 10 Spulen von je ungefähr 2000 Ohm und einen von 0 bis 1500 Ohm veränderbaren Widerstand geschickt. Von den einzelnen Widerständen konnten Abzweigungen nach einem Präzisions-Voltmeter gemacht werden. Parallel mit dem Voltmeter wurden nacheinander die Elektroskope einzeln geschaltet. Die Eichung geschah nun in der

Weise, daß ein Beobachter durch Regulieren des variablen Widerstandes den Zeiger des Voltmeters auf einen ganzen Teilstrich zu halten suchte (dies war nötig, da die Spannung der städtischen Lichtleitung nicht unerheblichen dauernden Schwankungen unterworfen ist), während ein zweiter Beobachter die Ablesungen am Elektroskop machte. Nach diesem Verfahren wurde eine recht genaue Eichkurve erhalten.

Zwecks Eichung des Anemometers wurde der ganze Aspirationsapparat an ein großes Gasometer angeschlossen. Herr Eichungsinspektor Doll war so liebenswürdig, mir ein im hiesigen Königl. Eichamt befindliches Gasometer von 850 Liter Inhalt zur Verfügung zu stellen. Es strömten bei den Versuchen verschiedene Luftmengen, auch mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch den Aspirationsapparat, während die jedesmaligen Ablesungen am Anemometer notiert wurden. Die Eichkurve, welche eine Beziehung zwischen dem durchgeströmten Luftvolumen und der Ablesung am Anemometer darstellt, ergab, wie es sein mußte, eine gerade Linie, die ohne wesentliche Ausfälle die beobachteten Werte sämtlich enthielt. Dieses Verfahren der Eichung kann demnach eine erhebliche Genauigkeit für sich in Anspruch nehmen.

Im Anschluß hieran möchte ich bemerken, daß bei der Eichung im großen und ganzen dieselben Luftgeschwindigkeiten verwendet wurden wie später bei den Versuchen. Die Eigenart des Apparates fügte es, daß das Resultat der Eichung einen recht einfachen Zusammenhang zwischen Luftvolumen und Anemometerangabe ergab: Die von der Skala des Anemometers abgelesene Zahl brauchte nur mit 3 multipliziert zu werden, um die durch den Apparat geflossene Luftmenge in Litern zu erhalten. Hieraus konnte natürlich die mittlere Luftgeschwindigkeit berechnet werden.

Die Bestimmung der Kapazität des Aspirationsapparates, also des ganzen Systemes, Kondensator + Elektroskop, ließ sich wegen der besonderen Konstruktion des Apparates ohne umständliche Experimente und Rechnungen leicht ermitteln.

Die Kapazität eines Zylinderkondensators in Luft ist gegeben durch den Ausdruck:

$$C = \frac{l}{2 \log . \text{nat} \left(R/r\right)},$$

wenn l seine Länge, R äußerer und r innerer Radius ist. Mit dieser bekannten Kapazität wurde die unbekannte des Elektroskopes und die des verbindenden Zwischenstückes in folgender Weise verglichen.

Das ganze System, Elektroskop auf dem Kondensator, wurde auf ein Potential V_1 geladen. Darauf wurde das Elektroskop abgenommen, entladen, indem man von unten her den die Bernsteinplatte durchsetzenden Blättchenträger (A in Fig. 1) mit dem Finger berührte, wieder aufgesetzt, und nun das Potential V_2 abgelesen. Nach der Definition der Kapazität besteht zwischen dieser, dem Potential V und der elektrischen Ladung E die Beziehung:

$$E = V \,.\, C.$$

Ist K die Kapazität des Kondensators ohne Elektroskop und L die Kapazität des Elektroskopes allein, so gilt im ersten Falle, also nach Abnahme des Elektroskopes:

$$E = V_1 \,.\, K$$

und im zweiten Falle:

$$E = V_2 \,(K + L)$$

mithin:

$$\frac{K + L}{K} = \frac{V_1}{V_2}.$$

Ist K bekannt, so ist L durch V_1 und V_2 bestimmbar.

Bei dieser Kapazitätsvergleichung muß allerdings auch die Kapazität des Zwischenstückes (S + T) berücksichtigt werden. Das geschah nach Entfernung der Innenelektrode z auf dieselbe Art, wie oben. Es wurde jetzt nach der ersten Ablesung das Zwischenstück (S + T) geerdet und das noch geladene Elektroskop wieder aufgesetzt.

Ist C_e die zu bestimmende Kapazität des Elektroskopes, C_k die bekannte Kapazität des Zylinderkondensators, so berechnet sich C_e aus der Formel:

$$C_e = \frac{C_k \,.\, V}{1 - v \,.\, V}$$

worin

$$V = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \text{ und } v = \frac{v_1 - v_2}{v_2}$$

ist.

V_1 und V_2 sind die Potentiale beim ersten Versuch, v_1 und v_2 die entsprechenden beim zweiten.

Die Kapazität des Zwischenstückes kommt in der Formel für C_e garnicht vor. Es war aber für die späteren Versuche nötig, die Kapazität sowohl von S als auch von T zu kennen.

Um die Genauigkeit dieser Methode der Kapazitätsbestimmung zu prüfen, wurden unter sonst gleichen Umständen zwei Versuche mit verschieden langen Kondensatoren ausgeführt. Beim ersten

Versuch betrug die Länge der Innenelektrode 58 cm. Für die Kapazität des Lindemann'schen Elektroskopes ergab sich der Wert:

$$C_e' = 7{,}055 \text{ cm}.$$

Der zweite Versuch, bei dem ein Stab von 78 cm Länge verwendet wurde, ergab:

$$C_e'' = 7{,}030 \text{ cm}.$$

Der Unterschied dieser beiden Werte ist also nur

$$\Delta C_e = 0{,}025 \text{ cm oder } 0{,}36\,\%.$$

Für das andere Elektroskop wurde nach demselben Verfahren gefunden:

$$C_e^{(1)} = 5{,}971 \text{ cm}$$

und

$$C_e^{(2)} = 5{,}989 \text{ cm}.$$

Die Differenz ist also hier nur:

$$\Delta C_e = 0{,}018 \text{ cm oder } 0{,}3\,\%.$$

Diese Abweichung der beiden Werte voneinander ist ganz außerordentlich gering. Die von mir angewandte Methode führt also zu Werten von überraschender Genauigkeit. Die Beobachtungen wurden auf das sorgfältigste gemacht. Zur Berechnung wurden Mittelwerte aus zehn Beobachtungen genommen.

IV. Theorie der Messungen.

Für die elektrische Ladung E eines freistehenden isolierten Leiters gilt das Coulomb'sche Zerstreuungsgesetz:

$$E = E_0 e^{-\alpha t}$$

oder:

$$\frac{dE}{dt} = -\alpha E. \qquad (1)$$

D. h.: Der Ladungsverlust pro Zeiteinheit ist der jeweiligen Ladung proportional. Der Proportionalitätsfaktor α wird Zerstreuungskoeffizient genannt. Schreibt man der Luft ein bestimmtes spezifisches Leitvermögen λ zu, so ist für einen allseitig von Luft umgebenen Leiter, in einer zur Erde abgeleiteten Hülle der Wert von α gegeben durch

$$\alpha = 4\pi\lambda.$$

Dieser Fall trifft für den ersten Teil unseres Zylinderkondensators, in dem, wie bewiesen, kein Sättigungsstrom herrscht, für den also das Coulomb'sche Gesetz Gültigkeit hat, zu. Bezeichnet C_1 die Kapazität

des Zylinderkondensators, der auf das Potential V geladen ist, so wird, unter Berücksichtigung der Gleichung für die Ladung E,

$$E = C_1 V$$

die obenstehende Gleichung (1) zu

$$dE = -\alpha . C_1 . V . dt. \qquad (2)$$

Diese Ladungsänderung dE wird also nur durch die als Zerstreuungskörper wirkende Innenelektrode des ersten Kondensators bewirkt. Bezeichnet man mit K_1 die Kapazität des ganzen geladenen Systemes des ersten Zylinderkondensators, so gilt also für die an ihm pro Zeitelement bewirkte Ladungsänderung auch:

$$dE = K_1 . dV. \qquad (3)$$

Mithin wird aus Gleichung (2) und (3):

$$K_1 . dV = -\alpha . C_1 . V . dt.$$

Da α konstant ist, kann leicht integriert werden über die Zeit t vom Anfangspotential V_1' bis zum Endpotential V_1''. Also:

$$K_1 . \log \left(\frac{V_1''}{V_1'}\right) = -\alpha . t . C_1$$

oder, da $\alpha = 4\pi\lambda$ ist, kommt

$$K_1 . \log \left(\frac{V_1''}{V_1'}\right) = -4\pi\lambda . t . C_1.$$

Daraus erhalten wir für λ, das ein Produkt aus dem elektrischen Elementarquantum ε, der Ionenzahl n pro cm^3 und der spezifischen Ionengeschwindigkeit v darstellt:

$$\lambda = \varepsilon . n . v = \log \text{ nat } \left(\frac{V_1'}{V_1''}\right) \cdot \frac{K_1}{4\pi . t . C_1}. \qquad (4)$$

Die während der Aspiration an das geladene System von der durch den Zylinderkondensator geströmten Luftmenge Φ abgegebene Ladung E ist:

$$E = \frac{K . \Delta V}{\Phi},$$

wobei Δ V den Spannungsrückgang während der Aspiration bedeutet. An dieser Ladungsaufnahme, resp. Ladungsabgabe, nehmen beide Kondensatoren teil. Bezeichnen wir die Werte für den zweiten Zylinderkondensator mit dem Index 2 und berücksichtigen, daß eine elektrostatische Spannungseinheit gleich 300 Volt ist, so erhalten wir für die spezifische Ionenzahl im elektrostatischen Maß pro m^3:

$$J = n . \varepsilon = \frac{K_1 \Delta V_1 + K_2 \Delta V_2}{300\ \Phi}. \qquad (5)$$

Aus den Gleichungen (4) und (5) berechnet sich die spezifische Ionengeschwindigkeit zu:

$$v = \frac{\log \text{nat} \left(\frac{V_1'}{V_1''}\right)}{K_1 \Delta V_1 + K_2 \Delta V_2} \cdot \frac{300\ \Phi \cdot K_1}{4\ \pi \cdot t \cdot C_1} . \qquad (6)$$

Bei den oben entwickelten Formeln (4), (5) und (6) ist zu bemerken, daß die Werte für λ, n und v nur Mittelwerte darstellen. In der Luft sind sehr viele Ionenarten vorhanden, mit ganz verschiedenen spezifischen Ionenzahlen und Beweglichkeiten. Sind bei einer Aspiration in dem in Betracht kommenden Luftvolumen verschiedene Ionenarten enthalten mit den verschiedenen spezifischen Zahlen $n_1, n_2, n_3, \ldots . n_s$ und Beweglichkeiten $v_1, v_2, v_3, \ldots . v_s$, so müßte man also genauer schreiben: Für positive Ionen:

$$\lambda_p = \varepsilon \cdot \sum_1^s n_{ps} \cdot v_{ps}$$

$$J_p = \varepsilon \cdot \sum_1^s n_{ps}$$

$$v_p = \frac{1}{s} \sum_1^s v_{ps}$$

und entsprechende Ausdrücke für negative Ionen.

An dem gesamten Leitvermögen der Atmosphäre nehmen sowohl die positiven als auch die negativen Ionen teil. Wir müßten also genau genommen hierfür schreiben:

$$\lambda = \lambda_p + \lambda_n = \varepsilon \cdot \left(\sum_1^s n_{ps} \cdot v_{ps} + \sum_1^t n_{nt} \cdot v_{nt} \right) .$$

V. Die Ausführung der Messungen.

Die Versuche wurden in und vor dem alten magnetischen Beobachtungshäuschen ausgeführt, welches auf dem hiesigen Sternwarteberg gelegen ist, westsüdwestlich von der höchsten Stelle des Berges, auf dem sich die Anlagen mit dem großen Meridianfernrohr befinden. An derselben Stelle hat Lindemann[1]) im Herbst 1910 seine Aktivierungsmessungen ausgeführt. Ich hatte also mit denselben lokalen Verhältnissen zu tun, wie Lindemann, und kann daher die von mir gefundenen Aktivierungszahlen mit den seinen vergleichen, resp. die seinen ergänzen.

[1]) l. c. pg. 3.

Vor jeder Messung wurden alle Apparate auf ihren gebrauchsfähigen Zustand hin geprüft. Das Natrium zum Trocknen der Elektroskope mußte spätestens am dritten Tage nach Einlegung erneuert werden. Die Gockel'schen Isolierhaken, welche nach jeder Messung sofort vom Natrium befreit und gereinigt wurden (alle zwei Tage gründlich unter der Wasserleitung), wurden nochmals trocken oder mit Alkohol abgerieben und mit frischem Natrium versehen. Der 10 m lange Aktivierungsdraht, welcher vor dem Häuschen ausgespannt war, wurde vor jeder Messung mit feinem Schmirgelpapier blank gerieben. Hierbei verlängerte er sich gewöhnlich um ungefähr 20 cm, wohl infolge zu kräftigen Reibens.

Nachdem die Isolierhaken vor ihrem Gebrauch nochmals auf ihre Isolierfähigkeit hin geprüft worden waren, wurde die Zuleitung zwischen Aktivierungsdraht und Zamboni-Säule direkt mit Hilfe eines Kupferdrahtes durch ein kleines Fenster hindurch hergestellt, vor dem die Trockensäule ihren Platz hatte. Gleichzeitig mit dem Aktivierungsdraht wurde ein Braun'sches Hochspannungs-Elektrometer eingeschaltet, an dem während der zweistündigen Exposition die Spannung dauernd kontrolliert wurde.

Die Trockensäule erfüllte nicht ganz die gestellten Ansprüche. Nur ein einziges Mal, an einem sehr schönen Sommertage mit außerordentlich trockener Luft, war sie imstande, die Spannung während der zweistündigen Exposition auf 2300 Volt konstant zu halten. Gewöhnlich sank die Spannung der Säule in den 2 Stunden um 400 bis 600 Volt; bei sehr feuchter Witterung sogar um über 1000 Volt, trotzdem die Säule stets zugedeckt war. Versuche, bei denen die Spannung derartig tief herunterging, wurden natürlich aus meinen Messungen als unbrauchbar ausgeschieden. Die Trockensäule wurde auf das sorgfältigste instand gehalten. Während des Nichtgebrauches wurde sie in einem geheizten Raum des neuen Magnetischen Observatoriums, auf der Nordostseite des Sternwarteberges gelegen, aufbewahrt; sehr oft in unmittelbarer Nähe des Ofens. Nur dadurch war es möglich, die Spannung der Säule im günstigsten Falle auf 2600 Volt zu bringen. Nach Schluß der Exposition wurde die Säule ohne Belastung auf ihre Spannung hin geprüft und dadurch festgestellt, daß der Spannungsrückgang durch die Säule selbst erzeugt war, nicht etwa durch äußere Überleitungen während der Exposition draußen, vielleicht infolge von sehr feinen Spinnwebenfäden. Die Isolierhaken waren an dem Spannungsrückgang gewöhnlich mit 100 Volt, in seltenen Fällen, bei sehr feuchter Witterung, mit 200 Volt beteiligt.

Nachdem die Exposition des Drahtes eingeleitet war, wurde sogleich mit den Messungen am Aspirationsapparat begonnen. Dieser Apparat wurde mit seinem vorderen Ende so auf die Kante eines geöffneten Fensters gestellt, daß das Rohr ein gutes Stück in das Freie hinausragte. Das hintere Ende ruhte auf einem Bock im Innern des Häuschens. Wie schon erwähnt, war der Motor mit dem Aspirator von dem Zylinderkondensator getrennt aufgestellt, und zwar geschah dies auf einem durch den Fußboden massiv aus der Erde kommenden gemauerten Pfeiler. Die Erschütterungen des Motors, der mittelst großer Klemmschrauben auf dem Pfeiler befestigt war, wurden also vollkommen unschädlich gemacht.

Es wurde nun folgendermaßen beobachtet:

Zunächst wurde der natürliche Spannungsrückgang, also der natürliche Ladungsverlust der positiv geladenen Systeme bei ruhendem Motor während 10 Minuten festgestellt. Dann folgte eine 10 Minuten dauernde Aspiration, und nach dieser wurde nochmals der Isolationsverlust kontrolliert. Nachdem nun die Systeme negativ geladen worden waren, erfolgte eine zweite 3×10 Minuten dauernde Beobachtung für die positiven Ionen.

Leider mußte zwischen den beiden Messungen eine geraume Zeit gewartet werden, damit der Bernstein im Exner'schen Elektroskop genügend Zeit hatte, sich dielektrisch umpolarisieren zu können. Diese wenig angenehme Eigenschaft mancher Bernsteinisolatoren wird nicht durch die dicht über dem Bernstein befindliche Schutzplatte gemildert oder sogar beseitigt, wie man nach Gerdien[1]) annehmen könnte. Die Umpolarisierungszeit ist vielmehr eine besondere Eigenschaft jedes einzelnen Bernsteinstückes und bei jedem verschieden. Das Lindemann'sche Elektroskop war schon 1 Minute nach Umladung wieder brauchbar, während das Elster-Geitel'sche Elektroskop von Günter und Tegetmeyer dazu mindestens 15 Minuten brauchte, was durch zahlreiche Versuche festgestellt wurde.

Die Ionenaspirationen konnten bequem in den ersten $1\frac{1}{2}$ Stunden der Exposition fertiggestellt werden. Es wurde nun das Lindemann'sche Elektroskop auf den bereitstehenden Zerstreuungsapparat gesetzt, der zur späteren Aufnahme des aktivierten Drahtes diente, und der Spannungsverlust dieses Zerstreuungsgefäßes während einer halben Stunde beobachtet. Der Zerstreuungskörper war schon rechtzeitig geladen, damit der Bernsteinisolator genügend Zeit hatte, sich elektrisch polarisieren zu können. Nach genau zweistündiger Exposition wurde die Zuleitung von der Hochspannungssäule zum

[1]) H. Gerdien, Göttinger Nachrichten, 1905, Heft 3, pg. 6.

Draht unterbrochen und der exponierte Draht auf eine Trommel gewickelt. Schon 3 Minuten nach Expositionsschluß konnte der aufgewickelte Draht in die Ionisierungskammer eingeschoben werden. Das Elektroskop brauchte hierbei nicht abgenommen zu werden, denn bei einiger Vorsicht blieb das ganze System geladen. Nachdem die Ionisierungskammer auf den unteren Teller festgeschraubt und die Spannung auf eine brauchbare Höhe gebracht war, konnte genau 5 Minuten nach Schluß der Exposition die erste Ablesung am Elektroskop gemacht werden. Nach weiteren 10 Minuten wurde wieder abgelesen und aus diesen beiden Ablesungen der Spannungsverlust berechnet. Dadurch wurde ein Maß für die ionisierende Kraft der Strahlung der radioaktiven Substanzen erhalten, welche sich auf dem Draht niedergeschlagen hatten. Dieses Maß ist die von Elster und Geitel[1]) definierte Aktivierungszahl A. Die Aktivität der freien Luft wird gleich 1 gesetzt, wenn 1 m exponierter Draht in 1 Stunde eine Potentialerniedrigung von 1 Volt bewirkt.

Langevin hat auf dem Eiffelturm in Paris das Vorhandensein von Ionen nachgewiesen, deren Beweglichkeit rund $^1/_{3000}$ des normalen Wertes beträgt[2]). Dieses Vorhandensein von solchen schwerbeweglichen sogenannten „Langevin-Ionen“ ist wohl durch die Anlagerung gewöhnlicher Molionen an die Dunst- und Staubteilchen bedingt, die in der Atmosphäre einer Großstadt besonders zahlreich vorhanden sind[3]). Es lag nun nahe, auch die Kieler Atmosphäre hinsichtlich dieser Langevin-Ionen zu prüfen und zu untersuchen, welchen Einfluß sie auf die mit einem Ionenaspirationsapparat ausgeführten Messungen ausüben.

Da auch der erste Teil des von mir benutzten Aspirationsapparates eine Länge von 60 cm hatte, konnte diese Ionenprüfung leicht in folgender Weise geschehen:

Die Innenelektroden wurden einfach miteinander vertauscht, in den vorderen Zylinder kam die 58 cm lange und in den zweiten die 8 cm kurze Elektrode. Da, wie bewiesen, die lange Elektrode vollkommen ausreicht, um eben noch alle Ionen bis herab zu einer Minimalbeweglichkeit von $\frac{0{,}2\ \text{cm}^2}{\text{Volt-sek.}}$ abzufangen, durfte also jetzt das Elektroskop auf dem zweiten Kondensator keinen Spannungsrückgang während einer Aspiration zeigen, wenn nicht doch schwere

[1]) J. Elster und H. Geitel, Phys. Z.-S. **4**, 96 (1902).

[2]) P. Langevin, **C. R., 140,** 232 (1905).

[3]) H. Mache und E. von Schweidler, „Die atmosphärische Elektrizität“, pg. 58 und 98.

Ionen mit einer geringeren als die der eben angeführten Minimalbeweglichkeit vorhanden waren.

Derartige Probemessungen wurden öfter ausgeführt. Auch die Vorarbeiten, welche im Winter 1911/12 und Frühjahr 1912 ausgeführt wurden, waren hauptsächlich darauf gerichtet, den störenden Einfluß der Langevin-Ionen auf die Resultate der Ionenzählungen zu studieren. Zu diesem Zwecke wurden verschieden lange und verschieden starke Innenelektroden in beiden Zylinderkondensatoren verwendet. Auch wurde mit Luftströmen von verschiedener Geschwindigkeit aspiriert.

Das Ergebnis dieser Probemessungen ist kurz folgendes:

In sehr vielen Fällen wurde an dem zweiten Zylinderkondensator während der Aspiration kein Spannungsrückgang beobachtet. Dies trat gewöhnlich bei sehr klarer Luft mit großer Fernsicht ein. Die Beeinflussung der Messung durch Langevin-Ionen war also bei dieser Wetterlage gleich Null. In anderen Fällen betrug das Maximum der Störung 2,4%. Das Mittel der Störung aus allen Probemessungen war 0,8%, d. h. die Anzahl der von dem zweiten Kondensator abgefangenen Ionen betrug 0,8% von der Anzahl der auf dem ersten Kondensator niedergeschlagenen Ionen.

Die Beeinflussung der mit dem Ionenaspirator gewonnenen Resultate durch das Vorhandensein von Langevin-Ionen ist demnach so gering, daß sie vernachlässigt werden kann.

Noch ein störender Einfluß ist bei luftelektrischen Messungen in Betracht zu ziehen. Es sind die festen radioaktiven Stoffe selbst. Während der Aspiration schlagen sich auf die negativ geladene Innenelektrode die in der Luft enthaltenen Zerfallsprodukte der radioaktiven Stoffe nieder und beeinträchtigen durch ihre aktive Strahlung die Messung. K. Kurz[1]) hat genaue Untersuchungen hierüber an den bekannten Aspirationsapparaten angestellt. Wie groß diese Beeinflussung an dem von mir benutzten Apparat war, konnte aus Mangel an Zeit und geeigneten Apparaten nicht genau festgestellt werden. Um ungefähr hierüber Aufklärung zu erhalten, wurde der natürliche Isolationsverlust der geladenen Systeme stets vor und nach jeder Aspiration beobachtet. Es zeigte sich gewöhnlich kein Unterschied. Nur ganz selten, während gleichzeitig außerordentlich hohe Aktivierungszahlen gefunden wurden, war der Isolationsverlust bei negativer Ladung nach der Aspiration um eine Spur größer als vorher. Aus beiden Werten wurde das Mittel genommen und bei der Berechnung berücksichtigt.

[1]) K. Kurz, Inaug.-Dissert., Gießen 1907.

Während der Versuche waren Tür und Fenster dauernd geöffnet, damit innerhalb des Häuschens Luft von derselben Beschaffenheit war wie draußen, wodurch andere die Isolation störende Einflüsse, wie Unterschiede in der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit nach Möglichkeit vermieden werden sollten.

Die Elektroskope wurden bei Nichtgebrauch der Apparate auf den Zylinderkondensatoren gelassen, um ein Verstauben des Bernsteins auf den Kondensatoren zu vermeiden. Trotzdem wurden diese Bernsteinstücke öfter mit Alkohol gereinigt. Dadurch wurde eine vortreffliche Isolation erreicht.

Um ein Verwerfen der Aluminiumblättchen zu vermeiden, blieben die Elektroskope auch nach den Messungen geladen. Da alle Versuche an demselben Ort gemacht wurden, brauchten die Elektroskope nicht transportiert zu werden. Es blieben daher die Schutzbacken dauernd zurückgezogen. Hierdurch wurde ebenfalls eine Deformation der Blättchen vermieden, und die Eichung blieb für längere Zeit brauchbar.

Die Messungen wurden in den Monaten Juli bis Oktober 1912 ausgeführt. Trotzdem sich also die Beobachtungszeit auf einen Zeitraum von beinahe 4 Monaten erstreckte, konnten doch nur 40 brauchbare Beobachtungsreihen erhalten werden. Das lag in der Hauptsache an dem öfteren Versagen der Hochspannungs-Trockensäule. Und dieses Versagen war durch die außerordentlich ungünstige Witterung bedingt, welche während der Beobachtungszeit herrschte. Sogenannte „Schönwetter-Tage", also luftelektrisch günstige Tage, gab es nur sehr wenige.

Bei der ungewöhnlich großen Feuchtigkeit mußten die Elektroskope stets mit Natrium getrocknet werden.

Einige Male versagte sogar die Hochspannungsbatterie von Kupfer-Zink-Wasserelementen, welche zum Laden der Elektroskope diente. Wenn nach einer kalten Nacht warme feuchte Witterung einsetzte, beschlugen die auf einer Glasplatte stehenden Glasgefäße der Elemente, es fand Überleitung statt und die aus 360 Elementen bestehende Batterie war nicht imstande, die für die Elektroskope geeignete hohe Spannung zu geben. Nach ein- bis zweistündigem Lüften des Häuschens war dieser Übelstand beseitigt.

VI. Die gewonnenen Resultate.

In der folgenden großen Tabelle 1 sind die Ergebnisse der 40 Beobachtungsreihen zusammengestellt.

Tabelle 1a.

Tag der Messung	Zeit	$\lambda_+ . 10^4$	$\lambda_- . 10^4$	$(\lambda = \lambda_+ + \lambda_-) . 10^4$	J_+ pro m^3	J_- pro m^3	$J = \frac{1}{2}(J_+ + J_-)$ pro m^3	$Q = \frac{J_+}{J_-}$	n_+ pro cm^3	n_- pro cm^3	$N = n_+ + n_-$	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v_+	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v_-	Aktivierungszahl A	Barometerstand in mm + 700 1. vorher 2. zu Beginn 3. am Schluß der Exposit.	Windrichtung 8 a, 2 p, 8 p	Windstärke 8 a, 2 p, 8 p	Bewölkung 8 a, 2 p, 8 p	Relat. Feucht. 8 a, 2 p, 8 p	Bemerkungen
Juli 9. 1	4¼—6¼	0.40	0.33	0.73	0.125	0.106	0.116	1.18	267	226	493	1.07	1.04	7.5	gefallen 60.1 60.8	WNW WNW WNW	3 3 4	6 3 2	79 68 77	
11. 2	3½—5½	0.33	1.22	1.55	0.119	0.346	0.233	**0.34**	254	739	993	0.93	1.17	13.3	gefallen 61.6 61.8	SO OSO O	1 3 1	0 0 0	72 58 82	
13. 3	4¾—6¾	0.45	0.51	0.96	0.146	0.177	0.162	0.83	312	378	690	1.01	0.96	16.4	gefallen 62.7 62.8	OSO O ONO	1 3 3	0 0 0	70 65 77	
15. 4	1½—3½	0.41	0.43	0.84	0.160	0.173	0.167	0.92	341	369	710	0.85	0.82	14.2	gestiegen 65.9 65.7	ONO ONO O	3 3 1	0 0 0	82 43 81	
17. 5	3¼—5¼	0.44	0.40	0.84	0.168	0.154	0.161	1.09	358	329	687	0.88	0.86	20.7	gefallen 58.9 58.0	S N OSO	1 3 1	0 0 0	70 55 75	
19. 6	4—6	0.45	0.66	1.11	0.141	0.188	0.165	0.75	301	401	702	1.06	1.16	31.6	gefallen 49.9 50.1	N ONO ONO	2 3 4	8 3 1	93 62 77	Am Tage vorher Regen.
22. 7	1¼—3¼	0.54	1.11	1.65	0.177	0.362	0.270	0.49	378	772	1150	1.02	1.02	**36.6**	gefallen 65.2 65.1	WNW O O	1 3 1	0 0 1	86 47 70	
23. 8	3¾—5¾	**0.64**	0.56	1.20	0.216	0.186	0.201	1.16	460	396	856	0.98	1.01	31.2	gestiegen 57.3 58.0	OSO ONO O	2 3 2	2 3 0	81 61 78	
24. 9	10¼—12¼	0.52	**1.80**	**2.32**	0.186	**0.537**	**0.362**	0.35	398	**1140**	**1538**	0.94	1.12	25.5	gestiegen 60.6 60.6	ONO OSO O	3 4 3	8 3 0	77 63 83	
25.	4½—6½	0.55	0.44	0.99	0.193	0.143	0.168	**1.35**	411	305	716	0.96	1.02	35.9	gefallen 58.1	ONO ONO	2 3	0 3	84 73	

Tabelle 15.

Tag der Messung	Zeit	$\lambda_+ \cdot 10^4$	$\lambda_- \cdot 10^4$	$(\lambda = \lambda_+ + \lambda_-) \cdot 10^4$	J_+ pro m^3	J_- pro m^3	$J = \frac{1}{2}(J_+ + J_-)$ pro m^3	$Q = \frac{J_+}{J_-}$	n_+ pro cm^3	n_- pro cm^3	$N = n_+ + n_-$	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v+	v−	Aktivierungszahl A	Barometerstand in mm + 700 1. vorher 1. zu Beginn 3. am Schluß der Exposit.	Windrichtung 8 a, 2 p, 8 p	Windstärke 8 a, 2 p, 8 p	Bewölkung 8 a, 2 p, 8 p	Relat. Feucht. 8 a, 2 p, 8 p	Bemerkungen
Juli 26. 11	$12^1/_2 - 2^1/_2$	0.38	0.45	0.83	0.134	0.144	0.139	0.93	286	307	593	0.95	1.03	33.0	gefallen 56.8 56.5	OSO S SW	2 4 2	0 8 10	68 55 97	Um $5^h\ 30^m$ Gewitter. Regenschauer.
29. 12	$3^1/_4 - 5^1/_4$	0.22	0.22	0.44	0.088	0.090	0.089	0.99	189	191	380	0.85	0.82	10.1	gefallen 52.1 52.3	S SW S	3 3 3	8 10 0	85 51 76	Am Tage vorher Gewitter.
30. 13	$4^1/_4 - 6^1/_4$	0.25	0.25	0.50	0.092	0.103	0.098	0.87	196	221	417	0.92	0.81	5.4	gefallen 52.0 52.1	SSW SW SW	3 4 3	0 10 10	53 56 81	Regenböen um $3^h\ 30^m$, $4^h\ 50^m$ und $5^h\ 20^m$.
August 1. 14	$3^1/_4 - 5^1/_4$	0.23	0.35	0.58	0.077	0.111	0.094	0.70	165	237	402	1.04	1.04	3.4	gefallen 47.0 46.9	S SSW SW	3 4 3	10 7 8	97 65 90	◍ a und p.
3. 15	11—1	0.31	0.31	0.62	0.109	0.097	0.103	1.13	233	206	439	0.94	1.05	5.8	gestiegen 57.3 57.6	NNW WNW NW	4 1 1	0 7 0	81 56 70	
7. 16	$3^3/_4 - 5^3/_4$	0.30	0.31	0.61	0.121	0.129	0.125	0.93	258	276	534	0.82	0.80	10.5	gestiegen 51.7 51.8	S S S	2 3 2	0 10 10	90 60 85	◍ a und p.
9. 17	$3^1/_2 - 5^1/_2$	0.24	0.25	0.49	0.081	0.086	0.084	0.90	173	184	357	0.99	0.97	3.9	gestiegen 52.6 53.1	SW W W	3 3 3	10 10 10	93 73 81	◍ a und am Tage vorher.
10. 18	$2^3/_4 - 4^3/_4$	0.26	0.33	0.59	0.107	0.130	0.119	0.82	228	276	504	0.80	0.85	5.8	gefallen 54.6 54.6	SW W W	1 4 1	0 6 0	88 65 90	
13. 19	$12^1/_4 - 2^1/_4$	0.28	0.34	0.62	0.122	0.156	0.139	0.78	261	332	593	0.76	**0.73**	3.8	gefallen 47.6 47.2	SW SW SW	3 1 2	0 10 10	83 81 85	◍ am Tage vorher.
15. 20	$2^3/_4 - 4^3/_4$	0.27	0.28	0.55	0.116	0.125	0.121	0.93	247	266	513	0.78	0.74	5.7	gefallen 52.2 52.5	S SW SW	3 3 2	10 10 10	85 59 88	Regenschauer um $3^h\ 35^m$ und $4^h\ 50^m$.

Tabelle 1c.

Tag der Messung	Zeit	$\lambda_+ \cdot 10^4$	$\lambda^- \cdot 10^4$	$(\lambda = \lambda_+ + \lambda_-) \cdot 10^4$	J_+ pro m^3	J_- pro m^3	$J = \frac{1}{2}(J_+ + J_-)$ pro m^3	$Q = \frac{J_+}{J_-}$	n_+ pro cm^3	n_- pro cm^3	$N = n_+ + n_-$	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v+	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v−	Aktivierungszahl A	Barometerstand in mm + 700 1. vorher 2. zu Beginn 3. am Schluß der Exposit.	Windrichtung 8 a, 2 p, 8 p	Windstärke 8 a, 2 p, 8 p	Bewölkung 8 a, 2 p, 8 p	Relat. Feucht. 8 a, 2 p, 8 p	Bemerkungen
August 19. 21	$3^1/_4$—$5^1/_4$	0.26	0.29	0.55	0.109	0.104	0.107	1.05	232	222	454	0.81	0.92	9.4	gestiegen 54.6 54.5	SSW S OSO	3 2 2	0 6 10	87 67 88	Schwül.
20. 22	4—6	0.22	0.25	0.47	0.080	0.075	0.078	1.07	170	159	329	0.94	1.11	2.7	gestiegen 52.7 53.2	SSW S SW	2 4 2	10 10 0	93 67 75	Böig, wechselnde Bewölkung; Regentropfen $5^h\,40^m$.
22. 23	$3^3/_4$—$5^3/_4$	0.31	0.49	0.80	0.121	0.167	0.144	0.72	258	356	614	0.86	0.99	5.5	gefallen 52.5 52.7	SW S SW	4 5 2	8 4 10	95 70 82	◍ a und am Tage vorher. Sonne.
28. 24	$2^1/_2$—$4^1/_2$	0.56	0.69	1.25	**0.278**	0.307	0.293	0.91	**593**	654	1247	0.67	0.75	5.6	gestiegen 51.0 52.2	NW NW W	4 5 1	10 7 0	80 60 85	◍ am Tage vorher. Barometer steigt schnell.
September 1. 25	2—4	0.23	0.39	0.62	0.132	0.168	0.150	0.78	282	359	641	**0.58**	0.76	6.2	gefallen 57.7 57.2	SSW SSW SO	2 1 2	0 3 9	86 56 80	Schönes Sommerwetter.
3. 26	$2^3/_4$—$4^3/_4$	0.47	0.41	0.88	0.193	0.165	0.179	1.17	412	352	764	0.80	0.82	8.0	gestiegen 58.9 59.2	NW NNW SW	3 2 1	10 2 8	99 57 85	◍ am Tage vorher. ≡ morgens. Sonne.
27. 27	$2^3/_4$—$4^3/_4$	0.58	0.60	1.18	0.185	0.175	0.180	1.06	394	372	766	1.05	1.14	16.2	gestiegen 66.6 66.7	C C O	0 0 1	10 10 0	78 56 84	
29. 28	11—1	0.45	0.54	0.99	0.198	0.178	0.188	1.11	422	379	801	0.96	1.02	24.4	gefallen 66.3 65.3	OSO SO SO	3 3 3	0 0 0	93 59 81	Klares Herbstwetter Barometer fällt sehr.
30. 29	$11^1/_4$—$1^1/_4$	0.33	0.48	0.81	0.122	0.150	0.136	0.79	260	319	579	0.90	1.08	16.8	gefallen 59.0 57.0	SO SO SO	4 4 4	0 0 10	85 67 83	Starkes Tiefdruckgebiet nähert sich. Barometer fällt.
Oktober 3. 30	$3^1/_4$—$5^1/_4$	0.27	0.39	0.66	0.099	0.120	0.110	0.83	211	256	467	0.92	1.09	5.0	gestiegen 59.0 60.6	NW N N	3 3 2	5 7 8	81 38 53	Barometer steigt sehr.

Tabelle 1a.

Tag der Messung	Zeit	$\lambda_+ \cdot 10^4$	$\lambda_- \cdot 10^4$	$(\lambda = \lambda_+ + \lambda_-) \cdot 10^4$	J_+ pro m^3	J_- pro m^3	$J = \frac{1}{2}(J_+ + J_-)$ pro m^3	$Q = \frac{J_+}{J_-}$	n_+ pro cm^3	n_- pro cm^3	$N = n_+ + n_-$	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v_+	Beweglichkeit cm^2 / Volt sek. v_-	Aktivierungszahl A	Barometerstand in mm + 700 1. vorher 2. zu Beginn 3. am Schluß der Exposit.	Windrichtung 8 a, 2 p, 8 p	Windstärke 8 a, 2 p, 8 p	Bewölkung 8 a, 2 p, 8 p	Relat. Feucht. 8 a, 2 p, 8 p	Bemerkungen
Oktober 4. 31	3—5	0.27	0.32	0.59	0.144	0.142	0.143	1.02	308	303	611	0.63	0.76	2.5	gestiegen 71.0 71.3	SW NW SW	3 1 2	0 4 0	58 49 87	
5. 32	2—4	**0.16**	0.31	0.47	**0.044**	0.087	0.066	0.51	**94**	185	279	1.23	1.20	**1.8**	gefallen 70.4 70.2	SW WSW S	2 4 2	10 3 0	92 79 94	◍ a ∞. aufklarend.
6. 33	11—1	0.18	**0.17**	**0.35**	0.080	0.073	0.077	1.10	172	155	327	0.73	0.77	7.3	gefallen 70.1 69.3	S SSO SO	2 3 1	0 0 0	86 55 80	
9. 34	$2^3/_4$—$4^3/_4$	0.62	0.61	1.23	0.205	0.199	0.202	1.03	438	424	862	1.01	1.02	13.8	gestiegen 69.6 70.1	ONO ONO SO	1 3 2	10 0 0	99 70 85	≡ morgens.
10. 35	$3^1/_2$—$5^1/_2$	0.45	0.50	0.95	0.175	0.157	0.166	1.12	374	334	708	0.86	1.06	11.3	gefallen 70.4 70.1	SO SO S	2 1 2	0 3 0	98 69 92	
11. 36	$2^3/_4$—$4^3/_4$	0.27	0.34	0.61	0.094	0.103	0.099	0.91	200	219	419	0.97	1.12	11.8	gefallen 66.3 66.0	SSO S S	2 1 2	0 10 0	94 65 90	
13. 37	$2^1/_4$—$4^1/_4$	0.33	0.55	0.88	0.116	0.149	0.133	0.78	246	318	564	0.96	**1.24**	9.6	gestiegen 67.6 67.8	C O O	0 1 2	10 5 0	90 73 90	Sonne.
14. 38	$12^1/_2$—$2^1/_2$	0.27	0.19	0.46	0.064	**0.060**	**0.062**	1.07	137	**128**	**265**	**1.38**	1.03	18.7	gefallen 65.4 65.2	SSO S S	3 3 3	0 10 10	92 76 98	∞ ◍ p.
15. 39	$2^3/_4$—$4^3/_4$	0.51	0.47	0.98	0.239	0.213	0.226	1.12	509	455	964	0.71	0.74	4.7	gestiegen 63.6 63.8	WNW WNW SW	3 4 2	6 4 5	93 64 89	◍ a.
21. 40	$1^3/_4$—$3^3/_4$	0.20	0.25	0.45	0.067	0.082	0.075	0.83	144	174	318	1.00	1.00	7.5	gefallen 48.7 48.6	S SSO S	4 4 4	10 7 10	90 70 82	◍ am Tage vorher.

Es bedeutet:

$\lambda = \lambda_+ + \lambda_-$ das gesamte Leitvermögen der Luft im absoluten elektrostatischen Maß,

J_+ (J_-) der Gehalt der Luft an positiven (negativen) Ionen in elektrostatischen Einheiten pro 1 m^3,

n_+ (n_-) die Anzahl der positiven (negativen) Ionen der Luft pro 1 cm^3,

$J = \frac{1}{2}(J_+ + J_-)$,

$Q = \frac{J_+}{J_-} = \frac{n_+}{n_-}$,

$N = n_+ + n_-$.

Für das Elementarquantum ist $\varepsilon = 4{,}69 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten angenommen [1]).

Zu Beginn und am Schluß jeder Messung wurde der Barometerstand abgelesen. Der Barometergang wurde durch einen Barographen aufgezeichnet. Die übrigen meteorologischen Daten wurden den Aufzeichnungen der nahen Sternwarte entnommen.

Aus der Tabelle 1, in der alle Beobachtungswerte zusammengestellt sind, ist ein Zusammenhang zwischen der Aktivierungszahl A, dem Ionengehalt der Luft und der Ionenbeweglichkeit nicht sofort erkennbar. Ein Vergleich aller Werte ist auch nicht angebracht, er ist nur erlaubt für die luftelektrisch günstigen Tage. Wir müssen also aus der Tabelle 1 die luftelektrisch anormalen Tage ausschalten.

In der Tabelle 2a sind nun die Werte für A und die positiven Elektrizitätsträger (denn nur diese dürfen wir mit A vergleichen) zusammengestellt, welche an Tagen mit einer Bewölkung von 0 bis 5 (der 10-teiligen Skala) und mit keinem oder geringem, weniger als 1 mm betragenden Niederschlag während der letzten 24 Stunden vor der Messung gefunden wurden.

Der besseren Übersicht halber sind die Werte der Tabelle 2a für A, λ_+, J_+ und v_+ in der folgenden Tabelle 2b noch einmal nach fallenden Werten von A zusammengestellt, und es sind alle Werte ausgedrückt durch ihre Abweichung vom Mittelwert. Durch Vergleichung der Vorzeichen in den Horizontalreihen ist der Zusammenhang zwischen A und den drei anderen Größen ohne weiteres

[1]) Phys. Z.-S. **13**, 685 (1912).

Tabelle 2a. (Luftelektrisch günstige Tage.)

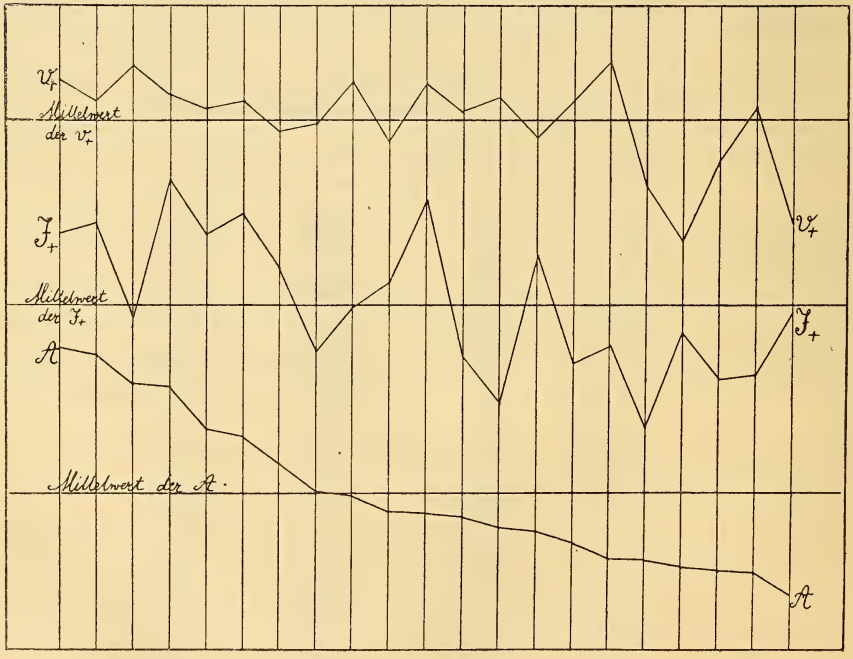
	Tag der Messung	$\lambda_+ . 10^4$	J_+	$Q = \frac{J_+}{J_-}$	v_+	A
1.	Juli 9.	0,40	0,125	1,18	**1,07**	7,5
2.	„ 11.	0,33	0,119	**0,34**	0,93	13,3
3.	„ 13.	0,45	0,146	0,83	1,01	16,4
4.	„ 15.	0,41	0,160	0,92	0,85	14,2
5.	„ 17.	0,44	0,168	1,09	0,88	20,7
6.	„ 19.	0,45	0,141	0,75	1,06	31,6
7.	„ 22.	0,54	0,177	0,49	1,02	**36,6**
8.	„ 23.	**0,64**	**0,216**	1,16	0,98	31,2
9.	„ 24.	0,52	0,186	0,35	0,94	25,5
10.	„ 25.	0,55	0,193	**1,35**	0,96	35,9
11.	August 3.	0,31	0,109	1,13	0,94	5,8
12.	„ 10.	0,26	0,107	0,82	0,80	5,8
13.	September 1.	0,23	0,132	0,78	**0,58**	6,2
14.	„ 29.	0,45	0,198	1,11	0,96	24,4
15.	„ 30.	0,33	0,122	0,79	0,90	16,8
16.	Oktober 4.	0,27	0,144	1,02	0,63	**2,5**
17.	„ 6.	**0,18**	**0,080**	1,10	0,73	7,3
18.	„ 9.	0,62	0,205	1,03	1,01	13,8
19.	„ 10.	0,45	0,175	1,12	0,86	11,3
20.	„ 11.	0,27	0,094	0,91	0,97	11,8
21.	„ 13.	0,33	0,116	0,78	0,96	9,6
Im Mittel		0,40	0,148	0,91	0,91	16,6

Tabelle 2b.

A	$\lambda_+ . 10^4$	J_+	v_+
+20,0	+0,14	+0,029	+0,11
+19,3	+0,15	+0,045	+0,05
+15,0	+0,05	−0,007	+0,15
+14,6	**+0,24**	**+0,068**	+0,07
+ 8,9	+0,12	+0,038	+0,03
+ 7,8	+0,05	+0,050	+0,05
+ 4,1	+0,04	+0,020	−0,03
+ 0,2	−0,07	−0,026	−0,01
− 0,2	+0,05	−0,002	+0,10
− 2,4	+0,01	+0,012	−0,06
− 2,8	+0,22	+0,057	+0,10
− 3,3	−0,07	−0,029	+0,02
− 4,8	−0,13	−0,054	+0,06
− 5,3	+0,05	+0,027	−0,05
− 7,0	−0,07	−0,032	+0,05
− 9,1	±0,00	−0,023	**+0,16**
− 9,3	**−0,22**	**−0,068**	−0,18
−10,4	−0,17	−0,016	**−0,33**
−10,8	−0,14	−0,041	−0,11
−10,8	−0,09	−0,039	+0,03
−14,1	−0,13	−0,004	−0,28

erkennbar. Das Vorzeichen von A stimmt mit dem von λ_+ in 74 % und mit dem von J_+ sogar in 76 % aller Fälle überein. Die Vorzeichen zwischen A und v_+ harmonieren weniger gut, die Übereinstimmung beträgt nur 57 %. Das kommt daher: Von den 21 Beobachtungsreihen liegen nur 8 Werte von A über dem Mittel, dagegen 13 von v_+.

Am deutlichsten wird der Zusammenhang zwischen der Radioaktivität, der Ionisation und der Ionenbeweglichkeit, wenn wir die Werte der Tabelle 2b durch Kurven darstellen. Dies ist in der Figur 3 für die Werte von A, J_+ und v_+ geschehen. Und zwar sind dort die Abweichungen von den Mittelwerten als Ordinaten in willkürlichen Einheiten von der Linie der Mittelwerte als Abszisse aus abgetragen. Auf derselben Ordinate liegende Punkte der drei Kurven bedeuten also einander zugeordnete, d. h. gleichzeitig gemessene Werte. Wie in der Tabelle 2b, so sind auch hier die Kurven nach fallenden Werten von A geordnet worden. Wenn auch die Kurven für J_+ und v_+ ziemlich unregelmäßig verlaufen, so ist doch ein Fallen der Kurven von links nach rechts und damit ein Zusammenhang mit der A-Kurve nicht zu verkennen.



Figur 3.

Wir können also die eingangs erwähnte Vermutung von Lindemann über die eigentliche Bedeutung der Aktivierungszahl kurz folgendermaßen beantworten:

Unter der Voraussetzung, daß der Ionisationszustand der Atmosphäre in Kiel hauptsächlich von den Strahlungen der radioaktiven Stoffe und deren Zerfallsprodukte herrührt, können wir auf Grund unserer Beobachtungen sagen:

Hohen (niedrigen) Werten von A entsprechen fast regelmäßig gleichzeitig gemessene hohe (niedrige) Werte sowohl von J_+ als auch von v_+. Oder:

Die Aktivierungszahl A gibt indirekt ein ungefähres Maß sowohl für den Gehalt der Atmosphäre an positiven Elektrizitätsträgern als auch für die Beweglichkeit derselben.

Diesen Schluß können wir auch auf die Beweglichkeit der negativen Ionen ausdehnen, da das Verhältnis zwischen den Beweglichkeiten der beiden Ionenarten keinen großen Schwankungen unterworfen ist, wie aus der Tabelle 1 zu ersehen ist. Nicht aber ist er zulässig für den Ionengehalt der Atmosphäre im allgemeinen; denn das Verhältnis zwischen dem Gehalt der Luft an positiven und dem an negativen Ionen ist derartig großen und unregelmäßigen Schwankungen unterworfen, daß ein Zusammenhang zwischen der Aktivierungszahl A und dem Ionengehalt der Luft nicht erkennbar ist.

Die negativen Ionen scheinen in der Kieler Atmosphäre eine besondere Rolle zu spielen. An fast allen anderen Orten haben Ionenzählungen ein manchmal sehr bedeutendes Überwiegen von positiven Ionen ergeben. Wie aus den oben stehenden Tabellen zu ersehen ist, scheint für Kiel der umgekehrte Fall die Regel zu sein.

Zweiter Teil.

Die Abhängigkeit des elektrischen Zustandes der Atmosphäre in Kiel von meteorologischen Faktoren.

Im Anschluß an die oben stehenden Ausführungen erscheint es lohnend, auf Grund des in der Tabelle 1 enthaltenen Beobachtungsmaterials, die einzelnen luftelektrischen Elemente hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von den wichtigsten meteorologischen Faktoren zu untersuchen. Und zwar geschieht diese Untersuchung im folgenden

nur für diejenigen meteorologischen Faktoren, deren Beeinflussung unzweifelhaft und von Bedeutung ist. In den beiden nächsten Tabellen 3 und 4 über den Einfluß des Barometerstandes und der Barometerschwankungen sind die Tage mit mehr als 1 mm Niederschlag vor und während der Messung ausgeschlossen. Sonst sind alle in der Tabelle 1 angeführten Daten berücksichtigt.

I. Der Einfluß des Luftdruckes.

Eine gesetzmäßige Beeinflussung der einzelnen luftelektrischen Werte, außer Q, durch den Barometerstand ist unverkennbar. Sie geschieht aber nicht bei allen Werten gleichartig. Überall finden wir kleine Werte bei niedrigem Barometerstande. Bei normalem Luftdruck, 760 ± 5 mm, werden alle Werte größer, um bei ungewöhnlich hohem Luftdruck wieder kleiner zu werden; jedoch wird dann kein Wert so klein, wie bei einem Luftdruck unter 755 mm. Auffallend ist, daß der höchste Mittelwert für A bei Barometerständen zwischen 755 und 760 mm gefunden wurde und die Änderung der Mittelwerte von A keiner Änderung eines andern Wertes parallel geht. In der Tabelle 3 befindet sich eine Zusammenstellung der in Betracht kommenden Mittelwerte.

Tabelle 3.

Barometerstand	< 755 mm	755 bis 760	760 bis 765	> 765 mm
$\lambda \cdot 10^4$	**0,64**	0,83	**1,20**	0,89
J	**0,124**	0,150	**0,187**	0,153
J+	**0,117**	**0,152**	0,128	0,143
J−	**0,131**	0,147	**0,245**	0,163
Q	0,90	**1,03**	**0,75**	0,91
v+	**0,87**	0,88	**1,07**	0,90
v−	**0,89**	0,97	**1,06**	1,02
A	**9,5**	**18,1**	16,3	13,6
Anzahl der Beobachtungen . .	(12)	(9)	(5)	(11)

II. Der Einfluß der Luftdruckschwankungen.

Als mittlere Luftdruckschwankung $\frac{\Delta b}{\Delta t}$ bezeichnen wir die Änderung des Barometerstandes von 8^h morgens bis 2^h mittags, also ungefähr während der letzten 6 Stunden vor der Messung. Diese Werte von $\frac{\Delta b}{\Delta t}$ sind den Aufzeichnungen der Sternwarte entnommen.

Der mir zur Verfügung stehende Barograph zeichnete nicht deutlich genug, um aus seinen Kurven die Luftdruckschwankungen genau während der letzten 6 Stunden vor der Messung entnehmen zu können.

Die Luftdruckschwankungen machen sich bei den einzelnen Werten nicht so bemerkbar, wie es zu erwarten wäre. Eine gleichartige Änderung zeigen nur die Werte für Q bei fallendem und die Werte für v_+ und A bei steigendem Barometerstande. Im allgemeinen finden wir kleinere Werte für λ, J, J_+, J_- und Q bei fallendem als bei steigendem Luftdruck. Die höchsten Werte von A fanden wir bei stark fallendem Barometerstande, was auch ganz natürlich ist. Bemerkenswert ist, daß dann auch gleichzeitig hohe Mittelwerte für die Beweglichkeiten beider Ionenarten gefunden wurden.

Tabelle 4.

Luftdruck	fallend			steigend		
$\frac{\Delta b}{\Delta t}$	mehr als 1,5 mm	1,5 bis 0,5 mm	bis 0,5 mm	bis 0,5 mm	0,5 bis 1,5 mm	mehr als 1,5 mm
$\lambda \cdot 10^4$ . . .	0,80	0,64	**0,87**	**1,24**	0,75	0,93
J	0,135	0,120	**0,150**	**0,208**	0,131	0,194
J_+	0,131	0,116	**0,123**	0,163	0,133	**0,190**
J_-	0,139	0,124	**0,176**	**0,253**	0,130	0,197
Q	0,95	0,92	0,82	**0,82**	**1,02**	0,97
v_+	**1,03**	0,87	0,93	0,92	0,91	**0,80**
v_-	**1,05**	0,93	0,94	0,97	1,01	**0,89**
A	**20,7**	10,5	14,9	14,4	9,9	**6,2**
Anzahl der Messungen . .	(6)	(7)	(9)	(4)	(8)	(3)

Die in der Tabelle 4 zusammengestellten Werte sind nicht so zuverlässig wie die übrigen, da sie aus zu wenig Beobachtungen gemittelt wurden.

III. Der Einfluß der Windrichtung.

Die Angaben der Windrichtungen wurden aus eigenen Schätzungen während der Beobachtungszeit und aus den Angaben der Sternwarte kombiniert. In der folgenden Tabelle 5 sind die luftelektrischen Daten in 4 Gruppen geordnet nach den 4 Quadranten der Windrose: von Nord exklusive bis Ost inklusive usf.

Wir finden die größte Leitfähigkeit der Luft und stärkste Ionisation bei N- bis O-Winden. Auch die Beweglichkeit beider Ionen-

arten ist dann sehr groß. Auffallend hohe Werte finden wir auch für A; nur ein Wert von A bleibt bei den 11 NO-Winden unter dem Mittelwert aller Messungen. Alle niedrigsten Werte finden wir bei S- bis W-Winden. Der aus 13 Messungen gebildete Mittelwert von v_+ macht hiervon nur scheinbar eine Ausnahme wegen eines auffallend hohen Wertes, der auch zur Mittelbildung verwendet werden mußte.

Tabelle 5.

Windrichtung	(N) bis O	(O) bis S	(S) bis W	(W) bis N
$\lambda \cdot 10^4$	**1,20**	0,76	**0,56**	0,85
J	**0,197**	0,130	**0,110**	0,171
J+	0,172	0,117	**0,101**	**0,174**
J−	**0,222**	0,142	**0,119**	0,168
Q	0,89	0,91	**0,86**	**1,06**
v+	**0,97**	0,95	**0,86**	**0,85**
v−	**1,03**	1,01	**0,90**	0,92
A	**22,9**	15,5	**5,1**	6,1
Anzahl der Messungen	(11)	(10)	(13)	(6)

IV. Der Einfluß der relativen Feuchtigkeit.

Von großem Interesse ist der Einfluß der relativen Feuchtigkeit auf die luftelektrischen Faktoren. Leider stand mir das Aßmann'sche Aspirations-Psychrometer der Abteilung wegen anderweitiger Verwendung nicht zur Verfügung, so daß es nicht möglich war, die relative Feuchtigkeit während der Messungen genau zu kontrollieren. Ich mußte mich auf die dreimal täglich bestimmten Angaben der Sternwarte beschränken. Daher konnten in der (folgenden) Tabelle 6 die Beobachtungen auch nur in 3 Gruppen geordnet

Tabelle 6.

Relative Feuchtigkeit	< 60 %	60 % bis 75 %	> 75 %
$\lambda \cdot 10^4$	0,80	**0,92**	**0,69**
J	0,153	**0,164**	**0,117**
J+	0,133	**0,152**	**0,108**
J−	0,171	**0,177**	**0,126**
Q	**0,85**	**0,96**	0,86
v+	**0,83**	0,90	**0,99**
v−	**0,90**	0,96	**1,02**
A	**15,4**	14,1	8,8
Anzahl der Messungen	(7)	(21)	(12)

werden. Es lassen sich jedoch aus diesen 3 Gruppen schon sichere Schlüsse ziehen.

Nicht überraschend ist der hohe Mittelwert von A bei geringer und der bedeutend niedrigere Wert bei hoher relativer Feuchtigkeit. Auf den Ionengehalt und die Leitfähigkeit der Luft wirkt die relative Feuchtigkeit im gleichen Sinne: die Mittelwerte aus den in Betracht kommenden Beobachtungen sind klein bei hoher relativer Feuchtigkeit. Hohe Mittelwerte ergeben sich nicht, wie man erwarten sollte, bei großer Trockenheit, sondern bei mittlerem Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

Ganz auffallend sind die kleinen Werte der Ionenbeweglichkeiten bei trockener und die großen Ionenbeweglichkeiten bei feuchter Luft. Gerade das Umgekehrte hätte man erwarten sollen.

V. Der Einfluß anderer meteorologischer Faktoren.

Es lohnt sich nicht, auch den Einfluß der weiteren meteorologischen Faktoren genau zu untersuchen. Ihre Einwirkung ist, wenn überhaupt erkennbar, meistens sehr gering und kommt erst in zweiter Linie in Betracht, da sie gewöhnlich als Nebenerscheinung der unter I bis IV besprochenen Verhältnisse auftritt.

Die Anzahl der Messungen ist auch zu gering, um eine genaue Untersuchung rechtfertigen zu können. Im folgenden seien die Verhältnisse nur ganz kurz erwähnt, wie sie sich unverkennbar zeigten.

Aus den wenigen Tagen mit Niederschlägen läßt sich ein sicherer Schluß hinsichtlich der Beeinflussung der Niederschlagshöhe auf die betrachteten luftelektrischen Faktoren ziehen. Im wesentlichen ist der Zusammenhang in der Betrachtung unter IV enthalten.

Nebel wurde nur zweimal als Morgennebel beobachtet, der zur Zeit der Messungen am Nachmittag längst wieder verschwunden war. Also war es nicht möglich, eine Abhängigkeit nachzuweisen.

Auch der Einfluß der Dunstbildung kann nicht untersucht werden, da die diesbezüglichen Beobachtungen nicht angestellt wurden. Die lokalen Verhältnisse ließen auch kein Urteil über den Grad der Fernsicht zu. Ein Aitken'scher Apparat zur Bestimmung des Staubgehaltes der Luft stand mir nicht zur Verfügung.

Da sich die angestellten Beobachtungen nur auf einen Zeitraum von knapp 4 Monaten erstrecken, wäre es zwecklos, den Ein-

fluß der Temperatur zu untersuchen. Eine Einwirkung der Temperatur ist wohl nicht zu leugnen. Sie scheint aber nur nebensächliche Bedeutung zu haben, wenigstens auf die Aktivierungszahl A. Den höchsten in Kiel beobachteten Wert von A erhielt ich am 17. Januar 1912 bei einer Temperatur von $-5\frac{1}{2}^0$, also bei Frostwetter. Es war an diesem Tage A = 47,0. Im allgemeinen wurden bei hoher Temperatur die Leitfähigkeit und der Ionengehalt der Luft größer gefunden als bei niedriger Temperatur.

Von großem Interesse wäre auch eine Untersuchung über den Zusammenhang der Windstärke mit dem elektrischen Zustand der Atmosphäre gewesen. Gerade die annähernd windstillen Tage hätten ein sicheres Urteil über den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre zugelassen. Es kamen aber während der Beobachtungszeit nur 3 windstille Tage vor, und nur an 3 weiteren Tagen war schwache Luftbewegung, Winstärke 0—1 der 6-teiligen Land-Skala, vorhanden. Gewöhnlich herrschte eine mittlere Windstärke von 2—3. Auch sogenannte Sturmtage waren selten. Der Einfluß der Windstärke auf die Luftelektrizität kann also nicht näher untersucht werden.

VI. Mittelwerte und Extreme.

In der folgenden Tabelle 7 sind der Vollständigkeit halber außer den beobachteten Maxima und Minima die Mittelwerte aus den Resultaten aller ausgeführten brauchbaren Beobachtungen der einzelnen luftelektrischen Faktoren zusammengestellt.

Die Leitfähigkeit der Atmosphäre in Kiel ist im allgemeinen sehr gering. Auffallend klein sind die Werte von λ_+. Die Werte von λ_- sind in 70 % aller Fälle größer gefunden worden als diejenigen von λ_+. Die Extremwerte von λ_- liegen sehr weit auseinander, während λ_+ nicht so sehr veränderlich ist.

Auch der Ionengehalt der Kieler Luft ist außerordentlich gering. Wir finden Werte, welche noch niedriger sind, als die bisher an der Küste und auf dem Meere gefundenen[1]). Ebenso ist der Ionengehalt der Luft großen Schwankungen unterworfen, welche für die negativen Ionen bedeutend größer sind als für die positiven. Analog den Werten für die polaren Leitfähigkeiten finden wir ein Überwiegen der negativen Ionen, ganz im Gegensatz zu der allgemeinen Regel, welche das Gegenteil besagt. Wir haben nur

[1]) H. Mache und E. von Schweidler, „Die atmosphärische Elektrizität", pg. 88.

in 40 % aller Fälle den Quotienten Q größer als Eins gefunden. Im Mittel war Q = 0,92. Das ist sehr auffallend.

Tabelle 7.

	Maximum	Mittel	Minimum
$\lambda \cdot 10^4$	2,32	0,83	0,35
$\lambda_+ \cdot 10^4$	0,64	0,36	0,16
$\lambda_- \cdot 10^4$	1,80	0,47	0,17
J_+	0,278	0,136	0,044
J_-	0,537	0,160	0,060
$J = \frac{1}{2}(J_+ + J_-)$ . . .	0,362	0,148	0,062
$Q = \frac{J_+}{J_-}$	1,35	0,92	0,34
n_+	593	289	94
n_-	1140	342	128
$N = n_+ + n_-$ . . .	1538	631	265
v_+	1,38	0,91	0,58
v_-	1,24	0,97	0,73
A	36,6	12,7	1,8

Die Beweglichkeit beider Ionenarten war ziemlich normal. Im Mittel ist die Beweglichkeit der negativen Ionen größer als die der positiven. Aber nicht immer, da die Extremwerte von v_+ sich bedeutend mehr vom Mittelwert entfernen als diejenigen von v_-. In 30 % aller beobachteten Fälle ist daher die Beweglichkeit der positiven Elektrizitätsträger größer als die der negativen.

Da wir ganz anormales Verhalten der beiden polaren Leitfähigkeiten und der beiden Ionenarten zueinander gefunden haben, so finden wir auch die allgemeine Regel nicht bestätigt, daß ungefähr die jeweiligen Ionenzahlen sich umgekehrt zueinander verhalten, wie die entsprechenden Ionenbeweglichkeiten, daß also sei: $J_+ : J_- = v_- : v_+$. Es müßte dann allerdings auch ungefähr $\lambda_+ = \lambda_-$ sein. Wir haben aber nur in 3 von 40 Fällen $\lambda_+ = \lambda_-$ gefunden, und auch dann konnte die obige Proportion nicht bestehen.

Dritter Teil.

Vergleichende Schlußbetrachtungen.

Die vorstehenden Ergebnisse sind als Stichproben zu betrachten. Der Nutzen gleichzeitiger Beobachtung mehrerer luftelektrischer Elemente ist aus ihnen erkennbar und läßt den weiteren Schluß zu, daß zur vollständigen Erforschung der atmosphärischen Elektrizität

nicht bloß längere Beobachtungsperioden, sondern eine weitere Vervollständigung durch gleichzeitige Messung des Potentialgefälles usw. bedeutende Vorteile versprechen würde.

Da bereits früher in Kiel auf dem Sternwarteberg Aktivierungsmessungen ausgeführt worden sind, so lag es nahe, die von mir gefundenen Ergebnisse mit diesen zu vergleichen.

Als Mittel aller von mir gefundenen Aktivierungszahlen ergab sich $A = 12{,}7$. Verhältnismäßig gut stimmt hiermit der von Lindemann[1]) im Herbst 1910 gefundene Mittelwert aus 63 Beobachtungen $A = 10{,}4$ überein. Aber nicht der Mittelwert von Brandes[2]) im Jahre 1904. Brandes fand aus ungefähr 40 Beobachtungen $A = 7{,}5$. Seine Extreme waren $A_{max} = 17{,}0$ und $A_{min} = 1{,}1$. Leider fehlen alle näheren Angaben, so daß auf einen Vergleich mit den Brandes'schen Werten hier nicht eingegangen werden kann. Die von Lindemann gefundenen Extremwerte sind: $A_{max} = 39{,}0$ und $A_{min} = 1{,}8$, während von mir $A_{max} = 36{,}6$ und $A_{min} = 1{,}8$ beobachtet wurde; abgesehen von dem schon erwähnten außerordentlich hohen Wert $A = 47{,}0$ im Januar 1912. Die Aktivierungszahlen dieser beiden Beobachtungsperioden bewegen sich also ungefähr zwischen denselben Grenzen.

Ich stimme ferner noch in folgenden Punkten mit Lindemann überein:

Hohe Aktivität zeigt sich bei östlichen Winden, großer Transparenz der Luft und geringer relativer Feuchtigkeit; dagegen finden wir niedrige Werte bei westlichen Winden, bewölktem Himmel und hoher relativer Feuchtigkeit. Nur in sehr beschränktem Maße teile ich seine Meinung über die Abhängigkeit der Aktivierungszahl vom Barometerstande. Daß ich nicht immer hohe Werte für A bei sehr hohem Barometerstande und umgekehrt gefunden habe, ist aus dem im zweiten Teile unter II Gesagten und aus den Tabellen 1 und 3 zu ersehen.

Zu einer wesentlich anderen Ansicht bin ich gekommen bezüglich des Einflusses der Barometerbewegung. Lindemann findet fast immer, daß hoher Aktivität eine Steigerung des Luftdruckes voranging. Aus der Tabelle 4 ist zu ersehen, daß bei den von mir ausgeführten Beobachtungen im allgemeinen das Gegenteil der Fall war.

---

[1]) M. Lindemann, l. c. pg. 3.
[2]) H. Brandes, Inaug.-Dissert., Kiel 1905.

Es schien Lindemann sehr merkwürdig, daß die Regel: Wind von der See her bringt niedrigere Werte von A als Wind vom Kontinent her, nicht zu ihrem Rechte käme. Er sagt: bei südlichen, also kontinentalen Winden, wurden verhältnismäßig kleine Werte von A gefunden, während nordöstlicher Wind, der für Kiel reiner Seewind ist, die Aktivierungszahl stets erhöhte. Nach seiner Meinung müßte gerade die obige Regel in Kiel sich aufs beste bestätigen lassen.

Diese Beobachtung erklärt sich zum Teil wohl dadurch, daß die in Kiel wehenden SW-Winde nicht als eigentliche Kontinentalwinde zu betrachten sind, vielmehr ihren Ursprung auf dem Ozean haben, und daß wiederum die NO-Winde, welche ihren Ursprung in dem Kontinent haben, durch das Überstreichen der verhältnismäßig kleinen Ostsee nicht den Charakter von Seewinden annehmen. Am deutlichsten wird aber die Lindemann'sche Bemerkung, wie weiter unten noch näher gezeigt wird, darin ihre Erklärung finden, daß der wechselnde luftelektrische Charakter nicht sowohl durch den Gegensatz zwischen kontinentalen und Seewinden, als vielmehr durch denjenigen zyklonaler und antizyklonaler Wetterzustände bedingt wird.

Mit der Tatsache, daß bei nordöstlichen Winden stets hohe Aktivierungszahlen gefunden wurden, sucht R. Dau[1]) mit Rücksicht auf die Lindemann'schen Ergebnisse sich in folgender Weise abzufinden:

Er nimmt als feststehend an, daß die Aktivierung bei austretender Bodenluft eine größere als bei eintretender ist. Hiermit steht dann im Einklang, wenn er bei östlichen Winden und zugleich fallendem Barometer ein Austreten der Bodenluft findet. Daß er aber auch bei östlichen Winden und steigendem Barometer ein Austreten der Bodenluft findet, erklärt er durch den Umstand, daß der gemeinsame Ort unserer Beobachtungen bereits auf der südwestlichen Seite des höchsten Punktes des Düsternbrooker Hügelgeländes liegt. Dadurch müssen östliche Winde durch ihren Druck auf den Ostabhang ein Austreten der Luft auf der westlichen Seite bewirken.

Die Grundannahme, daß größere Radioaktivität durch austretende Bodenluft bedingt werde, wird durch die Dau'schen Versuche also nicht widerlegt. Allein ich glaube zeigen zu können,

---

[1]) R. Dau, Inaug.-Dissert., Kiel 1911.

daß die höhere Aktivierung der Luft eine mindestens ebenso gute, wenn nicht bessere oder wenigstens gleichzeitige Erklärung durch die allgemeine Wetterlage findet.

Schon Lindemann fiel es auf, daß hohe Aktivität der Atmosphäre mit antizyklonaler Wetterlage korrespondierte, und umgekehrt. Außerdem schienen ihm seine Ergebnisse den Schluß zuzulassen, daß der größte Teil der in der Atmosphäre vorhandenen radioaktiven Emanation nicht aus dem Erdboden, sondern aus den oberen Schichten der Atmosphäre stamme.

Im Verfolg dieses Gedankens bemerke ich, daß ich im zweiten Teile dieser Arbeit, so weit es möglich war, den Einfluß der einzelnen meteorologischen Faktoren auf den elektrischen Zustand der Atmosphäre untersucht habe. Ich habe diese Methode der Untersuchung eingeschlagen, weil sie die allgemein übliche ist, obgleich ich von ihrer Unvollkommenheit überzeugt bin. Man erhält auf diese Weise keinen klaren Überblick über den wahren Sachverhalt der Dinge.

Um nun einem Zusammenhange mit der allgemeinen Wetterlage nachzuspüren, habe ich eine Untersuchung für eine Anzahl von Beobachtungen an der Hand der von der Kaiserlichen Marine durch die Deutsche Seewarte in Hamburg täglich herausgegebenen großen Wetterkarte durchgeführt. In der Tabelle 8 befindet sich eine Zusammenstellung der Beobachtungsergebnisse für die Tage, an denen $A > 20{,}0$, und in der Tabelle 9 eine solche für die Tage, an denen $A < 5{,}0$ gefunden wurde.

Diese nach zwei ganz charakteristischen Gesichtspunkten geordnete Zusammenstellung gestattet einen viel klareren Überblick über die Beschaffenheit der Luftelektrizität, als alle anderen Untersuchungen.

Stellen wir noch in der folgenden Tabelle 10 die Mittelwerte aller Beobachtungen mit den Mittelwerten aus Tabelle 8 und Tabelle 9 zusammen, so ergibt sich folgendes:

Tabelle 10.

	$\lambda \cdot 10^4$	J_+	J_-	Q	N	v_+	v_-	A
Mittelwerte bei $A > 20{,}0$	1,24	0,177	0,230	0,90	880	0,97	1,03	29,9
Mittel aller Beobachtungen	0,83	0,136	0,160	0,92	631	0,91	0,97	12,7
Mittelwerte bei $A < 5{,}0$	0,61	0,111	0,124	0,87	500	0,90	0,96	3,5

Tabelle 8. Zusammenstellung der Werte bei A > 20,0.

	Tag der Beobachtung	$\lambda . 10^4$	J_+	J_-	Q	N	v_+	v_-	A	Barometergang vorher	Barometerstand + 700	Allgemeine Wetterlage
1.	Juli 17.	0.84	0.168	0.154	1.09	687	0.88	0.86	20.7	fallend	58.9	Hoher Luftdruck von den Britischen Inseln bis Rußland. Wetter ruhig, heiter, trocken und warm.
2.	19.	1.11	0.141	0.188	0.75	702	1.06	1.16	31.6	fallend	49.9	Hochdruckgebiet über Nordwest-Europa. Minimum von Süd-Frankreich gekommen über Mittel-Europa.
3.	22.	1.65	0.177	0.362	0.49	1150	1.02	1.02	36.6	fallend	65.2	Hochdruckgebiet hat zugenommen und schreitet südostwärts vor. Minimum ostwärts verschoben.
4.	23.	1.20	0.216	0.186	1.16	856	0.98	1.01	31.2	steigend	57.3	Hochdruckgebiet im N noch vorhanden. Minimum ostwärts verschoben. Neues Tief zwischen Irland und Frankreich.
5.	24.	2.32	0.186	0.537	0.35	1538	0.94	1.12	25.5	steigend	60.6	Maximum im N nimmt zu. Minimum im W wird deutlicher. Östliche Winde, heiter, trocken.
6.	25.	0.99	0.193	0.143	1.35	716	0.96	1.02	35.9	fallend	58.1	Minimum über Finnland südöstlich verlagert. Minimum im W rückt langsam vor. Östliche Winde, warm, heiter.
7.	26.	0.83	0.134	0.144	0.93	593	0.95	1.03	33.0	fallend	56.8	Maximum über Finnland und Island. Tiefdruckausläufer reicht bis zur Elbmündung. Östliche Winde, heiter, trocken, warm.
8.	August 29.	0.99	0.198	0.178	1.11	801	0.96	1.02	24.4	fallend	66.3	Hoher Luftdruck über Kontinental-Europa. Minimum über Finnland nordostwärts ziehend. Neues Tief im W.
Im Mittel		1.24	0.177	0.230	0.90	880	0.97	1.03	29.9	fallend	59.1	Antizyklonale Wetterlage mit östlichen kontinentalen Winden.

Tabelle 9. Zusammenstellung der Werte bei A $< 5{,}0$.

	Tag der Beobachtung	$\lambda . 10^4$	J_+	J_-	Q	N	v_+	v_-	A	Barometergang vorher	Barometerstand +700	Allgemeine Wetterlage
1.	August 1.	0.58	0.077	0.111	0.70	402	1.04	1.04	3.4	fallend	47.0	Ein ozeanisches Tiefdruckgebiet hat sich schnell über West- und Mittel-Europa ausgebreitet. Westl. Winde mit Regen.
2.	9.	0.49	0.081	0.086	0.90	357	0.99	0.97	3.9	steigend	52.6	Tiefdruckgebiet über Nord-Europa. Hoher Druck über Mittel-Europa. Trübes Wetter. Westl. Winde mit Regen.
3.	13.	0.62	0.122	0.156	0.78	593	0.76	0.73	3.8	fallend	47.6	Tiefdruckgebiet über Nord- und Ostsee. Südwestl. Winde. Wechselnde Bewölkung, kühl, stellenweise Regen.
4.	20.	0.47	0.080	0.075	1.07	329	0.94	1.11	2.7	steigend	52.7	Ausgedehntes Tiefdruckgebiet mit seinem Zentrum über Nord-England. Südwestliche Winde. Trübes Wetter mit Regen.
5.	Oktober 3.	0.66	0.099	0.120	0.83	467	0.92	1.09	5.0	steigend	59.0	Ein Tiefdruckgebiet hat sich nach NO verlagert. Ein Maximum nähert sich von W.
6.	4.	0.59	0.144	0.142	1.02	611	0.63	0.76	2.5	steigend	71.0	Ozeanisches Hochdruckgebiet über Mittel-Europa. Tiefer Druck vom Eismeer bis zur Nordsee.
7.	5.	0.47	0.044	0.087	0.51	279	1.23	1.20	1.8	fallend	70.4	Eine sehr tiefe Depression ist südl. von Island erschienen. Ausgedehntes Hochdruckgebiet über dem Kontinent.
8.	15.	0.98	0.239	0.213	1.12	964	0.71	0.74	4.7	steigend	63.6	Minimum über Nord-West-Europa. Tiefdruckausläufer über Skandinavien. Hoher Druck über Süd-Europa.
Im Mittel		0.61	0.111	0.124	0.87	500	0.90	0.96	3.5	steigend	58.0	Zyklonale Wetterlage mit westlichen atlantischen Winden.

Bei antizyklonaler Wetterlage mit kontinentalen Winden finden wir sehr hohe Werte für die Aktivierungszahl A. Die Leitfähigkeit der Luft ist besonders groß, was auch dem hohen Ionengehalt entspricht. Es sind bedeutend mehr positive als negative Ionen vorhanden. Auch die Beweglichkeit namentlich der negativen Ionen ist besonders groß.

Bei zyklonaler Wetterlage mit westlichen Winden vom atlantischen Ozean finden wir sehr geringe Aktivität. Die Beweglichkeit der Ionen ist annähernd normal. Es sind verhältnismäßig wenig negative Ionen vorhanden und noch weniger positive. Daher ist auch die Leitfähigkeit der Luft gering.

Im Gegensatz zu der allgemeinen Regel, daß stets ein manchmal recht bedeutender Überschuß von positiven Ionen in der Atmosphäre vorhanden sei, haben wir bei den meisten Beobachtungen das umgekehrte Verhalten. Nur in 40 % aller Messungen fanden wir das Verhältnis der positiven Ionen zu den negativen wenig größer als Eins; im Mittel war für diese Fälle $A = 1{,}11$. Bei 60 % aller Beobachtungen zeigte sich eine sehr deutlich ausgesprochene Unipolarität, so daß sich als Mittel für alle ausgeführten Ionenzählungen, wie Tabelle 7 zeigt, doch noch ergibt: $Q = J_+ : J_- = 0{,}92$.

Natürlich finden wir auch im Durchschnitt eine bedeutend stärkere negative als positive Leitfähigkeit der Luft. Dagegen ist das Verhältnis der Beweglichkeiten beider Inonenarten zueinander ziemlich normal. In 70 % aller beobachteten Fälle war die Beweglichkeit der negativen Ionen größer als die der positiven.

Dies Ergebnis ist nicht mit der zum Teil durch Experimente gestützten Ebert'schen Theorie über die atmosphärische Elektrizität[1]) in Einklang zu bringen.

Nach dieser Theorie wird die Ionisation der Atmosphäre hauptsächlich durch die aus den obersten Schichten der Erde infolge von Diffusion und Luftdruckschwankungen heraustretende, durch die in ihr enthaltene Emanation stark ionisierte Bodenluft hervorgerufen. Bei diesem Durchdiffundieren der ionenreichen Bodenluft durch die obersten Erdkapillaren werden die leichter beweglichen negativen Ionen durch Adsorption stärker im Erdboden zurückbehalten, als die weniger beweglichen positiven. Dadurch erklärt sich die negative Erdladung einerseits und der Überschuß von positiven Ionen in der Atmosphäre andererseits.

---

[1]) Abhandl. d. Kgl. Bayr. Akad. d. Wiss., Math. phys. Kl. XXV, 2 Abh., 1909.

Die Ebert'sche Theorie wird also durch die Kieler Beobachtungen nicht gestützt, wiewohl eine anderweitige Erklärung für das hier beobachtete Überwiegen der negativen Ionisation auch nicht gegeben werden kann; denn eine Gesetzmäßigkeit über das Verhalten der beiden Ionenarten zueinander konnte nicht gefunden werden.

Die Anzahl der in der Atmosphäre vorhandenen Ionen und die Leitfähigkeit derselben ist nicht nur bedingt durch die Menge der dauernd von den Ionisatoren erzeugten Ionen, sondern auch durch das stetige Verschwinden von Ionen durch Wiedervereinigung und Adsorption. Diese beiden Faktoren sind für den elektrischen Zustand der Atmosphäre ebenso wichtig wie die Ionisatoren selbst. Der polare Unterschied im Ionengehalt der Atmosphäre ist wohl hauptsächlich durch die Adsorption bedingt.

Zusammenfassung.

Die Ergebnisse vorstehender Arbeit können wir kurz folgendermaßen zusammenfassen:

1. Es wurde ein neuer, aus zwei Zylinderkondensatoren bestehender Ionenaspirationsapparat konstruiert, welcher ohne Hilfskondensator bei den für Aluminiumblatt-Elektroskopen geeigneten Spannungen die Ionisation und die Leitfähigkeit der Atmosphäre gleichzeitig zu messen gestattet.
2. Der Ionengehalt der Kieler Atmosphäre ist verhältnismäßig gering.
3. Gewöhnlich ist ein bedeutender Überschuß von negativen Ionen in der Luft vorhanden.
4. Entsprechendes gilt für das Leitvermögen der Luft: es ist ebenfalls sehr klein, das positive noch kleiner als das negative.
5. Die Beweglichkeit der negativen Ionen ist größer als die der positiven. Beide sind ziemlich normal und schwanken zwischen normalen Grenzen.
6. Ein Zusammenhang zwischen der Elster-Geitel'schen Aktivierungszahl und der Beweglichkeit der positiven Elektrizitätsträger in der Atmosphäre ist nicht zu leugnen. Regelmäßig findet eine Änderung der beiden Werte im gleichen Sinne statt. Die Extremwerte der Aktivierungszahl

liegen bedeutend weiter auseinander als diejenigen der Ionenbeweglichkeit.

7. Noch deutlicher zeigt sich eine Parallelität zwischen dem Gehalt der Atmosphäre an positiven Ionen und der Aktivierungszahl.
8. Ein Einfluß der einzelnen meteorologischen Faktoren auf den elektrischen Zustand der Atmosphäre ist unverkennbar. Ihre Gesamtwirkung äußert sich dahin, daß:
9. bei antizyklonaler Wetterlage alle beobachteten Werte erhöht, dagegen
10. bei zyklonaler Wetterlage erniedrigt werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: 16

Autor(en)/Author(s): Müns R.

Artikel/Article: Über Ionisation und Radioaktivität der Atmosphäre in Kiel. 1-43