Terrestrial Magnetism *and* *Atmospheric Electricity*

VOLUME IV

DECEMBER, 1899

NUMBER 4

ÜBER DIE EXISTENZ ELECTRISCHER IONEN IN DER ATMOSPHÄRE.

VON J. ELSTER UND H. GEITEL.

Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte haben zu einer bestimmten Vorstellung von der Art der Electricitätsleitung in den Gasen geführt. Ein Gasmolekül selbst ist hiernach unfähig eine electricische Ladung anzunehmen und daher auch nicht im Stande eine solche zu übertragen, dagegen kann es durch gewisse Einwirkungen in zwei Teile zerlegt werden, deren einer eine unveränderliche positive, deren anderer die complementäre negative mit sich führt, Ladungen, die enorm viel höher sind, als diejenigen, die den betreffenden Teilchen durch Berührung mit electricisch geladenen Körpern mitgeteilt werden könnten. Diese entgegengesetzt geladenen Bestandteile des Moleküles entsprechen also den Vehikeln des electricischen Stromes bei der Electrolyse, man hat deshalb auf sie dieselbe Bezeichnung "Ionen" angewandt. Es ist gut, sich zu vergegenwärtigen, dass — mindestens für elementare oder gar einatomige Gase — wahrscheinlich aber auch allgemein der Sinn dieses Ausdrucks mit dem für Electrolyte gültigen sich nicht völlig decken kann. Man hat sich hiernach einen electricischen Strom in einem Gase dadurch gebildet zu denken, dass diese Ionen, die in dem isolierenden Medium der unzerlegten Moleküle zerstreut sind, in der Richtung der Kraftlinien des Feldes sich bewegen, die negativen gegen den positiven und die positiven gegen den negativen Pol hin. Treffen sie auf Leiter, so geben sie ihre Ladung an diese ab. Nach Analogie des electrolytischen Vorganges hat man anzunehmen, dass bei der Entladung die Ionen sich wieder zu neutralen Molekülen zusammenschliessen, wobei auch sekundäre Reactionen an den Electroden eintreten können.

[PLATE VII.]

J. V. Wilder.

Bei den disruptiven Entladungen in Gasen werden die für den Electricitätstransport erforderlichen Ionen durch eine Spaltung der Moleküle in Folge der electricischen Kräfte des Feldes selbst gebildet, bei der stillen Entladung müssen sie schon vorhanden sein; das electricische Feld hat allein die Wirkung, sie in Bewegung zu setzen. Zu diesen letztgenannten Vorgängen gehört die Electricitätsleitung durch erhitzte oder in chemischer Thätigkeit begriffene Gase; in neuerer Zeit ist man besonders auf die Leitfähigkeit aufmerksam geworden, die durch die Röntgen- oder Becquerelstrahlen in einem Gase hervorgerufen wird. Man denkt sich die Erscheinung in der Weise, dass die durch das Gas absorbierte Energie der Strahlen zur Auflösung eines Teils seiner Moleküle in Ionen, zur Ionisierung des Gases, verwandt wird.

Es ist ersichtlich, dass die angedeutete Auffassung von den electricischen Vorgängen in einem Gase von Einfluss sein muss auf das Bild, das wir uns von den Erscheinungen der atmosphärischen Electricität machen. Giebt man zu, dass die atmosphärische Luft in dem genannten Sinne in gewissem Betrage ionisiert ist, so handelt es sich bei den auf diesem Gebiete auftretenden Erscheinungen nur um die Kenntniss der Bedingungen, unter denen eine Trennung und Bewegung jener schon präexistierenden Ionen erfolgen kann. Eine vollzogene Trennung der entgegengesetzt geladenen Ionen bedeutet eine electricische Potentialdifferenz, eine Bewegung, einen electricischen Strom.

Um die für diese Auffassung nötige Grundlage zu gewinnen, ist zunächst festzustellen, ob die atmosphärische Luft als teilweise ionisiert angesehen werden darf. Die Hauptfrage ist demnach, ob sie zu einem gewissen Grade die Electricität leitet, erst wenn diese bejaht werden kann, ist zu untersuchen, ob jene Leitfähigkeit der Hauptsache nach dem Vorhandensein von Ionen zuzuschreiben ist.

Was nun die erstgenannte Frage betrifft, ob die atmosphärische Luft in einigem Maasse die Fähigkeit hat, electricische Ladungen fortzuleiten (abgesehen von der Art, wie dies erfolgt) so weiss man schon aus den Versuchen von *Coulomb*, dass ein von Luft umspülter electricisch geladener Leiter im Laufe der Zeit seine Ladung allmählig verliert. Wenn hierbei auch ein Teil des Verlusts auf die mangelhafte Isolation durch die Stützen zurückzuführen ist, so kann dieser doch durch Veränderung ihrer Anzahl geschätzt und soweit in Rechnung gezogen werden, dass der Verlust durch die Luft allein als sicher erwiesen gelten muss. Messungen dieser Art an abgeschlossenen Mengen von Luft und andern Gasen liegen in

grosser Sorgfalt von verschiedenen Physikern ausgeführt vor. Hiernach muss man begrenzte kleine Volumina staubfreier Gase bei gewöhnlicher Temperatur und Atmosphärendruck als fast absolute Isolatoren betrachten.

Es ist das Verdienst von Herrn *Linss*¹ die Bedeutung der Electricitätszerstreuung im *freien* Luftraume für die Lehre von der atmosphärischen Electricität erkannt und zuerst Messungen des Betrags dieser Zerstreuung angestellt zu haben.

Herr *Linss* bediente sich zu seinen Versuchen eines durch Schellack isolierten mit Stanniol überzogenen Pappcylinders, den er mit positiver Ladung 5 bis 10 Minuten lang der freien Luft aussetzte.² Die Messung seines electricischen Potentialniveaus vor und nach der Exposition geschah mittelst einer in einem geschlossenen Gehäuse aufgehängten über einer Teilung schwebenden Magnetnadel, die als Sinuselectrometer diente, indem sie durch den geladenen Versuchskörper angezogen wurde. Eine Schätzung des ohne Berührung mit der freien Luft eintretenden Verlusts suchte Herr *Linss* dadurch zu erreichen, dass er den Körper in geladenem Zustande die gleiche Zeit im Electrometergehäuse belies und wiederum zu Anfang und Schluss seinen electricischen Zustand bestimmte. Die Berechnung der in der Zeiteinheit bei constant gedachter Ladung entwichenen Electricitätsmenge q , ausgedrückt in Bruchteilen der Anfangsladung, geschieht nach der Formel:

$$q = \frac{\log V_0 - \log V}{t}$$

in der V_0 und V die Electrometerablesung vor und nach der Exposition und t die Dauer der letzteren bedeutet.

Legt man als Zeitmaass die Minute zu Grunde, so ergibt sich aus einer zweijährigen Beobachtungsreihe, dass im Mittel der Electricitätsverlust des Versuchskörpers in freier Luft nicht weniger als $\frac{1}{100}$ seiner ursprünglichen Ladung betrug, d. h. dass bei constant gehaltenem Potentialniveau in 100 Minuten eine Electricitätsmenge in die Luft entweicht, die seiner augenblicklichen Ladung gleich kommt.

Aus diesem Ergebniss zieht Herr *Linss* mit Recht den Schluss, dass auch der Erdkörper einen fortwährenden Electricitätsverlust an die Atmosphäre erleidet, und dass, um diesen zu decken, ihm in

¹ W. LINSS. *Meteorol. Zeitschrift* 1887, p. 352 und *Electrotechnische Zeitschrift* 1890. Heft 38.

² Für negative Ladungen erhielt er keinen Unterschied der Zerstreuung.

100 Minuten durchschnittlich ebensoviel negative Electricität zugeführt werden muss, wie seine Gesamtladung beträgt.

Wie bemerkt, ist der angegebene Betrag der Zerstreuung nur ein Mittelwert, thatsächlich war sie im Laufe des Jahres veränderlich und zwar im Winter kleiner als im Sommer, auch in den Morgenstunden geringer als nach Mittag. Sie wurde nicht vermehrt bei Zunahme der relativen Feuchtigkeit, auch die Anwesenheit von Nebel hatte keine Vergrösserung zur Folge. Bei kühlem Regenwetter ging sie auch im Sommer bedeutend zurück.

Die offen zu Tage liegende Wichtigkeit solcher Messungen hatte in uns den Wunsch erregt, sie zu wiederholen. Eine Schwierigkeit lag allein in der Auffindung einer Methode, die keinerlei Bedenken ausgesetzt wäre. Es ist nämlich nicht zu leugnen, dass das von Herrn *Linss* angewandte Verfahren die Grösse des Verlusts durch die Schellackisolation nicht ausreichend in Rechnung zu ziehen erlaubt. Man kann nicht sicher behaupten, dass dieser in dem geschlossenen Electrometergehäuse annähernd derselbe ist, wie im freien, wenn die isolirenden Flächen von der äusseren Luft bespült werden; der Verdacht liegt nahe, dass er im letzten Falle grösser sein wird, also auch eine scheinbare Vermehrung des Zerstreuungscoefficienten in freier Luft bewirken kann.

Wenngleich dies Bedenken nach unsern späteren Erfahrungen eine thatsächliche Grundlage nicht hat, so war es doch von vornherein nicht abzuweisen.

Der zu construierende Apparat¹ muss als wesentlichen Bestandteil zuerst einen Körper enthalten, von dessen Oberfläche aus die Electricitätsabgabe an die Luft erfolgen soll und ferner ein Electrometer, das zur Beobachtung seines electrischen Zustandes dient. Damit der durch die unvollkommene Isolation verursachte Fehler möglichst gering sei, ist die Anzahl der isolirenden Stützen soweit zu beschränken als es die Stabilität erlaubt, doch ist dabei zu fordern, dass man jederzeit von der Grösse dieses Fehlers zuverlässige Kenntniss erlangen könne. Eine geringe Capacität des Apparats ist wünschenswert, damit ein Electricitätsverlust schon in einem mässigen Zeitraume sich durch einen deutlichen Spannungsabfall zu erkennen giebt, schliesslich muss er bequem transportabel sein.

Nach einigen Vorversuchen entschieden wir uns aus diesen Gründen dafür, als Messinstrument das so leicht zu handhabende *Exnersche* Electroscop zu verwenden, indem wir daran einige Ab-

¹ Die Beschreibung des Apparats ist mit einigen Zusätzen aus der *Physikalischen Zeitschrift* 1899, p. 11 entnommen.

änderungen anbrachten, die neben einer wesentlichen Verbesserung der Isolation den Zweck hatten, die zu diesen Messungen nötigen verschiedenen Operationen in einheitlicher Weise zu verbinden.

Figur I

Die etwas stark gearbeitete Trennungsplatte *A* Fig. I der Aluminiumblättchen trägt an ihrem unteren Ende einen kurzen cylindrierten Ansatz *A'* aus Messing und ist mit diesem, abweichend von

der Exnerschen Construction, an der *tiefsten* Stelle des Gehäuses in einen starken gefirnissten Ebonitstopfen eingelassen. Oben endet sie in eine kleine Kugel *B* mit conischer Bohrung *c*. Liegt das Instrument in dem zugehörigen Etui, so ist das Gehäuse oben durch den Deckel *D* geschlossen und die Schutzbacken *E* sind zusammengeschoben. Vor dem Gebrauche nimmt man den Deckel ab, zieht die Schutzbacken zurück, soweit dies möglich ist und führt durch die Oeffnung *F* des Gehäuses einen Metallstift ein, dessen unteres conisches Ende genau in die Bohrung der Kugel *B* hineinpasst. Handelt es sich um die Benutzung des Instruments zu Messungen von Potentialdifferenzen, so muss dieser Stift an seinem oberen aus *F* hervorragenden Ende eine Klemmschraube zur Herstellung von Drahtverbindungen tragen, soll es zu Zerstreungsbeobachtungen dienen, so ist dem Stifte ein geschlossener cylindrischer Hohlkörper *G* aus geschwärztem Messingblech von 9 cm. Höhe und 5 cm. Durchmesser aufgesetzt. (Anfangs verwandten wir statt dessen einen Körper von denselben Dimensionen aus Zinkblech, den wir mit Papier überklebten. Wir wollten auf diese Weise den Fehler vermeiden, der bei Metallflächen durch photoelectrische Wirkungen verursacht werden kann, überzeugten uns aber, dass auch das geschwärzte Messing zu keinerlei Bedenken Anlass giebt und dabei unveränderlicher ist, als eine Papierfläche.)

Der Vorzug der beschriebenen Konstruktion des Electroskopes liegt darin, dass die einzige isolierende Vorrichtung weder mit der Aussenluft noch irgend welchen fremden Körpern in Berührung kommen kann. Will man sie noch gegen einfallenden Staub und gegen Licht schützen, so ist dies durch eine unmittelbar über dem Ebonit bei *A'* angebrachte Schutzplatte aus dünnem Messingblech leicht erreichbar.

Für den Fall, dass bei hohem Feuchtigkeitsgehalte der Luft die Isolation mangelhaft wird, ist eine Trockenkammer angebracht, nämlich der für gewöhnlich durch einen Gummistopfen geschlossene Glastubus *H*, in den ein erbsengrosses Stück metallischen Natriums, an eine durch einen Gummistopfen geführte Nadel aufgespiesst, eingebracht werden kann. Selbstverständlich muss das Natrium, bevor der Apparat nach dem Gebrauche in das Etui gelegt wird, entfernt werden. Zur Aufbewahrung dient ein kleines Glasröhrchen von denselben Dimensionen wie der Tubus *H*. Petroleum u. dgl. zur Conservierung des Metalls wird nicht verwandt; eine starke Schicht von Oxyd ist für die austrocknende Wirkung kein Hinderniss.

Skala und Visierstreif sind wie bei der ursprünglichen Form angebracht, die Aichung des Instruments geschieht am einfachsten an einem Hochspannungsaccumulator.

Zur Anstellung von Zerstreuungsversuchen in geschlossenen Räumen setzt man das Electroscope auf den in der Mitte eines von Stellschrauben getragenen Dreifusses befestigten Zapfen /, führt den Zerstreuungskörper *G* ein und ladet dann das aus diesem und dem Electroscope zusammengesetzte System mittelst einer Zambonischen Säule etwa positiv. Man wartet nun ungefähr 5', damit der isolierende Ebonitstopfen an der Berührungslinie seiner Oberfläche mit dem eingefügten Metallcylinder sich positiv laden und innen dielectricisch polarisieren könne und liest dann die Divergenz der Blättchen ab; dieser möge nach der Aichungstabelle ein Potential von V_0 Volt entsprechen.

Je nach dem Grade der Zerstreuung überlässt man nun den Apparat kürzere oder längere Zeit (bis 15') sich selbst, bis eine deutliche Spannungsabnahme stattgefunden hat, liest dann wieder die Divergenz ab (entsprechend V Volt) und notiert die zwischen beiden Ablesungen liegende Zeit t . Alsdann entfernt man den Zerstreuungscylinder *G* und führt statt dessen einen mit isolierender Handhabe versehenen Stift *K* ein, ladet nochmals mit demselben Vorzeichen, zieht den Stift heraus, so dass jetzt die Electroscopeblättchen mit ihrem Träger electricisiert zurückbleiben und beobachtet wiederum ihre Divergenz (V_0'). Nach der Zeit t' , mindestens derselben, die man auf den ersten Versuch verwandt hatte, liest man die Divergenz V' ab. Während dieser Zeit bleibt das Gehäuse des Electrocops offen. Bezeichnet man nun mit n das Verhältnis der Capacitäten des Electrocops allein zu der Summe der Capacitäten vom Electroscope und Zerstreuungscylinder, so ist der Ausdruck:

$$E = \frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{n}{t'} \log \frac{V_0'}{V'}$$

ein Maass für die während der Expositionszeit von dem Zerstreuungscylinder einschliesslich des ihn tragenden Stiftes an die Luft abgegebene Electricitätsmenge.

Will man einen Versuch mit negativer Ladung anschliessen, so muss man vor der ersten Ablesung das ganze System mindestens 5' negativ geladen stehen lassen, damit der Ebonitstopfen seine Oberflächenladung wechseln kann und der Rückstand der vorausgegangenen Ladung neutralisiert wird.

Die Richtigkeit der angegebenen Formel ergibt sich aus folgender Ueberlegung.

Die Capacität des gesammten, aus Electroskop und Zerstreuungskörper bestehenden Systems sei C , die des Electroscoops allein C' . Dann ist, wenn V das Potential des Systems zur Zeit t bedeutet und a die Electricitätsmenge, die bei dem constanten Potentiale r in der Zeiteinheit vom Zerstreuungskörper und Electroskop zusammen abgegeben wird einschliesslich des Verlusts über das Ebonit:

$$C \frac{dV}{dt} = -aV$$

und daher

$$C \log \frac{V}{V_0} = -at,$$

mithin:

$$a = \frac{C}{t} \log \frac{V_0}{V}. \quad (1)$$

Es werden nun die entsprechenden Beobachtungen mit dem Electroskop allein gemacht. Die Potentialwerte waren mit V' , die Zeit der Exposition mit t' bezeichnet. b sei die Electricitätsmenge, die bei dem constanten Potentiale r in der Zeiteinheit im Electroscope verloren geht (durch Abgabe an die Luft im Gehäuse und durch Leitung über das Ebonit) so ist:

$$b = \frac{C'}{t'} \log \frac{V'_0}{V'}. \quad (2)$$

Daher ist die vom Zerstreuungskörper allein pro Einheit des Potentials und der Zeit entwichene Electricitätsmenge

$$E = a - b = \frac{C}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{C'}{t'} \log \frac{V'_0}{V'}. \quad (3)$$

Setzt man hierin $C = r$, dann ist C' die Capacität des Electroscoops allein, ausgedrückt als Bruchteil der Capacität des gesammten Systems, d. h. die oben mit n bezeichnete Zahl.

Diese Constante des Apparates bestimmt man durch den Versuch in folgender Weise. Man schraubt an den Zerstreuungskörper G in einer im Mittelpunkte seiner oberen Grundfläche gelassenen kleinen Oeffnung M ein mit einem Gewinde versehenes Ebonitstäbchen L ein, ladet das Electroskop in der angegebenen Weise auf eine bestimmte Divergenz D_1 und senkt nun vorsichtig, ohne die Wand zu berühren von oben her den Stift des unelectrischen

Zerstreuungscylinders G in die Oeffnung F hinein, in dem man als Handgriff das Ebonitstäbchen L benutzt, bis er in der conischen Oeffnung der Kugel B festsitzt. Nun liest man die Divergenz D_2 ab. Das Verhältniss der zu D_2 und D_1 gehörigen Voltzahlen ist die Constante n .

Das zweite Glied der Formel ist eine Correction, deren Betrag, wenn die Isolation gut ist, nur wenig über die Fehlergrenze der Methode hinausgeht. Wegen dieser Geringfügigkeit der Correction halten wir die hier angegebene Methode zur Bestimmung des Capacitätsverhältnisses n , obgleich sie ungenau ist, doch für ausreichend. Vernachlässigt ist dabei der Umstand, dass die Electricitätsverteilung auf den Blättchen und ihrem Träger sich etwas ändert, sobald der Zerstreuungskörper aufgesetzt wird, auch die Capacitätsänderungen, die mit den Divergieren und Zusammenfallen der Blättchen verbunden sind, wurden nicht in Betracht gezogen.

Die Angaben verschiedener nach demselben Principe gebauter Apparate sind nicht ohne Weiteres vergleichbar, sie würden es sein, wenn $n = 0$, d. h. die Capacität des Electroscops verschwindend klein wäre. Da dies nicht der Fall, so ist zu beachten, dass die in Formel 3) berechnete Electricitätsmenge E diejenige ist, die für das constante Potentialniveau 1 in der Zeiteinheit von dem Zerstreuungskörper, dessen Capacität $C - C'$ ist, abgegeben wird. $C - C'$ ist aber zugleich die Electricitätsmenge, die der Körper bei jenem Potentialwerte 1 enthält,

$$\frac{E}{C - C'} = \frac{1}{C - C'} \left\{ \frac{C}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{C'}{t'} \log \frac{V'_0}{V'} \right\},$$

ist also die in der Zeiteinheit aus ihm entwichene Electricitätsmenge, ausgedrückt als Bruchteil seiner ursprünglichen Ladung. Da auf der rechten Seite nur die Verhältnisse der Capacitäten vorkommen, so darf $C = 1$ genommen und C' wie oben gleich n gesetzt werden, dann wird:

$$q = \frac{1}{1 - n} \left\{ \frac{1}{t} \log \frac{V_0}{V} - \frac{n}{t'} \log \frac{V'_0}{V'} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

der reducierte Wert, der von den Dimensionen des Apparats unabhängig ist. So lange der Electricitätsverlust durch Zerstreuung der Höhe der Ladung proportional ist, behält die Formel für beliebige Potentialniveaus ihre Giltigkeit.

Man erkennt, dass für diese Reduction eine genaue Kenntniss der Constante n erforderlich ist, da sie jetzt nicht allein in das Correctionsglied eingeht.

In der beschriebenen Form ist der Apparat zu Messungen der Zerstreuung im Freien noch nicht geeignet. Der geladene Cylinder G befindet sich nämlich dann in einem electricischen Felde dessen Intensität verschieden, z. B. auf Bergspitzen sehr hoch und — besonders bei Niederschlagsfällen — stark wechselnd ist. Daher werden die Blättchen des Electroscoops keine constante Einstellung zeigen, wenn nicht der Apparat sehr geschützt aufgestellt ist. Die electricische Dichtigkeit auf dem Zerstreuungskörper wird deshalb, ausser von seiner Ladung auch von den äusseren Kräften abhängen, die Zerstreuung also selbst durch diese beeinflusst werden. Wir setzen deshalb auf denselben Dreifuss, der das Electroscop trägt, in der Verlängerung der einen Stellschraube einen Metallstab, an den ein unten offener und oben durch einen Deckel geschlossener innen geschwärzter Messingcylinder von etwa 14 cm. Höhe und 19 cm. Weite so befestigt ist, dass der Zerstreuungskörper G in seiner Axe liegt. Leiten wir das Stativ zur Erde ab, so ist G den directen Einwirkungen äusserer electricischen Kräfte ausreichend entzogen und zugleich gegen Niederschläge, helles Licht und starke Luftbewegung geschützt. Da der Cylinder unten offen ist, so kann die Aussenluft frei circulieren, so dass bei Wind der Zerstreuungskörper G in deutliche Schwankungen versetzt wird. Selbstverständlich muss für diese Anordnung, durch welche die Capacität des Systems geändert wird, die Constante n neu bestimmt werden.¹

Da es uns zunächst wesentlich auf relative Bestimmungen ankam und auch die Versuchsbedingungen durch die Hinzufügung des Schutzcylinder geändert werden, nicht nur hinsichtlich der Capacität des Apparates, sondern auch durch Einschränkung der Fernwirkung des geladenen Cylinders G , so haben wir unsere Beobachtungen nach der nicht reducierten Formel berechnet, ausserdem Briggische Logarithmen an Stelle der natürlichen verwandt, 15 Minuten als Zeiteinheit angenommen und die erhaltenen Zahlen mit 100 multipliciert. Die auf eine Minute und Procente der Anfangsladung umgerechneten Zahlen fügen wir mit bei, da sie wenigstens eine ungefähre Schätzung der absoluten Beträge des Electricitätsverlusts gestatten.

Sämmtliche Bestandteile des Apparates einschliesslich der zum Laden dienenden Zambonis'schen Säule und des Electroscoops sind

¹ Sie ergab sich bei unserem Apparat als 0.28.

nach einer von Herrn Mechaniker *Günther* in Braunschweig getroffenen Anordnung in einem leicht transportablen Kasten zu verpacken, der dann selbst zugleich als Unterlage der Aufstellung des Instruments dient.

Figur II

Die regelmässigen Messungen mittelst des Apparats werden um die Mittagszeit täglich vor einem nach Osten gelegenen Fenster des ersten Stockes eines frei gelegenen Hauses vorgenommen und zwar sowohl mit positiver wie mit negativer Ladung des Zerstreuungskörpers. Da jede Exposition 15 Minuten währt und sich an jede noch eine Correctionsbestimmung von gleicher Dauer anschliesst, ausserdem auch eine Wartezeit von 5—10 Minuten nach dem Zeichenwechsel der Ladung innegehalten werden muss, so nimmt jede vollständige Messung nicht unter $1\frac{1}{2}$ Stunden in Anspruch. Ausser den regelmässigen (im Monat Juli durch eine Lücke von etwa 30 Tagen unterbrochenen) Bestimmungen haben wir auch eine grössere Zahl zu andern Tageszeiten ausgeführt. Einige Einzelbeobachtungen sind ausserdem auf dem Gipfel des

Brockens im Harze und mehrere zusammenhängende Reihen im Juli d. J. in den Alpen, insbesondere auf dem *Säntis* und in der Umgebung von *Zermatt* vorgenommen.¹

Indem wir uns eine umfassende Darstellung des jetzt etwa $\frac{3}{4}$ Jahr umfassenden Materials vorbehalten, bis der *Cyclus* eines Jahres abgeschlossen ist, möchten wir hier die Resultate nur insofern verwerthen, als sie Licht auf die Art der *Electricitätsleitung* in der Luft werfen.

Die für positive und negative Ladung gefundenen Verluste liegen bei den Messungen im Tieflande nahe bei einander, doch können besonders bei Niederschlagsfällen erhebliche Unterschiede auftreten, die sicher nicht auf Beobachtungsfehler zurückzuführen sind. Nimmt man das Mittel aus den Verlusten (E_+ und E_-) für die entgegengesetzten *Electrisirungen*, so liegen die so erhaltenen Zahlen zwischen 1, 8 und 12, 2, sie entsprechen einer Abnahme der Ladung in der Minute von 0,4 Prozent bis 2,6 Prozent. Der Mittelwert aus etwa 205 Doppelbeobachtungen ergibt den mittleren Verlust von 1,3 Prozent. Diese Zahlen decken sich völlig mit den von Herrn *Linss* mitgetheilten. Bemerkenswert sind zwei vereinzelte abnorm hohe Werte der Zerstreuung, die nach Graupel und Schneefällen beobachtet wurden und etwa 3,6 Prozent betragen.

Geht man von der verbreiteten Annahme aus, dass der *Electricitätsverlust* in der Luft auf den in ihr suspendierten Staub zurückzuführen sei, so muss man erwarten, dass die Zerstreuung mit wachsender Trübung der Luft ebenfalls wachsen wird. Wir haben nun, wie wir es schon bei einer früheren Untersuchung gethan hatten²), jeder Beobachtung eine Bemerkung über die Klarheit der Luft beigefügt, indem wir diese nach der deutlichen Sichtbarkeit verschieden weit (15000 bis etwa 40 m.) entfernter Objecte bestimmten. Das Ergebnis war überraschend; die höchsten *Electricitätsverluste* wurden beobachtet, wenn die Luft von abnormer Durchsichtigkeit war, die kleinsten bei Gegenwart von Dunst, Nebel und Moorrauch. Diese Geringfügigkeit der Zerstreuung in

¹ Wir benutzen diese Gelegenheit, allen denen unsern herzlichsten Dank auszusprechen, die uns in unserem Vorhaben gefördert haben, vor allen den Herren Director *Billwiller* in Zürich und Prof. *Hagenbach* in Basel für die Erlaubniss zur Benutzung des *Säntisobservatoriums* für unsere Zwecke, Herrn Geheimrat von *Bezold* in Berlin für die gleiche Vergünstigung bezüglich der Brockenstation, den Herren Dr. *Slade* vom Brockenobservatorium und Herrn *Bommer* vom *Säntis* für ihre freundliche Beihilfe und schliesslich der Direction der Gornergratbahn in Zermatt für die uns gewährten Transporterleichterungen.

² Bei vergleichenden Messungen des Potentialgefälles der atmosphärischen *Electricität* und der ultravioletten Sonnenstrahlung.

trüber Luft kann nicht etwa auf die bei dichtem Nebel (wenigstens im Tieflande) häufige Windstille zurückgeführt werden, sie ist von der Luftbewegung ganz unabhängig. Bei einer Messung auf dem Brocken am 5. April d. J. herrschte bei leichtem Nebel ein voller Sturm (Windstärke 9, entsprechend mindestens 15 m. pro 1"), so dass wir genötigt waren, den Apparat, obgleich er an leidlich geschützter Stelle stand, noch durch Steine zu beschweren, damit er nicht fortgeblasen wurde. Die für die Zerstreuung gefundenen Zahlen ($E_+ = 3,0$ $E_- = 3,5$) ergeben einen Mittelwert, der einen Verlust von 0,7 Prozent darstellt. Ebenso ergab sich auf dem Säntis im Nebel der minimale Betrag von 0,3 Prozent.

Diese Erfahrung von der hemmenden Wirkung des Nebels auf die Zerstreuung, die sich schon in unseren Wolfenbüttler Beobachtungen mit voller Deutlichkeit herausstellte, hatte uns zu dem Entschlusse geführt, Messungen an hochgelegenen Punkten vorzunehmen, die über die mit Staub und Dunst beladenen tieferen Luftschichten emporragen. Die schon erwähnte Beobachtung auf dem Brocken lieferte, da Nebel herrschte, nur eine ausgezeichnete Bestätigung jenes im Tieflande erhaltenen Ergebnisses. Wir besuchten deshalb am 11. Juni bei besseren Witteraussichten den Brocken zum zweiten Male. Zwar herrschte in den Morgenstunden wieder Nebel, doch konnten gegen Mittag einige Messungen bei klarer Luft gemacht werden. Diese ergaben für eine negative Ladung etwa das Maximum des im Tieflande beobachteten Verlustes ($E_- = 12,11 = 2,6$ Proz.), dagegen für positive nur die Hälfte dieses Betrages ($E_+ = 6,63 = 1,4$ Proz.). Diese Verschiedenheit der Zerstreuung trat bei allen drei Messungsreihen deutlich hervor, die wir an diesem Tage ausführten.

Der Brocken mit seiner Erhebung von nur 1140 m. über dem Meere und seiner Neigung zur Nebelbildung ist für solche Beobachtungen sehr ungünstig, wir beschlossen deshalb sie auf einem höheren Alpengipfel zu wiederholen und entschieden uns für den leicht zugänglichen und mit einem meteorologischen Observatorium ausgerüsteten Säntis (2500 m.). Nachdem wir am Fusse des Berges bei anfangs nebligem aber allmählig aufklärendem Wetter einige Tage verweilt und auch hier die Zunahme der Zerstreuung mit wachsender Klarheit der Luft bestätigt hatten (sie wuchs unabhängig von Vorzeichen von 0,9 Proz. bis 2,4 Proz.), stiegen wir am 11. Juli zum Säntis auf. Die am ersten Tage bei völlig klarer Fernsicht und Windstille angestellten Messungen ergaben:

$$E_- = 29,11 \text{ (6,2 \%)} \quad E_+ = 7,73 \text{ (1,6 \%)} \quad E_- = 31,48 \text{ (6,7 \%)}$$

An den beiden folgenden Tagen fanden wir unter gleichen Bedingungen:

$$E_- = 32,26 \text{ (6,9 \%)} \quad E_+ = 9,33 \text{ (2,0 \%)} \quad E_- = 38,94 \text{ (8,3 \%)} \\ E_+ = 8,95 \text{ (1,9 \%)}.$$

Bei eintretendem Nebel sank, wie bemerkt, die Zerstreuung auch für negative Ladungen auf ein Minimum herab.

Man kann das Ergebnis dahin zusammenfassen, dass auf dem *Säntis* bei klarer Luft die Zerstreuung für beide Arten der Ladung grösser ist, als der Durchschnittsbetrag im Tieflande. Für positive Electrisierung ist der Unterschied nicht bedeutend, für negative dagegen ergibt sich eine Steigerung auf das fünffache, wie sie im Tieflande auch nicht annähernd gefunden wird. Auch für den *Brocken* lässt sich schon das gleiche Verhalten, nur weniger deutlich ausgeprägt erkennen.

Es war verfrüht, hieraus zu schliessen, das mit zunehmender Höhe die Electricitätszerstreuung für negative Ladungen schneller wächst, als für positive, vielmehr liegt der Verdacht nahe, dass die besonders grosse Intensität des natürlichen electrischen Feldes der Erde in der Nähe von Berggipfeln diese polaren Unterschiede bewirken kann. Um hierüber ins Klare zu kommen, suchten wir einen Ort auf, von dem wir die gleiche oder selbst eine bedeutendere Meereshöhe wie auf dem *Säntis* erreichen konnten, ohne gezwungen zu sein, eine ihre Umgebung beherrschende Spitze zu wählen. Hierzu schien uns das Hochthal von *Zermatt* (1620 m.) sehr geeignet. Von den dort gewonnenen Messungen wählen wir einige charakteristische aus. Inmitten des Thalbodens fanden wir bei klarer Luft und fast wolkenlosem Himmel am 21. Juli unter Mittag $E_+ = 21,02$ (4,5 Proz.). $E_- = 20,78$ (4,4 Proz.). Hier sind also die Beträge der Zerstreuung für entgegengesetzte Ladungen gleich und bedeutend höher als im Tieflande. Geht man von der Thalsole aufwärts, so nimmt die Zerstreuung mehr und mehr unipolaren Character an, die der negativen Electricität übertrifft mehr und mehr die der positiven. So ergab sich am 20. Juli in der Nähe des Riffelhauses (2600 m.) an einer fast ebenen Stelle $E_+ = 20,79$ (4,4 Proz.) $E_- = 32,08$ (6,8 Proz.). In der Nähe des Endpunctes der Gornergratbahn (3000 m.) fanden wir

$$E_+ = 12,61 \text{ (2,7)} \quad E_- = 32,95 \text{ (7,0)}$$

und auf der Spitze der Gornergrats (3140 m.) an exponierter Stelle

$$E_+ = 3,28 \text{ (0,7 \%)} \quad E_- = 31,26 \text{ (6,6 \%)}.$$

Es ist zu beachten, dass die Beobachtungen nicht gleichzeitig gemacht werden konnten, dass daher streng genommen nur für je zwei zusammengehörige dieselben atmosphärischen Bedingungen galten. Jedenfalls ergibt sich, wie auf dem Säntis, der polare Unterschied in der auffälligsten Weise. Wir fügen hinzu, dass wir auch in dem Thalkessel der Meglisalpe (1480 m.) unter dem Säntis, allerdings bei ungünstigerem Wetter im wesentlichen dasselbe Verhalten beobachtet haben.

Der unipolare Character der Zerstreuung lässt mit Sicherheit erkennen, dass die Luft dort nicht electrisch neutral sein kann, vielmehr muss sie positiv geladene Teilchen enthalten, die von dem negativ electrischen Zerstreuungskörper angezogen werden und durch ihre Berührung mit ihm die Entladung bewirken. Nun weiss man aus den Versuchen von Herrn *Lenard*, dass die Luft am Fusse von Wasserfällen negativ electrische Teilchen enthält, es war also mit Gewissheit vorauszusehen, dass in der Nähe eines Wasserfalls eine positive Ladung sich schneller als eine negative zerstreuen muss. Die Gelegenheit zur Ausführung des Versuchs war bei Zermatt sehr günstig, so ergab sich unterhalb eines Falles auf der Westseite des Thales in etwa 20 m. Entfernung $E_+ = 76,0$ (16,2 Proz.) $E_- = 9,15$ (1,9 Proz.).

Alle hier mitgeteilten Zahlen beziehen sich auf die freie Atmosphäre. Die Zerstreuung innerhalb eines kleinen Zimmers erwies sich in Zermatt keineswegs abnorm, sie betrug im Mittel von E_+ und E_- etwa 0,7 Proz., das ist sogar noch weniger als in Wolfenbüttel im Zimmer gewöhnlich gefunden wurde, es scheint, dass die Zerstreuung mit dem Cubikinhalte des Raumes wächst, in dem sie beobachtet wird.

Wie wir glauben, nötigen die bisher mitgeteilten Ergebnisse schon zu dem Schlusse, dass die Luft der freien Atmosphäre unter normalen Verhältnissen positiv und negativ geladene Teilchen enthält und zwar im Tieflande wie auch in hochgelegenen Thälern etwa die gleiche Anzahl der beiden Arten, doch so, dass ihre Menge mit wachsender Meereshöhe zunimmt. In der Nähe von Berggipfeln überwiegen die positiven, bei Wasserfällen die negativen.

Diese Teilchen müssen von ausserordentlicher Kleinheit sein, da sie gerade in der durchsichtigsten Luft nachweislich vorhanden sind, sie können daher mit dem aus festen oder flüssigen Stoffen bestehenden atmosphärischen Staube nicht identisch sein, ganz abgesehen davon, dass ihr electrischer Zustand dann noch einer besondern Aufklärung bedürfte.

Nun weiss man, wie Eingangs bemerkt, dass atmosphärische Luft und andere Gase durch gewisse Einflüsse ionisiert, d. h. mit Trägern positiver und negativer Ladungen erfüllt werden können. In diesem Zustande erweist sich die Luft als in gewissem Maasse leitend, zugleich aber auch, wenn sie mit Wasserdampf gesättigt durch Expansion genügend abgekühlt wird, als zu starker Nebelbildung geneigt, indem die Ionen als Kerne bei der Condensation des Wasserdampfs wirken. Man erkennt leicht welchen Einfluss die Belastung mit flüssigem Wasser auf die Beweglichkeit der Ionen ausüben wird, durch die enorme Vergrösserung der zu bewegend Masse wie auch der Oberfläche muss ihre Geschwindigkeit in einem electrischen Felde nahezu gleich Null werden. Dasselbe wird eintreten, wenn ein Ion an einem Partikelchen atmosphärischen Staubes haften bleibt. Nebel und Staub wirken also in der Weise, dass sie die Beweglichkeit der Ionen lähmen und dadurch die Entladungsgeschwindigkeit eines electrischen Körpers herabsetzen.

In der That zeigt auch der Versuch, dass künstlich (durch eine Flamme, durch Berührung mit Phosphor, durch Becquerelstrahlen) ionisierte und mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, sobald sie durch Expansion mit Nebel erfüllt wird, ihr Leitungsvermögen grösstenteils einbüsst, um es sofort wieder zu erlangen, sobald durch Compression der Nebel zum Verschwinden gebracht wird.

Wir glauben desshalb den Schluss ziehen zu dürfen, dass auch die gewöhnliche Electricitätszerstreuung in der Luft zum grössten Teile auf einem Gehalte an Ionen derselben Art beruht, wie sie durch die erwähnten Processe künstlich gebildet werden können.

Bei dieser Auffassung bleibt zunächst noch unaufgeklärt, aus welchem Grunde die Luft um Bergspitzen besonders reich an positiven Ionen ist. Geht man von der Thatsache aus, dass die Erdoberfläche unter normalen Verhältnissen negativ electrisiert ist, so folgt aus rein electrostatischen Gründen unter der Annahme, dass die Atmosphäre keine freie Electricität enthält, dass in isolierten Bergspitzen die electrische Dichtigkeit besonders gross sein muss, d. h. dass sich dort die Kraftlinien des electrischen Feldes der Atmosphäre stark sammendrängen. Sind nun in der Luft electrisch geladene Teilchen vorhanden, so werden sich die positiven, indem sie in der Richtung der Kraftlinien sich dem Erdkörper nähern, besonders um die Bergspitzen sammeln, während die negativen von dort zurückgetrieben werden. Es muss also an solchen Orten sich die Zerstreuung für negative Ladungen grösser als für positive er-

weisen, vorausgesetzt, dass nicht die Ionen beider Art im Nebel festgelegt sind.

Man kann durch einen einfachen Versuch diese Ungleichheit der Entladungsgeschwindigkeit an jedem Orte herbeiführen, indem man durch Anwendung electricischer Kräfte die positiven und negativen Ionen der Luft von einander trennt. Auf folgende Weise lässt sich dies erreichen. Der oben beschriebene Apparat, ohne Schutzcylinder, wird auf eine gut isolierte Metallplatte gesetzt, und der Zerstreuungskörper, indem man für einen Augenblick die Platte ableitend berührt, etwa negativ geladen. Alsdann umgibt man das ganze Instrument mit einer oben geschlossenen cylindrischen Hülle aus weitmaschigem Drahtnetz, die ebenfalls auf der Metallplatte ruht. Ladet man diese nun ebenfalls negativ (etwa durch eine Trockensäule) so beobachtet man eine weit stärkere Zerstreuung als bei positiver Ladung. Immer findet das Maximum der Zerstreuung statt, wenn die Hülle zu dem eingeschlossenen geladenen Versuchskörper gleichnamig electricisiert ist. Die Unterschiede sind bei ruhiger Luft sehr bedeutend, für ein Potential der Draithülle von etwa 300 Volt können die Verluste im Verhältniss von 1 zu 3 stehen.

Die Erscheinung ist sofort verständlich, wenn man annimmt, dass der geladene Drahtkäfig die entgegengesetzt electricischen Ionen aus der Luft heranzieht, die nun zum Teil durch die Maschen in den inneren Raum hineindiffundieren. Hier sind sie der electricischen Kraft des von dem Drahtkäfig aussen erregten Feldes entzogen, folgen daher der Anziehung des ihnen entgegengesetzt geladenen Zerstreuungskörpers und bewirken den Verlust seiner Ladung. Ist dieser in umgekehrtem Sinne electricisiert, so können die so eingedrungenen Ionen keinerlei Verlust herbeiführen, die Zerstreuung ist in diesem Falle denjenigen Ionen der andern Art zuzuschreiben, die von vornherein in dem Innenraume der Draithülle sich befanden, oder entgegengesetzt den electricischen Kräften, durch Wind hineingepresst wurden.

Der Versuch gelingt auch im Zimmer und lässt sich dann in folgender Weise abändern.

Man hängt einen Käfig aus Drahtgeflecht von etwa 1 cbm. Inhalt an Seidschnüren isoliert auf und ladet ihn mittelst einer Batterie oder Trockensäule 5 Minuten lang auf ein Potential von circa 300 Volt. Leitet man ihn nun zur Erde ab und führt möglichst schnell durch eine handgrosse in einer Seitenfläche gelassene Oeffnung die Ausflussspitze eines Tropfensammlers ein, der mit einem Quad-

rantelectrometer in Verbindung steht, so zeigt dies ein negatives Potential der Luft im Innern des Käfigs an, wenn dieser positiv, ein positives, wenn er negativ geladen gewesen war. Der Electrometeraussschlag bleibt nicht constant, sondern geht schnell auf die Einstellung zurück, die man erhält, wenn man dem Drahtkäfig überhaupt keine Ladung erteilt hatte. Auch dieser Versuch zeigt, dass durch das den Käfig umgebende electricische Feld entgegengesetzt geladene Teilchen aus der Luft herangezogen und z. T. in das Innere hineindiffundiert sind. Man beachte, dass Staub, der etwa nach Berührung mit dem geladenen Drahtgeflecht in das Innere gelangt ist, sich diesem gleichnamig electricisiert erweisen müsste. Man könnte das Resultat auch in der Weise zu deuten versuchen, dass von je zwei in der Luft sich berührenden Staubteilchen, dass dem Drahtkäfig zugewandte sich ihm entgegengesetzt, das abgewandte gleichnamig ladet. Das erstere wird angezogen und dringt vielleicht, ohne an der Hülle hängen zu bleiben, in das Innere ein, das letztere wird abgestossen. Dieser Auffassung widerspricht die Thatsache, dass der Versuch schon mit Spannungen von etwa 100 Volt gelingt, die schwerlich ausreichen dürften, solche Verschiebungen des wegen des Luftwiderstandes schwer beweglichen Staubes durch electricische Kräfte in so kurzer Zeit herbeizuführen.

Schon von *Matteucci*¹ ist die offenbar hierher gehörige Erscheinung beobachtet, dass die Electricitätszerstreuung von einem electricischen Leiter dadurch beschleunigt wird, dass man einen gleichnamig geladenen Körper in seine Nähe bringt.

Nach allen diesen Erfahrungen scheint es uns eine nicht mehr abzuweisende Forderung zu sein, die auf die Annahme von Ionen gegründete Theorie der electricischen Eigenschaften der Gase, die sich auf andern Gebieten so fruchtbar erwiesen hat, auch auf das der atmosphärischen Electricität auszudehnen.

Wir möchten die Hauptergebnisse, zu denen man so gelangt, noch kurz zusammenfassen.

Es werde die Annahme zu Grunde gelegt, dass die Luft der freien Atmosphäre teilweise — wenn auch in den unteren Schichten nur in geringem Grade — ionisiert ist. Wo die Quelle dieses Zustandes zu suchen ist, bleibt noch unbeantwortet, doch ist es wahrscheinlich, da die Leitfähigkeit mit wachsender Höhe zunimmt, dass sie in den höhern atmosphärischen Schichten liegen wird. Bis jetzt liegt noch kein Grund vor, sie auf eine Wirkung des Sonnenlichts zurückzuführen.

¹ Wiedemann Electricität. Band 4. Pag. 605.

Nun haben die Herren *J. J. Thomson*, *Zeleny* u. a. gezeigt,¹ dass unter Einwirkung derselben electricischen Kräfte die Geschwindigkeit eines negativen Ions wesentlich grösser, als die eines positiven ist, oder anders ausgedrückt, dass die Masse des letzteren die des ersteren beträchtlich übertrifft. Fliesst nun ionisierte Luft über einen isolierten Leiter hinweg, so wird ein positives und ein negatives Ion, die sich in gleichem Abstände von dessen Oberfläche befinden, in dem durch ihre eigene Ladung inducierten electricischen Felde zwar denselben Antrieb gegen den Leiter hin erfahren, das negative wird aber in einer bestimmten Zeit eine grössere Wegcomponente in der Richtung der Normalen gegen den Leiter hin zurücklegen als das positive, also seine Ladung an diesen schon abgegeben haben können, während das langsamer wandernde positive durch den Luftstrom so weit fortgetragen ist, dass es den Leiter überhaupt nicht mehr erreicht. Hiernach wird sich der von ionisierter Luft bestrichene Leiter von selbst negativ laden, bis das durch seine Ladung um ihn erregte electricische Feld den Unterschied der Beweglichkeit der Ionen dadurch ausgleicht, dass es die positiven stärker gegen die geladene Oberfläche beschleunigt. Solche spontanen negativen Ladungen isolierten Körper in ionisierter Luft sind in der That von Herrn *Zeleny* beobachtet.

Noch merkwürdiger werden die Verhältnisse, wenn ionisierte Luft durch einen Hohlraum eines isolierten Leiters strömt, da jetzt für das Innere die compensierende Wirkung der allmählig wachsenden Eigenladung wegfällt. Es wird daher ein solcher Leiter fortwährend von innen negative Electricität aufnehmen, nach aussen aber dadurch wieder verlieren, dass positive Ionen gegen seine Oberfläche herangezogen werden. Könnte man die letzteren völlig abhalten, so würde seine Ladung zu beliebig hohen Beträgen gesteigert werden können.

Es leuchtet ein, dass auch der allseitig von ionisierter Luft umgebene Erdkörper sich negativ laden muss. Diese Zufuhr der negativen Electricität geschieht vorzugsweise an solchen Stellen, die als *innere* Punkte der leitenden Erdoberfläche gelten können, d. h. wohl besonders auf den mit Vegetation bedeckten Gebieten, in denen die Luft zwischen den einzelnen Bäumen oder niedrigeren Pflanzen hindurchströmt.

Dieser so aufgenommenen, auf der nach aussen gewandten Erdoberfläche im electricischen Gleichgewicht vertheilten Ladung entspricht ein Deficit negativer, also ein Ueberschuss positiver

¹ Vgl. diese Zeitschrift. 4. 1899. Pag. 65. Anmerkung.

Ionen in der Luft, die nun im ganzen in stationärer Weise gegen die Erdoberfläche hin wandern und die negative Bodenelectricität in dem Maasse neutralisieren, wie sie sich unausgesetzt regeneriert. Die Messungen der Electricitätszerstreuung ergeben nach der schon erwähnten Berechnung von Herrn *Linss*, dass die Erneuerung der Gesamtladung sich in etwa 100 Minuten vollzieht. Die überschüssigen positiven Ionen der Atmosphäre werden wesentlich in den tieferen Luftschichten enthalten sein, da ja die Bindung der negativen an der Erdoberfläche selbst stattfindet und das elektrische Feld der Erde sie nach unten zieht, nur um die Bergspitzen ist, wie schon oben erwähnt, eine besondere Dichtigkeit derselben zu erwarten.

Man erkennt, dass sich auf Grund unserer Annahme in ungezwungener Weise eine constante negative Ladung der Erde (allerdings noch von unbestimmter Höhe) und eine entsprechende positive der unteren Luftschichten ergibt.

Man kann aber noch weiter gehen und die Veränderungen in Betracht ziehen, die der elektrische Austausch zwischen der Erde und der Atmosphäre erleidet, sobald Nebelbildung eintritt. Wir nehmen zunächst an, dass dies in unmittelbarer Nähe der Erdoberfläche geschehe, dass sich also Bodennebel durch Ausstrahlung gegen den Himmel bilden. Die von oben her gegen die Erdoberfläche wandernden positiven Ionen bleiben nun in der Nebelschicht stecken und bilden eine dicht über dem Boden lagernde positiv geladene Schicht. In dieser wird das Potentialgefälle je nach der Dichtigkeit der geladenen Tröpfchen eine beträchtliche Höhe erreichen können, ohne dass ein Ausgleich in dem völlig isolierenden Nebel möglich ist; oberhalb der Nebelschicht wird es schnell abnehmen. Im allgemeinen wirkt jede Nebel- und Dunstbildung am Boden bei sonst heiterem Himmel in demselben Sinne; es ist wahrscheinlich, dass die tägliche und jährliche Periode des Potentialgefälles an der Erdoberfläche wesentlich auf der periodischen Veränderlichkeit der Lufttrübung beruht.

Liegt eine Nebelschicht in grösserer Höhe über der Erdoberfläche, so werden die positiven Ionen der darunter liegenden Luft ungehindert bis zum Boden gelangen, während die negativen in der *unteren* Grenzfläche der Wolke haften bleibe. An der Erdoberfläche sinkt das Potentialgefälle unter den normalen Betrag, oberhalb der unteren Grenzfläche des Nebels muss es höher werden. Auch diese Folgerungen dürften im ganzen dem wahren Sachverhalte entsprechen.

Dass aus elektrisch geladenen Nebeltropfen sich gleichfalls geladene Niederschläge bilden werden, ist ohne weiteres zuzugeben, nur erscheint die auf diesem Wege verfügbare Elektrizitätsmenge bei weitem nicht ausreichend, die Thätigkeit eines Gewitters verständlich zu machen.

Nun hat aber vor kurzem Herr J. J. Thomson¹ auf eine Energiequelle aufmerksam gemacht, die sofern nur die Ionisirung der atmosphärischen Luft als erwiesen gelten kann, die Erscheinungen der Niederschlagselectricität ihres räthselhaften Charakters beraubt. Bei Versuchen über die Condensation des Wasserdampfes hat sich nämlich ergeben, dass die Nebelbildung in negativ ionisierter Luft bei schwächerer Expansion, also geringerer Abkühlung eintritt als in solcher, die mit positiven Ionen beladen ist. Im Augenblick ihrer Bildung ist demnach eine Wolke aufzufassen als ein Gemisch negativ geladener Tropfen mit Luft, die freie positive Ionen enthält. Anfangs wird sie nach aussen nicht elektrisch wirken können, wohl aber, sobald durch die Fallbewegung die negativ elektrischen Tröpfchen sich von der zwischengelagerten Luft getrennt haben. Es entsteht demnach eine Potentialdifferenz auf Kosten der Energie der fallenden Tropfen; die Quelle, aus der sie geschöpft wird, ist daher vollauf genügend, den Bedarf einer thätigen Gewitterwolke zu decken. Bei weitergehender Abkühlung und Uebersättigung der Luft wirken auch die positiven Ionen als Condensationskerne und die ihnen anhaftenden Electricitätsmengen werden mit den Niederschlägen zur Erde geführt. Falls sich die Zunahme der Ionisirung der Luft mit der Höhe auch durch Beobachtungen im Ballon bestätigt, so läge darin eine weitere Stütze dieser Anschauung. Bemerkenswert ist, dass selbst sehr hohe Potentialdifferenzen in einer Wolke sich nicht anders als durch disruptive Entladungen ausgleichen können, da ja die mit Nebel erfüllte Luft fast vollkommen isoliert.

Unsere Beobachtungen über die Eigenelectricität der atmosphärischen Niederschläge² widersprechen diesen Anschauungen in keiner Weise, ja man könnte vielmehr die Periodicität der elektrischen Erscheinungen bei böartigen Regengüssen, bei denen in gleichen Phasen des meteorologischen Processes gleichnamige Ladungen der Niederschläge gefunden werden, als einen Beleg für die Theorie auffassen.

¹ Vergl. die hierauf bezügliche Arbeit von C. T. R. Wilson Proc. Roy. Soc. 15. Juni 1899.

² Vergl. diese Zeitschrift, IV, pag. 15, 1899.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass hiernach leichte Niederschlagsfälle vorwiegend negative Elektrizität zur Erde führen und dadurch zur Ergänzung der Eigenladung des Erdkörpers beitragen werden.

Wenn im Vorigen der Versuch gemacht ist, die Vorstellung von der Ionanleitung der Gase auf das Gebiet der atmosphärischen Elektrizität anzuwenden, so scheint uns, wie bemerkt, damit nur ein Schritt gethan zu sein, der nach dem Gange der Forschung notwendig war. Die *Exnersche* Theorie der atmosphärischen Elektrizität, sowie die von Herrn *Arrhenius* erdachte und von uns modifizierte photoelektrische sind, wie wir schon an andern Orten ausgesprochen haben, abgesehen von sonstigen berechtigten Bedenken durch die vom Luftballon aus gemachten Messungen des elektrischen Feldes der Erde in ihrem Werte schwer beeinträchtigt. Die Thatsache, dass die freie Atmosphäre positiv elektrische Massen enthält, kann nicht geleugnet werden, und keine der beiden Theorien vermag davon Rechenschaft zu geben.

Nun ist allerdings wahrscheinlich, dass auch die Ionentheorie nicht in aller Strenge durchführbar sein wird. Es leuchtet ein, dass z. B. negatives Potentialgefälle bei heiterem Himmel nach ihr unmöglich ist, da zwar von der negativen Erdoberfläche die positiven Ionen der Luft angezogen werden, negative aber niemals aus ihr in die Luft gelangen können. In diesen bekanntlich singulären Fällen wird man ohne die Annahme photoelektrischer Vorgänge oder von Elektrizitätserregung durch Reibung von Staub nicht auskommen. Ferner ist zu erwarten, dass ein Einfluss des Wasserdampfgehalts der Luft, der sich beim Condensationspunkte in so auffälliger Weise durch Lähmung der Beweglichkeit der Ionen äussert, auch schon ohne dass sichtbare Condensation eintritt, bemerklich sein wird.

Auf jedem Fall scheint uns die Annahme freier Ionen in der Atmosphäre die geeignetste Grundlage für eine rationelle Theorie der atmosphärischen Elektrizität zu sein.

Wolfenbüttel, Oktober 1899.