universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

# Die Luftelektrizität

**Gockel, Albert**

**Leipzig, 1908**

Erstes Kapitel. Die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre

urn:nbn:at:at-ubi:2-6675

Jahrzehntes gemacht wurde, zu urteilen, hoffen läßt, daß sie auch Aufschluß geben wird über die bis jetzt noch unerklärten Einzelheiten. Das unsichere Tasten, das dadurch zum Ausdruck kam, daß man alle möglichen physikalischen Erscheinungen, die unipolare Induktion des Erdmagneten, photo-, thermo- und reibungselektrische Prozesse, Verdampfung und Kathodenstrahlen und noch viele andere zu Erklärungsversuchen herbeizog, hat nun aufgehört, und es ist durch die Anwendung der Lehre von den Gasionen auf die Erscheinung der atmosphärischen Elektrizität ein Fundament geschaffen worden, auf dem mit Ruhe weiter gebaut werden kann. Geleugnet kann nicht werden, daß, wie dieses auch Elster und Geitel selbst betonten, für die eine oder die andere Seite der Aufgabe, auch die eben erwähnten Vorgänge mit Erfolg herangezogen werden können.

Mit der Erkenntnis, daß der Atmosphäre ein Leitvermögen zukommt, mußte die Fragestellung eine andere werden. Nicht der Ursprung des elektrischen Feldes ist das Grundproblem der Forschung, sondern die Frage: wie wird trotz der Leitfähigkeit der Atmosphäre eine, im großen und ganzen stationäre, Potentialdifferenz zwischen ihr und der Erde und zwischen den einzelnen Schichten der Atmosphäre aufrecht erhalten?

Wir werden uns also zunächst mit der Ionisation der Atmosphäre zu beschäftigen haben. In den folgenden Kapiteln wird dann die Erscheinung des elektrischen Erdfeldes besprochen, und der Versuch gemacht, dieselbe durch die im ersten Kapitel gewonnenen Kenntnisse zu erklären.

---

## Erstes Kapitel.

## Die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre.

**1. Geschichtliches.** Schon Coulomb[1]) hatte bemerkt, daß die Entladung eines isoliert in der Luft aufgestellten geladenen Leiters nicht nur durch die mangelhafte Isolation der Stützen veranlaßt wird, sondern daß der Leiter auch Elektrizität an die Luft selbst abgibt, d. h. daß dieser ebenfalls ein Leitvermögen

1) C. A. Coulomb, Mém. de l'Acad. de Paris 1785, p. 616.

besitzt. Er fand auch das nach ihm benannte Gesetz für den Ladungsverlust, welches aussagt, daß die in der Zeiteinheit sich zerstreuende Elektrizitätsmenge (d. h. die Stromstärke) proportional ist dem augenblicklich auf dem geladenen Körper vorhandenen Potential. Dieses Gesetz ist nichts anderes als das viel später erst aufgestellte Ohmsche Gesetz, angewandt auf einen Körper, dessen Potential mit der sich zerstreuenden Elektrizitätsmenge abnimmt. Merkwürdigerweise blieb ein Jahrhundert lang die Coulombsche Entdeckung fast unbeachtet; trockene reine Luft galt als guter Isolator, nur den in der Luft suspendierten Staub- und Wasserdampfteilchen wollte man ein Leitvermögen zusprechen. Auch eine Ausnahme von dem Coulombschen Gesetz, die Matteucci[1]) fand, daß in kleinen Lufträumen die Geschwindigkeit der Elektrizitätszerstreuung nicht mit abnehmendem Potential abnimmt, sondern daß in solchen Fällen in gleicher Zeit gleiche Elektrizitätsmengen zerstreut werden, wurde wenig beachtet, obwohl sie imstande gewesen wäre, einen Aufschluß über die Natur der Elektrizitätsleitung durch Gase zu geben. Im Jahre 1887 sprach Schuster[2]), nachdem er gezeigt hatte, daß Gase, welche von elektrischen Entladungen durchsetzt werden, ein erhöhtes Leitvermögen erhalten, die Vermutung aus, daß die Atmosphäre besonders in den höheren Schichten infolge der Entladungen, die sich als Polarlichter zeigen, ionisiert sein müsse.

Messend hat das Leitvermögen der freien Atmosphäre zuerst Linss[3]) verfolgt. Ihn leiteten dabei Erwägungen geophysikalischer Natur, es kam ihm darauf an, die Höhe des Elektrizitätsverlustes festzustellen, den die Erde infolge der Leitfähigkeit der Luft in einer gewissen Zeit erleidet. Der von ihm mit den einfachsten Hilfsmitteln konstruierte Apparat bestand aus einem, aus Kartonpapier gefertigten, mit Stanniol überzogenen Zylinder, der vermittels gut isolierender Schellackblättchen an einem Messingdraht befestigt war. Die dem Zylinder mitgeteilte Ladung wurde gemessen dadurch, daß derselbe in stets derselben Stellung in ein nach dem Prinzip der Drehwage konstruiertes Elektrometer (Sinuselektrometer) eingesetzt wurde; hierauf wurde der Zylinder mittels des Messingdrahtes für einige Minuten auf eine vor dem Fenster befind-

1) C. Matteucci, Ann. de Chim. et Phys. **28**, 390, 1850.
2) A. Schuster, Proc. Roy. Soc. **42**, 373, 1887.
3) W. Linss, Met. Zt. **4**, 345, 1887. Elektr. Zt. **11**, 506, 1890.

liche Gabel von starkem Messingdraht gesteckt und dann wieder in das Elektrometer gebracht. Auf diese Weise konnte Linss nachweisen, daß der Zylinder in der Minute im Mittel 1 Proz. seiner Ladung verlor. Die Zerstreuung wurde am stärksten gefunden an klaren warmen Tagen, nahm bei zunehmender Bewölkung ab und — was mit der herrschenden Ansicht ganz im Widerspruch stand — sie war an kalten Wintertagen auch dann sehr schwach, wenn dicker Nebel herrschte.

Durch die Versuche von Linss war der Forschung ein neues Feld erschlossen. Seine Anordnung erlaubte aber nicht, den doch immerhin vorhandenen Bruchteil des Elektrizitätsverlustes, der durch die Schellackblättchen vor sich ging, quantitativ zu bestimmen, da nicht ausgeschlossen war, daß das Isolationsvermögen in der freien Luft ein anderes war als im Elektrometergehäuse. Diesen Nachteil der Linssschen Versuchsanordnung zu beseitigen gelang erst Elster und Geitel[1]), die auch weitere Kreise auf die Tragweite der Linssschen Versuche aufmerksam machten.

**2. Methode der Zerstreuungsmessung.** Elster und Geitel[2]) änderten für ihren Zweck das allbekannte Exnersche Aluminiumblattelektrometer folgendermaßen ab. Die Trennungsplatte $A$ (Fig. 1) der Aluminiumblättchen, die bei Exner in dem Halse $F$ des Elektrometers sitzt und in einen Ebonitstopfen eingelassen ist, bekam als Träger einen an der tiefsten Stelle des Gehäuses angebrachten isolierenden Stopfen $A'$. Für denselben wird auf Vorschlag Quinckes in neuerer Zeit der sehr gut isolierende Bernstein verwendet. Die Platte $A$ endigt oben in eine kleine Kugel $B$ mit konischer Bohrung. In diese Bohrung paßt ein Metallstift, der den „Zerstreuungskörper" $G$, einen aus geschwärztem Messingblech verfertigten Hohlzylinder von ungefähr 9 cm Höhe und 6 cm Durchmesser trägt. Wenn der Zerstreuungskörper nicht verwendet wird, kann das Elektrometer durch einen Deckel $D$ geschlossen werden. Bei Nichtgebrauch des Elektrometers verhindern die dann zusammengeschobenen Schutzbacken $E$ eine Beschädigung der Aluminiumblättchen. Um Ladungen des isolierenden Stopfens $A'$ möglichst zu verhüten, empfiehlt es sich, nach einem Vorschlag Scherings, denselben mit einer Metallplatte zu bedecken und ihn so den Kraftlinien des Feldes möglichst zu

1) In der ersten der oben zitierten Programmbeilagen.

2) Elster und Geitel, Phys. Zt. **1**, 11, 1899. Ann. d. Phys. **2**, 425, 1900. Terr. Magn. **4**, 213, 1899.

entziehen. Der Ansatz $H$ des Instrumentes dient zur Aufnahme eines Stückchens Natrium, das entweder auf einer durch den Stopfen gehenden Nadel aufgespießt werden kann, oder was besser ist, in ein mit $H$ verbundenes Glasröhrchen gelegt wird. Das Natrium hält den Innenraum des Elektrometers trocken und verhindert damit eine Verschlechterung der Isolation des Bernsteins. Der Vorteil der von Elster und Geitel getroffenen Anordnung liegt darin, daß die isolierende Vorrichtung weder mit der Außenluft noch mit fremden Körpern in Berührung kommt, und daß die Elektrizitätsmenge, welche durch die Stütze $A'$ in einer bestimmten Zeit entweicht, jederzeit bestimmt werden kann. Man führt zu diesem Zweck einen mit einer isolierenden Handhabe versehenen Stift $K$ ein, ladet das Elektrometer, am einfachsten mit einer Zambonischen Säule auf, zieht den Stift wieder heraus und verschließt mit dem Deckel $D$. Da jetzt die Zerstreuung durch das geringe eingeschlossene Luftquantum vernachlässigt werden kann, erfolgt ein meßbarer Elektrizitätsverlust nur noch durch die Stütze $A'$. Bei gutem Zustande des Instrumentes beträgt dieser Verlust bei einer Ladung auf 100—200 Volt nur noch Bruchteile eines Volt pro Stunde.

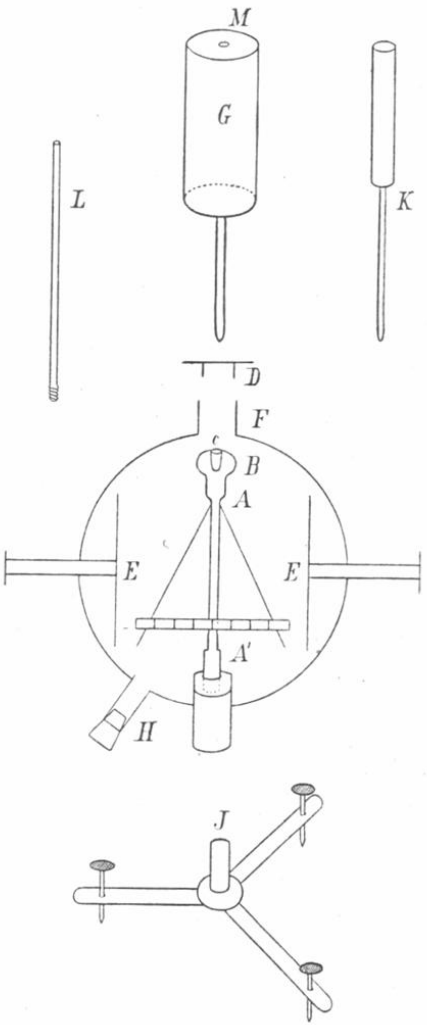



Fig. 1.

Zur Anstellung von Zerstreuungsbeobachtungen wird der Zerstreuungskörper aufgesetzt, das ganze System geladen. Vor der Ablesung wird etwa 5 Minuten gewartet, damit der isolierende Stopfen Zeit hat, sich dielektrisch zu polarisieren; die Benutzung der erwähnten, von Schering vorgeschlagenen Schutzplatte kürzt diese Zeit wesentlich ab. Nach der Ablesung des Blättchenausschlages wird der Apparat während einer gemessenen Zeit $t$ sich selbst überlassen und dann von neuem abgelesen. Bezeichnet $V_1$ resp. $V_2$ die am Anfang und Ende der Messung abgelesenen Potentialwerte, so ist nach dem Coulombschen Gesetz die in der Zeiteinheit entwichene Elektrizitätsmenge $E' = \frac{1}{t} log \frac{V_1}{V_2}$. Für die Bestimmung des durch die Stützen weggegangenen Anteils dieser Menge ist die Kenntnis des Verhältnisses $n$ der Kapazität des Elektrometers allein zu der Summe der Kapazität von Elektrometer und Zerstreuungskörper nötig. Zur Bestimmung dieser Konstanten wird folgendermaßen verfahren: Man schraubt an den Zerstreuungskörper $G$ in einer im Mittelpunkt seiner oberen Grundfläche gelassenen Öffnung $M$ ein mit einem Gewinde versehenes Ebonitstäbchen $L$ ein, ladet das Elektroskop in der angegebenen Weise auf eine bestimmte Divergenz $D$ und senkt nun vorsichtig, ohne die Wand zu berühren, von oben her den Stift des unelektrischen Zerstreuungszylinders $G$ in die Öffnung $F$ hinein, indem man als Handgriff das Ebonitstäbchen $L$ benutzt, bis er in der konischen Öffnung der Kugel $B$ festsitzt. Nun liest man die Divergenz $D_1$ ab. Das Verhältnis der zu $D$ und $D_1$ gehörigen Voltzahlen ist die Konstante $n$. Ergab die der Zerstreuungsmessung folgende Bestimmung des Elektrizitätsverlustes im geschlossenen Elektroskop, daß während der Zeit $t'$ das Potential von $V'$ auf $V''$ sank, so ist die von dem Zerstreuungskörper während der Zeit $t$ an die Luft abgegebene Elektrizitätsmenge $E = \frac{1}{t} log \frac{V_1}{V_2} - \frac{n}{t'} log \frac{V'}{V''}$.

Bei trockenem Wetter wird der durch die Vernachlässigung des Korrektionsgliedes hervorgerufene Fehler meistenteils kleiner als die Ablesungsfehler.

Als Zerstreuungskoeffizient $a$ bezeichnet man die Zerstreuung in der Zeiteinheit ausgedrückt in Prozenten der Ladung:

$$a = \frac{100\ E}{1-n}.$$

Hat man sich für die Rechnung Briggscher Logarithmen bedient, so ist außerdem noch mit 2,303 zu multiplizieren, da die

Formel für natürliche Logarithmen gilt. Die so erhaltene Zahl soll unabhängig sein von den Dimensionen des Apparates. Die absolute Kapazität wird am besten nach der Methode von Harms[1]) bestimmt.

**3. Elektrometer.** Den Verlust durch Zerstreuung an der Luft im Elektrometergehäuse hat Schering[2]) noch dadurch zu verringern gesucht, daß er demselben Trapezform gab. Bei gleichem Abstand der Schutzbacken von dem Blättchenträger beträgt das Volumen nur die Hälfte desjenigen eines zylindrischen Gehäuses, es entsteht daher in derselben Zeit auch nur die halbe Anzahl leitender Luftteilchen. Offenbar wegen der schwierigen Herstellung hat sich aber diese Gehäuseform nicht eingebürgert.

Die Empfindlichkeit des Exnerschen Elektrometers ist im allgemeinen um so größer, je länger und schmaler die Blättchen sind[3]).

Bei der Verwendung des Exnerschen Elektrometers im Ballon ist zu beobachten, daß die Blättchen infolge ihrer Trägheit gegen die Bewegung des Ballons zurückbleiben. Linke schlägt daher vor, die Ablesungen nur bei annähernd konstanter Vertikalgeschwindigkeit des Ballons vorzunehmen, oder mittels anderer gleichartig gebauter, auf konstantem Potential gehaltenen Elektrometer die erforderliche Korrektion vorzunehmen.

Zur Vermeidung von Parallaxenfehlern bei der Ablesung an der bei dem Exnerschen Elektrometer auf der vorderen Glaswand aufge-

1) F. Harms, Phys. Zt. **5**, 47, 1904.

2) H. Schering, Göttinger Dissertation 1904. Ann. d. Phys. **20**, 174, 1906.

3) Anmerkung. Das bei dem oben offenen Elektrometer Elster- und Geitelscher Konstruktion gelegentlich nötig werdende Einsetzen neuer Blättchen wird durch eine kleine, vom Verfasser angegebene Vorrichtung erleichtert. Dieselbe besteht aus einem T-förmigen Stückchen Eisenblech, dessen Querbalken ebenso breit wie das Aluminiumblättchen, aber um 1 mm kürzer ist. Bringt man an die Stelle, an welche das Blättchen angeklebt werden soll, zunächst eine Spur Klebmittel (Leim, Gummi, Eiweiß, Schellacklösung oder Wasserglas), so kann man das auf dem Blechstreifen liegende Aluminiumblatt mittels der Anschlagleiste bequem auf dem Mittelbalken des Elektroskopes orientieren und dann durch schwaches Neigen des Blechstreifchens das überstehende Ende des Aluminiumblattes mit dem Leimtropfen in Berührung bringen. Dasselbe hält dann in der gewünschten Lage fest, und das Blechstreifchen kann weggezogen werden. Legt man das Aluminiumblatt zuerst auf den Metallbacken des Elektroskopes und versucht dann etwas Leim unter das Blättchen zu bringen, so läuft man stets Gefahr, bei dieser Arbeit dasselbe wieder zu verschieben. Mit Hilfe des erwähnten Instrumentchens ist die oft etwas heikle Arbeit des Blättcheneinziehens in wenigen Minuten erledigt.

klebten Skala, kann man entweder nach einem Vorschlage Eberts sich eines Diopters bedienen, oder man kann eine von Elster und Geitel[1]) angegebene Spiegelablesung benutzen. Das Prinzip derselben besteht darin, daß ein, die untere Hälfte der vorderen Glaswand bedeckender Silberspiegel das Bild der Skala in die Ebene der vorderen Blättchenwand projiziert. Die Ablesung erfolgt durch eine vom Fabrikanten (Günther und Tegetmeyer, Braunschweig) dem Apparat beigegebene Lupe. Der Verfasser zieht es vor, statt derselben ein einfaches Diopter zu verwenden, da die Lupe nicht nur das Bild der Skala, sondern auch der Unregelmäßigkeiten der Blättchenränder mit vergrößert. Vollständig vermieden sind Parallaxenfehler auch bei dieser Konstruktion nur dann, wenn das Auge ständig in derselben Höhe gehalten wird, am sichersten in einer solchen, daß die oberen Ränder von Skala und Spiegelbelegung zusammenfallen. Kleine Augenbewegungen sind aber besonders auf Schiffen oder im Luftballon nicht ganz zu vermeiden. L. u. A. Boltzmann[2]) schlagen daher vor, sowohl dem Rand der Skala als auch dem der Spiegelbelegung die Form eines Kreisausschnittes zu geben, dessen Mittelpunkt in der Durchschnittslinie der beiden von den Aluminiumblättchen gebildeten Ebenen liegt. Die Teilstriche der Skala müssen dann nach einem Punkt dieser Durchschnittslinie konvergieren. In den Handel sind solche Elektrometer offenbar wegen der schwierigeren Herstellung noch nicht gekommen.

Zur Erzielung einer schärferen Ablesung hat Kurz[3]) vorgeschlagen, einen halbkreisförmigen Ausschnitt am vorderen Rand der Aluminiumblättchen anzubringen und über diesen als Sehne einen Quarzfaden zu kleben. Die Ablesung erfolgt dann mit Hilfe eines mit Okularskala versehenen Mikroskopes. Der Ersatz beschädigter Blättchen stellt hohe Anforderungen an Geduld und Geschicklichkeit des Beobachters, außerdem ist ein Hauptfehler der Aluminiumblättchen nicht beseitigt, der von Ebert als Cri-Cri-Erscheinung bezeichnet wird. Bei langsamer Änderung des Potentials bleiben nämlich die Blättchen oft noch eine Zeitlang in einer dem ursprünglichen Potential entsprechenden Stellung stehen, um dann mit einem Ruck in die neue Stellung überzugehen.

1) H. Elster und J. Geitel, Phys. Zt. **4**, 137, 1903.
2) L. u. A. Boltzmann, Phys. Zt. **6**, 2, 1905.
3) K. Kurz, Phys. Zt. **7**, 375, 1906.

Wenig Anklang hat der Vorschlag gefunden, die Empfindlichkeit des Elektrometers, wenn nötig, durch Annähern der Schutzbacken zu erhöhen, da in diesem Falle den Blättchen zu wenig Spielraum bleibt. Um elektrostatische Ladungen der Fensterplatten des Exnerschen Elektrometers zu vermeiden, bedeckt man nach einem Vorschlag Boltzmanns dieselben zweckmäßig auf der Innenseite bis auf einen zum Ablesen der Skala nötigen Ausschnitt mit einem feinmaschigen Drahtgeflecht.

Die guten Eigenschaften des Aluminiumelektrometers aber ohne die besprochenen Mängel, dabei höhere Empfindlichkeit und die Möglichkeit, für verschiedene Meßbereiche verwendet zu werden, besitzen die Saitenelektrometer.

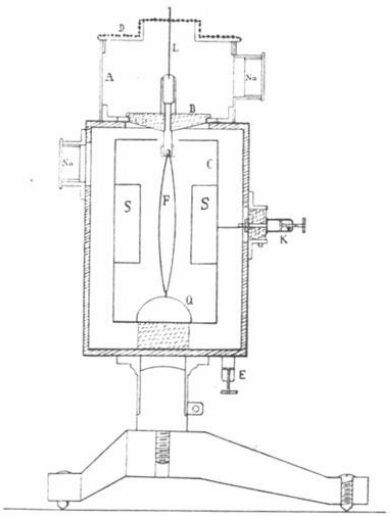


Fig. 2.

Das von Wulf[1]) konstruierte besteht im wesentlichen aus 2, wenige Zentimeter langen leitend gemachten Quarzfäden $F$ (Fig. 2), von 1—2 $\mu$ Durchmesser. Dieselben werden nebeneinander aufgehängt und auch an ihren unteren Enden aneinander befestigt, und durch einen aus einem isolierenden Quarzfaden $Q$ bestehenden Bügel gespannt. Wird das isolierte System geladen, so stoßen die Fäden einander ab. In der Mitte, wo der Abstand am größten ist, wird derselbe vermittels des mit Okularskala versehenen Mikroskops abgelesen und gibt ein Maß für das Potential. Die Quarzfäden sind dadurch leitend gemacht, daß sie nach der von Bestelmeyer angegebenen Methode durch kathodische Zerstäubung mit Platin überzogen wurden. Die Empfindlichkeit des Instrumentes beträgt einige Skalenteile für 1 Volt, die Kapazität 6 cm. Um das Instrument für verschiedene Meßbereiche verwenden und den Ausschlag für positive und negative Ladungen verschieden machen zu können, wird dasselbe mit einem die Quarzfäden umgebenden

1) Th. Wulf, Phys. Zt. 8, 246 u. 527, 1907.

Kondensator $e$ versehen, der vermittels einer Hilfsbatterie auf beliebige Potentiale geladen werden kann. Der Ausschlag der Fäden ist dann abhängig von der Potentialdifferenz zwischen dem Fadensystem und dem Kondensator und innerhalb weiter Grenzen derselben proportional. Wie es auch die Blättchenelektrometer tun, versagt das Fadenelektrometer für sehr kleine Potentialdifferenzen. Niedere Potentiale können trotzdem dadurch gemessen werden, daß man mittels der Hilfsladung den Nullpunkt des Fädenpotentiales an die Stellen maximaler Empfindlichkeit verschiebt[1]). Der zum Schutz der Isolation des Bernsteinstopfens dienende Aufsatz $D$ kann abgenommen werden. Die Verbindung der Fäden mit dem zu messenden Potential erfolgt durch den Stift $L$.

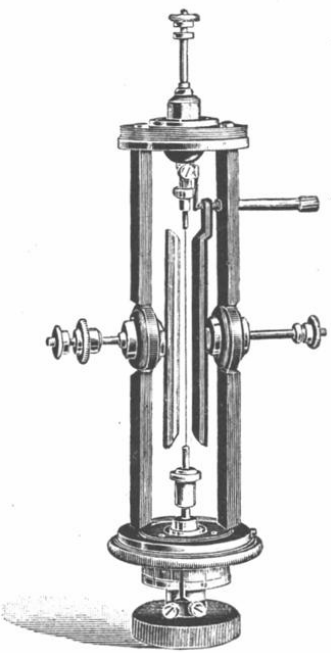


Fig. 3.

Denselben Zwecken wie das Wulfsche dient auch das von Lutz[2]) konstruierte Saitenelektrometer. Dasselbe ist hervorgegangen aus dem Einthovenschen Saitengalvanometer. Sein wesentlichster Teil ist ein nur 1—2 $\mu$ starker Wollastonplatindraht, der sich zwischen zwei seinen Längsachsen parallelen Metallschneiden bewegen kann. Saite und Schneiden sind vom Gehäuse isoliert durch Bernsteinstopfen, welche ihrerseits von Zuleitungsdrähten durchsetzt sind (siehe Fig. 3.) Die Ausschläge, welche der Faden in dem von ihm und den Metallschneiden gebildeten elektrischen Felde erleidet, werden mit Hilfe eines Mikroskopes abgelesen. Man kann das Instrument sowohl ohne als auch mit Hilfsladung gebrauchen. Im ersteren Falle

1) Fabrikant des Instrumentes ist Günther & Tegetmeyer in Braunschweig. Die bei den neueren Instrumenten angebrachten Schneiden $S$ halten die Ebene der Fäden konstant. Zur Erzeugung der Hilfsladung empfiehlt sich die von Krüger (Phys. Zt. 7, 182, 1906) beschriebene, sehr konstante Trockenbatterie.

2) C. W. Lutz, Phys. Zt. 9, 100 1908.

wird entweder die Saite und eine Schneide mit dem zu untersuchenden Potential verbunden, während die andere Schneide zur Erde abgeleitet wird, oder beide in verschiedener Entfernung von dem Drahte befindliche Schneiden werden geerdet und nur die Saite auf das zu untersuchende Potential geladen. Bei Verwendung einer Hilfsladung kann man wie beim Quadrantelektrometer entweder das unbekannte Potential an die Saite legen, während man die Schneiden auf entgegengesetzt gleiche Potentiale auflädt, oder man kann das Elektrometer durch Erdung der einen Schneide als Nullinstrument benutzen. Die Empfindlichkeit kann durch die Änderung der Schaltung der Hilfsladung und der Saitenspannung in weiten Grenzen geändert werden. Der Meßbereich geht von 0,01 bis 1000 Volt. Die Kapazität schwankt je nach der Schaltung zwischen 4,2 und 9,5 cm.

Weitere Vorzüge des Instrumentes sind seine leichte Transportfähigkeit und die Unabhängigkeit seiner Angaben von Neigung und Erschütterungen. Hergestellt wird dasselbe von der Firma Dr. Th. M. Edelmann u. Sohn München. Bei den beiden Saitenelektrometern findet zur Aufrechterhaltung einer guten Isolation die Natriumtrocknung Verwendung. Die isolierenden Teile bestehen durchweg aus Bernstein[1]). Prüfung und Berücksichtigung der Isolationsfehler ebenso wie Bestimmung der Kapazität erfolgt bei den Saitenelektrometern ebenso wie bei dem Elster- und Geitelschen Instrument. Die Eichung der Blättchen- und Saitenelektrometer erfolgt mit Hilfe von Hochspannungsbatterien, die der Blättchenelektrometer muß von Zeit zu Zeit kontrolliert werden, da leichte Verbiegungen der Blättchen unvermeidlich sind.

**4. Ionisation der Atmosphäre.** Die ersten Versuche von Elster und Geitel zeigten, daß die Zerstreuung in staub- rauch- oder nebelhaltiger Luft geringer ist als in klarer[2]). In einem größeren geschlossenen Raum, der Salmiaknebel oder Tabakrauch enthält, wird die Zerstreuung fast Null. Mit dieser Beobachtung war die allgemein verbreitete Ansicht, daß die Leitfähigkeit der Luft auf ihrem Gehalt an Staub und Wasserdampf beruht, widerlegt. Ferner ergab sich, daß Ladungen verschiedener Vorzeichen im allgemeinen auch mit verschiedener Geschwindig-

1) Französische und englische Fabrikanten wählen als isolierendes Material für Elektrometer gern Schwefel oder Gemische von diesem und Paraffin.

2) Vgl. die S. 6 zitierten Arbeiten.

keit zerstreut werden. Dieser unipolare Charakter der Zerstreuung war besonders stark ausgeprägt auf Bergspitzen, also in einem starken elektrischen Erdfelde. Aus der Unipolarität der Zerstreuung folgt, daß die Luft geladene Teilchen enthält und zwar Teilchen von außerordentlicher Kleinheit; gerade die bestleitenden Luftmassen zeichnen sich durch außerordentliche Klarheit aus. Man kann die Tatsache, daß die leitenden Teilchen eine Ladung besitzen, leicht nachweisen, indem man den Zerstreuungsapparat in ein künstlich hergestelltes elektrisches Feld bringt.

Am einfachsten verfährt man dabei nach dem Vorgang von Elster und Geitel so, daß man den ganzen Apparat unter einen isolierten allseitig geschlossenen Käfig aus Drahtgeflecht stellt und diesen durch eine Batterie oder Zambonische Säule auf ein beliebiges Potential ladet. Durch gleichnamige Ladung des Zerstreuungskörpers und des Drahtkäfigs wird die Zerstreuungsgeschwindigkeit erheblich vermehrt, durch ungleichnamige vermindert. Wir wollen annehmen, die beiden seien positiv geladen, dann wird der Käfig negativ geladene Luftteilchen aus weitem Umkreis anziehen, diese Teilchen können die Maschen des Drahtgeflechtes passieren, gelangen in das Innere des Käfigs, wo sie dessen eigener anziehender Wirkung entzogen sind, und entladen den Zerstreuungskörper. Ist dagegen bei positiver Ladung des letzteren der Drahtkäfig negativ geladen, so stößt er die negativ geladenen Luftteilchen ab, die Entladung des Zerstreuungskörpers kann also nur erfolgen durch die wenigen geladenen Teilchen, die sich bei Beginn des Versuches im Innern des Drahtkäfigs befinden, resp. dort entstehen.

Versuche von fast derselben Art hatten früher schon Giese zu der Vorstellung geführt, daß Flammengase geladene Teilchen, Ionen, enthalten. Die Beobachtungen von Elster und Geitel zeigen, daß hinsichtlich der Leitfähigkeit zwischen der natürlichen Luft einerseits und den Flammengasen und durch künstliche Mittel (Röntgenstrahlen, Becquerelstrahlen, Phosphor) leitend gemachter Luft andererseits nur ein gradueller Unterschied besteht.

Die oben angegebene Erscheinung fand so eine einfache Erklärung. In der Luft sind positive und negative Teilchen, die sich in dem Kraftfelde des Zerstreuungskörpers bewegen; die mit diesem gleichnamig geladenen entfernen sich, während die anderen mit ihm in Berührung kommen und seine Ladung vermindern. An-

wesenheit von Staub- und Wasserteilchen befördert die Wiedervereinigung der Ionen zu elektrisch neutralen Luftteilchen (Molisierung), ferner bleiben die Ionen vermöge der von ihnen selbst ausgehenden Kraftlinien an solchen Teilchen hängen und verlieren infolge der damit verbundenen außerordentlich hohen Vergrößerung ihrer Masse so viel an Beweglichkeit, daß sie den vom Zerstreuungskörper ausgehenden Kraftlinien nur noch in verschwindendem Maße folgen können. In dem starken Erdfelde, das Bergspitzen umgibt, werden positive Ionen herangezogen, wir werden deshalb an solchen Orten stets eine größere Zerstreuungsgeschwindigkeit für negative Ladungen finden.

Bei Beobachtungen in freier Luft befindet sich der Apparat in dem elektrischen Felde, das, wie wir sehen werden, zeitweise starken Schwankungen unterworfen ist. Die Blättchen des Elektrometers können unter solchen Verhältnissen keine konstante Einstellung annehmen. Um den Zerstreuungskörper gegen die Einwirkung äußerer Kräfte zu schützen, umgeben ihn Elster und Geitel daher mit einem auf denselben Dreifuß, welcher auch das Elektrometer trägt, aufgesetzten unten offenen und oben durch einen Deckel geschlossenen Messingzylinder von 14 cm Höhe und 19 cm Durchmesser. Das Stativ wird zur Erde abgeleitet. Die Anordnung gewährt den Vorteil, daß der Zylinder und das Elektroskop gleichzeitig gegen Niederschläge, gegen die entladende Wirkung des Lichtes und starke Luftbewegung geschützt sind. Der auch von Elster und Geitel selbst hervorgehobene Nachteil des Schutzzylinders besteht darin, daß er abgesehen von der Steigerung der Kapazität des Systems, das Luftquantum einschränkt, das der elektrischen Einwirkung des Zerstreuungskörpers ausgesetzt ist und bei starker Sonnenstrahlung und schwachem Wind eine Stagnation der Luft in seinem Innern begünstigt. Diese Nachteile des Schutzzylinders hat der Verfasser dadurch zu beseitigen gesucht, daß er denselben aus Drahtgeflecht verfertigte. Die Zerstreuungsgeschwindigkeit steigt dadurch auf ungefähr das Dreifache der durch Anwendung des Schutzzylinders aus Blech erzielten; doch zeigt sich dieser Reduktionsfaktor und ebenso derjenige, mit dem die Angaben des Apparates zu multiplizieren sind, um sie auf Angaben des Apparates ohne Schutzzylinder zu reduzieren, in hohem Grade von der Art der Aufstellung und der Windstärke abhängig. In noch höherem Grade gilt dies für den Schutzzylinder aus Blech. Bei Messungen in der freien Atmosphäre können sogar 2 in ge-

ringer Entfernung voneinander aufgestellte Zerstreuungsapparate bei gleichzeitiger Messung verschiedene Resultate ergeben. Ebert[1]) hat ferner gefunden, daß bei der Anwendung des kompakten Schutzzylinders für die Zerstreuung nicht das Coulombsche Gesetz gilt, sondern, daß wenigstens bei kleinen Potentialen der Elektrizitätsverlust in der Zeiteinheit von der Spannung unabhängig ist, so daß der nach der logarithmischen Formel berechnete Zerstreuungskoeffizient bei hoher Spannung kleiner ausfällt als bei niedriger. Näherungsweise kann man nach Elster und Geitel[2]) indessen die logarithmische Formel anwenden, wenn man stets bei derselben Spannung arbeitet.

Aufschluß über das, der Theorie scheinbar widersprechende Verhalten des Zerstreuungsapparates haben die theoretischen Betrachtungen Rieckes[3]) und die sich daran anschließenden experimentellen Untersuchungen Scherings[4]) gegeben.

Bezeichnen wir mit $n$ die spezifische Ionendichte, d. h. die Anzahl der vorhandenen Ionen, mit $v$ die spezifische Ionengeschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeit, welche die Ionen in einem Felde erreichen, in dem zwischen zwei im Abstand von 1 cm befindlichen Flächen die Potentialdifferenz 1 (ausgedrückt in elektrostatischen Einheiten) herrscht, mit $\varepsilon$ die Ladung eines Ions $= 3{,}4 \times 10^{-10}$ E. S. E., so ist die spezifische Leitfähigkeit $\lambda = \varepsilon\,(n_+ v_+ + n_- v_-)$, wenn $n_+$, $n_-$ usw. die Werte für die Ionen des betreffenden Vorzeichens angab.

Wir betrachten nun ein zwischen 2 Elektroden (z. B. Zerstreuungskörper und Schutzzylinder) bestehendes elektrisches Feld. Dasselbe soll zunächst sehr schwach sein. Dann ist die Zahl der vom Strom an die Elektroden geführten Ionen klein gegenüber der Zahl der überhaupt vorhandenen, die Änderung der Ionendichte durch den Strom kann vernachlässigt werden, und der Strom durch die Flächeneinheit ist an jeder Stelle zwischen den Elektroden gegeben durch das Produkt aus Leitfähigkeit und Feldstärke, ist also, wie das Coulombsche Gesetz es verlangt, der Feldstärke proportional, und der Ausdruck $dV/dt = \frac{1}{t} log \frac{V_1}{V_2}$ mißt die Leit-

1) H. Ebert, Terr. Magn. **6**, 101, 1901.

2) Elster und Geitel, Wien. Ber. **111**, 2a, 946, 1902.

3) E. Riecke, Ann. d. Phys. **12**, 52 u. 814 u. 819, 1903 u. Boltzmann Festschrift 168, 1904, Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1903 u. 1907, siehe auch E. Riecke, Lehrbuch der Physik, 2. Bd.

4) H. Schering l. c.

fähigkeit der Luft, während durch die Wirkung des Stromes das Potential von $V_1$ auf $V_2$ sinkt. Der Strom, welcher das Coulombsche Gesetz befolgt, wird als freier Strom bezeichnet. Der freie Strom ist, wie Riecke gezeigt hat, von der Stärke der Luftbewegung unabhängig.

Bewirkt der Strom eine beträchtliche Veränderung in der spezifischen Ionendichte, so ändert sich auch die, dem Produkte $n_+ \cdot n_-$ proportionale Molisierungsstärke, d. h. die Anzahl der infolge von Wiedervereinigung in der Zeiteinheit verschwindenden Ionen, und zwar wird die Molisierungsstärke so lange abnehmen, bis ein stationärer Zustand erreicht ist. Dieses ist der Fall, wenn die Zahl der in der Zeiteinheit entstehenden Ionen gleich ist der Zahl der in der Zeiteinheit im Strom fortgeführten und durch Molisierung verschwindenden. Es wird also damit die spezifische Ionendichte und bei gleichbleibender spezifischer Ionengeschwindigkeit die Leitfähigkeit eine Funktion der Stromstärke, und diese letztere ist nicht mehr proportional der Feldstärke; das Coulombsche Gesetz gilt nicht mehr. Es herrscht unvollständig gesättigter Strom. Die momentane Leitfähigkeit ist nicht proportional derjenigen, die herrschen würde, wenn kein Strom mehr durch das Gas ginge.

Bei weiterer Verstärkung des elektrischen Feldes kann der Fall eintreten, daß in der Zeiteinheit ebenso viele Ionen vom Strom fortgeführt werden, als in derselben Zeit entstehen. Sobald dieser Zustand eingetreten ist, kann der Verlust durch Molisierung vernachlässigt werden, ein weiteres Wachsen der Stromstärke ist nicht mehr möglich, da die Entstehungsgeschwindigkeit der Ionen von der Feldstärke unabhängig ist. Der jetzt von der Feldstärke (falls diese nicht mehr unter den kritischen Wert sinkt) unabhängige Strom wird Sättigungsstrom genannt. Seine Intensität ist gegeben durch das Produkt aus Ionenladung und der Zahl der in der Zeiteinheit in dem Raum zwischen den Elektroden entstehenden Ionen.

Beim Elster- und Geitelschen Zerstreuungsapparat ist nun die Feldstärke an den einzelnen Stellen sehr verschieden. Sie ist am größten dort, wo der Stiel des Zerstreuungskörpers den Hals des Elektrometers durchsetzt. Dort wird stets Sättigungsstrom herrschen. Unter dem Schutzzylinder ist dieses auch der Fall, wenn man ihn nach unten abschließt, weil so die Zahl der im Zylinder entstehenden Ionen nicht größer wird als die Zahl der in derselben Zeit vom Strom fortgeführten. Wenn der Zylinder aber,

wie es bei Zerstreuungsmessungen der Fall ist, unten offen ist, so treten zu den unter dem Zylinder entstehenden Ionen noch die durch Diffusion hineingelangenden. Die Zahl dieser ist erheblich größer als die Zahl der gleichzeitig im Zylinder entstehenden; trotzdem wird in vielen Fällen, besonders wenn das Potential des Zerstreuungszylinders unter 100 Volt sinkt, Sättigungsstrom vorhanden sein. Gemessen aber wird, da die Zahl der in der Zeiteinheit im Zylinder entstehenden Ionen vernachlässigt werden kann, gegenüber der Zahl der in derselben Zeit hereindiffundierenden, die Intensität des Diffusionsstromes. Dieser ist abhängig, von dem Konzentrationsgefälle, der Ionenbeweglichkeit und von der Stärke der Luftbewegung. Die Stärke des Sättigungsstromes an und für sich ist nur von der Zahl der in der Zeiteinheit in den Raum zwischen den Elektroden eintretenden Ionen abhängig. Es ist deshalb schwer zu ersehen, inwieweit der gemessene Elektrizitätsverlust von der Ionendichte, und inwieweit er von der Leitfähigkeit (Produkt aus Ionendichte und Beweglichkeit) und inwieweit er von der Luftbewegung abhängt, d. h. man kann überhaupt nicht sagen, was man eigentlich mißt.

Übersichtlicher liegen die Verhältnisse, wenn der Schutzzylinder wegbleibt. Sättigungsstrom fließt dann nur in dem Halse des Elektrometers, unvollständig gesättigter zwischen dem untersten Teil des Zerstreuungskörpers und dem Elektrometergehäuse, freier Strom am oberen Teil des Zerstreuungskörpers. Im allgemeinen wird bei der üblichen Anordnung der freie Strom einen Hauptteil des Gesamtstromes ausmachen, und zwar nimmt dieser Anteil mit der Stärke der Luftbewegung zu.

Im Freien ist die Luft nur ausnahmsweise vollständig ruhig. v. Schweidler[1]) fand durch Vergleichung mit den unten zu besprechenden Apparaten, daß die Angaben eines ohne Schutzzylinder an einem genügend freien, aber dem Erdfeld entzogenen Ort (Gartenhaus, offene Veranda) aufgestellten Zerstreuungsapparates als Maß der Leitfähigkeit genommen werden können, wenn man sich mit einer Genauigkeit von 5—10 Proz. zufrieden gibt. Andere Beobachter kamen zu demselben Resultat. P. Zölss[2]) hat das reiche Material von P. Schwab in Kremsmünster (3000 Beob-

1) E. R. v. Schweidler, Luftelektrische Beobachtungen am Ossiacher See. Wien. Ber. **115**, 2a, 1269, 1906.

2) P. B. Zölss, Wien. Ber. **112**, 2a, 1117, 1903.

achtungen) benutzt, um für verschiedene Windstärken den Faktor zu berechnen, mit dem die Zerstreuungsbeobachtungen zu multiplizieren sind, um sie auf eine bestimmte Windstärke zu reduzieren. Diese Faktoren sind natürlich nur für die benutzte Aufstellung gültig.

Im Anschluß an die eben besprochenen Untersuchungen beschreibt Schering eine Anordnung, die von den Mängeln des Elster- und Geitelschen Apparates frei ist, dafür aber einen wesentlichen Vorteil der letzteren, nämlich die Möglichkeit, den Isolationsfehler stets in Rechnung setzen zu können, aufgibt. Als Zerstreuungskörper dient eine Kugel von 5 cm Radius, die vermittels einer eigenartigen Vorrichtung gut isoliert aufgehängt ist. Für die Aufhängung würden sich übrigens auch die von Elster und Geitel[1]) beschriebenen und vom Verfasser[2]) etwas abgeänderten Isolationshaken eignen. Von der Kugel führt ein, mindestens 50 cm langer sehr dünner Draht zum Blättchenträger des Elektrometers. Bei der geringen Kapazität des Drahtes geht der Strom fast vollständig durch die Kugel, und zwar herrscht in dieser freier Strom.

Selbstverständlich lassen sich zu Zerstreuungsmessungen auch andere Elektrometer benutzen. Der Verfasser verwendete z. B. ein Wulfsches Saitenelektrometer, auf das er einen 50 cm langen und 5 mm starken geschwärzten Messingdraht als Zerstreuungskörper aufsetzte.

Ein Schutzzylinder wurde nicht angewendet, sondern der Apparat in einem Gartenhaus aufgestellt. Die Zerstreuung folgte dem Coulombschen Gesetz, es herrschte also freier Strom, solange das Potential des Zerstreuungskörpers nicht über 150 Volt stieg. Unter Einhaltung der aus dem Gesagten sich ergebenden Vorsichtsmaßregeln läßt sich demnach der so überaus handliche Zerstreuungsapparat ohne Schutzzylinder zur Bestimmung der Leitfähigkeit der Luft doch verwenden. Das Arbeiten mit ihm ist um so bequemer, als die Dauer einer Messung im allgemeinen nur 5 Minuten beträgt.

**5. Aspirationsapparate.** Für die Bestimmung der Ionendichte hat Ebert[3]) einen Aspirationsapparat konstruiert, der im wesentlichen aus einem mit einem Elektrometer verbundenen Zylinderkondensator und einem Aspirator besteht. Die innere Elektrode

1) Elster und Geitel, Phys. Zt. **3**, 306, 1902.

2) A. Gockel, Phys. Zt. **6**, 328, 1905.

3) H. Ebert, Phys. Zt. **2**, 662, 1901; Archiv de Genève **12**, 97, 1901; Verh. d. d. Phys. Ges. **7**, 2, 34, 1905; Illustr. aeronaut. Mitteil., Heft 4, 1902.

des Kondensators, gebildet durch einen 5 mm starken und 30 cm langen Messingdraht, sitzt auf dem Blättchenträger eines Elster- und Geitelschen oder Wulfschen Elektrometers auf. Das äußere zur Erde abgeleitete Rohr hat eine Weite von 3 cm. Bei einer Ladung der inneren Elektrode auf über 100 Volt ist das Feld stark genug, um Sättigungsstrom hervorzurufen, d. h. es werden der vom Aspirator durch den Zwischenraum der beiden Elektroden gesaugten Luft alle Ionen, soweit ihre Beweglichkeit nicht unter einer bestimmten Grenze liegt, entzogen. Der Aspirator besteht aus einem von einem Uhrwerk angetriebenen Schaufelrad, ähnlich dem von Aßmann bei seinem Psychrometer verwendeten. Er saugt bei der Ebertschen Konstruktion pro Sekunde 1,7 l. Die Luft durchströmt also den am besten vertikal gestellten Kondensator mit einer Geschwindigkeit von zirka 270 cm/sec. Zur Bestimmung der Ionendichte wird die innere Elektrode geladen. Nach Ablesung des Potentials $V_1$ läßt man die Luft eine gemessene Zeit ($t$ Minuten) passieren und liest wieder ab. Ist das Potential jetzt auf $V_2$ gesunken, und ist $F$ die während der Zeit $t$ geförderte Luftmenge, so ist die an die innere Elektrode abgegebene Ladung $Q$ (in E.S.E. ausgedrückt) $= \varepsilon n = \frac{C(V_2 - V_1)}{F \times 300}$, wo $\varepsilon$ wie oben die Ladung eines einzelnen Ions, $n$ die Zahl der Ionen des betreffenden Vorzeichens und $C$ die Kapazität des Apparates bedeutet. Von der Differenz $V_1 - V_2$ ist der Isolationsverlust abzuziehen. Derselbe ist mit genügender Genauigkeit gleich dem nach Abstellung des Aspirators bei geschlossenem Kondensator beobachteten Potentialrückgang. Bei gutem Zustand des Apparates bleibt dieser Verlust unter 1 Volt/Stunde, dagegen kann er bei sehr feuchtem Wetter von dem Betrag der zu bestimmenden Größe werden, also die Messung unmöglich machen. Der Zerstreuungsapparat ist in dieser Hinsicht viel weniger empfindlich. Die Kapazität wird auch hier am besten nach dem von Harms angegebenen Verfahren gemessen. Schwieriger ist die Bestimmung der Fördermenge.

Ebert läßt zu diesem Zweck den Aspirator eine mit Ätherdampf gesättigte Luftmasse, aus einem mit durchsichtigen Wänden versehenen Kasten von bekannten Dimensionen saugen. Die obere Grenze der Ätherluftmischung wird durch Tabakrauch sichtbar gemacht. Es wird die Zeit gemessen, innerhalb welcher das Volumen im Kasten um einen bekannten, durch 2 Marken bestimmten Betrag abnimmt. Abgezogen muß werden die in derselben Zeit ohne Aspi-

ration ausströmende Menge. Gerdien und Schering[1]) bringen vor der Öffnung des Kondensators an einem besonderen Schutzrohr ein Anemometer an, das aus einem äußerst leichten auf Stahlspitzen in Achat gelagerten Aluminiumdoppelflügel besteht. Die Zahl der von demselben während der Wirksamkeit des Aspirators in der

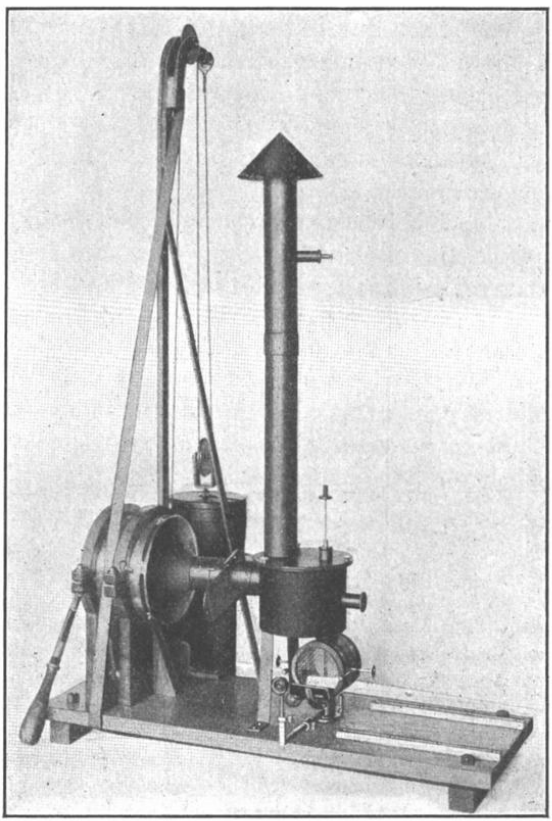


Fig. 4.

Zeiteinheit gemachten Umdrehungen wird mittels einer Stroboskopscheibe gemessen. Das Anemometer selbst wird vorher geeicht, indem man vermittels eines Gasometers ein bekanntes Luftquantum in einer gegebenen Zeit durch das Anemometerrohr strömen läßt.

1) H. Gerdien u. H. Schering, Phys. Zt. 5, 297, 1904.

Die Apparate pflegen vom Fabrikanten (für den Ebertschen Günther & Tegetmeyer, Braunschweig) geeicht zu werden.

Um gut meßbare Ausschläge zu erhalten, bedarf es beim Ebertschen Apparat einer Zeit von 15—20 Minuten. Durch die Verwendung des Wulfschen Elektrometers an Stelle des Exnerschen wird diese Zeit abgekürzt.

H. Gerdien[1]) hat einen Apparat von größeren Dimensionen konstruiert, dessen Fördermenge zirka 7 l pro Sekunde beträgt. Da aber gleichzeitig auch die Kapazität größer ist als die des Ebertschen Apparates, so erreicht man damit nur eine Abkürzung der zu einer Messung nötigen Zeit auf etwa die Hälfte der bei dem Ebertschen Apparat erforderlichen.

Lästig ist, daß bei beiden Apparaten zur Aufrechterhaltung einer konstanten Umdrehungsgeschwindigkeit des Aspirators das Uhrwerk in kurzen Intervallen (40—110 Sekunden) neu aufgezogen werden muß. Außerdem läßt sich nicht vermeiden, daß die Federn manchmal springen. Der Verfasser[2]) hat deshalb für stationäre Beobachtungen den Federantrieb durch ein Gewicht ersetzt (siehe Fig. 4). Dasselbe braucht nur bei Beginn der 10—12 Minuten in Anspruch nehmenden Messung aufgezogen zu werden, der Beobachter kann sich also während dieser Zeit einer anderen Beschäftigung hingeben[3]).

1) H. Gerdien, Götting. Nachr. 1903, Heft 6. Fabrikant: Spindler & Hoyer, Göttingen.

2) A. Gockel, Meteor. Zt. **25**, 9, 1908.

3) Sehr lästig werden namentlich bei den mit horizontalem Kondensator versehenen Aspirationsapparaten die vom Luftstrom mit hereingerissenen Insekten. Das vorgeschlagene Mittel zur Abhilfe, einen mit Fliegenleim bestrichenen Papierring in die vordere Öffnung des Kondensators zu legen, habe ich ziemlich unwirksam gefunden. Weniger leicht findet das Eindringen von Insekten in die vertikal gestellten Kondensatoren statt. Bei diesen gewährt auch das den Apparaten beigegebene, aufsteckbare, zum Schutz gegen Niederschläge dienende Dach einen gewissen Schutz gegen die Insekten. Vorteilhaft fand ich es, wenn die Rückwand des Elster- und Geitelschen Elektrometers so eingerichtet war, daß sie mit einem Griff entfernt werden kann. Rasches Zuschieben der Schutzbacken und Öffnen des Elektrometers rettet dann oft noch die Aluminiumblättchen, während dieselben stets verloren sind, wenn ein größeres Insekt (Wespe) auch bei geschlossenen Schutzbacken einige Minuten im Apparat verweilen kann. Unbedingt nötig ist jedoch ein gutes Schließen der Gläser, da sonst während des Ganges des Apparates ein Flattern der Blättchen eintritt. Statt des zum Abdichten vielfach angewandten unsauber aussehenden und nach meinen Erfahrungen auch nicht immer gut genug schließenden Klebwachses empfiehlt Conrad Hahnfett für die Lederdichtungen und eine dickflüssige Lösung von Mastix in Alkohol für die Gläser.

Da jeweils nur die Zahl derjenigen Ionen, die sich auf der innern, mit dem Elektrometer verbundenen Elektrode niederschlagen, d. h. derjenigen, deren Vorzeichen der Ladung dieses Kondensatorteiles entgegengesetzt ist, gemessen werden, so sind zur Bestimmung der gesamten Ionendichte 2 Messungen nötig. Wegen der elektrischen Polarisation der isolierenden Elektrometerstopfen ist zwischen denselben eine Pause von einigen Minuten zu machen.

**6. Messung der Ionengeschwindigkeit und der Leitfähigkeit.** H. Mache[1]) hat ein Verfahren angegeben, welches erlaubt, auch die Geschwindigkeit, welche die Ionen in einem elektrischen Felde erlangen, zu bestimmen. Man schaltet zu diesem Zweck einem Ebertschen Aspirationsapparat einen zweiten Kondensator vor, in dem mittels einer kleinen Hilfsbatterie (bei dem Ebertschen Apparat genügen 15—20 Volt) ein Feld von konstanter Stärke erzeugt wird, dessen Intensität so bemessen wird, daß nicht alle Ionen dem durchpassierenden Gas entzogen werden. Mißt man zunächst mit dem Ebertschen Apparat die Dichte der Ionen eines Vorzeichens in der gewöhnlichen Weise, sodann unter Vorschaltung des Hilfskondensators, so gibt, unter der allerdings selten streng zutreffenden Voraussetzung, daß die Ionendichte während der Messung konstant blieb, die Differenz der beiden Ablesungen die Menge der auf der inneren Elektrode des Hilfskondensators niedergeschlagenen Ionen.

Es ist dann $v = \frac{M \cdot lg \frac{R}{r}}{2\pi \cdot l \cdot P}$.

Hier bedeutet $M$ die vom Aspirator in der Sekunde geförderte Luftmenge, ausgedrückt in ccm, $R$ den äußeren, $r$ den inneren Radius, $l$ die Länge des Hilfskondensators. $P$ ist gleich $= d\,V \frac{V_1}{V_1 - V_2}$, wo $dV$ die elektromotorische Kraft der an den Hilfskondensator gelegten Batterie, $V_1$ den Voltverlust im Elektrometer ohne, $V_2$ dieselbe Größe bei Vorschaltung des Hilfskondensators bedeutet.

Bezeichnen $n_+$ und $n_-$ die spezifische Ionendichte, $v_+$ und $v_-$ die spezifische Ionengeschwindigkeit und $\varepsilon$ die Ionenladung, so erhält man die Leitfähigkeit der Atmosphäre $\lambda = \varepsilon\,(n_+ v_+ + n_- v_-)$. Man kann auch nach einem Vorschlag Gerdiens[2]) mit einem Kondensator auskommen, wenn man bei der ersten Messung die Feld-

1) H. Mache, Phys. Zt. **4**, 717, 1903.
2) H. Gerdien, Phys. Zt. **4**, 632, 1903.

stärke so wählt, daß alle, bei der zweiten so, daß nur ein Teil der durchpassierenden Ionen auf der inneren Elektrode niedergeschlagen werden. Das Elektrometer muß dann sowohl für die Messung hoher als auch niederer Spannungen geeignet sein.

Da die Ionendichte selten für längere Zeit konstant ist, so werden die Messungen genauer und auch weniger zeitraubend, wenn man nach dem Vorschlag Gerdiens[1]) gleichzeitig die Menge der auf dem Vorschaltkondensator und dem Hauptkondensator abgefangenen Ionen mißt. Man bedarf dann zweier Elektrometer, mit dem einen werden höhere (zirka 200 Volt), mit dem andern niedere (zirka 20 Volt) Spannung gemessen, die gesamte Ionendichte ergibt sich bei diesem Verfahren aus der Summe der auf den beiden Elektroden niedergeschlagenen Ionen. Um auch das Elster- und Geitelsche Elektrometer für die Messung niederer Spannungen verwenden zu können, hat Gerdien dem Apparat einen Kondensator von variabler Kapazität beigegeben, der erlaubt, während der 2. Messung die Kapazität des Gesamtsystems zu erhöhen. Man liest zunächst das Elektrometer ab, erniedrigt dann durch Erhöhung der Kapazität das Potential, und erhöht dasselbe wieder nach Durchpassieren des Luftstromes zum Zweck der Elektrometerablesung. Die Verwendung der Gerdien bei der Konstruktion seines Apparates noch nicht bekannten Saitenelektrometer dürfte aber weitaus praktischer sein.

Wenn dem Luftstrom, wie es in dem Macheschen Vorschaltkondensator der Fall ist, nur ein Teil seiner Ionen entzogen wird, so ergibt die Beobachtung der auf der inneren Elektrode niedergeschlagenen Ionenmenge ein Maß für die Leitfähigkeit des durchpassierenden Gases. Es ist nämlich:

$$\varepsilon\, v_p\, n_p = \frac{1}{t} lg \frac{V_1}{V_2} \times \frac{C}{\pi \cdot 300} \cdot \frac{lg \frac{R}{r}}{2\,l} .$$

Hier bedeuten $V_1$ und $V_2$ die am Anfang und am Ende des Versuches in dem mit der inneren Kondensatorelektrode verbundenen Elektrometer abgelesenen Voltzahlen, $C$ die Kapazität des Systems Kondensator + Elektrometer, $R$ den Radius des äußeren, $r$ den des inneren Zylinders, $t$ die Zeit während welcher das Gas passiert hat. Der Faktor $\frac{2\,lg \frac{R}{r}}{l}$ ist gleich $\frac{1}{C_1}$, wenn $C_1$ die Kapazität des Kon-

1) H. Gerdien, Götting. Nachr. 1903, 382 u. 1904, 277.

densators allein bedeutet. Die Leitfähigkeit ergibt sich aus der Summe zweier Messungen, mit positiver resp. negativer Ladung des inneren Kondensatorzylinders. Man sieht, in die Formel geht die schwer zu bestimmende Fördermenge resp. die Luftgeschwindigkeit nicht ein. Vorausgesetzt ist nur, daß die letztere so groß ist, daß nicht alle Ionen auf dem Kondensator niedergeschlagen werden. Dieses ist der Fall, wenn die Geschwindigkeit $G > \frac{v\,d\,V\,l}{lg\frac{R}{r}(R^2 - r^2)}$ ist, wo $dV$ die Maximalspannung der inneren Elektrode und $v$ die maximale spezifische Geschwindigkeit der abzufangenden Ionen

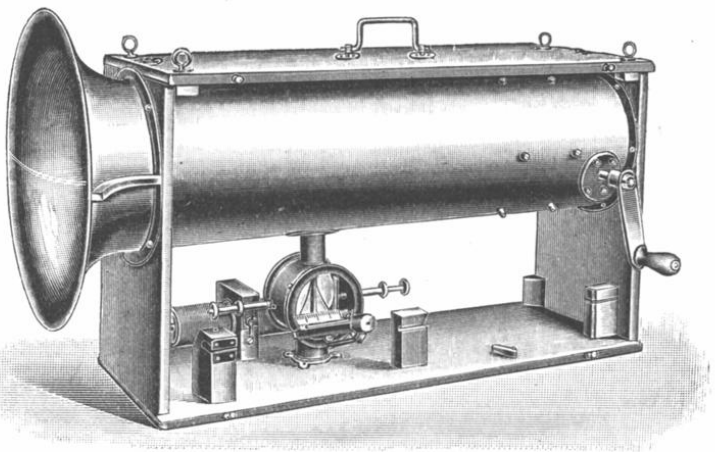


Fig. 5.

bedeutet. Gegenüber der Mache-Ebertschen Anordnung hat diese von Gerdien[1]) vorgeschlagene Methode der Leitfähigkeitsmessung den Vorteil, daß die Messung des Anteils einer Ionenart an der Leitfähigkeit der Atmosphäre in einer einzigen Messung von nur 5 Minuten Dauer erledigt wird, gegenüber der Gerdienschen mit zwei Elektrometern, auch noch den Vorteil der einfacheren Konstruktion. Der Antrieb des Aspirators erfolgt von der Hand, Konstanz der Luftgeschwindigkeit ist nicht nötig, nur darf letztere nicht unter die oben angegebene Grenze sinken. Damit in möglichst kurzer Zeit ohne ermüdenden Kraftaufwand ein Luftquantum durchgesaugt werden kann, das groß genug ist, eine gut meßbare Erniedrigung des Potentials am Elektrometer hervorzurufen, hat

1) H. Gerdien, Götting. Nachr. 1905, 240. Terr. Magn. **10**, 65, 1905.

Gerdien dem Apparat einen verhältnismäßig großen Querschnitt gegeben. Der Durchmesser des äußeren Rohres beträgt 16 cm, die Länge 56 cm, der Durchmesser des inneren 1,44 cm, die Länge 24 cm (Fig 5). Damit ist aber die bei Ableitung der obigen Formel gemachte Voraussetzung, daß die Länge des Kondensators groß ist gegenüber dem Radius der Elektrode nicht streng erfüllt.

Ferner fällt eine Fehlerquelle hier bedeutend ins Gewicht, die allerdings auch bei den anderen Apparaten in geringerem Maße vorhanden ist. Die Luft enthält nämlich, wie wir im Kapitel 5 des näheren sehen werden, positiv geladene radioaktive Induktionen. Deren Beweglichkeit ist von derselben Größenordnung wie die der Ionen. Diese Körper werden sich also den Kraftlinien des elektrischen Feldes folgend in einem Aspirationsapparat bei negativer Ladung der Innenelektrode auf dieser, bei positiver auf der inneren Oberfläche des äußeren Rohres niederschlagen. Infolge der von ihnen ausgehenden Strahlung bewirken sie eine Erhöhung der Ionisation im Rohre, und zwar beträgt dieselbe bei dem Ebertschen Apparat etwa 5 Proz., bei dem Gerdienschen etwas mehr[1]). Da dieser Betrag, um den die gefundenen Ionenzahlen gegenüber den in der Luft vor Eintritt in den Kondensator vorhandenen zu hoch ausfallen, annähernd in Rechnung gezogen werden kann, die Messungen auch ohnedies nur auf einige Prozente genau sind, so würde der Fehler an und für sich nicht allzu schwer in das Gewicht fallen. Während aber bei den Ionenzählern nach Ebert der aktive Niederschlag annähernd dieselbe Wirkung ausübt, wenn er sich auf der innern, wie wenn er sich auf der äußeren Elektrode niederschlägt, ist dieses bei dem Gerdienschen Leitfähigkeitsapparat nicht mehr der Fall. Die Flächendichte der aktiven Produkte ist, wenn sie sich auf der äußeren Elektrode absetzen, wegen der bedeutend größeren Oberfläche derselben viel geringer, als wenn der Niederschlag auf der inneren Elektrode erfolgt. Da ferner auch der Radius des Rohres größer ist, als die Reichweite der hier vorzugsweise in Betracht kommenden $\alpha$-Strahlen, so wird nur bei negativer Ladung des Innenrohres eine meßbare Erhöhung der gefundenen Ionenzahlen bewirkt, d. h. die gefundene Dichte der positiven Ionen ist nicht nur absolut, sondern auch im Verhält-

1) K. Kurz, Die Beeinflussung der Ergebnisse luftelektrischer Messungen durch die radioaktiven Stoffe der Atmosphäre. Inaugural-Dissert. Gießen 1907. Ann. d. Phys. **24**, 890, 1907; Phys. Zt. **7**, 771 u. **9**, 177 u. 218, 1908; K. W. F. Kohlrausch, Phys. Zt. **8**, 656, 1907.

nis zu derjenigen der negativen um 5—10 Proz. zu hoch, der Apparat täuscht eine Unipolarität der Leitfähigkeit vor.

Bei dem Zerstreuungsapparat ist die zwar meistenteils einseitige Beeinflussung der Zerstreuung durch die radioaktiven Induktionen ebenfalls vorhanden. Wegen der eigentümlichen bei diesem Apparat vorhandenen Verhältnisse entzieht sie sich einer quantitativen Prüfung, es scheint aber nach Kurz, daß sie meistenteils vernachlässigt werden kann. Allgemein kann man sagen, daß eine Beeinflussung der zur Leitfähigkeitsmessung dienenden Apparate um so geringer ist, je mehr dieselben mit freiem Strom arbeiten. Sie würde sich bei der besprochenen Scheringschen Anordnung auf $^1/_4$ Proz. reduzieren.

Aus dem oben über die Bestimmung der spezifischen Ionengeschwindigkeit Gesagten geht hervor, daß die Erhöhung der Ionenzahlen im Hauptkondensator des Ebertschen und Gerdienschen Kondensators die Geschwindigkeiten um denselben Betrag zu niedrig erscheinen lassen.

Lüdeling und Sprung[1]) haben eine Anordnung angegeben, nach welcher das später S. 83 eingehender zu besprechende Benndorfsche Elektrometer zur Registrierung der Zerstreuung verwendet wird. Die Konstruktion scheint sich in der Praxis luftelektrischer Messungen bis jetzt nicht eingebürgert zu haben. Praktischer dürfte eine Verwendung eines Saitenelektrometers sein, Dimensionen und Potential des Zerstreuungskörpers sind so zu wählen, daß stets freier Strom vorhanden ist.

Die Sprungsche Anordnung ist so getroffen, daß der Zerstreuungskörper von Zeit zu Zeit automatisch aufgeladen wird. Die Größe der Zerstreuung ist aus den Aufzeichnungen des Apparates erst zu berechnen. Einen im Prinzip außerordentlich einfachen Apparat, der eine automatische Aufladung durch ein Uhrwerk unnötig macht und erlaubt, die Stärke der jeweils vorhandenen Ionendichte direkt von dem Registrierstreifen abzulesen, hat Nordmann[2]) konstruiert. Das äußere Rohr des Zylinderkonden-

1) A. Sprung, Phys. Zt. **5**, 328, 1904; G. Lüdeling, ebenda **5**, 447, 1904.

2) Ch. Nordmann, Journ. de phys. **4**, 258, 1905; C. R. **138**, 1418, 1596, 1904 u. **140**, 430, 1905.

Anmerkung. Siehe auch die während des Druckes dieses Werkes erschienene Beschreibung eines Registrierapparates von Schering. Göttinger Nachr. 1908, 201.

sators wird durch eine Batterie auf konstantem Potential gehalten, das innere ist mit einem registrierenden Elektrometer verbunden. Wird von einem Aspirator ionisierte Luft durch den Kondensator gesaugt, so ladet sich die innere Elektrode mit dem Elektrometer auf. Leitend mit diesem verbunden ist ein Gefäß, aus dem Wasser abtropft. Es wird also ständig Elektrizität weggeschafft, und der Ausschlag des Elektrometers bleibt innerhalb des Meßbereiches. Es ist $CdV = Qdt = nrdt$, wo $C$ die Kapazität des Systems, $dV$ die Zunahme des Elektrometerpotentials, $Q$ die von den Ionen übertragene Ladung, $n$ die Tropfenzahl per Sekunde (4 bei Nordmann) und $r$ den Radius (2 mm) der Tropfen bedeutet. Für die Zeiteinheit wird $V = \frac{Q}{nr}$, d. h. der Ausschlag ist der Anzahl der in der Zeiteinheit den Kondensator passierenden Ionen proportional. Kontrolliert zu werden braucht also nur die Geschwindigkeit des Aspirators und die Empfindlichkeit des Elektrometers. Selbstverständlich kann ein Apparat, wenn man nicht von Zeit zu Zeit das äußere Rohr des Kondensators umladen will, nur die Ionen eines Vorzeichens registrieren. Zur Bestimmung der gesamten Zahl der Ionen wären also 2 Apparate nötig. Der Nordmannsche Apparat würde allen Anforderungen genügen, wenn es gelänge, die Tropfenbildung konstant zu erhalten. Nach den Erfahrungen von Ebert[1]) ist dieses auch bei Verwendung einer Mariotteschen Flasche nicht der Fall. Vorzuziehen wäre dem Tropfkollektor ein aus einem großen Widerstand (Bronson-Widerstand) bestehender Nebenschluß.

In vollkommenerer, aber auch weit komplizierterer Weise haben Langevin und Moulin[2]) die Aufgabe der Ionenregistrierung gelöst. Der Luftstrom wird durch eine von einem Elektromotor angetriebene Gasuhr erzeugt. Das äußere Kondensatorrohr wird wie bei Nordmann auf einem hohen konstanten Potential gehalten, die innere Elektrode ist mit dem Elektrometer verbunden. Nach einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen, d. h. wenn ein bestimmtes Luftvolumen den Apparat passiert hat, schließt die Gasuhr einen elektrischen Strom, der mit Hilfe eines eingeschalteten Elektromagneten nun folgende Funktionen verrichtet:

1. Das Elektrometer wird mit der Erde verbunden und zwar bleibt es zur Feststellung der Ruhelage 30—45 Sekunden in dieser Verbindung.

1) H. Ebert, Zt. f. Instrkde. 1905, Juli.

2) P. Langevin u. M. Moulin, C. R. **140**, 305, 1905; Soc. fr. de phys. 1907, 264.

2. Der Außenzylinder wird mit dem anderen Pol der Batterie verbunden.

3. Die Erdung des mit dem Innenzylinder verbundenen Elektrometers wird aufgehoben, und dieses registriert nun wieder die auf dem Innenzylinder sich ansammelnden Ionen. Nach Passieren der gewünschten Luftmenge beginnt das Spiel von neuem.

**7. Langsame Ionen.** Die Mache- und die Gerdiensche Methode der Beweglichkeitsbestimmung liefert nur die mittlere spezifische Geschwindigkeit der vorhandenen Ionen. Auch ohne eingehende mathematische Behandlung ist ersichtlich, daß die beweglicheren Ionen sich im Kondensator in der Nähe der Eintrittsstelle der Luft niederschlagen werden, weil sie unter dem Einfluß des Feldes die größte Geschwindigkeit erlangen. Wäre es möglich, die auf den einzelnen Teilen des inneren Kondensators sich niederschlagenden Ladungen gesondert zu bestimmen, so ließen sich die Geschwindigkeiten der einzelnen Ionenarten gesondert bestimmen. Gerdien hat eine auf diesem Prinzip beruhende Methode angewandt, um die Beweglichkeiten der in der Atmosphäre enthaltenen Zerfallsprodukte der Radium- und Thoriumemanation zu bestimmen (siehe Kap. 5). Auf eine etwas andere Weise kann man aber wenigstens zu Grenzwerten der spezifischen Geschwindigkeiten kommen. Wie oben erwähnt, werden in einem Aspirator nicht alle Ionen abgefangen, wenn die Geschwindigkeit des Luftstromes

$$G > \frac{v\,d\,V\,2\,l}{lg\,\frac{R}{r}\,(R^2 - r^2)}$$

ist. Setzt man für $G$ den Wert $\frac{U}{\pi\,(R^2 - r^2)}$, wo $U$ die in der Sekunde geförderte Luftmenge ausgedrückt in ccm bedeutet, und für $\frac{1}{2}\,\frac{l}{lg\,\frac{R}{r}}$ die Kapazität $C$, so sieht man, daß eine Kurve, deren Abszissen den Werten $\frac{C\,d\,V}{U}$ und deren Ordinaten den beim Passieren einer bestimmten Luftmenge erhaltenen Elektrometerausschlägen proportional sind, einen Knickpunkt aufweisen muß, wenn

$$\frac{1}{v} = \frac{4\,\pi\,C\,d\,V}{U}$$

wird.

Auf diese Weise fand Langevin[1]), daß in der Luft 2 Arten

1) M. P. Langevin, C. R. **140**, 232, 1905.

von Ionen existieren, solche, deren spezifische Geschwindigkeit ungefähr 1 cm ist, und solche, bei denen dieser Wert ungefähr 3000 mal kleiner ist. Die spezifische Geschwindigkeit der letzteren ist also derjenigen gleich, welche nach Untersuchungen von Bloch und Townsend die in der Phosphorluft und in frischen hergestellten Gasen vorhandenen Ionen besitzen. Diese langsamen Ionen (Molionen[1]) sind offenbar nichts weiter als geladene Staubteilchen oder Wassertröpfchen. Die Vermutung, daß solche in der Atmosphäre vorhanden sein müßten, hatte schon vorher Schuster ausgesprochen. Der Durchmesser solcher Molionen zählt nach Hundertsteln von Mikronen. Es sind also Komplexe von vielleicht Millionen von Molekülen, während die gewöhnlichen „kleinen" Ionen von der Größenordnung eines Moleküls sind.

Es geht aus den Langevinschen Kurven und aus den mit den Mache- und Gerdienschen Apparaten erhaltenen Zahlen hervor, daß zwischen den kleinen und schweren Ionen eine scharfe Grenze besteht und keine Ionen existieren, deren spezifische Geschwindigkeit zwischen 0,2 und 0,0003 cm liegt[2]). Aspirationsapparate, die wie der Ebertsche so dimensioniert sind, daß sie alle Ionen, deren Geschwindigkeit über 0,2 cm beträgt, abfangen, liefern die gesamte, an Ionen dieser Art gebundene Elektrizitätsmenge. Der oben beschriebene Langevinsche Registrierapparat erlaubt auch, wenn man einen Luftstrom von geringer Geschwindigkeit und einen Kondensator von großer Kapazität verwendet, — Langevin benutzt hierzu auf dem Eiffelturm einfach den Wind und überträgt das Schließen des elektrischen Stromes einem eingeschalteten Anemometer, — die in einem bestimmten Luftquantum vorhandene an Molionen gebundene Elektrizitätsmenge zu messen.

Die Zahl der in der Volumeneinheit vorhandenen Molionen ist nach Langevin 50 mal größer als die der kleinen Ionen[3]); da aber ihre spezifische Geschwindigkeit 3000 mal kleiner ist, so beträgt ihr Anteil an der Leitfähigkeit der Atmosphäre nur $50 \cdot 1/3000 = 1/60$ desjenigen der kleinen Ionen. Sie sind also für den atmosphärischen elektrischen Leitungsstrom nur von untergeordneter Bedeutung;

1) Analog der von Langevin gebrauchten Bezeichnung „gros ions" könnte man im Deutschen auch den Ausdruck „schwere Ionen" verwenden.

2) Anders beim Fall von Niederschlägen, siehe Aselmann, Ann. d. Phys. **19**, 960, 1906.

3) Nach neueren Mitteilungen von Ebert (Münch. Ber. **37**, Heft 3, 1907) bedeutend geringer.

bei Betrachtungen aber, die sich mit der Natur der ionisierenden Agentien beschäftigen, spielen die Molionen die Hauptrolle, da sie ungefähr 98 Proz. der Gesamtionisation ausmachen. Ihre Existenz erklärt das Verschwinden der leicht beweglichen Ionen, denn es steht außer Zweifel, daß die Neutralisierung derselben zum großen Teil in der Weise vor sich geht, daß sich dieselben zunächst an Staub- und Wasserteilchen anlagern. Ferner dienen die Molionen, und das ist ihre meteorologisch wichtigste Rolle, wohl in erster Linie als Kondensationskerne, zum mindesten bei der Entstehung der Stratuswolken, Bodennebel und der niederen Cumuluswolken, vielleicht aber auch der höheren Wolken.

**8. Leitfähigkeit der Atmosphäre an verschiedenen Orten.** Der Einfachheit und Handlichkeit des Zerstreuungsapparates ist es zu danken, daß wir eine schon ziemlich ansehnliche Menge Zerstreuungsmessungen aus den verschiedensten Gegenden besitzen, dagegen liegen Messungen der Ionendichte und Beweglichkeit, sowie auch mit dem Gerdienschen Apparate ausgeführte Leitfähigkeitsmessungen nur in geringer Zahl vor. Ich bin deshalb bei den nachfolgenden Diskussionen über die Leitfähigkeit der Atmosphäre gezwungen, öfters die Zerstreuungskoeffizienten $a_+$ $a_-$ als annäherndes Maß der Leitfähigkeit zu betrachten. Es sollen ferner die Mengen der in einem Kubikmeter Luft enthaltenen, an kleine Ionen gebundenen Elektrizitätsmengen, ausgedrückt in elektrostatischen Einheiten mit $I_+$ resp. $I_-$, die spezifischen Geschwindigkeiten mit $v_+$ und $v_-$ bezeichnet werden, durch Division der für $I_+$ $I_-$ angegebenen Zahlen mit der spezifischen Ionenladung $3{,}4 \times 10^{-10}$ E.S.E. erhält man die Zahl der in einem Kubikmeter Luft vorhandenen kleinen, leicht beweglichen Ionen. Es darf nicht übersehen werden, daß die Zerstreuung positiver Ladung durch die negativen Ionen erfolgt, daß also der Zerstreuungskoeffizient $a_+$ proportional ist dem Produkt $I_- v_-$. Das Verhältnis $\frac{a_-}{a_+}$ pflegt man nach dem Vorgang Elsters und Geitels mit $q$ zu bezeichnen, entsprechend will ich das Verhältnis $\frac{I_+}{I_-}$ mit $Q$ bezeichnen[1]).

Da die Leitfähigkeit eine stark ausgeprägte tägliche und jähr-

1) Es wäre sehr zu wünschen, daß bezüglich der Bezeichnung des Ionengehaltes der Luft eine Einigung eintritt, wie dies auch bezüglich anderer physikalischer Größen geschehen ist. Augenblicklich gebraucht jeder Beobachter andere Zeichen.

liche Periode besitzt, so können zur Beurteilung klimatischer Verschiedenheiten nur ausgedehntere Beobachtungsreihen herangezogen werden, solche liegen allerdings fast nur aus unseren Breiten vor. Immerhin reicht auch das vorhandene Material zu einer Reihe von Feststellungen aus. Schon die ersten Versuche Elsters und Geitels zeigten, daß nicht nur auf Bergspitzen, sondern auch in Hochtälern die Zerstreuungsgeschwindigkeit im allgemeinen eine größere ist als in der norddeutschen Tiefebene. Im allgemeinen ergeben die Elster- und Geitelschen Messungen, sowie die Zerstreuungsmessungen anderer Beobachter stets $a_- > a_+$, auch Ionenzählungen mit dem Ebertschen Apparat $I_+ > I_-$. Dieses Überwiegen positiver Ionen ist besonders stark ausgeprägt in dem starken Erdfeld der Bergspitzen. Dagegen hat K. Kurz zunächst durch Messungen in geschlossenen Räumen festgestellt, daß der Anteil der positiven Ionen an der Leitfähigkeit gleich dem der negativen ist, daß also

$$\varepsilon\, n_+\, v_+ = \varepsilon\, n_-\, v_- \text{ und daher } \frac{n_+}{n_-} = \frac{I_+}{I_-} = \frac{v_-}{v_+} \text{ ist.}$$

Da im allgemeinen die Beweglichkeit der negativen Ionen größer ist als die der positiven, nach meinen Beobachtungen $\frac{v_-}{v_+}$ im Mittel 1,13 ist, so muß umgekehrt auch $n_-$ kleiner sein als $n_+$. Die getrennten Messungen der Ionenzahlen und der Beweglichkeit bestätigen denn auch, daß wenigstens im Durchschnitt aus vielen Beobachtungen die von Kurz geforderte Beziehung vorhanden ist. Im einzelnen ist die Prüfung in der freien Atmosphäre durch den Umstand erschwert, daß während der 1—2 Stunden in Anspruch nehmenden Messung der spezifischen Dichten und Geschwindigkeiten der beiden Ionenarten erhebliche Änderungen in der Ionenführung der Atmosphäre vorgehen können. Messungen, die ich mit einem Zerstreuungsapparat ohne Schutzzylinder in einem gegen die Wirkungen des Erdfeldes geschützten Ort (Gartenhaus) vornahm, wobei ein 38 cm langer und 0,5 cm starker, auf das Wulfsche Elektrometer aufgesetzter Draht als Zerstreuungskörper diente, bestätigten die Behauptung von Kurz, daß $a_+$ und $a_-$ in der Regel unter solchen Umständen gleich sind. Im einzelnen aber bedingen der Einfluß der Bodengestaltung und meteorologische Faktoren, wie unten auseinander gesetzt wird, daß $\frac{I_+}{I_-}$ durchaus nicht immer gleich $\frac{v_-}{v_+}$ ist, es kann daher auch $a_+$ nicht gleich $a_-$ sein, wobei auch noch zu berücksichtigen ist, was oben über die Fehlerquellen des

Zerstreuungs- und des Gerdienschen Leitfähigkeitapparates gesagt wurde.

Die Art der Aufstellung, ob gegen den Wind geschützt, oder nicht, spielt wenigstens bei den Zerstreuungsmessungen eine große Rolle; auch Ionenzähler, die in Entfernungen von nicht mehr als 10 m voneinander aufgestellt sind, können verschiedene Ergebnisse liefern, ohne daß ein systematischer Unterschied in den Angaben der beiden Apparate zutage träte. Der Einfluß der Örtlichkeit kann sich mit den meteorologischen Faktoren ändern. So fand Bergwitz[1]) die Zerstreuung innerhalb eines Waldes kleiner als am Saum desselben, wenn der Wind gegen den Wald gerichtet war, offenbar infolge der geringeren Windgeschwindigkeit und der Absorption der Ionen in den Blättern, dagegen war bei windstillem Wetter wenigstens $a_+$ innerhalb des Waldes größer als außerhalb, wahrscheinlich deshalb, weil sich nun radioaktive Bodenluft in dem Walde ansammeln konnte.

Lokale Einflüsse machen sich allgemein dort geltend, wo radioaktive oder ionisierte Gase dem Boden entströmen, so in der Nähe von Vulkankratern. Auch hier hängt die Wirkung an einer bestimmten Örtlichkeit natürlich stark von der Windrichtung ab.

Außerordentlich hohe Zerstreuungswerte erhielt I. Königsberger[2]) im Grand Cañon in Arizona. Die Ursache dürfte in dem Ausströmen größerer Mengen radioaktiver Bodenluft und der Trockenheit jener Gegenden zu suchen sein, welche die Beweglichkeit der Ionen erhöht. Auch in Schluchten und engen Tälern der Alpen beobachtet man häufig, sei es infolge der Ansammlung von Bodenluft, sei es infolge der noch zu besprechenden Föhnwirkung, höhere Ionisationswerte. So wurde z. B. in dem Hochtal der Jachenau (nördliche Kalkalpen) im August gefunden: $I_+ = 0{,}608$, $I_- = 0{,}281$, $Q = 2{,}16$, während gleichzeitig in München beobachtet wurde: $I_+ = 0{,}528$, $I_- = 0{,}425$, $Q = 1{,}24$[3]).

Schon die ersten Messungen Elsters und Geitels ließen eine beträchtliche Zunahme der Zerstreuungsgeschwindigkeit auf Bergspitzen erkennen. Alle Beobachter stimmen darin überein, daß durch die Wirkung des Erdfeldes eine beträchtliche Erhöhung der Zahl der positiven Ionen in der Nähe des Berges stattfindet,

1) K. Bergwitz, Phys. Zt. **7**, 696, 1906.
2) I. Königsberger, Phys. Zt. **8**, 33, 1907.
3) H. Ebert, Phys. Zt. **6**, 641, 1905.

dagegen beobachteten Brunhes und Baldit[1]) am Puy de Dôme und Conrad[2]) auf dem Säntis eine Erniedrigung der Zahl der negativen Ionen, während Knoche[3]) auf dem Pic de Teneriffa und Gockel[4]) auf dem Brienzer Rothorn fanden, daß die Zahl der negativen Ionen auf dem Berg zum mindesten dieselbe wie in der Ebene, zeitweise aber auch eine bedeutend höhere ist. Auf dem Rothorn schwankte $I_+$ im Sommer zwischen 0,5 und 0,8 E. S. E. $I_-$ zwischen 0,4 und 0,5, auf dem Säntis dagegen $I_+$ zwischen 0,35 und 0,44, $I_-$ zwischen 0,06 und 0,15.

Der mittlere Wert $\frac{I_+ + I_-}{2}$ ist auf dem Säntis $= 0{,}283$, am Fuß des Berges in Wasserau $= 0{,}286$. Auf dem Brienzer Rothorn fand ich im August bei Berücksichtigung aller Messungen $\frac{I_+ + I_-}{2}$ $= 0{,}390$ gegen 0,330 in Freiburg. Bleiben jedoch die Stunden, während welcher Nebel und Wolken den Berg umgaben unberücksichtigt, so ergibt sich $I_+$ zu 0,626, $I_-$ zu 0,410, $\frac{I_+ + I_-}{2} = 0{,}518$. Daß die Zerstreuungskoeffizienten auf Bergen verhältnismäßig noch höher sind als die Ionenzahlen, erklärt sich durch die größere Windstärke und den Umstand, daß auch die Ionenbeweglichkeit, die ja unter sonst gleichen Umständen dem Luftdruck umgekehrt proportional ist, auf Bergen höher ist als in der Ebene. Der Wert von $q$ resp. $Q$ kann in der Nähe einer Bergspitze bis auf 8 steigen. Wird der Apparat indessen so aufgestellt, daß er der Wirkung des Erdfeldes zum Teil entzogen ist (Veranda, überhängende Felsen, Schluchten), so beobachtet man Werte von $q$, die den normalen ziemlich nahe kommen.

Auch auf Hochebenen findet man in der Regel höhere Werte der Ionisation. Es scheint noch zweifelhaft, ob dieses auf Rechnung der hohen Lage an und für sich oder auf die der größeren Trockenheit solcher Gegenden zu setzen ist.

In der algierischen Sahara fand der Verfasser im Sommer Zerstreuungswerte, die fast doppelt so hoch waren als die in Freiburg (Schweiz) beobachteten, dagegen übersteigen die in Spanien in der Nähe von Castellaplana im August erhaltenen Werte $I_+ =$

1) B. Brunhes, Ann. soc. met. de France **54**, 147, 1906; Brunhes und Baldit, Phys. Zt. **6**, 715, 1905.

2) V. Conrad, Wien. Ber. **115**, 1055, 1906.

3) Knoche, Phys. Zt. **6**, 2, 1905.

4) A. Gockel, Meteor. Zt. **25**, 9, 1908.

0,504, $I_- = 0{,}474$ nur wenig die zu derselben Zeit in Freiburg (Schweiz) beobachteten. Diese letzteren stimmen der Größenordnung nach gut überein mit den in Göttingen (Gerdien) und Mattsee bei Salzburg (v. Schweidler) gefundenen. In Karasjok (Lappland) fand Simpson[1]) im Sommer $I_+ = 0{,}44$, $I_- = 0{,}38$; im Winter $I_+ = 0{,}32$, $I_- = 0{,}26$.

Der Gehalt der Seeluft an leicht beweglichen Ionen ist durchweg kleiner als der der Atmosphäre über dem Festlande. Gegenüber einem Wert von etwa 0,5 E. S. E. im Binnenland fand Lüdeling im Sommer im Mittel auf Helgoland

| | $I_+$ | $I_-$ | $Q$ |
|---|---|---|---|
| Lüdeling[2]), Helgoland | | | |
| Oberland . . . . . | 0,25 | 0,13 | 1,99 |
| Düne . . . . . | 0,13 | 0,07 | 1,86 |
| Boltzmann[3]) auf dem atlantischen Ozean . . . . . | 0,39 | 0,27 | 1,53 |
| Linke[4]) auf dem großen Ozean . | 0,13—0,27 | 0,09—0,31 | |
| Eve[5]) auf dem atlantischen Ozean | 0,33 | 0,26 | 1,24 |
| Ebert[6]), Mittelmeer . . . . . | 0,193 | 0,181 | 1,06. |

Die letzteren Zahlen lassen die Erniedrigung der Ionenzahlen auf dem Meere besonders scharf hervortreten, da sie gefunden wurden wenige Tage vor und nach Beobachtungen auf der Insel Mallorca, die ergeben hatten $I_+ = 0{,}396$, $I_- = 0{,}409$, $Q = 0{,}96$. Auch diese Werte sind noch niedriger als die gleichzeitig von dem Verfasser auf dem spanischen Festlande gemessenen Werte, die zwischen 0,40 und 0,45 schwankten. Verhältnismäßig hohe Werte fand dagegen Pacini[7]) im Ligurischen Meerbusen im Monat Juli. Er beobachtete an Bord eines Torpedozerstörers, der Apparat war am Vorderteil des Schiffes aufgestellt. Bei ruhiger See wurden, während die Maschine des Schiffes nicht arbeitete, gefunden $I_+ = 0{,}431$, $I_- = 0{,}282$ $Q = 1{,}52$. Ebenfalls bei heiterem Himmel, aber

1) C. G. Simpson, Phil. Trans. Ser. A. Vol. **205**, 61, 1905.

2) G. Lüdeling, Luftelektrische und Staubmessungen auf Helgoland. Sonderabdruck aus: Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen in Potsdam im Jahre 1901. Berlin 1904.

3) A. Boltzmann, Phys. Zt. **6**, 132, 1905.

4) F. Linke, Götting. Nachr. 1906, 490.

5) A. S. Eve, Phys. Zt. **8**, 246. 1907; Phil. Mag. **13**, 248, 1907.

6) H. Ebert, Phys. Zt. **6**, 641, 1905.

Sämtliche erwähnten Beobachtungen wurden im Sommer angestellt.

7) D. Pacini, Nuovo Cim. **15**, 5, 1908.

starkem Spritzwasser am Vorderteil des Schiffes ergaben sich 2 Tage später $I_+ = 0{,}232$, $I_- = 0{,}108$, $Q = 2{,}14$. Ebenso erhielt Burbank[1]) im Juli auf dem atlantischen Ozean mit dem Gerdienschen Apparat Werte der Leitfähigkeit, die zwischen $1 \times 10^{-4}$ u. $2 \times 10^{-4}$ schwankten, während in Göttingen und in Cheltenham, Maryland, Werte zwischen 1 u. $1{,}5 \times 10^{-4}$ beobachtet wurden. Im Nebel ging sowohl $\lambda_+$ als auch $\lambda_-$ auf 0,2 bis auf $0{,}1 \times 10^{-4}$ herunter. Bemerkenswert ist die hohe Unipolarität der Ionenführung, die sämtliche Beobachter mit Ausnahme von Ebert, der nur an wenigen Tagen messen konnte, festgestellt haben. Da dieselbe mit der Stärke des Seeganges zunimmt, so rührt sie offenbar von der Verminderung der Zahl der negativen Ionen durch Adsorption an verspritzenden Wasserteilchen oder in der Luft zurückbleibenden Salzteilchen her.

Die Zerstreuungsmessungen[2]) ergeben zwar an der Seeküste und auf offener See teilweise höhere Werte als im Binnenlande, doch dürften dieselben in der Hauptsache auf Rechnung des an der See fast stets wehenden frischen Windes zu setzen sein, andererseits sind an der Küste, wenn auch nicht unmittelbar am Strand, auch ziemlich niedere Werte beobachtet worden, so erhielt Mazelle[3]) in Triest im Mittel $a_- = 0{,}60$, $a_+ = 0{,}55$, $q = 1{,}09$, während Elster und Geitel in Wolfenbüttel im Mittel $a_- = 1{,}35$, $a_+ = 1{,}29$, $q = 1{,}04$ fanden. Auch in Palermo und Algier beobachteten die eben genannten Forscher[4]) auffallend niedrige Werte.

An der Ostseeküste[5]) wurden wohl wegen der größeren Abgeschlossenheit dieses Meeres Werte der Zerstreuung und der Ionisation beobachtet, die ungefähr zwischen den an der Nordseeküste und dem Binnenland gefundenen liegen. Der stark unipolare Charakter der Zerstreuung und Ionisation tritt auch hier hervor.

Auffallend hohe Werte des Zerstreuungsvermögens, welche die im europäischen Binnenland gemessenen um das 4—5 fache

1) J. E. Burbank, Terr. Magn. **10**, 126, 1905.

2) I. Elster, Terr. Magn. **7**, 9, 1902; A. Loewy u. F. Müller, Phys. Zt. **5**, 290, 1904; G. Lüdeling l. c.; Knoche l. c.; I. Königsberger, Phys. Zt. **8**, 33, 1907.

3) E. Mazelle, Wien. Ber. **114**, 2a, 399, 1905.

4) Elster und Geitel, Wien. Ber. **111**, 2a, 946, 1902.

5) G. Lüdeling, Luftelektrische und Staubmessungen an der Ostsee, und Luftelektrische Messungen an der Ostmole bei Swinemünde. Separatabdruck aus: Ergebnisse usw. Berlin 1904 resp. 1905; K. Kaehler, Met. Zt. **23**, 253, 1906.

übertrafen, beobachteten und zwar jedesmal verbunden mit starker Unipolarität ($q = 1{,}3 - 3{,}5$) Elster (l. c.) auf Spitzbergen und Paulsen[1]) in Island. Ebenfalls ziemlich hohe Werte (Jahresmittel von $a_- = 2{,}94$, $a_+$ 2,91) fand Cuomo[2]) auf Capri. Dieselben sind wohl durch den starken Radiumgehalt des dortigen Bodens veranlaßt.

Die Ursache der geringeren Ionisierung über dem Meere wird im 4. Kapitel besprochen werden.

Wie aus dem Vorstehenden ersichtlich, liegen vergleichbare Angaben über die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre nur von wenigen Orten vor. Eine systematische Untersuchung wäre unter verschiedenen Gesichtspunkten erwünscht. Zunächst wäre die Aufmerksamkeit auf die Abhängigkeit der atmosphärischen Leitfähigkeit vom Boden zu richten.

Bekannt geworden sind bis jetzt nur einige Anomalien, die sich aber auf eng umgrenzte Bezirke beschränken; so fanden Chauveau in den Pyrenäen, Sokoloff[3]) im Kaukasus und der Verfasser in der Schweiz eine erhöhte Ionisierung in der Nähe von Thermalquellen, welche radioaktive Emanationen abgeben, ebenso Schenk[4]) in der Nähe eines Gradierwerkes bei Halle. Eine Beobachtung von Ebert, wonach an dem sumpfigen Nordufer des Starnberger Sees und an den Rändern einiger Sumpfseen die Zerstreuung negativer Ladung eine ungewöhnlich hohe ist, hat bis jetzt kein Seitenstück gefunden. Mit Rücksicht auf die in den letzten Jahren viel diskutierte Frage nach der Ursache der in einigen Gegenden beobachteten Zunahme der Blitzschläge wäre es auch von Interesse festzustellen, ob die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre in der Nähe großer Industriezentren eine andere ist als in rein ländlichen Bezirken. Auch ein Zusammenhang der Leitfähigkeit der Atmosphäre mit Anomalien des Erdmagnetismus kann, wie im Kapitel 5 gezeigt werden soll, erwartet werden. Schließlich käme, nachdem sich ein Zusammenhang zwischen Ionisation und Ozongehalt (siehe S. 43) ergeben hat, auch noch ein hygienisches Interesse in Frage, zumal man ja auch die Bergkrankheit durch den starken Ionengehalt gewisser Gebirgsgegenden zu erklären suchte[5]).

1) Paulsen, Congrès international d. Physique, T. III. Paris 1900.
2) E. Riecke, Ber. der K. Sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig 1904, S. 250.
3) A. Sokoloff, Chem. Zentralbl. 1904, II, 684.
4) R. Schenk, Jahrb. f. Radioakt. **2**, 19, 1905.
5) Loewy u. Müller l. c.

**9. Abhängigkeit der Leitfähigkeit von meteorologischen Elementen.** Von allen meteorologischen Faktoren dürfte der Gehalt der Atmosphäre an Staub und an kondensiertem oder in der Nähe des Kondensationspunktes befindlichem Wasser den größten Einfluß auf die Leitfähigkeit ausüben. Übereinstimmend fanden sämtliche Beobachter, daß die Leitfähigkeit abnimmt mit abnehmender Durchsichtigkeit der Luft, und daß sie im Nebel oder in Staub erfüllter Luft auf fast unmeßbar kleine Werte herabsinkt. Die Entdeckung dieses Zusammenhanges durch Elster und Geitel versetzte der alten Ansicht, daß die Leitfähigkeit der Atmosphäre auf ihren Gehalt an Staub und Wasserteilchen beruhe, den Todesstoß. Am stärksten tritt der Einfluß der Transparenz bei den extremen Werten derselben hervor.

Die abnorm hohe Durchsichtigkeit der Luft, wie sie im Alpenvorlande bei der Föhnströmung und allgemein auch auf der Rückseite von Böen auftritt, ist stets mit hohem, starker Dunstgehalt oder Nebel stets mit niedrigem Gehalt der Luft an leicht beweglichen Ionen verbunden; und umgekehrt, starke Erniedrigung von Ionen ist stets das Werk von Dunst oder Nebelschichten. Niemals sinkt in Freiburg (Schweiz) bei klarem Wetter, von der Zeit der abendlichen Taubildung abgesehen der Wert von $l_+$ im Sommer unter 0,3, der von $l_-$ unter 0,25 herab, und selbst im Winter, wo die Ionisation an und für sich geringer ist, (die Mittelwerte sind hier im Sommer $l_+ = 0{,}366$, $l_- = 0{,}307$ und im Winter $l_+$ 0,264, $l_- = 0{,}200$) sinkt bei klarer Luft $l_+$ niemals unter 0,15. Die Wirkung der Staub- und Wasserteilchen besteht darin, daß sie als Absorptionskerne für die Ionen dienen, welche dadurch teils neutralisiert oder zu schweren, mit dem Ebertschen Apparate nicht mehr nachweisbaren Molionen werden.

Während die Messungen von Ficker und Defant[1]) auf dem Patscherkofel bei Innsbruck den Zusammenhang zwischen dem mit dem Aitkenschen Staubzähler gemessenen Staubgehalt und der Leitfähigkeit der Atmosphäre sehr deutlich zeigen, tritt derselbe an anderen Orten, wie Lüdeling (l. c.) am Meer und der Verfasser in Freiburg (Schweiz) fanden, weniger scharf hervor. Zur Bildung von Wassertröpfchen im Aitkenschen Apparat können übrigens nicht nur Staubteilchen im engeren Sinne des Wortes Veranlassung geben, sondern nach Barus[2]) auch Körperchen anderer Art, die durch irgend welche mechanische, thermische, chemische oder elek-

1) Ficker u. Defant, Wien. Ber. **114**, 2a, 151, 1905.

2) C. Barus, Phil. Mag. **12**, 164, 1906; vgl. C. T. R. Wilson, Nature, **74**, 619, 1906.

trische Prozesse entstehen und von einer, die Moleküle wesentlich übertreffenden Größenordnung sind. Zu solchen Teilchen scheinen mir nach den Untersuchungen von Barkow und Pringal[1]) insbesondere auch Sauerstoff-Stickstoffverbindungen zu gehören. Die Entstehung solcher Teilchen ist nach Barus immer mit Ionisierung verknüpft, die elektrischen Ladungen aber sind vergänglich, sie verschwinden offenbar durch Neutralisation, während die Kerne (nuclei) bis zum Eintritt von Kondensation beständig bleiben. Das Gleichgewicht zwischen leichten und den für die Leitfähigkeit nicht in Betracht kommenden, schweren (Langevin) Ionen wird offenbar in komplizierter Weise durch die Anwesenheit solcher Kerne beeinflußt. Es scheint, daß solche Partikelchen hauptsächlich dann Ionen absorbieren, wenn sie anfangen sich mit Wasser zu beladen; darauf deutet wenigstens der stark ausgeprägte Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und relativer Feuchtigkeit hin, der sich fast in den Resultaten aller Beobachter[2]) zeigt. Sowie die relative Feuchtigkeit auf etwa 80 Proz. gestiegen ist, tritt eine sehr auffallende Verminderung speziell der Zahl der negativen Ionen ein. Daß diese letzteren in erster Linie als Kondensationskerne für den Wasserdampf dienen, hat schon Wilson gezeigt. Mit der Zunahme der relativen Feuchtigkeit ist daher stets eine Zunahme der Unipolarität verbunden. Eigene Beobachtungen[3]) zeigten mir, daß über Nebel oder über den am Boden sich bildenden Dunst- und Tauschichten eine starke Verminderung der Ionenzahlen auch dann eintreten kann, wenn die Temperatur der Luft an dem Beobachtungsplatz noch weit vom Sättigungspunkt entfernt ist. Dieselbe Beobachtung hat Conrad[4]) auf dem Sonnblick gemacht. In gleicher Weise wie die Ionendichte vermindert die Zunahme der relativen Feuchtigkeit die Ionengeschwindigkeit, wie folgende Tabelle[5]) zeigt:

| Rel. Feuchtigkeit | 31—40 | 41—50 | 51—60 | 61—70 | 71—80 | 81—90 | 91—100 | Proz. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $v_-$ . . . . . | 1,33 | 1,28 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 0,95 | 1,02 | „ |
| $v_+$ . . . . . | 1,22 | 0,99 | 1,07 | 0,93 | 0,92 | 0,90 | 0,98 | „ |

Die Zahlen der letzten Vertikalreihe sind wegen der Schwierigkeit, die Isolation bei diesen hohen Feuchtigkeitsgraden aufrecht

1) E. Barkow, Ann. d. Phys. **23**, 317, 1906; Pringal, ebenda **26**, 727, 1908, u. F. Richarz, Marburger Sitzber. Nr. 4, 1908.

2) Außer schon zitierten Arbeiten: G. Accola, Nuov. Cim. **13**, 435, 1907; Pocchettino, Rend. R. Acad. Lincei, **10**, 101 u. Met. Zt. **18**, 540, 1901.

3) A. Gockel, Met. Zt. **23**, 56, 1906.

4) V. Conrad, Wien. Ber. **114**, 335, 1905.

5) A. Gockel, Met. Zt. **25**, 12, 1908.

zu erhalten, unsicher. Die Eigenschaft, sich auch in noch nicht gesättiger Luft mit Wasser zu beladen, teilen nach den Untersuchungen von Mm. Curie[1]) mit den Ionen die Zerfallsprodukte des Radiums.

Während die Ionenzählungen des Verfassers und ebenso die Simpsons[2]) in Karasjok einen beträchtlichen Einfluß der relativen Feuchtigkeit auf die Ionisation erst bei höheren Feuchtigkeitsgraden erkennen ließen, fand Mazelle in Triest eine regelmäßige Abnahme der Zerstreuungsgeschwindigkeit in der Weise, daß für eine Zunahme der relativen Feuchtigkeit um 5 Proz. die Zerstreuung um 5,6 Proz. des vorhergehenden Wertes abnimmt, und zwar nimmt im Gegensatz zu dem, was an anderen Orten gefunden wurde, die negative Elektrizitätszerstreuung mit wachsender Feuchtigkeit rascher ab als die positive. An Tagen mit hoher relativer Feuchtigkeit ist die positive Elektrizitätszerstreuung größer als die negative. Der Widerspruch dieser Angaben mit denen anderer Beobachter erklärt sich dadurch, daß in Triest zu den für die Beobachtungen gewählten Stunden (Mittag) hohe relative Feuchtigkeit nur bei regnerischem Wetter auftritt, solches hat aber stets ein Überwiegen negativer Ionen, also stärkere positive Zerstreuung zur Folge. Ist die Erhöhung der relativen Feuchtigkeit eine Folge von Nebel- und Taubildung, so ergibt sich ein Überschuß positiver Ionen. Auch schon bei den niederen Graden der relativen Feuchtigkeit steigen $Q$ und $q$ an den meisten Orten regelmäßig mit der Feuchtigkeit an. Mit dem Dampfdruck nimmt im allgemeinen die Ionisation regelmäßig zu. Da eine starke Vermehrung des Dampfdruckes in der Regel eine Folge der Temperaturerhöhung ist, und die Erhöhung des Dampfdruckes hinter der der Temperatur zurückbleibt, so daß mit wachsendem Dampfdruck die relative Feuchtigkeit sinkt, so offenbart sich in der angegebenen Beziehung nur die Abhängigkeit der Ionisation von Temperatur und relativer Feuchtigkeit. Von vornenherein war zu erwarten, daß bei gleicher Temperatur besonders $I_-$ mit dem Dampfdruck abnimmt; ob eine solche Beziehung wirklich existiert, läßt sich aus dem vorhandenen Zahlenmaterial nicht mit Sicherheit feststellen. Einige Erscheinungen im täglichen Verlauf der Ionisation deuten eher auf das Gegenteil, eine relativ stärkere Abhängigkeit des Wertes $I_+$ vom

1) S. Curie, C. R. **145**, 1145, 1907.
2) G. Simpson, Phil. Trans. Ser. A, **205**, 61, 1905; Phys. Zt. **6**, 270, 1905.

Dampfdruck hin; auch Czermak findet, daß mit der Zunahme des Dampfdruckes die Häufigkeit einer größeren negativen Zerstreuung zunimmt. An mehreren Orten, z. B. Wolfenbüttel und Capri ist eine Änderung der Zerstreuung mit wachsendem oder abnehmendem Dampfdruck überhaupt nicht zu erkennen[1]).

Die Erhöhung der atmosphärischen Leitfähigkeit mit dem Wachsen der Temperatur ist ebenso augenfällig, wie die Erhöhung mit der Abnahme der relativen Feuchtigkeit, und es erscheint fraglich, inwieweit sich hinter dieser Beziehung ein reiner Temperatureinfluß und inwieweit ein solcher der relativen Feuchtigkeit verbirgt.

Verfasser fand im Winter in dem trockenen Hochtale von Adelboden dieselben niederen Werte der Ionisation wie in dem nebeligen Freiburg und glaubt daraus den Schluß ziehen zu dürfen, daß die niedere Temperatur auch ohne Rücksicht auf die meist mit ihr verbundene Erhöhung der relativen Feuchtigkeit, eine Verminderung der Ionisation mit sich bringt. Es spricht für diese Anschauung auch eine Reihe anderer Daten. In der algierischen Sahara, wo die relative Feuchtigkeit im Sommer niemals so hoch steigt, daß sie einen nennenswerten Einfluß auf die Leitfähigkeit ausüben könnte, zeigt sich sehr deutlich das Ansteigen der Zerstreuungsgeschwindigkeit mit der im Laufe des Tages ansteigenden Temperatur. Nach den Beobachtungen Simpsons in Karasjok erscheint die Ionisation fast als reine Temperaturfunktion, wie aus folgender Tabelle hervorgeht.

Ionisation und Temperatur.

| Temperatur °C. | Winter | | | Sommer | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $I-$ | $I+$ | $Q$ | $I-$ | $I+$ | $Q$ |
| $<-20$ | 0,16 | 0,18 | 1,12 | — | — | — |
| −20 bis −15 | 0,18 | 0,22 | 1,23 | — | — | — |
| −15 „ −10 | 0,22 | 0,26 | 1,18 | — | — | — |
| −10 „ − 5 | 0,30 | 0,36 | 1,20 | — | — | — |
| 5 „ 0 | 0,32 | 0,39 | 1,27 | 0,31 | 0,37 | 1,19 |
| 0 „ 5 | 0,36 | 0,42 | 1,16 | 0,36 | 0,39 | 1,07 |
| 5 „ 10 | — | — | — | 0,40 | 0,45 | 1,13 |
| 10 „ 15 | — | — | — | 0,43 | 0,45 | 1,06 |

Erst bei sehr tiefer Temperatur scheint ihr Einfluß zu verschwinden.

1) A. Gockel, Phys. Zt. **5**, 257, 1904.

Ferner nimmt die Zerstreuung zu mit abnehmender Bewölkung. Dieses führt uns auf die Frage, inwieweit sich ein Einfluß dieser oder der Sonnenstrahlung in der Temperatur erkennen läßt. Die meisten Beobachter konstatieren eine Zunahme der Zerstreuung mit abnehmender Bewölkung. Verfasser hat diesen Zusammenhang in Freiburg (Schweiz) wenig ausgesprochen gefunden. Auch unter der winterlichen Stratusdecke, wurden, wie es in der Regel unter der Herrschaft einer Anticyklone der Fall ist, hohe Ionisationswerte beobachtet. Ferner stellen sich solche ein an der Vorderseite einer Cyklone, wenn sich eine *Ci-S*-Schicht allmählich zu *A-S* und zu *Cu* und *F-Ni* verdichtet. Wenn Czermak[1]) in Innsbruck, R. Schenk[2]) in Halle und Lutz[3]) in München an Tagen mit starker *Cu*-Entwicklung eine Zunahme der Zerstreuung beobachteten, so offenbart sich darin nicht ein Einfluß der Bewölkung, sondern des aufsteigenden Luftstromes, eventuell auch der höheren Temperatur, welche diesen erzeugt. Verfasser konnte in Freiburg (Schweiz) die Zunahme der Ionisation mit der Bildung der Mittags-Cumuli nur an solchen Tagen konstatieren, an denen nicht gleichzeitig mittags eine Trübung der Aussicht eintrat. Man wird also wohl sagen können, daß dort, wo eine Zunahme der Ionisation mit abnehmender Bewölkung gefunden wurde, diese eine Wirkung der mit der Abnahme der Bewölkung steigenden Temperatur ist.

Ein Einfluß der Temperatur auf den Wert von $Q$ läßt sich nicht erkennen. Wo derselbe in den Beobachtungsreihen zutage zu treten scheint, dürfte eine Wirkung von Staub- oder Dunstschichten oder einer Föhnströmung vorliegen. So liegen in Freiburg an sehr heißen heiteren Sommertagen um die Mittagszeit die Werte von $Q$ fast immer über 1,3. Die gleichzeitige Lufttrübung weist deutlich auf den Einfluß des mit der erwärmten Luft aufsteigenden Stromes hin; ist dagegen die Luft klar, so pflegt auch bei Temperaturen von 20—25° der Wert von $Q$ zwischen 1,10 und 1,30 zu bleiben.

Eine Zunahme der Zerstreuungsgeschwindigkeit mit steigendem

---

1) P. Czermak, Über Elektrizitätszerstreuung in der Atmosphäre. Denkschr. der K. K. Wiener Akademie 1903.

2) R. Schenk l. c.

3) W. Lutz, Untersuchungen über atmosphärische Elektrizität. Dissert. München. Technische Hochschule 1904.

Ozongehalt der Luft hat sich aus den Wiener[1]) Beobachtungen ergeben. Es scheint, wie im Kapitel 4 ausgeführt werden soll, daß beide Faktoren, Zerstreuungsgeschwindigkeit und Ozongehalt nicht ursächlich, sondern nur durch das Bindeglied der Temperatur resp. Sonnenstrahlung miteinander zusammenhängen.

Mit Rücksicht auf die später zu besprechenden Theorien, welche als wirksamstes Agens für die Ionisation der Luft, die aus dem Boden ausströmende radioaktive Emanation annehmen, ist der Zusammenhang zwischen Luftdruck und Ionisation vielfach untersucht worden[2]). Als allgemeines Resultat kann gesagt werden, daß dieser Zusammenhang in der freien Atmosphäre mit Sicherheit nicht zu erkennen ist. Ganz abgesehen davon, daß die Geschwindigkeit, mit der Bodenluft in die Atmosphäre übertritt, nicht allein von dem Luftdruck, sondern auch von der Durchlässigkeit des Bodens abhängt, die sich ihrerseits durch Niederschläge und andere Faktoren ändert (s. Kap. 5), so werden auch die Wirkungen dieser Bodenluft in der Atmosphäre kompensiert durch die des Windes, welcher ionisierte Luft wegführt, durch vertikale Strömungen innerhalb der Atmosphäre, welche teils eine Folge von Luftdruck, teils eine solche von Temperaturänderungen sein können, durch die Wirkung der Temperatur als solcher und vor allem durch die relative Feuchtigkeit. Zölss[3]) kommt bei der Diskussion von ungefähr 11 000 in Kremsmünster gemachten Zerstreuungsmessungen zu folgendem Resultat: Im Mittel liegen die bei fallendem Barometer gewonnenen Zerstreuungswerte um 9 Proz. höher als die bei steigendem Barometer, und zwar entspricht im Durchschnitt einem Barometergefälle von 0,1 mm eine rund 3 proz. Steigerung des Zerstreuungskoeffizienten. Die bei stark fallendem oder rasch steigendem Barometer gefundenen Werte wollen sich jedoch dieser Regel nicht fügen, die ersteren liegen zu tief, die letzteren zu hoch, übereinstimmend mit der, vom Verfasser[4]) wiederholt betonten Tatsache, daß absteigende Luftströme, also zunehmender Luftdruck, mit einer Vermehrung der Leitfähigkeit verknüpft ist. Die tiefen Werte der Zerstreuung bei rasch fallendem Barometer erklären sich durch das trübe und regnerische Wetter, welches einem starken Sinken des Luftdruckes

1) V. Conrad und M. Topolansky, Phys. Zt. **5**, 749, 1904.
2) Siehe außer zitierten Arbeiten John Don, Beibl. 29, 1031, 1905.
3) P. B. Zölss, Wien. Ber. **114**, 214, 1905.
4) A. Gockel, Meteor. Zt. **23**, 63, 1906.

zu folgen pflegt. Trennt man nach dem Barometerstande, so findet man die bei niederem Barometerstande gemessenen Werte um 13 Proz. tiefer als die bei hohem sich ergebenden. Zu einem ähnlichen Resultate wie Zölss kam auch Kircher in Saalfeld[1]). Es darf aber nicht übersehen werden, daß der eben erwähnte Zusammenhang zwischen Luftdruck- und Leitfähigkeitsschwankungen sich nur im Mittel einer sehr großen Anzahl von Beobachtungen ergibt, selbst die Beobachtungen eines Jahres genügen noch nicht, um die erwähnten Beziehungen erkennen zu lassen.

Ganz in Übereinstimmung mit diesen Ausführungen von Zölss fand auch der Verfasser, daß der Einfluß des Luftdruckes auf die Ionisation durch andere Vorgänge verdeckt wird, und je nach der Wetterlage ein ganz verschiedener sein kann. Im Winter führt auf der schweizerischen Hochebene eine Anticyklone zur Bildung von Dunstschichten und Nebeln und damit zur Verringerung des Ionengehaltes, im Sommer wird im Gegenteil die absteigende Luftbewegung klare und damit ionenreiche Luft aus den Höhen herabbringen. Im allgemeinen kann man allerdings sagen, daß bei steigendem Luftdruck besonders $I_+$ wenigstens relativ gegenüber $I_-$ wächst. Zu demselben Resultat kam bezüglich der Zerstreuung Mazelle in Triest.

Beobachter, welche sich nur auf eine kleine Anzahl Beobachtungen stützen konnten, sind zu den widersprechendsten Resultaten gekommen. Während z. B. Lüdeling in Potsdam auf Grund von Registrierungen eine Abnahme der Zerstreuungsgeschwindigkeit mit dem Luftdruck fand, erhielt Kähler in Kiel im Mittel aus allerdings nur 33 Beobachtungen genau das Gegenteil.

Sehr stark ausgesprochen ist der Einfluß des Föhns. Derselbe macht sich nicht nur in den eigentlichen Föhntälern, wie in Innsbruck geltend, sondern auch in Freiburg und in München, an welchen Orten sich die Föhnströmung gewöhnlich nur durch die abnorme Transparenz der Luft, häufig, aber nicht immer, auch durch größere relative Trockenheit bemerkbar macht. Föhn erhöht stets die Ionisation, vorwiegend aber die Zahl der positiven Ionen, so daß $Q$ bei Föhn immer über 1,4, oft auf 1,9—2,0 steigt. Ebenso

1) E. Kircher, Messungen der Elektrizitätszerstreuung in Saalfeld usw. Wissenschaftliche Beilage zum Jahresbericht des Realgymnasiums zu Saalfeld 1908.

wie der Föhn im engeren Sinne des Wortes wirkt der von Billwiller als Föhn aus der Anticyklone bezeichnete Wind.

Die Bora in Triest bringt zwar ebenfalls stets eine starke Steigung der Zerstreuungsgeschwindigkeit, jedoch nicht immer eine solche des Wertes $q$ hervor. Schon die Verwendung des Zerstreuungsapparates mit Schutzzylinder scheint zu bewirken, ferner auch das stoßweise Auftreten der Bora, daß die von Mazelle beobachteten Zerstreuungserscheinungen während des Wehens der Bora viel komplizierter liegen als die in den Alpen.

Auch in der Nähe von Tunis beobachtete Verfasser[1]) eine starke Zunahme der Zerstreuung, als eine durch Trockenheit sich als Fallwind verratende Luftströmung einsetzte. Auf Neu-Seeland hat dagegen Coleridge Farr einen über das Gebirge streichenden föhnartigen Wind beobachtet, der negative Ladungen mit herabbrachte[2]).

Daß regnerisches Wetter die Leitfähigkeit der Atmosphäre stark herabsetzt, wurde von allen Beobachtern übereinstimmend gefunden. Die Zahl der negativen Ionen überwiegt, $Q$ wird während eines Regens, in der Regel sogar schon vor demselben, negativ. Das von manchen Autoren besonders hervorgehobene Kleinerwerden von $q$ und $Q$ vor Gewittern, ist im Grunde dieselbe Erscheinung. Entfernte Regen vermögen dieselbe Wirkung hervorzubringen. In dem letzteren Falle wird aber das Sinken des Wertes $Q$ nicht durch eine Verringerung von $I_+$, sondern durch eine Vermehrung der negativen Ionen hervorgebracht. Auch unmittelbar vor dem Eintritt von Böen- oder Gewitterregen kann eine starke Vermehrung der Zahl der positiven und negativen Ionen beobachtet werden. In der Ebene kann die Steigerung des Ionengehaltes während eines Platzregens bis auf das Doppelte des normalen Wertes gehen, also bis auf etwa 1. E. S. E. im Kubikmeter, auf dem Brienzer Rothorn aber beobachtete der Verfasser während eines Gewitterregens Ionendichten bis zu 10 Einheiten im Kubikmeter, und selbst $^3/_4$ Stunde nach Beendigung des Regens wurde $I_+$ noch zu 1,89 E. S. E. gefunden. In der Regel überwiegt auch während der Gewitterregen die Zahl der negativen Ionen[3]).

1) A. Gockel, Luftelektrische Unters., S. 20.

2) C. Coleridge Farr, Proc. Roy. Soc. **76**, 152, 1905; Met. Zt. **23**, 417, 1905.

3) A. Pocchettino, Meteor. Zt. **18**, 540, 1901; Rend. Linc. **10**, 104, 1901.

Freie Ladungen von derselben Größenordnung wie die auf dem Brienzer Rothorn beobachteten fand Chauveau [1]) ebenfalls während Gewittern oder böiger Niederschläge nach einer anderen Methode auf dem Eiffelturm. Er brachte inmitten eines Drahtkäfigs von zirka 2 cbm Inhalt eine Tropfelektrode an, die er mit einem Elektrometer verband. Das abgelesene Potential erlaubte die freie Ladung, d. h. den Überschuß der Ionen einer Art über die der anderen Art, im Käfig zu berechnen. Dasselbe Verfahren wandte Mache [2]) in Wien an. Sein Drahtkäfig hatte 12 cbm Inhalt, zum Schutz gegen atmosphärische Niederschläge war derselbe mit Zinkblech gedeckt, als Kollektor diente eine Radiumelektrode. Während eines Gewitters schwankte die freie Ladung im cbm zwischen $-0{,}8$ und $+0{,}6$ E. S. E.

Während wie bemerkt mit den gewöhnlichen Landregen fast stets eine Verringerung der Zahl beider Ionenarten, hauptsächlich aber der der positiven verbunden ist, so daß $Q$ und auch das Verhältnis der Zerstreuungskoeffizienten $q$ negativ wird, liegen bei den winterlichen Schneefällen die Verhältnisse in der Regel gerade umgekehrt. Es tritt eine Vermehrung der Ionen beider Art ein, es überwiegt aber die Vermehrung der positiven, so daß $Q$ oft Werte erreicht, die über 1,5 liegen. Es verhalten sich also solche winterlichen Schneefälle ähnlich wie Gewitter. Während der im Frühjahr auftretenden kurzen Schnee- und Regenböen ist dagegen wie während des Fallens von Landregen $Q$ in der Regel kleiner als 1, es überwiegen also die negativen Ionen; zu ähnlichen Resultaten ist bezüglich des Auftretens freier Ladung während des Fallens von Niederschlägen nach einer später zu besprechenden Methode Daunderer [3]) gelangt. Vor und nach Regen- und Schneeböen, ebenso in der niederschlagsfreien Zeit zwischen zwei solchen wird gewöhnlich eine starke Zunahme der Ionisation und zwar vorwiegend der positiven beobachtet. Die letztere Erscheinung erklärt sich wohl durch das Herabstürzen ionenreicher Luft aus großen Höhen, dagegen ermangeln wir zur Zeit noch einer genügenden Erklärung der Zunahme der Ionisation während des Fallens von gewissen

1) A. B. Chauveau, Étude de la variation diurne de l'électricité, 2 mémoire p. 107. Paris 1902.

2) H. Mache, Phys. Zt. **4**, 588, 1903.

3) A. Daunderer, Phys. Zt. **8**, 281, 1907.

Niederschlägen. Man wird zunächst an die von Lenard[1]) und seinen Schülern eingehend studierte Erscheinung denken, wonach Tropfen destillierten Wassers beim Aufschlagen auf feste Körper oder auch eine Wasserfläche sich selbst positiv laden, während sie die Luft negativ ionisieren. Die entstehenden Ionen besitzen eine hohe spezifische Beweglichkeit $\left(3—4 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} : \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}\right)$ und diffundieren auch sehr rasch. Dem entsprechend haben Elster und Geitel und nach ihnen eine Reihe anderer Forscher in der Nähe von Wasserfällen eine starke negative Ionisierung der Luft bemerkt und zwar nicht nur in der freien Atmosphäre, wo auch an eine Influenzwirkung des Erdfeldes gedacht werden konnte, sondern auch in Höhlen, z. B. in der von Sct. Canzian, wo das verspritzende Wasser dem Einfluß des Erdfeldes vollständig entzogen ist. Ferner hat der Verfasser sowohl während Regen als auch unmittelbar vor Eintritt derselben auffallend hohe Werte der Beweglichkeit beobachtet. Auch wenn man berücksichtigt, daß die während des Regens beobachteten Werte durch Isolationsfehler gestört sein können, bleibt für die vorher bei einer relativen Feuchtigkeit von etwa 60 Proz. beobachteten Werte nur die Erklärung, daß sie hervorgerufen sind durch leicht bewegliche Lenard-Ionen, die aus dem benachbarten Regengebiet stammen. Ob sich aber das Auftreten negativer Ionen in einer Entfernung von 20 und mehr Kilometer von dem Regengebiet ausschließlich durch den Lenard-Effekt erklären läßt, erscheint doch noch fraglich. Unmöglich aber kann man die bei Gewitterregen beobachtete Zunahme der positiven Ionen als solchen auffassen. Wohl genügen nach den Versuchen Lenards schon kleine Verunreinigungen, wie sie sich auch im Regenwasser finden, um auch positiv geladene Elektrizitätsträger zu erzeugen, allein diese sind von der Größenordnung der schweren (Langevin) Ionen, können also nicht, wie die tatsächlich beobachteten Ionen im Ebertschen Apparat eingefangen werden.

Über die elektrischen Ladungen, welche Regen und Schnee selbst annehmen, wird im Kapitel 3 gesprochen werden. Sicher ist, daß auch Schneestaub und Sand sich unter gewissen Verhältnissen und zwar in der Regel negativ laden können, fraglich ist aber noch, ob auch unter den gewöhnlichen Verhältnissen der in der Atmosphäre enthaltene Staub eine Ladung besitzt, oder ob die

1) Lenard, Wied. Ann. **46**, 584, 1892; K. Kaehler, Ann. d. Phys. **12**, 1119, 1903; E. Aselmann, Ann. de Phys. **19**, 960, 1906.

an den Staubteilchen adsorbierten Ionen dort sofort neutralisiert werden. Simpson[1]) stellte in der mit Rauch erfüllten Atmosphäre von Manchester zwei Messingplatten vertikal in einer Entfernung von 1 cm einander gegenüber, zwischen den Platten wurde eine Potentialdifferenz von 5000 Volt hergestellt. Nach 30 stündiger Exposition waren beide Platten mit einer Staubschicht bedeckt, ein Unterschied in ihrem Aussehen war nicht zu entdecken. Auch verhielten sich Platten, die in der freien Luft exponiert wurden, wie die im Laboratorium aufgestellten. Der Staub muß also entweder gar keine Ladung besitzen, oder es müssen die Ladungen beider Arten annähernd gleich stark vorhanden sein. Gegen dieses Experiment wendet Januskiewicz[2]) ein, daß der vergoldete positive Pol einer Influenzmaschine sich stets rascher mit Staub oder Ruß bedeckt als der negative. Es erscheint indessen doch schon aus anderen Erwägungen[3]) heraus wahrscheinlich, daß gröbere Staubpartikelchen sich rasch entladen und daß nur die Partikelchen viel geringerer Größenordnung, wie wir sie in den schweren Ionen Langevins kennen gelernt haben, für längere Zeit eine Ladung bewahren können.

Über Nebelschichten bilden sich, bei anticyklonaler Wetterlage stets starke Ansammlungen von positiven Ionen. Die Erscheinung bleibt im wesentlichen dieselbe, ob man über Bodennebeln von 0,5—2 m Höhe oder über den Nebelschichten von mehreren 100 m Mächtigkeit, wie sie besonders im Herbst und Winter die schweizerische Hochebene bedecken, beobachtet. Anders liegen die Verhältnisse innerhalb aufsteigender Wolken. In diesen ist $Q < 1$, es überwiegen die negativen Ionen. Während in stagnierenden Nebeln die Zerstreuungskoeffizienten, speziell $a_+$, fast auf Null herabsinken können, ist dieses mit den spezifischen Ionendichten nicht der Fall. In dem Nebel, der im Winter die schweizerische Hochfläche zwischen Alpen und Jura bedeckt, fand Verfasser[4]) im Durchschnitt $I_+ = 0{,}260$, $I_- = 0{,}170$. Ungefähr dieselben Werte fand Simpson in Karasjok. Die starke Verminderung der Zerstreuungskoeffizienten ist offenbar in der mit dem Auftreten solcher Nebel verbundenen Windstille zu suchen.

---

1) G. C. Simpson, Phys. Zt. **7**, 521, 1906.
2) I. R. Januskiewicz, ebenda S. 648.
3) Vgl. G. C. Simpson, Phil. Mag. **6**, 589, 1903.
4) A. Gockel, Phys. Zt. **4**, 267, 1903.

**10. Die tägliche Periode der Leitfähigkeit** zeigt in ihren Einzelheiten einen ausgesprochen lokalen Charakter, sie wechselt sogar an demselben Ort im Mittel von Jahr zu Jahr. Eine Darstellung des Ganges von $I_+$ und $I_-$ in Freiburg (Schweiz) im Mittel von 3 Sommerhalbjahren gibt Fig. 6[1]). Bildet man nicht Mittelwerte, sondern greift einige Tage heraus, an denen der Gang der übrigen meteorologischen Elemente ungefähr der normale war, so sieht man, daß die Ionisationskurven charakteristische Eigentümlichkeiten zeigen, die in den Mittelwerten leicht verdeckt werden, weil die Eintrittszeiten der einzelnen Wendepunkte der Kurven sich mit der Jahreszeit um mehrere Stunden verschieben können, auch nicht einmal von Tag zu Tag völlig konstant bleiben. Dazu kommt noch, daß bei der Bildung von Mittelwerten aus längeren Reihen gewöhnlich alle Tage mit Ausnahme etwa der durch Niederschläge gestörten berücksichtigt werden, obgleich Bewölkung, Dunstgehalt der Luft, Änderung der Windrichtung, Herannahen einer Cyklone auch an den dann mit Unrecht so genannten störungsfreien Tagen beträchtliche Störungen des regelmäßigen Ganges der Ionisation hervorrufen können. Der Einfluß des Sonnenstandes auf die Leitfähigkeit ist nur ein indirekter. An und für sich wird mit der Zunahme der Temperatur, wie aus oben Gesagtem hervorgeht, auch die Leitfähigkeit wachsen. Da aber an vielen Orten mit der Temperatur auch der Staubgehalt zunimmt, auch die relative Feuchtig-

Fig. 6.

1) Vgl. außer den bereits zitierten Arbeiten, A. Gockel, Arch. de Genève **17**, 93, 1904 u. Meteor. Zt. **25**, 9, 1908; P. Zölss, Wien. Ber. **112**, 1117, 1903 u. **114**, 190, 1905.

keit nicht immer umgekehrt wie die Temperatur verläuft, ferner auch Luftströmungen, besonders im Gebirge und an der Meeresküste eine bedeutende Rolle spielen, so treten vielfach Komplikationen ein. Aus Beobachtungsreihen von kurzer Dauer wird man höchstens in Gegenden mit sehr konstantem Klima einen Schluß auf die tägliche Periode der Ionisation ziehen können. Aber selbst in dem konstanten Sommerklima der algierischen Sahara zeigen meine Zerstreuungsmessungen an den einzelnen Tagen keinen identischen Gang und es läßt sich allgemein nur sagen, daß dort die Zerstreuung von Sonnenaufgang bis in die späten Nachmittagsstunden zunimmt, zur Zeit des Sonnenunterganges plötzlich auf ein Minimum sinkt, um 1—2 Stunden später wieder auf den Wert zu steigen, den sie unter Tags gehabt hatte. Es war deutlich zu erkennen, daß das abendliche Minimum einzig auf Rechnung des zu dieser Zeit starken Rauch-, Staub- und Dunstgehaltes der Atmosphäre zu setzen war.

In unserem Klima liegen die Verhältnisse ähnlich. Überall werden in der Ebene Minima der Leitfähigkeit beobachtet zur Zeit des Sonnenaufganges und Unterganges, ein Hauptmaximum nachmittags und ein weiteres Maximum in der Nacht. Es kann aber auch um Mittag offenbar als Folge der schon von Exner bei seinen Versuchen über den täglichen Gang des Potentialgefälles bemerkten und auch in einer Verminderung der Intensität der Sonnenstrahlung zum Ausdruck kommenden stärkeren Staubentwicklung ein sekundäres Minimum eintreten. Es entsteht dann eine dreifache tägliche Welle, wie sie v. Schweidler[1]) zu Mattsee (Salzburg) beobachtet hat, mit Maxima in den ersten Vormittagsstunden, am Nachmittag und in der Nacht, Minima zur Zeit des Sonnenaufganges, Mittag und Sonnenunterganges.

Besser wird man sagen: Der regelmäßige Gang, der im allgemeinen dem der Temperatur ähnlich, jedoch von geringerer Amplitude ist, erleidet eine Unterbrechung durch Depressionen, die sich zur Zeit des Sonnenaufganges, -Unterganges und mittags einstellen. Die beiden ersten, die fast an allen Orten beobachtet werden, hängen mit der Taubildung, die mittägige, mit der Staubentwicklung zusammen. Letztere stellt sich an vielen Orten besonders im Winter gar nicht ein, sie kann sich dagegen in heißen und trockenen Sommern über den größeren Teil des Tages er-

1) E. R. v. Schweidler, Wien. Ber. **114**, 1705, 1905.

strecken und dann den regelmäßigen Gang der Leitfähigkeit geradezu umkehren. v. Schweidler[1]) bemerkt, daß Depressionen der Zerstreuung an klaren Tagen besonders stark ausgeprägt sind. Ich habe das Gleiche bezüglich der Ionendichte und der spezifischen Geschwindigkeit gefunden. So sank z. B. an solchen Tagen $v_-$ gegen Mittag wiederholt auf 0,70 herunter, während nach der gleichzeitig beobachteten relativen Feuchtigkeit ein Wert von etwa 1,30 zu erwarten war. Die morgendliche und abendliche Erniedrigung der Leitfähigkeit tritt dagegen in den kühleren Jahreszeiten am stärksten hervor. Sie ist an die Entstehung von Tau und Bodennebel geknüpft. Besonders in der zweiten Hälfte des Herbstes läßt sich am Wohnort des Verfassers sehr gut bemerken, wie der Nebel, der während der Nacht nur das tief eingeschnittene Saanetal erfüllt, nach Erscheinen der ersten Sonnenstrahlen sich über die ganze Umgebung ausdehnt. Gleichzeitig fällt die Leitfähigkeit, speziell der von den negativen Ionen abhängige Teil derselben auf sehr niedere Werte herab, um oft erst eine Stunde nach Sonnenaufgang nach Auflösung des Nebels wieder auf den normalen Wert zu steigen. Dasselbe wiederholt sich am Abend. Sobald das Auge die ersten Dunstschichten am Boden bemerkt, sinkt auch die Leitfähigkeit wieder, um dann 1—2 Stunden lang auf dem niederen Wert zu verharren.

Im Winter sowohl als auch an den nicht durch Klarheit ausgezeichneten Sommertagen ist der Gang der Ionisation fast vollständig dem der Temperatur parallel, je windiger und bewölkter der betreffende Tag ist, um so weniger treten die drei Einsenkungen der Kurve hervor. An Tagen mit Nordwind kann sich umgekehrt die mittägige Depression über einen großen Teil des Tages auch dann erstrecken, wenn der aufsteigende Luftstrom in den ersten Nachmittagsstunden zu einer starken Entwicklung von Haufenwolken (*Cu*) führt. Eine Ausnahme von dem regelmäßigen Gang machen Gewittertage. v. Schweidler[2]) hat im österreichischen Alpenlande an verschiedenen Orten die Wahrnehmung gemacht, daß solche Tage durch auffallend hohe Morgenwerte der Leitfähigkeit charakterisiert sind. In Freiburg (Schweiz) trifft diese Regel nach Beobachtungen des Verfassers häufig, aber nicht immer, ein. Tritt dagegen im Sommer mittags eine starke *Cu*-Bildung auf, so hat

1) E. R. v. Schweidler, Wien. Ber. **112**, 1508, 1903.

2) E. R. v. Schweidler, Wien. Ber. **112**, 1509, 1903, **114**, 1713, 1905 und **115**, 1271, 1906.

diese, oder besser gesagt, der sie erzeugende aufsteigende Luftstrom entsprechend dem, was Czermak als allgemeine Regel fand, eine Erhöhung der Ionisation im Gefolge, vorausgesetzt, daß nicht gleichzeitig eine stärkere Lufttrübung, also Verschleierung der Aussicht eintritt. In diesem letzteren Falle liegen die Mittagswerte der Ionisation tiefer als die Vormittags- und Abendwerte.

Eine tägliche Periode der Beweglichkeit ist nur insofern zu erkennen, als den hohen Graden der relativen Feuchtigkeit und

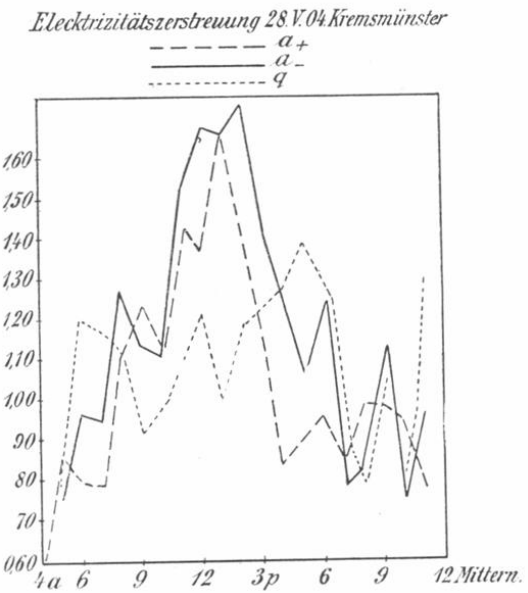



Fig. 7.

des Staubgehaltes niedere Werte der Beweglichkeit und umgekehrt relativ hoher Wert dieser letzteren dem niedersten Wert der relativen Feuchtigkeit entsprechen. Da dieselben Faktoren die Ionendichte und die Beweglichkeit herabsetzen, so muß die Kurve der Zerstreuung und der Leitfähigkeit viel besser ausgeprägt sein, als die der Ionisation, was auch die Beobachtungen bestätigen. Fig. 7 gibt den Gang der Zerstreuung an einem klaren Tage in Kremsmünster.

Einen eigentümlichen Gang der spezifischen Ionendichte I fand v. Schweidler zu Mattsee. Der Ionengehalt zeigt hohe Werte morgens und nach Sonnenuntergang, tiefe unter Tags; die spezifische

Geschwindigkeit hatte umgekehrt tiefe Werte morgens und abends entsprechend der hohen relativen Feuchtigkeit, hohe unter Tags. Der Gang war also offenbar der umgekehrte der relativen Feuchtigkeit. Aus der Kombination der Periode für $I$ und $v$ resultierte die bereits angegebene komplizierte Periode der Zerstreuung. Die Werte der Ionendichte sind hier offenbar stark durch lokale Luftströmungen bedingt.

Eine auffällige Abweichung vom gewöhnlichen Gang der Zerstreuung beobachtete auch Zölss in dem trockenen Sommer 1905. Es tritt ein Maximum der Zerstreuung 8a auf, und ein abendliches Minimum um Sonnenuntergang; das Morgenminimum fehlt, offenbar wegen der Abwesenheit der Taubildung, das mittägige Maximum ist durch die Staubbildung unterdrückt.

In Karasjok, wo Simpson dreimal täglich, nämlich zwischen 8 u. 9a, 12 u. $1^h$ und 6 u. 7p die Ionisation maß, fand sich überhaupt keine tägliche Periode, nur im Jahresdurchschnitt sind die Abendwerte etwas geringer als die beiden anderen.

Das oben Gesagte und der Anblick der Kurven lehrt, daß der früher vielfach vermutete Zusammenhang zwischen der täglichen Periode der Ionisation und der des Luftdruckes nicht erkennbar ist. Das vormittägige Maximum der Ionisation fällt ungefähr mit dem Maximum, das nachmittägige mit dem Minimum des Luftdruckes zusammen. Die Minima der Ionisation sind nur vom Sonnenstande abhängig. Von dem Einfluß der Luftdruckschwankungen gilt das oben Gesagte: Wenn ein solcher Einfluß wirklich existiert, wird er verdrängt durch die viel mehr in das Gewicht fallenden Änderungen der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit.

Stark ausgeprägt ist dagegen der Einfluß der täglichen Luftdruckschwankungen auf den Wert von $Q$. Dieser steigt bis gegen 9—10 a, fällt dann mit dem Luftdruck und erreicht ein sekundäres Minimum gegen 11a, steigt dann etwas, um zwischen 3 u. 4 noch einmal zu fallen, und steigt dann wieder bis zu dem abendlichen Luftdruckmaximum und fällt hierauf bis zu dem Luftdruckminimum 4a. Unterbrochen wird dieser regelmäßige Gang durch die beiden Sprungmaxima, d. h. rasch verlaufende Maxima (der Ausdruck stammt von Exner, der ihn auf das Potentialgefälle anwandte), die durch das Ausfällen der negativen Ionen unmittelbar nach Sonnenauf- und untergang veranlaßt sind. Noch deutlicher wird der Zusammenhang, wenn man als Ordinaten der Luftdruckkurve

nicht den Stand des Barometers, sondern die innerhalb einer Stunde erfolgte Änderung desselben annimmt, wie dieses in Fig 8 der Fall ist, wo die $Q$-Kurve das Mittel der Sommerwerte in Freiburg (Schweiz) angibt. Noch viel mehr aber als von den Werten $I_-$ und $I_+$ gilt für $Q$, den Quotient zweier Größen, das oben Gesagte, daß bei der Mittelbildung manche charakteristische Einzelheiten verwischt werden. Es muß aber andererseits darauf hingewiesen werden, daß der von Zölss in Kremsmünster für $q = \frac{a-}{a+}$ gefundene tägliche Gang sehr gut mit dem vom Verfasser in Freiburg (Schweiz) für $Q$ beobachteten übereinstimmt. Die Zweiteilung des abendlichen Maximums, die in Fig. 8 zum Ausdruck kommt, beruht nicht auf einer Zufälligkeit, sondern ist eine Erscheinung, die fast überall beobachtet wird. Das erste der beiden Maxima, das gegen 7 p eintritt, ist das höchst wahrscheinlich mit dem jetzt beginnenden absteigenden Luftstrom in Verbindung stehende regelmäßige Maximum, das gegen 9 p auftretende das mit dem Sonnenuntergang in Verbindung stehende Sprungmaximum.

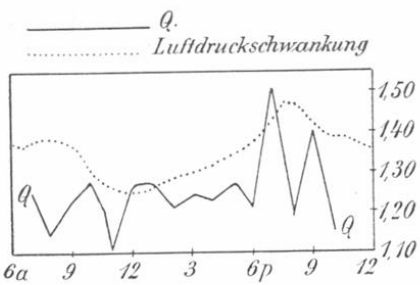



Fig. 8.

Sehr deutlich tritt diese Zweiteilung in den Kremsmünsterer Beobachtungen zutage. Gegen 8 p wird dort in allen Jahreszeiten ein Maximum beobachtet. Das Sprungmaximum dagegen fiel im Dezember—Februar zwischen 4 u. 5 p, März—Mai 6—7 p, und fällt im Juni—August mit dem Hauptmaximum zusammen. Im Gesamtmittel erscheint dann als Folge der eben erwähnten Verschiebung nur ein Maximum zwischen 7 u. 8 p.

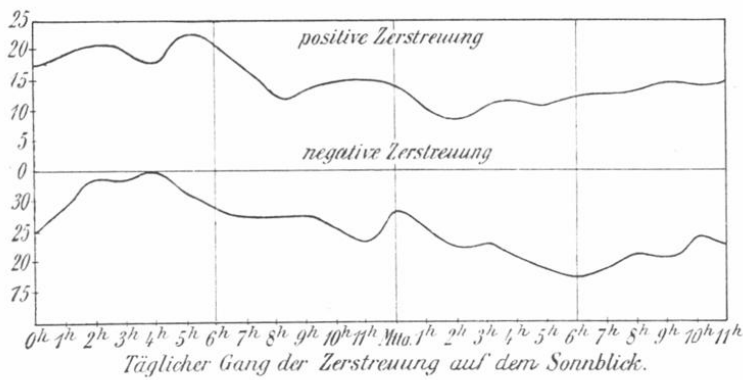
Das gegen 11 a auftretende sekundäre Minimum von $Q$ ist die Folge der Bildung einer Staubschicht, welche durch den vom Boden sich erhebenden warmen Luftstrom verursacht wird. Da sowohl $I_+$ als auch $I_-$ bis zum Nachmittag zunehmen, das erstere aber gegen 11 a langsamer, so scheint es, als ob dieser Staub die positiven Ionen besonders stark absorbiere. Näher liegend ist aber die Annahme, daß sich die von dem Erdboden abgestoßenen negativen Ionen unterhalb dieser Staubschicht ansammeln.

In den ersten Morgenstunden tritt, sei es infolge der Bestrahlung des Bodens, sei es infolge des durch zunehmenden Luftdruck sich verratenden absteigenden Luftstroms eine nicht nur absolute, sondern auch relative Vermehrung der positiven Ionen ein, die mit dem gegen Mittag einsetzenden aufsteigenden Luftstrom insofern endigt, als nun für einige Stunden die negativen Ionen sich relativ stärker vermehren.

Die tägliche Periode der Ionisation auf Hochgipfeln erweist sich als bedingt durch das im Laufe des Tages erfolgende Aufsteigen erwärmter Luft und die Bildung von Wolken in der Nähe der Bergspitzen. Le Cadet[1]) fand an einem heiteren Herbsttage, daß $a_-$ rasch zunahm vom Morgen bis gegen $9^1/_2$, sich längere Zeit stationär hielt und dann wieder anstieg bis gegen 5 p, daß dagegen $a_+$ ständig zunahm bis 11 a, abnahm im Moment, in dem sich ein Wolkenschleier um den Berg bildete, und dann während der Nachmittagsstunden auch auf diesem niederen Wert verharrte. Der Wert von $q$ war in den Morgenstunden 40, ging mittags auf 5 herunter um gegen Abend wieder auf 10 anzusteigen. Auf dem Sonnblick fand Conrad[2]) ein Maximum von $a_-$ um 9 a, ein Minimum $12^h$, ein schwaches Wiederansteigen bis 3 p und ein zweites Minimum gleich dem von $12^h$ um 5 p, darauf fand wieder ein Ansteigen statt. $a_+$ wies ein Maximum um 4 a auf, also zu einer Zeit, wo auch in der Ebene $I_-$ groß gegenüber $I_+$ ist, ein Minimum um 2 p und ebenso wie in der Ebene ein sekundäres Maximum um 11 a. Der Ionengehalt erreicht also in der Höhe sein Maximum in der Morgenfrühe, um zu sinken, sobald der aufsteigende Luftstrom einsetzt, der relativ feuchte und ionenarme Luft heraufbringt. Auf niederen, nicht mit Eis bedeckten Bergen, wie dem Säntis[3]) und dem Brienzer Rothorn[4]), liegen die Verhältnisse etwas komplizierter. $I_-$ steht auch hier ganz unter dem Einfluß der auf- und absteigenden Luftströme, die letzteren erhöhen, die ersteren vermindern die Zahl der negativen Ionen. $I_+$ aber wird, weil auch in geringerem Grade von der relativen Feuchtigkeit abhängig, durch den aufsteigenden Luft-

1) Le Cadet, Étude de l'électricité atmosphérique au sommet du Mont-Blanc. Extrait des Mémoires de l'Académie des sciences de Lyon 1904.
2) V. Conrad, Wien. Ber. **113**, 1143, 1904 u. **114**, 335, 1905.
3) V. Conrad, Wien. Ber. **115**, 1055, 1906.
4) A. Gockel, Meteor. Zt. **21**, 36, 1904 u. **25**, 16, 1908.

strom weniger stark beeinflußt, es kommt hier auch die direkte oder indirekte ionisierende Wirkung der im Laufe des Tages erfolgenden Temperaturerhöhung mit zur Geltung. Wie vorauszusehen war, ist die Verringerung des Ionengehaltes auf dem Gipfel im Laufe des Tages um so stärker, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Ebene und Bergspitze ist. Umgekehrt wurde auf dem Brienzer Rothorn keine Verringerung, sondern sogar eine schwache Vergrößerung von $I_+$ im Laufe des Tages beobachtet, als während 2 Tagen ununterbrochen ein dichtes Nebelmeer die umliegenden Täler erfüllte.




*Täglicher Gang der Zerstreuung auf dem Sonnblick.*

Fig. 9.

Aus 85 Doppelmessungen berechnete Conrad die in Fig. 9 wiedergegebenen Kurven. Dieselben lassen sich durch harmonische Analyse in eine einfache und eine doppelte tägliche Welle zerlegen. Die Wendepunkte sind in der folgenden Tabelle angegeben.

| | Ganztägige Periode | | Halbtägige Periode | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Maximum | Minimum | Maximum | | Minimum | |
| Negative Zerstreuung | 5h 10m a. | 5h 10m p. | 2h 15m a. | 2h 15m p. | 8h 15m a. | 8h 15m p. |
| Positive Zerstreuung | 3h 20m a. | 3h 20m p. | 3h 30m a. | 3h 30m p. | 9h 30m a. | 9h 30m p. |

Die Amplitude der einfachen Periode verhält sich zu der der doppelten bei $a_-$ wie 2,5 : 1 bei $a_+$ wie 6,7 : 1. In Kremsmünster ist die

Amplitude der doppelten Periode etwa 6mal größer als auf dem Sonnblick. Dieses Resultat möchte ich deshalb hervorheben, weil wir bei dem Potentialgefälle einer ähnlichen Erscheinung begegnen werden.

Der tägliche Gang von $q$ (siehe Fig. 10) weist auf dem Sonnblick wie in der Ebene ein Maximum 8 a, ein zweites Hauptmaximum um 1 p, auf. Es ist bemerkenswert, daß zu derselben Stunde in der Ebene wenigstens ein schwaches Ansteigen von $q$ beobachtet wird. Die in der Ebene gegen 11 a beobachtete Depression von $q$ findet sich auch auf dem Sonnblick. Denselben täglichen Gang der Zerstreuung wie im Sommer Conrad auf dem Sonnblick fanden im Dezember v. Ficker und Defant[1]) auf dem 2000 m hohen Schutzhaus am Patscherkofel bei Innsbruck. Hier wie dort

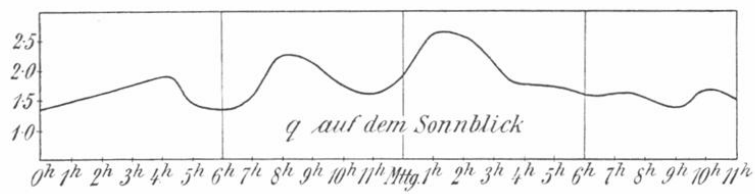



Fig. 10.

bringt absteigende Luftbewegung eine Vermehrung des Ionengehaltes hervor. Ausgedehntere Messungen auf einem möglichst flachen Bergrücken wären während der Herrschaft der im Winter oft wochenlang über dem Alpengebiete lagernden Anticyklonen von besonderem Werte. Die Störungen der Messungen durch Wolkenbildung fallen in dieser Jahreszeit vollständig weg und fast sämtliche meteorologischen Faktoren sind während einer solchen Witterungsperiode sehr konstant. Verfasser hat wiederholt bei gelegentlichen Beobachtungen unter solchen Umständen ganz ungewöhnlich hohe Werte der Ionisation, mehrere Einheiten im cbm erhalten. Es scheint, daß der Einfluß der absteigenden Luftströmung bei der geschilderten Wetterlage im Gebirge viel ausgeprägter ist als in der Ebene. Um dem Einfluß des in der Schweiz bis über 1000 m gehenden Nebelmeeres entzogen zu sein, darf der Beobachtungsplatz nicht zu nieder, mindestens 1500 m hoch gelegen sein.

1) H. v. Ficker u. A. Defant, Wien. Ber. **114**, 151, 1905.

**11. Der jährliche Gang der Ionisation** ist gekennzeichnet durch hohe Sommer- und niedere Winterwerte. Entsprechend dem Klima der Alpenländer kommen in Freiburg (Schweiz) und auch in Kremsmünster die Übergangsmonate wenig zur Geltung. Das ganze Jahr zerfällt in zwei Perioden, von denen die eine die kalten Monate (in Kremsmünster nur Dezember bis Februar), die andere die übrigen Monate umfaßt. Das Minimum der Zerstreuung fällt in Kremsmünster und in Innsbruck in den Januar. Im übrigen läßt sich innerhalb der Periode, wenigstens in den kurzen bis jetzt vorliegenden Reihen kaum ein Unterschied der einzelnen Monate erkennen. Das Minimum fällt zwar stets in die Periode des stärksten Frostes, das Maximum dagegen nicht in den heißesten Monat, sondern kann schon im Mai eintreten. Bei Berücksichtigung aller Werte, also ohne Ausschluß der gestörten Tage wurde im Jahre 1905 in Innsbruck[1]) das Maximum der Zerstreuung schon im März, in Saalfeld (Thüringen)[2]) in demselben Monat wenigstens ein sekundäres, dem Hauptmaximum (Juni) nur wenig nachstehendes Maximum gefunden. Wahrscheinlich sind diese hohen im Frühjahre beobachteten Zerstreuungswerte auf Rechnung der starken Luftbewegung zu setzen. In manchen Jahren kann auch eine Zweiteilung des Maximums beobachtet werden, eines im Mai, das andere im Juli oder August. Bekanntlich findet auch eine ähnliche Zerlegung der Maxima der Gewitterhäufigkeit statt, und es liegt nahe, einen inneren Zusammenhang der beiden Erscheinungen aufzusuchen, für dessen Feststellung aber die bis jetzt vorliegenden Beobachtungsreihen noch nicht genügen. Die Zerstreuungsmessungen auf Capri und in Triest ergaben entsprechend dem dortigen konstanteren Klima überhaupt keinen scharf ausgesprochenen Unterschied für die einzelnen Jahreszeiten. Das Junimittel lag z. B. in einem Jahr in Triest unter dem Mittel des Januar; während in Capri in letzterem Monat in einem Jahr das Minimum, im darauf folgenden ein dem Maximum nahe kommender Wert beobachtet wurde. In Karasjok ist der aus den Beobachtungen eines Jahres sich ergebende Gang der Zerstreuung sowohl als der Ionisation ein sehr regelmäßiger mit einem Minimum Anfang Februar und einem Maximum Ende August. Bemerkenswert ist, daß das Minimum erst eintritt, wenn

1) A. Defant, Met. Zt. **23**, 229, 1906.
2) E. Kircher l. c.

die Sonne, die 2 Monate lang unter dem Horizont gestanden hatte, wieder sichtbar geworden ist, und ebenso das Maximum, wenn sie bereits wieder einige Stunden unter den Horizont tauchte.

Im allgemeinen gehen in Mitteleuropa die Werte der Ionisation beim Erscheinen der winterlichen Schneedecke stark herunter. Nach den Untersuchungen des Verfassers scheint aber nicht die Schneedecke an und für sich, sondern nur die mit ihrem Auftreten verbundene Herabsetzung der Temperatur die Ursache der Erscheinung zu sein. Q erreicht im allgemeinen in der kalten Jahreszeit infolge der intensiven Bildung von Dunstschichten sein Maximum.

In dem heißen und trockenen Sommer 1904 beobachtete Zölss in Kremsmünster auffallend niedere Zerstreuungswerte, ebenso der Verfasser in Freiburg (Schweiz). Dagegen ergab sich an letzterem Ort in dem ebenso trockenen Herbst 1906 keine Erniedrigung, sondern im Gegenteil eher eine Erhöhung der Ionisation. Es ist also nicht ausgeschlossen, daß den Erscheinungen des Sommers 1904 eine kosmische Ursache zugrunde liegt.

**12. Die Änderung der Leitfähigkeit mit der Höhe**[1]. Wegen der starken Wirkung des Erdfeldes sind die Messungen auf Bergspitzen zur Bestimmung der Änderung der Leitfähigkeit mit der Höhe nicht brauchbar. Auch in dem hierfür allein zu verwendenden Ballon sind gewisse Vorsichtsmaßregeln nötig, die im nächsten Kapitel besprochen werden. An dieser Stelle möge nur bemerkt werden, daß auch das Auswerfen von Sandballast zu einer Fehlerquelle werden kann infolge der Adsorption der Ionen durch den Sand. Schon die ersten mit Hilfe des Zerstreuungsapparates vorgenommenen Messungen, wenn sie auch nicht ganz einwandfrei sind, ergaben einen Verlauf der Leitfähigkeit, der später durch Messungen mit dem Aspirationsapparate bestätigt wurde. Danach ist in den unteren 3000 m der Verlauf der Leitfähigkeit ein sehr wechselvoller. Derselbe ist vollständig durch die relative Feuchtigkeit und den Staubgehalt der einzelnen Schichten gegeben. Bei der regelmäßigen Schichtung, wie sie bei anticyklonaler Witterung beobachtet wird, ändert sich auch bei der Abwesenheit von Wolken

1) H. Ebert, Münch. Sitzb. **30**, 511, 1901 u. **31**, 35, 1902; Terr. Magn. **6**, 97, 1901; Ann. d. Phys. **5**, 718, 1901; Met. Zt. **18**, 340, 1901; H. Gerdien, Götting. Nachr. 1903, 328; 1904, 277; 1905, 240, 258 u. 447; Terr. Magn. **10**, 65, 1905; Linke, Abhandl. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, N. F. **3**, 5, 1904; G. Lüdeling, Illustr. aeron. Mitt. 1903, 10.

die Leitfähigkeit oft sprungweise mit dem Dampfgehalt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Leitfähigkeit in der Höhe von 2000 bis 3000 m und derjenigen in der Nähe des Bodens läßt sich nicht feststellen; im Gegenteil konnte Ebert sogar bemerken, daß die elektrischen Verhältnisse in einer Luftschicht dadurch, daß sie vom Boden aufsteigt, keine Veränderung erfahren. Andere Verhältnisse werden erst beobachtet, wenn der Ballon über diejenige Höhe hinaussteigt, welche die im Laufe des Tages aufsteigenden Luftströme erreichen. Von diesem Punkte an wächst mit dem abnehmenden Staubgehalt auch die Leitfähigkeit. Diese Steigerung kann bis zu einer Ionendichte von 2,1 E.S.E. im cbm gehen. Sie wird regelmäßig beobachtet im Gebiet einer Anticyklone und erleidet natürlich Störungen durch die in einem Depressionsgebiet sich einstellenden aufsteigenden Luftströme. Aber selbst innerhalb einer solchen fand Gerdien am 30. VIII. 05 in 6000 m Höhe den Anteil der positiven Ionen an der Leitfähigkeit $\lambda_+$, zu $11{,}24 \times 10^{-4}$ und $\lambda_-$ zu $9{,}21 \times 10^{-4}$ gegen 1,74 resp. 1,80 in 1700 m Höhe. Auch diese an der unteren Grenze einer Strato-Cumulus-Decke gefundenen Werte sind noch doppelt so groß als die am Erdboden beobachteten. Bei 3000 m war innerhalb der aufsteigenden Altocumuli und Gewitterwolken $\lambda_+ = 1{,}90 \times 10^{-4}$, $\lambda_- = 3{,}44 \times 10^{-4}$. Von der Grenze des Wolkenmeeres an steigen $\lambda_+$ und $\lambda_-$ regelmäßig an. Dabei ist zu beachten, daß $\lambda$ das Produkt der spezifischen Ionendichte und spezifischen Ionengeschwindigkeit ist. Letztere ist in reiner Luft umgekehrt proportional dem Luftdruck, sinkt aber stark bei hohen Feuchtigkeitsgraden; die in der Wolke gefundenen Leitfähigkeitswerte lassen daher hohe spezifische Ionendichten vermuten. Bemerkenswert erscheint unter diesen Umständen der nicht nur relativ, sondern auch absolut hohe Gehalt der aufsteigenden Wolken an negativen Ionen. Verfasser hat diese Vermehrung der Ionen innerhalb der aufsteigenden Wolken auch auf dem Brienzer Rothorn beobachtet. Innerhalb einer ruhenden Dunstschicht oder Wolke kann dagegen der Ionengehalt, wie es auch am Boden der Fall ist, bis auf 0,1 E.S.E. herabgehen. An der oberen Grenze einer solchen Absorptionsschicht beobachtet man bei der Abwesenheit von aufsteigenden Luftströmen stets einen starken Überschuß positiver Ionen. In reiner Luft nimmt, wie schon Ebert bei seinen ersten Fahrten feststellen konnte, die Unipolarität nach oben hin ab.

Der höchste oben erwähnte Wert von $I_+ = 2{,}12$ wurde von Gerdien in einer Höhe von 4320 m gefunden. Bis 2000 m reichte

eine Strato-Cumulus-Decke, darüber war wolkenloser tiefblauer Himmel. Daß andererseits auch in den höchsten Höhen, in denen bis jetzt gemessen wurde, sehr niedere spezifische Ionendichten 0,24—0,28 gefunden wurden, kann nicht verwundern, wenn man bedenkt, daß die Luftströme, welche die Cumuli und die Cirren erzeugen, in viel größere Höhen hinaufreichen.

Auch die spezifische Geschwindigkeit, die wie schon bemerkt, im allgemeinen mit Höhe und Luftdruck umgekehrt proportional zunimmt, also in 5500 m schon das Doppelte des am Erdboden vorhandenen Wertes erreicht, nämlich ca. 3 cm/sek., vermindert sich stark in der Nähe der Cumuluswolken, entsprechend der Verminderung, die sie auch am Boden über Dunstschichten erleidet.

Über die Leitfähigkeit, die in Höhen über 7000 m herrscht, ist nichts sicheres bekannt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß nicht nur die spezifische Geschwindigkeit, sondern auch die Ionendichte in diesen Höhen zunimmt, und zwar als Folge der starken Absorption ultravioletter Strahlen in diesen Schichten. Möglich wäre auch in den allerhöchsten Schichten eine Ionisierung durch von der Sonne ausgehende Elektronen. Lecher[1]) glaubt auf Grund von Laboratoriumsversuchen sogar schließen zu dürfen, daß Gase bei einem Druck von 0,3—0,5 mm, wie er in der Atmosphäre in Höhen von 50—70 km herrscht, eine spezifische Leitfähigkeit besitzen, welche die der best leitenden Elektrolyte übertrifft. Der Schluß von dem Verhalten der elektrischen Schwingungen in einem Gefäß unterworfenen Gase auf das der Gase in der freien Atmosphäre ist nicht ganz einwandfrei, doch sprechen auch die Erscheinungen des Polarlichtes für das Vorhandensein einer hohen Leitfähigkeit der Atmosphäre in Höhen von 50—100 km.

1) E. Lecher, Phys. Zt. **4**, 33, 1903.