

Terrestrial Magnetism *and* *Atmospheric Electricity*

VOLUME VI

OCTOBER 1901

NUMBER 3

VERTEILUNG DER ELECTRISCHEN IONEN IN DEN HÖHEREN SCHICHTEN DER ATMOSPÄRE.

Von H. EBERT, München.

Durch die wichtigen Untersuchungen der Herren J. Elster und H. Geitel¹ scheint es ausser Zweifel gestellt zu sein, dass die schon früher bemerkte und namentlich von Herrn Linss² eingehender studierte electricische Leitfähigkeit der natürlichen atmosphärischen Luft auf dem Vorhandensein von frei beweglichen, electricisch geladenen Teilchen „Ionen“ beiderlei Vorzeichens beruhe. Die genannten Forscher benutzen zur Reduction der Angaben des von ihnen zur genaueren Prüfung dieser Erscheinung construierten Zerstreungsapparates das von Coulomb aufgestellte Zerstreungsgesetz, wonach der Electricitätsverlust eines geladenen, in der Luft aufgestellten, gut isolierten electricischen Conductors proportional der Oberflächendichte ist.

Der Gedankengang, auf welchem Coulomb zu seinem Gesetze gelangte, weicht aber weit von der Vorstellung ab, welche wir uns heute auf Grund der Ionentheorie der Gasleitung von dem Vorgange zu machen haben; denn diese ist ein Ergebnis der allerneuesten Forschungen, namentlich des Herrn J. J. Thomson in Cambridge und

¹ J. ELSTER UND H. GEITEL: Ueber die Existenz electricischer Ionen in der Atmosphäre, *T. M.*, Vol. IV, p. 213, 1899; vergl. ferner: Ueber einen Apparat zur Messung der Electricitätszerstreuung in der Luft; *Physikal. Zeitschrift* 1, S. 11, 1899. Ueber Electricitätszerstreuung in der Luft; *Ann. der Physik*, 2, S. 425, 1900. J. ELSTER: Messungen der electricischen Zerstreuung in der freien atmosphärischen Luft an geographisch weit von einander entfernt liegenden Orten, *Physikal. Zeitschrift*, 2, S. 113, 1900. H. GEITEL: Ueber die Electricitätszerstreuung in abgeschlossenen Luftmengen; *Physikal. Zeitschrift*, 2, S. 116, 1900.

² LINSS, *Meteorologische Zeitschrift*, Bd. IV, p. 345, 1887.

[PLATE III.]



Bezan

seiner Schüler. Es entsteht also die Frage, ob die Annahme jenes Zerstreuungsgesetzes auch von diesem Standpunkte aus berechtigt ist. Wir wollen zunächst zeigen, dass dieses in der That der Fall ist.

I.

In der Raumeinheit des ionisierten Luftmediums mögen sich p positive und n negative Ionen befinden; die Ladung eines jeden Ions der ersten Art sei π , die eines negativen Ions, ν , E. S. Einheiten. Es ist nach Analogie mit den künstlich ionisierten Gasen zu vermuten, dass auch für die Ionen der Atmosphäre bis auf das Vorzeichen $\pi = \nu$ ist. Unter der Wirkung eines Potentialgefälles von einer E. S. Spannungseinheit pro cm mögen die plus Ionen eine Geschwindigkeit von u cm/sk , die minus Ionen eine solche von v cm/sk annehmen. Ich konnte mich durch Versuchsreihen, bei denen ein abgemessenes Luftquantum durch den Zwischenraum zwischen zwei conachsal in einander gesteckten Röhren, von denen die innere geladen war und mit dem Electroscope in Verbindung stand, die äussere zur Erde abgeleitet war, davon überzeugen, dass $u < v$ ist, wie es bei allen seither quantitativ untersuchten Beispielen von Ionenleitung in Gasen gefunden wurde.

Dann ist die Leitfähigkeit

$$\lambda = p \pi u + n \nu v, \quad (1)$$

denn diese Grösse stellt die unter der Wirkung des Gefälles r durch die Querschnittseinheit in der Zeiteinheit, im Sinne der Kraftlinien des Feldes hindurchgehende *positive* Electricitätsmenge dar. Diese Leitfähigkeit wird im Allgemeinen unipolar sein, schon weil die Ionenconcentrationen p und n für beide Vorzeichen nicht einander gleich sind. So überwiegen z. B. in der Nähe des negativ geladenen Erdkörpers meistens die plus Ionen, $p > n$, was besonders über Bergspitzen hervortritt, über denen die Niveauflächen des Erdpotentials enger zusammengedrängt sind.

In diese Atmosphäre mit der so bestimmten Leitfähigkeit λ denken wir uns einen isolierten, etwa positiv geladenen Metallkörper gebracht, dessen Isolation so gut sein möge, dass wir die Isolationsverluste vernachlässigen können, oder der so aufgestellt sein soll, dass wir, wie beim Elster-Geitel'schen Zerstreuungskörper, die auf Stützenleitung zu schiebenden Electricitätsverluste gesondert bestimmen und in Abzug bringen können. Der Einfachheit halber nehmen wir an, dass der Körper eine Kugel sei, etwa vom Radius r_0 cm , auf der wir durch Ladung bis zum Potentiale V die Electricitätsmenge $+E$ versammeln, so dass $r_0 = E/V$ die Capa-

cität des Systems und $E = r_0 V$, $V = E/r_0$ ist; die Flächendichte $E/4\pi r_0^2$ bezeichnen wir mit δ , so dass $V = 4\pi r_0 \delta$ ist. Dann ist die Kraft, welche in der Entfernung r auf die Mengeneinheit ausgeübt wird, E/r^2 . Denken wir uns eine Kugelschale in dieser Entfernung construiert, so tritt durch die Flächeneinheit derselben in der Zeiteinheit die Ionenladung $n v v E/r^2$ von aussen in die Kugel hinein, während die positive Ladung $\rho \pi u E/r^2$ mit ihren Trägern aus der Kugel entfernt wird. Durch die ganze Kugel tritt also ein, bezw. aus die Menge

$$4\pi n v v E, \text{ bezw. } 4\pi \rho \pi u E. \quad (2)$$

Die unter der Wirkung eines Gefälles transportierte Ionenmenge ist also *unabhängig von der Entfernung*, an der wir die Wanderung betrachten. Denken wir uns also um die geladene Kugel ein ganzes System concentrischer Kugelschalen gelegt, so passieren in der gleichen Zeit durch jede einzelne Kugel überall dieselben Ionenmengen. Wir können diese Betrachtung bis dicht an die Kugel heran erstrecken: In dem Momente, in welchem wir die Metallkugel laden, beginnt ein Heranwandern der Ionen vom entgegengesetzten Vorzeichen; dieses Wandern lässt durch jeden Querschnitt eine ganz bestimmte Ionenmenge hindurchtreten; wir erhalten einen „Ionenstrom“ und die Stromstärke ist nach 2) proportional der wahren Ionenconcentration und der Ladungsmenge auf dem das Feld liefernden Metallkörper. Durch diesen Strom wird die Ladung des Körpers mit einer gewissen Geschwindigkeit neutralisiert. Wir haben uns also den Vorgang der Spannungsabnahme des geladenen Körpers nicht als eine „Zerstreuung“ seiner Ladung in das umgebende Luftmedium hinein vorzustellen, sondern als einen Neutralisationsvorgang durch Ladungen, die in diesem Medium bereits präformiert vorlagen und durch die Ladung des Körpers herbeigezogen werden. Ich möchte daher auch, nachdem der Beweis des Vorhandenseins freier Ionen in der Luft durch Elster und Geitel erbracht ist, statt der als nicht zutreffend erkannten Bezeichnung „Zerstreuungskörper“ lieber eine andere, etwa „Spannungskörper“ in Vorschlag bringen.

Die in der Zeiteinheit neutralisierte Electricitätsmenge ist

$$e = A E, \quad (3)$$

wo A für den positiv geladenen Spannungskörper

$$A_+ = 4\pi n v v$$

für den negativ geladenen

$$A_- = 4\pi \rho \pi u$$

zu setzen ist.

Drücken wir die Ladung durch Capacität und Spannung des Körpers aus, so ist

$$e = A r_0 V, \quad (4)$$

oder bei Einführung der Ladungsdichte δ ist

$$e = 4 \pi A r_0^2 \delta. \quad (5)$$

Man erkennt leicht, dass ganz analoge Ausdrücke gelten, wenn wir statt eines kugelförmigen Spannungskörpers einen irgendwie anders gestalteten einführen; es tritt dann die Capacität desselben c an Stelle von r_0 .

Formel (4) lässt erkennen, dass wir um so grössere neutralisierte Electricitätsmengen in derselben Zeit bei gegebenem Potentiale zu erwarten haben, je grösser r_0 , d. h. je grösser der Spannungskörper selbst ist. Bezüglich der zur Ladung zu verwendenden Spannungen V sind wir an gewisse Grenzen gebunden, wenn wir, wie es am bequemsten ist, eine Trockensäule benutzen. Um nicht zu grosse Körper, deren Isolation zu Schwierigkeiten Anlass geben würde, verwenden zu müssen, haben die Herren Elster und Geitel den Ausweg gefunden, den Zerstreungsapparat mit einem gleichmässig geladenen isolierten Fangkäfig zu umgeben (a. a O. p. 229). Je grösser der Käfig ist, um so grössere Ionenmengen wird er nach (4) in derselben Zeit bei geometrisch ähnlicher Gestalt und derselben Ladespannung in Bewegung setzen. Ein Teil der Ionen wird zwar gegen die Maschen des Käfigs fliegen und den entsprechenden Betrag seiner Ladung neutralisieren, so dass die Ladesäule dauernd angeschlossen bleiben und immer neue Ladung herbeischaffen muss; ein Teil wird aber dieses Ziel verfehlen und in das Innere eindringen. Die auch von mir oft und bei allen möglichen Witterungslagen verificierte Erscheinung, dass der gleichnamig geladene Käfig die am Spannungscylinder beobachtete Neutralisationsgeschwindigkeit steigert, zeigt, dass selbst ein weitmaschiges Drahtgewebe nach seinem Innern hin so viel electrostatischen Schutz gewährt, dass die einmal in das Innere gelangten Ionen durch die Käfigladung nicht wieder herausgezogen werden.

Bei Beobachtungen im Freien ist nicht ausser Acht zu lassen, dass der Käfig auch unter der oft rasch wechselnden Influenzwirkung des Erdfeldes steht. Es ist darum gut, die Käfigladung so hoch zu steigern, dass die Schwankungen des atmosphärischen Gradienten wenigstens während eines Beobachtungssatzes ausser Betracht bleiben können; am besten lässt man zur Controle der Ladungshöhe ein zweites Electroskop mit dem Käfig dauernd in

Verbindung, wenn man nicht vorzieht, neben den Messungen der Leitfähigkeit solche des Spannungsgefälles gleichzeitig auszuführen, was in der That neue und wichtige Aufschlüsse verspricht.

Die Formel (5) zeigt, dass der scheinbare, durch Ionenleitung vermittelte Electricitätsverlust der Oberflächendichte δ des geladenen Körpers proportional ist. Dies ist aber die Coulomb'sche Annahme; wir werden hier also formal auf dasselbe Ausgleichsgesetz geführt, wenn wir uns auch den Vorgang bei dem Verschwinden der Ladung nicht mehr als Entweichen dieser Ladung vorstellen.

II.

Sollte dies Letztere den Vorgang erklären, so müssten wir annehmen, dass die Wirkung proportional δ^2 , dem Quadrate der Dichte wachse; denn der Impuls, den die auf einem Leiter zusammengedrückte Electricitätsmenge auf ein einzelnes electricisches Teilchen dieser Ladung ausübt, und mit dem sie dieses von der Leiteroberfläche fortzustossen sucht, ist bekanntlich gleich $2 \pi \delta^2$. Ein Wirkungsgesetz von der Form

$$- dE / dt = - C dV / dt = b V^2$$

würde aber auf ein Gesetz der Spannungsabnahme von der Form

$$1 / V - 1 / V_0 = \frac{b}{C} t$$

führen, in gleichen Zeitabschnitten müssten also gleiche Unterschiede der reciproken Spannungswerte auftreten. Länger ausgeübte Beobachtungsreihen an dem Elster-Geitel'schen Spannungskörper, bei denen die Spannung etwa in Intervallen von 5 zu 5 Minuten bestimmt wurde, bestätigten eine derartige Spannungsabnahme durchaus nicht. Dagegen ist auch die durch Gleichung (5) ausgesprochene Beziehung, welche zu dem logarithmischen Gesetze der Spannungsabnahme führt, nicht immer im Stande, die Beobachtungen richtig wieder zu geben. Herr H. Geitel¹ zeigte an eingeschlossenen, ruhenden, staubfreien Luftproben, dass bei diesen in gleichen Zeiten gleiche Spannungsabnahmen eintreten; mit anderen Worten, da die Capacität dieselbe bleibt, dass *in gleichen Zeiten dieselben Electricitätsmengen, unabhängig von der Spannungshöhe, entladen werden*:

Das Coulomb'sche Zerstreungsgesetz würde in diesem Falle eine mit abnehmender Spannung immer mehr sich steigernde procentuale Zerstreung geben. Ich habe diese Erscheinung bei ruhigem, klarem Wetter auch im Freien nachweisen können und

¹ H. GETTEL, *Physikal. Zeitschrift*, Bd. 2, S. 116, 1900.

besonders deutlich tritt sie bei Untersuchungen im Luftballon auf. Hier besitzen die Luftmassen nur eine sehr geringe, meist nur auf Verticalströme beschränkte relative Bewegung gegenüber dem Instrumente, und hier zeigen die in Intervallen von 5 Minuten gemachten Ablesungen in der überwiegenden Zahl der Fälle eine Constanze der Ladungsverluste an, jedenfalls keine Abnahme derselben mit abnehmender Ladespannung V , wie sie nach Formel (4) zu erwarten wäre.

III.

Dieses eigentümliche Verhalten findet bei künstlich ionisierten Gasen sein Analogon. Schon J. J. Thomson¹ und E. Rutherford wiesen darauf hin, dass bei Gasen, welche durch Bestrahlung mit Röntgenstrahlen die Eigenschaft der Leitfähigkeit erhalten hatten, ein durch eine gewisse electromotorische Kraft in ihnen erzeugter Strom von der oben angegebenen Bedeutung zwar mit dem Ansteigen der electromotorischen Kraft ebenfalls wächst, aber nicht dieser proportional, wie es dem Ohm'schen Gesetze entsprechen würde, sondern immer langsamer als diese, so dass schliesslich von einem gewissen Werte an keine weitere Steigerung der Stromesintensität sich mehr erzielen lässt. In diesem Gebiete wird also von dem Ionenstromen auch hier immer nur eine ganz bestimmte Electricitätsmenge entladen, unabhängig vom Potentialwerte. Thomson und Rutherford führen die Erscheinung auf eine Art Sättigung zurück und wir müssen also annehmen, dass in allen *den* Fällen, in denen die entsprechende Erscheinung auch in der freien Luft auftritt, die Spannungsgradienten in der Umgebung des geladenen Körpers genügend hoch sind, um in der Luft den maximalen Strom, der bei der vorhandenen Ionenconcentration überhaupt möglich ist, wachzurufen.

IV.

Dies führt auf die Vorstellung, dass die in 1 cbm Luft unter normalen Verhältnissen enthaltenen Ionenmengen sehr geringe sein müssen. Dies hindert aber nicht, dass die Strömungen, die unter der Wirkung der in der Natur vorkommenden Potentialgefälle eintreten, so erhebliche Werte erreichen können, dass die mit ihnen notwendig verknüpften magnetischen Wirkungen merkbare Beträge annehmen. Setzen wir in Formel (5) die aus dem Spannungsgefälle an der Erdoberfläche abzuleitenden Werte der Dichte der Erdladung ein, so könnten wir die durch diese erzeugten

¹ J. J. THOMSON and E. RUTHERFORD. On the passage of Electricity through gases exposed to Röntgen rays. *Phil. Mag.*, Vol. 42, p. 392, 1896.

Stromstärken berechnen, wenn uns die Grössen A für beide Ionenarten bekannt wären. Ein ungefähres Urteil über die Grössenordnung dieser Ströme lassen die bisherigen Zerstreungsmessungen bereits zu. Es ist 1 q cm der Erdoberfläche im Winter mit ca. — 0.00125 E. S. Einheiten (entsprechend einem mittleren Gefälle von 400—500 Volt/Meter) im Sommer mit — 0.00016 Einheiten (etwa 70—80 Volt/Meter entsprechend) geladen, d. h. pro q km mit 12.5×10^6 bzw. 1.6×10^6 Einheiten. Entladungen von 108 pro Minute bei negativ geladenen Spannungskörpern kommen an der Erdoberfläche vor. Wir würden zur Neutralisation der genannten Erdladung also auf eine Einwanderung von + Electricität im

Betrage von $\frac{12.5}{6} \times 10^4$ bzw. $\frac{1.6}{6} \times 10^4$ E. S. Einheiten pro sec. zu

schliessen haben, was Stromstärken von 7×10^6 bzw. 0.9×10^6 Ampère auf 1 q km entspricht. Das 4π -fache dieser Stromstärke würde dem Linienintegrale (erstreckt um das Einwanderungsgebiet herum) desjenigen Anteils der Horizontalcomponente des Erdmagnetismus entsprechen, welcher diesem Luft-Erdstrome seine Entstehung verdankt. Der auf das Gebiet vom 1 q km entfallende Ionenstrom würde unter normalen Bedingungen zu schwach sein, um direkt magnetometrisch nachweisbar zu sein.

Es sei aber auf die wichtigen Untersuchungen von Herrn L. A. Bauer¹ über solche Verticalströme hingewiesen, welche das unzweifelhafte Resultat ergaben, dass *über ausgedehnteren Gebieten* solche auf- und absteigende electriche Ströme in dem magnetischen Verhalten des Erdkörpers sich kund thun. Diese Gebiete sind aber gerade solche, welche auch in dem Circulationssysteme der Atmosphäre ausgezeichnet sind, und es kann die Vermutung nicht von der Hand gewiesen werden, dass die Ionen etwa in den höheren Schichten des Luftmeeres durch einen noch näher aufzuklärenden Process erzeugt und etwa durch Niederschläge von einander gesondert werden (die —Ionen condensieren nach Wilson leichter und schneller den Wasserdampf als die +Ionen). Werden sie dann in den Circulationsprocess des Luftmeeres hineingezogen, so müssen sie ziemlich regelmässig verlaufende Stromsysteme erzeugen, denen bestimmte mittlere magnetische Anomalien entsprechen.

Auf kleineren Gebieten dürften sich die rascheren, plötzlich verlaufenden Concentrationsänderungen in Folge von starken, aber kurz dauernden Ionenströmen am ehesten in den Feinregistrierun-

¹ L. A. BAUER, *T. M.*, Vol. II, p. 11, 1897.

gen der Horizontalcomponente an räumlich nicht zu weit entfernten Beobachtungsstationen widerspiegeln; gleichzeitige Beobachtungen des Ionengehaltes der Luft und seines Wechsels in dem von den erdmagnetischen Stationen umschlossenen Gebiete sind daher äusserst empfehlenswert.

Wie man sieht, ist hier der Forschung ein weites Feld eröffnet worden, auf dem das Zusammenwirken vieler Beobachter an weit verteilten Stationen erwünscht ist.

V.

Ich habe mich zunächst der Erforschung einer Frage zugewandt, deren Beantwortung deshalb von besonderer Bedeutung erschien, weil sie am ehesten über den Ursprung der Ionisation der Atmosphäre und die Einflüsse des Erdpotentials und der atmosphärischen Strömungen auf die Ionenverteilung Auskunft zu geben verspricht: die Frage nach der *Verteilung der freien Ionen mit der Höhe*. Beobachtungen auf Höhenstationen leiden immer unter dem störenden Einflusse der Erdladung, der hier besonders gross ist, da er durch Spitzenwirkung gesteigert wird. Ich verwandte das Hilfsmittel, auf dessen grosse Bedeutung im gegenwärtigen Falle bereits die Herren Elster und Geitel in dem oben genannten Aufsätze p. 233 hinwiesen, den Freiballon. Ich habe bis jetzt drei Fahrten zum genannten Zwecke unternommen. Zunächst war genau festzustellen, ob nicht etwa der Ballonkörper selbst die Beobachtungen beeinflusse. Hierüber liegen nun bereits wichtige Versuche vor, die durch die Ueberzeugung veranlasst worden waren, dass eine Ballonladung ja auch die schon früher im freien Luftmeere angeordneten Potentialmessungen gestört haben würde.

Herr J. Tuma¹ hing, einem Vorschlage des Herrn R. Börnstein² folgend, drei Tropfcollectoren in verschiedener Höhe und zwei dazwischen geschaltete Electroscope an dem Korbrande des Ballons auf; hatte der Ballon eine merkliche Eigenladung, so mussten sich verschiedene Gradienten in verschiedener Entfernung von ihm ergeben. Herr Tuma konnte aber auf diese Weise *keine* Ballonladung nachweisen. Sollte der Ballon negativ geladen dem Erdboden entsteigen, so müssen wir annehmen, dass sich seine Ladung sehr bald zerstreut, namentlich unter Bedingungen wie bei meinen

¹ J. TUMA, Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Electricität III. Luft-electricitätsmessungen im Luftballon. *Sitz.-Ber. d. Wiener Acad. math.-phys. Cl.*, Abteil. II a, p. 227, 1899.

² R. BÖRNSTEIN, Electricische Beobachtungen bei Luftfahrten unter Einfluss der Ballonladung. *Wied. Ann.* 62, p. 680, 1897.

Fahrten, bei denen der Ballon in wenigen Minuten in die intensivste Bestrahlung durch die Sonne geriet.

Dass aber auch der stark bewegte und am Netze gezerrte Ballon keine Ladung etwa durch Reibung des Netzes gegen die Hülle von einem Betrage annimmt, dass dadurch die Messungen der Leitfähigkeit beeinträchtigt würden, habe ich noch besonders, und zwar vor dem dritten Aufstiege, bei dem die Witterungsverhältnisse dazu sehr günstig waren, festgestellt: Während das Electroscop mit Schutzdach negativ geladen auf einem kleinen Wagen stand, wurde die Ballonkugel, als sie aus der Ballonhalle gebracht wurde, so dicht wie möglich an das Instrument herangeführt. Nicht das geringste Zucken der Blättchen war bemerkbar, die Zerstreuung zeigte vor und nach dem Herannahen des Ballons keinen Unterschied.

Wenn auch die Untersuchungen über einen eventuellen Einfluss des Ballons und seiner Teile auf die Messungen der Neutralisationsgeschwindigkeit einer electrischen Ladung in seiner Nähe fortgesetzt werden sollen, so glaube ich doch schon nach den bisherigen Erfahrungen schliessen zu dürfen, dass dieser Einfluss, wenn er überhaupt vorhanden ist, jedenfalls nur ein sehr geringer sein kann. Dass die Entladungsgeschwindigkeiten, in grossen Höhen wenigstens, für beide Vorzeichen nahezu gleich schnell erfolgen, wie weiter unten gezeigt wird, ist ein weiterer Beleg dafür, dass der Ballon als ein unelectrischer Körper zu betrachten ist.

VI.

Immerhin könnte der Ballon in indirekter Weise stören. Der Zerstreuungsapparat wurde bei den beiden ersten Fahrten innerhalb der Gondel, bei der dritten auf einem Tischchen ausserhalb derselben aufgestellt. Der Ballon mit seiner Gondel befindet sich dauernd in dem electrischen Felde der Erde; schreiben wir seinem Materiale ein, wenn auch nur schwaches Leitvermögen zu, so wird bei normalem (positivem) Potentialgefälle sein oberer Teil negativ, sein unteres, mit der Gondel versehenes Ende dagegen positiv durch Influenzwirkung geladen werden. Also, wenn gar keine Eigenladung des Ballons vorhanden wäre, würden sich bei positivem Gefälle — Ionen um die Gondel scharen, während sich über dem Ballon eine Atmosphäre mit einem Ueberschusse an + Ionen ansammeln könnte; bei negativem Gefälle würden die Ladungen umgekehrt sein. Hierdurch könnte der Ballon die Zerstreuungsbeobachtungen stören. Dass solche Störungen wirklich auftreten sollten, ist aber wenig wahrscheinlich.

Die zweite und dritte Fahrt fand jedenfalls unter dem Einflusse der normalen Schönwetterelectricität, also bei positivem Gefälle, statt. Wäre die genannte Influenzwirkung massgebend gewesen, so hätte der +geladene Zerstreuungskörper schneller als der —geladene sich entladen müssen, einen Ueberschuss von —Ionen anzeigend. Gerade das Umgekehrte wurde aber — in den unteren, der Erde nahen Schichten wenigstens — angetroffen, negative Ladungen wurden schneller zerstreut, einen Ueberschuss an positiver Ladung in der Atmosphäre anzeigend, wie es auch am Boden bei normalem Gefälle meist der Fall ist.

VII.

Zu den Beobachtungen wurde ein Zerstreuungsapparat in der von den Herren Elster und Geitel angegebenen Form benutzt. Um Parallaxenfehler zu vermeiden, war mit dem den ganzen Apparat tragenden Dreifuss ein Arm fest verbunden, welcher ein genau in der Höhe der Skala befindliches, von den Blättchen um 28 cm entferntes Diopter trug. Hinter dasselbe konnten Brillengläser von verschiedener Zerstreuungs-, bzw. Brennweite, eingeschoben werden, damit von den verschiedenen Beobachtern, welche das Instrument zu benutzen hatten, genau auf die Blättchen accommodiert werden konnte. Es wurde auch im Ballon mit dem Schutzdache gemessen.

Die Anwendung desselben hat dann, wenn die Relativbewegung der Luftmassen gegen das Instrument eine geringe ist, den Nachteil, dass das Herantreten der ionenenthaltenden Luft an den Zerstreuungskörper beschränkt wird, und daher die beobachteten Entladungsgeschwindigkeiten klein werden. Dann empfiehlt sich die Beobachtung mit dem isolierten gleichnamig geladenen Fangkäfig mehr, in dessen Innerem der Zerstreuungsapparat (Electroscopgehäuse mit der Innenwand des Käfigs leitend verbunden) aufgestellt wird. Dieser Käfig steht dann freilich unter der Influenzwirkung des äusseren Feldes, wird also bei normalem (positivem) Potentialgefälle oben negativ, unten positiv geladen. Er würde also das Heranziehen von +Ionen von oben her an den Zerstreuungskörper begünstigen und bei dem überaus raschen Wechseln der Spannungen im Erdfelde, die nicht selten Platz greifen, die Beobachtungen in uncontrolierbarer Weise stören. Da der Käfig $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ m hoch ist, so können Spannungsdifferenzen im Erdfelde bis zu 200 Volt in dem seiner Höhe entsprechenden Niveaunterschiede auftreten. Bis zu einem gewissen Grade umgeht man diese Schwierigkeit, wie schon oben erwähnt, dadurch,

dass man den Käfig mittelst der angehängten Trockensäule bis zu einem möglichst hohen Potentiale lädt.

Da man sich aber auf die Constanz der Ladesäulen nie ganz verlassen kann, so muss man eigentlich mit dem Käfige dauernd noch ein zweites, weniger empfindliches Electroskop in Verbindung setzen; mittels der Abstechnadel greift man dann an der Trockensäule ein solches Stück ab, dass immer ein bestimmtes Potential erhalten bleibt; die Fangwirkung des Käfigs ist dann eine bestimmte.

VIII.

Die Anwendung eines dauernd mit der Ladesäule in Verbindung gehaltenen Käfigs, und zwar eines ziemlich engmaschigen, bei Beobachtungen im Freien empfiehlt sich noch aus einem anderen Grunde mehr als die eines einfachen, unten offenen Schutzdaches. Beobachtet man im Sommer etwa auf einer Wiese, oder im Walde, so fliegen Insekten sehr häufig von unten her auf den Zerstreuungskörper. Da die Capacität ihrer Körper klein ist, so nehmen sie freilich immer nur einen kleinen Teil der Ladung beim Wegfliegen mit sich, aber die wahre Zerstreuung wird dadurch doch verändert. Wenn die Insekten zufälliger Weise an die enge Trennungsfuge zwischen dem Electroscopeckel und dem Stil des Zerstreuungskörpers kommen, können sie leicht den geladenen Zerstreuungscylinder ganz entladen.

Die genannte Stelle bildet überhaupt einen schwierigen Punkt der bisherigen Construction. Sitzt der Stil des Körpers nicht ganz fest in der für ihn bestimmten Vertiefung am oberen Kopfe des Blättchenhalters, so kann sich beim Schiefstehen des Stiles das Capacitätsverhältnis n (siehe die Arbeit von Elster und Geitel) nicht unerheblich ändern. Man darf die Oeffnung im Electroscopeckel nicht zu weit machen, weil sonst jeder Luftzug die Blättchen bewegt und leicht zum Anschlagen bringt, wodurch natürlich eine völlige Entladung eintritt. Hier bietet ein engmaschiger Käfig wiederum Vorteile, da er die Wirkung von Luftstößen dämpft. Man kann dann bei ruhigem Wetter eventuell ohne Electroscopeckel arbeiten; dann ist der Stil von dem Hals des Electrosopes so weit entfernt, dass Störungen kaum mehr zu befürchten sind.

Der Fangkäfig erhält am besten nach aussen an einer Seite ein verstellbares, dünnes Metallblech, welches jedesmal so gestellt wird, dass es die direkten Sonnenstrahlen vom Zerstreuungskörper und seinem Stil abhält. Das Dioptr, von dem oben die Rede war, verbindet man dann am besten direkt mit der Fussplatte des Käfigs,

auf dem der Zerstreuungsapparat befestigt wird. Auf der Diopterseite hat der Käfig dann eine mit einem Stück Spiegelglas geschlossene Oeffnung.

IX.

Sowohl *vor* wie auch insbesondere *nach* jeder Fahrt wurden längere Messungsreihen mit dem Apparate am Boden angestellt, um sich von seiner Unveränderlichkeit zu überzeugen und über den Gang der Zerstreuung mit der Tageszeit für die betreffende Wetterlage ein Urteil zu gewinnen. Insbesondere wurden am Abfahrtsplatze und am Landungsplatze Messungen angestellt. Ferner wurden die Constanten des Apparates wiederholt geprüft, und namentlich Isolationsmessungen häufig vorgenommen, wobei sich ergab, dass die in grossen Höhen gemessenen ganz enormen Zerstreuungsgeschwindigkeiten *nicht* etwa auf einem Nachlassen der Isolation beruht, die sich immer bei den von Oscar Günther in Braunschweig bezogenen Originalapparaten trefflichst bewährt hat.

Wenn, wie bei der dritten Fahrt, gleichzeitig Controlmessungen am Boden vorgenommen wurden, waren die beiden verwendeten Instrumente ebenfalls vorher und nachher am selben Standort gleichzeitig arbeitend mit einander verglichen worden.

Es zeigt sich, dass selbst bei zwei möglichst gleich gearbeiteten Apparaten in den Angaben der procentualen Entladungsgeschwindigkeit, die von der Capacität des Apparates und der Ladungshöhe unabhängig sein sollte, constante Abweichungen auftreten. Doch lassen sich aus solchen Simultanbeobachtungen am selben Orte Reductionsfactoren ableiten, welche die Angaben der beiden Apparate mit genügender Sicherheit auf einander beziehen lassen. Ein solcher Reductionsfactor wurde auch für den Fall abgeleitet, dass *im* Ballon mit dem Fangkäfig, am Boden ohne einen solchen beobachtet wurde, wodurch die Angaben beider Instrumente wiederum mit einander vergleichbar gemacht werden.

X.

ERGEBNISSE DER FAHRTEN.¹

Die *erste*, am 30. Juni 1900 bei sommerlichem Wetter unternommene *Fahrt*, war eine erste Orientierungsfahrt, bei der auch Messungen über die Abnahme der erdmagnetischen Horizontalinten-

¹ Die Einzelheiten der hier mitgetheilten Beobachtungen, namentlich die Reductionen der Instrumente auf einander, sowie die meteorologischen und aëronautischen Details finden sich in zwei Mittheilungen in den *Sitzungsberichten der k. bayer. Acad. d. Wissensch.*, mathem.-phys. Classe, Bd. 30, Heft 3, p 511, 1900, und Bd. 31, Heft 1, p. 35, 1901.

sität mit der Höhe angestellt wurden, über welche bei anderer Gelegenheit im Zusammenhange berichtet werden soll.

Schon als die Messungen begannen, hatten sich an den verschiedensten Punkten gewaltige Cumuluswolken von der Hochebene aus erhoben, die mit ihren Köpfen bis in unsere Höhe heraufreichten. Es ist klar, dass in diesen direkt vom Boden aufsteigenden Luftmassen nicht wesentlich andere Ionenmengen erwartet werden konnten, wie am Boden selbst. Ausserdem hatte aber durch die Verticalströmungen eine sehr intensive *Mischung* der verschiedenen Luftarten stattgefunden. Es kann daher nicht Wunder nehmen, dass bei diesem labilen Zustande der Atmosphäre die *Leitfähigkeit der Luft in der Höhe nicht mehr unipolar, sondern innerhalb der Fehlergrenzen für beide Vorzeichen gleich gross war.*

Dieses Beispiel lehrt recht augenfällig, dass es unmöglich ist, ein für *alle* Witterungslagen passendes Gesetz über die Verteilung der Luftpolarität mit der Höhe auffinden zu wollen.

Bei dieser Fahrt drangen wir auch verschiedene Male in die Köpfe von Cumulussäulen selbst ein; daselbst befand sich der Wasserdampf der Luft am Condensationspunkt, wie das Assmann'sche Aspirationspsychrometer bestätigte. In diesem Falle war das Zerstreuungsvermögen nur noch $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ von dem normalen, ganz in Uebereinstimmung mit dem von Elster und Geitel angestellten Versuche, dem zu Folge die Ionen in ihrer Beweglichkeit lahm gelegt werden, sowie sie sich als Condensationskerne mit grösseren Massen von condensiertem Wasser beladen.

Nachdem die erste Fahrt gezeigt hatte, dass man mit der neuen Methode luftpolarische Messungen im Freiballon anstellen kann, dass die Instrumente sich durch die Fahrt selbst nicht ändern, und nachdem eine Reihe von Erfahrungen gesammelt und die Vorversuche als abgeschlossen anzusehen waren, wurde eine *zweite Fahrt* am 10. November 1900 zu dem ganz *speziellen Zwecke der Messung der Zerstreuungskoeffizienten in verschiedenen Höhen* unternommen. Ausser den zur Bestimmung der meteorologischen Daten nötigen Instrumenten (Fahr-Aneroid, Bohner'sches Aneroid, Assmann'sches Aspirationspsychrometer, welche Herr Dr. Emden regelmässig ablas) wurde nur noch ein Glasapparat zur Entnahme einer Luftprobe in der Höhe und der mit einem Electroscope von O. Günther ausgerüstete Zerstreuungsapparat mitgenommen.

Um von vornherein auf eine ruhig geschichtete Atmosphäre ohne wesentliche Verticalstörungen rechnen zu können, wurde eine *Winterfahrt* für diesen Zweck in Aussicht genommen.

Die Fahrt fand innerhalb eines Rückens relativ hohen Luftdruckes statt, zwischen einer nördlichen Depression, welche sich am Tage der Fahrt in Folge eines Zuzuges vom Ocean her erheblich vertiefte, und einem südlich von den Alpen sich entwickelnden Minimum.

Um 8^h 19^m erfolgte der Aufstieg von München aus mit starkem Auftrieb; in kürzester Zeit hatten wir die über dem Boden der oberbayerischen Hochebene lagernde Nebelschicht durchstossen und befanden uns schon in 700 m Meereshöhe (200 m über dem Boden) in glänzendstem Sonnenlichte unter tiefblauem Himmel, an dem nur einige Cirruswolken standen.

Wir haben uns bei der Fahrt im Ganzen innerhalb dreier verschiedener Luftschichten bewegt, welche sich sowohl durch ihren Wasserdampfgehalt, als auch durch ihre Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit deutlich von einander unterschieden.

Um 8^h 56^m, also 37 Minuten nach dem Verlassen des Erdbodens, begannen die eigentlichen Messungen der Electricitätszerstreuung in der Luft.

Die zunächst folgenden Zahlen wurden in einer bis ca. 3000 m reichenden Luftschicht mit dem nahezu constanten Mischungsverhältnis 0,0024 erhalten; unter Mischungsverhältnis ist hier das Gewicht des Wasserdampfes in Kilogrammen, welches auf 1 kg der denselben enthaltenden trockenen Luft kommt, verstanden. Diese Zahl giebt eine den Feuchtigkeitsgehalt der Luft besser als die relative Feuchtigkeit oder der Dunstdruck charakterisierende Grösse an, da sie sich bei allen Zustandsänderungen nicht wie jene Zahlen mit ändert, solange wenigstens keine Condensation eintritt.

In allen folgenden Tabellen bezeichnet, wie in der oben citierten Arbeit von Elster-Geitel, E die an dem Zerstreungskörper in der Zeiteinheit (15 Minuten) neutralisierte Electricitätsmenge, mittels des Coulomb'schen Zerstreungsgesetzes auf den Fall bezogen, dass der Körper dauernd auf dem Potentialniveau von 1 Volt erhalten würde (die Verluste durch Unvollkommenheit der Isolation sind schon in Abrechnung gebracht). Aus diesen E werden die Grössen a durch Division durch $15 \times 0:4343 (1 - n)$ erhalten, wo n das Verhältnis der Capacität des Electrosopes allein zu der Capacität des aus diesem *und* dem Zerstreungskörper bestehenden System ist; bei dem benutzten Instrumente war $n = 0.5$, und der genannte Divisor = 3.26.

Diese Zahlen a geben die in der Minute am Zerstreungskörper

neutralisierte Electricitätsmenge, ausgedrückt in Prozenten der ursprünglichen Ladung, unabhängig von der Grösse dieses Körpers und gleichgiltig, bis zu welchen Spannungen er geladen wurde, letzteres freilich genau nur so lange, als das Coulomb'sche Zerstreungsgesetz gilt. Diese Zahlen sind also direkt mit den an anderen Apparaten erhaltenen vergleichbar.

Endlich ist $q = a_- / a_+$ ein Maass für die Unipolarität der beobachteten Leitfähigkeit der an den Zerstreungskörper herantretenden Luftproben.

TABELLE I.

Zeit.....		Höhe.....		Temperatur.....	Relative Feuchtig- keit.....	Mischungsverhältnis	Spannungen.....	Spannungsabnahme pro 15 Minuten.....			
h	m	h	m	° C	%			Volt	E_+	a_+	%
8	56	9	11	+4.2	38	0.0024	214—196	18	$E_+ = 3.79$	$a_+ = 1.16$	} $q = 1.81$
9	15	9	26	+2.7	38	0.0024	192—171	29	$E_- = 6.84$	$a_- = 2.10$	
9	28	9	43	+1.7	44	0.0024	222—187	35	$E_- = 7.44$	$a_- = 2.29$	
9	45	10	00	+1.5	47	0.0024	221—193	28	$E_+ = 5.86$	$a_+ = 1.79$	} $q = 1.28$
10	18	10	33	-3.8	55	0.0022	225—206	19	$E_+ = 3.81$	$a_+ = 1.17$	
10	38	10	53	-4.7	56	0.0022	224—198	26	$E_- = 5.33$	$a_- = 1.63$	} $q = 1.40$

Die Zerstreungsgeschwindigkeit ist in der Höhe von 1800 bis 3000 m unzweifelhaft grösser als am Boden. Dabei ergibt sich etwa dasselbe Verhältnis für die Entladungsgeschwindigkeiten der beiden Electricitätsarten wie unten, eine negative Ladung wird etwa 1.5 mal schneller entladen wie eine positive. Bis zu diesen Höhen hinauf muss also am genannten Tage ein Ueberwiegen der Anzahl der freien +Ionen angenommen werden. Da diese sich langsamer bewegen als die -Ionen, so muss thatsächlich das Verhältnis der Anzahl der +Ionen gegenüber der Zahl der -Ionen im Cubicmeter noch grösser als 1.5 gewesen sein.

Oberhalb 3000 m traten wir in eine viel stärker bewegte Luftschicht ein, die uns nach Norden abtrieb. Aus den unten folgenden Zahlen ist ersichtlich, dass sie sich vor allem durch grössere Trockenheit auszeichnete. Denn das Mischungsverhältnis sank beim Eintreten in die neue Schicht plötzlich von 0.0022 auf 0.0014 kg, welchen Wert es in dieser dritten Schicht constant beibehielt. Das Zerstreungsvermögen war erheblich gesteigert, und zwar für beide Vorzeichen.

TABELLE II.

Zeit.....			Höhe.....		Temperatur.....	Relative Feuchtig- keit.....	Mischungsverhältnis	Spannungen.....	Spannungsaufnahme pro 15 Minuten.....			
h	m	h	m	m	° C	%			Volt	E_+	a_+	%
11	7	11	22	3400	-8.0	40	0.0014	216-179	47	$E_+ = 8.14$	$a_+ = 2.50$	} $q = 1.10$
11	28	11	43	3705	-8.0	40	0.0014	214-174	40	$E_- = 8.97$	$a_- = 2.75$	
12	10	12	25	3710	-8.0	40	0.0014	208-169	39	$E_- = 9.00$	$a_- = 2.76$	} $q = 0.93$
12	35	12	50	3770	-8.5	42	0.0014	211-169	42	$E_+ = 9.62$	$a_+ = 2.96$	

In dieser über 3000 m angetroffenen trockeneren, höheren Schicht war das Leitvermögen der Luft erheblich gesteigert und erreichte Werte, welche die zur gleichen Jahreszeit an klaren Tagen erreichten Maximalentladungsgeschwindigkeiten am Boden um das Drei- bis Vierfache übertrafen. Dabei war das Verhältnis der Zerstreungskoeffizienten für beide Ionenarten nahezu das gleiche (q Mittel = 1.02) geworden.

In dieser Schicht wurden die Messungen nicht mehr durch das unipolare Verhalten des Erdkörpers beeinflusst. Die Ionenzahl ist nach diesen Ergebnissen in dieser grösseren Höhe also unverkennbar erheblich grösser als unten. Die grössere Entladungsgeschwindigkeit kann freilich auch durch eine grössere Beweglichkeit der Ionen in der dünneren Luft zum Teil wenigstens mitbedingt sein.

Es war bei der Wichtigkeit der Kenntnis des Ionengehaltes der oberen Schichten erwünscht, bei *möglichst ruhig gelagerter Atmosphäre* noch eine Messungsreihe anzustellen. Auf die hierzu nötigen meteorologischen Bedingungen ist bei uns nur während des Winters mit einiger Sicherheit zu rechnen und zwar dann, wenn sich ein stabiles barometrisches Maximum mit klarem, kaltem Frostwetter über dem Continente für längere Zeit erhält. Ferner sollte bei allgemeiner Schneebedeckung und womöglich unter der Wirkung absteigender Luftströme gefahren werden, durch welche die bei Leuchtgasfüllung nicht mehr direkt mit dem Ballon erreichbaren höheren Luftmassen voraussichtlich in den Bereich des Zerstreungskörpers treten würden.

Bei der zu diesem Zwecke unternommenen *dritten Fahrt* war am Gondelrande aussen ein kleines Tischchen durch übergreifende Metallbügel angehängt. Durch die unteren äusseren Enden der-

selben gingen zwei grobgewindige Griffschrauben mit Platten an den dem Ballonkorb zugekehrten Enden, so dass das Tischchen eingestellt werden konnte. Auf dasselbe wurde das Messinstrument mit allem Zubehör gesetzt. Diese Aufstellung hat sich als eine äusserst stabile und für das Beobachten sehr vorteilhafte bewährt. Endlich wurden bei dieser Fahrt auch Messungen mit dem das ganze Instrument umschliessenden, mit dem Zerstreuungskörper gleichnamig geladenen Fangkäfig angestellt, wodurch in den oberen Schichten sehr grosse Beträge der Zerstreuung erzielt wurden (bis zum 23-fachen der gleichzeitig am Boden gemessenen Zerstreuungen). Da nicht nur negative, sondern auch positive Ladungen mit wesentlich grösserer Geschwindigkeit bei Anwendung des Käfigs zerstreut wurden, so können Störungen durch direkte Bestrahlung des Zerstreuungskörpers (Hallwachs-Effect) oder durch Ballonladungen nicht die Ursache dieser hohen Neutralisationsgeschwindigkeiten gewesen sein.

Am Fahrttage, den 17. Januar, lag ein ausgeprägtes barometrisches Maximum über dem grössten Teile Europas und verlor nur langsam an Intensität. Der Kern desselben wies über Deutschland und Oesterreich mehr als 770 mm Luftdruck auf. Eine Depression, welche am 16. über den britischen Inseln erschienen war, zog dem Golfstrom folgend nach Norden hin ab. Ueberall herrschte in Central-Europa heiteres Frostwetter, nur local durch tiefliegende Nebelschichten getrübt.

In München war am Morgen Rauhfrost gefallen und starker Nebel aufgetreten bei einer Temperatur von -12° , 769 mm Druck und völliger Windstille. Die Bergstationen hatten alle heiteres, wolkenloses Wetter, die Zugspitze -5° Temperatur.

Das klare Frostwetter dauerte auch noch den folgenden Tag an und erst am 19. trat im Westen Trübung mit zunehmender Temperaturerhöhung ein, während gleichzeitig eine tiefe Depression vor den Scilly-Inseln im Westen Englands erschien. Um 9^h 8^m fuhren wir mit starkem Auftrieb ab bei -15.2° C. und 89 % Feuchtigkeitsgehalt, einem Mischungsverhältnis von 0.0011 entsprechend. Rauhfrost und Nebel waren ringsum. In einer Minute hatten wir 79 m über dem Boden die obere Schicht des Nebels erreicht.

Auch bei dieser Fahrt waren deutlich drei verschieden geartete Luftschichten zu unterscheiden, die sich durch verschiedene Temperaturen und Temperaturgradienten, verschiedenes Mischungsverhältnis und namentlich durch die verschiedene Richtung und Ge-

schwindigkeit, in der und mit der sie uns bewegten, hinreichend scharf gegen einander abgegrenzt werden konnten.

In der untersten vom Boden bis ca. 1400 m emporreichenden Schicht wurde eine sehr starke Temperaturzunahme mit der Höhe unmittelbar über der Nebelschicht beobachtet. Der Temperaturgradient ging in ca. 1000 m in eine dem adiabatischen Gleichgewichte entsprechende *Zunahme* von rund 1° pro 100 m Anstieg über. Diese Temperaturverteilung war der Ausdruck einer äusserst stabilen Lagerung der dem Boden unmittelbar aufliegenden Schicht. Es wurden electricische Verhältnisse angetroffen, welche denen am Boden insofern glichen, als eine ausgesprochene Unipolarität und ein Ueberwiegen an freien $+$ -Ionen angezeigt war; da die Beweglichkeit der Ionen in der klaren reinen Luft eine viel grössere als unten im Nebel sein musste, dürfen wir uns nicht wundern für den negativ geladenen Zerstreungskörper eine ca. viermal so grosse Entladungsgeschwindigkeit zu finden, als sie gleichzeitig unten beobachtet wurde. Es wurde mit Schutzdach aber ohne Käfig gemessen.

In den folgenden Tabellen beziehen sich die ungestrichelten Buchstaben auf das Balloninstrument, die gestrichelten auf den Vergleichsapparat. Die Zahlen V der letzten Colonne geben den Vergleich der Beobachtungswerte ($V = a$ [Balloninstrument] / a' [Vergleichsinstrument, letzteres reduciert]).

TABELLE III.

Zeit.....		Höhe.....	Temperatur.....	Relative Feuchtig- keit.....	Mischungsverhältnis	Spannungen.....	Spannungsabnahme pro 15 Minuten.....	Vorzeichen.....	E	$a\%$	q	$a'\%$	q'	l
h	m	m	$^\circ$ C	%			Volt							
9	18	— 33	+1.6	49	0.0024	189—183	6	+	1.38	0.41	} 4.58	0.51	} 0.86	0.80
9	37	— 52	3.0	49	0.0025	199—172	27	—	6.32	1.89		0.44		4.3

Etwa um 10^h traten wir in eine zweite von 1400—2000 m reichende, eigentümlich beschaffene Luftschicht ein, die wir erst um 11^h 8^m wieder verliessen: eine nahezu vollkommen isotherme Schicht mit dem Temperaturgradienten Null.

In dieser Schicht wurde zum ersten Male mit dem Käfig gearbeitet. Das Schutzdach über dem Zerstreungskörper wurde dabei weggelassen, da die Laboratoriumversuche gezeigt hatten, dass der Drahtkäfig genügenden electrostatischen Schutz gewährte.

TABELLE IV.

Zeit.....			Höhe.....	Temperatur.....	Relative Feuchtig- keit.....	Mischungsverhältnis	Spannungen.....	Spannungsabnahme pro 15 Minuten.....	Vorzeichen.....	<i>E</i>	<i>a</i> %	<i>q</i>	<i>a'</i> %	<i>q'</i>	<i>V</i>
h	m	m	m	° C	%			Volt							
10	2—17	1470		+4.4	44	0.0027	192—141	51	+	13.39	4.01	} 2.18	0.96	} 1.50	4.2
10	22—27	1550		4.5	45	0.0028	180—141	(117)	—	31.81	9.53		1.44		7.1
10	29—40	1605		4.3	46	0.0028	197—126	(97)	—	26.45	7.93				

Wie die vorstehenden Zahlen zeigen, wurden verhältnismässig sehr hohe Werte für die Zerstreung gefunden. Dabei ist nicht nur die Neutralisationsgeschwindigkeit der negativen Ladungen gesteigert, sondern auch die der positiven, ja die Entladungsgeschwindigkeit der letzteren ist relativ mehr erhöht, als diejenige der negativen Ladungen, so dass das mittlere Verhältnis $q = a - / a +$ gegen die vorher mit Schutzdach erhaltenen Werte zurückgeht. Es kann also kein merklicher *Hallwachseffect* vorliegen und die intensive Sonnenbestrahlung hat keinen directen Einfluss auf den vollkommen geschwärzten Zerstreungskörper mehr, wie dies auch die Herren Elster und Geitel feststellten. Das Zurückgehen des Wertes für *q* zeigt an, dass sich die *Unipolarität der luftelectricischen Leitung mit der Höhe mehr und mehr ausgleicht*, während zugleich die absoluten Beträge der Leitfähigkeiten für beide Vorzeichen zunehmen, genau wie dies schon bei den früheren Fahrten gefunden worden war. Erst als wir um 11^h 8^m nach Ballastauswerfen die Höhe von 2000 m überschritten, kamen wir aus der isothermen Schicht heraus und traten in eine neue Luftschicht ein, was sich sofort auch an einer Aenderung der Fahrtrichtung zu erkennen gab; dieselbe ging bis dahin ziemlich genau nach Westen und bog jetzt nach Nordwesten um. In dieser Schicht nahm die Temperatur regelmässig von +4.0° in der isothermen Schicht auf -2.5° ab in der höchsten bei dieser Fahrt erreichten Höhe von rund 3200 m mit einem Gradienten von ca. 0.53 auf 100 m Erhebung. Dieser geringe Gradient ist wieder ein Zeichen von der ausserordentlich stabilen Lagerung aller Luftschichten an diesem Tage auch in diesen grösseren Höhen.

In dieser Luftschicht wurden bei Anwendung des Käfigs (Zahlen zw. d. beiden starken Horizontalstrichen) die grössten Entladungsgeschwindigkeiten erhalten, die ich je beobachtet habe. Während

bei den Messungen am Boden für jede Beobachtung gewöhnlich ein Zeitraum von 20—30 Minuten gewählt wird, um einen deutlichen Rückgang der Blättchen zu beobachten, fielen dieselben hier oben so rasch zusammen, dass die Messung bereits nach 5 Minuten beendet war, da ein weiteres Warten zu zu kleinen Divergenzen geführt hätte, bei denen die Potentialmessungen ungenau werden. Dieses rasche Verschwinden der Ladungen hat den grossen Vorteil, dass viel mehr Einzelmessungen ausgeführt werden können, was den grossen, namentlich bei Hochfahrten mit Wasserstoffgas nicht zu unterschätzenden Vorzug bietet, dass man für einzelne Luftschichten geltende Werte erhalten kann, auch wenn man bei rascher Verticalbewegung die Schichten schnell wechseln muss.

TABELLE V.

Zeit.....		Höhe	Temperatur	Relative Feuchtig- keit.....	Mischungsverhältnis	Spannungen.....	Spannungsbahn pro 15 Minuten	Vorzeichen.....	E	$a\%$	q	$a'\%$	q'	V
h m	h m	m	° C	%			Volt							
10 52	— 11 12	1930	+3.3	42	0.0027	189—170	(14)	+	3.44	1.03	} 2.07	0.36	} 1.11	2.9
11 17	— 32	2285	2.1	42	0.0025	198—168	30	—	7.12	2.13		0.40		5.2
11 42	— 47	2375	1.7	43	0.0024	174—122	(156)	+	46.21	13.86	} 0.60	} 2.03	} 20.8	
11 49	— 59	2560	1.7	42	0.0024	183—104	(119)	+	36.80	11.04				
12 4	— 9	2880	0.3	42	0.0023	142—104	(114)	—	40.57	12.16	} 1.17	} 2.03	} 11.9	
12 11	— 17	2930	—1.0	42	0.0023	178—104	(185)	—	58.33	17.48				
12 19	— 24	3005	1.9	46	0.0023	179—125	(162)	—	46.78	14.03	1.22			
12 32	— 47	3105	2.2	47	0.0023	198—183	15	+	3.40	1.02	} 5.10	0.31	} 1.71	3.3
12 51	— 1 6	3060	2.1	46	0.0024	188—126	62	—	17.36	5.20		0.54		9.6

Die zwischen 11^h 42^m und 11^h 47^m in 2375 m Höhe erhaltene Zerstreungsgeschwindigkeit von 13.86% für +Ladung übertrifft diejenige, welche man gleichzeitig unten (nach den Angaben des Vergleichsinstrumentes und der oben angegebenen Reduction) bei demselben Instrumente mit dem Käfig erhalten haben würde, um das 23fache. Noch grösser war die Entladungsgeschwindigkeit der —Ladung zwischen 12^h 11^m—17^m in 2930 m mit $a_- = 17.48\%$.

Während wir noch auf der grössten Höhe waren, wurde zwischen 12^h 32^m und 1^h 6^m nochmals mit Schutzdach beobachtet (Zahlen unter dem zweiten Strich).

Wie man sich die hierbei zu Tage tretende Unipolarität von einer Grösse, wie sie diesen hohen Schichten bei den anderen Fahrten nicht eigen gewesen ist, zu erklären habe, vermag ich vor der Hand noch nicht anzugeben.

Als Resultate dieser Ballonfahrten können die folgenden bezeichnet werden:

1. Luftpneumatische Messungen nach der neuen von Elster und Geitel ausgearbeiteten Methode sind im Freiballon mit genügender Sicherheit und mit verhältnismässig geringer Mühe neben den sonst üblichen meteorologischen Beobachtungen ausführbar.

2. Mit zunehmender Höhe ergibt sich auch unabhängig von der unipolaren Einwirkung des Erdkörpers, wie sie sich besonders bei Bergbeobachtungen störend bemerklich macht, eine *unzweifelhafte Zunahme der Neutralisationsgeschwindigkeit*.

3. Die unteren Luftschichten können sich aber bis hinauf zu 3000 m Höhe qualitativ insofern den dem Boden unmittelbar anliegenden ähnlich verhalten, als auch in ihnen im freien Luftraume die — Ladungen schneller als die + zerstreut werden.

4. In grösseren Höhen scheint sich mit der Zunahme der absoluten Ionenzahl diese unipolare Leitfähigkeit mehr und mehr dahin auszugleichen, dass beide Ladungsarten etwa gleich schnell zerstreut werden.

5. Dabei findet das von Geitel für eingeschlossene Zimmerluft nachgewiesene Verhalten auch für fast alle an den Ballon herantretenden Luftproben statt, dass der in Prozenten der jedesmaligen Anfangsladung berechnete Electricitätsverlust mit abnehmender Anfangsladung wächst.

6. Die Spannungsabnahme in gleichen Zeiten ist dagegen ungefähr constant, dem Umstande entsprechend, dass verbrauchte Ionen auch in der freien Atmosphäre immer nur mit bestimmter Geschwindigkeit und in bestimmter Zahl zuwandern, sei es, dass nur eine ganz begrenzte Zahl wirklich neugebildet wird, sei es, dass sie nur in bestimmter Menge gegen die Verbrauchsstelle heranwandern können.

7. Die Zunahme der Leitfähigkeit mit der Höhe findet nicht stetig etwa in der Weise statt, dass man hoffen dürfte, eine einfache Formel mit wenigen Constanten aufstellen zu können, die für alle Fälle diese Zunahme mit der Höhe darzustellen vermöchte, sondern sprungweise; die speziellere physicalische Beschaffenheit der Luftschicht, in der man sich befindet, übt einen massgebenden Einfluss aus.

8. In trockener klarer Luft ist das Zerstreungsvermögen in der Höhe gerade so wie am Erdboden gross; in dem Grade, wie der Wasserdampfgehalt zunimmt, und ganz besonders, wenn dieser sich dem Condensationspunkte nähert, oder gar in Form feiner Nebel-

bläschen ausfällt, wird die Entladungsgeschwindigkeit für beide Zeichen erheblich herabgesetzt.

9. Die Aufstellung des Zerstreuungsapparates auf einem ausserhalb der Gondel befestigten Tischchen hat sich sehr gut bewährt und empfiehlt sich aus verschiedenen Gründen mehr als die Aufhängung im Inneren des Ballonkorbes.

10. Durch Einbauen des Zerstreuungsapparates in einen gleichnamig geladenen Fangkäfig lässt sich die Neutralisationsgeschwindigkeit für beide Vorzeichen erheblich steigern; so wurde bei der dritten Fahrt in 2375 m Höhe eine 23mal so grosse Entladungsgeschwindigkeit für + beobachtet, als dasselbe Instrument am Boden (nach Ausweis eines Vergleichsinstrumentes) mit Käfig ergeben haben würde. Dabei dürfte die Genauigkeit nur unbedeutend vermindert sein; dagegen wird der Vorteil erreicht, dass die Zahl der Einzelbestimmungen erheblich gesteigert werden kann.

11. Bei der dritten Fahrt haben sich sehr grosse Beträge der Zerstreuung in der Höhe ergeben, offenbar unter der Wirkung einer schon seit vielen Tagen andauernden grossen Luftklarheit und absteigender Luftströme, welche sehr ionenreiche Höhenluft dem Instrumente, namentlich dem vom Schutzdach nicht bedeckten, zuführten.

12. Störungen durch Ballonladungen oder durch lichtelectrische Wirkungen waren nicht nachweisbar.

*München, Physikalisches Institut der technischen Hochschule,
Mai 1901.*