

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1912. Heft III

November- und Dezembersitzung

München 1912

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Protokoll

der Sitzungen der luftelektrischen Kommission der kartellierten Deutschen Akademien zu München

am 24. und 25. Mai 1912.

Vorgelegt von H. Ebert in der Sitzung am 2. November 1912.

Erste Sitzung der Kommission

am 24. Mai 1912 vormittags 10 Uhr im Sitzungssaale der
mathematisch-physikalischen Klasse der K. Bayer. Akademie
der Wissenschaften.

Als Vertreter der Akademien waren anwesend die Herren:
Exner (Wien); Riecke und Wiechert (Göttingen); Hall-
wachs (Leipzig); Ebert (München).

Als sachverständige Mitglieder der Kommission die Herren:
Börnstein, Lüdeling (Berlin); Elster, Geitel (Wolfen-
büttel); Benndorf (Graz); von Schweidler (Innsbruck);
Gockel (Freiburg i. d. Schweiz); Dember (Dresden).

Als Gäste die Herren: Dieckmann, Daunderer, Lutz,
Hoffmann, Gleißner, Endrös, Jaufmann, K. Schmidt
(Halle) und Ad. Schmidt (Potsdam).

Nachdem Herr Geheimrat von Seeliger im Namen der
K. Bayerischen Akademie die Kommission begrüßt hatte, wurde
Herr Riecke zum Vorsitzenden und Herr Dember zum Schrift-
führer gewählt.

Herr Ebert machte die Kommission damit bekannt, daß
die Bayerische Akademie Herrn Professor Gockel (Frei-
burg) als sachverständiges Mitglied der Kommission zugezogen

hat, die Kommission erklärte sich damit einverstanden. Herr Riecke teilte mit, daß die Heidelberger Akademie ebenfalls Mitglied des Kartells der Deutschen Akademien geworden ist; da Heidelberg zur Tagung der diesjährigen Sitzung der luftelektrischen Kommission niemanden entsandt hat, beschließt die Kommission, an die Heidelberger Akademie ein Schreiben zu entsenden mit der Bitte, Delegierte für die Kommission zu ernennen.

1. Niederschlagselektrizität.

Herr Benndorf erstattete ein ausführliches Referat der Forschungen über die Niederschlagselektrizität. (Siehe Anhang Nr. 1 zu diesem Protokoll.)

Herr Geitel bemerkt zu dem Vortrag des Herrn Benndorf, daß die geschützten Zylinder einen Vorteil durch die Möglichkeit bieten, während eines Gewitters das Elektrometer eingeschaltet zu halten. Er weist weiter im Anschluß an ältere Veröffentlichungen von Elster und ihm darauf hin, daß die Erforschung der Beziehung zwischen Niederschlagsladungen und Potentialgefälle für die Probleme des Elektrizitätshaushaltes der Atmosphäre sehr wichtig ist.

Trotzdem die Niederschläge Ladungen zur Erde transportieren, können sie doch zur Erhöhung eines schon bestehenden Feldes beitragen: Ein Tropfen wird z. B. durch das normale elektrische Feld F über der Erdoberfläche so polarisiert, daß die Ladungsdichte am unteren Punkte $+\frac{3F}{4\pi}$ beträgt. In der Regenwolke gibt es nun kleine und große Tropfen, die mit verschiedener Geschwindigkeit fallen; außerdem erzeugen aufsteigende Luftströmungen eine Relativbewegung der Tropfen verschiedener Größe gegeneinander. Die kleineren, sich schneller bewegendenden Tropfen können nun mit größeren Wassermengen zusammentreffen, ohne zusammenzufließen. (Nach Lenard und Defant.) Lenard gibt an, daß nur bei 50 % der Zusammenstöße ein Zusammenfließen stattfindet. Nach eigenen Versuchen von Elster und Geitel tritt auch in dem Falle einer elektri-

schen Potentialdifferenz zwischen den Tropfen nicht immer Zusammenfließen ein. Wenn ein kleiner Tropfen nach oben geht und vom großen Tropfen positive Elektrizität, die wegen der negativen Erdladung unten sitzt, mitnimmt, so wird das Feld verstärkt. Die Energie wird bei diesem Vorgang aus der Fallbewegung der großen Tropfen gezogen. Das gleiche gilt für Schneefälle und Graupeln. Wie das normale Erdfeld können auch andere elektrische Potentialdifferenzen durch diesen Vorgang verstärkt werden.

Unter der Annahme eines kleinen Tropfens von $1 \cdot 10^{-3}$ cm Radius ergibt sich bei einem wirksamen Felde von $\frac{100 \text{ Volt}}{m}$ eine mit den Versuchen etwa übereinstimmende Ladung auf dem Tropfen von der Größe $\frac{\pi^2}{6} \cdot 10^{-8}$ elektrostatischen Einheiten. Eine Folgerung läßt sich aus dieser Anschauung ziehen: Bei positivem Potentialgefälle wird negative Ladung zur Erdoberfläche geführt, und mit dem Zeichenwechsel des Potentialgefälles resultiert auch ein Wechsel im Zeichen der transportierten Elektrizität. Herr Benndorf glaubt, daß diese Erklärung des Herrn Geitel eine große Lücke ausfüllt, da die Simpsonsche Theorie, besonders beim Hagel und Schnee, nicht ausreicht.

Herr Börnstein berichtet, daß er sich um die Frage bemüht hat, was einem Wassertropfen geschieht, der durch Luft fällt, die erstens ganz von Ionen befreit ist und zweitens ganz mit Ionen angefüllt ist.

Im Anschluß hieran erinnert Herr Ebert an die Arbeiten von Schmauß und Rud. Seeliger sowie zum ersten Punkt an die Ansichten Sohnckes, der an einen Reibungseffekt zwischen Eis und Wasser dachte.

Zur Frage der Niederschlagselektrizität, die neuerdings wieder in den Vordergrund der luftelektrischen Forschungen gerückt ist, werden von den Herren Börnstein, Ebert, Elster und Geitel weitere Untersuchungen in Aussicht gestellt.

Herr Lüdeling teilt mit, daß in Potsdam die Niederschlags Elektrizität fortlaufend registriert wird, und daß Herr Schindelhauer eine Arbeit über Niederschlags Elektrizität angefertigt hat, die demnächst veröffentlicht werden soll.

Um die Größe der Regentropfen zu bestimmen, diente bisher die Methode des Auffangens in Gips und auf Fließpapier, das mit Eosin getränkt ist. Nach der Absorptionsmethode erhielt Aug. Becker (1907) sehr zuverlässige Werte für die Tropfengröße.

Es hat sich, wie Herr Ebert bemerkt, fast bei allen Untersuchungen gezeigt, daß überwiegend positive Niederschläge auf den Erdboden gelangen. Es muß daher die Ursache, welche das normale Erdfeld aufrecht erhält, auch noch diese Ströme decken. Doch kann ein Leitungsstrom von der Größenordnung 10^{-16} Amp./cm² nicht durch die Niederschläge gedeckt werden.

Zweite und dritte Sitzung der Kommission

am 24. Mai nachmittags 3 Uhr und am 25. Mai vormittags 9 Uhr im physikalischen Institute der technischen Hochschule.

2. Potentialgefälle und Leitfähigkeitsmessungen.

Hierüber wurde bei den „Terminbeobachtungen“ referiert; siehe auch unter „Bodenatmung“.

3. Ultraviolette Strahlung.

Herr Elster gibt einen Bericht über die bisherigen Messungen, die mit dem Zinkkugelphotometer ausgeführt worden sind; er beschreibt dann die von ihm und Herrn Geitel konstruierte neue Apparatur, die es gestattet, den lichtelektrischen Effekt galvanometrisch zu beobachten. (Siehe Bericht Nr. 2.)

Herr Hallwachs teilt mit, daß ihm die K. Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften Mittel zur Verfügung gestellt hat zur Untersuchung des Einflusses der ultravioletten Sonnenstrahlen. Herr Dember berichtet über die von ihm mit Hilfe dieser Mittel in der Schweiz in einer Höhe von 2000 und 3400 m

ausgeführten Parallelbeobachtungen zwischen ultravioletter Sonnenstrahlung und Leitfähigkeit. Die Beobachtungen haben ergeben, daß parallel mit der ultravioletten Sonnenstrahlung das Verhältnis $\frac{E_-}{E_+}$, der negativen zur positiven Raumladung, wächst und fällt. Aus den Versuchen läßt sich der Schluß ziehen, daß die ultraviolette Sonnenstrahlung eine Vermehrung der Ionisation in den oberen Schichten hervorruft.

4. Ionenstrom.

Hierüber wurde gleichfalls bei den „Terminbeobachtungen“ berichtet.

5. Bodenatmung.

Herr Börnstein teilt mit, daß er die Arbeiten, über welche er schon im vorigen Jahre berichtet hat, fortgesetzt hat. Und zwar hat er die Messungen des Luftdruckes jetzt in 1 und in 2 m Tiefe sowie 20 m über dem Boden ausgeführt. Ein klares Bild von der Bedeutung der Ergebnisse läßt sich vor der Hand noch nicht machen.

Als Ursache dieser Schwankungen kann die Bewegung des Grundwassers nicht angesehen werden, da diese für Berlin sehr gering ist. Wenn Ebbe und Flut des Grundwassers eine Rolle spielen würden, so müßten die Schwankungen zur Zeit des Neu- und Vollmondes am stärksten sein. Die Messungen zu solchen Zeiten zeigen jedoch, daß das Grundwasser oder Ebbe und Flut darin keine Rolle spielen kann. Herr Ebert bemerkt, daß bei Messungen, die er bei Icking ausgeführt hat, derartige Schwankungen sich nicht ergeben haben. Die von ihm angewandte Methode bestand darin, daß 1 m unter dem mit Gras bewachsenen Erdboden das offene Ende eines Eisenrohres in Kies endigte, während das andere Ende dicht über dem Erdboden zu einer Toeplerschen Drucklibelle führte. Durch Anwendung eines sehr stumpfen Winkels bei der Libelle lassen sich auf diese Weise schon außerordentlich geringe Druckschwankungen erkennen, doch konnten solche nicht be-

obachtet werden. Eine Schwankung von 0,1 mm Hg hätte schon einen Ausschlag von 20—100 mm geben müssen. Es ist aber noch die Möglichkeit vorhanden, daß bei den Münchener Messungen gerade die für den vorhandenen Boden geeigneten Tiefen bei den Versuchen in 1, 1,5 und 3 m Tiefe nicht getroffen worden sind. Die bisherigen Versuche sind daher nur als provisorische anzusehen und sollen fortgesetzt werden.

Herr Ad. Schmidt (Potsdam) äußert Bedenken, daß sich ein großer Druckgradient von $\frac{0,3 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$ Hg überhaupt halten kann. Durch Rechnung ist er zu dem Schluß gekommen, daß dieser Wert mindestens hundertmal größer ist, als ihn die Theorie errechnen läßt.

Herr Börnstein bemerkt, daß die Ursache der Schwankungen nicht oberhalb des Bodens zu liegen braucht, sondern sich auch unterhalb der Bodenfläche befinden kann. Es hat sich auch ergeben, daß eine gewisse Verschiedenheit der Zeit des Auftretens der Maxima vorhanden ist und zwar findet die Schwankung in der Atmosphäre etwas früher statt als im Boden.

Herr Dember berichtet über eine Vorrichtung, die er am Ebertschen Ionenzähler angebracht hat. Sie besteht in der Einführung eines geeignet geformten Einsatzes in das Rosenmüllersche Anemometer, das zur Messung der angesaugten Luftmenge dient. Der Einsatz wirkt, ohne dem Luftstrom ein Hindernis zu bereiten, wie eine Düse, so daß die Umdrehungszahl des Wetterrädchens für eine bestimmte Luftmenge um etwa 10 % gesteigert wird und hiermit auch die Genauigkeit der Luftmengemessung. Es muß auch darauf geachtet werden, daß die Eichung der Anemometer im Ionenzähler selbst geschieht und nicht außerhalb desselben, weil durch die Krümmungen der Rohre des Ionenzählers die Luftströmung in bestimmter Weise beeinflusst wird.

Herr Exner teilt die Ergebnisse von Messungen in Wien während der Sonnenfinsternis mit. Es hat sich dabei eine Abnahme der Ionenzahlen mit fortschreitender Verfinsterung ge-

zeigt. Vermutlich ist diese Abnahme dadurch hervorgerufen worden, daß durch die Temperaturstörung eine Molisierung der Ionen eintritt und die Ionen so der Zählung entgehen.

Herr Ebert weist darauf hin, daß von Elster und Geitel und ihm ähnliches bei der letzten totalen Sonnenfinsternis beobachtet worden ist.

Herr Lüdeling gibt an, daß aus den Potsdamer Messungen während der Sonnenfinsternis nicht auf einen Einfluß der Sonnenstrahlung geschlossen werden kann. Ebenso hat Herr Gockel in Freiburg i. d. Schweiz während der Verfinsterung keine sichere Änderung konstatiert. Dagegen hat, wie Herr Geitel mitteilt, Herr Dr. Bergwitz in Braunschweig während der Verfinsterung eine Zunahme der Zerstreuung beobachtet, bei gleichzeitiger Abnahme der relativen Feuchtigkeit. Herr Dr. Bude hat auf dem Brocken ebenfalls eine auffällige Zunahme der Ionenzahlen während der Verfinsterung konstatiert.

6. Radioaktive Bestandteile der Atmosphäre und durchdringende Strahlung.

Herr Ebert hat gelegentlich einer Ballonfahrt eine Abnahme der durchdringenden Strahlung konstatiert. Wie Herr Exner mitteilt, hat Herr Heß (Wien) ebenfalls eine solche beobachtet, aber nur bis zu einer Höhe von 800 m, von da an eine Zunahme. Dies ist bei vier Fahrten konstatiert worden; die Untersuchungen sollen auf Hochfahrten fortgesetzt werden. Herr Lüdeling will im August dieses Jahres seine bisher noch nicht vollkommen gelungenen Versuche wieder intensiv aufnehmen.

Herr von Schweidler hat bei vergleichenden Messungen über Land und Wasser gefunden, daß die durchdringende Strahlung über Wasser etwas geringer ist. Weiter hat er Messungen ausgeführt mit zwei Wulfschen Instrumenten, von denen das eine nicht luftdicht, das andere ganz dicht war. Die Apparate zeigten verschiedenen Gang und das verwendete, 2 mm starke Kupferblech zeigte sich aktiv und zwar wurden

26 von 30 Ionen von Kupfer selbst erzeugt. Es ließ sich noch nicht entscheiden, ob der luftdichte Abschluß oder die Dicke der Gefäßwand einen größeren Einfluß hat. Vorläufig sind aber die Angaben der Apparate noch nicht eindeutig, sondern noch von der Konstruktion des Apparates abhängig.

Herr Ebert hält den vollkommen luftdichten Abschluß bei Vergleichen verschiedener Apparate für durchaus notwendig, und nach der Ansicht der Herren Geitel und Gockel ist Zink weit günstiger als Kupfer für die Ionisationskammern. Es hat sich auch gezeigt, daß bei Zink die von dem Metall hervorgerufene Schwankung der Ionisation kleiner ist als beim Kupfer. Herr Ebert erachtet diese Ergebnisse besonders darum für wichtig, weil sie bei der Konstruktion registrierender Instrumente beachtet werden müssen. Bei dünnwandigen Gefäßen können nach Gockel die Schwankungen des Luftdruckes durch ein angefügtes Hilfsgefäß kompensiert werden. Bei starkwandigen ist das unnötig.

7. Bericht über die Terminbeobachtungen.

Den Beschlüssen der Kommission (siehe Protokoll Göttingen 1911) folgend, sind am 10.—16. September 1911, 6.—8. Dezember 1911, 3.—5. Januar 1912, 11.—13. April 1912 Terminbeobachtungen ausgeführt worden. (Siehe Bericht Nr. 3: H. Ebert: Über die Resultate der von den kartellierten Deutschen Akademien organisierten luftelektrischen Terminbeobachtungen im Jahre 1911/12.)

Herr Ebert referiert über die Resultate, die in mühevoller Arbeit von den Herren Hoffmann und Gleißner auf vergleichbare Maße umgerechnet und dargestellt worden sind. Um diese Arbeit zu erleichtern und um eine einheitliche Art der Beobachtung festzulegen (z. B. Art der Stundenmittel), erklärt sich Herr Lüdeling bereit, für die Beobachtungen an den nächsten Termintagen den Beobachtungsstationen Formulare zuzuschicken. Die Kommission drückt den Wunsch aus, bis zum nächsten Versammlungstage die Messungen in der gleichen

Weise wie bisher fortzusetzen und sie bittet Herrn Lüdeling es möglich zu machen, daß Potsdam die Zentralstation bildet und die erforderlichen Arbeiten übernimmt.

8. Über die Reichweite funkentelegraphischer Verständigung.

Herr Riecke verliest der Kommission ein Schreiben des Herrn Professor H. Th. Simon in Göttingen, der leider verhindert ist, an der Sitzung teilzunehmen. Abgedruckt im Anhang als Nr. 4.

Herr Schmidt(Halle) empfiehlt die subjektive Beobachtung der ankommenden Energie mit dem Telephon und durch nebengeschaltete Widerstände zu verlassen und eine objektive Beobachtung vorzuziehen.

Herr Benndorf teilt mit, daß er gute Erfahrungen mit der Beobachtung der Zeichen gemacht, die von Paris aus gegeben werden; die Pariser Stationen besitzen eine große Sendeenergie und die Zeichen sind in ihrer Energie viel konstanter als die von Norddeich gegebenen. Während der Sonnenfinsternis sind in Graz die von Paris kommenden Zeichen zu Messungen benutzt worden und es hat sich eine Steigerung der Empfangsstärke um circa 80% während der Verfinsterung ergeben. Herr Benndorf schlägt daher vor, neben Norddeich auch mit Paris als Sendestation zu arbeiten.

Herr Ebert teilt mit, daß folgende Stationen ihre Mitwirkung für funkentelegraphische Untersuchungen an den Terminagen zugesagt haben: Göttingen, Halle, Graz, Laibach, München, Darmstadt, Karlsruhe und Dresden. Herr Schmidt (Halle) schlägt vor, noch an eine Station jenseits der Alpen, z. B. Pola, heranzutreten, da die Wellen über den Firnfeldern ganz merkwürdige Eigenschaften besitzen. Auch wäre es sehr günstig, wenn die Messungen zweimal monatlich vorgenommen werden könnten, um Beziehungen zwischen den Jahreszeiten herauszubekommen. Herr Dieckmann beabsichtigt, an den Terminagen auch von Luftschiffen aus Messungen zu unternehmen.

Was die Ausrüstung der Stationen angeht, so hält es Herr Schmidt für notwendig, um vergleichbare Resultate zu er-

zielen, daß sämtliche Stationen mit möglichst gleichen Antennen arbeiten.

Um über die günstigste Art des Empfanges Aufschluß zu bekommen, drückt Herr Riecke den Wunsch der Kommission aus, Herr Schmidt möchte die verschiedenen Formen der vorhandenen, für quantitative Messungen geeigneten Empfangsvorrichtungen durchprobieren und der Kommission seine Ergebnisse mitteilen.

Herr Schmidt berichtet weiter über von ihm 1906 angestellte Vergleichsversuche zwischen Norddeich und Nauen (siehe Anhang Nr. 5). Dabei wurden die 3000 m langen Wellen mit einer auf 300 m abgestimmten Vorrichtung empfangen. Es waren häufig sehr intensive Geräusche zu vernehmen, die auf luftelektrische Erscheinungen zurückzuführen sind. Die Geräusche hatten deutlich eine tägliche Periode. Wenn die relative Feuchtigkeit ein Maximum hat, so ergab sich für die Geräusche ein Minimum. Eine Abhängigkeit vom Barometerstand hat sich nicht ergeben, bei Sturm traten nur kleine Geräusche auf. Zwischen 12 und 2 Uhr mittags und 12 und 2 Uhr nachts war es nicht möglich, deutliche Versuchskurven zu bekommen. Diese Erscheinung ging dann weg, als die Erde der Antenne durch ein Gegengewicht ersetzt wurde. Wird die Erdleitung durch einen Kondensator unterbrochen, so ergibt sich bei großer Kapazität eine starke Störung, bei kleiner Kapazität eine geringere. Sowohl Herr Schmidt wie Herr Exner sehen diese Störung an als herrührend vom Eintritt geladener Teilchen der Atmosphäre. Die Beobachtungen während der Sonnenfinsternis haben kein Resultat ergeben.

Herr Dieckmann bemerkt hierzu, daß solche Störungen auch von ihm beobachtet worden sind. Eine gewisse Art der Störung zeigte sich dann am stärksten, wenn das Potentialgefälle sehr unruhig war. Maxima der Störungen waren morgens und nachmittags vorhanden. Herr Exner macht noch darauf aufmerksam, daß die angegebenen Perioden im Auftreten der störenden Geräusche eine große Ähnlichkeit mit der täglichen Periode des Potentialgefälles besitzen.

Herr Gockel stellt der Kommission für die nächste Sitzung einen zusammenfassenden Bericht über die durchdringende Strahlung in Aussicht.

Am Nachmittage des 25. Mai folgte die Kommission einer Einladung der Herren Ebert und Dieckmann zur Besichtigung der luftelektrischen Station des Physikalischen Institutes der Technischen Hochschule, die sich in Gräfelting befindet, und der ebenfalls dort befindlichen funkentelegraphischen Station des Herrn Dr. Dieckmann.

Durch die ausschließliche Verwendung der außerordentlich kompendiösen Saitenelektrometer und -Galvanometer ist die Aufgabe gelöst, fünf interessierende Elemente teils luftelektrischer Natur: Potentialgefälle und freie Raumladung (Mittelpunktpotential eines würfelförmigen Drahtkäfigs von 3 m Kantenlänge), teils meteorologischer Natur: Unterschied zwischen Luft- und Bodentemperatur, Helligkeit und Windgeschwindigkeit auf ein rotierendes, nur 30 cm breites Stück Bromsilberpapier gleichzeitig nebeneinander photographisch zu registrieren. Ferner wird hier fortlaufend die auf einer Schirmantenne von 30 m Höhe unter Wirkung des Erdfeldes in der Zeiteinheit landende Elektrizitätsmenge durch ein hochempfindliches Drehspulen-Galvanometer auf lichtempfindliches Papier aufgezeichnet. Ein Baro-, Thermo- und Hygrograph ergänzen die meteorologischen Daten der Station.

Schließlich sind auch noch die oben erwähnten Versuche im Gange, die Börnsteinschen Ergebnisse auch hier zu reproduzieren.

Die Beobachtungshütte ist vollständig aus Holz gezimmert und durch doppelte Wandungen gegen Temperaturschwankungen geschützt.

Die mit allen Hilfsmitteln ausgestattete funkentelegraphische Station des Herrn Dr. Dieckmann widmet sich in letzter Zeit besonders den Problemen, welche die Luftschiffahrt der Funkentelegraphie und der Luftelektrizität stellt.

Bericht Nr. 1.

Über die Beobachtungen der Niederschlagslektrizität.

Von **H. Benndorf.**

Mit 1 Tafel.

I. Einleitung.

Auf Wunsch der luftelektrischen Kommission der kartellierten Akademien habe ich es unternommen in der Tagung zu Pfingsten 1912 eine Übersicht über das vorhandene Beobachtungsmaterial betreffend die Niederschlagslektrizität zu geben. Im folgenden soll etwas ausführlicher, als es mir beim mündlichen Vortrag möglich war, über dieses Gebiet Bericht erstattet werden, wobei ich bestrebt bin, das in den verschiedenen Publikationen sehr ungleichmäßig behandelte Thema nach einheitlichen Gesichtspunkten zusammenzufassen und das Wesentliche herauszuheben.

Das Studium der Niederschlagslektrizität ist nicht nur an sich von Interesse, sondern verspricht auch Aufschluß zu geben über gewisse Vorgänge bei der Gewitterbildung und ist von Wichtigkeit zur Entscheidung der Frage, ob der durch den Niederschlag zur Erde geführte Konvektionsstrom von Elektrizität imstande ist zur Gänze oder wenigstens zum erheblichen Teile den Verlust der negativen Erdladung zu decken.

Bei der außerordentlichen Veränderlichkeit luftelektrischer Phänomene darf man über die letzte Frage nur aus einer großen Zahl von Messungen Aufschluß erwarten, wie sie in der Regel nur durch Registrierungen zu erhalten sind; dagegen wird das Studium der Entstehung der Niederschlagslektrizität sowie das der eng damit zusammenhängenden Gewitterbildung ungleich mehr durch Einzelmessungen gefördert werden, da bei Registrierungen die notwendige Kritik störender Ursachen

nicht in dem Maße wird vorgenommen werden können. Die Richtigkeit dieser Behauptungen wird sich schon an dem spärlichen bisher vorliegenden Beobachtungsmateriale erhärten lassen.

Im folgenden soll zunächst eine Beschreibung der von den verschiedenen Beobachtern verwendeten Meßanordnungen gegeben werden, hieran schließt sich eine Besprechung der wichtigsten Störungen und Fehlerquellen, der vierte Abschnitt bringt eine Übersicht über die bisher erhaltenen Resultate, während der Schluß einer kurzen Besprechung der Fingerzeige gewidmet ist, die die bisherigen Ergebnisse für den weiteren Gang der Forschung bieten.

II. Beobachtungsmethoden.

Um die von den verschiedenen Beobachtern verwendeten Versuchsanordnungen richtig würdigen zu können, ist es wünschenswert eine anschauliche Vergleichung der Größe der von ihnen verwendeten Apparate sowie des Grades der elektrostatischen Abschätzung der Meßgefäße vornehmen zu können. Ich gebe deshalb in den Figuren 1—6 eine auf gleichen Maßstab reduzierte schematische Abbildung der Meßanordnungen, so gut das eben nach den vielfach ungenauen Angaben der Autoren möglich war. Zugleich gibt die Tabelle I eine nach Beobachtungsorten geordnete Übersicht der für die Beurteilung der erhaltenen Beobachtungsergebnisse wichtigsten Daten. Es erübrigt somit eine kurze Beschreibung der verschiedenen Apparate zu geben.

Zur Erläuterung von Tabelle I mögen noch folgende Bemerkungen dienen: Zur Charakterisierung der verschiedenen Meßanordnungen sind in den Reihen 8—14 noch folgende Daten aufgenommen: 8 gibt die Größe der Auffangfläche F in cm^2 , 9 die Kapazität c der Auffangschale in cm , 10 die Kapazität eines Quadratcentimeters der Auffangschale $\frac{c}{F}$ in cm^{-1} , 11 die kleinste meßbare Elektrizitätsmenge in Ces, wobei unter Ces die Einheit der Elektrizitätsmenge im elektro-

statischen Maßsystem verstanden ist; diese Zahlen gelten nur approximativ, weil die zu ihrer genauen Berechnung nötigen Daten vielfach fehlen. Das gleiche gilt von Rubrik 12, die die eben noch meßbaren Stromdichten des vertikalen Konvektionsstromes in Ampère pro cm^2 angibt. In Rubrik 13 sind die Zeiten angegeben, während welcher die Auffangschale für eine Messung dem Regen ausgesetzt war. 14 gibt die maximalen beobachteten Werte der Stromdichte.

1. Wolfenbüttel (J. Elster und H. Geitel).

Wenn man von einer mehr der grauen Vorzeit angehörigen Aufstellung eines Elektro-Pluviometers in Kew absieht, über die W. Thomson, Proc. Royal Soc., 1860, S. 277 kurz berichtet und über dessen Resultate nichts bekannt geworden ist, waren Elster und Geitel auch auf diesem Gebiete luftelektrischer Forschung die Ersten, indem sie nicht nur eine Versuchsanordnung ausarbeiteten, die im wesentlichen vorbildlich geblieben ist, sondern auch schon vor mehr als 20 Jahren auf die wichtigsten Fehlerquellen hinwiesen.

Ihre Beobachtungen umfassen zwei Serien, in den Jahren 1888–89 und 1890–93. Die aus Fig. 1 ersichtliche Auffangschale *A* war mit einem im Keller aufgestellten Quadranten-elektrometer verbunden, das von einem Beobachter abgelesen wurde. Während der Beobachtungen war die Schale durch einen darüber schiebbaren Deckel vor den Schwankungen des Erdfeldes vollkommen geschützt. Gleichzeitig nahm ein zweiter Beobachter in der ersten Beobachtungsserie mit einem Flammenkollektor und einem Bohnenbergerschen Elektroskop eine Vorzeichenbestimmung des Potentialgefälles vor; bei der zweiten Serie wurde das Potentialgefälle mit Wassertropfer und Exnerschen Elektroskop nach einer Shunt-Methode bestimmt.

Das Erdfeld in der Nähe der Auffangschale war durch ein Drahtnetz *D* wesentlich geschwächt. Der ganze Apparat stand etwa 6 m von der Hauswand entfernt. Eine Messung der Niederschlagsmenge wurde nicht gemacht. Beobachtungen wurden nur bei Windstille ausgeführt.

2. Göttingen (H. Gerdiens).

Die Beobachtungen Gerdiens fallen in das Jahr 1902 und sind leider nur ganz kurz beschrieben. Das Dach der Beobachtungshütte, 2.1 mal 2.1, Höhe 2 m, die in einer Waldlichtung beim Geophysikalischen Institut zu Göttingen errichtet war, wurde überragt von vier 1.7 m langen Stangen, die einen oben offenen Drahtnetzkäfig trugen. Die Auffangschale war auf einer photographisch registrierenden Federwage befestigt, um jederzeit die Menge des gefallenem Niederschlags messen zu können. Diese Schale war durch einen Widerstand von zirka 10^{12} Ohm zur Erde abgeleitet, und die Menge der mit dem Niederschlag transportierten Elektrizität wurde aus der Größe des Potentials ermittelt, zu dem die Auffangschale durch den Konvektionsstrom der Niederschlags Elektrizität aufgeladen wurde. Die Registrierung dieses Potentials geschah ebenfalls photographisch mittels eines Quadrantenelektrometers.

Die in der Zeiteinheit der Auffangschale zugeführte Elektrizitätsmenge $\frac{d\varepsilon}{dt}$ fließt teils als Ohmscher Strom von der Stärke $\frac{v}{w}$ durch den Widerstand w zur Erde teils bewirkt sie eine Aufladung der Auffangschale und des Elektroskopes im Betrage $C \frac{dv}{dt}$. Es ergibt sich somit

$$d\varepsilon = C dv + \frac{v}{w} dt$$

(in der Abhandlung Gerdiens ist die Formel durch einen sinnstörenden Druckfehler entstellt). Es läßt sich somit für ein Zeitintervall $t_1 - t_0$ die gefallene Elektrizitätsmenge berechnen nach der Gleichung

$$\varepsilon = C(v_1 - v_0) + \frac{v_m}{w}(t_1 - t_0),$$

wobei v_m den Mittelwert des Potentials zwischen den Zeiten t_0 und t_1 bezeichnet.

Tabelle I.

1	Autor	Elster u. Geitel		Gerdien	Weiß
2	Ort	Wolfenbüttel I II		Göttingen	Wien
3	Zeit	1888 II. bis 1889 VI.	1890 V. bis 1893 II.	1902	1906 I.—IV.
4	Zahl der Niederschläge	38 { 9 ✱ 29 ☉	18 { 2 ☉ 4 ✱ 1 Boe 11 ☾	unbekannt	16 { 8 ✱ 5 ☉ 3 Boe
5	Methode	Einzelmessung Quad. El., abge- deckte Schalen		Schale durch $w = 10^{12}$ ☉ abge- leitet und deren Pot. mit phot. reg. Quad. El. gemessen	Einzelmessung mit Bürste und Hankel El.
6	Potentialgefälle	Vor- zeichen Bestim- mung	Messung mit Tropfer und Elektro- skop	Phot. reg. Quad. El. Radiumbro- mid Elektr.	Größenordnung und Vorzeichen mit Tropfer und Elektroskop
7	Niederschlagsmenge	nicht gemessen		Gewicht des ge- messenen Nieder- schlags m. Feder- wage registriert $1 \text{ mm} = \frac{1}{80} \text{ mm}$ Regen	geschätzt nach Wiesner Tropfengrößen
8	Auffangfläche F'	415 cm ²		200	133
9	Kapazität c	144 cm		84.2	23
10	Kapazität pro cm ² $\frac{c}{F'}$	0.35 cm ⁻¹		0.42	0.17
11	Kleinstemeßbare El.-Menge	0.005 Ces		?	0.007
12	Kleinste meßbare Strom- dichte	$10^{-17} \frac{A}{\text{cm}^2}$		$? < 10^{-16}$	$0.7 \cdot 10^{-16}$
13	Expositionsintervall	2 ^{sec} — 5 ^{min}		—	30 ^{sec} — 3 ^{min} 5 ^{min} , 7 ^{min}
14	Maximum der beobachteten Stromdichte	$0.7 \cdot 10^{-12} \frac{A}{\text{cm}^2}$		$> 10^{-12} \frac{A}{\text{cm}^2}$	$1.5 \cdot 10^{-13} \frac{A}{\text{cm}^2}$

Kohlrausch	Simpson	Kähler	Benndorf		Baldit	
Puerto-Rico	Simla I II	Potsdam	Graz I II		Puy-en-Velay I II	
1907 XI. bis 1908 III.	1908 1909 IV.—IX. IV.—IX.	1908	1908 XI. bis 1909 VI.	1909 X. bis 1910 XII.	1910 V.—X.	1911 V.—XII.
23 { 22  1 	unbekannt	263 { 32  118  84 Boe 29 	66	306	48 { 21  27 	58
Einzelmessung mit geschützter Bürste u. Wilson Elektroskop	Mech. reg. Quad. El.	Mech. reg. Quad. El.	Mech. reg. Quad. El. 2 Schalen, bei Messung ab- gedeckt		Einzelmessung Quad. El.	
nicht bestimmt	Mech. reg. Quad. El. Radium- Kollektor	Mech. Reg. Quad. El. Wassertropfer	Mech. reg. Quad. El. Polonium Kollektor		nicht bestimmt	
Ombrometer	registriert mit Wippe und Uhr- werk	registriert mit Regenmesser	direkt gewogen, später m. Horner- scher Wippe registriert		registriert Richard Regenmesser	
133	660	900	4940		200	
14.4	141	110	380		73	
0.11	0.21	0.12	0.08		0.36	
0.005	0.5	0.029	0.7		0.1	
10^{-16}	$2 \cdot 10^{-15}$	$0.9 \cdot 10^{-16}$	$0.8 \cdot 10^{-16}$		$0.5 \cdot 10^{-16}$	
2 ^{min}	2 ^{min}	2 ^{min}	10 ^{min}		15 ^{sec}	
$3 \cdot 10^{-14} \frac{A}{cm^2}$	$4.4 \cdot 10^{-13} \frac{A}{cm^2}$		$> 2.3 \cdot 10^{-14}$		10^{-12}	

Die Vorteile dieser Methode bestehen in einer kontinuierlichen Registrierung des elektrischen Konvektionsstroms, werden aber nach meiner Ansicht durch die Nachteile, über die im Abschnitt Fehlerquellen gesprochen werden wird, mehr als aufgewogen.

Das Potentialgefälle wurde mit Radiumbromidelektrode mit einer Halbwert-Aufladungszeit von 10 sec mittels eines Quadrantenelektrometers ebenfalls photographisch registriert. Es ist zu vermuten, daß durch die relativ geschützte Aufstellung in der Waldlichtung sich in Göttingen Windstörungen weniger geltend gemacht haben als an anderen Registrierorten.

3. Wien (E. Weiß).

Die Messungen von Weiß umfassen eine Reihe von Schnee- und Regenfällen im Frühjahr des Jahres 1906. Die Messungen wurden so ausgeführt, daß eine mit einem isolierten Handgriff versehene Bürste (mit den Borsten nach oben, um das Abspritzen der Tropfen zu vermeiden) durch eine gewisse Zeit dem Regen ausgesetzt, und die dadurch der Bürste mitgeteilte Ladung dann an einem Hankelschen Elektroskop im Zimmer gemessen wurde.

Vor und nach jeder Exposition der Bürste wurde die Größenordnung und das Vorzeichen des Potentialgefälles mit Wassertropfer und Elektrometer im relativen Maße bestimmt. Die Messungen geschahen auf der gegen Wind ziemlich geschützten Terrasse der Sternwarte in Wien. Gleichzeitig wurden Stichproben der Größe der fallenden Regentropfen nach der Wiesnerschen Methode vorgenommen, indem ein mit Eosin bestäubtes Filtrierpapier eine gewisse Zeit dem Regen ausgesetzt und aus der Größe der sich ergebenden farbigen Flüssigkeitskreise ein Rückschluß auf die Größe der Tropfen gezogen wurde.

4. Puerto-Rico (K. W. F. Kohlrusch).

Die Weißsche Methode leidet an dem Nachteil, daß die Aufladung der Bürste nicht nur durch die Regentropfen sondern auch durch den vertikalen Leitungsstrom erfolgt. Bei

starken Feldern läßt sich in der Tat eine Aufladung konstatieren, auch wenn kein Regen fällt. Kohlrausch hat daher die Methode von Weiß insoferne verbessert, als er die Bürste *B* (Fig. 2) in einem Kasten, dessen durchlochstes Dach mit einer Kokosmatte bedeckt war, vor dem Erdfelde schützte. Seine Messungen umfassen eine Reihe von Niederschlagstagen (Herbst 1907 und Frühjahr 1908). Die Aufladung der Bürste wurde mit einem eigens konstruierten Wilson-Elektrometer gemessen. Das Potentialgefälle wurde nicht bestimmt, die Regenmenge aus den Angaben eines in der Nähe des Beobachtungsortes aufgestellten Ombrometers entnommen.

5. Simla, Indien (G. C. Simpson).

Die Messungen Simpsons umfassen die Monate April bis September (Monsunperiode) der Jahre 1908 und 1909. Er war der erste, der ein mechanisch registrierendes Elektrometer zur Registrierung der Niederschlags Elektrizität verwandte. Seine Anordnung ist in Fig. 3 dargestellt.

Über dem Hüttendach ist wieder zur Abschwächung des Erdfeldes ein Drahtnetz *D* errichtet. Das mit ziemlich hohem Rande versehene Auffanggefäß war mit dem mechanisch registrierenden Elektrometer verbunden und wurde alle zwei Minuten automatisch zur Erde abgeleitet. Der Ausschlag des Elektrometers war somit ein ziemlich genaues Maß für die während dieser Zeit herabgelangten Elektrizitätsmenge. Gleichzeitig war die Auffangschale mit einem Ausflußrohr *R* versehen, durch das der gefallene Regen in eine Horner'sche Wippe abtropfen konnte, wodurch es möglich war, die gefallene Regenmenge zu registrieren.

Das während eines Meßintervalles von zwei Minuten prädominierende Vorzeichen des Potentialgefälles wurde mittels eines Bambusstabes, der aus der Hütte in die Luft hinausragte und an seinem Ende eine Glasröhre mit einem Radium Salz trug und in Verbindung mit einem mechanisch registrierenden Elektrometer stand, bestimmt.

Außerdem war zur Registrierung von Blitzen ein Draht in die Luft gespannt und mit einem Kohärer verbunden. Der Kohärer war so unempfindlich gemacht, daß Entladungen auf größere Distanzen nicht registriert wurden.

6. Potsdam (K. Kähler).

Die Zeit der bisher publizierten Registrierungen umfaßt das Kalenderjahr 1908. Die Publikation der späteren Beobachtungsergebnisse soll in Vorbereitung sein. Die Auffangschale *A* (Fig. 4) steht in Verbindung mit einem mechanisch registrierenden Elektrometer, das auf eine weiter unten zu beschreibende Weise alle zwei Minuten zur Erde abgeleitet wurde. Über dem Dach des Beobachtungshauses befand sich wiederum ein Drahtkäfig *D*. Das Potentialgefälle wurde mit Wassertropfer und Elektrometer, die Niederschlagsmenge mittels eines außerhalb des Beobachtungshäuschens aufgestellten Regenmessers registriert.

Bei dem zur Niederschlagsregistrierung verwendeten Elektrometer waren einige Änderungen gegenüber der gebräuchlichen Form angebracht. Die Isolation zwischen Aufhängefaden und Elektrometernadel wurde entfernt und zwischen Nadel und Schwefelsäuredämpfung angebracht. Außerdem wurden die Aufhängefaden vom Gehäuse isoliert und zur Zuleitung verwendet. Auf diese Weise waren Elektrometernadel, Zuleitungsdraht und Zeiger des Instrumentes leitend miteinander verbunden und auf das zu messende Potential aufgeladen. Wenn dadurch auch erreicht war, daß durch die Niederdruckvorrichtung, die alle zwei Minuten in Tätigkeit versetzt wurde, die Auffangschale automatisch entladen wurde, so war doch damit der Nachteil verbunden, daß bei größeren Ausschlägen des Instrumentes elektrostatische Einwirkungen auf den Zeiger nicht ausgeschlossen waren und die Ausschläge in nicht genügend kontrollierbarer Weise beeinflusst wurden.

7. Graz (H. Benndorf).

Die Registrierungen der luftelektrischen Station in Teichhof bei Graz reichen vom November 1908 mit einigen Unterbrechungen bis Dezember 1910. Die ausführliche Publikation der Registrierergebnisse erfolgt demnächst in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie.

Um elektrostatische Beeinflussungen der Auffangschale mit vollkommener Sicherheit auszuschließen, waren zwei Auffangschalen A_1 und A_2 (Fig. 5) angebracht, von denen die eine während des Messungsintervalls von zehn Minuten dem Regen ausgesetzt, während die andere mit einem Deckel verschlossen war und während dieser Zeit mit einem mechanisch registrierenden Elektrometer in Verbindung stand. Durch einen automatisch fungierenden Mechanismus drehte sich der Deckel nach Verlauf von zehn Minuten um eine vertikale Achse, gab dem Regen den Weg zur bisher bedeckten Schale frei und bedeckte die andere. In dem Momente, wo sich der Drehmechanismus in Tätigkeit setzte, wurde die bedeckte Schale samt anhängenden Elektrometer zur Erde abgeleitet und das Elektrometer an die andere Schale angeschaltet. Dadurch daß das Elektrometer zehn Minuten lang mit der aufgeladenen Schale in Verbindung stand, war der Vorteil verbunden, daß aus dem Potentialabfall, den das Elektrometer während dieser zehn Minuten zeigte, die Güte der Isolation stets geprüft werden konnte.

Das Potentialgefälle wurde mit einem Polonium-Kollektor (eine Zeitlang auch mit einem Ionium-Kollektor) und zwei angeschalteten Quadrantenelektrometern registriert. Das eine dieser beiden Elektrometer war wesentlich unempfindlicher, so daß sein Meßbereich auch bei ziemlich starken Störungen noch ausreichte. Die beiden Auffangschalen waren mit Abtropfvorrichtungen verbunden, durch die der Regen einer Horner'schen Wippe zugeleitet und registriert werden konnte.

Um die Auffangschalen vor dem Erdfelde zu schützen, zur Vermeidung einer Aufladung durch den vertikalen Leitungsstrom, waren auf dem Dach der Beobachtungshütte zwei

zylindrische Blechtürme B_1 und B_2 angebracht. Ein Drahtnetz zum Schutze des oberen Randes dieser Blechtürme gegen influenzierte Ladungen war aus weiter unten anzugebenden Gründen nicht angebracht.

8. Puy-en-Velay (A. Baldit).

Die Beobachtungen umfassen zwei Serien; eine Mai bis Oktober 1910, die zweite Mai bis Dezember 1911. Die vom Verfasser angewandte Methode stellt gewissermaßen ein Mittelglied zwischen einer Registriermethode und Einzelmessungen dar, indem der Ausschlag eines Quadrantenelektrometers, auf das die Auffangschale (Fig. 6) direkt aufmontiert war, mittels Spiegel und Skala alle 15 Sekunden abgelesen wurde. Nach jeder Viertelminute wurden Quadrantenelektrometer und Schale geerdet. Ein drehbarer Deckel diente dazu, bei sehr starken Regenfällen die Schale nur während eines Bruchteiles des Beobachtungsintervalles dem Regen zu exponieren. Auf dem Dach der Hütte war ein Drahtnetz als elektrostatischer Schutz angebracht.

Der Verfasser hat während der Messungsperioden im ganzen circa 15000 einzelne Messungen angestellt. Das Potentialgefälle wurde nicht gemessen, die Niederschlagsmenge in einem außerhalb aufgestellten Regenmesser mit Richardschem Registrator bestimmt.

9. Messungen im Gang.

Soweit mir bekannt geworden ist, werden Messungen der Niederschlagselektrizität gegenwärtig angestellt in Argentinien (G. Berndt), in Davos (C. Dorno) und in Potsdam; Veröffentlichungen darüber sind noch nicht erschienen, nur Berndt erwähnt, daß auch bei seinen Messungen ein Überschuß positiver Elektrizität sich bereits ergeben habe.

III. Fehlerquellen.

Im folgenden sollen die wichtigsten Fehlerquellen, die bei den bis jetzt verwendeten Methoden zu befürchten sind, besprochen und gleichzeitig versucht werden, einen Überblick zu gewinnen, welche Rolle sie bei den verschiedenen, wirklich ausgeführten Messungen gespielt haben können.

1. Einfluß des Erdfeldes.

Wenn zur Zeit der Ableitung der Auffangschale die Intensität des ungestörten elektrischen Feldes $\mathcal{E}'_0$ und zur Zeit, wo das Potential der Auffangschale gemessen wird, $\mathcal{E}''_0$ ist, dann wird in diesem Moment durch das Erdfeld auf der Auffangschale eine Ladung influenziert, deren Größe proportional $\mathcal{E}''_0 - \mathcal{E}'_0$ ist und von der Größe der gemessenen Ladung subtrahiert werden muß, um die wahre vom Regen herabtransportierte Elektrizitätsmenge zu finden. Ob diese Influenzladung sich störend bemerkbar machen kann, hängt einerseits von dem Grade der elektrostatischen Geschützttheit der Auffangschale, andererseits von dem Grade der Empfindlichkeit der Meßanordnung ab, wie sie durch die Zahlen in Rubrik 11 der Tabelle I angegeben sind.

Fast alle Beobachter, die mit offener Auffangschale gearbeitet haben, geben an, daß sie selbst bei starken Feldstörungen keine Influenzladungen an ihren Apparaten konstatieren konnten. Indessen ist diese Methode der subjektiven Abschätzung zu einzelnen Zeitpunkten nicht ganz einwandfrei und es soll im letzten Abschnitt eine Methode angegeben werden, wie sich in exakter Weise die Größenordnung der möglichen influenzierten Ladung bestimmen läßt.

Vermieden ist diese Fehlerquelle vollkommen bei den Stationen Wolfenbüttel, Wien, Puerto-Rico, Graz, weil die Ableitung und Messung der Schale im vollkommen geschützten Felde geschah. Bei starken Gewittern mag in den übrigen Stationen sich ein kleiner Einfluß der Influenzladung bemerkbar gemacht haben.

2. Fehler durch abgespritzte Tropfen.

Gelangt ein Tropfen in die Auffangschale, der vorher mit einem hervorragenden Gegenstand (Dachkante, Schutznetz, Trichterrand) in Berührung gewesen ist, so bringt er eine Ladung in die Schale mit, deren Vorzeichen dem des elektrischen Feldes entgegengesetzt ist und deren Größe von der Feldstärke an der Stelle abhängt, wo er abgespritzt ist. Da sich das Abspritzen nicht vollkommen beseitigen läßt, muß Sorge getragen werden, daß jene Stellen, an denen vermutlich ein schädliches Abspritzen stattfinden kann, elektrostatisch abgeschützt sind.

Von Elster und Geitel angefangen bis zu Baldit haben alle Beobachter große Sorgfalt auf Vermeidung dieser Fehlerquelle verwendet, und es scheint in der Tat kein erheblicher Fehler bei ihren Messungen entstanden zu sein. Nur in Graz habe ich absichtlich die beiden, oben allerdings zugeschürften Blechtürme nicht abgeschützt, um den Einfluß dieser Fehlerquelle studieren zu können, worüber am angegebenen Orte berichtet werden soll. Da das Verhältnis Umfang des Trichterrandes zu Flächeninhalt der Auffangschale sich mit zunehmenden Dimensionen verkleinert, kann der Fehler bei der Größe der verwendeten Auffangschale in Graz nur mehr klein sein.

Fehler durch Herausspritzen von Tropfen aus der Auffangschale, wobei sie Ladung mitnehmen, könnten nur dort eintreten, wo die Auffangschale direkt dem Erdfelde ausgesetzt ist, wie z. B. bei Weiß. Dort wurden sie aber dadurch vermieden, daß durch Verwendung einer Bürste zum Auffangen das Abspritzen verhindert wurde.

3. Aufladung durch Leitung.

Da der vertikale Leitungsstrom in der Atmosphäre Beträge erreichen kann, die von derselben Größenordnung sind wie die des Konvektionsstromes der Niederschlags elektrizität, können überall dort, wo das Erdfeld über der Auffangschale nicht stark geschwächt ist, Fehler entstehen, indem die Schale gleichnamig mit dem Potentialgefälle aufgeladen wird.

So konnten in der Tat sowohl von Kohlrausch in Puerto-Rico an einer frei gehaltenen Bürste als auch in Graz in der ersten Registrierperiode, wo die Auffangschalen während des Regens wenig abgeschützt waren, eine spontane Aufladung bei starkem Potentialgefälle konstatiert werden, ohne daß Regen fiel. Bei den meisten Beobachtungen kommt indessen diese Fehlerquelle nicht in Betracht, es können höchstens einige Messungen von Weiß und einige aus der ersten Registrierperiode in Graz dadurch gefälscht sein.

4. Lenard-Effekt.

Lenard hat nachgewiesen, daß ein Tropfen reinen Wassers, der an einem festen Hindernis zerspritzt, sich positiv aufladet, während die negative Ladung in der umgebenden Luft verbleibt. Mit Rücksicht auf den Umstand, daß die Messungen der Niederschlags Elektrizität ein Überwiegen der positiven Ladungen ergeben haben, wäre es von vornherein nicht unmöglich, daß sie vom Lenard-Effekt vorgetäuscht sind. Indessen zeigen die folgenden Versuche und Überlegungen, daß dieser Effekt keine nennenswerte Rolle spielt.

Baldit und Simpson verwendeten eben mit Rücksicht auf diese Fehlerquelle sehr tiefe Auffangschalen. Würde der Tropfen wirklich merklich positiv geladen, so sitzt doch die gleiche negative Ladung in der umgebenden Luft, wodurch bei einer tiefen Auffangschale kein Fehler bewirkt wird. Ferner haben Versuche in Graz, das Zerspritzen der Tropfen am Blech der Auffangschale durch ein darin aufgespanntes, leicht durchlässiges Tuch zu verhindern, keinen Unterschied in der Aufladung der Schale erkennen lassen.

Schließlich zeigen noch folgende Erwägungen, daß der Lenard-Effekt bei Regen nur sehr gering sein kann. Nach Messungen von Lenard beträgt die Ladung eines Tropfens von etwa 2 mm Durchmesser bei der großen Geschwindigkeit von 18 m/sec $0.6 \cdot 10^{-3}$ Ces. Ein cm^3 Wasser würde also eine Elektrizitätsmenge von 0.14 Ces erhalten. Diese Elektrizitätsmenge ist gegenüber der von 1 cm^3 Regen durchschnittlich herab-

gebrachten Elektrizitätsmenge schon klein und wird natürlich noch kleiner bei der viel kleineren Geschwindigkeit der Regentropfen. Es kann also mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, daß diese Fehlerquelle bei den bisherigen Beobachtungen nirgends eine Rolle spielt.

5. Fehler durch Elektrizitätsverluste der Auffangschale.

Sowohl durch mangelhafte Isolation als auch durch Luftleitung verliert die aufgeladene Schale fortwährend an Ladung. Bei subjektiver Beobachtung können und müssen natürlich öfters Isolationsprüfungen vorgenommen werden. Bei Registrierung können jedoch durch Isolationsfehler nicht unerhebliche Störungen entstehen und zwar sind es da, wie überhaupt bei luftelektrischen Messungen, nicht die ganz starken Isolationsfehler, die gefährlich sind, sondern jene, bei denen die Verluste noch so gering sind, daß eine wirkliche Aufladung der Schale eintreten kann. Bei der in Graz verwendeten Registrierungsmethode, wo die geladene und abgedeckte Schale durch zehn Minuten hindurch in Verbindung mit dem Elektrometer blieb, konnten Korrekturen für Isolationsfehler jederzeit angebracht werden. Es zeigte sich aber auch, daß selbst bei guter Beschaffenheit der Isolationsstützen die Verluste durch Luftleitung einen recht respektablen Wert annehmen können.

In Potsdam ist die Aufstellung des Apparates durch Verwendung fortdauernden Gasheizens eine so günstige, daß Isolationsfehler kaum eingetreten sein werden. Indessen ist es nicht überall möglich, so günstige Aufstellungsbedingungen zu schaffen, weshalb Sorgfalt auf die Elimination dieser Fehlerquelle zu legen ist.

Fast mit Sicherheit kann man annehmen, daß sich Isolationsfehler sehr störend bei den Messungen in Göttingen bemerkbar gemacht haben müssen und das ist auch der Grund, weshalb ich große Bedenken gegen die von Gerdien verwendete Methode der Registrierung habe. Die Ladung der Schale Gerdiens, durch einen Widerstand von 10^{12} Ohm zur Erde

abgeleitet, würde erst in der Zeit von rund einer Minute auf den halben Wert sinken. Man sieht also, daß Isolationsfehler mittlerer Größe dieselbe Größenordnung haben wie die des verwendeten Widerstandes. Da nun die Isolationsfehler stark variabel sind, so darf wohl angenommen werden, daß die nach dieser Methode angestellten Beobachtungen außerordentlich stark mit unkontrollierbaren Fehlern behaftet sind.

6. Sonstige Fehlerquellen.

Es ist selbstverständlich, daß auch bei Niederschlagsmessungen jene Regeln zu beachten sind, die für luftelektrische Messungen allgemein gelten. Insbesondere gilt das für jene Korrekturen, die an den Ablesungen der Instrumente anzubringen sind, um der Trägheit der verwendeten Elektrometer Rechnung zu tragen, auf die ich in meiner Arbeit¹⁾ ausführlich eingegangen bin. Insbesondere, wenn es sich um Vergleich zwischen Niederschlags Elektrizität und Potentialgefällsänderungen handelt, können durch Außerachtlassung dieser Regeln arge Fehler entstehen.

Schließlich sei noch eines Umstandes gedacht, der sich als äußerst starke Fehlerquelle, wenngleich in einem etwas anderen als dem obengenannten Sinne darstellt; es ist dies der Wind. Er bewirkt nicht nur, daß nur ein Teil des Niederschlages wirklich in die Auffangschale hineinkommt, er verringert also die pro Zentimeter gemessene Regen- und Elektrizitätsmenge, er kann auch bewirken, daß die Regentropfen im beträchtlichen Maße in Berührung mit den schützenden Drahtnetzen oder Schirmen kommen und auf diese Weise Fehler bewirken. Es ist dies eine Fehlerquelle, welche unter Umständen Fehler von 50 und mehr Prozent bewirken kann.

Vor Wind geschützte Aufstellungsorte (Wolfenbüttel, Göttingen) haben daher große Vorteile für sich. Noch mehr zeigt sich aber hier die Überlegenheit der subjektiven Beobachtung

¹⁾ Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität XXXIII. Wiener Ber. CXVIII, Abt. IIa, 1909.

vor der Registrierung. Wenngleich nicht geleugnet werden soll, daß gewisse Daten nur durch Registrierung zu gewinnen sind, so wäre gerade hier noch mehr als auf anderen Gebieten luftelektrischer Forschung der subjektiven Einzelmessung das Wort zu reden.

Betrachtet man das vorliegende Beobachtungsmaterial, so muß man, wenn man die einzelnen Fehlerquellen Revue passieren läßt, zugestehen, daß der Genauigkeitsgrad der erhaltenen Beobachtungen kein sehr großer ist, seiner Natur nach aber auch nicht sein kann, und daß Fehlerquellen, welche die Resultate in systematischer Weise fälschen könnten, im allgemeinen nicht vorgekommen sind.

IV. Resultate.

Im folgenden sollen die wichtigsten Folgerungen gezogen werden, die sich aus den bisherigen Beobachtungsergebnissen ergeben. Im Interesse der Übersichtlichkeit und Kürze kann natürlich nicht auf Einzelheiten eingegangen werden, bezüglich deren auf die Originalarbeiten verwiesen werden muß. Trotzdem die Beobachtungen an Orten mit völlig verschiedenem Klima (Mitteleuropa, Argentinien, Indien) angestellt wurden, hat sich doch so viel Gemeinsames ergeben, daß es berechtigt erscheint, gewisse Gesetzmäßigkeiten als allgemein gültig anzusehen. Zunächst in die Augen springt

1. Überwiegen der positiven Ladung.

Alle Beobachtungen, die sich über längere Zeiträume erstrecken, haben ein deutliches Überwiegen der positiven Ladung ergeben. Man sieht es deutlich aus den Zeilen 1—4 der Tabelle II, in der die Werte der beobachteten Gesamtladung innerhalb des jeweiligen Beobachtungsintervalls in $\frac{\text{Ces}}{\text{cm}^2}$ ¹⁾ an-

¹⁾ Im folgenden soll stets für die elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge die Abkürzung Ces, für die elektrostatische Einheit der Stromstärke die Abkürzung Aes gebraucht werden.

gegeben sind, und es ist auffallend, wie relativ konstant das Verhältnis der positiven zur negativen Ladung an den klimatisch so verschiedenen Orten ist.

Wie aus Zeile 5—7 der Tabelle II hervorgeht, in denen die absoluten Zeitauern in Minuten und die relativen in Prozent angegeben sind, während deren positiv und negativ geladener Regen gefallen ist, ist das Überwiegen der positiven Ladungen hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß positiver Regen häufiger fällt als negativer Regen. Der Unterschied zwischen den mittleren positiven und negativen Stromdichten in $\frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ gemessen, ist nicht sehr groß; sie zeigen in Indien ein Überwiegen der positiven, in Frankreich und Graz ein Überwiegen der negativen Stromdichten.

Die oben angeführten Zahlen sind Mittelwerte, die sich aus langen Serien von Beobachtungen ergeben. In kürzeren Zeiträumen sind diese Gesetzmäßigkeiten verwischt und es ist daher kein Widerspruch mit den oben angeführten, daß die Beobachtungen in Wolfenbüttel sowohl wie die von Gerdien in Göttingen ein Überwiegen der negativen Ladungen ergeben konnten.

Man kann es jetzt jedenfalls als sichergestellt betrachten, daß im Mittel vom Regen positive Ladung zur Erde gebracht wird, etwa von der Größenordnung einiger $\frac{\text{Ces}}{\text{cm}^2}$ pro Jahr, und es ist daher nicht länger angängig, den durch Leitungsstrom bedingten Verlust der negativen Erdladung durch den Konvektionsstrom der Niederschlags Elektrizität sich ersetzt zu denken. Um ein Bild von der Größenordnung dieses Verlustes zu gewinnen, sei angeführt, daß unter Annahme einer mittleren Vertikalleitungsstromdichte von $3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2} = 10^{-16} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$ sich im Jahr ein Elektrizitätsverlust eines cm^2 von $9 \text{ Ces} = 3 \cdot 10^{-19}$ Coulomb ergibt.

Tabelle II.

		Simla		Puy-en-Velay		Potsdam	Graz
		1908	1909	1910	1911	1908	1910
1	Gesamtladung e_+ in $\frac{\text{Ces}}{\text{cm}^2}$	22.3 (75 0/0)	21.7 (78 0/0)		7.5 (57.6 0/0)		7.4 (72 0/0)
2	Gesamtladung e_- in $\frac{\text{Ces}}{\text{cm}^2}$	7.6 (25 0/0)	6.2 (22 0/0)		5.5 (42.4 0/0)		2.9 (28 0/0)
3	Überschuß $e_+ - e_-$ in $\frac{\text{Ces}}{\text{cm}^2}$	14.7	15.5		2.0	1.7	4.5
4	Verhältnis $q_e = \frac{e_+}{e_-}$	2.9	3.2		1.36		2.6
5	Zeit, in der positiver Regen fiel t_+ in min	2790 (70 0/0)	3000 (73 0/0)	526 (60 0/0)	2100 (74 0/0)		20870 (74.7 0/0)
6	Zeit, in der negativer Regen fiel t_- in min	1216 (30 0/0)	1226 (27 0/0)	347 (40 0/0)	734 (26 0/0)		7090 (25.3 0/0)
7	Verhältnis $q_t = \frac{t_+}{t_-}$	2.3	2.6	1.5	2.86		2.95
8	Mittlere Stromdichte des pos. Regens i_+ in Aes/cm ²	$1.33 \cdot 10^{-4}$	$1.13 \cdot 10^{-4}$		$0.6 \cdot 10^{-4}$		$0.059 \cdot 10^{-4}$
9	Mittlere Stromdichte des neg. Regens i_- in Aes/cm ²	$1.05 \cdot 10^{-4}$	$0.84 \cdot 10^{-4}$		$1.24 \cdot 10^{-4}$		$0.068 \cdot 10^{-4}$
10	Verhältnis in $q_i = \frac{i_+}{i_-}$	1.28	1.32		0.48		0.90

Tabelle III.

Stromdichte in $\frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$	Simla			Puy-en-Velay		
	Relative Häufigkeit in Prozenten		$q_t = \frac{t_+}{t_-}$	Relative Häufigkeit in Prozenten		$q_t = \frac{t_+}{t_-}$
	pos.	neg.		pos.	neg.	
$< 150 \cdot 10^{-6}$	78.1 0/0	86.0 0/0	0.91	68.5 0/0	75.3 0/0	0.91
$150 \cdot 10^{-6} - 300 \cdot 10^{-6}$	12.2	9.5	1.28	15.6	12.2	1.28
$300 \cdot 10^{-6} - 600 \cdot 10^{-6}$	6.9	3.6	1.92	10.0	7.8	1.28
$> 600 \cdot 10^{-6}$	2.8	0.8	3.50	5.9	4.7	1.26

Tabelle IV.

Stromdichte in $\frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$	Graz		
	Relative Häufigkeit in Prozenten		$q_t = \frac{t_+}{t_-}$
	pos.	neg.	
$< 1 \cdot 10^{-6}$	4.2 0/0	7.3 0/0	0.58
$1 - 5 \cdot 10^{-6}$	53.8	40.4	1.33
$5 - 10 \cdot 10^{-6}$	16.4	12.8	1.28
$10 - 50 \cdot 10^{-6}$	17.9	21.6	0.83
$50 - 70 \cdot 10^{-6}$	1.9	4.3	0.44
$> 70 \cdot 10^{-6}$	5.8	13.6	0.43

2. Relative Häufigkeit der verschiedenen Stromdichten.

In Tabelle II und IV ist nach den Beobachtungen von Simla, Puy-en-Velay und Graz die relative Häufigkeit der verschiedenen Stromdichten angegeben. Man sieht aus Tabelle III, daß die Stromdichtenhäufigkeit abnimmt mit der Intensität der Ströme, so zwar, daß $\frac{3}{4}$ aller Stromdichten kleiner sind als $150 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2} = 50 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$. Bei diesen relativ schwachen Stromdichten überwiegen die negativen Ströme.

In Tabelle IV, die Beobachtungen von Graz umfassend, zeigt sich abgesehen davon, daß die Ströme geringer sind, im wesentlichen dieselbe Erscheinung, nur daß hier bei den ganz schwachen und bei den starken Strömen negative Stromdichten überwiegen. Daß die in Graz beobachteten Werte für die Stromdichten im allgemeinen kleiner sind als in Simla und Puy-en-Velay, dürfte seinen Grund hauptsächlich darin haben, daß das Beobachtungsintervall 5 resp. 40 mal größer war; ein Punkt, auf den weiter unten noch zurückzukommen ist.

3. Extreme Werte der Stromdichte.

Gerdien findet häufig Stromdichten, die $3000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ ($1000 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$) überschreiten, Baldit 13 mal (8 positiv, 5 negativ) von $1500 - 3300 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ ($500 - 1100 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$), Kähler 21 mal Stromdichten größer als $210 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ ($70 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$), Simpson 1908, 33 mal (15 positiv, 18 negativ) von $900 - 3000 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ ($300 - 1000 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$), 1909, 24 mal ausschließlich positiv $900 - 1140 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ ($300 - 613 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$), in Graz 31 mal größer als $70 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Aes}}{\text{cm}^2}$ ($23 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$).

Aus diesen Zahlen sieht man zunächst, daß die beobachteten maximalen Stromdichten um so höher ausfallen, je kürzer das Beobachtungsintervall ist, was seine Erklärung darin findet, daß beim Fallen des Regens die positiven und negativen Ladungen sehr rasch wechseln. So führt Baldit als Beispiel folgenden Fall an:

Die beobachtete maximale Stromdichte ist $-281 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$.

Würde aber nicht alle $\frac{1}{4}$ Minute, sondern nur alle 2 Minuten

beobachtet worden sein, so würde hier nur der Mittelwert $-72 \cdot 10^{-15} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$ sich ergeben, wie folgende Zusammenstellung zeigt.

Zeit	Stromdichte $\frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$ $\times 10^{-15}$
18 ^{min} 30	— 211
45	— 134
19 ^{min} 00	+ 142
15	+ 187
30	+ 87
45	— 124
20 ^{min} 00	— 160
15	— 281
30	— 189
Mittel	— 7.2

Daß Simpson bei seinem 2 Minuten-Beobachtungsintervall wesentlich höhere Werte findet als z. B. Kähler, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß es sich bei ihm um ungleich heftigere Gewitterbildung handelt, wie sie bei Monsun in Indien auftreten. Bemerkenswert ist vielleicht im Hinblick auf die von Simpson gegebene Theorie der Entstehung der Niederschlags-
elektrizität, daß im Jahre 1909 alle Extreme positiv waren und daß die 18 negativen Werte im Jahre 1908 fast ausschließlich (15) von einem ganz außergewöhnlichen Gewitter stammen. Im allgemeinen wird man etwa sagen können, daß die maximalen, beobachteten Stromdichten von der Größenordnung $10^{-12} \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$ sind.

4. Verhältnis der Ladung zur Regenmenge.

Die von einem Gramm Wasser heruntergebrachte Ladung variiert ziemlich stark. Aus Tabelle V kann nach den Beobachtungen von Simpson die relative Häufigkeit des Vorkommens bestimmter Ladungen pro Gramm entnommen werden

Tabelle V.

Regenladung per Gramm in $\frac{\text{Ces}}{\text{gr}}$	Simla 1908 und 1909		
	Zahl der 2 Minuteninter- valle, während deren der Regen war		Zahl der pos. Intervalle
	positiv	negativ	Zahl der neg. Intervalle
< 0.1	911		
0.1 — 0.9	837	305	2.7
1.0 — 1.9	148	56	2.6
2.0 — 2.9	52	25	2.1
3.0 — 3.9	39	6	6.5
4.0 — 4.9	9	8	1.1
5.0 — 5.9	9	3	3.0
6.0 — 19.8	14	20	0.7

Tabelle VI.

Approxima- tive Regen- intensität in mm pro 2 min	Regen ohne Ladung	Regen mit positiver Ladung		Regen mit negativer Ladung		Verhältnis der posi- tiven Zeit- intervalle zu den negativen	Verhältnis der posi- tiven La- dung pro gr zur ne- gativen Ladung pro gr
	Zahl der 2Minuten- intervalle	Zahl der 2Minuten- intervalle	Mittlere Ladung pro gr Wasser in Ces	Zahl der 2Minuten- intervalle	Mittlere Ladung pro gr Wasser in Ces		
< 0.16	—	386	1.52	293	1.92	1.3	0.8
0.16	1112	818	0.74	420	0.87	1.9	0.8
0.38	300	509	0.40	159	0.41	3.2	1.0
0.60	44	231	0.21	50	0.33	4.6	0.6
0.82	4	126	0.19	13	0.15	9.7	1.3
1.04	0	104	0.24	10	0.11	10.4	2.2
1.26	0	63	0.26	7	0.13	9.0	2.0
1.48	1	63	0.26	2	0.10	31.5	2.6
1.70	0	27	0.28	1	0.10	27.0	2.8
> 1.70	0	74	0.21	4	0.05	18.5	4.2

Tabelle VII.

Regenintensität in mm pro 2 min	Zahl der Viertelminuten- intervalle		Verhältnis der Zeit- intervalle
	pos.	neg.	
< 0.04	3436	1048	3.3
0.04 — 0.08	1968	536	3.7
0.08 — 0.12	1384	604	2.3
0.12 — 0.16	548	268	2.0
0.16 — 0.20	612	304	2.0
> 0.20	400	196	2.0

Es zeigt sich daraus, daß bei weitem am häufigsten Ladungen unter $1 \frac{\text{Ces}}{\text{gr}}$ vorkommen und zwar sind wieder die positiven

Ladungen häufiger. Ladungen von mehr als $6 \frac{\text{Ces}}{\text{gr}}$ sind selten. Ähnliches ergeben die Beobachtungen von Puy-en-Velay und Graz.

Ein und dieselbe Stromdichte kann entweder dadurch erzeugt werden, daß wenig Regen mit starker Ladung oder viel Regen mit schwacher Ladung fällt. Es ist daher von besonderem Interesse, die Beobachtungen nach der Regenintensität zu gruppieren, worüber Tabelle VI von Simpson und VII von Baldit Auskunft geben. Die stärksten Ladungen pro Gramm zeigen die schwächsten Regen.

5. Die verschiedenen Arten der Niederschläge.

Es ist üblich geworden, die Regen in Landregen, Böen und Gewitterregen einzuteilen. Von allgemein gültigen Ergebnissen ist hier nur zu erwähnen, daß die bei Landregen beobachteten Stromdichten im allgemeinen viel niedriger sind, während sich Böen und Gewitter darin nicht wesentlich unterscheiden. Die ganz hohen Werte der Stromdichten sind sämtlich bei Gewittern beobachtet worden. Über Schneefälle liegen

noch zu wenig Beobachtungen vor, als daß mit Sicherheit charakteristische Unterschiede gegenüber Regen festgestellt werden könnten. Simpson findet auch bei Schnee die positive Ladung überwiegend und die Stromdichten größer als bei Regen; ebenso ist die spezifische Ladung größer. Andere Beobachter wieder finden beim Schnee das Verhältnis von positiver zu negativer Ladung geringer als beim Regen. Es bedarf jedenfalls noch längerer Untersuchungsreihen, um sich über diesen Punkt Sicherheit zu verschaffen.

6. Potentialgefälle und Regenladung.

Auch über den Zusammenhang zwischen Potentialgefälle und Regenladung ist noch wenig Sicheres bekannt. Hervorzuheben ist, was schon Elster und Geitel getan haben, was dann von Weiß bestätigt worden ist und sich auch in den Beobachtungen von Graz und Simla häufig wiederfindet, die Tatsache, daß die Kurven, die die Regenladung und das Potentialgefälle als Funktion der Zeit darstellen, häufig den Typus von Spiegelbildern aufweisen, so zwar, daß dort, wo die positive Regenladung ein Maximum aufweist, das negative Potentialgefälle ein Minimum hat und umgekehrt; ein Umstand, der zu Gunsten der von Elster und Geitel aufgestellten Anschauung über die Bildung der Niederschlagslektrizität spricht. Im allgemeinen herrscht negatives Potential während der Niederschläge vor und aus den Beobachtungen von Simpson ergibt sich bei ungeladenem Regen 70%, bei positiv geladenem 60%, und negativ geladenem 53% negatives Potentialgefälle.

V. Richtlinien für weitere Untersuchungen.

Wenn es mir gestattet ist, möchte ich hier zum Schlusse noch einige Punkte hervorheben, deren Untersuchung zunächst von besonderem Interesse ist. Da wäre zuerst eine Frage meßtechnischer Natur zu nennen.

1. Wäre es sehr wünschenswert, nach einer exakten Methode zu untersuchen, wie weit sich bei einer gegebenen

Meßanordnung die Influenz durch Änderung des Erdfeldes bemerkbar machen kann. Da sich die Sache nicht theoretisch berechnen läßt, müßte man an einem verkleinertem Modell der Meßanordnung im Laboratorium den Verlauf der Kraftlinien experimentell ermitteln und daraus das Verhältnis zwischen der mittleren Feldintensität am Boden der Auffangschale $\mathfrak{E}$ und der Feldintensität im ungestörten Felde $\mathfrak{E}_0$ berechnen. $\eta = \frac{\mathfrak{E}}{\mathfrak{E}_0}$ würde dann ein Maß für den Grad des elektrostatischen Schutzes bieten.

Ist die Feldintensität im ungestörten Felde zur Zeit der Erdung und Messung $\mathfrak{E}_0$ und $\mathfrak{E}_0'$, so ist die induzierte Ladung, wenn F die Bodenfläche des Auffanggefäßes bedeutet, $4\pi\eta F(\mathfrak{E}_0' - \mathfrak{E}_0)$. Ist η einmal der Größenordnung nach bestimmt und die Empfindlichkeit der Meßanordnung bekannt, so läßt sich in jedem Falle die Größenordnung der influenzierten Ladung leicht berechnen.

2. Wenngleich die Fortsetzung der Registrierung der Niederschläge an einzelnen Orten sicher wünschenswert ist, um die Variabilität der Mittelwerte in den einzelnen Jahren festzustellen, so wird man Aufschluß über die Fragen der Bildung der Niederschlags Elektrizität und damit zusammenhängend die Fragen der Gewitterbildung kaum durch sie wesentlich fördern können, und es werden hauptsächlich Einzelmessungen sein, die, von einem kritischen Beobachter angestellt, wichtiges Material liefern können. Insbesondere scheint es mir bei der Entwicklung der heutigen Meßtechnik nicht aussichtslos zu sein die Messung der Ladung einzelner Tropfen vorzunehmen und zu untersuchen, ob irgendwelche Beziehung zwischen Tropfengröße und Ladung besteht, ob gewisse Ladungen häufiger vorkommen als andere und ähnliche Fragen.

3. Von großem Interesse wäre es auch, an mehreren, sehr nahegelegenen Orten gleichzeitig Messungen der Niederschlags Elektrizität vorzunehmen, um zu sehen, ob auch in horizontaler Richtung die Verteilung der Niederschlags Elektrizität

regellos ist oder ob abwechselungsweise ganze Schichten negativ und positiv geladener Tröpfchen herunterkommen.

4. Ein besonderes Studium wäre auf den Zusammenhang des Potentialgefälles und der Niederschlagslektrizität zu verwenden, und dabei die verschiedenen Phasen eines Gewitters eingehend zu studieren.

Bei den meisten dieser Untersuchungen lassen sich natürlich Registrierungen verwenden, nur muß während des Niederschlages immer ein Beobachter vorhanden sein, der mit Aufmerksamkeit alle meteorologischen Vorgänge verfolgt und notiert.

Es scheint mir sicher zu sein, daß die von Simpson auf den Lenard-Effekt basierte Erklärung der Entstehung der Niederschlagslektrizität in vielen Fällen das Richtige trifft, daß sie aber allein nicht hinreicht, die beobachteten Phänomene zu erklären, und daß noch andere Ursachen mitspielen müssen. Es sind eben offenbar sehr komplizierte Phänomene, deren Aufklärung man von weiterer intensiver Untersuchung der Niederschlagslektrizität erwarten darf.

VI. Literatur.

1. J. Elster und H. Geitel. Über eine Methode, die elektrische Natur der Niederschläge zu bestimmen. *Met. Zeitschr.* 5, 95—100, 1888.
- — Beobachtungen betreffend die elektrische Natur der atmosphärischen Niederschläge. *Wien. Ber.* 99, 421—450, 1890.
- — Beobachtungen über die Eigenelektrizität der atmosphärischen Niederschläge. *Terr. Magn.* 4, 15—32, 1899.
2. H. Gerdien, Registrierung der Niederschlagslektrizität im Göttinger Geophysikalischen Institut. *Münch. Ber.* 33, 367—379, 1903. *Phys. Zeitschr.* 4, 837—842, 1903.
3. E. Weiß, Beobachtungen über Niederschlagslektrizität. (Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität XXVI.) *Wien. Ber.* 115, Abt. IIa, 1299—1334, 1906.
4. K. W. F. Kohlrausch, Luftelektrische Messungen auf hoher See und im subtropischen Klima. (Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität XXX.) *Wien. Ber.* 118, Abt. IIa, 25—45, 1909.

5. G. C. Simpson, On the electricity of rain and its origin in thunderstorms. Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. A, 209, 379 - 413, 1909. (Das Material dazu in extenso publiziert in India Met. Mem., Vol. 20.)
 — — On the electricity of rain and snow. Proc. Roy. Soc., Ser. A, 83, 394—404, 1910.
6. K. Kähler, Registrierungen der Niederschlags Elektrizität mit dem Benndorf-Elektrometer. Phys. Zeitschr. 9, 258—260, 1908.
 — — Ergebnisse der Registrierungen der Niederschlags Elektrizität zu Potsdam im Jahre 1908. Veröff. d. K. Preuß. Met. Inst., Nr. 213, X—XXII. 1909.
7. H. Benndorf, Die Grazer Luftelektrische Station. (Beiträge zur Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität XXXVII.) Wien. Ber. 119, 89—100, 1910. Die Beobachtungsergebnisse erscheinen demnächst in den Wien. Ber.
8. A. Baldit, Observations sur l'électricité de la pluie pendant l'été 1910 au Puy-en-Velay. Ann. soc. met. de France 59, 105—116, 1911. (Auszugsweise mitgeteilt: C. R. 152, 807—809, 1911.)
 — — Sur les charges électriques de la pluie au Puy-en-Velay en 1911. C. R. 154, 731—733, 1912.
 — — Nouvelles observations sur les charges électriques de la pluie en 1911 au Puy-en-Velay. Le Radium 9, 92—101, 1912.
9. A. B. Chauveau, Sur quelques données actuelles relations à l'électricité de la pluie. (A propos des observations récentes de M. Baldit.) Le Radium 8, 153—156, 1911. (Enthält eine kritische Besprechung der Messungen Baldits.)
10. G. Berndt, Luftelektrische Beobachtungen in Argentinien. II Winter. Phys. Zeitschr. 13, 151—152, 1912.

Bericht Nr. 2.

Bericht über die Vervollkommnung der Methoden zur photoelektrischen Messung der Intensität der Sonnenstrahlung, speziell des kurzwelligen Anteils desselben; von J. Elster und H. Geitel.

Mitgeteilt von **J. Elster.**

Die Frage, ob das kurzwellige Licht der Sonne die elektrischen Verhältnisse der Erdatmosphäre beeinflusst, ist zurzeit noch als eine offene zu bezeichnen.

Mit den vorhandenen experimentellen Hilfsmitteln läßt sich der ultraviolette Teil des Sonnenlichtes nach zwei Richtungen hin einer quantitativen Bestimmung unterwerfen.

Mit dem Zinkkugelphotometer kann seine Intensität gemessen werden, während der Quarzspektrograph die Grenze des Spektrums im ultravioletten Gebiet nach abnehmenden Wellenlängen zu festzulegen gestattet.

Mißt man die ultraviolette Strahlung mit dem Zinkkugelphotometer, so ordnen sich die beobachteten Intensitäten für Sonnenhöhen zwischen 10—50° in die Lambertsche Formel

$$J = J_0 a^{\frac{1}{\sin \theta}}$$

in genügender Annäherung ein; für Sonnenhöhen $> 50^\circ$ ist dies nicht mehr der Fall, die beobachteten Werte liegen bis zu 20 % höher als die berechneten. Dabei wird die Differenz zwischen Beobachtung und Berechnung um so größer, je größer die Erhebung des Beobachtungsortes über dem Meeresspiegel ist. Diese von Geitel und dem Berichterstatter¹⁾ zuerst auf dem Sonnblickobservatorium konstatierte Erscheinung ist durch

¹⁾ J. Elster und H. Geitel, Wien. Ber. 101, Abthl. II a, p. 703, 1892.

Dorno in Davos neuerdings bestätigt, desgleichen auch unser früheres Resultat, daß der Transparenzkoeffizient für ultraviolette Licht anscheinend um so kleiner wird, je höher man sich in die Atmosphäre erhebt.

Diese Ergebnisse lassen eine zwiefache Deutung zu: Die Abweichung vom Lambertschen Gesetze kann ihren Grund in der Inhomogenität der Strahlung haben und zwar in der Art, daß mit Erhebung in die Atmosphäre hinein nur eine Intensitätsverschiebung der Strahlung nach dem brechbaren Ende des Spektrums hin erfolgt, ohne daß dieses selbst mit wachsender Meereshöhe eine Verlängerung erfährt; es können aber auch bei großen Sonnenhöhen und bei hoher Lage des Beobachtungsortes über dem Meere neue Strahlengruppen hinzutreten, die in der Luft so stark absorbiert werden, daß sie die tiefsten Schichten der Atmosphäre überhaupt nicht erreichen.

Die letztere Auffassung würde bedingen, daß die Grenze des Sonnenspektrums sich um so mehr nach den kurzen Wellenlängen verschöbe, je geringer die Schichtdicke der durchstrahlten Luft ist.

Beide Auffassungen erklären die scheinbare Abnahme des Transparenzkoeffizienten der elektrisch wirksamen Strahlung mit zunehmender Meereshöhe. Für die zuletzt entwickelte sprechen die Messungen Cornus¹⁾ aus dem Jahre 1880, der als Grenze des Sonnenspektrums im Meeresniveau die Wellenlänge $292,2 \mu\mu$ fand und berechnete, daß für je $663,3 \text{ m}$ Erhebung das Spektrum sich um $1 \mu\mu$ verlängert.

Miethe und Lehmann²⁾ einerseits und Dorno³⁾ andererseits fanden dagegen kürzlich in Übereinstimmung mit der ersten Auffassung die Grenze des Spektrums unabhängig von der Meereshöhe bei $291,24 \mu\mu$ und neigen auf Grund ihrer Messungen der Ansicht zu, daß die Sonne Licht von kleinerer Wellenlänge als rund $291 \mu\mu$ überhaupt nicht aus-

1) Cornu C. R. 111, 941. 1880.

2) Miethe-Lehmann. Sitzungsber. der K. Preuss. Akad. VIII, 1909.

3) C. Dorno, Licht und Luft des Hochgebirges. Braunsch., Fried. Vieweg & Sohn, S. 33, 1911.

sende, oder, wenn der Sonnenball solches emittiere, so soll dies bereits in der Chromosphäre der Sonne durch Absorption verloren gehen.

Seit der letzten Tagung unserer Konferenz ist Dember¹⁾ bemüht gewesen, experimentell einen Zusammenhang zwischen Lichtabsorption und Ionisierung der Atmosphäre aufzufinden, während Lenard²⁾ auf dem Standpunkte Cornus stehend und fußend auf eigenen Versuchen mit Eisenfunkenlicht dem Sonnenlicht folgende Eigenschaften zuschreibt:

1. „Ozonbildung, tief herabgehend in die Atmosphäre, weil bereits durch Strahlen relativ großer Wellenlänge bedingt.“

2. „Fortdauernde Erregung von Nebelkernen durch Bildung von Ammoniumnitrit und -nitrat, wahrscheinlich auch von H_2O_2 aus Wasserdampf. Die Region für diese Wirkungen sind die oberen Dämmerungsschichten, welche ohne Lichtwirkung ungetrübt bleiben müßten.“

3. „Fortdauernde Erzeugung von Elektrizitätsträgern in den höchsten Schichten, welche aber meist dortselbst durch Rekombination verloren gehen ohne in beträchtlicher Anzahl in größere Tiefen herabdringen zu können.“

Man darf indes nicht verkennen, daß bislang für eine unmittelbare Beeinflussung der elektrischen Eigenschaften der Atmosphäre nur die Tatsache spricht, daß die Reichweite elektrischer Wellen bei Nacht und bei Tage verschieden ist und daß sie, wie auf Grund von Erfahrungen gelegentlich der Sonnenfinsternis am 17. April dieses Jahres mehrfach behauptet worden, Änderungen mit zunehmender Bedeckung der Sonnenscheibe durch den Mond erfahren soll. Ferner ist an sich nicht ausgeschlossen — doch fehlt hierfür noch der experimentelle Beweis —, daß die kurzwelligen Strahlen des Sonnenlichtes, welche entladend auf Zink und verwandte Metalle wirken, durch den Hallwachs Effekt eine positive

¹⁾ H. Dember, Phys. Zeitschrift 13, S. 207, 1912.

²⁾ P. Lenard und C. Ramsauer, Sitzungsber. der Heidelberger Akad., 24. Abh., S. 45, 1911.

Elektrisierung des atmosphärischen Staubes hervorrufen, unter gleichzeitiger Abspaltung negativer Ionen.

Eine Klärung der hier angeregten Fragen kann nur dadurch herbeigeführt werden, daß erneut die Ausdehnung des Sonnenspektrums und die Intensitätsverteilung darin in verschiedenen Meereshöhen untersucht werden.

Wir waren deshalb bestrebt, die Methoden der Intensitätsmessungen zu vervollkommen und vor allem das Zinkkugelphotometer durch ein zuverlässigeres Instrument zu ersetzen und empfehlen nunmehr:

A. Für Stationsbeobachtungen.

In erster Linie ein Photometer*), dessen lichtempfindlicher Teil in einer sensibilisierten, mit verdünntem Argon gefüllten Kaliumzelle besteht. Die Sonnenhöhe ist direkt am Instrument abzulesen. Belastung der Zelle 20—40 Volt. Zum Messen des photoelektrischen Stromes genügt ein Drehspulgalvanometer von der Empfindlichkeit 10^{-7} bis 10^{-8} Ampère pro Skalenteil. Die Uviolglaszelle läßt Strahlen bis zu $250\mu\mu$ durch. Dem Apparate sind Strahlenfilter beigegeben, um den Stromanteil, der auf das Ultraviolett entfällt, von dem durch das sichtbare Licht bewirkten zu trennen.

In zweiter Linie, weil dies Photometer noch nicht in gleicher Weise wie das obengenannte durchgearbeitet werden konnte:

Ein Photometer gleicher Form, aber ohne alle Strahlenfilter. Die Kaliumzelle ist ersetzt durch eine solche aus Cadmium in Uviolglas, ebenfalls mit Argonfüllung. Als Meßinstrument dient ein stromanzeigendes Elektrometer mit Xylolwiderstand nach Campbell. Solch ein Widerstand, der genau dem Ohmschen Gesetze folgt, ist leider nicht unabhängig von der Temperatur und soll nach Campbell nur benutzt werden bei Temperaturen zwischen 15 bis 30° C. Dann ist:

$$R_t = R_{20}(t + 0,014(t - 20)).$$

*) Anmerkung bei der Korrektur: Eine Beschreibung des Instrumentes ist inzwischen in der Phys. Zeitschrift 13, S. 739, 1912, erschienen.

Die Werte von R_{20} liegen zweckmäßig zwischen 10^{10} bis $10^{12} \Omega$. Bei hoher Belastung der Zelle (300 bis 400 Volt) ist, soweit unsere Erfahrungen gehen, auch dem Sonnenlicht gegenüber ein Drehspulgalvanometer von der Empfindlichkeit 10^{-9} Ampère pro Skalenteil ausreichend. Eine Scheibe klaren dünnen Fensterglases, als Lichtfilter benutzt, reduziert den Photostrom auf 1 bis 2% seines Wertes. Mit einer derartigen Zelle mißt man also in der Tat unmittelbar nur die Intensität des kurzwelligsten Anteiles des Sonnenlichtes.

B. Für Messungen im Ballon.

Photometer mit sensibilisierter Kalium-Uviolglas-Zelle in lichtdichter Kapsel, ohne Stativ. Drehspulgalvanometer in Dosenform von der Empfindlichkeit 10^{-6} bis 10^{-7} Ampère pro Skalenteil. Trockenbatterie von 40 Volt Klemmenspannung. Die Sonnenhöhe ist durch ein gesondertes Instrument zu bestimmen. Bei einer von Dr. Bergwitz ausgeführten Ballonfahrt hat sich dies Instrumentarium durchaus bewährt.

Besonders interessant wäre die Verwendung einer Cadmiumzelle im Ballon. Bislang haben wir aber eine für derartige Messungen ausreichende Empfindlichkeit der Zelle nicht erzielen können. Das Ideal eines Photometers für Untersuchungen über das kurzwellige Sonnenlicht dürfte ein selbstregistrierendes Instrument sein, das im unbemannten Ballon in die größten bislang erreichten Höhen emporgeschickt werden könnte, ein Ziel, dessen Erreichung uns nicht außer dem Bereiche der Möglichkeit zu liegen scheint.

Wolfenbüttel, 21. Mai 1912.

Bericht Nr. 3.

Über die Resultate der von den kartellierten Deutschen Akademien organisierten luftelektrischen Terminbeobachtungen im Jahre 1911/12.

Von **H. Ebert.**

Bei Gelegenheit der Göttinger Tagung der luftelektrischen Kommission im Juni 1911 wurde der Beschluß gefaßt, luftelektrische Terminbeobachtungen anzustellen und zwar möglichst an den Tagen der internationalen Serienaufstiege, weil an diesen die gesamte über Europa statthabende Wetterlage am genauesten beurteilt werden kann; ins Auge wurden zunächst gefaßt Messungen des Potentialgefälles und der Leitfähigkeit, weil aus diesen beiden Elementen auch die Intensität des normalen vertikalen Leitungsstromes unmittelbar erhalten werden kann, und gerade dieses Element nach den Voruntersuchungen besonders interessante Vergleichspunkte zu geben verspricht.

Dem Wunsche nach solchen Terminbeobachtungen sind im verflossenen Jahre nachgekommen die

Registrierstationen: Braunschweig (Bergwitz), Davos (Dorno), Graz (Benndorf), München-Sternwarte (Lutz), Potsdam (Kähler).

Einzelbeobachtungen wurden angestellt in Bad Aibling (Daunderer), Dresden (Dember), München-Sternwarte (Gleißner-Hoffmann), Seeham bzw. Innsbruck (von Schweidler), Wolfenbüttel (Elster-Geitel).

Beobachtungen fanden statt im Jahre 1911 in der Zeit vom 10.—16. September und vom 6.—8. Dezember;

im Jahre 1912 vom 3.—5. Januar und vom 11.—13. April.

Beobachtet wurden das Potentialgefälle und die Leitfähigkeit teils in relativem, teils in absolutem Maße.

Die von den einzelnen Stationen nach München, als dem derzeitigen Vororte, eingeschickten Beobachtungsdaten wurden hier (von Hoffmann und Gleißner) in Tabellen und Kurven

11. September 1911	12	1 ^a	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Braunschweig *	99	133	112	142	137	72	0	281	335	353	236	193
Graz *	69	60	51	52	25	45	97	138	202	259	216	190
Potsdam *	284 1,98	269 2,87	205 2,32	174 1,99	174 2,08	205 2,41	221 2,28	336 5,40	307 2,25	266 2,01	219 1,95	269 1,73
München 2										110 1,28		110 1,31
Seeham $k \cdot \left\{ \right.$								30 0,66		32 0,96		40 0,88
Wolfenbüttel G									1,58			2,09

12. September 1911	12	1 ^a	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Braunschweig *	160	178	162	187	243	202	63	90	245	259	218	203
Graz *	130	116	107	98	86	92	118	139	173			143 3,58
München 1 *	74	64	52	66	72	74	97	125	128	155	160	147
Potsdam *	201 2,85	175 2,82	193 3,12	336 2,56	266 2,66	199 2,12	190 2,65	234 2,78	263 3,06	280 2,74	251 2,26	248 2,10
München 2										111 1,00		104 0,61
Seeham $k \cdot \left\{ \right.$								22 0,69		30 0,91		30 0,88
Wolfenbüttel G									1,89			1,93

einheitlich verarbeitet; insbesondere wurde aus dem Potentialgefälle und der Leitfähigkeit die Intensität des Vertikalstromes berechnet. Sodann wurden autographische Abdrücke dieser Zusammenstellungen den einzelnen Mitgliedern der luftelektrischen Kommission sowie den beteiligten Stationen zugesandt.

12	1p	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Wetter
193	191	187	162	97	103	126	126	189	184	155	133	heiter Wind schwach
143	142	129	120			132	149	157	146	147	139	heiter
						2,40	2,30	2,89	2,90	2,99		
283	292	304	251	292	362	225	225	248	283	216	263	
2,07	1,94	1,69	1,56	1,68	1,69	0,87	1,22	1,73	2,07	2,54	3,12	
	110		104		398		62					heiter
	1,40		1,64		3,54		0,91					Wind mittel
			50				42		27			heiter
			1,21				1,26		0,88			Wind mittel
						2,20						

12	1p	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Wetter
178	155	92	49	49	106	160	203	203	178	164	205	heiter, trocken Wind schwach
159	163	163	139		140	106	129	139	129	122	120	heiter
3,64	3,64	3,64	3,39		4,65							
126	121	125	110	97	85	71	137	154	137	130	127	
248	213	199	175	193	164	187	199	210	199	178	175	
2,32	2,20	2,17	1,80	2,10	2,32	2,74	2,98	2,73	2,48	2,58	2,80	
	92		88		72		50					heiter, trocken
	0,93		0,67		1,50		0,95					wenig Wind
			42				25		20			heiter, trocken
			1,31				0,73		0,66			wenig Wind
							1,82					

14. September 1911	12	1 ^a	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Braunschweig *	142	85	72	57	52	36	11	85	101	135	101	101
Graz *	82	80	84	69	73	90	110	186	201 4,62			
München 1 *	96	85	85	77	85	97	121	130	263	176	227	235
Potsdam *	63 0,50	95 0,71	174 1,37	142 1,18	190	158 1,25	142 1,23	126 1,43	152 2,68	166 2,52	239 2,47	181 2,06
München 2		50 1,03								204 0,91		188 0,59
Seeham $k \cdot \left\{ \right.$								10 0,49		26 1,19		20 0,71
Wolfenbüttel G									5,47			2,71

Das Ganze muß als erster Versuch luftelektrischer Simultanbeobachtungen angesehen werden, namentlich weil nicht alle Termintage die Bedingungen eines ungestörten Feldes erfüllten. Von einer Veröffentlichung des gesamten Materiales (16 Tage) kann daher an dieser Stelle abgesehen werden; vielmehr soll nur das Beobachtungsmaterial dreier Tage, die den gestellten Aufforderungen am besten genügten, als Beispiel wiedergegeben werden.

In den folgenden Tabellen sind nur die Stationen aufgeführt, welche für die links oben bezeichneten Termintage Material zu liefern imstande waren; die Registrierstationen sind durch * ausgezeichnet (München 1 = München-Sternwarte, Registrierstation; München 2 = München-Sternwarte, Wilson-Apparat).

Die erste, jeder Station zugeordnete Zeile gibt das daselbst registrierte bzw. beobachtete Potentialgefälle in Volt/m reduziert auf die Ebene. Bei Stationen, an denen diese Reduktion noch nicht vorgenommen werden konnte, ist dies dadurch angedeutet, daß ein später noch anzubringender Reduktionsfaktor vorläufig mit k bezeichnet wurde; bei diesen Stationen läßt sich

12	1 p	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Wetter
160	137	148	52	0	87	49	61	58	54	144	304	bedeckt Wind mäßig
175	134	127	105	94	105	122	151	161	140	119	129	heiter
		4,35	4,05	4,35	3,47	3,35	3,75	5,04	6,97	6,28	6,21	
190							216	140	75	90	61	
199	175	155	166	149	166	379	190	174	-97	47	63	
1,86	2,06	1,98	2,16	1,85	2,65	4,76	2,11	2,43				
	100		118		115		92					früh bedeckt
	0,43		1,46		1,13		0,91					heiter, Stille
			20				25		17			heiter
			0,85				0,56		0,82			Wind schwach

daher nach den mitgeteilten Zahlen zunächst nur der Gang nicht aber der Absolutwert des Gefälles zum Vergleiche mit den anderen Stationen heranziehen.

Bei den Stationen, welche außer den Potentialwerten auch die Leitfähigkeit λ in elektrostatischen Einheiten anzugeben imstande waren, wurde durch Multiplikation und entsprechende Reduktion die Intensität des normalen, vertikalen Leitungsstromes in Ampères pro $\text{cm}^2 \times 10^{16}$ berechnet; die entsprechenden Zahlen erfüllen die zweite Zeile jeder Station (aus ihnen können also durch Division durch die Gefällswerte und einfacher Umrechnung die Werte der Leitfähigkeit wieder erhalten werden); wo nur Werte für λ erhalten wurden, wird die Berechnung des Vertikalstromes durch Multiplikation mit dem unbestimmten Faktor G (Gefälle) herbeigeführt.

Den Gang der genannten Elemente übersieht man besser aus den nach den Tabellen gezeichneten drei Kurvenbeispielen Fig. 1, 2 und 3.

Übereinstimmung in den Zahlen war von vornherein nicht zu erwarten, dazu ist namentlich das Potentialgefälle ein zu

sehr von lokalen Einflüssen abhängiger Faktor; ein teilweiser Parallelismus der Kurven ist freilich nicht zu verkennen, doch könnte derselbe auch zufälliger Natur sein; die Kurven bringen jedenfalls den täglichen Gang der ins Auge gefaßten Elemente zum Ausdruck. Da die Leitfähigkeit zum Teil einen spiegelbildlichen Verlauf zum Potentialgefälle aufweist, zeigen die Kurven für den Leitungsstrom im allgemeinen einen ausgeglicheneren Gang. Was die Werte desselben betrifft, so ist zu beachten, daß bei Vertikalbewegungen der Atmosphäre ein Teil des Stromes konvektiven Charakter haben kann.

Nach den bisherigen Ergebnissen wäre es erwünscht, wenn das Beobachtungsnetz dichter gezogen, und die Zahl der Termintage wesentlich erhöht werden könnte.

Bericht Nr. 4.

An die luftelektrische Kommission der kartellierten Akademien,
München.

Von Th. Simon.

Zu dem Plane, die drahtlose Telegraphie in den Dienst der Erforschung der luftelektrischen Verhältnisse zu stellen, erlaube ich mir folgendes zu bemerken:

1. Prinzip und Methode der Messungen.

Es ist notwendig, daß eine große Station mit konstanter Energie Wellen aussendet, während ein Netz von Beobachtungsstationen in einem vergleichbaren Maße mißt. Die Methode dieser Messungen muß einfach und zuverlässig sein, so daß sie auch in relativ ungeübter Hand sichere Ergebnisse liefert. Die erforderliche Apparatur soll möglichst billig zu beschaffen sein.

Nach den Erfahrungen, die an der radioelektrischen Versuchsanstalt Göttingen gemacht worden sind, kommt als solche Methode in erster Linie die des Empfanges mit einem Duddell-Thermogalvanometer in Frage. (Konstruiert von der Cambridge Scientific Instrument Company.) Es hat sich bei unseren Untersuchungen als überaus zuverlässig und bequem erwiesen, läßt sich jederzeit eichen bzw. auf eine Normalempfindlichkeit einstellen und kostet nur etwa 300 M. Die Beobachtung mit dem Barretter gestattet zwar noch eine höhere Empfindlichkeit zu erzielen, doch stellt dieser Apparat an die Geschicklichkeit des Beobachters so viel höhere Anforderungen, daß wir von seiner Benutzung für den vorliegenden Zweck abraten möchten. Vielleicht allerdings führen Untersuchungen, die zur Zeit im Institut für angewandte Elektrizität im Gange sind, dazu, auch

diese Beobachtungsmethode auf den gleichen Grad von Zuverlässigkeit und Einfachheit zu bringen, wie die mit dem Duddell-Galvanometer schon heute hat. Die von München aus in Vorschlag gebrachte Methode der Beobachtung mittels Saiten-Galvanometer, wobei über den angewandten Detektor nichts gesagt ist, halten wir nach unseren Erfahrungen für überaus schwierig und nicht geeignet, abgesehen davon, daß die Apparatur erheblich teurer ist. Nach unserer Meinung müßten also alle in Frage kommenden Beobachtungsstationen mit einer einfachen Empfangsapparatur und Duddell-Galvanometern ausgestattet werden, die vorher an einer Zentralstelle miteinander verglichen und geeicht worden wären. Jeder Station müßte ein Verfahren angegeben werden, wie sie bei jeder Terminbeobachtung die Eichung kontrollieren und eventuell auf den Normalwert zurückführen müßte.

Eine zweite Frage betrifft die Antenne. Da es sich kaum ermöglichen lassen wird, überall ganz gleichartige Empfangsantennen zu verwenden, was ja sonst das einwandfreieste Verfahren wäre, so muß der Strahlungswiderstand jeder Empfangsantenne ein für allemal oder auch jedesmal neu ermittelt werden, um mit seiner Hilfe die Messungen aller Stationen gewissermaßen auf eine einzige Normalantenne umzurechnen. Das muß nach den Gesichtspunkten geschehen, die kürzlich in der auf unserer radioelektrischen Versuchsanstalt durchgeführten Untersuchung von Dr. Reich niedergelegt sind (vgl. beiliegenden Sonderabdruck). Die theoretischen Gedanken dieser Arbeit sind ja inzwischen auch von Dr. Barkhausen (Jahrbuch für drahtlose Telegraphie) veröffentlicht worden. Als Senderstation kommt am besten entweder Norddeich oder Nauen in Frage. Denn diese Stationen verfügen über die weitaus größte Senderenergie. Sollten sie aber nicht für die Versuche zu gewinnen sein, so würde unsere Göttinger Versuchsstation zunächst in Frage kommen, die mit ihrer 80 m hohen Antenne immerhin eine erhebliche Strahlungsenergie entwickeln kann. Wir erklären uns für diesen Fall gern bereit, das Geben an den Termintagen zu besorgen. Um ein Urteil über die Leistungs-

fähigkeit dieses Betriebes zu geben, erlauben wir uns, folgende Überschlagsrechnung vorzulegen: Wenn Göttingen mit 2000 m Wellenlänge gibt, nach dem System der tönenden Funken, mit einer Antennenintensität von 12 Ampère, so würde eine Empfangsstation von 40 m Antennenhöhe mit einer Schirmantenne von der Kapazität 0,01 Mikrofard, 0,08 Strahlungs-Dekrement und 27 Ohm Strahlungswiderstand in 400 km Abstand von Göttingen (z. B. in München) einen Skalenausschlag des Duddell-Galvanometers von 25 mm liefern, Skalenabstand 1 m. Dabei ist der Wattverbrauch des Duddell-Galvanometers für 100 mm Ausschlag $0,05 \cdot 10^{-4}$ eingesetzt. Diese Berechnung stützt sich auf die von uns durchgeführten zahlreichen Strahlungsmessungen.

2. Organisation des Dienstes.

Zunächst müßte versucht werden, die großen Stationen für das Geben heranzuziehen. Das müßte aber nicht durch direkten Verkehr mit den Stationen, sondern durch Verhandlungen mit den Zentralbehörden in Berlin eingeleitet werden, d. h. also mit dem Reichspostamt und dem Reichsmarineamt. Ich erkläre mich gern bereit, in dieser Richtung Verhandlungen zu führen. Ebenso würde ich vorschlagen, zu den Beobachtungen die Stationen der Marine- und Heeresverwaltung mit heranzuziehen, weil dadurch ein erheblich größeres Beobachtungsmaterial zusammengebracht werden könnte. Auch zu den Verhandlungen in dieser Richtung erkläre ich mich bereit, da wir als offizielle Station für Marine und Heer ohnehin lebhaft Beziehungen zu den Militärbehörden unterhalten. Vorher müßte allerdings wohl die Beschaffung der erforderlichen Empfangseinrichtungen für eine genügende Anzahl von Stationen sichergestellt sein.

Bericht Nr. 5.

Verwendbarkeit des Barretters für Untersuchungen des
Einflusses der luftelektrischen Zustände auf die Strahlung
elektrischer Wellen.

Von K. E. F. Schmidt.

Als ich vor sechs Jahren begann, mich mit der Einrichtung quantitativer Empfangsanordnungen für elektrische Wellen zu beschäftigen, stellte ich mir die Aufgabe, die Apparatur so empfindlich zu gestalten, daß auch bei sehr großen Abständen zwischen Sender und Empfänger in ganz lose gekoppelten Systemen auf Grundlage der von Bjerknes ausgearbeiteten Resonanzmethode einwandfreie Dämpfungskurven aufgenommen werden konnten. Als geeignete Instrumente kamen damals in Betracht:

1. der elektrolytische Detektor von Schlömilch,
2. das Thermoelement,
3. das Thermogalvanometer von Duddell,
4. der von Fessenden angegebene Barretter.

Der Detektor zeigte wohl hohe Empfindlichkeit; es gelang aber nicht, auch nur einigermaßen befriedigende Konstanz quantitativer Indikationen zu erzielen. Inzwischen ist durch die Kontaktdetektoren eine wesentliche Besserung erzielt, aber nach den vielen Versuchen, die auf meinen Versuchstationen gemacht sind, zeigen auch diese Apparate im Laufe der Zeit eine sehr merkliche Abnahme in der Empfindlichkeit und sind daher ohne dauernde Kontrolle nicht genügend sicher.

Das Thermoelement war vor sechs Jahren noch nicht bis zum Maximum der erreichbaren Empfindlichkeit durch-

konstruiert; es ist in meinem Laboratorium soweit verfeinert, daß eine Verbindung mit einem Deprez d'Arsonval Galvanometer (2.5×10^{-8} Amp. Empfindlichkeit) noch Ströme von 0.089×10^{-3} Amp. anzeigt¹⁾. Für Empfangsmessungen erwies es sich aber als nicht genügend empfindlich.

Das von Duddell gebaute und von ihm zu Empfangsversuchen (auf 2—3 km Entfernung) benutzte Galvanometer hat an sich große Empfindlichkeit (100—200 Ohm-Instrumente $0.0012 \cdot 10^{-3}$ Amp.)²⁾. Da die Instrumente aber wegen ihrer Konstruktion nur einen sehr geringen Teil der Energie der ankommenden Wellen für die Anzeige verwenden, sind sie nie bis zum äußersten der zur Verfügung stehenden Energie auszunutzen; ich glaubte daher von ihrer Verwendung absehen zu sollen.

Ich habe mich dann bemüht, den von Fessenden angegebenen Barretter soweit wie irgend möglich zu vervollkommen.

Es ist mir durch eine über mehrere Jahre durchgeführte Arbeit gelungen, Barretterkombinationen auszuführen, welche einwandfrei gestatten, auf Grund der Bjerknes-Methode Resonanzkurven aufzunehmen, wenn die Wellen viele hundert Kilometer (z. B. Norddeich — Halle 400 km) durchlaufen haben. Ich glaube mit Bestimmtheit, daß es mit solchen Barrettern möglich ist, noch sicher quantitativ zu arbeiten, wenn die Stationsabstände auf 1000—2000 km steigen. Wie bei solchen Entfernungen die Koppelungen zu machen sein werden, müssen entsprechende Versuche zeigen.

Daß diese hohen Empfindlichkeiten mit gewissen Unbequemlichkeiten in der ersten Aufstellung des Barretters verknüpft sind, ist nicht zu vermeiden. Besonders erfordert eine gute Nullpunkteinstellung besondere Schutzeinrichtungen gegen äußere Temperatureinflüsse. Durch entsprechende Packungen in Kieselguhr und wenn nötig in Kasten mit hinreichender

1) S. Otto Knopp, Mitteilungen der physikalischen Versuchsstation Halle-Cröllwitz, Nr. 15 (im weiteren kurz als Mitteilungen bezeichnet). K. E. F. Schmidt, Physikal. Zeitschr. X, p. 438.

2) Zenneck, Leitfaden für drahtlose Telegraphie, p. 72.

Wärmeisolation durch Luftschichten¹⁾ gelingt es aber sicher, gute Nullpunkteinstellungen zu erzielen, wie sie für exaktes Arbeiten durchaus gefordert werden müssen.

Beifolgende graphische Darstellungen geben zwei Nullpunktserien, welche am 17. und 18. April 1912 mit meinem empfindlichsten Barrettersystem auf einer frei im Felde liegenden Station über die Zeit von einer bzw. zwei Stunden im Betrieb mit Norddeich bzw. Göttingen von mir beobachtet sind.

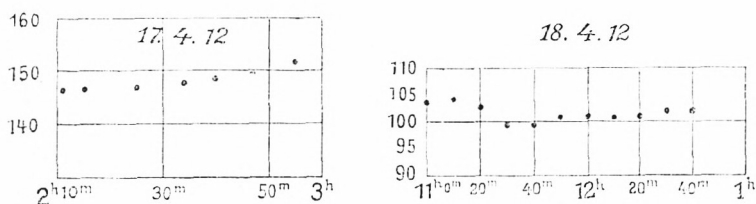


Fig. 1.

Nullpunktstellungen einer Barretterkombination sehr hoher Empfindlichkeit.

Ist das System einmal aufgestellt und verwendet man Akkumulatoren²⁾, welche den untergelegten Gleichstrom für den Barretter liefern, von guter Konstanz in der Spannung, so ermöglicht der Barretter ein sehr bequemes und sicheres Arbeiten.

Herstellung des Barretters³⁾. Die Barretter werden aus Wollastondrähnten mit etwa 0.002—0.003 mm Platinseele hergestellt, indem man an dem haarnadelförmig umgebogenen Drähntchen von ca. 10 mm Länge einige Millimeter des Silbermantels fortätzt. Trotz vielfacher und über mehrere Jahre aus-

¹⁾ K. E. F. Schmidt, Ann. d. Phys. XXVI, p. 622, 1908.

²⁾ Die Akkumulatoren, welche auch durch Temperaturänderungen in ihren Schwankungen beeinflusst werden, stelle ich ebenfalls in das Innere des Kistenraumes, wo der Barretter Platz findet.

³⁾ K. E. F. Schmidt, Phys. Zeitschr. VIII, 1907, p. 601. Rautenkrantz, ib. IX, 911, 1908; X, 93, 1909. Neuhaus und Kempe, Mitteilungen 14, 19. Zölllich, Phys. Zeitschr. X, p. 899, 1909.

gedehnter Bemühungen ist es mir nicht gelungen, die Gesichtspunkte völlig zu klären und die Herstellung so in die Hand zu bekommen, daß mit Gewißheit vorausgesagt werden kann, ob ein fertiggestellter Barretter das Maximum der erreichbaren Empfindlichkeit aufweist. Es ist das wohl verständlich, wenn man die Technik der Wollastondröhre und das Abätzverfahren ins Auge faßt und hinzunimmt, daß auch die Güte des Vakuums sehr merklichen Einfluß auf die Empfindlichkeit besitzt.

Aus einer Zahl von 15–20 Stück wird man aber immer einige Barretter mit sehr hoher Empfindlichkeit erzielen können.

Die Verwendbarkeit des Barretters für das Studium der Aufgabe, welche die Kommission für luftelektrische Forschung am meisten interessiert, mag aus folgenden Resultaten am besten ersehen werden.

Eine der ersten Beobachtungen, daß der elektrische Zustand der Atmosphäre von wesentlichem Einfluß ist, rührt von Marconi her, welcher 1902 auf einer Schiffsstation die Reichweiten seiner irischen Station bestimmte¹⁾. Er fand, daß bei Nacht die Wirkungen sehr viel stärker als am Tage waren. Zahlreiche, systematisch durchgeführte Beobachtungen, namentlich von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie veranlaßt, haben das Resultat durchaus bestätigt und eine große Reihe sehr bemerkenswerter Punkte zutage gefördert, welche zur weiteren Verfolgung der noch wenig geklärten Erscheinungen drängen.

Die sämtlichen Beobachtungen basieren auf Höreffekt, welcher von subjektiven Momenten naturgemäß stark beeinflusst ist. Daß hier große Vorsicht in der Verwendung des Beobachtungsmaterials nötig ist, haben hier ausgeführte Vergleichsmessungen mit dem Barretter ergeben. Daß aber die Barrettermethode außer der Zuverlässigkeit noch den Vorzug größerer Feinheit besitzt, haben Versuche auf der hiesigen Station gezeigt. Während nämlich die Unterschiede zwischen Nacht- und Tag-Empfangswirkung bei der Hörmethode erst

¹⁾ Literatur s. Zenneck, Leitfaden, p. 368.

bei 1000 km Entfernung sicher nachzuweisen sind, gibt der Barretter schon bei ca. 400 km Entfernung Unterschiede an, welche im Verhältnis 4 : 1 bzw. 3 : 1 stehen¹⁾.

Leider ist es mir bisher trotz vielfacher Bemühungen nicht möglich gewesen, systematische Versuche mit einer größeren Station durchzuführen, welche den Einfluß der verschiedenen Zustände der Atmosphäre auf die Übertragung der Wellen quantitativ feststellen würden, namentlich auch darüber Aufklärung gäben, in welcher Weise sich zeitlich die Zunahme der Wirkung nach Sonnenuntergang und die Verschlechterung vor Sonnenaufgang vollzieht.

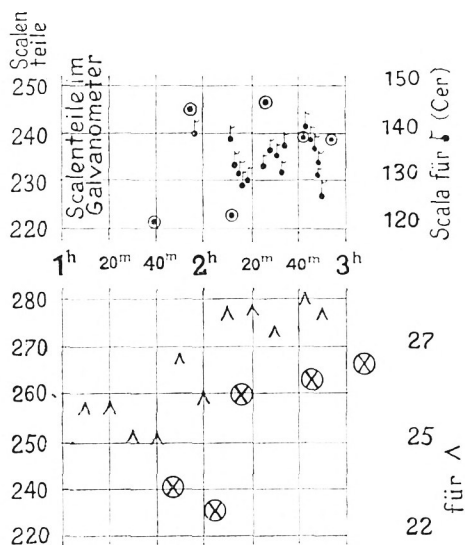


Fig. 2. Empfangs Intensitäten

- ⊙ Norddeich-Wallwitz (bei Halle)
- ⊗ Göttingen-Wallwitz
- △ Göttingen-Halle (S)
- † Wirkungen des telegraphischen Signals
- Cer (in Morsezeichen — · — · — ·) 2

¹⁾ Jaskowski, Mitteilungen Nr. 33 (erscheint demnächst).

Das einzige, was ich Ihnen bis jetzt als positives Resultat vorlegen kann, sind Beobachtungen, welche ich mit Wellen von Norddeich und Göttingen (letztere gemeinsam mit Dr. Reich) am Tage der Sonnenfinsternis (17. April 1912) und am folgenden (Kontrollbeobachtungen) erhielt. In Norddeich und Göttingen wurde die Sendeenergie konstant gehalten und in Wallwitz und Halle¹⁾ die Empfangsintensitäten gemessen. Die Resultate gibt Fig. 2. In der Abszisse sind die Zeiten aufgetragen, zu denen beobachtet wurde. Da die Kontrollbeobachtungen am 18. April, welche in Gemeinschaft mit Göttingen gewonnen wurden, Schwankungen von gleicher Intensität wie am 17. April ergaben, so läßt sich aus den Beobachtungen nur der Schluß ziehen, daß auf den Strecken Göttingen—Halle und Norddeich—Halle ein Einfluß der Sonnenfinsternis auf die Strahlung elektrischer Wellen nicht nachzuweisen war.

Derartig starke Schwankungen sind auf der 8 km langen Strecke (Halle) Cröllwitz—Wallwitz nie beobachtet²⁾; an sechs Tagen im August 1909 sind 2^h—10^h nachmittags alle 15 Minuten Werte für das Verhältnis der

$\frac{\text{Amplituden-Sendestation}}{\text{Amplituden-Empfangsstation}} = \eta$ festgestellt, welche in den Zeitperioden 2^h—5^h und 7^h—10^h Mittelwerte ergeben, gegen welche die maximalen Abweichungen selbst an Tagen mit Gewittern nur 5% betrug; an manchen Tagen treten nur Maximalabweichungen von 2% auf³⁾.

¹⁾ Die Versuche im physikalischen Institut Halle wurden von meinem Assistenten Herrn Dr. Lutze durchgeführt. Herr Lutze fand an beiden Tagen gegen 12^h 30^{min} einen starken Abfall der Empfangsintensität. Am 17. April stieg die Wirkung um 1^h wieder auf den Wert, der bis 12^h beobachtet war; am 18. April blieb die Intensität erheblich unter dem Frühwert. Das Material ist aber für Schlußfolgerungen nicht ausreichend.

²⁾ Es muß das hier besonders betont werden, da von anderer Seite die oben mitgeteilten Schwankungen am 17./18. April 1912 auf Unsicherheiten in den Anzeigen des Barretters geschoben sind.

³⁾ Näheres Güldenpfennig. Mitteilungen Nr. 25, p. 11 u. 12.

Nur an einem Tage, wo es fast 12^h ununterbrochen regnete, fiel die Größe η allmählich von 0.72 auf 0.09 in der Zeit von 12^h 45^m bis 6^h 30^m nachmittags.

Weiter ist noch hervorzuheben, daß bei gutem Funken der hochempfindliche Barretter sich in etwa 40 sec einstellte und diese Stellung bis auf $\frac{1}{10}$ Skalenteil konstant beibehielt. Jede Unregelmäßigkeit des Funkens beantwortete er selbst auf Entfernungen von 400 km mit mehr oder weniger lebhaften Schwankungen im Ausschlag.

Ich führe die am 17. April beobachteten Differenzen zum Teil auf Schwankungen der Sendeenergie zurück; da beide Sendestationen ihre Energie mit Hitzdraht-Instrumenten in der Sendeantenne beobachteten, so lassen sich infolge der Trägheit der Hitzdraht-Instrumente feinere Unterschiede nicht deutlich genug erkennen. Wie weit sich bei größeren Stationen die Sendeenergie — mit feineren Meßinstrumenten ermittelt — konstant erweisen wird, müssen erst besondere Versuche ergeben¹⁾.

Nach den langjährigen Erfahrungen, welche hier durch eine außerordentlich große Zahl von Beobachtungen auf meinen Stationen gewonnen sind, kann ich den Barretter zum Studium des Einflusses der Atmosphärien auf die Strahlung elektrischer Wellen als ein zuverlässiges Instrument von hoher Empfindlichkeit empfehlen.

Halle (S), August 1912.

¹⁾ Norddeich gab noch das Wort Cer, damit verschiedene Stationen durch die Hörmethode den Einfluß der Sonnenfinsternis feststellten. Ich habe die Wirkungen dieser Zeichen mit dem Barretter aufgenommen. Die Wirkungen waren etwa 100 Skalenteile kleiner als die des Minutenstriches; im ganzen zeigen auch hier die Empfangswirkungen Schwankungen um ca. 10%. Nach E. T. Z. ergab in Berlin die Hörmethode ein positives Resultat.

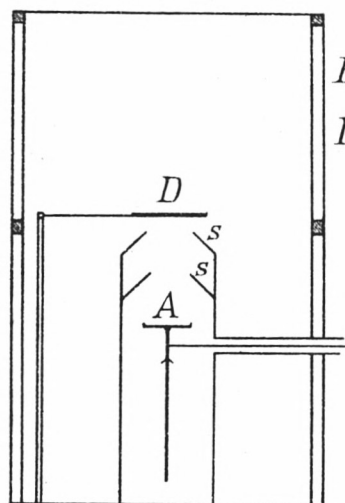


Fig. 1.
D

Fig. 2.

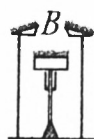


Fig. 6.

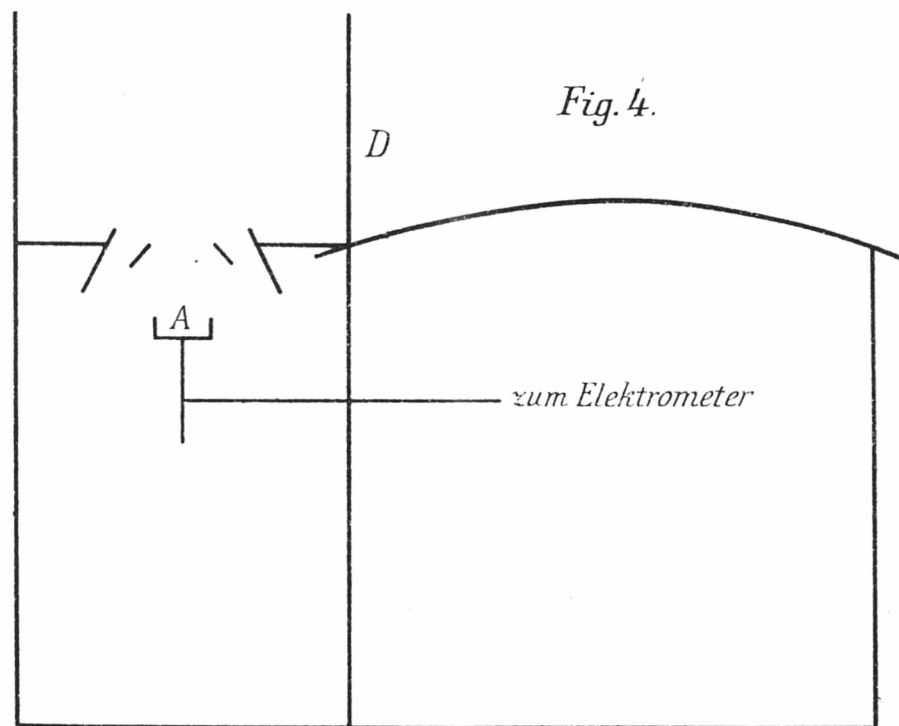
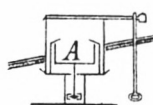


Fig. 4.

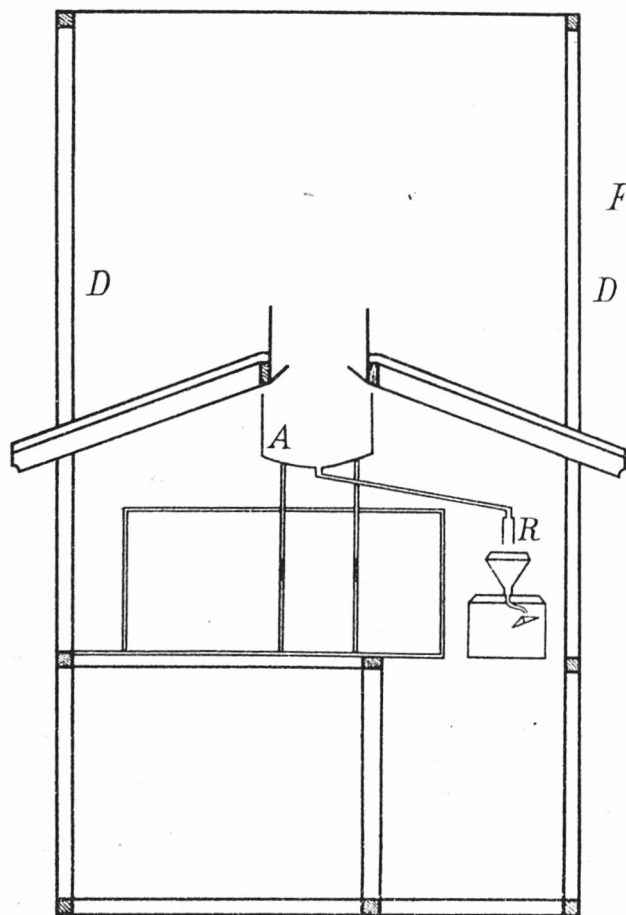


Fig. 3.

0 1 m

Fig. 5.

