

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXXIII. Jahrgang 1903.

München.

Verlag der K. Akademie.

1904.

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

Registrierung der Niederschlags-Elektrizität im Göttinger Geophysikalischen Institut.

Von **H. Gerdien.**

(Eingelaufen 13. Juni.)

Die K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen beschloss im Jahre 1901 Beobachtungen der Niederschlags-Elektrizität ausführen zu lassen. Die Vorarbeiten wurden im Januar 1902 mit der Errichtung einer besonderen Beobachtungshütte auf dem Grundstück des damals im Bau befindlichen neuen geophysikalischen Institutes begonnen. Die luftelektrische Hütte liegt mitten in einer jungen Kiefernwaldung ausserhalb des Wind- und Regenschattens des Hauptgebäudes; ihr Platz scheint insofern sehr günstig, als einerseits bei den hierorts vorzüglich in Verbindung mit Niederschlägen auftretenden Winden aus dem Süd-West-Quadranten der Wind über mehrere 100 m Waldbestand hinwegstreichen muss, wodurch seine Geschwindigkeit in den unteren Luftschichten derart herabgemindert wird, dass selbst bei heftigen Böen der Einfallswinkel der Regentropfen, Graupeln und Hagelkörner nur ausnahmsweise 30° überschreitet. Andererseits ist der Ausblick bis zum Horizont nach Süden über Westen, Norden bis Nordnordosten ein ungehinderter — ein Umstand, der die Durchführung einer Experimentaluntersuchung der Niederschlags-Elektrizität in erster Linie ermöglicht, handelt es sich doch für den Beobachter darum, beim Herannahen einer Böe oder eines Gewitters rechtzeitig zur Stelle zu sein und sein Instrumentarium stets zur Beobachtung bereit zu halten.

Vorversuche. Die grundlegenden Untersuchungen von Elster und Geitel¹⁾ machten es möglich, die hiesigen Arbeiten sogleich mit einer erprobten Versuchsanordnung zu beginnen; so wurden denn auch die ersten Beobachtungen der Niederschlagslektrizität und des Potentialgefälles im wesentlichen nach der von Elster und Geitel ausgearbeiteten Methode durchgeführt. Bald stellte es sich aber heraus, dass es für einen einzelnen Beobachter schlechterdings unmöglich ist, gleichzeitig den schnell veränderlichen Verlauf der Niederschlagslektrizität und des Potentialgefälles zu verfolgen und dann noch seine Aufmerksamkeit in gebührender Masse den meteorologischen Erscheinungen zuzuwenden; da ferner auch eine in kurzen Intervallen ausgeführte Beobachtung der Niederschlagsmenge im Zusammenhang mit den elektrischen Messungen nicht unwichtig erschien, begann ich im Juli 1902 mit der Konstruktion einer photographischen Registriervorrichtung für Niederschlagslektrizität, Potentialgefälle und Niederschlagsmenge. Aus den Vorarbeiten ist die folgende Versuchsanordnung hervorgegangen, die sich bisher bewährt hat.

Versuchsanordnung.

Niederschlagslektrizität.

Das Dach der Hütte (Grundriss: $2,1 \times 2,1$ m, Höhe 2,0 m) wird überragt von vier 1,7 m langen Stangen, die einen oben offenen Drahtnetz käfig tragen; dieser hat die Bestimmung, die in der Mitte des Daches angebrachte, mit Zinkblech eingefasste kreisrunde Öffnung (Durchmesser 55 cm) der Auffangvorrichtung nach Möglichkeit dem elektrischen Erdfelde zu entziehen, damit nicht Tropfen, die von dem Rande der Öffnung abspritzen, merkliche Ladungen auf die im Innern der Hütte stehende Auffangschale bringen. Die Öffnung wird mit einem Deckel verschlossen, sobald die Beobachtungen beendet sind — eine Vorsichtsmassregel, die sich besonders im Sommer als notwendig herausgestellt hat, da bei unverschlossener Öffnung sehr bald durch Spinnengewebe die Isolation der

¹⁾ Terr. Magn. IV. S. 15 u. ff. 1899.

Auffangschale zerstört zu werden pflegt. Zwischen der Auffangschale und der Öffnung im Dache ist 35 cm unterhalb dieser eine aus konisch gedrücktem Kupferblech hergestellte Blende von 200 cm² Querschnitt eingesetzt; die Anordnung ist so getroffen, dass noch Niederschläge von 30° Einfallswinkel durch die Blende fallen können, ohne den Rand der oberen Öffnung und das Drahtnetz des Schutzkäfigs gestreift zu haben. Unterhalb der Blende befindet sich in einem an der Decke der Hütte lichtdicht befestigten Kasten die Auffangschale aus Zinkblech, die auf einem den Boden des Kastens in enger Bohrung frei durchsetzenden Metallfuss ruht; im Innern der Hütte endigt dieser in einem sorgfältig mit Natrium getrockneten und vor Staub geschützten Bernsteinisolator. Die Auffangschale ist mit einem hinreichend hohen Rande versehen, der es verhindert, dass die beim Aufprall zerspritzenden Tropfen die Schale verlassen. Von dem Metallfuss der Auffangschale führt in lockeren Windungen ein feiner Draht zu einem zweiten ebenfalls mit Natriumtrocknung versehenen Bernsteinisolator und von diesem zu der Nadel eines Quadrantenelektrometers nach Elster und Geitel, dessen Quadrantenpaare auf entgegengesetzt gleichen Potentialen gehalten werden; die Nadel ist durch einen fünf verschiedene grosse Widerstände enthaltenden Rheostaten zur Erde abgeleitet. Der Rheostat besteht aus Hartgummistäbchen, die mit Graphit eingerieben sind und von Bernsteinsäulen getragen werden; die Widerstände sind in einem mit Natriumtrocknung versehenen Zinkblechkasten untergebracht, in dessen Deckel eine Anzahl Öffnungen zur Vornahme beliebiger Schaltungen mittelst geeigneter Kontaktstifte vorgesehen sind.

Es lassen sich so Widerstände von der gewünschten Grössenordnung (etwa 10^{12} Ohm) mit geringer Mühe herstellen, die sich, solange es nicht auf Präzisionsmessungen ankommt, sehr gut bewähren; die Graphitwiderstände werden mit der Zeit sehr langsam grösser und müssen daher hin und wieder neu geeicht werden, ihr Temperaturkoeffizient kann für die vorliegende Untersuchung ausser Acht gelassen werden.

Niederschlagsmenge.

Der Bernsteinisolator, der die Auffangschale trägt, ruht unten auf der Schale einer kleinen Dezimal-Wirtschaftswage auf, von deren längerem Arme aus ein Zugdraht über zwei Winkelhebel zu einem um eine vertikale Achse drehbaren Spiegel führt; der Zugdraht greift seitlich von der Drehungsachse des Spiegels an und wird durch eine kleine Wurmfeder gespannt gehalten. Die kleinere, sonst zur Aufnahme der Gewichte bestimmte Wagschale ist zu einer starken Flüssigkeitsdämpfung umgeändert — sie trägt unten eine fast den ganzen Querschnitt eines mit Paraffinöl gefüllten Becherglases einnehmende Metallscheibe — wodurch eine aperiodische Dämpfung der Federwage bewirkt wird. Die maximale Senkung der Auffangschale infolge Belastung mit Niederschlägen beträgt etwa 0,5 mm, was durch Vermittlung des Zugdrahtes einer Drehung des Spiegels um $3,5^{\circ}$ entspricht.

Potentialgefälle.

Durch die östliche Wand der Hütte ist innerhalb eines langen Zinkblechrohres horizontal ein Bambusstab ins Freie geführt, der an seinem äusseren Ende eine in ein dünnwandiges Glasröhrchen eingeschmolzene Quantität Radiumbromid (1 mgr) trägt und sich im Innern der Hütte auf drei mit Natriumtrocknung versehene Bernsteinisolatoren stützt. Von der Radiumelektrode führt an dem Bambusstab entlang ein Draht ins Innere der Hütte zu der Nadel eines sehr unempfindlichen Quadrantenelektrometers, das besonders für diesen Zweck erbaut wurde. Die Nadel ist durch ein entsprechendes Gewicht so beschwert, dass sie selbst bei Potentialen von 5000 Volt nicht merklich aus ihrer zentrischen Lage zu den Quadrantenpaaren herausweicht, und ist ausserdem mit einem Magnetstäbchen versehen, das sich in dem Felde eines aussen am Elektrometergehäuse verschiebbaren starken Hufeisenmagneten befindet. Die Schwingungen der Nadel sind durch Paraffinöldämpfung nahezu aperiodisch gemacht.

Ein kleiner Spiegel, der unterhalb des Spiegels der registrierenden Wage auf einem festen Stativ angeordnet ist, zieht auf dem photographischen Papier eine Basislinie.

Photographische Registrierung.

Gegenüber den letztgenannten Spiegeln und den beiden Elektrometern ist der photographische Registrierapparat¹⁾ nebst der Beleuchtungsvorrichtung aufgestellt. Drei kleine elektrische Glühlampen von je 12 Volt Betriebsspannung sind in lichtdichten Laternen eingeschlossen und werfen ihr Licht durch je eine Beleuchtungslinse auf drei vertikale Spalte und durch diese hindurch auf die Spiegel der registrierenden Instrumente; vor jedem dieser Spiegel ist im Abstände ihrer Brennweite von dem betreffenden Spalt eine Linse befestigt, die unter Zwischenschaltung geeigneter Blenden ein Bild des Spaltes im Innern des Registrierapparates entwirft. Dieser besteht im wesentlichen aus drei in einem lichtdichten Holzkasten untergebrachten Walzen mit horizontalen Achsen; das photographische Papier²⁾ von 13 cm Breite und 800 cm Länge²⁾ bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,1 mm/sec. unter einer 12 cm langen Zylinderlinse³⁾ von 3 cm Brennweite hinweg, welche die Spaltbilder zu intensiv beleuchteten Lichtpünktchen auf dem Papier verdichtet. Die Papiergeschwindigkeit kann durch Wahl einer passend grossen Luftflügelbremse, die das gleichmässige Abfließen des Papiers gewährleistet, beliebig verändert werden.

Zu jeder vollen Minute wird einer der drei Spalte durch eine kleine Weckeruhr abgeblendet (auf etwa 2 Sek.), die an ihrem verlängerten Sekundenzeiger einen kleinen, gut ausbalancierten Papierflügel an dem Spalte vorüberführt.

¹⁾ Derselbe wurde nach den Angaben des Verfassers von der Firma Voigt und Hochgesang (Inhaber Herr Richard Brunnée) in Göttingen erbaut.

²⁾ Höchst empfindliches Bromsilberpapier von Dr. Stolze und Co., Westend.

³⁾ Bezogen von Reinfelder und Hertel, München.

Batterie.

Zum Laden der Elektrometerquadranten und zu Aichungszwecken dient eine Batterie von 100 Bornhäuserschen Flaschen-Akkumulatoren, die zu je 20 in paraffinierten Holzkästen wohl isoliert untergebracht und zur Erleichterung des Arbeitens von 5 zu 5 Elementen mit Kontaktstiften verbunden sind, so dass sich mittelst geeigneter Steckkontakte schnell alle erforderlichen Schaltungen vornehmen lassen.

Beobachtungsmethode und Aichung.

Zur Beobachtung der Niederschlagselektrizität fingen Elster und Geitel die Niederschläge auf einer isolierten Schale auf, verschlossen dann durch einen Deckel die Öffnung des Auffangapparates und beobachteten am Elektrometer das Potential, bis zu welchem sich das aus Elektrometer und Schale bestehende System aufgeladen hatte. Das Produkt aus Kapazität des Systems und Potential ergab nach Berücksichtigung des Isolationsverlustes unmittelbar die während der Dauer der Beobachtung dem System von aussen zugeführte Elektrizitätsmenge. Diese Methode ist zweifellos die sicherste und, solange nicht die Niederschlagselektrizität durch erhebliche Vergrösserung der Apparatdimensionen oder Erhöhung der bisher erreichten Galvanometerempfindlichkeit galvanometrisch gemessen werden kann, die bei weitem einfachste. Die automatische Durchführung dieser Methode würde sich jedoch recht schwierig gestalten und die Wahrscheinlichkeit des Versagens der ganzen Anordnung nur noch erhöht werden; auch ist die Methode der diskontinuierlichen Entladung des Systems für die photographische Registrierung ziemlich ungeeignet, da durch das Abbrechen der Kurven bei der schnell veränderlichen Natur der zu registrierenden Erscheinungen die Übersicht sehr erschwert wird. Es erwies sich als vorteilhaft, die Auffangschale dauernd durch einen grossen Widerstand abzuleiten und mittelst des Elektrometers das Potential zu registrieren, bis zu welchem die Schale durch die Niederschläge aufgeladen wird. Dass die Auffangschale durch ihre Aufstellung im Innern der Hütte unterhalb

der Blende und der durch den Drahtkäfig geschützten oberen Öffnung dem elektrischen Felde der Atmosphäre hinreichend entzogen ist, wurde durch besondere Versuche geprüft, ergibt sich aber ausserdem noch aus einigen Diagrammen von Nahgewittern, bei welchen das Potentialgefälle-Elektrometer gewaltige Feldänderungen registrierte, während die Kurve des Niederschlags-Elektrometers, solange keine Niederschläge fallen, auch keine merkliche Ausbiegung aufweist. Die Empfindlichkeit des Auffangapparates konnte innerhalb weiter Grenzen variiert werden durch Wahl eines der fünf vorhandenen grossen Widerstände und der Quadrantenspannung des Elektrometers. Aus der registrierten Kurve lässt sich leicht die zu jeder Zeit der Auffangschale zufließende Stromstärke ermitteln, denn es gilt

$$d\varepsilon = C \cdot dV + \Omega \cdot V \cdot dt,$$

worin $d\varepsilon$ die in der Zeit dt zuströmende Elektrizitätsmenge, C die Kapazität, V das Potential des Systems und Ω den ableitenden Widerstand bezeichnet. Die Kapazität des Systems ist durch Vergleichung mit einer Normalkapazität zu 84,2 cm ermittelt worden; die Aichung der Widerstände geschieht in einfachster Weise dadurch, dass man das System auf ein bekanntes Potential ladet und (zweckmässig bei vergrösserter Registriergeschwindigkeit) die Entladungskurve des betreffenden Widerstandes registriert, deren Ausmessung in bekannter Weise den Widerstand ergibt. Zum Beispiel ist der am meisten benutzte Widerstand zu $8,5 \cdot 10^{11}$ Ohm gemessen worden.

Ähnlich wurde von Zeit zu Zeit die Empfindlichkeit des zur Registrierung des Potentialgefälles dienenden Elektrometers durch Anlegen bekannter Potentiale an die Nadel, ferner die Isolation nach Entfernung der Radiumelektrode aus der Entladungskurve und endlich die Ladezeit der Elektrode bestimmt. Letztere ist instande, das aus Bambusstab, Leitung und Elektrometer gebildete System innerhalb von etwa 10 Sekunden bis auf 50% des Endwertes aufzuladen; eine Abnahme in der Wirksamkeit der Elektrode konnte bisher nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Die Reduktion des an der Elektrode ge-

messenen Potentials auf das über der Ebene herrschende Potentialgefälle ergab, dass 1 Volt an der Elektrode 4,1 Volt pro Meter entspricht. Für die zu erwartenden Sommergewitter soll dieses Verhältnis durch Verkürzung des Bambusstabes noch ein wenig verändert werden, so dass dann etwa 20 Volt/Meter einem Potential von 1 Volt an der Elektrode entsprechen werden. Während der Reduktionsmessungen wird das empfindlichere, sonst zur Messung der Niederschlags Elektrizität benutzte Elektrometer mit der Elektrode verbunden.

Die registrierende Wage ist so reguliert, dass 20 gr Belastung (also bei 200 cm² Blendenquerschnitt 1 mm Niederschlag) einen Ausschlag von etwa 60 mm auf dem photographischen Papier erzeugen. Es würde in manchen Fällen eine höhere Empfindlichkeit erwünscht sein, doch werden bei gesteigerter Empfindlichkeit die Störungen durch Windstösse, bei denen jetzt schon der Lichtpunkt oft um mehrere Millimeter hin und her bewegt wird, allzu gross. Ist während der Niederschläge der Lichtpunkt am Ende der Zylinderlinse angelangt, so wird er durch Abheben eines Gewichts, von denen stets mehrere auf der Wagschale in Bereitschaft liegen, wieder über die Zylinderlinse hinweggeführt. Die Reibung der Schneiden entspricht einem Ausschlag von etwa 1,5 mm auf dem Papier; die Aichung der Wage geschieht durch Auflegen von bekannten Gewichten. Die gesamte Niederschlagsmenge wird zur Kontrolle regelmässig auch an dem auf der meteorologischen Wiese des Instituts aufgestellten Regenmesser bestimmt.

Neben der photographischen Registrierung des Potentialgefälles während des Falles von Niederschlägen ist eine mechanische Registrierung mittelst eines Benndorfschen Elektrometers dauernd in Tätigkeit, aus dessen von 10 zu 10 Minuten erfolgenden Aufzeichnungen der Verlauf des Potentialgefälles in der von Niederschlägen freien Zeit sehr übersichtlich entnommen werden kann.

Messungen der Wolkenhöhe mittelst photographischer Stereoskopaufnahmen und einige weitere luftelektrische Messungen sind in Vorbereitung.

Resultate.

Bei der Beurteilung der Resultate, die mit der beschriebenen Versuchsanordnung zu erhalten sind, wird man beachten müssen, dass die atmosphärischen Niederschläge nach ihrem Ursprung und Verlauf zu den zeitlich und räumlich veränderlichsten Naturerscheinungen gehören, die wir kennen. Die Erforschung der elektrischen Erscheinungen, die mit dem Auftreten von Niederschlägen in der Atmosphäre verbunden sind, muss daher solange eine unvollkommene und unbefriedigende bleiben, als der Beobachter gezwungen ist, an einer gegebenen Stelle der Erdoberfläche die zu untersuchenden Phänomene über sich hinwegziehen zu lassen anstatt sie an Ort und Stelle aufzusuchen. Vorerst lässt sich nur erwarten, dass man aus vielen mit der beschriebenen Versuchsanordnung angestellten Beobachtungen vielleicht einige Erfahrungen allgemeinerer Art wird ableiten können, die geeignet sind, als Ausgangspunkte für eine vollkommeneren Untersuchungsmethode zu dienen.

Es lassen sich in der Tat schon jetzt eine Reihe von Merkmalen angeben, die den verschiedenen Arten von Niederschlägen eigentümlich zu sein scheinen.

In vollem Umfange bestätigten sich die von Elster und Geitel in ihrer Arbeit „Beobachtungen über die Eigenelektrizität der atmosphärischen Niederschläge“ veröffentlichten Resultate. Man kann im allgemeinen bezüglich ihrer elektrischen Eigenschaften drei Gruppen von Niederschlägen unterscheiden — von Dunst, Nebel, Tau, Rauhreif u. dgl. wird hier abgesehen, — für welche die Schlagworte „Landregen“, „Böenregen“ und „Gewitterregen“ gebraucht werden mögen. Dabei sollen unter „Landregen“ auch schwache, lange andauernde Schneefälle, unter „Böenregen“ auch Graupel- und Hagelböen und unter „Gewitterregen“ alle mit sinnlich wahrnehmbaren Entladungen verbundenen Niederschläge verstanden sein. Durch diese Einteilung wird schon eines der auch von Elster und Geitel gefundenen Resultate vorweggenommen, nämlich die Tatsache, dass sich ein wesentlicher Unterschied in dem elektrischen Ver-

halten von Niederschlägen, die in Form von Regen, Schnee, Hagel oder Graupeln fallen, innerhalb jeder der drei genannten Gruppen nicht angeben lässt.

Der Landregen ist meist von negativem Potentialgefälle begleitet, das während des Falles von Niederschlägen bis auf etwa 1000—2000 Volt/Meter anwachsen kann; charakteristisch ist das seltene Vorkommen starker positiver Felder. Das Vorzeichen der Niederschlagslektrizität wechselt, doch überwiegt im allgemeinen die negative Ladung; die bei Landregen der Erdoberfläche zufließenden Stromstärken gehen bis etwa 10^{-14} Amp./cm² herauf, sind jedoch meistens bedeutend geringer, zeitweise scheint merklich unelektrischer Regen vorkommen zu können.

Der Böenregen ist charakterisiert durch periodisch wechselnde Feldrichtungen; die Feldstärke zeigt oft Schwankungen kürzerer Periode, die sich den Änderungen von längerer Dauer und grösserem Betrage superponieren. Nicht selten werden bei Böen, namentlich kurz vor dem Falle grosser Tropfen oder Graupel- und Hagelkörner Feldstärken von 4000—6000 Volt/Meter erreicht, die oft innerhalb einiger Sekunden das Vorzeichen wechseln. Bei der überwiegenden Anzahl aller bisher registrierten Böen wurde beim Heranziehen der Front starkes positives Potentialgefälle beobachtet; die Beantwortung der Frage, ob hierin eine gesetzmässige Beziehung liegt, bzw. wodurch diejenigen seltener auftretenden Böen mit anfänglich negativem Potentialgefälle von denjenigen mit positivem ihrer meteorologischen Natur nach unterschieden sind, muss vorerst bis nach Ansammlung eines reichhaltigeren Beobachtungsmaterials verschoben werden. Die Niederschlagslektrizität wechselt in ähnlich periodischer Weise ihr Vorzeichen wie das Potentialgefälle, die Stromdichte ist bei Böen etwa von der Grössenordnung 10^{-13} Amp./cm². Häufig wurden Böen mit anfänglich positiver Niederschlagsladung beobachtet, doch überwiegt ihre Zahl diejenige der anfänglich negativen Ladungen zur Erde fördernden nicht so sehr, wie die Anzahl der Böen mit anfänglich positivem Potentialgefälle diejenige der Böen

mit negativem Potentialgefälle überwiegt. Es kommen Böen vor, während deren Verlauf das Vorzeichen des Feldes fast regelmässig das entgegengesetzte ist, als das der Niederschlagsladungen, in den weitaus meisten Fällen ist aber ein Wechsel in dem Vorzeichen des Feldes nicht mit einem Vorzeichenwechsel bei der Niederschlags Elektrizität verbunden. Häufig ist beim Abziehen einer Böe das Vorzeichen des Feldes dem der zuletzt gefallenen Niederschlags Elektrizität entgegengesetzt, doch sind auch schon eine Reihe von Böen beobachtet, bei denen Niederschlags Elektrizität und Potentialgefälle zum Schlusse gleiches Vorzeichen hatten. Auch bei den Böenregen überwiegt im allgemeinen die zur Erde geförderte negative Ladung die positive.

Die Gewitterregen sind vor Allem quantitativ von den Böenregen dadurch unterschieden, dass bei ihnen Felder von 10 000 Volt/Meter nicht zu den Seltenheiten gehören und die durch die Niederschläge der Erde zugeführten Ströme oft 10^{-12} Amp./cm² übersteigen. Das Ansteigen des Feldes zu einem Maximalwert geschieht hier innerhalb weniger Sekunden, erfolgt dann eine Entladung, so ist oft in kurzer Zeit schon wieder der gleiche Wert des Feldes erreicht oder überschritten oder es erfolgt schnell ein Vorzeichenwechsel und rapides Anwachsen des Feldes im entgegengesetzten Sinne. Solange noch Entladungen stattfinden, kann man häufig beobachten, dass die Niederschlags Elektrizität nicht wesentlich die bei Böenregen vorkommenden Werte überschreitet, erst wenn das Gewitter schon abzuziehen beginnt, nimmt dann meist sehr schnell die Niederschlags Elektrizität grosse Werte an. In dem vorhergehenden Stadium scheinen kurz aufeinander Niederschläge von verschiedenen Vorzeichen zu folgen, die vielleicht sehr grosse Eigenladungen mitführen; leider aber folgen diese Vorzeichenwechsel so schnell aufeinander, dass es grosse Schwierigkeiten bieten dürfte, sie getreu ihrem wahren Verlaufe zu registrieren. Etwas ähnliches gilt auch von der Registrierung des Potentialgefälles bei Gewittern, besonders bei heftigen Nahgewittern, wo oft die einzelnen Entladungen so schnell aufeinander folgen,

dass die Elektrode nicht imstande ist, das angehängte System von tunlichst kleiner Kapazität auch nur angenähert auf das im Momente der Entladung erreichte Potential aufzuladen. Vielfach wurde bei Gewittern das merkwürdige Phänomen beobachtet, dass Niederschläge, deren Ladung das entgegengesetzte Vorzeichen hatte als das momentan bestehende Feld, beim Anwachsen des Feldes schwächer und schwächer niedergingen, um dann im Momente der Entladung oder gar des Umschlagens der Feldrichtung in die entgegengesetzte mit grosser Intensität herabzustürzen und dass andererseits Niederschläge von einer Ladung gleichen Vorzeichens beim Anwachsen des Feldes äusserst heftig niedergehen, während sie sofort nach der Entladung oder Feldumkehr fast aussetzen. In der Tat zeigt eine oberflächliche Schätzung der Tropfen- bzw. Körnergewichte, dass das bestehende Feld bei der vorhandenen Eigenladung der Niederschläge sehr wohl imstande gewesen sein muss, diese merklich in ihrem Fall zu verzögern bzw. zu beschleunigen. Bei einzelnen Gewittern überwog die insgesamt der Erde zugeführte negative Ladung nur wenig die positive, bei den übrigen bisher beobachteten Gewittern war deutlich ein Überschuss an negativer Ladung zu konstatieren.

Die Registrierung der Niederschlagsmenge im Zusammenhange mit den elektrischen Erscheinungen bei Niederschlägen hat es möglich gemacht, unter Schätzung der Wolkenhöhe eine angenäherte Berechnung der bei den betreffenden Niederschlägen in andere Energieformen umgesetzten potentiellen Gravitationsenergie vorzunehmen. Bei allen bisher nach dieser Richtung hin untersuchten Niederschlägen hat sich herausgestellt, dass selbst bei sehr ungünstigen Annahmen über die Fallhöhe und die Konfiguration des Feldes die Gravitationsenergie die bei weitem ausreichende Energiequelle für die Erzeugung der zeitweise vorhandenen elektrischen Energie ist. Bei Landregen scheint im allgemeinen der kleinste Bruchteil der Gravitationsenergie in elektrische umgesetzt zu werden, bei Böenregen ein grösserer und bei Gewitterregen der grösste Bruchteil. Vorbehaltlich einer späteren Bestätigung durch Ver-

arbeitung weiteren Beobachtungsmaterials mag endlich konstatiert werden, dass die von C. P. R. Wilson gefundene Tatsache, dass die negativen Ionen vorzugsweise, d. h. schon bei geringerer Übersättigung dem Wasserdampf als Kondensationskerne dienen können, qualitativ wie quantitativ — soweit hier Schätzungen der räumlichen Ausdehnung der in Betracht kommenden Wolkengebilde einen Schluss zulassen — zur Erklärung der bei Niederschlägen auftretenden elektrischen Erscheinungen auszureichen scheint.
