Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 95 (1912)

Artikel: Ueber die Erforschung der luftelektrischen Erscheinungen

Autor: Wiechert, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90199

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 27.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ueber die Erforschung der luftelektrischen Erscheinungen

Von E. Wiechert

Blitz und Donner erschreckten seit den ältesten Zeiten das Menschengeschlecht. Das furchtsame Gemüt sah in ihnen Wahrzeichen zürnender Götter. — Als die erwachende Naturwissenschaft die Elektrizität kennen lernte, als der Forscher elektrische Funken springen sah, ihren Knall hörte, kam bald der Gedanke, dass Blitz und Donner wohl nichts anderes als machtvollere Entfaltung der gleichen Naturkräfte seien. Franklin bewies es, indem er mittels des Drachen die Elektrizität vom Himmel herunter holte. Es kam nun die Zeit, wo viele Gelehrte diese Versuche in vielfachen Variationen wiederholten. In der Stadt Göttingen, die mir jetzt Heimat bietet, war es der bekannte Physiker Lichtenberg, der sie den Studenten oftmals vorführte. Dabei ging er mit ihnen auf den Hainberg, nahe der Stadt, um die Drachen steigen zu lassen. Das Geschick hat es gefügt, dass dort jetzt das Geophysikalische Institut der Universität steht, zu dessen wesentlichen Aufgaben es gehört, sich der luftelektrischen Forschung zu widmen.

Die Wissenschaft ist vorwärts gegangen. Das Gewitter ist uns heute nur noch eine Einzelerscheinung in einer Fülle von luftelektrischen Vorgängen, die in der mannigfachsten und merkwürdigsten Weise unter einander und mit andern kosmischen Erscheinungen verkettet sind. Wohl werde ich Ihnen darzulegen haben, dass wir noch des Rätselhaften genug sehen,

aber Dank der hingebenden Arbeit einer grossen Zahl von Forschern sind doch vielerlei bedeutungsvolle Erfolge errungen. Weite und schöne Ausblicke öffnen sich uns schon jetzt, hoffnungsfroh dürfen wir vorwärts blicken.

Es ist erkannt worden, dass die luftelektrischen Vorgänge zwar in vieler Hinsicht lokal bedingt sind, aber doch in ihrer Entfaltung weite Gebiete, vielleicht in festem Zusammenhang die ganze Erde umfassen. So richtet sich der Blick des heutigen Luftelektrikers in die Ferne. Die Arbeit des Einzelnen, so wichtig sie ist, muss Anschluss suchen an das gleichgesinnte Vorgehen vieler Anderer. Es war dieser Gesichtspunkt, der im Jahre 1901, als die moderne luftelektrische Forschung ihre Schwingen eben zu kraftvollem Fluge geöffnet hatte, die Deutschen Akademien, denen Wien zugestellt ist, zu gemeinsamer Arbeit zusammen fügte [1]. Eine gemeinsame Kommission für luftelektrische Forschung wurde gegründet. Alljährlich vereinigen sich seitdem die Mitglieder an wechselnden Orten zu persönlichen Beratungen und Berichten. Dabei werden auch Männer zugezogen, die den Akademien nicht direkt angehören, aber sachverständig und bereit sind, an den Arbeiten sich zu beteiligen. Bei der Versammlung in diesem Jahr, die im Juni in München tagte, hatten wir die besondere Freude, einen Vertreter der Schweiz, Herrn *A. Gockel,* begrüssen zu können, dem die luftelektrische Forschung schon so vieles Wertvolle verdankt. —

Es kann heute nur mein Ziel sein, eine kurze Uebersicht über das Gesamtgebiet zu geben; insbesondere werde ich darauf hinweisen müssen, wo zur Zeit das Feld der vorwärts strebenden Arbeit liegt. —

Die Sinne des Menschen reichen nicht weit, schnell kommen wir an Grenzen, wo sie versagen. Es ist Aufgabe der Naturwissenschaft, durch zweckmässige Hilfsmittel und durch das Experiment die Sinne zu verschärfen. Das Forschungsgebiet der Luftelektrizität bietet uns ein schönes Beispiel hierfür. Ist die Luft frei von gröberen Staubteilchen, so zeigt uns das Auge in

[1] Die Anregung wurde von meinem Göttinger Kollegen *E. Riecke* gegeben.

der Nähe nichts von ihr und doch umfasst sie eine ganze Welt von Vorgängen in allen ihren Teilen ! — Zunächst lehrt uns die Wissenschaft mit geistigen Augen die Moleküle sehen, welche die Luft zusammensetzen : Stickstoff-, Sauerstoff-, Argon-Moleküle u.s.f. In jedem Kubikzentimeter schon sind ca. 3.10^{19} dieser Moleküle vorhanden, von denen ein jedes etwas kleiner als ½ Milliontel Millimeter ist. Mit Geschwindigkeiten von mehreren Hundert Meter in der Sekunde fahren sie hin und her, so den Gas-Druck erzeugend und einander stossend. Wir wissen, dass die Atome des Stickstoffs, des Sauerstoffs u.s.f., welche die Molekühle aufbauen, sehr komplizierte Gebilde sind, für die Vorstellung durchaus nicht « unteilbar » wie der altehrwürdige Name « Atom » dem nichtwissenden Aussenstehenden vortäuschen könnte.

Zu den Bausteinen der Atome gehören auch die « *Elektronen* », negativ geladene Gebilde, welche die kleinste uns bekannte Menge der Elektrizität tragen, das elektrische « Elementarquantum ». Es beträgt $4,7 \cdot 10^{-10}$ elektrotatische Einheiten. Das gleiche Quantum von positiver Elektrizität ist ebenso die kleinste vorkommende Menge positiver Art ; aber niemals bisher haben wir Anzeichen dafür kennen gelernt, dass es den negativen Elektronen entsprechende selbständige positive Gebilde gibt. Jede elektrische Ladung stellt sich nun dar als ganzes Vielfaches des Elementarquantums, sodass die Elektrizität an der atomistischen Struktur der Materie Anteil hat, ja, die Elektrizität erscheint uns heute als nichts anderes als die Materie selbst, besser gesagt als eine besondere Erscheinungsform der Materie. Auch jene Elektronen, von denen ich sprach, haben « Masse » wie die Materie sonst. Die Masse des Elektrons ist allerdings viel kleiner — etwa 1800 Mal kleiner — als die eines Wasserstoff-Atoms. — Die Elektronen kommen auch frei vor, sie bilden so die *Kathodenstrahlen,* die β-Strahlen radioaktiver Körper ; sie lösen sich auch ab, wenn Licht-, wenn Röntgen-Strahlen auf Materie fallen (« Photoelektrizität »).

Die letzten Jahre des vorigen Jahrhunderts haben gelehrt, dass manche materiellen Atome im Laufe der Zeit zerfallen, es sind dies die Atome der sogenannten « radioaktiven » Elemente.

Der Zerfall ist, wie der Name andeutet, meist mit Strahlung verbunden. Wir unterscheiden dabei α-, β-, γ-Strahlung. Bei der α-Strahlung wird von dem zerfallenden Atom ein mit dem zweifachen Elementarquantum geladenes Helium-Atom ausgestossen, bei der β-Strahlung ein einzelnes Elektron. Bei der γ-Strahlung gehen Strahlen in die Ferne, welche genau das Verhalten der Röntgenstrahlen zeigen. Ueber das Wesen der γ-Strahlen, wie über das der Röntgen-Strahlen ist man sich heute noch nicht ganz einig, meist wird angenommen, dass die Röntgen-Strahlungen ähnlicher Art seien wie die des Lichtes, also Strahlungen elektromagnetischer Wellen. Sei es nun, dass es sich um Stosswellen oder um Wellen mit vielen aufeinander folgenden Schwingungen handelt. Jedenfalls muss die Stosszeit oder die Periode vielmals kürzer als die Periode des gewöhnlichen Lichtes sein. — Die α-Strahlen kommen wegen des verhältnismässig grossen Umfanges ihrer Teilchen nicht weit, wenn sie in Materie eindringen. In gewöhnlicher Luft ist die « Reichweite » nur einige Centimeter. Die β-Strahlen gehen vielmals weiter, bei weitem am durchdringendsten sind aber die γ-Strahlen. Die besonders stark durchdringenden Strahlen, z. B. diejenigen welche Ra-C aussendet, werden auf die halbe Intensität erst gebracht, wenn sie einige Hundert Meter gewöhnlicher Luft durchlaufen.

Wenn in einer Flüssigkeit oder einem Gas einzelne Atome, Moleküle oder Gruppen von Molekülen geladen sind, so nennt man die geladenen Teilchen « Ionen ». Man wendet diesen Namen öfters auch auf freie Elektronen und selbst auf geladene Staubteilchen an. — Die Leitung in einem Metall beruht auf der Bewegung der Elektronen, die Leitung in Flüssigkeiten und Gasen auf die Bewegung von Ionen. Geladene Atome oder kleine Gruppen von Atomen zeigen sich als leicht beweglich; sie sind es, die für die Leitung der atmosphärischen Luft besonders in Betracht kommen. Als Maass der « *Beweglichkeit* » pflegt man die Wanderungsgeschwindigkeit zu wählen, welche zu einer treibenden Kraft von 1 Volt per Centimeter gehört. Diese Wanderungsgeschwindigkeit ist bei einzelnen Atomen und Atomgruppen von der Grössenordnung 1 cm/sec.

Die α-, β-, γ-Strahlen, und auch das kurzwellige Licht, jonisieren die Gase, durch welche sie hindurch gehen. —

I. Leitfähigkeit der Luft.

Was ich bisher sagte, bitte ich als Einleitung zu betrachten. Indem ich nun zu meinem eigentlichen Thema übergehe, habe ich als eine Erscheinung von entscheidender Bedeutung zuvörderst hervorzuheben, dass die atmosphärische Luft, so wie sie uns umgibt, leitet; *sie enthält also Jonen.* Als man die Leitung zuerst bemerkte, dachte man zur Erklärung an die Wirkung des Staubes. Dieser ist aber nicht der wesentliche Faktor, denn es zeigt sich, dass die Luft um so besser leitet, je staubfreier sie ist. Die Durchsichtigkeit kann geradezu als ein rohes Maass für die Leitfähigkeit gelten. Das Experiment lehrt, dass die Anwesenheit jener leicht beweglichen Jonen das Bedingende ist, von denen ich soeben sprach, also jener Jonen, die nur einzelne Atome oder Atomgruppen mit wenigen Atomen umfassen. Neben diesen Jonen zeigt sich aber auch der Staub elektrisch geladen. Nicht genau, aber doch in Annäherung sind sowohl von den leicht beweglichen Jonen als auch von den Staubteilchen gleich viele der positiv und der negativ geladenen vorhanden. Indem man durch hinreichend starke elektrische Felder die geladenen Teilchen einem abgemessenen Luftquantum entzieht, kann man auf den Inhalt der Luft an freier Elektrizität schliessen. Und indem man die Grösse des Elementarquantums berücksichtigt, erhält man auch die Jonenzahl («Jonenzählung»). Es zeigt sich, dass die Jonenzahl erheblich schwankt. So ungefähr sind es gewöhnlich von den leicht beweglichen, von den «Leitungsjonen» beider Arten, je 500 im Kubikzentimeter. Bezeichnet man die Menge der Elektrizität, welche von den leicht beweglichen Jonen im Kubikmeter im Ganzen getragen wird mit I_+ und I_-, so liegen I_+ und I_- gewöhnlich in der Nachbarschaft von $^1/_4$ elektrostatischer Einheit positiver oder negativer Elektrizität. Die Anzahl der Staubteilchen ist in der Regel vielmals grösser als die der leicht beweglichen Jonen. Entsprechend sind auch die Gesamtladungen im Kubikmeter,

welche von Staubteilchen getragen werden, vielmals grösser als I_+ und I_-, da aber die Staubteilchen mehr als 1000 Mal geringer beweglich sind als die molekularen Jonen, ist trotzdem ihr Anteil an der Leitfähigkeit unwesentlich. — Zur Bestimmung der Leitfähigkeit gibt es bequeme direkte Methoden. Man kann die Leitfähigkeit aber auch berechnen, wenn man den Inhalt an Elektrizität I_+, I_- beobachtet und die mittlere Jonenbeweglichkeit als bekannt durch anderweitige Beobachtungen voraussetzen darf. Dem vorher angegebenen mittleren Werten $I_+ = I_- = {}^1/_4$ es. E.[1] entspricht eine Leitfähigkeit $\lambda = 2.10^{-4}$ in elektrostatischen Einheiten. Dies heisst folgendes: Wirkt eine elektrische Kraft von der Intensität 1 im elektrostatischen Maass (das entspricht einem Potentialfall von 300 Volt auf 1 cm), so entsteht ein Strom, der in 1 Sekunde durch jeden Quadratcentimeter 2.10^{-4} elektrostatische Einheiten von Elektrizität hindurch bewegt. —

Wird ein geladener Körper der freien Atmosphäre ausgesetzt, so verschwindet seine Ladung wegen der Leitfähigkeit der Luft allmählich. Man nennt dies Phänomen die «*Elektrizitätszerstreuung*». Bei positiver Ladung werden die negativen Jonen angezogen und geben ihre Ladung ab; nur diese negativen Jonen kommen in diesem Fall für die Zerstreuung in Betracht, denn ein Ausstossen positiver Jonen findet unter den gewöhnlichen Verhältnissen nicht statt. Umgekehrt wird die Zerstreuung negativ geladener Körper durch positive Jonen übernommen. Demgemäss wird zwischen der Zerstreuung positiver und Zerstreuung negativer Elektrizität, oder auch, kürzer ausgedrückt, zwischen positiver und negativer Zerstreuung unterschieden. Entsprechend unterscheidet man zwischen positiver und negativer Leitfähigkeit, λ_+ und λ_-. Dabei gehört die positive Leitfähigkeit zur negativen Zerstreuung und die negative Leitfähigkeit zur positiven Zerstreuung. Für die Elektrizitätsbewegung im Innern der Luft summieren sich die Wirkungen beider Jonenbewegungen, es ist also die gesamte Leitfähigkeit gleich der Summe der beiden polaren Leitfähigkeiten:

[1] Abkürzung für «elektrische Einheiten».

$\lambda = \lambda_+ + \lambda_-$. Da die negativen Jonen etwas beweglicher sind als die positiven, ist im vorhin angenommenen Fall, wo $\lambda = 2.10^{-4}$ war, λ_- etwas grösser, λ_+ etwas kleiner als 1.10^{-4} anzusetzen. —

Ich habe von der Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft als einer Tatsache gesprochen; die Jonen sind eben in der Luft vorhanden. Denken wir uns jetzt einmal alle Ursachen neuer Jonisierung von einem bestimmten Zeitmoment ab fort, dann werden die Jonen der beiden Arten sich gegenseitig mehr und mehr vereinigen und es wird die Jonisierung herabsinken. Das Gesetz hierfür ist bekannt. Der Einfachheit wegen will ich gleich viel Jonen beider Arten annehmen, sodass die Ladungen I_+, I_- einander gleich sind: $I_- = -I_+$, dann darf gesetzt werden:

$$\frac{dI}{dt} = -\alpha I^2,$$

wobei α eine gewisse Konstante ist, und I für I_+ gesetzt wurde. Nahezu ist erfahrungsmässig $\alpha = 1/300$, wenn I nach elektrostatistischen Einheiten im Kubikmeter gerechnet wird. — Aus dem hingeschriebenen Differentialgesetz folgt das Integralgesetz:

$$I\,(t - t_0) = \frac{1}{\alpha},$$

wobei t_0 eine neue Konstante (Integrationskonstante) ist, die von jener Jonisierung abhängt, welche im Augenblick herrschte, wo alle jonisierenden Ursachen ausgeschaltet wurden. Zu $t = t_0$ gehört $I = \infty$, denken wir uns also die Anfangsjonisierung äusserst hoch und rechnen die Zeit vom Moment der Ausschaltung der jonisierenden Ursachen, so kann unsere Formel einfacher geschrieben werden:

$$I = \frac{1}{\alpha t}.$$

Im Falle der Luft, wo $\alpha = 1/300$ zu setzen ist, gibt das:

$$I = \frac{300}{t}.$$

Hieran können wir in bequemer Weise unsere Folgerungen knüpfen:

Es ergibt sich

nach 1 Sekunde,	also für	$t =$	$1 : I = 300$	es. E./cbm.
» 20 Minuten,	»	» $t =$	$1200 : I = 1/4$	» »

und von diesem Zeitmoment gerechnet

20 Minuten später,	also für	$t =$	$2400 : I = 1/2\ 1/4$	es. E./cbm.
1 Stunde »	»	» $t =$	$4800 : I = 1/4\ 1/4$	» »
5 Stunden »	»	» $t =$	$19200 : I = 1/16\ 1/4$	» »

Nach 1 Sekunde ist noch $I = 300$ es. E. kommen also auf die Gesamtladung der positiven und negativen Jonen im Kubikmeter noch je 300 elektrostatische Einheiten. Für $t = 1200$, d. h. nach 20 Minuten ist I auf $1/4$ es. E. gesunken, hat also etwa den gewöhnlichen Wert in der freien Atmosphäre erreicht. Unter diesen Umständen lehrt uns die Tabelle, für die Zeiten von diesem Augenblick ab, wie in der Atmosphäre die Jonisierung abnehmen würde, wenn bei der gewöhnlich vorhandenen Jonisierung plötzlich die jonisierenden Umstände fort fielen. Wir sehen, dass schon nach einer Stunde die Jonisierung auf $1/4$ des Anfangswertes herabgesunken wäre. So folgt denn mit Sicherheit, dass *dauernd wirkende jonisierende Ursachen in der Atmosphäre vorhanden sein müssen.* Es kann auch nicht etwa dem Sonnenlicht die Ursache zugeschrieben werden, denn wir finden die Jonisierung auch die ganze Nacht hindurch, also viele Stunden nachdem die Sonne untergegangen ist. —

Welches sind die Ursachen? — Man hat eine der Ursachen in radioaktiven Beimengungen der Luft gefunden. In erster Linie wirken mit die Zerfallsprodukte des *Radiums,* nämlich die Emanation und ihre Abkömmlinge, Ra-A, Ra-B, Ra-C. Bedeutsam sind ferner die Zerfallprodukte des *Thoriums* und bemerkbar auch die des *Aktiniums.* Vielfache Experimente haben uns über diese Verhältnisse Aufschluss gegeben und es sind für die Messungen spezielle, bequeme Versuchsanordnungen ausgearbeitet worden.

Die radioaktiven Beimengungen der Luft sind so reichlich vorhanden, dass man vermuten könnte, sie deckten durch ihre

α-, β- und γ-Strahlung den ganzen Betrag der Jonisierung. Völlig anerkannt ist dieses heute freilich noch nicht, es gibt auch Stimmen dagegen; jedenfalls aber handelt es sich bei der radioaktiven Beimischung um einen Hauptfaktor der Jonisierung. —

Hier zeigt sich noch eine Eigentümlichkeit, die besondere Beachtung verdient. Ich sagte schon, dass von den drei Strahlenarten die durch α, β, γ gekennzeichnet werden, die γ-Strahlen weitaus am durchdringendsten sind. Bei der Jonisierung der Luft machen sich nun Strahlen vom Durchdringungsvermögen der γ-Strahlen besonders bemerkbar. Um sie zu beobachten schliesst man ein Luftquantum ganz in Metall ein und wählt dabei die Dicke der Wandung so, dass die α- und die β-Strahlen abgeschirmt werden. Man untersucht dann die Jonenbildung im Innern der Kapsel, indem man beobachtet, wie schnell die Jonen einen geschlossenen elektrisierten Körper zu entladen vermögen. Wird die Kapsel darauf mit einem sehr dicken Mantel von Materie, z. B. von einem 5—10 cm dicken Bleimantel umgeben, so vermindert sich die Jonenbildung im Innern — ein Zeichen dafür, dass vorher Strahlen eindrangen, die nun abgeblendet werden. — Dass *überhaupt* stark durchdringende Strahlen auftreten, ist nicht auffällig, denn sie sind ja mit dem Zerfall der in der Luft vorhandenen radioaktiven Stoffe verknüpft. *Auffällig* ist aber ihre grosse Fülle. Diese scheint nach den Beobachtungen so gross zu sein, dass ein recht erheblicher Bruchteil der ganzen Jonisierung der Luft damit erklärt wird. Nun haben andererseits die Untersuchungen der Wirkungen radioaktiver Stoffe gelehrt, dass bei diesen stets nur ein sehr kleiner Bruchteil des ganzen Jonisierungseffektes auf Rechnung der γ-Strahlen kommt. Entweder ist man also genötigt diese Beobachtungen in Frage zu stellen oder man muss die Quelle der sehr durchdringenden Strahlung in der Atmosphäre nicht in ihren radioaktiven Beimengungen suchen. In der Tat hat man Hypothesen in letzterer Richtung aufgestellt. Es wurde entweder angenommen, dass die sehr durchdringenden Strahlen vom Weltenraum in die Atmosphäre eindringen, oder, dass sie vom Erdboden stammen. Gegen die Annahme des ausserir-

dischen Ursprunges spricht, dass die Intensität der Strahlung mit der Höhe über dem Meeresspiegel nicht in dem zu erwartenden Maasse steigt, gegen die Annahme des Ursprunges von dem festen Erdkörper, dass auch bei der Erhebung in die freie Atmosphäre mittels des Luftballons keine entsprechende Abnahme der Intensität eintritt. — Ich möchte es mir versagen, hier eine besondere Vermutung darüber auszusprechen, wo eine Erklärung zu suchen wäre, will vielmehr die Lösung des Rätsels der Zukunft überlassen. Bemerken will ich nur, dass das bisherige Beobachtungsmaterial, so wertvoll es ist, mir in mehr als einer Hinsicht nach ergänzungsbedürftig scheint.

Einen Hauptfaktor der Jonisierung der Luft fanden wir in ihren radioaktiven Beimengungen. Für die Radiumreihe zeigte sich dabei die Emanation als Muttersubstanz. Diese Emanation hat eine Halbwertzeit von etwa 4 Tagen, d. h. eine abgeschlossene Menge sinkt in je 4 Tagen auf die Hälfte des Betrages. Hieraus folgt unmittelbar der ausserordentlich wichtige Schluss, dass eine beständige Erneuerung des Emanationsgehaltes in der Luft stattfinden muss. Aehnliches gilt von den übrigen hier wesentlichen Reihen von radioaktiven Abkömmlingen. Wie geschieht nun die Erneuerung? Diese Frage führt uns zu einem weiteren grossen Gebiet der luftelektrischen Forschungen. Der richtige Weg zur Antwort scheint uns Dank den schon vorliegenden Arbeiten bekannt zu sein. Wir werden den Ursprung der radioaktiven Beimengung der Luft im Erdboden und im Meerwasser zu suchen haben. Sowohl die Gesteine, wie auch das Meerwasser enthalten die hier in Betracht kommenden radioaktiven Substanzen, zwar nur in geringen, aber doch in ausreichend scheinenden Mengen.

Beschränken wir uns auf die Besprechung des *Radiumgehaltes,* wo ein grosses Beobachtungsmaterial schon vorliegt. Der gewöhnliche Gehalt der Luft im Kubikmeter an Radiumemanation ist so klein, dass zur Deckung des Zerfalles ca. 10^{-10} g Radium genügend wären. Die Gesteine der Erdrinde anderseits enthalten in jedem Kubikmeter meist $1—2.10^{-6}$ g Radium, genügend also für die Nachlieferung an 10000—20000 Kubikmeter Luft. Seewasser enthält ca. 300 Mal so viel Ema-

nation als die Luft. Die feste Erdoberfläche ist überall porös, so muss überall Emanation heraus diffundieren. Unterstützt wird dieser Prozess durch den Wind und durch die Barometerschwankungen («Bodenatmung»). Bei der See ist der Gehalt wohl geringer, dafür aber sorgt die Wellenbewegung für Verstärkung der Abgabe. Ob nun freilich die Bilanz: Erdkörper und See auf der einen Seite, Atmosphäre auf der anderen Seite, genau stimmt, wage ich nicht mit Sicherheit zu behaupten; weitere Beobachtungen scheinen noch sehr erwünscht. —

II. Freie Ladungen.

Die Leitfähigkeit der Luft bewirkt einen beständigen Ausgleich der Elektrizität zwischen allen elektrisch geladenen Körpern in ihr. Dennoch finden wir freie Ladung im Bereiche der Atmosphäre! Das stellt den Luftelektriker vor neue Aufgaben der Forschung.

Orientieren wir uns zunächst etwas über die Beobachtungsergebnisse. Es zeigt sich, dass die gegen den Luftraum gerichtete Oberfläche der Erde selbst geladen ist und zwar von Ausnahmsfällen abgesehen negativ. Dann enthält die Luft selbst überall freie Ladung und zwar ist diese von Ausnahmsfällen abgesehen positiv, also umgekehrt wie die der Erdoberfläche. Die Ladungen machen sich bemerkbar, indem *elektrische Kräfte* erregt werden. In der Hauptsache ist die Anordnung der Ladungen so, dass wir schon eine gute Uebersicht erhalten, wenn wir uns alle Ladungen in horizontaler Schichtung denken. So wollen wir uns denn zunächst die Erde eben vorstellen, die Wolken in horizontalen Schichten etc. Die elektrischen Kräfte sind dann vertikal gerichtet. Indem man an die Spannungen denkt, pflegt man von «*Potentialgefälle*» zu sprechen. Einer elektrischen Kraft E, welche im elektrostatischen Maasssystem die Intensität 1 besitzt, entspricht ein Potentialgefälle P von 30000 Volt auf 1 Meter. Allgemein ist bei gleichen Einheiten

$$E = \frac{P}{30000}$$

Bis 30000 Volt-Meter steigt das Potentialgefälle in der Atmosphäre kaum jemals, selbst nicht bei Gewitter. An gewöhnlichen Tagen liegt es meist bei 100—200 Volt auf 1 Meter.

Zwischen den Ladungen und dem Potentialgefälle gibt der sogenannte Gauss'sche Satz einen sehr einfachen Zusammenhang. Betrachten wir irgend zwei horizontale Flächen (1) und (2), die nahe bei einander, aber auch beliebig weit, selbst viele tausend Meter weit auseinander liegen können, und nennen wir E_1 und E_2 die elektrischen Kräfte in beiden Flächen, ε die zwischen den beiden Flächen auf je 1 Quadratzentimeter der Flächenausdehnung liegende elektrische Ladung, so ist nach dem Gauss'schen Satz:

$$E_2 - E_1 = \pi\varepsilon$$

In der Erde ist $E_1 = o$ zu setzen, so gibt uns unser Satz, wenn (1) in die Erde, (2) direkt darüber gelegt wird, sogleich den Zusammenhang zwischen der Ladung der Erdoberfläche und dem Potentialgefälle dicht darüber. Zu einem mittleren Verhältnissen entsprechenden Potentialgefälle von 150 Volt-Meter gehört eine Ladung von ca. $\frac{1}{2500}$ elektrische Einheiten auf den Quadratzentimeter. Das macht für 1 Quadratkilometer schon ca. 4 Millionen Einheiten!

Die Erdoberfläche ist, wie ich eben sagte, in der Regel negativ geladen, die Luft positiv, so wird die Ladung der Erdoberfläche mehr und mehr kompensiert, wenn wir von der Erdoberfläche höher und höher in den Luftraum hinein gehen; unserer Formel gemäss (wenn wir uns denken, dass eine Ebene fest im Erdboden bleibt, während die andere höher und höher gehoben wird), wird dieses dadurch angezeigt, dass das Potentialgefälle mehr und mehr abnimmt. Schon in 1000—2000 Meter Höhe ist das Potentialgefälle meist auf etwa $^1/_5$ des Wertes unten gesunken, ist also die Kompensation der Ladung der Erdoberfläche bis auf diesen Rest erfolgt. In 6000—7000 Meter Seehöhe ist die Kompensation bis auf wenige Prozent fortgeschritten, wie Ballonfahrten zeigten. So kommt man auf den Gedanken, dass die Atmosphäre im Ganzen vielleicht gerade die Ladung der Oberfläche aufhebt, sodass die Erde sich nach dem Welten-

raum hin als ungeladen darstellt. Dieser Schluss wäre aber doch nicht unbedenklich. Vielleicht herrschen in den grossen Höhen über 10 km, die den luftelektrischen Messungen bisher unzugänglich waren, ganz andere Verhältnisse wie unten. Dort leuchten die Polarlichter, die auf starke elektrische Vorgänge hindeuten, dort müssen wir jene sehr starken elektrischen Ströme annehmen, welche die noch in geheimnisvolles Dunkel gehüllten magnetischen Variationen verursachen. Es taucht auch die Frage auf, ob ein Austausch von Elektrizität zwischen den höchsten Schichten der Atmosphäre und dem Weltenraum stattfinde? Bei der Leichtbeweglichkeit der Elektronen, könnten diese einen Austausch recht wohl vermitteln. Neuere Theorien des Polarlichtes nehmen an, dass die Erde beständig von elektrisch geladenen Teilchen getroffen werde, die von der Sonne ausgestossen werden. So sehen wir, dass die luftelektrische Forschung hier die Blicke weit hinaus in andere Gebiete der kosmischen Physik richten muss. —

Doch kehren wir zurück zu den uns jetzt schon zugänglichen tieferen Schichten der Atmosphäre!

Wegen der Leitfähigkeit der Luft finden beständig elektrische Strömungen statt, welche die Ladungen zu mindern streben. Von Ausnahmsfällen abgesehen ist bei der angegegebenen Verteilung der Ladungen ein elektrischer Strom vorhanden, der von oben nach unten geht. Man nennt ihn den *vertikalen Leitungsstrom.* Infolge dieses Stromes würden die Ladungen schon in Bruchteilen einer Stunde auf die Hälfte sinken müssen, wenn nicht Ursachen im Spiel wären, die sie zu vergrössern streben. Welches sind diese Ursachen?

In aller erster Linie kommen offenbar die *Niederschläge* in Betracht! Regen, Schnee und Hagel zeigen sich fast immer elektrisch geladen und zwar oft sehr stark. So hat man vielfach die Meinung ausgesprochen, dass die Niederschläge die eigentliche Ursache der Ladungen seien, und ich möchte mich dieser Meinung anschliessen. Es lässt sich freilich nicht verkennen, dass die vollständige Erklärung heute noch auf sehr bemerkenswerte Schwierigkeiten stösst. Die luftelektrische Forschung mag daraus für sich einen kräftigen Anstoss zu weiteren Anstreng-

ungen entnehmen. Die Schwierigkeiten liegen in folgendem. Die herabkommenden Niederschläge sind bald positiv, bald negativ geladen. Zur Aufrechterhaltung der tatsächlichen Ladungen von Erdoberfläche und Luft müsste nun angenommen werden, dass negative Elektrizität im Ueberschuss herab geführt wird. Sehr sorgfältige Abschätzungen aber, über die wir gerade bei der diesjährigen Tagung der luftelektrischen Kommission der deutschen Akademien hörten[1], ergaben, dass umgekehrt die positive Eletktrizität bei den Niederschlägen im Ueberfluss zu sein scheint! Das bedeutet einen scharfen Widerspruch gegen unsere Annahme. — Hierbei scheint es mir aber wichtig, dass folgendes nicht ausser Acht gelassen wird. Die Niederschläge bringen so reichlich sowohl positive als auch negative Elektrizität herab, dass der Ueberschuss, um den es sich hier handelt, nur einen verhältnismässig kleinen Bruchteil der ganzen Mengen ausmacht, etwa nur 20 %. Unter diesen Umständen hat bei den sehr grossen Unregelmässigkeiten, welche die Niederschlagselektrizität zeigt, die Abschätzung des Ueberschusses viel Missliches. Das bisher gefundene Resultat, welches unseren theoretischen Ueberlegungen so unerwartete Schwierigkeiten bereitet, könnte vielleicht dort nur einem Zufall zuzuschreiben sein. Aber auch noch eine andere Möglichkeit der Erklärung bietet sich dar. Vielleicht sind die Ueberschüsse herabgeführter negativer Elektrizität in der Tat gar nicht an den wenigen Stellen zu finden, wo bisher die schwierigen Messungen der Niederschlags-Elektrizität ausgeführt wurden. Vielleicht sind sie in den Tropen, oder an den Polen, oder auf dem Meere oder an Bergeshängen zu suchen! Träfe etwas derartiges zu, so wären freilich bedeutsame weitere Schlüsse anzuknüpfen: Es müsste von jenen Gebieten, welche dem Erdkörper die negative Ladung zuführen, zugleich auch in den Höhen der Atmosphäre ein positiver Strom von Elektrizität nach allen Seiten sich ausbreiten. — Will man diese Hypotese verfolgen, so ist man weiter genötigt, eine äusserst hohe Leitfähigkeit der höchsten Schichten der Atmosphäre anzu-

[1] Durch einen Vortrag von *H. Benndorf*, der im Druck erscheinen wird.

nehmen, denn der Weg ist weit und die Dicke der Atmosphäre verhältnismässig klein. Es ist bemerkenswert, dass die Versuche, die erdmagnetischen Variationen zu erklären, eben zu dieser Vorstellung besonders hoher Leitfähigkeit der höchsten Schichten der Atmosphäre geführt haben. Eigentümlichkeiten der Uebertragung radiotelegraphischer Wellen deuten ebenfalls darauf hin. Und auch die luftelektrischen Messungen selbst bieten einige Fingerzeige, welche der Hypothese günstig scheinen. Wir werden hier zur Besprechung einer sehr bemerkenswerten Eigenart geführt, welche die Beobachtungen über den vertikalen Leitungsstrom enthüllt haben. Es hat sich gezeigt, dass dieser Leitungsstrom in der Atmosphäre vom Boden bis zu den höchsten Höhen, welche der Beobachtung zugänglich waren, nur wenig an Stärke variiert, während Potentialgefälle und Leitfähigkeit sehr stark variieren. Es hat sich ferner gezeigt, dass der vertikale Leitungsstrom an der Erdoberfläche zeitlich sehr viel weniger sich ändert, wie jene anderen Elemente. — Alles dies, wie auch manche andere Einzelheiten der luftelektrischen Vorgänge erhalten eine überraschend einfache Erklärung, wenn man annimmt, dass der gut leitenden Erdoberfläche in den grossen Höhen der Atmosphäre ebenfalls eine gut leitende Schicht entspricht, die mit der Erde eine nahezu konstante Potentialdifferenz besitzt. Diese Potentialdifferenz würde dann den vertikalen Leitungsstrom verursachen, der die Erdoberfläche und die höher leitende Schicht verbindet. Es würde sich so z. B. ohne weiteres erklären, dass der Strom mit der Höhe nur wenig variiert. Bei der Verschiedenheit der Leitfähigkeit der Atmosphäre in verschiedenen Höhen würde sich aber auch die Raumladung der Atmosphäre und die Variation dieser Ladung mit der Höhe erklären, ebenso auch die Variation des Potentialgefälles mit der Höhe. Ich will das Bild hier nicht weiter ausmalen, weil ich es vermeiden muss, zu sehr auf Einzelheiten einzugehen.

Nur kurz mag noch erwähnt werden, dass der Einfluss des Nebels, der Wolkenschichten, des Staubes auf das Potentialgefälle ebenfalls leicht verständlich wird. Dass die Hypothese der höheren leitenden Schicht wenigstens bis zu einem ge-

wissen Grade für die luftelektrischen Phänomene Bedeutung hat, glaube ich mit einiger Sicherheit behaupten zu können, fraglich scheint mir nur, auf wie weite Entfernung der Ausgleich in der Höhe vermittelt wird, ob es sich um 100 oder 1000 km handelt oder ob gar die ganze Erde umfasst wird. — Die Potentialdifferenz zwischen dem Erdboden und der Zirrenhöhe (ca. 10 km) beträgt rund $^1/_4$ Millionen Volt.

Es bleibt mir nur noch übrig die Frage zu behandeln, wie dann die Ladung der *Niederschläge* zu erklären ist. Hier sind uns die wesentlichen Gesichtspunkte durch experimentelle Untersuchungen wohl bekannt. Wir wissen, dass die Kondensation bei Bildung der Niederschläge zunächst an den Staubteilchen erfolgt; diese werden zu den ersten «*Kondensationskernen*», wie man zu sagen pflegt. Erst wenn die Staubteilchen von den Tropfen fortgeführt worden sind, kommen die leicht beweglichen Jonen an die Reihe und zwar zunächst die negativen Jonen; nach diesen dann, also zuletzt, die positiven Jonen. So sehen wir, wie kräftige Scheidungen der Elektrizitäten und daher Elektrisierungen der Niederschläge und der zurückbleibenden Luft eintreten können. Man hat auch einige Anzeichen dafür, dass vielleicht noch andere scheidende Kräfte mitwirken.

Blicken wir zurück, so sehen wir, in wie ausserordentlich komplizierter Weise die luftelektrischen Erscheinungen sich abspielen: Radioaktive Bestandteile der Erde diffundieren in die Atmosphäre und zwar in wechselnder Weise, je nach der Beschaffenheit des Untergrundes, nach der Feuchtigkeit im Erdboden, nach der Mitwirkung des Windes, der Barometerschwankungen. Die radioaktiven Teile werden durch Luftströmungen in die Höhe gewirbelt und verursachen durch ihre Strahlungen beim Zerfall Jonisierung der Luft. Dabei wirkt vielleicht die Sonnenstrahlung und eine γ-Strahlung vom Erdboden, vielleicht auch vom Weltenraum mit. Ein Teil der gebildeten Jonen bleibt leicht beweglich, ein anderer wird von Staubteilchen eingefangen, diese elektrisierend. Bei der Wolkenbildung wird durch Tröpfchen die Aussonderung von Jonen bewirkt. Die Niederschläge führen sie fort, so wird der Erd-

boden und durch die zurückbleibenden Jonen auch die Höhe der Atmosphäre elektrisiert. —

Wir erkennen klar, dass der luftelektrischen Forschung noch manche mühevolle Arbeit bevorsteht, ehe sie im Stande sein wird, eine einigermassen vollständige Rechenschaft über ihr Erscheinungsgebiet abzulegen. Ich hoffe aber, dass meine Uebersicht ihnen auch die Berechtigung jener Worte gezeigt haben wird, mit welchen ich im Anfang des Vortrages frohen Mutes auf die jetzt schon gewonnenen schönen Erfolge hinwies. Wer sich dem Studium der luftelektrischen Erscheinungen liebevoll zuwendet, fühlt sich umfangen von jenem herrlichen Gefühl, welches stets der Lohn des Naturforschers ist, wenn er sich von den geistigen Kräften, die dem Menschen vergönnt sind, hinaustragen lässt aus dem Leben des Alltags in die Unendlichkeit der Natur.

Leere Seite
Blank page
Page vide