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).

Über die radioaktive Emanation in der atmosphärischen Luft.

Von J. Elster und H. Geitel.

I.

Über den Ursprung der in der Bodenluft enthaltenen radioaktiven Emanation.

Eines der Ziele, auf die wir unsere Bemühungen seit der letzten Zusammenkunft in Göttingen richteten, war die Aufklärung des abnormen Gehalts der Luft an radioaktiver Emanation in Kellern und Höhlen, mit der aufs engste ihre hohe Ionisierung verbunden ist. Man konnte dabei entweder an eine noch unbekannte Fähigkeit stagnierender Luft denken solche Emanation von selbst zu bilden und in sich aufzuspeichern oder an ein Hereindiffundieren der letzteren aus den einschliessenden Wänden und dem Erdboden. Manche Erfahrungen schienen für die erste Annahme einer Selbstaktivierung zu sprechen, nämlich die tatsächlich vorhandene spontane Steigerung der Leitfähigkeit hermetisch abgeschlossener Luftmengen und die fehlgeschlagenen Bemühungen eine Spur von primärer Radioaktivität in dem Materiale der Wände der Keller und Höhlen zu entdecken.

Versuche an einem grösseren Luftquantum, das mehrere Wochen lang (innerhalb eines Dampfkessels) eingeschlossen gehalten war, zeigten indessen, dass eine irgend bemerkenswerte Ansammlung radioaktiver Emanation während dieser Zeit nicht eingetreten war.

So blieb nur noch die Annahme, dass die Wände der unterirdischen Räume oder die aus dem umgebenden Erdreiche durch ihre Poren hindurch diffundierende Luft die Träger der Emanation wären. In der Tat stellte sich in der Folge heraus, dass die durch einfaches Ansaugen aus dem Erdboden entnommene Luft an unserm Wohnorte mit aktiver Emanation behaftet war und in ihrer Wirksamkeit sogar die der Keller und Höhlen übertraf.¹⁾ Durch die Untersuchungen der Herren Ebert und Ewers ist diese Eigenschaft auch für die Münchener Bodenluft nachgewiesen.²⁾

Inwiefern die Erdschubstanz am Orte der Beobachtung auf die Aktivität der in ihr enthaltenen Luft von Einfluss ist, blieb dabei zunächst noch unaufgeklärt.

Man konnte auch hierbei von zwei verschiedenen Annahmen ausgehen. Entweder war jene Aktivität eine unabhängig von der Natur des Erdreiches allgemein verbreitete Eigenschaft der Bodenluft oder sie war die Folge eines gewissen Gehalts an primär aktiven Substanzen in dem Materiale des Erdbodens selbst. Während im ersten Falle Luftproben beliebiger Herkunft, wenn sie nur sicher aus „Bodenluft“ bestanden, die Aktivität in gleicher Weise zeigen mussten, war im zweiten eine Ungleichheit der Wirkung zu erwarten, da schwerlich angenommen werden durfte, dass die erregende aktive Substanz an allen Orten in gleicher Wirksamkeit im Erdboden vorhanden wäre.

Einige ältere Erfahrungen wiesen auf die letztere Alternative hin.

Die Leitfähigkeit der Luft in Kellern und Höhlen mittelst des Zerstreuungsapparates gemessen zeigte nämlich an verschiedenen Orten ganz beträchtliche Unterschiede, die nur durch einen Einfluss der einschliessenden Wände zu erklären waren. So fanden wir sehr bedeutende Ionisierung der Luft in den Kellern unseres Wohnortes (etwa das sechsfache der normalen), in der Baumanns- und Iberghöhle im Harz (das neun- und

¹⁾ Diese Ergebnisse haben wir bereits veröffentlicht in *Physikal. Zeitschrift*. 3. S. 574. 1902.

²⁾ H. Ebert und P. Ewers, *Physikal. Zeitschrift*. 4. S. 162. 1902.

dreifache),¹⁾ eine beträchtlich kleinere dagegen in Kellern in Clausthal im Harz und in Zinnowitz an der Ostsee (das 1.3 bis zweifache). In einem grossen Raume eines Kalisalzbergwerks bei Vienenburg am Harz war die Ionisierung der Luft sogar kleiner als in der freien Atmosphäre; allerdings waren die Bedingungen hier ungünstig, da die Luft deutliche Spuren vom Rauche der Sprengmaterialien enthielt.

Besonders instruktiv war dagegen ein Versuch in Clausthal i. H. Ein isolierter Kupferdraht wurde etwa eine Stunde lang in freier Luft mittelst einer Influenzmaschine negativ geladen gehalten, ein anderer in einem Kellerraume; die erregte Aktivität war bei dem ersten etwa 11 mal so gross als bei dem letzteren. Hier enthielt also die freie Luft sogar mehr von aktiver Emanation als die des Kellers, ein Verhalten, das den bisherigen Erfahrungen durchaus widersprach.²⁾

Hiernach war es im höchsten Grade wahrscheinlich, dass auch die Bodenluft verschiedener Herkunft ungleiche Aktivität zeigen würde. Um hierüber ein sicherer begründetes Urteil zu gewinnen, war eine Methode zu finden Bodenluft von verschiedenen Orten zu entnehmen und diese Proben nach ihrer Wirksamkeit zu vergleichen. Da es im allgemeinen nicht ausführbar ist die Prüfung auf Radioaktivität unmittelbar an Ort und Stelle vorzunehmen, müssen die Proben in leicht transportierbaren Gefässen sicher eingeschlossen werden. Die zu der Überführung an den Untersuchungsort erforderliche Zeit ist, sofern es sich um einige Stunden handelt, ohne merklichen Einfluss auf das Ergebnis; auch 2—3 Tage Zwischenzeit wurden, da es sich nur um gröbere Feststellungen handelte, bei weiteren Entfernungen noch zugelassen. Liegt ein längerer Zeitraum zwischen Einfüllung der Luftprobe in das Transportgefäss und ihrer Prüfung, so findet man die Aktivität stets zu klein, nach etwa

¹⁾ Herr Dr. Cuomo in Capri teilte uns freundlichst mit, dass er in einer dortigen Stalaktitenhöhle gleichfalls abnorm hohe Zerstreungen beobachtet habe. (Etwa das 3 fache der normalen.)

²⁾ Herrn Prof. Gerland in Clausthal, der diesen Versuch ermöglichte, sagen wir auch an dieser Stelle unsern verbindlichen Dank.

4 Wochen war sie bei einer aus Wolfenbüttel stammenden Probe erloschen. Zur Aufnahme der Bodenluft diente ein eiförmiges Glasgefäß von 3 Liter Inhalt, das an beiden Enden durch gut-schliessende Hähne abgesperrt werden konnte; vor dem Gebrauch wurde es mit Wasser gefüllt und bei beiderseits geschlossenen Hähnen vertikal gehalten. Die obere Öffnung stand durch einen Gummischlauch mit einem Messingrohr von etwa 1 m Länge in Verbindung, das bis auf ein wenige cm hervorragendes Stück in den Erdboden hineingetrieben war. Beim vorsichtigen Öffnen der Hähne floss durch den unteren das Wasser aus, während durch den oberen Bodenluft eindrang. War das Gefäß völlig mit dieser gefüllt, so schlossen wir beide Hähne luftdicht ab.

Zur Vornahme der Untersuchung liessen wir die Luft durch Wasser in eine Glasglocke von etwa 30 Liter Inhalt hinüber-treiben: unter der Glocke stand von einem Drahtnetze umgeben der Zerstreuungsapparat ohne Schutzdach.¹⁾ Die in einer bestimmten Zeit entweichende Elektrizitätsmenge diente als Mass für die Ionisierung der eingeführten Luft. Vor jedem Versuche war die Glocke mit Zimmerluft gefüllt und es wurde zuerst der Elektrizitätsverlust vor dem Einlassen der Bodenluft bestimmt, ebenso zum Schluss einer jeden Reihe auch der Verlust im Gehäuse des Elektroskops. Der letztere war stets so klein, dass er bei der wenig genauen Art des gesamten Verfahrens durch-aus vernachlässigt werden durfte.

Bei den angewandten Potentialen von 100 bis 200 Volt kann man den Sättigungsstrom unter der Glocke als erreicht ansehen. Die Potentialabnahme in gewöhnlicher Luft in 15', die 14 Volt im Mittel betrug, ist im folgenden als Einheit für die Ionisierung der Luft unter der Glocke nach Einführung der zu untersuchenden Probe zu grunde gelegt. Diese Ionisierung kann zugleich als ein Mass für den Gehalt an radioaktiver Emanation betrachtet werden.

Wir haben nach der angegebenen Methode Luftproben von verschiedenen Orten untersucht. Stark aktiv, wenn auch unter

¹⁾ Vgl. Physikal. Zeitschrift l. c.

sich durchaus nicht gleich erwiesen sich solche, die aus dem ton- und kalkhaltigen Erdreiche der Gärten von Wolfenbüttel stammten (Aktivität in dem angegebenen Masse zwischen 16 und 4), wesentlich geringer eine aus einer Kiesgrube im nahegelegenen Walde entnommene (Akt. = 3). Der Wolfenbüttler Bodenluft kam gleich eine Probe aus Göttingen (Akt. = 12), merklich zurück stand eine solche aus Blankenburg a. H., aus Tonschieferboden (Akt. = 2,3), noch geringer war die Wirksamkeit bei solchen aus Würzburg¹⁾ aus Muschelkalk (Akt. = 1,6) und Wilhelmshöhe bei Kassel, aus Basalt (Akt. = 1,01). Diese Erfahrungen genügten schon zu der Erkenntnis, dass die Natur des Erdbodens, aus dem die Luft aspiriert war, von wesentlichem Einflusse auf ihre Aktivität sein müsse, und legten es nahe, nach einer primären Radioaktivität seiner Bestandteile zu suchen.

Allerdings waren, wie schon bemerkt, unsere früheren Versuche sowie auch die der Herren Ebert und Ruf²⁾ eine primäre Becquerelstrahlung an dem Materiale der Wände von Kellern und Höhlen nachzuweisen, resultatlos geblieben, doch sind hierbei nur die Baumaterialien und festen Gesteine, nicht das lockere Erdreich selbst untersucht worden. Wir füllten nun eine Zinkschale von 29 cm Durchmesser und 2,5 cm Höhe mit Erde, die einige Centimeter unter der Oberfläche aus dem Garten unserer Wohnung ausgegraben war und brachten sie so unter die beschriebene Glasglocke, dass das Elektroskop mit dem umhüllenden Drahtnetzylinder auf dieser Erde ruhte.

Es zeigte sich sofort eine unzweifelhafte Zunahme der Ionisierung der Luft unter der Glocke; wie bei der Anwesenheit einer schwach radioaktiven Substanz erwartet werden musste, stieg sie schon im Laufe von 2—3 Tagen bis zu einem Maximalwerte von etwa dem dreifachen der normalen an. Dabei war es gleichgiltig, ob die Erde in dem feuchten Zustande, wie sie

¹⁾ Herrn Dr. Harms in Würzburg sind wir für die Übersendung der Luftproben von dort und von Göttingen zu Dank verpflichtet.

²⁾ Diese Sitzungsprotokolle, Mai 1902. Auch Physikal. Zeitschrift. 4. S. 93. 1902.

entnommen war oder nach längerem Austrocknen unter die Glocke gebracht wurde; jetzt, nach Verlauf von 8 Monaten lässt sich noch keine Verminderung der Aktivität an der zu den ersten Versuchen verwandten Substanz nachweisen. Wie die Erde aus unserem Garten wirkte auch solche vom Felde und von ausserhalb der Stadt gelegenen Gärten, ebenso kräftig ein graublauer Ton aus einer in der Nähe befindlichen Grube, weisser Quarzsand (kalkhaltig) war dagegen unwirksam.

Es lag nahe den Versuch zu machen, durch chemische Behandlung die inaktiven Stoffe des Erdreiches auszuschleiden und dadurch die Wirksamkeit auf kleinere Massen zu konzentrieren. Am geeignetsten dazu erschien der Ton, der nach dem Abschlämmen gröberer Einschlüsse eine homogene Masse darstellte. Durch Ausziehen mit verdünnter Salzsäure liess sich der Gehalt an Calciumkarbonat völlig entfernen, der Rückstand zeigte unmittelbar nach dem Trocknen eine geringere Aktivität wie vor der Behandlung, doch wuchs diese in einigen Tagen (während die Substanz ausserhalb der Glocke aufbewahrt wurde) etwa wieder zu dem alten Betrage an. Erneutes Digerieren mit Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure hatte wieder zuerst eine Abnahme der Wirksamkeit zur Folge, die sich aber in gleicher Weise im Laufe der Zeit erneuerte. Leider war es uns nicht möglich, wegen der grossen Menge der zu bearbeitenden Substanz die mit dem Ton in Berührung gewesene Flüssigkeit schnell genug zur Trockne einzudampfen, um den Rückstand noch auf Radioaktivität untersuchen zu können, doch scheint es uns nach dem geschilderten Verhalten nicht zweifelhaft, dass den von uns untersuchten Ton ein aktiver Körper begleitet, der ähnlich wie nach Rutherfords und Soddys Untersuchungen¹⁾ das Thoriumoxyd, eine in Säure lösliche, stärker wirksame Substanz (vergleichbar dem Th. X. Rutherfords) bildet, die nach dem Ausziehen durch Säuren sich allmählich wieder regeneriert. Dieselbe Erscheinung wie beim Ton fanden wir auch an dem sogenannten Höhlenlehm (Löss) aus der Baumannshöhle im Harze.

¹⁾ E. Rutherford and F. Soddy, *Phil. Mag.* 1902. S. 370.

Um mit besser definierten Stoffen zu tun zu haben, untersuchten wir auch geschlämmte Kreide, gemahlene Schwerspat, reinen käuflichen Töpferton, Seesalz und Karlsbadersalz auf etwaige Becquerelstrahlung. Die Ergebnisse waren im allgemeinen negativ, nur der Ton schien nicht ganz unverdächtig; stand aber jedenfalls weit hinter der Gartenerde sowie dem bei Wolfenbüttel vorkommenden Tone und dem Höhlenlehm zurück. Am Schwerspat glaubten wir wegen der chemischen Ähnlichkeit des Radiums mit dem Barium einige Wirksamkeit voraussetzen zu dürfen, da vielleicht Spuren des ersteren Elements das letztere begleiten konnten, bei der Untersuchung des Karlsbadersalzes leitete uns der Gedanke, dass es aus sehr grosser Erdtiefe stammt, während das Seesalz als eine Probe aus dem allgemeinen Sammelbecken löslicher Substanzen vielleicht auch radioaktive Bestandteile enthalten mochte.

Asche von Pflanzen, die auf wirksamer Erde gewachsen waren, ergab ebenfalls keine nachweisbare Becquerelstrahlung.

Das Resultat dieser Untersuchungen ist daher der Nachweis einer gewissen Radioaktivität des Erdreiches selber, diese bleibt bei Behandlung mit verdünnten Säuren an den tonigen Bestandteilen des Bodens haften. Eine weitergehende Trennung oder gar Isolierung des aktiven Prinzips ist uns nicht gelungen.

In willkommener Weise wird dieser Nachweis durch eine kürzlich von Herrn Rutherford¹⁾ mitgeteilte Beobachtung von Herrn Cooke bestätigt, nach welcher eine merkliche sehr durchdringende Strahlung von Ziegelsteinen ausgehen soll.

Bevor man den bei der Menge der zu verarbeitenden Substanz jedenfalls sehr schwer ausführbaren Versuch machte, den in dem natürlich vorkommenden Tone wohl nur in verschwindend kleinen Mengen verteilten aktiven Stoff zu konzentrieren, wäre erst die Frage zu erwägen, ob diese Aktivität überhaupt eine primäre ist und nicht vielmehr nur eine im Tone durch Kontakt mit der Bodenluft induzierte, wobei dann der Ursprung der Wirksamkeit bei der letzten zunächst wieder unaufgeklärt

¹⁾ E. Rutherford, Nature 67. S. 511. 1903.

bleiben würde. Das Verhalten des Tones gegen Säuren, das mit dem der primär aktiven Stoffe übereinstimmt, sowie die Beständigkeit seiner Aktivität steht zwar der letzten Annahme entgegen, doch hielten wir es nicht für überflüssig, im allgemeinen zu untersuchen, ob neutrale Körper durch Vergraben in die Erde, d. h. durch andauernden Kontakt mit der Bodenluft, eine merkliche induzierte Aktivität annehmen könnten.

Wir verwandten dazu gemahlene Schwerspat, Schlemmkreide, reinen — nahezu inaktiven — Töpferton und Baumwolle. Jede dieser Substanzen wurde in Leinwand eingeschlagen und mit einer Hülle von Eisendrahtnetz umwickelt etwa 50 cm unter die Erdoberfläche gebracht und dort mindestens 4 Wochen belassen. Das Drahtnetz diente dazu, die Leinwandhülle, die in der Erde ihre Festigkeit verlor, so zusammen zu halten, dass eine Verunreinigung der Stoffe durch Erde ausgeschlossen war. Nach dem Ausgraben liess sich an dem Baryt, der Kreide und der Baumwolle keine merkliche Aktivität wahrnehmen, dagegen war sie bei dem Tone unverkennbar. Durch ihr Abnehmen im Laufe der Zeit, das übrigens bei verschiedenen Proben ungleich verlief, verriet sie sich in der Tat als eine induzierte.

Es ist ein merkwürdiges, die weitere Untersuchung erschwerendes Zusammentreffen, dass der Ton, der den die Bodenluft aktivierenden primär strahlenden Körper enthält, wiederum selbst durch diese Bodenluft zu sekundärer Strahlung erregt wird.

Ganz kurz berichten wir noch über einige weitere Versuche, die die obigen Ergebnisse teils ergänzen teils nur bestätigen.

Brachten wir einige Kilo Erdreich in einen geschlossenen Raum von etwa 40 Liter Inhalt, so liess sich nach Verlauf von wenig Stunden an einem eingeführten, auf — 2000 Volt geladenen Metalldrahte die induzierte Aktivität mittelst des Zerstreungsapparates leicht nachweisen. Saugten wir Luft durch ein grösseres Quantum Erde, das sich in einem Blechgefässe befand und liessen sie unmittelbar nach dem Verlassen der Erde unter die Glasglocke treten, die den Zerstreungsapparat unter dem schützenden Drahtnetze überdeckte, so hatte sie stets ein

abnorm hohes Leitvermögen, das aber nach wenigen Minuten, sobald der Luftstrom ruhte, verschwand. Es lag nahe anzunehmen, dass die Luft beim Passieren der Erde durch deren Becquerelstrahlung in ähnlicher Weise ionisiert wurde, wie etwa beim Vorüberströmen an einer tätigen Röntgenröhre. Dass wir es indessen nicht mit einer einfachen Ionisierung dieser Art, sondern vielmehr mit einer Aufnahme von aktiver Emanation aus der Erde zu tun hatten, zeigte sich, als wir die Luft vor deren Eintritt in die Glocke durch ein Metallrohr von 1,5 cm Durchmesser und 10 cm Länge leiteten, in dessen Axe ein isolierter Draht gespannt war; das Rohr und der Draht standen mit den Polen einer Hochspannungssäule von etwa 1600 Volt in Verbindung. Die Luft floss daher innerhalb eines kräftigen elektrischen Feldes, durch das etwaige freie Ionen entweder ganz beseitigt, oder doch der Zahl nach stark vermindert werden mussten. Es ergab sich indessen keine Änderung des Elektrizitätsverlustes unter der Glocke, mochte das elektrische Feld angelegt sein oder nicht. Es ist daher die Erscheinung so zu deuten, dass die Luft beim Strömen durch die Erde eine geringe, schnell unwirksam werdende Menge aktiver Emanation aufnimmt. Liess man die Luft durch inaktives Material, wie Schwerspat oder Kreide fließen, so blieb jede Wirkung aus.

Einer Anregung des Herrn Bodländer in Braunschweig folgend untersuchten wir auch die natürliche Kohlensäure, die auf altem vulkanischen Boden aus grossen Tiefen emporquillt, auf ihren Gehalt an aktiver Emanation. Wir liessen uns eine Stahlflasche voll solcher natürlicher Kohlensäure in flüssigem Zustande von dem Kohlensäurewerk von Schoor und Wolter in Burgbrohl am Rhein unmittelbar nach der Füllung zusenden. Obgleich der Transport fünf Tage in Anspruch genommen hatte, erwies sich das aus der Flasche unter die mehrfach erwähnte Glasglocke geleitete Gas als deutlich ionisiert. Dass wir es nicht etwa mit einer Elektrizitätserregung beim Aufschäumen des Inhalts der Flasche oder durch Tröpfchenreibung an der Ausströmungsöffnung zu tun hatten, sondern mit einer wahren Radioaktivität, ging abgesehen von dem Fehlen

unipolarer Leitung einerseits aus der Dauer der Leitfähigkeit des Gases (die einige Tage anhielt) hervor, andererseits aus der Möglichkeit einen in dasselbe geführten negativ geladenen Metalldraht sekundär zu aktivieren. Nach Verlauf von 16 Tagen war das aus der fast noch völlig gefüllten Flasche entnommene Gas inaktiv und verhielt sich nun wie künstliche Kohlensäure, die wir aus Natriumbikarbonat und verdünnter Schwefelsäure entwickelten und wie die natürliche durch ein Baumwollefilter unter die Glocke leiteten.

Die aus dem Erdboden quellende Kohlensäure führt demnach geradeso wie die in den Erdkapillaren enthaltene Luft eine aktive Emanation mit sich. Es würde von Interesse sein, die aus Tiefquellen und Thermen aufsteigenden Gase unmittelbar nach ihrem Zutagetreten auf die gleiche Eigenschaft zu untersuchen.

Um jederzeit ein grösseres Volum von mit Bodenemanation beladener Luft zur Verfügung zu haben, liessen wir eine oben tubulierte Glocke aus starkem Eisenblech von etwa $1\frac{1}{4}$ cbm Inhalt mit ihrem unteren Rande 25 cm tief in die Erde des Gartens an unserer Wohnung eingraben. Bei verschlossenem Tubus stellt sich durch Diffusion bald die Gleichheit der Aktivität der unter der Glocke eingeschlossenen Luft mit der des Erdbodens heraus.

Die kräftige Aktivierung, die wir an Drähten beobachteten, die wir durch den Tubus isoliert und mit negativer Ladung einsenkten, veranlasste uns dazu, phosphoreszierende Körper in gleicher Weise zu behandeln, indem wir erwarteten, deutliche Lichterscheinungen an diesen wahrzunehmen.

Als wir in dieser Weise einen mit Sidotscher Blende überzogenen Kartonzylinder, der vorher tagelang im Dunkeln aufbewahrt war und keine Phosphoreszenz erkennen liess, in dunkler Nacht in jene Glocke brachten und ihn mehrere Stunden auf 2000—3000 Volt negativ luden, gab er nach dem Herausnehmen eine zwar schwache, aber im völlig dunkeln Raume deutlich erkennbare Phosphoreszenz.

Bei näherem Betrachten der Erscheinung bemerkten wir jenes eigentümliche flimmernde Aufleuchten, das inzwischen

schon von Herrn Crookes und uns selbst beschrieben ist,¹⁾ und dass durch das unausgesetzte Auftreten und Verschwinden unzähliger Lichtpunkte auf der Blende hervorgerufen wird.

Es drängte sich uns sofort der Gedanke auf, dass diese aufblitzenden Pünktchen die Stellen bezeichneten, an denen von der die Zinkblende überziehenden radioaktiven Schicht negative Elektronen abgeschleudert würden. Herr Crookes, der dieselbe Beobachtung machte, als er ein Radiumpräparat einem mit Sidotscher Blende überzogenem Schirme näherte, fasst sie dagegen als die Stellen auf, in denen die von dem Radium ausgehenden Elektronen die Oberfläche des Schirmes treffen. Wenngleich die eine wie die andere Auffassung noch stark hypothetisch ist, möchten wir doch die unsrige desshalb für die wahrscheinlichere halten, weil in unserm Versuche ein radioaktiver Körper ausser der phosphoreszierenden Oberfläche überhaupt nicht vorhanden war, eine Bewegung von Elektronen gegen die letztere also überhaupt nicht stattfand.

¹⁾ W. Crookes, *Nature* 67. Pag. 522. 1903. J. Elster und H. Geitel, *Physikal. Zeitschrift*. 4. S. 439. 1903.

H. Geitel.

II.

Über die Abhängigkeit der Radioaktivität der freien Atmosphäre von meteorologischen Elementen.

Vom 15. Dezember 1901 bis Ende Dezember 1902 haben wir an insgesamt 155 Tagen die Radioaktivität der Luft an unserem Wohnorte nach der von uns angegebenen und bereits genau beschriebenen¹⁾ Methode bestimmt. Dabei wurde der 10 m lange etwa 1 mm starke Metalldraht an Ebonitisolatoren mit Natriumtrocknung von einer Ecke des Hauses zu einer anderen im rechten Winkel dazu gelegenen etwa 2 m oberhalb des Erdbodens frei ausgespannt; eine kurze befeuchtete Schnur verknüpfte ihn mit der inneren Belegung einer Leydnerflasche; die Konstanz der Ladung des Drahtes wurde mittels eines an ihn angeschlossenen Hochspannungselektroskopes kontrolliert; die Expositionszeit betrug immer je zwei Stunden. Es war uns indessen nicht möglich, die die Leydnerflasche ladende Vorrichtung (Induktorium, Wasserinfluenzmaschine, Hochspannungstrockensäule) jedesmal andauernd zu überwachen, doch war dafür Sorge getragen, dass das Potential des gespannten Drahtes 2800 Volt nicht überstieg und nicht unter 2000 Volt herunter sank. Den von uns ermittelten Zahlen haftet aus diesem Grunde eine gewisse Unsicherheit an, zumal sich später herausstellte, dass die Abhängigkeit der auf dem Drahte hervorgerufenen induzierten Radioaktivität vom Potential während der Exposition grösser ist als wir anfänglich glaubten. Der von uns seiner Zeit (vgl. das Protokoll der vorjährigen Sitzung) ausgesprochene

1) Physikal. Zeitschrift 3. Nr. 14. S. 305. 1902.

Satz, dass für dünne Drähte die induzierte Radioaktivität praktisch von dem Potential des Drahtes während seiner Aktivierung in freier Luft unabhängig ist, sofern dies nur 2000 Volt überschreitet, kann wahrscheinlich, wie sich inzwischen herausgestellt hat, nicht ohne Einschränkung aufrechterhalten werden. Man wird vielmehr bei künftigen Messungen die Forderung stellen müssen, sowohl von Tage zu Tage den Draht auf genau das gleiche Potential zu laden, als auch während der Dauer einer Aktivierung mit ganz konstantem Potentiale zu arbeiten.

Nach Beendigung der Aktivierung wurde der Draht auf ein zylindrisches Metallnetz aufgewunden, das an die Wandung eng anschliessend in den für diesen Zweck bis auf eine zentrale Öffnung auch unten geschlossenen Schutzzyylinder unseres Zerstreuungselektrometers eingeführt wurde. Wir setzen wie früher die Aktivität der Luft gleich 1, wenn nach zweistündiger Exposition ein Meter des aktivierten Drahtes das Potential des Zerstreuungskörpers in 1 Stunde um 1 Volt erniedrigt. Vor jeder Messung bestimmten wir den Spannungsverlust, den der auf ein Potential von etwa 260 Volt geladene Zerstreuungskörper im Laufe einer Stunde im geschlossenen Schutzzyylinder durch die natürliche Ionisierung der Luft erfuhr und brachten diesen Betrag dann bei der definitiven Messung in Abrechnung. Um das Beobachtungsverfahren und die angewandte Art der Berechnung zu kennzeichnen lassen wir das Protokoll einer derartigen Bestimmung hier folgen:

Aktivierung am 27. Juni 1902. Bewölkung 1, hohe Transparenz der Luft, Elektrizitätszerstreuung 1,6 ‰. Barometer 763.6. Temp. 26.6° C., Windrichtung und Stärke NE₄. Draht von 1—3 p mit der Hochspannungstrockensäule exponiert, Potential des Drahtes 2500 Volt.

I. Kontrollmessung vor der Aktivierung des Drahtes:

Anfangspotential: 20.2 Sklth = 264 Volt

Potential nach 15': 19.9 Sklthl = 255 Volt

Spannungsverlust des Zerstreuungskörpers in
15 Minuten 9 Volt, also in 1 Stunde 36 Volt.

II. Messung mit aktiviertem Drahte:

Anfangspotential: 22.0 Sklthl = 264 Volt

Potential nach 10': 10.2 Sklth = 201 Volt

Spannungsverlust des Zerstreuungskörpers in
10 Minuten 63 Volt, also in 1 Stunde **378 Volt**.

Wirkung des 10 m langen Drahtes allein $378 - 36 = 342$ Volt, also Wirkung pro Meter Drahtlänge: $\frac{342}{10} = 34.2$, also $\mathbf{A = 34.2}$.

Die meteorologischen Daten entnehmen wir den Angaben der meteorologischen Station in Braunschweig, deren Vorstand Herr Klages uns dieselben bereitwilligst zur Verfügung stellte.

Wir halten die auf diese Weise gewonnenen „Aktivierungszahlen“ (A), die bei auffallend hohen oder niedrigen Beträgen oft im Laufe eines Tages mehrfach kontrolliert wurden, für genau genug, um einige Schlüsse orientierender Natur aus dem gesammelten Materiale abzuleiten in der Hoffnung dadurch zu einer Wiederholung unserer Versuche an andern Orten anzuregen.

Wir geben zunächst die Tabelle der Monatsmittel (A_m) unter Beifügung der beobachteten Maxima und Minima ($A_{\max}$ und $A_{\min}$) sowie der Anzahl (n) der Beobachtungstage.

Tabelle I.

Monate	XII 1901	I 1902	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Bemerkungen
A_m	28	14	13	20	16	24	32	—	15	16	9	22	22	Die Beobachtungen fielen aus im Monat Juli und ausserdem an Tagen mit ergiebigen atmosphärischen Niederschlägen.
$A_{\max}$	50	47	40	40	32	44	64	—	40	32	18	31	34	
$A_{\min}$	17	4	5	5	9	6	18	—	6	5	4	4	17	
n	16	20	19	11	13	10	11	—	18	13	11	8	5	

Man entnimmt dieser Tabelle unmittelbar, dass der Gehalt der freien Atmosphäre an radioaktiver Emanation ganz ausserordentlich grossen Schwankungen unterworfen ist. Stehen doch

die extremen Werte im Verhältnis von 16 : 1 (absolutes Max. = 64, absolutes Min. = 4). Als Jahresmittel ergibt sich 18.6.

Zur Entscheidung der Frage, ob die in der Luft vorhandene Anzahl freier Ionen und ihre Beweglichkeit von Einfluss auf die Grösse der Aktivierungszahl ist, haben wir an insgesamt 96 Tagen auch die prozentuale Elektrizitätszerstreuung a bestimmt, indem wir letztere als ein Mass für jene beiden Grössen benutzten. Wir teilten alsdann die gewonnenen Zerstreungskoeffizienten in neun Gruppen und ordneten dem Mittel jeder Gruppe der a die zugehörigen Mittel der A zu; so entstand Tabelle II.

Tabelle II.

Abhängigkeit der Radioaktivität der Luft von der Elektrizitätszerstreuung.

Gruppe Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Anzahl der Beob.	12	14	19	9	11	10	9	9	3
a	0,80 %	1,1 %	1,4 %	1,6 %	1,7 %	1,9 %	2,1 %	2,4 %	3,3 %
A_m	17.1	14.5	16.1	18.1	14.0	17.4	17.7	28.7	29.7
A_{max}	40	43	41	32	22	40	64	47	40
A_{min}	5	6	5	7	8	5	6	11	21

Wie man sieht schwanken überraschender Weise die Mittelwerte der A für eine prozentuale Zerstreuung von 0,8 bis 2 nur um wenige Einheiten, während die Maxima und Minima unregelmässig durch die Gruppen I bis VII verteilt erscheinen. Eine deutliche Steigerung der Werte A_m und A_{min} tritt gegenüber den voraufgehenden Werten erst in den beiden letzten — leider nur wenige Beobachtungen enthaltenden — Gruppen zutage.

Gegen eine unmittelbare Beziehung der Radioaktivität der Luft zum Zerstreungskoeffizienten spricht auch der Umstand, dass bei Nebel meist Aktivierungen erhalten werden, welche das Jahresmittel übertreffen oder ihm nahe gleichen, während bekanntlich die Elektrizitätszerstreuung bei getrübler Luft nur

gering ist. In Tabelle III sind einige Beobachtungen betreffend die Aktivierung durch neblige Luft zusammengestellt.

Tabelle III.

Radioaktivität der Luft bei Nebel.

Datum	A	Bemerkungen
20. XII. 01	25	Nässender Nebel
23. XII. 01	27	Nässender Nebel
13. II. 02	41	Leichter Bodennebel
1. III. 02	22	Feuchter Nebel
15. XI. 02	31	Starker Dunst
15. XII. 02	16	Nebel, Rauhreif
22. I. 03	45	Dichter Bodennebel

An fünf in die Tabelle nicht aufgenommenen Nebeltagen lagen die Aktivierungszahlen zwischen 4 und 12; inaktiv erwies sich also die durch Nebel getrübe Luft nie. Jedenfalls ergibt sich aus diesen Beobachtungen, dass die Verhältnisse im freien Luftraume viel komplizierter liegen als in geschlossenen und unterirdischen Räumen, in denen die Leitfähigkeit der Luft mit dem Gehalt an radioaktiver Emanation aufs engste zusammenhängt.

Auch die Temperatur der Luft scheint nicht ohne bestimmenden Einfluss auf ihre Radioaktivität zu sein. Ordnet man die A nach Temperaturen über 0° und unter 0° , so liefern die 136 Beobachtungen bei Temperaturen über 0° das Gesamtittel 18 und die 19 Beobachtungen bei Temperaturen unter 0° das Mittel $A = 26$. Auch Rutherford ist bei der Wiederholung unserer Versuche in Canada aufgefallen, dass an kalten Frosttagen die Aktivität der Luft besonders hoch ist.

Bezüglich der Windrichtung ergibt sich das Resultat, dass bei den aus dem Kontinente wehenden Winden die Werte der A durchschnittlich höher sind als bei solchen, die vom Meere her wehen. Vgl. Tabelle IV.

Tabelle IV.

Abhängigkeit der Radioaktivität der Luft von der Windrichtung.

Wind rein aus	A_m	A_{max}	A_{min}	n
S	22	50	6	14
N	15	23	4	4
E	22	64	6	18
W	12	32	5	23

Die auffällig hohen oft ganz unvermittelt auftretenden Maxima der A wurden meist bei reinem Süd oder Ost beobachtet oder doch bei solchen Winden, die eine südliche oder östliche Komponente hatten.

Ob obiger Satz bezüglich der Windrichtung allgemein gültig ist, müssen weitere Versuche lehren und zwar unter Verwendung eines Drahtes, den man an einem Orte exponiert, wo er sämtlichen Windrichtungen gleichmässig zugänglich ist; uns war dies nicht möglich. Das Haus schützte ihn vor direkten nördlichen und östlichen Luftströmungen.

Aus diesem Grunde ist auch der Einfluss der Windstärke nach dem von uns gesammelten Materiale nur schwierig zu beurteilen. Dazu kommt noch, dass von den 155 Beobachtungen allein 111 auf die Windstärken 4, 5 und 6 entfallen. Für die Windstärken 1 und 2 liegen nur 14 Beobachtungen vor, für welche der Mittelwert $A = 23$ ist, während für die 9 Beobachtungen bei den Windstärken 7 und 8 sich $A_m = 13.5$ ergibt. Diese Zahlen scheinen dafür zu sprechen, dass die Aktivierung um so höher gefunden wird, je stagnierender die Luft über dem Erdboden ist. Hierauf deuten auch die grossen bei getrübler Luft gefundenen Werte der A hin, da für unseren Wohnort Nebel fast stets mit vollständiger Windstille verknüpft sind. Doch ist es auch sehr wohl möglich, dass ein Optimum der Luftbewegung existiert.

Ganz unzweideutig tritt eine Abhängigkeit der Radioaktivität der Luft vom Barometerstande hervor; vgl. Tabelle V.

Tabelle V.

Abhängigkeit der Radioaktivität der Luft vom Barometerstande.

Mittlerer Barometerstand	740mm	750mm	760mm	770mm
A_m	23	19	17	13
Anzahl n	23	56	68	8

Dieser Einfluss des Barometerstandes wird verständlich unter Berücksichtigung der von uns aufgefundenen Tatsache, dass der Gehalt des unter der Erdoberfläche befindlichen Teiles der Atmosphäre an radioaktiver Emanation gegenüber dem oberhalb vorhandenen abnorm gross ist. Eine Verminderung des Luftdruckes wird daher zur Folge haben müssen, dass aus den Kapillaren der Erde Bodenluft in die Atmosphäre eindringt und die Aktivität vergrössert. Solange sich die Durchlässigkeit der Erdoberfläche nicht ändert, muss man erwarten, dass jede Abnahme des Luftdruckes von einem Anwachsen der Radioaktivität in der freien Atmosphäre begleitet werde. Doch wird dies nicht immer der Fall sein. Treten gleichzeitig Ereignisse ein, durch welche die Durchlässigkeit der Erdkapillaren beeinträchtigt wird, wie z. B. Änderungen im Stande des Grundwassers oder solche, durch welche der Luft die in ihr vorhandene radioaktive Emanation teilweise entzogen wird, wie z. B. reichlicher Fall von Niederschlägen,¹⁾ so wird man ein Ansteigen der Aktivität mit sinkendem Barometer nicht erwarten dürfen.

Zur Prüfung dieser aus der Radioaktivität der Bodenluft sich ungezwungen ergebenden Folgerungen haben wir vom 14. Februar bis zum 29. März dieses Jahres die Versuche wieder aufgenommen und täglich je eine Messung angestellt.

In Tabelle VI bezeichnet $-\delta B$ die Abnahme des Barometerstandes, $\pm \delta A$ die gleichzeitig beobachtete Zu- oder Ab-

¹⁾ Nach den Untersuchungen C. T. R. Wilsons und Mc Lennans sind Regen und Schnee induziert aktiv; die hier gemachte Voraussetzung ist also zutreffend. Vgl. J. C. Mc Lennan, University of Toronto Studies, Physical Science Series. 1903. No. 1. p. 12.

nahme der Aktivierungszahl. In dem angegebenen Zeitraume trat eine stetige Abnahme des Barometerstandes im Verlaufe zweier oder mehrerer aufeinanderfolgender Tage 14 mal auf. Wie man aus der Tabelle ersieht, findet sich, wenn man von einer am 22. Februar nach dem bekannten Staubfalle beobachteten Anomalie absieht, in 10 Fällen mit abnehmendem Luftdrucke eine Steigerung der Radioaktivität und nur in 4 Fällen verläuft die Schwankung im Werte der A im entgegengesetzten Sinne. Bei diesen Messungen wurde, um die Beobachtungszeit zu kürzen der zu aktivierende Draht nur 30 Minuten lang exponiert; infolge dessen sind für den angegebenen Zeitraum die Unterschiede zwischen $A_{\max}$ und $A_{\min}$ weit geringer als bei zweistündiger Exposition. Die Werte der A schwankten jetzt nur zwischen 4 und 24 gegen 4 und 64 bei den früheren Messungen.

Tabelle VI.

Übersicht über die Zunahme der Aktivierung mit fallendem Barometer.

Intervall		$-\delta B$	δA	Bemerkungen
von	bis			
18/II	23/II	- 13.5	+ 14.6	Am 22. kurz andauernde Schwankung im entgegengesetzten Sinne nach Staubfall und Regen
24/II	25/II	- 1.5	+ 4.8	
25/II	26/II	- 4.7	- 13.8	Schwankung im entgegengesetzten Sinne. Am 26. morgens 7 Uhr bereits Regen; der zweite Tag regnerisch
26/II	28/II	- 10.7	+ 12.7	
1/III	3/III	- 19.9	+ 3.0	
4/III	5/III	- 0.6	+ 3.9	
9/III	10/III	- 5.0	- 8.1	Schwankung im entgegengesetzten Sinne
10/III	11/III	- 0.4	+ 6.9	
14/III	15/III	- 3.7	+ 5.4	
15/III	16/III	- 3.9	- 6.7	Schwankung im entgegengesetzten Sinne
17/III	18/III	- 6.2	+ 6.8	
21/III	23/III	- 7.8	+ 10.1	
23/III	24/III	- 1.3	- 19.7	Schwankung im entgegengesetzten Sinne nach ergiebigem nächtlichen Regenfalle.
25/III	27/III	- 6.8	+ 13.5	

Im Laufe des Monats Juli 1902 haben wir Aktivierungsversuche ausserhalb Wolfenbüttels angestellt und zwar Geitel in der ersten Hälfte des genannten Monats in Clausthal im Harz und in der zweiten am Strande von Zinnowitz an der Ostsee, während Elster vom 6. bis 31. Juli derartige Bestimmungen auf der nordfriesischen Insel Juist durchführte.

Die Resultate Geitels haben, soweit sie sich auf Versuche mit Kellerluft erstreckten, bereits in der voranstehenden Mitteilung Berücksichtigung gefunden.

Zu den Versuchen in Juist diente das von uns zusammengestellte transportable Instrumentarium zur Bestimmung der Radioaktivität der Luft¹⁾ bestehend aus dem Zerstreungselektrometer, dem Hochspannungselektroskop, der Hochspannungstrockensäule von ca. 2500 Volt Klemmenspannung und zwei glockenförmigen Drathaltern mit Ebonitisolatoren und Natriumtrocknung. Dasselbe hat sich, wie wir hervorheben möchten, durchaus bewährt; es gelang selbst bei feuchter Witterung und mit Salzstaub erfüllter Luft das Drahtsystem kurze Zeit nach dem Anschluss an den negativen Pol der Säule so aufzuladen, dass das Hochspannungselektroskop 2200 Volt zeigte und dem Drahte kleine Fünkchen entzogen werden konnten.

Die Messungen wurden nicht am Strande selbst vorgenommen, sondern auf einem freien Platze im Dorfe. Die Drähte waren in etwa 3 m Höhe über dem Erdboden zwischen zwei eingerammten Bambusstangen isoliert befestigt. Von dem gespannten Drahte führte eine Zuleitung unter rechtem Winkel zum negativen Pol der Säule, die bei heiterem Wetter in der Sonne im Freien auf einem Tischchen stand; bei unsicherer Witterung dagegen im Innern eines Hauses ihren Platz hatte; in diesem Falle war der Draht durchs offene Fenster geführt.

Im ganzen wurde an 21 Tagen gemessen. Als Mittelwert ergab sich: $A_m = 5.2$; das Maximum $A_{\max} = 15.8$ wurde bei NNW-Sturm und böiger Wetterlage am 11. VII beob-

¹⁾ Physikal. Zeitschrift. 4. Nr. 4. S. 2. 1902.

achtet, das Minimum $A_{\min} = 1.6$ am 25. VII bei schwachem SW und bedecktem Himmel.

Vergleicht man hiermit die in Wolfenbüttel vom 20. Juni bis zum 1. Juli und dann wieder vom 1. August bis zum 1. September unter genau den gleichen Versuchsbedingungen (es wurde in den angegebenen Zeiträumen auch hier ausschliesslich die Hochspannungstrockensäule verwandt) ermittelten Werte:

Juni:	$A_m = 27$	$A_{\max} = 34$	$A_{\min} = 16$	$n = 5$
August:	$A_m = 15$	$A_{\max} = 40$	$A_{\min} = 6$	$n = 18$

so kommt man zu dem Schlusse, dass die Seeluft etwa nur ein drittel soviel radioaktive Emanation enthielt wie die in Wolfenbüttel. Dabei war die Elektrizitätszerstreuung sicher nicht geringer als bei uns. Im Mittel aus ebenfalls 21 (Doppel-) Beobachtungen ergab sich:

$$a_+ = 1.23 \quad a_- = 1.89,$$

also $a_m = 1.56$ gegen 1.43 in Wolfenbüttel im Juni und 1.35 im August,¹⁾ man wird also die mittlere prozentuale Zerstreuung im Juli bei uns sehr nahe $= 1,4$ setzen dürfen.

Dieser Umstand, dass die Seeluft mindestens gleich gut leitet, aber dabei weniger radioaktive Emanation enthält als die Luft über dem Binnenlande, deutet wohl darauf hin, dass noch andere Quellen der Ionisierung des Luftmeeres vorhanden sind als das Eindringen von Bodenluft. Die an Zahl nur geringen Beobachtungen Geitels in Zinnowitz an der Ostsee führten ebenfalls zu niedrigeren Aktivierungszahlen für die freie Atmosphäre als in Wolfenbüttel; eine Messung in Clausthal ergab $A = 33$.

Die geringe Radioaktivität der Luft über Juist hat nun auch zur Folge, dass Aktivierungen durch das natürliche elektrische Feld der Erde weit weniger deutlich ausgeprägt sind als bei uns. Bei steiler Seebrise ist es ja leicht möglich einen Drachen stundenlang in sehr bedeutender Höhe über der Erd-

¹⁾ Wien. Ber. Bd. 111. Abt. IIa. S. 961. 1902.

oberfläche zu halten. Derartige Versuche wurden an Tagen mit einem elektrischen Gefälle von 200—400 Volt/Meter, die in Juist häufig auftreten,¹⁾ mehrfach angestellt. Die Aktivität des obersten Endes der Drachenschnur war aber sehr gering. Am 5. VII ergab sich $A = 1.6$, am 8. VII $A = 2.0$, am 19. VII gar nur $A = 0.4$ und am 22. VII $A = 2.3$. Bei Verwendung einer mit Seewasser befeuchteten Schnur fand sich am 29. VII $A = 3.7$. Es sind dies Werte von derselben Grössenordnung wie sie bei uns horizontal gespannte geerdete Drähte in etwa 10 m Höhe über dem Erdboden liefern bei einem Potentialgefälle von etwa 100 Volt/Meter. (Vgl. unseren vorjährigen Bericht.)

¹⁾ Terr. Magnetism. VII. Nr. 1. S. 9. 1902.

J. Elster.