

# Die Radioaktivität der Atmosphäre in Kiel und ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren.

Von **Max Lindemann.**

---

## Einleitung.

Die Frage, wie die Potentialdifferenz zwischen dem Erdkörper und der Atmosphäre zustande kommt, und wie es möglich ist, daß dieselbe, trotz unausgesetzten Elektrizitätsverlustes sich im ganzen stationär verhält, gab die Veranlassung zu einem eingehenden Studium des Elektrizitätsabflusses in der freien Luft — der elektrischen Zerstreung.

Man war lange über die Art dieses Vorganges im Zweifel gewesen. Ob es der in der Luft vorhandene Staub<sup>1)</sup>, oder der Wasserdampf<sup>2)</sup>, oder sonst irgendein Körper war, der die Ladung eines isoliert frei aufgestellten Konduktors forttrug, darüber sollte man erst in neuerer Zeit Aufschluß erhalten. Als die Unabhängigkeit des Ladungsverlustes von der Höhe der Spannung erkannt und damit das Coulomb'sche Gesetz<sup>3)</sup> für ungültig erklärt wurde, rückte man der Lösung des Problems wesentlich näher.

Die Tatsache, daß ein Sättigungsstrom vorhanden war, führte notgedrungen zu der Annahme, daß freie Ionen beiderlei Vorzeichens in der natürlichen Luft existieren mußten. Man stellte sich den Vorgang der Zerstreung so vor, daß die in der Luft für gewöhnlich in gleicher Anzahl vorhandenen positiven und negativen Ionen in dem Kraftfelde des geladenen Körpers sich bewegen; die gleichnamigen entfernen sich, die ungleichnamigen werden mit dem Körper zur Berührung gebracht und entladen ihn allmählich. Die Aufstellung dieser Theorie verlangte nun eine eifrige Nachsuche nach der Entstehungsursache dieser stets vorhandenen Ionen.

---

1) Blake, Wiedem. Ann. 18, pag. 515, 1883. — Nahrwoldt, daselbst 31, pag. 448, 1887.

2) Fr. Exner, Wien. Ber. 93, pag. 222, 1837.

3) Coulomb, Mém. de Paris, pag. 616—628, 1785.

Die bekannten Ionenbildenden Vorgänge, wie hohe Temperaturen, elektrische Entladungen, ultraviolettes Licht<sup>1)</sup> reichten nicht aus, die Leitfähigkeit der Atmosphäre zu erklären.

Nun fand man aber eine auffallende Ähnlichkeit zwischen dem Verhalten der natürlichen Luft und der durch radioaktive Körper ionisierten.

Die in Kellern und Höhlen abgeschlossene Luft wies eine außerordentlich viel höhere Leitfähigkeit auf als die freie Atmosphäre<sup>2)</sup>. Eine von den Wänden der Räume ausgehende Emanation konnte diese eigenartige Erscheinung verständlich machen. Sollte Radium im Erdboden vorhanden sein, so konnte man auch die Leitfähigkeit der freien atmosphärischen Luft auf einen Radiumgehalt der Erde zurückführen.

Elster und Geitel, die unermüdlichen Forscher auf dem Gebiete der Radioaktivität, machten sich alsbald ans Werk, die Luft auf die Anwesenheit einer Emanation zu prüfen. Rutherford<sup>3)</sup> hatte festgestellt, daß die Zerfallsprodukte der Emanation die Eigenschaft besitzen, sich an der Oberfläche negativ elektrischer Leiter anzusammeln.

Diese Tatsache legten Elster und Geitel ihren Untersuchungen zugrunde<sup>4)</sup>. Sie setzten Drahtgeflechte und andere Körper mit negativer Ladung von einigen 100 bis 1000 Volt der freien Luft aus und brachten sie dann in ein Zerstreungsgefäß. Es zeigte sich in der Tat eine starke Ionisation der abgeschlossenen Luftmenge. Die exponierten Gegenstände zeigten außerdem die Fähigkeit, photographische Platten selbst durch Metallscheiben hindurch zu schwärzen, kurz, es war auf ihnen eine Substanz niedergeschlagen, die Bequerelstrahlen aussandte. Auf Grund dieser Erscheinung gelang es Elster und Geitel bald zu beweisen<sup>5)</sup>, daß die Luft-Ionisierung zum großen Teil von einer radioaktiven Emanation herrühre, die von den überall in der Erde befindlichen Spuren von Radium ausgehe und durch Diffusion in die Atmosphäre gelange.

---

1) Lenard, *Drudes Ann.* 1, pag. 480, 1900.

2) Elster und Geitel, *Phys. Zeitschr.* 2, pag. 562, 1901.

3) Rutherford, *Radioaktivität*, pag. 306 und *Phil. Mag.* 49, pag. 161, 1900.

4) *Phys. Zeitschr.* 2, pag. 590, 1901.

5) Elster und Geitel, *Phys. Zeitschr.* 5, pag. 22, 1904.

Die beiden Forscher gaben ein zweckmäßiges Verfahren an, die radioaktiven Stoffe aus der Atmosphäre zu gewinnen<sup>1)</sup>. An verschiedenen Orten wurde dies Verfahren angewandt, und es zeigte sich, daß der Gehalt der Luft an radioaktiven Stoffen großen Schwankungen unterworfen ist, die sowohl von der Örtlichkeit, wie auch von den meteorologischen Faktoren abhängig sind.

Auf Veranlassung des Herrn Prof. Dr. Weber unternahm ich es, in Kiel die Atmosphäre auf radioaktive Stoffe hin zu prüfen und meteorologische Einflüsse auf den Wechsel des Radiumgehaltes zu studieren.

---

## I. Teil.

### I. Die zur Untersuchung benutzten Apparate.

Zur Messung diente der Elster- und Geitel'sche Zerstreungsapparat<sup>2)</sup>. Dieser besteht im wesentlichen aus der Ionisierungskammer, dem Zerstreungskörper und dem Elektroskop.

Der Ionisierungskammer wurden solche Dimensionen gegeben, daß wir später die Resultate wenigstens in weiter Annäherung mit den in der Literatur gegebenen vergleichen konnten: Ein oben geschlossener Zinkzylinder *Z* (cf. Figur) kann auf einen stärker gehaltenen Zinkteller mit sechs Schrauben, die fest am Teller sitzen, mit Muttern aufgeschraubt werden. Ein dazwischen gelegter Gummiring schließt den Zerstreungsraum hermetisch ab. Der obere Deckel ist in der Mitte durchbohrt und trägt einen Rohransatz *R*, auf den das Elektroskop aufgeschoben werden kann. Die Öffnung ist durch eine unten gegengelegte, durch Schrauben gehaltene Bernsteinplatte *T* verschlossen. Diese Platte trägt den Stiel *S* des Zerstreungskörpers. Der Stiel besteht aus zwei Teilen, die mittels Schraubengewinde zwei Gummischeiben fest gegen die Isolierscheibe pressen. Der durch den Bernstein geführte Teil des Stiels ist etwas dünner gehalten (vergl. Figur). Der Stiel hält den Zerstreungszylinder genau in der Mitte der Ionisierungskammer. Zur Aufnahme des Aktivierungsdrahtes dient eine Trommel mit längsseitigen Messingstäben, die mit leichter Reibung von unten in den Zerstreungszylinder eingeführt werden kann.

---

1) Phys. Zeitschr. 3, pag. 305, 1902, und *ibid.* 4, pag. 96, 1902.

2) Elster und Geitel: *Terrest. Magn. and Atm. Electr.* 4, pag. 216, 1899. *Phys. Zeitschr.* I, pag. 11, 1898, und 4, pag. 137, 1902. *Wiener Ak. Ber.* 3, 2 a, pag. 946, 1902. *Ann. d. Phys.* 4, pag. 425, 1900.



Die hier früher von Brandes benutzte Form, bei der die Zerstreungskammer über dem Elektroskop steht, wurde also nicht gewählt; wir haben uns vielmehr an eine für die vorliegenden Zwecke geeignetere Form gehalten, wie sie Elster und Geitel in der Beilage zum Wolfenbütteler Gymnasiumsbericht 1907 gegeben haben.

Als Meßinstrument wurde das von Elster und Geitel nach Exners Prinzip konstruierte Aluminiumblatt-Elektroskop benutzt. Es soll hier etwas eingehender beschrieben werden, da wir einige zweckentsprechende Abänderungen daran vornahmen.

Die äußere Form wurde beibehalten; das Elektroskop unterscheidet sich von dem gewöhnlichen dadurch, daß der Träger der Blätter den zur Isolierung dienenden Bernstein ganz durchsetzt und in den unteren Rohrstützen *A* hineinragt. Letzterer wurde zu dem Zweck etwas länger gehalten und konnte mit sanfter Reibung auf den Rohransatz des Zerstreungszylinders aufgeführt werden. Um dem Rohrstützen *A* Halt zu geben, mußte neben dem Rohr *B* mit der Trockenvorrichtung eine Verstärkung *C* rechtwinklig zum Blättchenträger am äußeren Gehäusemantel *D* angebracht werden. Parallel zur Verstärkung *C* wurde im Innern des Gehäusemantels eine Brücke *E* aus Metall durch die Schrauben *FF* befestigt. Die Brücke *E* hat in der Mitte, genau über der Öffnung des Rohrstützens *A* ein Loch, in welchem der nach unten glockenförmig ausgebildete, in der Mitte durchbohrte Isolierkörper *G* aus Bernstein mit Hilfe des Überfallringes *H* durch kleine Schraubchen an der Brücke *E* befestigt ist. Der Isolierkörper *G* wird durch eine, nur wenige Millimeter durch den Metallring *J* davon entfernt gehaltene durchbohrte Bernsteinplatte *K* bedeckt. Letztere ist nach dem Vorschlage von Hochheim<sup>1)</sup> durch eine dünne Metallkappe *L* geschützt, wodurch einesteils die Aluminiumblättchen dem Feld des Bernsteins entzogen werden, andererseits aber auch der Bernstein vor Verstaubung gehütet wird.

Die Teile *GJK* werden mit Hilfe des Blättchenträgers *M* — der am unteren Ende Außengewinde hat — und des Rohres *N* mit Muttergewinde zusammengezogen. In dem Rohr *N* schiebt sich mit leichter Reibung an den Wänden ein zweites Rohr *O* auf und ab, welches auf dem unteren Ende geschlossen ist und durch eine darin untergebrachte Spiralfeder stets nach unten gedrückt wird.

<sup>1)</sup> Hochheim, Phys. Zeitschr. 1909, pag. 51.

Um ein Herausfallen zu verhindern, ist das Rohr *N* mit Nutenföhrung und Schraube *P* versehen. Durch die Federung und durch die Reibung des Zerstreungsstiels an den inneren Wänden des Rohres *N* wird beim Aufsetzen des Elektroskopes auf die Ionisierungskammer ein guter und sicherer Kontakt erzielt. Die obere Öffnung des Elektroskopes kann durch eine Kappe verschlossen werden. Die Konstruktion gewährt manche Vorteile:

1. Das Elektroskopinnere ist nach dem Aufsetzen auf die Kammer gänzlich von der Außenluft abgeschlossen und gegen Staub und Feuchtigkeit geschützt.
2. Da der Isolierkörper erhöht liegt, kommt auch die Unterseite des Bernsteins nicht mit der Außenluft in Berührung und kann durch Natrium trocken gehalten werden; niemals kann abbröckelndes Hydroxyd auf die Isolation störend einwirken.
3. Die Stabilität des Blättchenträgers ist eine größere als bei der Exner'schen Form, auf die Elster und Geitel bei der in Frage kommenden Versuchsanordnung zurückgegangen sind.
4. Es wird ermöglicht, mit dem einen Elektroskop mehrere Zerstreungsmessungen vorzunehmen, indem man es von der einen Ionisierungskammer auf die andere einfach umsetzt, ohne diese vom Platze entfernen zu müssen.

Außer dem Zerstreungsapparat war eine Hochspannungsbatterie erforderlich, um dem zur Aktivierung bestimmten Draht die negative Ladung zu erteilen. Hierzu erwies sich die Batterie von Zamboni'schen Säulen, wie sie von Elster und Geitel vorgeschlagen wurde und bei Günther und Tegetmeyer<sup>1)</sup> zur Ausführung gelangte, als sehr zweckmäßig. Bei richtiger Behandlung zeigte sie sich als absolut zuverlässig.

Die Höhe des Potentials wurde mit Hilfe des Hochspannungselektrometers nach Braun gemessen.

Zur Gewinnung der radioaktiven Stoffe aus der Luft diente ein 10 m langer Kupferdraht von 0,5 mm Durchmesser. Dieser wurde isoliert ausgespannt. Zur Isolierung dienten die von Elster und Geitel angegebenen, später von Gockel<sup>2)</sup> verbesserten Isolierhaken. Während sämtlicher Messungen versagten diese Haken nur ein einziges Mal ihren Dienst; die Ursache war in Spinnweben

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 1, pag. 16, 1899.

<sup>2)</sup> Phys. Zeitschr. 6, pag. 328, 1906.

zu suchen, die am Versuchstage zahlreich in der Luft auftraten und sich quer über die Öffnung festgesetzt hatten. Mit untergehender Sonne nahmen die feinen Fäden Feuchtigkeit auf und stellten eine Verbindung zur Erde her.

Bei einem großen Teil der Versuche wurden zwei Drähte gleichzeitig ausgespannt, der eine 1 m über dem Boden, der andere 12 $\frac{1}{2}$  m hoch. Letztere Höhe wurde dadurch erzielt, daß zwei lange Bambusstangen an etwa 14 m voneinander entfernten stehenden Bäumen befestigt wurden. Rolle und Schnur dienten zum Hochhissen des Drahtes.

## II. Meßmethode.

Die Messungen begannen mit einer genauen Isolationsprüfung des Elektroskopes. Das Instrument, welches von einem Kieler Präzisionsmechaniker nach Zeichnung hergestellt war, wurde mit einer Sonde, die isolierten Griff trug, geladen und dann bei geschlossenem Deckel sich selbst überlassen. Das Gehäuse wurde dabei zur Erde abgeleitet. Zu verschiedenen Zeiten wurde der Blättchenausschlag abgelesen.

Datum	Stunde	Skalenteile	Volt
21. April	10 a.	38.0	182.2
22. „	10 a.	34.1	171.4
23. „	10 a.	30.3	161.0

In 48 Stunden gingen also die Blättchen um 7,7 Skalenteile zurück, was einem Spannungsverluste von 21,2 Volt entspricht. Es ergibt sich daraus im Durchschnitt ein Spannungsverlust von 0,44 Volt per Stunde.

Die Eichung des Instruments geschah in folgender Weise: Der Strom der städtischen Zentrale wurde durch einen Widerstand von 220  $\Omega$  geschickt. Der Rheostat enthielt 22 Spulen à 10  $\Omega$  und ließ 22 Ableitungen zu. Auf diese Weise konnte von 10 zu 10 Volt Spannung geeicht werden, indem das Elektroskop an die verschiedenen Abzweigstellen gelegt wurde. Mit einem gleichfalls parallel gelegten Präzisionsvoltmeter wurde die jeweilige Spannung genau kontrolliert. Von Zeit zu Zeit wurde eine Neueichung vorgenommen, was bei den Aluminiumblatt-Elektroskopen unerlässlich ist.

Da sämtliche Zerstreungsmessungen in einem Zimmer gemacht wurden und das Elektroskop nicht transportiert zu werden brauchte, wurde von den Schutzbacken niemals Gebrauch gemacht.



Durch Versuche wurde nämlich festgestellt, daß durch Berührung der Blättchen mit den Backen die Eichung fehlerhaft wurde. Ferner wurde noch dem Elektroskop nach Beendigung jeder Messung eine Ladung erteilt; hierdurch wurde erreicht, daß die Blättchen ihre Form behielten, wodurch natürlich auch die Eichung für längere Zeit ihre Gültigkeit behielt.

Die Schwere der Blättchen war so gewählt, daß der Meßbereich zwischen 90 und 200 Volt lag<sup>1)</sup>. Geladen wurde mit einer Hochspannungsbatterie von Kupfer-Zink-Wasserelementen. Da diese sehr konstante Spannung gab, so konnte man die Blättchen schnell und sicher auf jeden gewünschten Teilstrich der Skala bringen.

Nach den vorbereitenden Versuchen wurden die Aktivitätsmessungen in Angriff genommen.

Ein früher zu magnetischen Messungen benutztes, zum physikalischen Institut gehöriges Häuschen auf dem hiesigen Sternwartenberge, das für meteorologische Studien bestimmt ist, enthielt die Apparate. Nicht weit von dem Häuschen entfernt wurden die Drähte ausgespannt. Die Isolierhaken wurden mit Natrium versehen und vor dem Gebrauch auf ihre Isolationsfähigkeit hin geprüft. Die Zamboni-Säule hatte drinnen ihren Platz; die Zuleitung zu den Aktivierungsdrähten geschah durch ein Fensterchen, welches so angebracht war, daß die Zuleitung direkt erfolgen konnte. Jeder Aktivierungsdraht hatte seine eigene Leitung, die nun an den negativen Pol der Säule angeschlossen wurde. Der positive Pol wurde zur Erde abgeleitet. Gleichzeitig mit dem Aktivierungsdraht schalteten wir das Braun'sche, mit Bernstein isolierte Elektroskop ein.

Die ersten Messungen wurden mit beiden Drähten (1 m und 12<sup>1</sup>/<sub>2</sub> m hoch) vorgenommen; nachdem der obere Draht wesentlich neue Resultate nicht mehr bringen konnte, wurde lediglich der untere Draht benutzt.

Bei der Messung mit beiden Drähten wurde der obere zuerst eingeschaltet, der untere 15 Minuten später. Nach zweistündiger Exposition, während welcher die Spannung, die stets zwischen 2000 und 2300 Volt variierte, ständig mit dem Braun-Elektrometer kontrolliert wurde, unterbrachen wir die Zuleitung zum oberen Draht, hißten ihn herunter und wickelten ihn auf die Trommel, was im ganzen etwa 3 Minuten dauerte. Dann führten wir im Häuschen die Trommel schnell in die Ionisierungskammer ein,

---

<sup>1)</sup> Phil. Mag. 4, pag. 708, 1902.

schlossen mit dem unten befindlichen Teller fest ab, setzten das Elektroskop auf und erteilten diesem die Ladung. Die erste Ablesung konnte bequem 5 Minuten nach Expositionsschluß gemacht werden. Nach weiteren 10 Minuten wurde wieder abgelesen (Lupe und Spiegelskala) und aus den beiden Ablesungen der Spannungsverlust berechnet. Auf diese Weise erhielten wir ein Maß für die ionisierende Kraft der Strahlung der radioaktiven Stoffe, die sich auf dem Draht niedergeschlagen hatten.

Sofort nach der Ablesung wurde nun auch die Verbindung mit dem unteren Draht gelöst, was fast gleichzeitig mit dem Ablesen (beim oberen Draht) erfolgen konnte. Eine zweite Trommel diente zur Aufnahme des unteren Drahtes, für den ein zweites Ionisierungsgefäß schon bereit stand. Das Elektroskop wurde nun einfach umgesetzt, so daß wieder genau 5 Minuten nach Unterbrechung der Exposition abgelesen werden konnte. Da wir annehmen dürfen, daß innerhalb einer viertel Stunde der Gehalt an radioaktiven Stoffen in der Luft keinen wesentlichen Schwankungen unterworfen ist, können wir unsere Resultate vom oberen und unteren Draht vergleichen.

Die Aktivität der freien Luft wurde gleich 1 gesetzt, wenn ein Meter des exponierten Drahtes das Potential des Zerstreungskörpers in einer Stunde um 1 Volt erniedrigte. Die in dieser Maßeinheit ausgedrückte Größe wurde von Elster und Geitel<sup>1)</sup> mit  $A$ , d. h. Aktivierungszahl bezeichnet. Wir haben diese Zahl allen unseren Messungen zugrunde gelegt. Da die Apparate, die wir benutzten, dieselben Dimensionen besitzen wie die von den Herren Elster und Geitel benutzten, so dürfen wir unsere Resultate mit denen jener Herren vergleichen, wenn auch nur in weiter Annäherung. Gockel weist darauf hin, daß die Größe  $A$  nicht als ein direktes Maß für die Menge der in der Atmosphäre enthaltenen radioaktiven Emanation angesehen werden kann, da sich offenbar die entladenen oder mit Wasser beschwerten Induktionen den Meßapparaten mehr oder minder entziehen. Auf die Beweglichkeit der Induktionsträger kommen wir später (pag. 118) zurück. Was wir messen, ist die ionisierende Kraft der Strahlung, die von den auf dem Drahte abgeschiedenen Stoffen ausgeht, und wenn wir unsere Resultate mit anderen vergleichen, so vergleichen wir stets nur das Ionisationsvermögen der radioaktiven Substanzen.

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 4, pag. 96, 1902.



Die Aktivierungsmessungen begannen nach dem bereits beschriebenen Verfahren mit dem oberen und unteren Draht. Eine einzelne Messung möge der Übersicht halber hier angeführt werden:

Messung am 26. September 1910.

Exposition des oberen Drahtes von 235 bis 435 p.  
des unteren Drahtes von 250 bis 450 p.

Spannung 2200 Volt (Hochspannungstrockensäule).

A. Bestimmung des Spannungsverlustes im Zerstreungsgefäß 1 und 2 ohne den aktivierten Draht:

1.           30 p.       37.9 Skt. = 182.0 Volt  
              330 p.      37.1 Skt. = 179.8 Volt

---

Spannungsverlust in  $\frac{1}{2}$  St. = 2.2 Volt  
Spannungsverlust in 1 St. = 4.4 Volt.

2.           345 p.      35.2 Skt. = 174.5 Volt  
              415 p.      34.4 Skt. = 172.2 Volt

---

Spannungsverlust in  $\frac{1}{2}$  St. = 2.3 Volt  
**Spannungsverlust in 1 St. = 4.6 Volt.**

B. Bestimmung des Spannungsverlustes nach Einführung des aktivierten Drahtes:

1. Oberer Draht.      Gefäß 1.  
              440 p.      36.6 Skt. = 178.4 Volt  
              450 p.      26.0 Skt. = 150.5 Volt

---

Spannungsverlust in 10' = 27.9 Volt  
Spannungsverlust in 60' = 167.4 Volt.

Die Intensität der Strahlung des 10 Meter langen Drahtes entspricht also einem Spannungsverluste von:

$$167.4 - 4.4 = 163.0 \text{ Volt.}$$

$$\text{Für ein Meter Draht also: } \frac{163}{10} = 16.3 \text{ Volt.}$$

Damit ist gefunden: **Die Aktivierungszahl = 16.3.** Oberer Draht.

2. Unterer Draht.      Gefäß 2.  
              455 p.      36.7 Skt. = 178.7 Volt  
              505 p.      28.1 Skt. = 155.5 Volt

---

Spannungsverlust in 10' = 23.2 Volt  
Spannungsverlust in 60' = 139.2 Volt.

$$139.2 - 4.6 = 134.6 \text{ Volt.}$$

$$\text{Für ein Meter Draht also: } 13.5$$

$$A = 13.5. \quad \text{Unterer Draht.}$$

## Meteorologische Angaben:

	11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> a.	769.0 mm
Barometerstand	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p.	768.2 mm
	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p.	767.0 mm.

Zeit	Wind- richtung	Windstärke	Bewölkung	Tempe- ratur	Relat. Feuchtigkeit
3 h	SE	3.1 m/sek.	10—1	14.1	50 %

Die hiesige Sternwarte, die sich in unmittelbarer Nähe unseres Beobachtungsortes befindet, zeichnet die meteorologischen Daten täglich aufs genaueste auf. Es erwies sich als zweckmäßiger und bequemer, die Daten von der Sternwarte zu entnehmen, als von der in der Stadt befindlichen meteorologischen Station des physikalischen Instituts. Die Angaben wurden uns in freundlicher Weise jederzeit zur Verfügung gestellt.

### III. Resultat der Messungen, die mit dem oberen und unteren Draht gleichzeitig vorgenommen wurden.

Da die Drähte unter annähernd gleichen Bedingungen exponiert wurden, so konnte im wesentlichen nur die Verschiedenheit der Windstärke eine Änderung der Aktivierungszahl hervorrufen. Es war schwer festzustellen, inwieweit die durch den Höhenunterschied der Drähte bedingte verschiedene Spannung die Höhe der Aktivierung beeinflusste. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß es nicht einerlei ist, ob der Draht 4 m oder 5 m oder gar 12 m über dem Boden ausgespannt ist. Der obere Draht war dem Winde völlig frei ausgesetzt, während dies bei dem unteren Draht nicht zu erreichen war. Wir fanden dementsprechend für den oberen Draht stets höhere Werte als für den unteren. Das Verhältnis der Aktivierungszahlen ergab sich wie 5 : 4. Wesentliche Bedeutung hat dies aus den Mittelwerten berechnete Verhältnis nicht, es liefert nur den Nachweis für den Einfluß der Windstärke. Denn mit abnehmender Windstärke nahm auch das Verhältnis der einzelnen Aktivierungszahlen ab. An einem Tage waren die Zahlen gleich. Es herrschte vollkommene Windstille. Hieraus können wir entnehmen, daß ein etwa vorhandener Unterschied in der Spannung die Werte nicht wesentlich beeinflussen kann.

Ein Resultat lehrte uns jedoch, daß sehr wohl ein umgekehrtes Verhältnis entstehen kann. Hierzu schien aber unbedingte Windstille Voraussetzung zu sein: Wir fanden für den unteren Draht einen höheren Wert bei starkem Bodennebel. Offenbar begünstigte letzterer die Anhäufung radioaktiver Emanation in der Nähe des Erdbodens. Der obere Draht lag während der ganzen Exposition außerhalb der Nebelhülle.

#### IV. Abhängigkeit der Stärke der Aktivierung von der Wetterlage.

Nachdem die gleichzeitigen Versuche mit den beiden Drähten beendet waren, gingen wir nunmehr an die Hauptaufgabe heran, nämlich an die Untersuchung, wie die einzelnen meteorologischen Faktoren ihre Wirkung auf die Stärke der Aktivierung äußern. Über diese Wirkung findet man in der Literatur noch die widersprechendsten Befunde, und es erschien sehr wünschenswert, dem einen oder andern Resultat durch wiederholt vorgenommene Versuche eine größere Stütze zu geben.

In den Monaten September bis Dezember 1910 wurden zahlreiche Versuche zu diesem Zwecke angestellt. Fast alle Messungen wurden in den Nachmittagsstunden ausgeführt. Die großen Schwankungen der Wetterlage, die wir vor allem im Oktober und November haben, waren für unsere Untersuchungen außerordentlich nützlich. Andererseits stellte das oft trübe und feuchte Wetter an die Isolierfähigkeit hohe Anforderungen; es erwies sich als sehr vorteilhaft, daß die zur Messung und zum Laden notwendigen Apparate im Innern des Hauses ihre Aufstellung fanden, so daß nur die Isolierhaken für den im Freien ausgespannten Draht zu überwachen waren. Die Konstruktion der Gockel'schen Haken ließ aber auch hier jede Schwierigkeit überwinden, sobald diese nur peinlich sauber gehalten und vor jeder Messung mit frischem Natrium zur Trocknung beschickt wurden.

Die nachfolgenden Resultate lieferte nun der untere Draht, für den die Länge von 10 m beibehalten wurde, und der an Regentagen mit einem Zinkblechdach überdeckt werden konnte. Am meisten mußten uns nun zunächst die Resultate interessieren, die wir an windstillen Tagen (ohne erhebliche Niederschläge) erhielten. Die Werte zeigten in der Tat einen sehr charakteristischen Einfluß der meteorologischen Faktoren. Folgende Tabelle, die für annähernd windstille Tage aufgestellt ist, möge zur schnellen Orientierung dienen:



Tabelle für die 9 annähernd windstillen Tage.

	Tag der Beobachtung	Aktivierungszahl A	Windrichtung	Be- wölkung 1—10	Barometer- bewegung; ob vorher gefallen oder gestiegen	Baro- meter- stand mm	Relative Feuch- tigkeit %
1	Sept. 15.	22.8	E	0	gestiegen	765	68
2	Nov. 14.	18.1	NE	6	"	768	82
3	Okt. 15.	14.7	E	0	"	776	75
4	" 8.	10.5	C	0	"	764	83
5	Nov. 15.	8.3	SW	10	konstant	743	88
6	" 16.	8.0	SW	8	"	743	92
7	" 30.	7.9	NW	10	"	759	92
8	" 30.	6.6	NW	10	"	759	96
9	" 18.	5.9	C	10	gefallen	751	87

Wir fanden also hohe Aktivität bei östlichen Winden, großer Transparenz der Luft, steigendem Luftdruck, hohem Barometerstande und geringer relativer Feuchtigkeit, dagegen niedrige Werte bei westlichen Winden, bewölktem Himmel, niedrigem Barometerstande und verhältnismäßig hoher relativer Feuchtigkeit. Ein Einfluß der Barometerbewegung konnte bei den letzten Werten nicht beobachtet werden, wie aus der Tabelle ohne weiteres hervorgeht.

Wir untersuchten nun weiter, ob diese Beziehungen zwischen Aktivierung und Wetterlage mit sämtlichen übrigen Resultaten (cf. Beobachtungstabelle) in Einklang zu bringen waren, oder ob es Ausnahmewerte gab, die mit den oben aufgestellten Regeln in Widerspruch standen.

Das auffälligste Resultat schien der Einfluß des Barometerstandes zu sein, gerade weil dies bei anderen Beobachtern entweder gar nicht zutage getreten war, oder unserem Befunde entgegenstand. Zum Beispiel fanden die Herren Elster und Geitel<sup>1)</sup>, daß niedere Aktivierungszahlen mit hohem Barometerstande zusammenfielen.

Wir stellen im folgenden die Mittel der Werte unserer sämtlichen Versuche unter Berücksichtigung des Barometerstandes zusammen. Die Tage mit erheblichen Niederschlägen sind hierbei ausgenommen.

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 4, pag. 528, 1902—03.

## Beobachtungs-Tabelle.

Tag der Mes- sung	Zeit	Barometer- stand in mm + 700 1. 3 Stunden vor 2. Zu Beginn 3. 3 Stunden nach der Exposition	Wind- rich- tung	Wind- stärke in m/sek.	Bewöl- kung 0—10	Relative Feucht. in %	A Oberer Draht	A Unterer Draht	Span- nung in 1000 Volt	Bemerkungen
Sept. 15.	3—5p	64.3 64.5 64.6	E E NE	1.4 1.7 1.8	0 0 0	97 55 82	37.2	22.8	2.2	Sonne. Fast windstill. 1
16.	3—5p	66.8 66.6 66.7	NW NW NW	2.4 4.5 5.4	10 8 3	99 65 87	—	8.2	2.2	Bedeckt. 2
17.	9—11 a	67.7 68.0 68.0	W W W	5.8 5.9 3.9	3 5 3	90 54 83	—	9.4	2.2	3
19.	3—5p	60.0 59.0 58.0	S SW W	0.6 0.5 1.6	10 9 5	88 60 82	8.7	8.3	2.1	Bedeckt. Fast windstill. 4
20.	3—5p	58.5 58.5 59.0	W NW N	2.1 3.5 2.9	3 6 3	89 63 73	10.0	9.0	2.4	Morgens Regen. ☒ p. Exp. 5
21.	3—5p	65.0 65.8 66.1	N NE NNE	5.4 — 2.7	6 3 1	59 51 73	16.8	12.2	2.2	Sonne. 6
22.	4—6p	68.0 67.0 67.0	W W SW	1.8 3.0 3.3	1 10 10	79 74 85	6.6	4.8	2.0	Bedeckt. 7
23.	4—6p	64.0 63.9 63.9	W W W	3.5 7.1 5.4	10 9 10	84 60 82	6.5	5.6	2.0	8
24.	9—11 a	62.0 61.2 61.0	W W W	6.7 8.1 7.8	10 10 7	82 84 83	3.5	3.2	2.0	Bedeckt. Starker Wind. 9
26.	3—5p	69.0 68.2 67.0	SE E SE	3.1 5.7 3.1	1 1 0	83 49 80	16.3	13.5	2.3	Sonne. 10
28.	3—5p	65.0 65.0 64.6	SW SW SW	2.7 5.1 1.5	10 10 0	96 72 95	6.5	5.4	2.1	Bedeckt. 11
29.	3—5p	61.2 60.0 59.0	S SW S	4.0 4.4 4.2	2 0 4	82 64 91	11.2	9.0	2.2	12
30.	11 a—1 p	56.6 57.6 58.4	SW W W	4.5 6.0 4.1	10 9 5	93 66 93	6.7	6.3	2.0	Regen nachts vorher. 13
Okt. 8.	4—6p	66.8 65.1 63.7	SE E C	2.1 2.7 1.4	0 0 0	96 75 92	—	10.5	2.0	Völlig windstill. Sonne. Barom. vorher gestieg. 14
9.	10—12 a	58.2 59.3 60.0	SW W W	2.8 5.4 3.2	6 7 9	84 61 83	7.4	6.0	2.1	15
10.	11 a—1 p	61.0 61.0 61.0	S SW SW	3.1 2.9 3.3	5 9 10	80 82 90	4.4	3.6	2.1	Dunst. 16

Tag der Mes- sung —	Zeit	Barometer- stand in mm + 700 1. 3 Stunden vor 2. Zu Beginn 3. 3 Stunden nach der Exposition	Wind- rich- tung	Wind- stärke in m/sek.	Bewöl- kung 0—10	Relative Feucht. in %	A Oberer Draht	A Unterer Draht	Span- nung in 1000 Volt	Bemerkungen
Okt. 12.	10—12 a	57.0	SE	4.0	4	90	—	20.3	2.2	Sonne. Barometer war nachts gestiegen. 17
		56.2	SE	5.1	6	69				
		55.8	S	3.8	6	87				
12.	3—5 p	56.0	SE	4.0	4	90	21.0	16.3	2.0	Erst klar, später be- deckt. 18
		55.8	SE	5.1	6	69				
		56.0	S	3.8	6	87				
13.	3—5 p	63.0	W	3.9	10	96	14.5	11.6	2.1	NNE - Sturm. Fast wolkenlos. 19
		66.0	ESE	—	5	94				
		69.0	NNE	5.9	2	50				
14.	2—4 p	77.6	NE	3.4	1	67	13.0	10.1	2.0	Spannung unsicher. 20
		78.0	NE	4.0	4	52				
		78.0	E	2.0	2	79				
15.	3—5	77.1	E	0.9	4	94	17.1	14.7	2.2	Wolkenlos. Fast windstill. 21
		76.0	E	2.4	1	54				
		75.0	E	1.4	0	96				
16.	10—12 a	73.0	SE	—	0	96	16.4	—	2.3	Sonne. 22
		73.0	E	3.3	0	58				
		72.3	E	3.2	0	92				
17.	2—4 p	67.0	SE	3.4	1	95	14.2	12.6	2.0	Sonne. 23
		65.5	E	4.6	2	72				
		65.5	SE	3.5	0	93				
18.	3—5 p	61.0	S	2.5	10	97	—	8.2	2.1	Südwind. Barometer ist gefallen. 24
		60.0	SSE	3.5	8	83				
		59.7	S	3.9	10	91				
19.	3—5 p	55.9	S	5.5	10	96	—	8.4	2.0	☉ <sup>0</sup> a. 25
		54.0	S	5.7	10	80				
		53.0	S	5.3	10	83				
20.	3—5 p	53.5	SE	4.0	10	99	5.2	8.4	2.1	Bodennebel <sup>3</sup> . Windstill. Oberer Draht außerhalb der Nebelhülle. 26
		54.0	SE	4.0	8	76				
		55.3	E	2.5	2	98				
21.	3—5 p	61.3	NE	5.6	10	83	65.3	39.0	2.1	Sturm aus Osten. Klar. Abklingung beobacht. 27
		61.9	E	8.2	10	76				
		62.4	NE	6.6	8	82				
22.	9—11 a	63.9	E	—	7	84	—	27.1	1.9	Wind schwächer als tags zuvor. Barom. steigt ständig. 28
		65.0	E	6.0	6	74				
		65.5	E	—	10	83				
24.	3—5 p	65.8	E	4.8	10	86	18.1	14.0	2.0	Bewölkt. 29
		65.1	E	4.9	10	78				
		65.0	E	5.0	10	81				
25.	3—5 p	66.9	SE	4.3	10	88	—	12.8	1.8	Klar. 30
		67.0	E	4.1	8	83				
		67.5	SE	3.1	0	95				
26.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	68.0	E	3.0	3	93	23.0	20.0	1.8	Starker Nebel. Windstill. Abklingung beobacht. 31
		68.0	SE	3.5	10	94				
		68.1	SE	2.2	10	97				
Nov. 3.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	40.0	SW	5.4	10	93	4.3	3.1	1.9	Morgens Regen. 32
40.6	S	4.5	10	81						
41.0	S	4.6	9	89						



Tag der Messung	Zeit	Barometerstand in mm + 700 1. 3 Stunden vor 2. Zu Beginn 3. 3 Stunden nach der Exposition	Windrichtung	Windstärke in m/sek.	Bewölkung 0—10	Relative Feucht. in %	A Unterer Draht	Spannung in 1000 Volt	Bemerkungen
Nov. 2.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	33.3 33.8 34.3	SW S SW	6.0 4.2 3.4	10 10 10	93 86 95	1.8	2.2	Regen vor der Messung. 33
4.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	40.0 41.5 42.5	— W S	1.3 1.9 4.4	7 6 2	94 81 92	3.3	2.0	Boden sehr feucht. 34
5.	2—4p	43.0 43.0 43.2	S SW W	4.5 4.4 1.7	6 7 9	93 84 90	6.0	2.0	Morgens Regen. 35
6.	10—12 a	44.5 55.0 55.0	S S S	1.9 3.6 3.9	6 10 10	— 90 87	6.8	1.95	— 36
7.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	36.0 34.9 33.1	SE SE S	8.9 7.3 8.5	10 10 6	89 83 83	7.2	1.9	Südsturm. Regengüsse. Draht überdeckt mit Dach. 37
8.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	40.1 42.1 44.2	SW S S	11.4 11.9 8.8	5 10 1	78 83 85	2.8	2.1	Starker Südsturm. Regengüsse. Wind dreht nach W. 38
9.	2—4p	51.1 51.1 51.7	S W SW	6.6 6.7 5.8	9 7 0	85 68 88	2.6	2.1	Hagel; stürmisch. 39
10.	2—4p	52.1 52.8 54.3	S W W	6.5 9.0 5.1	10 10 0	90 84 80	3.8	2.1	Regen, böig. 40
11.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	42.2 38.7 37.5	E SE NW	7.2 6.3 1.4	10 10 10	85 94 93	5.6	2.0	Schneegestöber, Tauwetter. 41
12.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	53.6 55.6 58.0	NW W SW	7.4 6.8 2.7	8 2 8	87 73 83	8.2	2.1	Klar, Sonne. 42
14.	2—4p	42.9 42.3 43.0	SE S SE	7.9 7.4 5.7	10 9 6	85 71 78	9.2	2.2	Böig, wechselnde Bewölkung. Südwind. Barom. ist gefallen. 43
15.	3—5p	43.0 42.9 43.0	SW SW SW	4.2 1.8 1.8	10 10 9	87 83 93	8.3	2.2	Bedeckt. Fast windstill. 44
16.	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —12 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> a	43.0 42.9 42.9	SE SW SW	2.8 1.9 4.3	10 8 10	96 89 94	8.0	2.2	Fast windstill. 45
17.	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	51.0 51.0 50.5	SSW SSW S	4.0 4.6 5.7	10 10 8	91 79 89	1.9	2.0	Regen und Schnee vor der Messung. 46
18.	2—4p	50.1 50.5 51.0	SE C NW	2.6 1.2 1.6	10 10 10	92 87 87	5.9	2.0	Vollständig windstill. Bedeckt. 47
19.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	54.0 53.5 53.4	NE NW W	6.2 6.4 6.9	9 6 8	75 75 78	8.1	2.2	Klar. 48

Tag der Messung	Zeit	Barometerstand in mm + 700 1. 3 Stunden vor 2. Zu Beginn 3. 3 Stunden nach der Exposition	Windrichtung	Windstärke in m/sek.	Bewölkung 0—10	Relative Feucht. in %	A Unterer Draht	Spannung in 1000 Volt	Bemerkungen
Nov. 20.	10—12 a	51.9 52.1 52.9	SW SW SW	5.1 6.0 5.3	10 10 10	85 84 96	1.8	2.2	Starker Schneefall kurz vor der Messung. Tauwetter. 49
21.	2—4 p	51.0 51.2 52.1	SW NW NE	3.5 4.6 2.8	10 10 9	96 94 74	2.0	2.1	Regen. 50
23.	2—4 p	60.9 61.8 63.1	NE NE NE	2.4 2.9 3.0	9 2 4	80 79 84	12.0	2.4	Klar, Sonne. 51
24.	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> a	67.0 67.5 67.9	NE NE E	2.2 1.3 1.6	10 6 0	91 82 87	18.1	2.3	Fast windstill. Barometer ist gestiegen. 52
25.	3—5 p	61.5 60.0 58.6	W NW W	2.1 3.0 2.5	10 7 9	85 74 70	5.1	2.1	Barometer ist gefallen. 53
26.	10—12 a	58.1 59.6 60.5	W SE SE	1.3 1.8 0.9	10 10 0	92 78 78	7.9	2.2	Schnee, Frostwetter. 54
28.	3—5 p	50.9 48.4 47.5	SE SE S	5.9 7.8 8.3	10 10 0	86 82 76	18.6	1.9	Zyklonale Wetterlage steht bevor. Baromet. fällt (vorher gestiegen). 55
29.	2—4 p	56.0 56.7 57.1	S S S	8.0 5.1 5.3	8 9 8	84 84 89	3.2	2.2	Unsicheres Resultat. Messung mußte kurze Zeit unterbrochen werden. 56
30.	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> a	59.0 58.9 59.0	SW NW NW	0.9 0.9 3.0	10 10 10	91 92 97	7.9	2.0	Fast windstill. Barom. konst. 57
30.	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	58.6 59.0 59.0	SW NW NW	0.9 0.9 3.0	10 10 10	91 92 97	6.6	1.9	Fast still. Bedeckt. 58
Dez. 1.	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> a	60.4 61.6 61.7	NE NE NE	1.88 2.38 2.62	10 10 10	92 93? 97	16.8	2.1	Barometer ist gestiegen. 59
2.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	66.0 66.0 66.1	NE NE E	2.70 2.37 2.37	10 10 10	96 91 89	14.0	2.2	Transparente Luft (Stratus dünn). 60
3.	12—2 p	67.1 67.2 66.9	NE E ESE	2.04 2.26 2.40	1 8 0	94 70 81	18.2	2.2	Wolkenlos. Sonne. 61
4.	4—6 p	67.0 67.0 66.4	NE E ESE	3.75 4.32 4.11	1 8 0	94 70 81	15.0	1.95	Erst klar, dann bedeckt. Barometer steigt. 62
5.	3—5 p	55.0 55.0 55.0	SE SSE SE	3.10 3.16 2.84	6 3 0	92 80 89	24.2	2.1	Klarer Frosttag. Sonne. 63
6.	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> —4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> p	53.0 52.4 57.4	ESE ESE ESE	2.90 1.95 2.09	10 10 0	94 92 96	16.5	2.0	Nebel. 23 + 64 Σ 87.

Anzahl der Messungen:	2	8	9	23	16
Barometerstand:	730	740	750	760	770
	4.5	5.0	7.3	9.4	13.8.

Diese Abhängigkeit vom Barometerstande war also nicht anzuzweifeln. Damit in Einklang stand ebenfalls der Einfluß der Barometerbewegung. Die uns von der Sternwarte zur Verfügung gestellten Barographen-Kurven wurden mit den Aktivierungszahlen verglichen, und es zeigte sich, daß fast immer einer hohen Aktivität eine Steigerung des Luftdruckes voranging. Dabei mußten wir natürlich diejenigen Werte unberücksichtigt lassen, die an Tagen mit Niederschlägen oder mit außergewöhnlicher Wetterlage gefunden wurden. Der Einfluß der Barometerbewegung wurde in diesem Sinne von Gockel konstatiert.

Die beste Stütze für unseren Befund aber, daß hohe Aktivität der Atmosphäre mit antizyklonaler Wetterlage korrespondierte, war folgende Erscheinung:

Östliche Winde brachten stets hohe Aktivierungswerte, während westliche die Zahlen herunterdrückten. Östliche Winde bedeuten aber für uns Fallwinde, deuten also die antizyklonale Wetterlage an.

Sehr merkwürdig ist hierbei, daß die Regel: Wind von der See her bringt niedrigere Werte für  $A$  als Wind vom Kontinent her, nicht zu ihrem Rechte kam. Gerade in Kiel hätte sich doch diese Regel aufs beste bestätigen lassen müssen. Wir haben hier aber niemals beobachten können, daß z. B. Südwind oder Wind mit südlichen Komponenten den Wert von  $A$  erhöhte, während hingegen nordöstlicher Wind, der für Kiel reiner Seewind ist, hohe Aktivierung ausnahmslos mit sich brachte.

Wir stellen sämtliche Werte für  $A$  im Mittel zusammen: bei Winden mit östlicher Komponente einerseits, bei Winden mit westlicher Komponente andererseits:

Anzahl der Beobachtungen:	
19	25
Östliche Winde	Westliche Winde
$A m = 15.4$	$A m = 6.2.$

Bei östlichen Winden ergab sich also ein Mittelwert, der den bei westlichen um mehr als das Doppelte übertraf. Als charakteristisch für den Einfluß der Windrichtung können wir den Grenzwert  $A = 10$  angeben, denn bei östlicher Windrichtung wurde kein  $A$  unter 10 gefunden, während bei westlicher Richtung kein Wert die Zahl 10 überschritt. Wir durften natürlich nur die niederschlagreien Tage hierbei berücksichtigen.



## V. Bewölkung.

Der Einfluß der Bewölkung machte sich deutlich bemerkbar. Es wurde fast überall die Beobachtung gemacht<sup>1)</sup>, daß wolkenfreie Tage die Aktivität erhöhen, während bewölkte Tage sie heruntersetzen. So auch in Kiel:

Anzahl der Beobachtungen:	
9	31
Wolkenfreie Tage	Bewölkung über 5
$A \text{ m} = 15.6$	$A \text{ m} = 7.3.$

Die Temperatur schien keinen Einfluß auf die Höhe der Aktivierung auszuüben. Bemerkenswert war nur, daß an klaren Frosttagen sich besonders hohe Werte ergaben. Wir suchen später (pag. 118) nach einer Erklärung dieser auch von andern Beobachtern konstatierten Tatsache.

Relative Feuchtigkeit äußerte ihre Wirkung in der bereits erwähnten Weise an den windstillen Tagen. Im übrigen mag hier nur hervorgehoben werden, daß besonders hohe Werte von  $A$  mit sehr niedriger relativer Feuchtigkeit zusammenfielen.

Nebel begünstigte auch hier die Ansammlung radioaktiver Stoffe in der Nähe des Erdbodens. Bei dichtem Bodennebel wurden außergewöhnlich hohe Werte für  $A$  gefunden.

Den höchsten Wert brachte ein Sturm aus östlicher Richtung am 21. Oktober 1910, der mit stark ansteigendem Luftdruck verbunden war ( $A = 39.0$ ).

Niederschläge schienen die radioaktiven Stoffe aus der Atmosphäre mit fortzunehmen, wie aus den geringen Beträgen für  $A$  an solchen Tagen hervorging ( $A = 1.8, 2.8, 2.6$ ).

Der Vollständigkeit halber möge hier noch das Mittel aus den Aktivierungszahlen sämtlicher überhaupt ausgeführter Messungen (63) gegeben werden.

Wir erhielten:  $A = 10.4$ .

Gockel<sup>2)</sup> gibt eine Tabelle der Mittelwerte, wie sie an verschiedenen Orten gefunden wurden. Danach stellt sich unsere Zahl etwas höher, als die dort angegebene, die sich auf die Versuche von Brandes gründet: Dies beruht darauf, daß wir etwa doppelt

<sup>1)</sup> W. Saake, Phys. Zeitschr. 4, pag. 626, 1903. Simpson, Phys. Zeitschr. 6, pag. 270, 1905.

<sup>2)</sup> Gockel, Lufterktrizität, pag. 178, 1908.

soviel Messungen vornahmen, wie Brandes<sup>1)</sup>, und daraus das Mittel bildeten. Auch nahm Brandes seine Versuche in den Sommermonaten vor, während wir im Winter arbeiteten. Wir glauben auch eine Erklärung für den in Swinemünde von Lüdeling gefundenen hohen Wert von  $A$  ( $= 36$ ) bringen zu können. Wir fanden bei einzelnen Messungen auch Werte, die dieselbe Höhe erreichten. Es ist also sehr gut möglich, daß Lüdeling seine Messungen an Tagen vornahm, deren Wetterlage eine hohe Aktivität begünstigte. Aus größeren Versuchsreihen würde sich wohl auch in Swinemünde das Mittel für  $A$  wesentlich tiefer stellen als 36.

Fassen wir unsere Resultate kurz zusammen, so fanden wir folgendes:

Hoher Barometerstand, steigende Barometerbewegung, hohe Transparenz der Luft, Winde aus östlichen Richtungen bilden in Kiel die Begleiterscheinungen hoher Strahlungsintensität der radioaktiven Induktionen, die aus der Atmosphäre gewonnen werden, während andererseits niedriger Barometerstand, fallender Luftdruck, bewölkter Himmel und westliche Winde eine geringe Intensität herbeiführen.

Maximalwerte ergaben sich bei Nebel, an klaren Frosttagen und bei Sturm aus östlicher Richtung.

Im allgemeinen bestätigen wir hiermit die von Gockel gefundenen Resultate.

Diese Ergebnisse erwecken zunächst den Anschein, als ob der größte Teil der in der Atmosphäre vorhandenen radioaktiven Emanation nicht aus dem Erdboden, sondern aus den oberen Schichten der Atmosphäre stamme. Hierfür wäre eine Erklärung wohl sehr schwierig; viel naheliegender wäre jene andere Annahme, daß der Erdboden die alleinige Quelle der radioaktiven Emanation in der Atmosphäre sei, und daß diese Emanation durch die Erdkapillaren ihren Weg in die Luft nähme. Dann hätten wir aber Resultate in ganz anderem Sinne finden müssen, oder wir müssen eben von einem ganz anderen Gesichtspunkte ausgehen, der schon von Gockel — auf die Versuche von Gerdien hin — angedeutet wurde. Wir müssen uns hierfür zunächst einen Einblick in das Innere des Zerfalls der Emanation in der Atmosphäre verschaffen. Die Überlegung von Makower<sup>2)</sup>, gestützt auf die Erklärung

---

<sup>1)</sup> Brandes, Inaug.-Dissert., Kiel 1904.

<sup>2)</sup> Phys. Zeitschr. 6, pag. 917, 1905.

Rutherfords, erscheint uns sehr einleuchtend, und wir geben sie hier wieder: Im Augenblick der Bildung der erregten Aktivität treibt die Emanation, aus welcher jene entsteht, ein  $\alpha$ -Teilchen aus, wodurch der Rest selbst mit beträchtlicher Geschwindigkeit fortgetrieben werden muß. Diese Teilchen „erregter“ Aktivität werden in ihrem Fluge mit den Molekülen des Gases, in dem sie erzeugt werden, zusammenstoßen, und es wird angenommen, daß bei einem gewissen Prozentsatz dieser Zusammenstöße ein negatives Teilchen abgeschleudert wird, und die erregte Aktivität positiv geladen zurückbleibt. — Diese positiv geladene Aktivität schlägt sich auf einen in die Nähe gebrachten negativ geladenen Leiter nieder. Gerdien<sup>1)</sup> bestimmte nun nach einem sehr genialen Verfahren die Beweglichkeit der Träger dieser radioaktiven Induktionen. Er fand, daß die positiv geladenen Träger in einem Feld von  $\frac{1 \text{ Volt}}{\text{cm}}$  innerhalb sehr weiter Grenzen, nämlich zwischen 0,00007 und  $2.5 \frac{\text{cm}}{\text{sek.}}$  sich bewegen.

Auf diese Beweglichkeit könnte nun die Wetterlage von entscheidendem Einfluß sein. Wir können annehmen, daß die Träger der Induktionen große Neigung zeigen, sich an die in der Atmosphäre schwebenden Stoffe, wie Wasserteilchen, Staubpartikelchen etc. anzulagern. Dadurch würden sie einen großen Teil ihrer Beweglichkeit einbüßen.

Vergleichen wir nun diese Annahme mit unsern Resultaten, so finden wir, daß alle Bedingungen für eine hohe Aktivierungszahl mit denjenigen für eine größere Beweglichkeit der Induktionsträger übereinstimmen: Ostwinde, zumal die mit nördlicher Komponente, sind für Kiel staubfrei; ebenso bedeutet hohe Transparenz der Luft das Fehlen von Staub und Wassertröpfchen. Klare Frosttage begünstigen ebenfalls die größere Beweglichkeit der Träger. Die Annahme, daß gerade an Frosttagen größere Mengen Emanation aus dem Boden entweichen sollten, liegt doch ganz fern, denn die Durchlässigkeit des Bodens wird durch Frost keineswegs erhöht. Von anderen Beobachtern wurde die Tatsache gefunden, daß in der Nähe der Städte und in diesen selbst, also in einer raucherfüllten Atmosphäre, die Aktivität geringer sei. Ferner spricht für unsere Annahme, daß hohe Werte für  $A$  mit geringer relativer Feuchtigkeit zusammenfielen. Bei Nebel können wir annehmen, daß sehr große

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 6, pag. 465, 1905, und Abhandl. der Königl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen. Neue Folge 5, 1907.



Mengen Emanation über dem Boden festgehalten und angehäuft werden, und so, trotz der herabgesetzten Beweglichkeit der Induktionen, zu hohen Werten von  $A$  führen.

Wir werden also durch das Studium über den Zusammenhang der meteorologischen Elemente mit der Radioaktivität der Atmosphäre zu dem Ergebnis geführt, daß wir nach dem Elster- und Geitel'schen Verfahren wahrscheinlich gar keine Schwankungen des Radiumgehaltes in der Atmosphäre feststellen, sondern nur die mehr oder minder große Beweglichkeit der Träger der radioaktiven Induktion.

Daß auch Schwankungen des Radiumgehaltes vorhanden sind, ist natürlich, es ist aber sehr wohl möglich, daß wir bei relativ größerem Radiumgehalt eine der Wetterlage entsprechende kleinere Aktivierungszahl  $A$  erhalten. Die geringere Beweglichkeit der Induktionsträger verdeckt dann den Einblick in den tatsächlich vorhandenen Radiumgehalt.

---

## II. Teil.

### Über die Beschaffenheit der radioaktiven Substanzen in der Atmosphäre.

Elster und Geitel waren die ersten, die sich die Aufgabe stellten, die radioaktiven Stoffe der Atmosphäre einer Prüfung auf ihre Eigenschaften hin zu unterziehen. In dem Studium der Radioaktivität war man in Frankreich und England schon recht weit fortgeschritten. In Frankreich waren es die Curies, die überraschend schnell in das Wesen des Radium-Strahlungsprozesses eindringen, während Rutherford<sup>1)</sup> in England die Theorie der stufenweise verbundenen Umwandlungsprozesse erforschte. Es gelang letzterem, die sehr komplizierten Verhältnisse der Umwandlung klarzulegen; er bezeichnete die Folge von Stoffen, wie sie aus der Emanation temporär sich bildeten, mit den Buchstaben des Alphabets. Jedes Individuum dieser Folge von Substanzen zeigt eine im Laufe der Zeit nach dem Gesetz einer geometrischen Reihe abnehmende Strahlungs-Intensität. Stellt man die Intensität der Strahlung ( $J$ ) als

---

<sup>1)</sup> Rutherford, Radioaktivität, pag. 340.

Funktion der Zeit dar, so erhält man einfache Exponential-Kurven nach der Gleichung:

$$J = J_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Hierin bedeutet  $J_0$  die Anfangs-Intensität,  $\lambda$  die Abfallskonstante,  $t$  die Zeit. Die Abfallskonstante besagt, wieviel von der Strahlungs-Intensität in der Zeiteinheit verloren geht. Für jede Substanz ist ihre „Halbwertskonstante“ charakteristisch. Man versteht unter dieser Konstanten die Zeit, die vorübergeht, während die Intensität auf die Hälfte ihres Anfangsbetrages sinkt. Setzt man die Halbwertskonstante =  $\vartheta$ , so findet man leicht die Abfallskonstante aus der Gleichung:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} J_0 &= J_0 \cdot e^{-\lambda \cdot \vartheta} \text{ also} \\ \lambda &= \frac{\log 2}{\vartheta \cdot \log e.} \end{aligned}$$

Nun sind aber die radioaktiven Stoffe in ständiger Umwandlung begriffen, so daß man es nie mit einem einheitlichen Stoff zu tun hat. Dadurch werden die Abklingungsverhältnisse außerordentlich verwickelt, zumal wenn Stoffe von kleiner Halbwertskonstante auftreten, die noch ein Glied ohne Strahlung zwischen sich aufnehmen.

Z. B.: P. Curie und J. Danne beobachteten die Abklingung eines der Radiumemanation ausgesetzten Drahtes <sup>1)</sup> und fanden, daß diese Abklingung durch folgende Gleichung charakterisiert wurde:

$$J = J_0 (a \cdot e^{-\lambda_1 t} - (a - 1) \cdot e^{-\lambda_2 t}).$$

Hierin bedeutet  $J$  die Intensität zur Zeit  $t$

$J_0$  die Intensität zur Zeit der Unterbrechung der Exposition.

$$\begin{array}{ccc} a = 4.2 & \lambda_1 = \frac{1}{2420} & \lambda_2 = \frac{1}{1860} \\ & \text{Radium C} & \text{Radium B} \end{array}$$

Elster und Geitel aktivierten nun einen Draht in der freien Atmosphäre und beobachteten die Abklingung. Für bestimmte gemeinsame Zeiten wurden die aus obiger Formel berechneten und die beobachteten Werte zusammengestellt. Die Wertepaare wurden durch einen passenden Faktor aufeinander reduziert. Beim Vergleich zeigte sich angenähert Übereinstimmung der Werte <sup>2)</sup>. Diese Übereinstimmung jedoch war nicht exakt genug, als daß man daraus

<sup>1)</sup> Skłodowska Curie, Ann. d. Physik 12, pag. 110, 1903.

<sup>2)</sup> Phys. Zeitschr. 5, pag. 11, 1904.

nun hätte folgern können, daß die Radioaktivität lediglich auf eine Radium-Emanation zurückzuführen sei.

Rutherford und Allan<sup>1)</sup> fanden bei ihren Untersuchungen, daß die luftinduzierte Aktivität in etwa 45 Minuten auf die Hälfte nach einem einfachen Exponentialgesetz sinkt. Bumstead<sup>2)</sup> fand zwar eine Ähnlichkeit in den Kurven der in Radiumemanation und Luft aktivierten Drähte, doch beobachtete er, daß die luftaktivierten Drähte gegen Ende langsamer abklingen. Durch Verlängerung der Beobachtungs- und auch der Expositionsdauer fand man dann, daß die Intensität in den ersten beiden Stunden rasch abnahm, dann aber ihre Halbwertskonstante änderte; in ihrem letzten Teil zeigte die Kurve eine Halbwertskonstante von etwa  $10\frac{1}{2}$  Stunden. Diese Halbwertskonstante ist charakteristisch für die induzierte Thoriumaktivität. Damit waren Radium und Thorium sicher festgestellt. Des öfteren zeigten sich aber Unregelmäßigkeiten in den Kurven, die daraufhin aufs schärfte analysiert wurden. Radium und Thorium allein konnten die Abfallgeschwindigkeit der Intensität nicht immer erklären. Aktinium schien auch der Störenfried nicht zu sein. Ob ein anderer noch unbekannter radioaktiver Stoff mit im Spiele ist, konnte bis heute nicht sicher festgestellt werden. In eingehender Weise hat sich Runge<sup>3)</sup> mit der Lösung dieser Frage beschäftigt.

Wir beschränken uns in unsern Versuchen lediglich darauf, die Radium- und Thorium-Kurven zu untersuchen.

Schon in dem ersten Teil der Arbeit wurden wir darauf geführt, an das Studium der Abklingung heranzugehen. Wir erhielten für Kiel bisweilen sehr hohe Werte der Aktivierungszahl. Die Blättchen des Elektroskops fielen dann mit ziemlicher Geschwindigkeit zusammen. Diesen Potentialverlust hätte man vielleicht auf einen plötzlich eintretenden Defekt in der Isolation schieben können. (Führt man den sehr kalten Draht in die wärmere Ionisierungskammer ein, so kann der Fall eintreten, daß durch Abkühlung der Wasserdampf in der Kammer sich kondensiert und die Bernsteinisolation gefährdet.) Erhielten wir nun hohe Werte für  $A$ , so untersuchten wir die Abklingung und hatten damit eine sehr sichere Kontrolle über die Richtigkeit dieser Werte. Verfolgten wir die

1) Allan, Phil. Mag., pag. 140, Februar 1904. Rutherford und Allan, Phil. Mag. 4, pag. 704, 1902. Phys. Zeitschr. 3, pag. 225, 1902.

2) Bumstead, Phys. Zeitschr. 5, pag. 505, 1904.

3) C. Runge, Göttingische Gelehrte Anzeigen 1907, pag. 211.



Abklingung eine Stunde hindurch und fügte sich die erhaltene Kurve den Abklingungsgesetzen, so durften wir unsere Werte als unbedingt richtig annehmen.

1. Um die Kurven zu erhalten, schlugen wir zunächst das von Elster und Geitel angegebene Verfahren ein<sup>1)</sup>: Wir schließen die Exposition zur Zeit  $t = 0$ ; dann beginnen wir beispielsweise unsere erste Messung zur Zeit  $t = 9$  Minuten und beenden sie zur Zeit  $t = 11$  Minuten. Der Abfall der Kurve kann innerhalb dieses Zeitraums von 2 Minuten als linear angesehen werden, daher dürfen wir die erhaltene Intensität (in Volt Potentialverlust)  $= J_{10}$  setzen, d. h. Intensität zurzeit 10 Minuten. In dieser Weise wurden die Messungen fortgesetzt. Benutzten wir zwei Drähte, die in verschiedenen Höhen exponiert worden waren, so war das Verfahren ebenso einfach. Wir setzten das Elektroskop bald auf die Ionisierungskammer des oberen, bald auf die des unteren Drahtes. Die Intervalle zwischen den einzelnen Messungen eines Drahtes für sich reichten bei weitem aus, uns eine exakte Abklingungskurve zu liefern. Z. B. konnte gemessen werden:

Für den oberen Draht  $J_{10}, J_{20}, J_{30}, \dots$   
für den unteren Draht  $J_{15}, J_{25}, J_{35}, \dots$

Die beiliegende Tafel I zeigt eine derartige Messung für oberen und unteren Draht ( $12\frac{1}{2}$  m und 1 m hoch) vom 21. Oktober 1910. Die Anfangs-Intensitäten waren sehr groß, und zur Kontrolle für die Richtigkeit der hohen Aktivierungszahlen wurde die Abklingung über zwei Stunden lang beobachtet. Auf der Abszisse sind die Zeiten aufgetragen; auf der Ordinate bezeichnen willkürliche Einheiten die Intensität. Der besseren Übersicht halber wurden die Anfangsintensitäten beider Drähte für dieselbe Zeit  $t = 0$  angesetzt. (Bei den Versuchen erhielten wir die Anfangsintensitäten um  $15'$  verschoben.) Die Kurven zeigen in den beiden ersten Stunden einen ziemlich gleichartigen Verlauf. Der obere Draht klingt mit einer Halbierungskonstante von  $49'$  ab, der untere Draht hat die Halbierungskonstante  $50'$ , unter der Voraussetzung, daß wir den Verlauf der Kurven in den beiden ersten Stunden in Betracht ziehen.

Dies Verfahren wurde nun jedesmal angewandt, wenn wir eine Aktivierungszahl über 20 erhielten. Zeichneten wir alle diese Kurven für den unteren Draht auf, so konnten wir durch Multiplikation mit einem (konstanten) Faktor erreichen, daß sämtliche Kurven in den

<sup>1)</sup> Phys. Zeitschr. 5, pag. 11, 1904.

ersten  $1\frac{1}{2}$  Stunden zur Deckung gelangten. Dasselbe ergab sich für die Kurven des oberen Drahtes. Als Beispiel haben wir nur eine Kurve vom 15. September (Tafel I) für den unteren Draht aufgezeichnet. Multiplizieren wir irgendeine herausgegriffene Intensitätsgröße mit dem Faktor 1.66, so bekommen wir einen Punkt der Kurve vom 21. Oktober (unterer Draht) und zwar für dieselbe Zeit. Die Halbwertskonstante von 50' wurde so durch jede einzelne Kurve aufs neue bestätigt. Nach Verlauf von 3 Stunden war die Intensität der Strahlung in den meisten Fällen soweit abgeklungen, daß ein weiteres Verfolgen der Kurven nicht mehr zugänglich war.

2. Um dies dennoch zu ermöglichen, wurde eine Reihe besonderer Versuche angestellt. Die Expositionszeit wurde verlängert. Mit Hilfe der Zamboni-Säule luden wir den oberen und unteren Draht auf ein negatives Potential von etwa 1500 Volt. Die Länge der Drähte wurde auf 20 m erhöht. Wir beließen den oberen Draht in der Höhe von  $12\frac{1}{2}$  m, während wir den unteren Draht 15—20 cm über dem Erdboden ausspannten. Nach einer Exposition von 24 Stunden wickelten wir die Drähte nacheinander auf ihre Trommeln und führten diese in die Ionisierungskammer ein. Um die Abklingung festzustellen, schlugen wir diesmal einen zweckmäßigen Weg ein, wie ihn uns C. Runge<sup>1)</sup> gibt. Wir benutzten nur ein Blättchen des Elektroskops. Passierte dieses den Teilstrich 18 der Skala, so notierten wir die Zeit, und im Moment, wo das Blättchen den Teilstrich 15 erreichte, markierten wir abermals die Zeit. Die zwischen beiden Marken verstrichene Zeit ist dann dem Entladungsstrom umgekehrt proportional. Wir bildeten also die reziproken Werte der Zeiten, multiplizierten alle Werte mit ein und demselben Faktor und zeichneten die so erhaltenen Werte als Ordinaten ein. Die andere Achse bildet wieder die Zeitachse. Die Methode hat den Vorteil, daß eine Eichung des Meßinstruments völlig entbehrlich wird, und man sich von den Fehlern, die einer Eichung stets anhaften, unabhängig macht.

Wie schon im ersten Teil erwähnt wurde, lagen die Aktivierungszahlen des oberen Drahtes stets etwas höher. Dies zeigen uns auch die Kurven vom 9. Dezember 1910 (Tafel II). Für beide Kurven wurde derselbe Faktor verwandt, so daß die Anfangsintensität des oberen Drahtes höher lag, als die des unteren.

Nach Verlauf von  $\frac{5}{4}$  Stunden tritt eine Durchsetzung der Kurven ein. Die Aktivität des oberen Drahtes klingt weiter in der

---

<sup>1)</sup> C. Runge, Göttingische Gelehrte Anzeigen, pag. 212, 1907.

bekannten Weise mit einer Halbwertskonstante von 49' ab, während die Halbwertskonstante des unteren Drahtes wächst. Tafel III zeigt dieselbe Kurve des unteren Drahtes in anders gewähltem Maßstabe und gewährt so einen Einblick in den weiteren Verlauf der Kurve, die noch nach 22 Stunden bequem verfolgt werden konnte. Für den letzten Teil der Kurve ergibt sich eine Halbwertskonstante von  $10\frac{3}{4}$  Stunden, wir erhalten also die für Thoriuminduktionen charakteristische Zahl. Trennen wir die Kurve, indem wir die Thoriumkurve bis zur Ordinatenachse rückwärts verlängern (siehe punktierte Kurve), oder die Intensität zur Zeit  $t = 0$  aus der Halbwertskonstante berechnen, also:

$$4,2 \times 2 = 8,4 \text{ Thorium-Einheiten}$$

$$\text{entsprechen } 26,2 \text{ Radium-Einheiten,}$$

so ergibt sich, daß 24% der Strahlung auf den Gehalt der Atmosphäre an Thorium kommt.

Wegen des schnellen Zerfalls der Thoriumemanation (H. C. = 54'') ist zu erwarten, daß großer Thoriumgehalt sich in der Nähe des Erdbodens zeigt, während mit der Höhe der Thoriumgehalt abnimmt. Schon Gockel<sup>1)</sup> konstatierte diese Tatsache. Auffällig war es, daß die Kurve des oberen Drahtes in ihrem letzten Verlauf keinen Thorium-Typus zeigte.

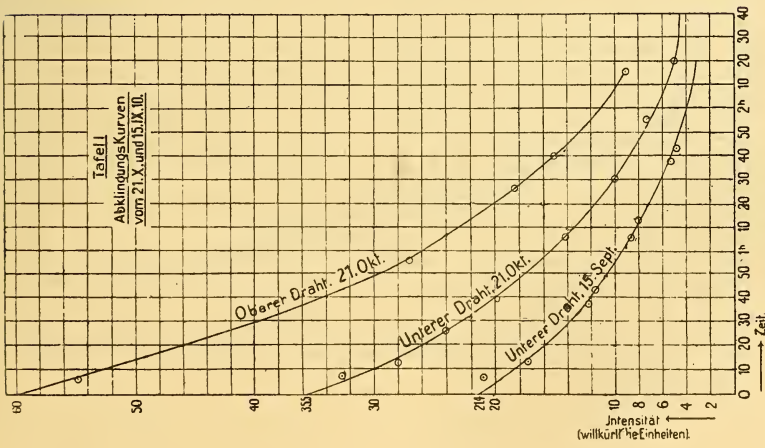
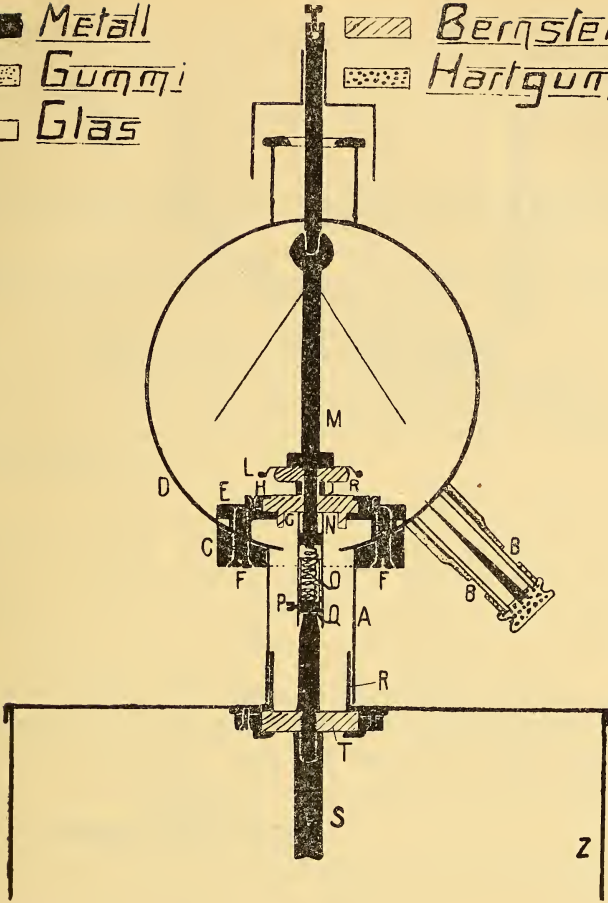
Weitere Versuche wurden unternommen, um diese Erscheinung ins einzelne zu verfolgen. Ein etwa 45 m langer, 0,5 mm dicker Kupferdraht wurde 12 m über dem Erdboden ausgespannt und in leitende Verbindung mit der Erde gesetzt. Infolge der Wirkung des Erdfeldes bekamen wir nach 3- und 4-tägiger Exposition hohe Aktivität des Drahtes. Die erhaltenen Abklingungskurven zeigten aber genau dieselben Eigenschaften wie die des 24 Stunden aktivierten Drahtes. Es war keine Spur von Thoriumaktivität festzustellen. Wir müssen also annehmen, daß bereits in einer Höhe von 12 m in Kiel keine Abkömmlinge des Thoriums mehr vorhanden sind.

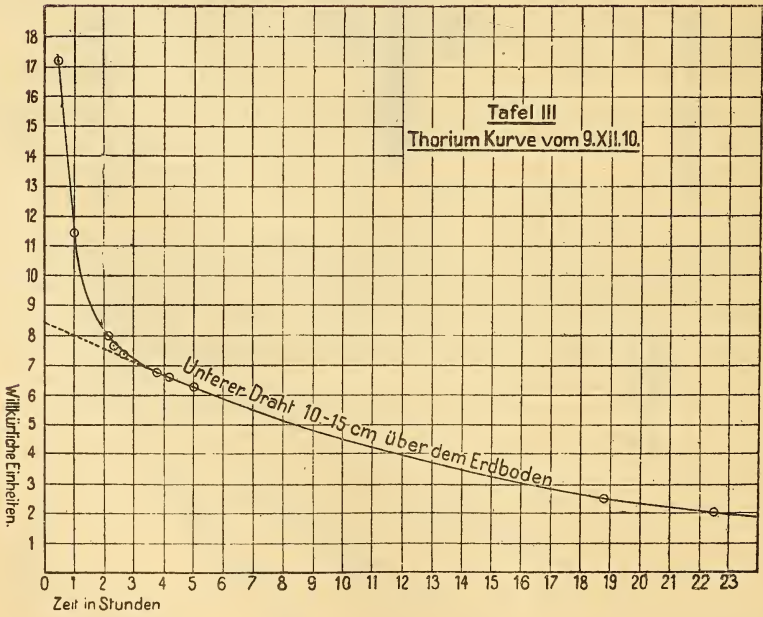
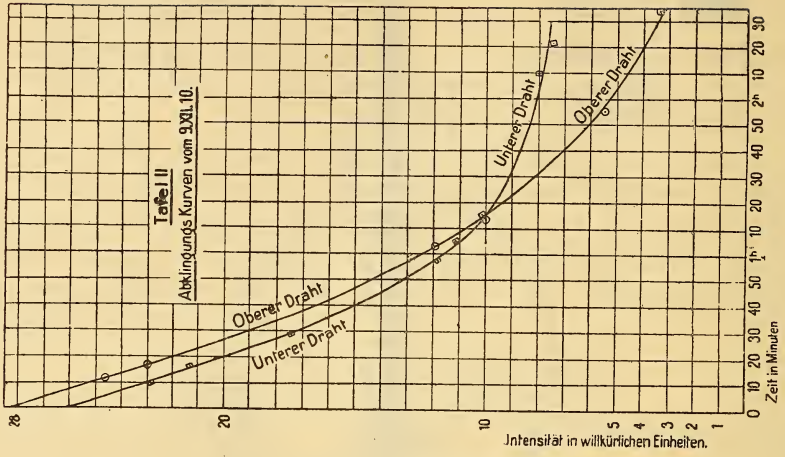
---

<sup>1)</sup> Gockel, Phys. Zeitschr. 8, pag. 701, 1907.



- Metall
- Gummi
- Glas
- Bernstein
- Hartgummi





# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein](#)

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: [15](#)

Autor(en)/Author(s): Lindemann Max

Artikel/Article: [Die Radioaktivität der Atmosphäre in Kiel und ihre Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. 99-126](#)