

Ueber die Ionisierung der Luft durch Wasser.

Von

F. Himstedt.

1. Um die überaus interessanten Versuche der Herren ELSTER und GEITEL über die Elektrizitätszerstreuung in abnorm leitender Luft, (Kellerluft, Bodenluft etc.) nachmachen zu können, habe ich zuerst ein älteres Elektroskop von MÜLLE-URI, später ein nach den Angaben der genannten Autoren von GÜNTHER und TEGETMEYER in Braunschweig angefertigtes Elektroskop benutzt und mich auch sonst durchweg der von ELSTER und GEITEL¹ angegebenen Versuchsanordnung eng angeschlossen. Das Elektroskop mit Zerstreungskörper und umgebendem Cylinder stand auf dem Boden eines 36 cm weiten, 43 cm hohen Glasgefäßes, das innen vollständig mit zur Erde abgeleitetem Messingdrahtnetz von 1 mm Maschenweite ausgekleidet war. Das Drahtnetz hatte an der Vorderwand des Glasgefäßes eine Oeffnung von 3×2 cm, durch welche hindurch mit einem in 1,5 m Entfernung aufgestellten kleinen Fernrohre die Stellung des Goldblättchens an der Skala abgelesen wurde. Es wurde stets nur ein Goldblatt beobachtet und jedesmal die Zeit abgelesen, zu welcher dasselbe einen ganzen Teilstrich passierte, und aus diesen Beobachtungen dann der Verlust für 60 Minuten berechnet. Durch diese Anordnung war eine ausserordentlich scharfe und sichere Ablesung möglich, und ich möchte gleich hier bemerken, dass sich das Elektroskop mit *Na*-Trocknung vorzüglich bewährt hat. Dass das Drahtnetz im Innern des Glasgefäßes einen absolut sicher schützenden FARADAYSchen Käfig bildete, wurde durch besondere Versuche festgestellt. Der Deckel des Glasgefäßes hatte drei Boh-

¹ Physik. Zeitschrift II 560. 1901.

rungen, durch die mittlere konnte das Elektroskop geladen werden, in die beiden anderen waren Glasröhren mit Hähnen eingekittet für die Zu- resp. Ableitung der zu untersuchenden Gase. Beide Glasröhren befanden sich ausserhalb des Drahtkäfigs, die eine reichte bis zum Boden des Gefässes, die andere endete direkt unter dem Glasdeckel, aber noch oberhalb des Deckels des Drahtkäfigs. Ausserdem hing in dem Gefässe noch ein KLINKERFUESSCHES Haarhygrometer.

Wie zu erwarten, war es mir ohne Schwierigkeiten möglich, nach den genauen Angaben der Herren ELSTER und GEITEL deren Versuchsergebnisse zu bestätigen. In einem Keller unter einem vor zwei Jahren errichteten Gebäude wurden drei Wochen Fenster und Thüren geschlossen gehalten. Wurde nach dieser Zeit aus dem Raume ca. 20 Minuten lang Luft durch das oben beschriebene Gefäss gesaugt, so zeigte das Elektroskop in 60 Minuten einen Spannungsverlust von 180—220 Volt, während in Zimmerluft unter sonst gleichen Verhältnissen in derselben Zeit der Abfall 28 Volt betragen hatte. Zu gleicher Zeit mit dem Keller war ein Raum im 2. Stocke des Gebäudes, dessen Voluminhalt etwas grösser als der des Kellers war, abgeschlossen worden, und zwar möglichst luft- und lichtdicht. In diesem Raume war nach vier Wochen keine irgendwie nennenswerte Steigerung der Leitfähigkeit der Luft zu konstatieren. In Uebereinstimmung hiermit liessen sich Drähte und Drahtnetze nach der von ELSTER und GEITEL angegebenen Methode im Keller stark aktivieren, in dem erwähnten Zimmer nur kaum nachweisbar. Auch die Beobachtung, dass aus dem Erdboden gesaugte Luft eine sehr hohe Leitfähigkeit besitzt, habe ich leicht bestätigen können.

2. Bei diesen Versuchen habe ich nun durch Zufall eine Beobachtung gemacht, deren weitere Verfolgung mir interessant erschien, weil ich es nicht für unmöglich halte, dass sie zur Erklärung der Ionenbildung in der Luft beitragen kann. Als die untersuchte Luft aus dem oben erwähnten grossen Glasgefässe ausgesaugt werden sollte, war durch ein Versehen der Schlauch nicht an das Saugrohr, sondern an das Blasrohr der mit Gebläsevorrichtung versehenen Wasserstrahlpumpe gesetzt worden. Es wurde also nicht die Luft aus dem Glasgefässe herausgesaugt, sondern es wurde die durch die Wasserstrahlpumpe angesaugte und mit dem Wasser fortgerissene Luft in das Gefäss hineingeblasen, in derselben Weise, wie sonst etwa diese Luft zur Bethätigung einer Gebläselampe benutzt wird. Der Irrtum wurde nicht bemerkt, ich glaubte Zimmerluft im Apparate zu haben, und war nicht wenig erstaunt, die Blätter des Elektro-

skops nach der Ladung zusammenfallen zu sehen mit einer Geschwindigkeit, wie ich sie noch bei keinem Versuche gesehen hatte. Als jetzt der erwähnte Irrtum erkannt wurde, glaubte ich natürlich, den Grund in der eingeblasenen Feuchtigkeit suchen zu müssen, obgleich das Hygrometer nur 56% gegen sonst 20—30% zeigte. Ich nahm den Apparat sofort auseinander und fand zu meiner Ueberraschung, dass das Elektroskop nach wie vor vorzüglich isolierte.

Das schnelle Zusammenfallen der Goldblättchen konnte also nicht durch Oberflächenleitung, etwa eine auf der Bernsteinstütze gebildete Wasserhaut bedingt sein, sondern musste auf eine enorm gesteigerte Leitfähigkeit der durch die Wasserstrahlpumpe mitgerissenen Luft zurückgeführt werden.

Weitere Versuche bestätigten diese Vermutung vollauf. Um den Einfluss etwa mitgerissener Feuchtigkeit auszuschliessen, wurden bei allen weiteren Versuchen die in den Versuchsapparat zu füllenden Gase vorher sorgfältig getrocknet, indem man sie durch drei je 50 cm lange Röhren langsam hindurchströmen liess, von denen die erste mit $CaCl_2$, die beiden anderen mit P_2O_5 gefüllt waren. Auf diese Weise wurde erreicht, dass das Hygrometer bei keiner Füllung mehr als 15% relative Feuchtigkeit anzeigte und dass diese im Gefässe angenähert (bis auf 2%) immer die gleiche Höhe hatte, sowohl wenn Zimmerluft oder Luft aus dem Freien als auch wenn die durch das Wasser gepresste Luft eingefüllt war. Um eine möglichenfalls vorhandene Elektrisierung der Luft (Wasserfallelektrizität) zu beseitigen, wurde dieselbe durch ein 100 cm langes Rohr geleitet, das mit zwölf Schichten abwechselnd aus Watte und aus zur Erde abgeleiteter Kupferwolle¹ gefüllt war. Bei diesen Trockenvorrichtungen hielt das Na -Stückchen in dem Elektroskop 2—3 Wochen lang, und der Spannungsverlust in dem Elektroskop allein, ohne Zerstreungskörper, war so gering, dass es kaum je nötig war, ihn in Rechnung zu setzen.

Es möge zunächst ein Beispiel für das Verhalten der durch die Wasserstrahlpumpe gegangenen Luft angeführt werden.

Am 18./10. 02 wird 15 Minuten lang bei offenem Fenster Zimmerluft durch den Apparat gesaugt. Hierauf wird das Elektroskop auf 208 Volt geladen². Für 60 Minuten ergibt sich ein Ver-

¹ Einer hiesigen Firma, Bühne & Co., ist es gelungen, alle Metalle in so feine Streifen zu schneiden, dass man Metallwolle erhalten kann, die der Glaswolle an Feinheit nicht nachsteht.

² Die Ladung des Elektroskops erfolgte bei allen Messungen mittelst einer

lust von 8,12 Volt. Hierauf wird 15 Minuten lang, von 11^h 00^m bis 11^h 15^m, mit dem Wasserstrahlgebläse Luft durchgeblasen. Der Verlust, auf 60 Minuten umgerechnet, ergibt sich in Volt:

11 ^h 20 ^m	12 ^h 20 ^m	2 ^h 30 ^m	6 ^h 50 ^m
632	733	852	786

Die Luft wurde in dem Gefässe gelassen und ergab an den folgenden Tagen

19./10.	20./10.	21./10.	22./10.	23./10.	24./10.	25./10.
728	630	520	440	370	300	240

Aehnliche Resultate ergaben alle in dieser Weise angestellten Versuche, und man erkennt wohl auf den ersten Blick, dass diese durch das Wasser hindurchgepresste Luft genau dasselbe Verhalten zeigt, wie die Kellerluft resp. die aus dem Boden angesaugte Luft in den ELSTER- und GEITELschen Versuchen. Sofort nach dem Einfüllen ausserordentlich hoch gesteigerte Leitfähigkeit der Luft, die im Verlaufe von einigen Stunden bis zu einem Maximum anwächst, um dann sehr langsam abzufallen. Hierdurch wird aber die Frage nahe gelegt, ob nicht auch bei den Versuchen von ELSTER und GEITEL die grosse Leitfähigkeit der Kellerluft etc. bedingt resp. zum mindesten mit bedingt sei dadurch, dass im Erdboden und auch in feuchten Kellern die Luft durch die mit feinst verteilten Wassertröpfchen bedeckten Erdmassen hindurch- resp. an ihnen vorbeistreich, dass also auch in diesen Fällen die Luft ihre hohe Leitfähigkeit dadurch erlangt hat, dass sie in innige Berührung mit dem Wasser gebracht ist.

Um dies zu untersuchen, wurde ein Blechgefäss von 75 cm Höhe, 20 cm Durchmesser mit fein zerstückeltem Coaks gefüllt, der mehrere Tage auf über 100° C. erhitzt und dadurch vollkommen getrocknet war. In der Mitte des Gefässes war ein 2 cm weites Glasrohr aufgestellt, das fast bis auf den Boden des Gefässes reichte. Letzteres hatte am Boden einen Hahn, um dort sich ansammelndes Wasser ablassen zu können. Wurde Zimmerluft durch den trockenen Coaks in das Untersuchungsgefäss gesaugt, so konnte niemals eine Erhöhung der Luftleitfähigkeit beobachtet werden, eher in einzelnen Versuchen eine ganz geringe Abnahme, die vielleicht darauf zurückzuführen ist, dass trotz des Watterohres von dem äusserst feinen

Cu, Zn, MgSO₄-Batterie, und zwar wurde stets auf die gleiche Höhe von 208 Volt geladen.

Coaks Staub in den Apparat gelangte. Wurde aber nun derselbe Coaks reichlich befeuchtet und dann 20—30 Minuten Luft durch denselben in den Apparat gesaugt, so zeigte sich die erhöhte Leitfähigkeit genau in derselben Weise wie bei Kellerluft oder aus dem Erdboden angesaugter Luft. Z. B. Zimmerluft, 20 Minuten lang durch **trockenen** Coaks gesaugt, ergibt in 60 Minuten Spannungsverlust von 9,1 Volt. Zimmerluft, 20 Minuten lang durch den **nassen** Coaks in den Apparat gesaugt, ergibt in der gleichen Zeit 39,2 Volt Abfall.

Dieselben Resultate wurden erhalten, als der Coaks durch grobkörnigen Sand ersetzt wurde, ja es war möglich, absolut sichere Wirkungen zu erzielen dadurch, dass man ein ca. 50 cm langes Glasrohr mit Glaswolle dicht anfüllte, zuerst in Wasser tauchte, nach dem Herausziehen kurze Zeit abtropfen liess und dann 30 Minuten lang Luft durch die feuchte Glaswolle hindurch in den Apparat einsaugte. Ebenso unzweideutig konnte endlich die erhöhte Leitfähigkeit der Luft erreicht werden, wenn man dieselbe einfach durch mehrere hintereinander geschaltete Waschflaschen mit Wasser streichen liess. Um recht feine Bläschen zu erzielen, waren die Glasröhren, aus welchen die Luft in das Wasser eintrat, nur mit ganz feinen Austrittsöffnungen versehen.

3. Mit Hilfe des Durchsaugens durch Waschflaschen war es nun auch möglich zu untersuchen, ob andere Flüssigkeiten dieselbe oder doch ähnliche Wirkungen hervorbrachten wie das Wasser. Es zeigte sich, dass sorgfältig destilliertes Wasser genau dieselben Werte der Luftleitung erzeugte wie Leitungswasser oder Regenwasser. Ein Zusatz von $NaCl$ oder $CuSO_4$ oder H_2SO_4 gab keine Aenderung, welche die Beobachtungsfehler überstiegen hätte. Petroleum (sog. Kaiseröl), Vaselineöl, Benzol hingegen gaben gar keine Wirkung.

Wie schon erwähnt, war bei dieser Versuchsordnung die Zunahme der Leitfähigkeit der Luft auch dann nur eine geringe, 5—10 %, wenn die Waschflaschen, durch welche die Luft gesaugt wurde, mit Wasser oder Salzlösungen oder verdünnten Säuren gefüllt waren. Es wäre deshalb nicht unmöglich gewesen, dass der Effekt bei den isolierenden Flüssigkeiten nur um deswillen nicht beobachtet werden konnte, weil er, in schwächerer Masse auftretend, durch die Beobachtungsfehler verdeckt wurde. Ich suchte deshalb nach einem Verfahren, bei welchem es möglich war, stärkere Wirkungen zu erzielen und gelangte auf folgende Weise zum Ziele.

Mit dem LINDESchen Kompressor wurde Luft auf ca. 180 Atm. komprimiert. Da hierbei gemäss der Konstruktion des Apparates die Luft schon mit fein verteiltem Wasser in innige Berührung kommt, so kann es nicht wundernehmen, dass sie hierbei schon eine grössere Leitfähigkeit erhielt. Man liess die Luft deshalb meist mehrere Tage stehen, damit die Leitfähigkeit wenigstens zum grössten Teile wieder verschwand. Hierauf liess man die Luft aus einem Glasrohre, das am Ende mit einer Anzahl feiner Oeffnungen versehen war, oder meist aus einem Metallrohre, dessen eines Ende mit feinmaschigem Drahtnetz verschlossen war, ausströmen in eine WULFFSche Flasche, durch deren einen Tubulus das eben erwähnte Ausströmungsrohr so geführt war, dass es ca. 1 cm über dem Boden der Flasche endigte. Aus dem anderen Tubulus strömte die einblasene Luft dann durch ein weites Glasrohr in eine ca. 50 l fassende Glasflasche. Der Hahn des Metallcylinders, in welchem die komprimierte Luft sich befand, wurde hierbei sehr vorsichtig so gestellt, dass ein Manometer, welches zwischen dem Kompressionscylinder und der WULFFSchen Flasche eingeschaltet war, stets 30—32 cm *Hg*-druck anzeigte, die Luft also immer unter demselben Drucke ausströmte. Man liess bei jedem Versuche 160 l ausströmen, so dass man annehmen darf, dass die 50 l fassende Glasflasche gut mit der Luft ausgespült und angefüllt wurde. Nach dem Durchströmen resp. Füllen der Flasche wurde diese mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen, und nun die Luft langsam durch einflussendes Wasser in die Trockenröhren und den Versuchsapparat geleitet. Eine mit H_2SO_4 gefüllte Waschflasche am Austrittsrohre des Apparates gestattete, die Schnelligkeit des Durchströmens zu beurteilen. Ein Versuch verlief nun in folgender Weise:

a) Man liess 160 l Luft aus dem Kompressor in der beschriebenen Weise ausströmen, während die WULFFSche Flasche leer, sorgfältig getrocknet, war. Die Luft wurde auf ihre Leitfähigkeit untersucht.

b) Man liess 160 l Luft ausströmen, wobei aber jetzt die WULFFSche Flasche etwa bis zu halber Höhe mit 2 l der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt war, so dass die Luft in ganz fein verteilten Bläschen energisch durch die Flüssigkeit geblasen wurde. Die Luft wurde ebenfalls auf ihre Leitfähigkeit untersucht.

c) Der erste Versuch wurde wiederholt.

Vor jedem neuen Versuche wurde durch den Apparat, in dem das Elektroskop sich befand, zwei Stunden lang getrocknete Zimmer-

luft durchgesaugt und festgestellt, dass die Leitfähigkeit wieder die normale geworden war. Die Sicherheit, mit der sich hierbei immer die gleichen Versuchsbedingungen wieder herstellen liessen und mit der unter gleichen Bedingungen auch gleiche Resultate erhalten wurden, lässt sich am besten daraus erkennen, dass die bei a und c beobachteten Leitfähigkeiten nie um mehr als 5 % von einander verschieden waren. Der Unterschied der bei b beobachteten Leitfähigkeit gegen das Mittel aus a und c darf angesehen werden als hervorgerufen durch das Durchströmen der Luft durch die betreffenden Flüssigkeiten.

Untersucht wurden: Destilliertes Wasser, Leitungswasser, Regenwasser, wässerige Lösungen von $CuSO_4$ (10 %), H_2SO_4 (30 %), $NaCl$ (10 %), Kaiseröl, Paraffinöl, Benzol, Aethylalkohol, Nitrobenzol.

Bei Wasser und wässerigen Lösungen wurde unter gleichen Bedingungen für alle derselbe Betrag der Luftleitfähigkeit beobachtet, von den übrigen Substanzen liessen nur Alkohol und Nitrobenzol bei einigen Versuchen einen die Versuchsfehler übersteigenden Einfluss auf die Leitfähigkeit der Luft erkennen.

Endlich habe ich mit den genannten Flüssigkeiten mich dem Ausgangsversuche mit der Wasserstrahlpumpe soweit als möglich zu nähern gesucht, indem ich eine solche Pumpe dadurch zu betätigen suchte, dass ich die Flüssigkeiten aus einem 3 m über dem Fussboden aufgestellten Gefässe in die Pumpe fliessen liess. Die unten angekommene Flüssigkeit wurde stets wieder oben nachgefüllt. Auch hierbei erhielt ich dieselben Resultate. Ob die geringen Wirkungen, welche bei Alkohol und Nitrobenzol erhalten wurden, auf beigemischte Spuren von Wasser zurückzuführen sind, oder ob wirklich diese beiden Flüssigkeiten mit den hohen Dielektrizitätskonstanten eine dem Wasser ähnliche Wirkung ausüben, vermag ich noch nicht zu entscheiden. Der Alkohol wurde von gebranntem Kalk abdestilliert, das Nitrobenzol war in der Fabrik von Kahlbaum aus krystallisiertem Benzol dargestellt.

Mit den beiden letztgenannten Versuchsanordnungen habe ich auch untersucht, ob das Wasser durch längeren Gebrauch die Fähigkeit verliert, durchstreichende Luft leitend zu machen. So wurde z. B. bei einem Versuche durch $\frac{1}{3}$ l Leitungswasser eine ganze Woche lang Luft durchgeblasen, wobei etwa die Hälfte des Wassers durch Verdampfen verloren ging. Der Rest machte am Schlusse der Versuche die Luft genau so stark leitend, wie das

gleiche Quantum frischen Leitungswassers unter gleichen Bedingungen dies that.

Ausser mit Luft habe ich entsprechende Versuche auch mit O und mit CO_2 angestellt und eine ähnliche Vermehrung der Leitfähigkeit bei diesen Gasen erhalten.

4. Es entsteht jetzt die Frage, wie kommt diese Leitfähigkeit der Gase zu stande? Wird das Gas bei dem Durchstreichen durch das Wasser direkt ionisiert, oder nimmt dasselbe dabei Spuren einer radioaktiven Substanz in sich auf, oder endlich führt es eine sogenannte Emanation von einer in dem Wasser enthaltenen radioaktiven Substanz mit sich? Das sind wohl die zunächst sich aufdrängenden Fragen. Dass das Gas beim Durchstreichen des Wassers einfach ionisiert wird, in der Weise etwa, wie dies durch die Einwirkung von ultravioletten oder von X-Strahlen geschieht, muss schon um deswillen als unwahrscheinlich bezeichnet werden, weil es die lange Glasröhre mit dichtgestopfter Watte zu durchsetzen vermag, ohne nachweisbare Einbusse an seiner Leitfähigkeit zu erleiden. Auch spricht entschieden dagegen das sehr langsame Verschwinden der erlangten Leitfähigkeit, das hier ebensoviel Tage erfordert wie dort Minuten.

Die Frage lässt sich, glaube ich, endgültig entscheiden, wenn man das Gas durch ein genügend starkes elektrisches Feld leitet. Das elektrische Feld wurde dadurch hergestellt, dass ein 80 cm langer, 0,7 cm dicker Metallstab mit Siegelack in die Axe eines 3,5 cm weiten Metallrohres eingekittet wurde, so dass er die eine, das Metallrohr die andere Belegung eines Cylinderkondensators bildete, der mit Hilfe einer Elektrisiermaschine bis 8000 Volt geladen werden konnte. Liess man die Luft durch dieses elektrische Feld, sei es schneller, sei es Blase für Blase, hindurchgehen, so beobachtete man zuweilen unmittelbar nach der Füllung eine ganz minimale Schwächung der Leitfähigkeit, die zwar fast in die Grenzen der Beobachtungsfehler hineinfiel, mich aber doch auf die Vermutung brachte, es könnte in dem starken elektrischen Felde in der That ein Verbrauch der vorhandenen Ionen stattfinden, diese Thatsache sich aber um deswillen der Beobachtung entziehen, weil dieselben sehr schnell wieder umgebildet werden. Es wurde deshalb das Elektroskop aus dem Glasgefässe herausgenommen, durch den Deckel dieses ein sorgfältig isolierter Draht geführt, an welchem im Innern des Gefässes der Zerstreungskörper in der Mitte des zur Erde abgeleiteten Blechcylinders aufgehängt war.

Durch den nach aussen führenden Draht konnte nun der Zerstreungskörper entweder mit dem aussen aufgestellten Elektroskope oder mit dem einem Pole einer Elektrisiermaschine verbunden werden. Der Apparat wurde mit der Luft des Wasserstrahlgebläses gefüllt, das Elektroskop angelegt und die Zerstreung für + und - Elektrizität gemessen. Hierauf wurde das Elektroskop abgeschaltet und der Zerstreungskörper 15 Minuten lang auf -8000 Volt geladen, dann wieder das Elektroskop angelegt und wieder die Zerstreung gemessen u. s. w.

Eine einzelne Messung der Zerstreung dauerte 3—4 Minuten. Ich gebe im folgenden die Spannungsverluste in Volt auf 60 Minuten berechnet; die angeführte Zeit bezieht sich jeweils auf das Ende der fraglichen Zerstreungsmessung. Also 9^h 10^m + 1114 soll heissen, dass um 9^h 10^m die Messung zu Ende war, bei welcher das + geladene Elektroskop einen Spannungsverlust von 1114 Volt (für 60 Minuten berechnet) ergeben hat.

9 ^h 10 ^m	9 ^h 24 ^m	9 ^h 25 ^m bis 9 ^h 40 ^m			
+ 1114	- 1146	auf - 8000 Volt geladen			
9 ^h 44 ^m	9 ^h 47 ^m	9 ^h 51 ^m	9 ^h 55	9 ^h 58 ^m	10 ^h 1 ^m
- 662	- 864	- 942	+ 1275	+ 1272	+ 1269
10 ^h 3 ^m bis 10 ^h 18 ^m auf - 8000 Volt geladen					
10 ^h 20 ^m	10 ^h 23 ^m	10 ^h 26 ^m	10 ^h 29 ^m	10 ^h 33 ^m	10 ^h 37 ^m
+ 2364	+ 1704	+ 1544	- 942	- 1000	- 1032

Der Apparat blieb eine Stunde lang ohne Ladung stehen, dann wurde genau der gleiche Versuch angestellt, nur wurde jetzt der Zerstreungskörper auf + 8000 Volt geladen. Ich lasse die Zeitangaben der Einfachheit wegen fort.

+ 1158, - 1114, 15 Minuten auf + 8000 Volt geladen
+ 480, + 770, + 860, - 1266, - 1158, - 1120
15 Minuten auf + 8000 Volt geladen
- 2826, - 1868, - 1576, + 614, + 792, + 872

Die Versuche lassen deutlich erkennen, dass wenn der Zerstreungskörper eine Zeitlang auf + 8000 Volt gehalten ist, die negativen Ionen in seiner Umgebung stark verbraucht sind, so dass nun bei einer Ladung desselben auf + 200 Volt in den ersten Minuten nur eine verhältnismässig geringe Zerstreung, weniger als halb so viel wie vor der Ladung auf 8000 Volt, stattfindet. Bei einer Ladung auf - 200 Volt dagegen zeigt sich umgekehrt eine sehr starke Zerstreung, die + Ionen sind angehäuft. Die Beobachtung

lehrt aber weiter, dass eine recht schnelle Regeneration der Ionen stattfindet. In drei Minuten steigt die Zerstreuung von + 480 auf + 770. Nach einer Stunde ist die Wirkung, welche durch das starke elektrische Feld hervorgebracht wurde, so gut wie vollständig beseitigt und die vorher beobachtete angenähert gleich grosse Leitfähigkeit für + und — Elektrizität wieder hergestellt.

5. Die Luft, welche durch die Wasserstrahlpumpe gegangen ist, ist also nicht einfach ionisiert wie die den X-Strahlen oder dem ultravioletten Lichte ausgesetzt gewesene Luft. Sie hat eine Veränderung erlitten oder einen Zusatz erhalten, der auf längere Zeit ihr die Fähigkeit verleiht, die Zahl der freien Ionen und damit ihre Leitfähigkeit auf konstanter bedeutender Höhe zu halten. Der nächstliegende Gedanke dürfte sein, anzunehmen, dass die Luft aus der wirksamen Flüssigkeit eine Emanation oder geringe Mengen einer radioaktiven Substanz mitreißt. Da Wasser die bei weitem stärkste Wirkung ausübt, vielleicht überhaupt die einzige wirksame Substanz ist, so liegt es nahe, zu versuchen, der Luft nach Möglichkeit alle Spuren des mitgeführten Wassers zu entziehen, um zu sehen, ob die fremde Substanz dann auch verschwindet. Auf dem Boden des Glasgefäßes, in welchem sich das Elektroskop befindet, wurden drei Schalen mit $P_2 O_5$ und zwei mit Stücken von metallischem Na gestellt. In das mit trockener Luft gefüllte Gefäß wurde soviel Luft aus dem Wasserstrahlgebläse eingeblasen, dass das Hygrometer 29% zeigte und der Potentialabfall (für 60 Minuten berechnet) 795 Volt betrug. Es wurden nun die folgenden Ablesungen gemacht:

<i>T</i>	0,6	0,3	0,85	2,—	3,—	18,—
<i>H</i>	25	20	15	19,5	8,5	5
<i>P</i>	880	1030	1070	1330	1370	1240

Hierin bedeutet *T* die Zeit in Stunden, welche seit der Füllung des Gefäßes verflossen ist, *H* die Ablesung am Hygrometer in %, *P* die Zerstreuung für 60 Minuten in Volt. Man sieht, dass das Hygrometer stark fällt, die Leitfähigkeit aber unabhängig hiervon wie immer zuerst steigt.

Man kann gegen diesen Versuch einwenden, dass wenn an dem mitgerissenen Wasser die radioaktive Substanz haftet, sie dann immerhin in dem Gefäße bleiben muss, wenn etwa die Feuchtigkeit von dem $P_2 O_5$ oder Na absorbiert wird. Deshalb wurde die Luft zuerst in einem anderen Gefäße getrocknet und dann ganz langsam herübergesaugt, endlich wurde ihr die Feuchtigkeit direkt beim

Einleiten in das Gefäss entzogen dadurch, dass man zu den schon erwähnten Trockenröhren noch ein 1 m langes Rohr einschaltete, das mit lose gestopfter Asbestwolle gefüllt war, die in $P_2 O_5$ umgedreht und reichlich damit überschüttet war, und weiter noch ein 30 cm langes Rohr, das dicht mit kleinen Stücken von metallischem Na gefüllt war. Obgleich man mit diesen Mitteln der Luft ihren Feuchtigkeitsgehalt, wie er durch ein Hygrometer angezeigt wird, vollständig entziehen kann, war ein Einfluss auf die Leitfähigkeit nicht zu konstatieren.

Noch gründlicher kann man die Feuchtigkeit der Luft entziehen, indem man sie auf sehr tiefe Temperatur abkühlt. Es wurde deshalb ein Kupferrohr von 1,8 m Länge zu einem Schlangenrohr gebogen und in flüssige Luft getaucht. Die vom Gebläse gelieferte Luft strich Blase für Blase durch zwei Waschflaschen mit $H_2 SO_4$, eine solche mit KOH durch ein 1,5 m langes Rohr mit Natronkalk, durch das lange Rohr mit $P_2 O_5$, dann durch die Kupferspirale und das Watterrohr in den Apparat.

Nachdem man eine Stunde lang die Luft durchgeleitet hatte, war keine die Versuchsfehler übersteigende Erhöhung der Leitfähigkeit im Apparate zu konstatieren, während ein Vorversuch gelehrt hatte, dass bei der gleichen Versuchsanordnung, nur mit dem einzigen Unterschiede, dass die Kupferspirale Zimmertemperatur hatte, nach 15 Minuten die Leitfähigkeit auf den 30 fachen Betrag gestiegen war.

Es fragte sich nun, war durch die tiefe Temperatur die Veränderung resp. der Zusatz, den die Luft beim Durchstreichen der Wasserstrahlpumpe erhalten hatte, und durch welche die abnorm hohe Leitfähigkeit der Luft hervorgebracht war, vernichtet, oder nur im Kupferrohre zurückgehalten, also sozusagen ausgefroren? Es zeigte sich zu meiner grossen Ueberraschung, dass das letztere der Fall war. Wurde nämlich das Kupferrohr, nachdem ein Versuch mit flüssiger Luft ausgeführt war, am einen Ende verschlossen, am anderen aber in Kommunikation mit dem Versuchsapparate gelassen, und liess man nun das Rohr sich ganz langsam erwärmen, indem man es Centimeter für Centimeter aus der flüssigen Luft herauszog, so taute der eingefrorene Inhalt der Röhre wieder auf und wurde von der durch die Erwärmung sich ausdehnenden Luft mit in das Versuchsgefäss hinübergeführt. Schon nach 15 Minuten war die Leitfähigkeit in dem Apparate auf das 10 fache gestiegen und stieg noch weiter. Wurde dagegen das Kupferrohr, ehe es aus

der flüssigen Luft genommen wurde, ganz von dem Versuchsapparate getrennt und auf Zimmertemperatur erwärmt, während gleichzeitig ein lebhafter Luftstrom hindurchgesaugt wurde, so war nach 15 Minuten an oder mit dem Kupferrohr auf keine Weise mehr etwas nachweisbar, das Einfluss auf die Leitfähigkeit der Luft gehabt hätte.

Um zu untersuchen, ob in dem Schlangenrohre eine sichtbare Substanzmenge ausfriert, habe ich das *Cu*-Rohr durch ein Glasrohr ersetzt. In einzelnen Versuchen glaube ich mit der Lupe an den Wandungen äusserst feine Eiskryställchen gesehen zu haben, doch war die Beobachtung sehr schwierig und deshalb nicht sicher. Dass es nicht abgeschiedene feste CO_2 war, habe ich durch Untersuchung des aufgefangenen Röhreninhaltes mit *KOH* festgestellt.

6. Die Herren *ELSTER* und *GEITEL* haben zur Erklärung der abnorm hohen Leitfähigkeit der Luft in Kellerräumen etc. eine mögliche Radioaktivität der Luft selbst herangezogen. Ich will auf die mannigfachen Versuche hier nicht näher eingehen, die ich angestellt habe, um in dem, was in dem Kupferrohre ausgefroren war, das radioaktive Agens zu finden. Sie haben alle ein negatives Resultat gehabt, sind aber um deswillen nicht beweiskräftig, weil man wird einwenden können, dass für die Hervorbringung der beobachteten Effekte ja nur ganz minimale Mengen erforderlich sind, und diese können sich der Wahrnehmung entzogen haben. Ich möchte aber darauf aufmerksam machen, dass die abnorm hohe Leitfähigkeit der Luft und die im Vorstehenden beschriebenen Erscheinungen in anderer und wie mir scheint, besonders einfacher Weise sich erklären lassen, nämlich durch die Annahme, dass das Wasser in ähnlicher Weise wie auf Säuren und Salze, so auch auf Gase eine stark ionisierende Wirkung auszuüben vermag. Man kann sich vorstellen, dass wenn ein Gas durch Wasser in Blasenform hindurchgepresst wird, einzelne Gasmoleküle in so innige Berührung mit dem Wasser kommen, dass sie gewissermassen darin gelöst werden, und sich mit einer, natürlich ganz minimalen Spur von Wasser so vereinigen, dass nachher ein in eine Wasserhülle gehülltes oder darin gelöstes Gasmolekül aus dem Wasser in die Luft tritt. Solche Moleküle würden nun, analog wie in Wasser befindliche Salzmoleküle, die Fähigkeit besitzen, ausserordentlich leicht zu dissoziieren, d. h. Ionen zu bilden, und auf diese Weise die Leitfähigkeit der Luft bedingen. Diese allerfeinsten mit den Luftmolekülen verbundenen Wasserteilchen dürfen natürlich nicht mit den weit beträchtlicheren Wassermengen verwechselt werden, die

etwa in den Nebelbläschen enthalten sind. Das geht ja schon daraus hervor, dass die letzteren von einigermassen dicht gestopfter Watte zurückgehalten werden, in ruhender Luft sich verhältnismässig schnell absetzen, erstere aber nicht.

Dass sich aus der Annahme, das Wasser besitze auch für die Gasmoleküle eine ionisierende Kraft, die vorstehend beschriebenen Versuchsergebnisse leicht erklären lassen, ist wohl einleuchtend. Je stärker der Druck ist, mit dem die Luft durch das Wasser hindurchgepresst wird, desto inniger, wird man annehmen dürfen, ist die Berührung und Durchmischung von Wasser und Luft, desto grösser dementsprechend die Anzahl der erzeugten leicht ionisierbaren Moleküle, desto grösser die Leitfähigkeit. In der Nähe eines hoch geladenen positiv elektrischen Körpers tritt ein starker Verbrauch, eine Erschöpfung der negativen Ionen ein, es bleibt der Raum angefüllt mit positiven Ionen, die einen dorthin gebrachten negativ geladenen Körper sehr schnell entladen. Ueberlässt man den Raum sich selbst, so sind nach kurzer Zeit schon sowohl positive als negative Ionen wieder in grosser Zahl vorhanden. Ob diese aus den angrenzenden Gebieten durch Diffusion dorthin gekommen sind, — dann müsste durch genügend langes Elektrisieren der Vorrat sich erschöpfen lassen — oder ob eine Regeneration der verbrauchten Ionen durch Ionenstoss etc. eintritt, müssen weitere Versuche erst entscheiden.

Dass die Luft ihre hohe Leitfähigkeit nicht verliert, wenn sie über P_2O_5 etc. geleitet wird, ist leicht verständlich, wenn man bedenkt, wie schwer es ist, der Luft die letzten Spuren gewöhnlicher Feuchtigkeit zu entziehen, dass es sich hier aber nach der oben skizzierten Vorstellung um minimale Mengen in feinsten molekularer Verteilung handelt. Dass aber thatsächlich Wasser in der Luft an den Molekülen haftend vorhanden ist, dafür spricht, dass bei genügend tiefer Temperatur ein Erstarren und dann schnelles Zubodensinken stattfindet. Wird die Temperatur wieder erhöht, so fliegen die Luftwasserteilchen wieder davon und die Luft wird wieder leitend.

Nach dieser Vorstellung würde man sich auch die sog. natürliche Leitfähigkeit der Luft und besonders ihre Abhängigkeit von den meteorologischen Verhältnissen der Atmosphäre leicht erklären können. In der bewegten Luft bilden sich, wenn sie über feuchte Flächen, durch feuchtes Gebüsch etc. hinstreicht, je nach Umständen eine grössere oder geringere Anzahl leicht dissoziierbarer Moleküle.

Durch Ionenstoss, durch ultraviolettes Licht, durch Strahlen radioaktiver Substanzen¹ werden diese in Ionen gespalten, und wird dadurch die Leitfähigkeit der Luft hervorgerufen. Diese zeigt jedenfalls in mehrfacher Beziehung dasselbe Verhalten wie die durch Wasser hindurchgeblasene Luft. Stellt man mit der aus der freien Atmosphäre entnommenen Luft die S. 9 beschriebenen Versuche an, so erhält man Resultate, die den dort mitgetheilten vollkommen entsprechen.

Leitete ich atmosphärische Luft durch das in flüssiger Luft befindliche Kupferrohr, so beobachtete ich eine Abnahme der Leitfähigkeit um ein Drittel, ja um die Hälfte ihres Betrages. Der Luft auf diese Weise die Leitfähigkeit ganz zu entziehen, ist mir allerdings nicht gelungen. Ob dies daran liegt, dass die durch das Schlangenrohr streichende Luft bei dem Eintritt in den Versuchsapparat die dort befindliche Luft selbst bei längerem Durchleiten nicht vollständig verdrängt hat, oder ob die Leitfähigkeit der Luft zum Teil von Ionen herrührt, die nicht ausfrieren, vermag ich noch nicht zu entscheiden. Hat man längere Zeit (1—2 Stunden) atmosphärische Luft durch die Kühlschlange geleitet, und man lässt dann die auftauende Kupferspirale ihren Inhalt in den Versuchsapparat entleeren, so beobachtet man in diesem eine bedeutende Steigerung der Leitfähigkeit, also gerade so wie bei den entsprechenden Versuchen mit der Luft des Wasserstrahlgebläses. Möglichenfalls lässt sich die grosse Leitfähigkeit der aus der auftauenden Kupferrohre tretenden Luft auch so erklären, dass beim Abkühlen auf tiefe Temperatur die Luft thatsächlich ihre Leitfähigkeit vollständig verliert, — diese also nicht nur, wie oben angenommen, durch Ausfrieren sozusagen latent wird — und dass dann

¹ Ich glaube, dass ausser Radium, Polonium, Thorium etc. noch eine grosse Anzahl von Körpern radioaktiv sind, dass in dieser Beziehung zwischen Radium und Blei oder Zink z. B. ein ähnlicher, nur quantitativer Unterschied vorhanden ist, wie etwa hinsichtlich der magnetischen Eigenschaften ein solcher zwischen Eisen und Blei besteht. Ich glaube, bei meinen Versuchen deutliche Unterschiede in der Radioaktivität verschiedener Metalle beobachtet zu haben. Ich habe, um zunächst wenigstens einen orientierenden Versuch in dieser Richtung zu machen, zwei genau gleiche Gefässe aus Blei und aus Zink anfertigen lassen. Bei den meisten Versuchen ergab sich die Leitfähigkeit der Luft in dem Bleigefässe grösser als in dem Zinkgefässe, nie umgekehrt, nur einige Male in beiden Gefässen gleich. Die Versuchsanordnung mit dem Elektroskop scheint mir für diese Untersuchung nicht empfindlich genug. Ich gedenke, die Frage auf anderem Wege zu verfolgen.

beim Auftauen die ausströmende Luft durch Hinstreichen an in der Röhre gebildeten feinsten Eiskryställchen wieder leitend wird. Denn ich habe gefunden, dass Luft auch dann ihre Leitfähigkeit vergrössert, wenn sie durch fein zerteiltes Eis oder Schnee geleitet wird.

7. Durch die vorstehenden Versuche ist gezeigt worden, dass Luft beim Durchblasen durch Wasser, beim Durch- oder Vorbeistreichen an mit Wasser befeuchteten Flächen eine Vermehrung ihrer Leitfähigkeit erlangt, so dass diese unter günstigen Umständen auf das mehr als hundertfache ihres gewöhnlichen Betrages ansteigen kann.

Diese Leitfähigkeit hängt nicht ab von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft, wie er mit dem Hygrometer gemessen wird.

Die Leitfähigkeit verschwindet beim Abkühlen der Luft auf genügend tiefe Temperatur, erscheint aber wieder, sobald die Luft in dem Abkühlungsbehälter wieder erwärmt wird.

Die abnorm hohe Leitfähigkeit wird nicht zerstört beim Durchleiten durch ein elektrisches Feld.

Sie verschwindet, wenn die Luft in einem geschlossenen Behälter sich selbst überlassen bleibt, sehr langsam, erst nach mehreren Tagen, ja Wochen.

Ich glaube, dass die von ELSTER und GEITEL beobachtete hohe Leitfähigkeit der Keller- und Bodenluft auf diese Weise entsteht. Ebenso glaube ich, dass zum mindesten ein Teil der stets in freier Luft vorhandenen Leitfähigkeit resp. deren Schwankungen auf die obige Erscheinung zurückzuführen sind, und dass die Ionisierung der Luft durch Wasser bei allen elektrischen Erscheinungen unserer Atmosphäre eine wesentliche Rolle spielt.

Die Hypothese, dass das Wasser nicht nur auf Säuren und Salze, sondern auch auf die Gase eine hohe dissozierende Kraft auszuüben vermag, scheint mir geeignet, die beschriebenen Erscheinungen zu erklären.

Freiburg i. B., März 1903.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Himstedt Franz

Artikel/Article: [Ueber die Ionisierung der Luft durch Wasser. 101-115](#)