**6. Zur Kenntnis
der Elektrizitätszerstreuung in erhitzter Luft;
von Erich Brunner.**

Einleitung.

Die vorliegende Untersuchung wurde zu dem Zweck begonnen, die Leitfähigkeit zu bestimmen, die erhitzte Luft bei Atmosphärendruck infolge spontaner Ionisation zeigt. Um einen wirklichen einer bestimmten Temperatur entsprechenden Gleichgewichtszustand zu erhalten, wurde die ganze Luft zwischen dem mit einem Elektroskop verbundenen Zerstreuungskörper und dem zur Erde abgeleiteten Metall auf konstante Temperatur erhitzt. Aber bald zeigte sich, daß wegen der dazu nötigen Miterhitzung der Metalle der weitaus größte Teil der beobachteten Leitfähigkeit von den Metallen ausging, also nach Starks Ausdrucksweise nicht auf Ionisierung, sondern auf Elektrisierung der Luft beruhte. Daher geben wohl die alten Versuche mit erhitzter Luft zwischen kalten Elektroden trotz ihrer prinzipiellen Bedenken ein besseres Bild von der spontanen Ionisation der Gase als Versuche mit heißen Elektroden. Diese Untersuchung wurde trotzdem isotherm weitergeführt, ihre Resultate beziehen sich also auf die Leitfähigkeit, die erhitzte Luft in Berührung mit gleich temperierten Metallen erlangt.¹⁾

Versuchsanordnung.

Die Anordnung war folgende:

In dem 60 cm langen, 6 cm weiten Rohr eines aufrecht stehenden elektrischen Widerstandsofens hing der Zerstreuungs-

1) Die Untersuchung hätte noch mancher Ergänzungen bedurft, konnte aber nicht fortgesetzt werden, da ich die Stelle eines Volontärassistenten bei Hrn. Prof. Nernst annahm. So sind die Ergebnisse nur als vorläufige Orientierung anzusehen, und einige der daraus gezogenen Schlüsse bedürfen der Bestätigung von anderer Seite.

körper, ein Zylindermantel aus Drahtnetz oder Blech von verschiedenen Metallen; das Rohr war, um ein Ansammeln elektrischer Ladungen zu verhindern, ganz mit einem geerdeten Messingdrahtnetz ausgekleidet, ebenso waren die kalten Teile der Aufhängung zum „faradischen Schutze“ mit geerdetem Metall umgeben. In dem Elster und Geitelschen Elektroskop, das mir Hr. Prof. Himstedt freundlichst hatte umbauen lassen, hing der die Aluminiumblättchen tragende Stab oben an einem Stück Bernstein, unten war daran der den Zerstreuungskörper tragende Draht befestigt. Die Entfernung von der Öffnung unten am Elektroskop bis zum oberen Ofenrand betrug 25 cm. Die Aufhängung ging, um aufsteigende warme Luft vom Elektroskop abzuhalten, zweimal durch enge Öffnungen. Um mit einer abgeschlossenen Luftmenge zu arbeiten und keine störende Konvektion zu haben, war der Ofen außerdem unten mit Asbest dicht verschlossen.

Um den Anteil des kalten Teiles an der Zerstreuung klein zu machen, nahm ich den Zerstreuungskörper nicht zu klein. Trotzdem betrug die Kapazität des kalten Teiles in dem einen Falle, wo ich sie bestimmte, 30 Proz. von der des ganzen Systems, und der Anteil an der Zerstreuung in der Kälte war noch größer. Aber bei den Temperaturen der Hauptbeobachtungen war dieser Anteil gegenüber der enorm gesteigerten Zerstreuung des heißen Teiles völlig zu vernachlässigen.

Zur Bestimmung der Temperatur diente ein Thermoelement aus Platin-Platinrhodium und ein Galvanometer, bei dem ein Teilstrich 20° bedeutet, also die Temperatur auf zwei Grad genau abzulesen ist. Die heiße Schweißstelle befand sich, ebenso wie die Mitte des Zerstreuungskörpers, an der heißesten Stelle des Ofens, von wo an nach beiden Seiten in 6 cm Entfernung noch keine, in 9 cm Entfernung eine Temperaturabnahme von 5° festgestellt wurde. Das Thermoelement war dauernd im Ofen, aber so dicht am äußeren Drahtnetz, daß eine Störung der Entladung nicht zu befürchten war.

Um während einer Entladung eine Reihe von sich gegenseitig stützenden Zahlen zu erhalten, beobachtete ich das eine Blättchen beim Durchlaufen von acht verschiedenen Skalen-

teilen und berechnete auf Grund einer Eichung des Elektroskops mit einer Hochspannungsbatterie¹⁾ die Größe

$$\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = \alpha \quad (V \text{ Potential, } t \text{ Zeit in Minuten})$$

zwischen je zwei aufeinander folgenden Beobachtungen. Diese Größe zeigte sich während des Durchlaufens der Skala konstant, es war also die Abfallgeschwindigkeit des Potentials diesem proportional. Daher ist α , die relative Abfallgeschwindigkeit des Potentials und gleichzeitig der Ladung, ein geeignetes Maß der Leitfähigkeit, und ich nenne α schlechtweg die Zerstreuung.²⁾ In den Tabellen ist das Mittel der während einer Entladung gefundenen α -Werte angegeben. Wurde α so groß, daß sich die Zeit zum Durchlaufen eines Teilstriches nicht mehr bequem messen ließ (etwa von $\alpha = 80$ an), so wurde die Zeit für mehrere Teilstriche oder auch die ganze benutzte Skala mehrmals mit einer Rennuhr gemessen. So ließen sich Werte von α bis 400 beobachten; ein Versuch höher zu gehen wäre auch deshalb fruchtlos gewesen, weil die Blättchen einer noch schnelleren Entladung wegen des Luftwiderstandes nicht mehr folgen würden, schließlich würde ein nur durch den Luftwiderstand bestimmter Grenzwert der Geschwindigkeit des Zusammenfallens erreicht werden.

Daß Konvektion Einfluß hat, wurde gelegentlich festgestellt. Nach einem Versuch mit Platin bei 625° wurde der untere Verschuß entfernt, so daß ein fühlbarer Luftstrom oben heraustrat. Als nach Steigerung des Heizstromes wieder 625° abgelesen wurde, zeigte sich α_+ im Verhältnis 1,2, α_- im Verhältnis 1,6 vergrößert. Und dabei hatte der Zerstreuungskörper wegen des Luftstromes jedenfalls eine niedrigere Temperatur als das der Wand anliegende Thermoelement. Nach Wiederherstellung des Verschlusses zeigten sich die alten Werte. Der Verschuß machte ein Durchströmen von Luft unmöglich. Das schließt natürlich nicht aus, daß eine schwache Zirkulation im Ofenrohr vorhanden war und Einfluß auf die Zerstreuung hatte.

1) Der benutzte Teil der Skala lag zwischen 175 und 270 Volt.

2) Dies der Leitfähigkeit proportionale Maß ziehe ich der sonst üblichen ihr umgekehrt proportionalen Zeit vor, die das Durchlaufen einer bestimmten Skalenstrecke dauert. — α_+ ist die Zerstreuung, wenn der Körper positiv, α_- , wenn er negativ geladen war.

Ergebnisse.

Ich fand nun von Zimmertemperatur bis zu einer Temperatur, die je nach dem Zerstreuungskörper bei 400° bis 520° liegt, keine die Versuchsschwankungen übersteigende Zunahme der Zerstreuung. Das stimmt überein mit den Resultaten von Patterson¹⁾, der für den mit dem Elektrometer gemessenen Sättigungsstrom zwischen einer kleinen Aluminiumelektrode und einem sie umgebenden Eisenzylinder bis 460° keine merkliche Zunahme fand. Ich fand ferner in diesem Gebiete für gleich große Körper aus verschiedenem Material gleiche Werte von α , Drahtnetz wirkte wie gleich großes Blech. Alle Beobachtungen sprechen dafür, daß es nur auf die geometrischen Verhältnisse ankommt. Positive und negative Elektrizität werden gleich schnell zerstreut. Die Beobachtungen sind folgende (Z.T. bedeutet Zimmertemperatur):

Tabelle 1.

1. Messingdrahtnetz, 12 cm lang, 3 cm Durchmesser.

Temperatur	α_+	α_-
Z.T.	0,06	0,06
350°	0,065	—
Z.T.	0,065	—
390°	0,075	—
Z.T.	0,075	0,08
460°	0,08	0,075
500°	0,08	—

2. Gleich großes engermaschiges Kupferdrahtnetz.

Z.T.	0,08	0,085
------	------	-------

3. Gleich großes Messingblech.

Z.T.	0,075	0,085
------	-------	-------

4. Silberblech, 5 bis $7,5 \text{ cm}^2$) lang, 2,5 cm Durchmesser.

Z.T.	0,10	0,10
340°	—	0,09
400°	—	0,09
Z.T.	—	0,08

5. Platinblech, 7 cm lang, 2,5 cm Durchmesser.

Z.T.	0,12	0,12
500°	0,15	0,105

1) J. Patterson, Philos. Magazine (6) 6. p. 231. 1903.

2) Der Zylinder war aus einem Blechstreifen schraubenförmig zusammengebogen, ohne daß die überstehenden (abgerundeten) Ecken abgeschnitten wurden.

Bei diesen Temperaturen ist die Zerstreuung also nur durch Selbstionisation der Luft bedingt; die fehlende Zunahme mit der Temperatur deutet darauf, daß diese Ionisation nicht auf einem chemischen Gleichgewicht zwischen Luftmolekülen und Ionen beruht, denn dieses muß sich bei der doch wohl sehr großen Dissoziationswärme stark mit der Temperatur verschieben, sondern daß sie von überall vorhandenen, sehr schwach radioaktiven Substanzen (vielleicht vom Porzellanrohr des Ofens) ausgeht, wie das schon andere vermutet haben.

Bei einer gewissen, für positive und negative Elektrizität meist verschiedenen Temperatur beginnt ein starker Anstieg der Zerstreuung, der sich bei allen Zerstreuungskörpern ziemlich genau einer Exponentialfunktion anschließt. Trägt man also als Abszissen die Temperaturen, als Ordinaten statt α die Logarithmen von α auf¹⁾, so erhält man oberhalb der genannten Temperatur eine gerade Linie. Etwa 15° Temperatursteigerung verdoppelt die Zerstreuung. Der mögliche Fehler der Temperaturbestimmung von 2° macht also 10 Proz. aus, und als genauer sind daher die Zahlen nicht anzusehen; das schadet aber nichts, da die Unterschiede von α unter scheinbar gleichen Bedingungen weit größer sind.

Versuche mit Platin.

Da die Versuche mit Platin am regelmäßigsten verliefen, sollen sie, obgleich zuletzt ausgeführt, zuerst erwähnt werden. Der Zerstreuungskörper war ein 7 cm langer, 2,5 cm weiter Zylinder aus Platinfolie, von einem nicht bis zu den Rändern reichenden Zylinder aus Messingdrahtnetz getragen. Anfangs fanden sich auch hier wie bei allen Zerstreuungskörpern höhere Werte als später, dann aber wurden sie so gut reproduzierbar, wie bei keiner anderen Versuchsreihe, und schwankten allerhöchstens noch im Verhältnis 1:3.

Ich habe für jede Beobachtungsreihe $\log \alpha$ als lineare Funktion der Temperatur berechnet und sowohl aus den Werten

1) Das empfiehlt sich schon der Deutlichkeit wegen, da sich die höchste beobachtete Zerstreuung zu der bei Zimmertemperatur wie 4000 zu 1 verhält.

für $\log \alpha$ bei 600° als den Temperaturkoeffizienten das Mittel genommen. Ich erhielt so:

$$(1) \quad \begin{cases} \log \alpha_+ = 0,65 + 0,022(t - 600) \\ \log \alpha_- = 0,60 + 0,019(t - 600). \end{cases}$$

Nach diesen Formeln ist bei den Temperaturen über 580° , bei denen fast alle Beobachtungen am Platin gemacht wurden, die positive Zerstreuung größer als die negative, unter 580° dagegen wäre es umgekehrt. Nun sind die Beobachtungen bis zu der Temperatur hinauf, wo α den zehnfachen Wert hat als bei niedriger Temperatur, sehr langwierig und von 300° an auch ungenau, denn die Blättchen zeigen unregelmäßige Schwankungen, die auf in das Elektroskop eindringende warme Luftströmungen zurückzuführen sind. Bei höherer Temperatur verschwindet diese Störung gegenüber dem schnellen Zusammenfallen, auch läßt sich ihr Einfluß durch eine genügende Zahl von Beobachtungen eliminieren, was bei kleinen Werten von α zu lange dauern würde.

Daher wurden beim Platin nur wenige Beobachtungen unter 580° gemacht; aber diese bringen nicht den geringsten Anhaltspunkt dafür, daß, wie es die Formeln (1) verlangen, α_+ kleiner als α_- sei. Können nun die Formeln für diese Temperaturen überhaupt noch gelten? Die Kurven für $\log \alpha$ haben

zwei geradlinige Stücke (vgl. Figur), bei niedriger Temperatur $\log \alpha = \text{konst.}$, bei hoher $\log \alpha = \log a + bt$ oder $\alpha = a \cdot 10^{bt}$. Diese Leitfähigkeit hat jedenfalls eine Ursache, die bei gewöhnlicher Temperatur noch nicht wirkt. Neben ihr wird aber die bei niedriger Temperatur beobachtete Leitfähigkeit weiter

bestehen, wenn sie auch meist zu vernachlässigen ist. Die genaue, das ganze Temperaturintervall umfassende Formel wird also lauten: $\alpha = \alpha_0 + a \cdot 10^{b t}$. Das gibt, wenn ich $\alpha_0 = 0,1$ setze (vgl. p. 557, Tab. 1), die in der Figur gezeichnete Ab-
 rundung für $\log \alpha_-$. Sie hat gerade bei 580° , wo $\alpha_+ = \alpha_-$ ist, praktisch die aufsteigende gerade α_- -Linie erreicht, und ich betrachte sie, um die Beobachtungen möglichst einfach darzustellen, als auch für $\log \alpha_+$ gültig. Den somit erhaltenen Gesamtverlauf betrachte ich als normal und lasse jetzt die Einzelbeobachtungen in der Form folgen, daß ich das Verhältnis q des beobachteten α zu dem für dieselbe Temperatur aus der Formel folgenden angebe. $>$ bedeutet, daß die Zerstreuung zu groß zur Beobachtung war. Die α -Werte, aus denen die mit * versehenen Zahlen folgen, sind zur Berechnung der Interpolationsformeln p. 559 benutzt.¹⁾ Die Temperaturen sind, da ja q kaum mehr von ihnen abhängt, auf 10° abgerundet.

Tabelle 2.

Platin.

t	q_+	q_-	Bemerkungen
660°	5	$>$	Nach zweistündigem Erhitzen auf $800-900^\circ$
640	5,5	$>$	
620	4,5	$>$	
600	4,2	38	
550	2	13	
600	4,5	7	Nach einigen Stunden ohne Abkühlung
640	4,5	9	
600	3,3	5	
580	4,2	5,5	Nächsten Tag ²⁾ bei aufsteigender Temp.
600	23	7,5	
640	$>$	14	Nach einstündigem Erhitzen auf 750°
680	0,75 *	2 *	
650	0,7 *	1,7 *	
610	0,75 *	1,5 *	Nach einigen Stunden ohne Abkühlung
590	0,7 *	2,5 *	Nach einstündiger Abkühlung auf 500°
640	0,75 *	2,2 *	

1) Es sind diejenigen Reihen aufeinander folgender Beobachtungen, die sich durch je eine Interpolationsformel gut darstellen lassen.

2) Über Nacht wurde der Heizstrom stets abgestellt. Wo nicht angegeben, wurde nicht erst ausgeglüht.

Tabelle 2 (Fortsetzung).

t	q_+	q_-	Bemerkungen
690°	1,7	1,4 *	
640	1,2	1,2 *	
680	>	1,4 *	Mit neuem äußeren Drahtnetz ¹⁾ nach zwei- stündigem Erhitzen
660	>	0,4 *	Nach halbtägigem Erhitzen auf 700°
690	0,8 *	0,1 *	Nach einstündigem Erhitzen auf 800°
650	0,7 *	1 *	
610	0,7 *	1 *	
660	0,35 *	0,85 *	
660	4,4	2,7	Nächsten Tag, nachdem Körper heraus- genommen und wieder eingehängt
690	1,1 *	1,3 *	
650	1,3	1,3 *	Nach kurzem Erhitzen auf 800°
600	1,25 *	1,15 *	
610	0,9 *	0,8 *	Nach 2 Stunden ohne Abkühlung
640	0,7 *	0,8 *	
560	0,6 *	0,45 *	
600	1,8	0,8	Nächsten Tag bei aufsteigender Temperatur
670	1 *	1 *	Nach Erhitzen
630	1 *	1 *	
630	1,25 *	1,1 *	
590	1,2 *	1 *	
500	1	0,7	
650	0,8 *	0,7 *	Einige Tage später nach kurzem Ausglühen
600	0,65 *	0,65 *	
670	1,5 *	1,4 *	Nach den Versuchen mit H ₂ -Beladung, da- nach ausgeglüht
620	1,7 *	1,6 *	
570	1,1 *	1,5 *	
630	1,5 *	1,3 *	
690	1,1 *	1 *	Nächsten Tag
660	1 *	0,8 *	
620	1,2 *	0,9 *	
540	0,8 *	0,8 *	
630	1,4 *	1 *	Nach einigen Stunden ohne Abkühlung

1) Das alte Drahtnetz war infolge weitgehender Oxydation heruntergefallen, und zwar in einem unbekannten Augenblick während der vorangehenden Versuche. Diese sind also wegen unsicherer Erdung zweifelhaft, aber da die letzte Beobachtungsreihe vorher gut mit den übrigen stimmt, ist sie doch mit verwertet.

Die abnorm hohen Werte der negativen Zerstreuung am Anfang der Tabelle zeigen sich bei allen untersuchten frischen Metallen. Nach den Resultaten von Wilson¹⁾ könnte man geneigt sein, die Ursache in einer Wasserstoffbeladung zu suchen. Aber diese vergrößert nach meinen später zu erwähnenden Versuchen unter den bei mir herrschenden Bedingungen nur die Zerstreuung positiver, nicht negativer Elektrizität. Die Erscheinung hängt vielleicht mit lichtelektrischer Entladung zusammen, doch müßte zur Durchführung dieser Annahme eine Hypothese ad hoc gemacht werden.

Daß später mehrmals, nachdem der Ofen kalt gewesen, bei Versuchen ohne vorheriges Ausglühen α_+ stärker vergrößert war als α_- , ist dagegen wohl auf Wasserstoffbeladung zurückzuführen. Es zeigt sich also, wie wichtig es ist, die Zerstreuungskörper vor dem Versuch auf höhere als die Beobachtungstemperatur zu erhitzen.

Nach Einführung eines neuen Messingdrahtnetzes zeigte sich α_+ abnorm groß, und im Verein mit der Tatsache, daß frisches Messing negative Elektrizität etwa hundertmal so stark zerstreut als ausgeglühtes Platin (vgl. später) beweist dies, daß die Art des äußeren Metalles Einfluß auf die Entladung hat. Dies ist auch zu erwarten, denn auf dem äußeren Metall sitzt eine der inneren entgegengesetzt gleiche Influenzladung, und die Symmetrie der Anordnung ist nur dadurch gestört, daß die Elektrizitätsdichte und das Potentialgefälle am äußeren Metall in demselben Verhältnis kleiner sind als die Oberfläche, auf die sie sich verteilen, größer ist. Es braucht also nicht notwendig der Einfluß des äußeren Metalles ebenso groß wie der des zerstreuen Metalles zu sein. Jedenfalls bedingt ein äußeres Drahtnetz, das negative Elektrizität schnell zerstreut, eine Erhöhung von α_+ . Nach längerem Ausglühen, wobei sich das Messing oxydierte, sank α_+ sogar unter das Mittel, vielleicht weil das Platin weitgehender als sonst von Wasserstoff befreit war.

1) H. A. Wilson, Proc. Roy. Soc. 72. p. 272. 1903. W. findet, daß ein weißglühender Platinfaden nur negative Elektrizität mit einer mit dem Galvanometer nachweisbaren Stromstärke zerstreut und daß dieser Strom in Wasserstoff viel größer ist als in Luft.

Silber.

Die Resultate mit dem anderen untersuchten sich nicht oxydierenden Metall, Silber in Blechform (vgl. Anm. 2, p. 557), will ich nur kurz anführen. Als von der Temperatur wenig abhängendes Maß des Verhaltens benutze ich auch hier das Verhältnis q_+ bez. q_- zum Normalwert von α bei Platin von derselben Temperatur. Wo aber die Zerstreuung schon unter 580° so groß ist, daß α_0 nicht dagegen in Betracht kommt, benutze ich als Normalwert nicht den auf dem gekrümmten Teil der Kurve liegenden, der ja auf dem Anteil von α_0 beruht, sondern den durch Extrapolation aus der Formel (1) für α_- erhaltenen (in der Figur gestrichelt), und zwar wieder sowohl für positive als negative Ladung, während über 580° wie immer die ungleichen Werte ($\alpha_+ > \alpha_-$) als Norm dienen. Eine Reduktion auf gleiches α_0 ist nicht nötig, da die Unterschiede von α_0 bei den verschiedenen Zerstreuungskörpern klein sind gegenüber den Schwankungen desselben Körpers bei höherer Temperatur.

Das Silberblech untersuchte ich zuerst ohne vorheriges Ausglühen und fand schon bei 450° für α_- das Neunfache von α_0 ($q_- = 150$), bei 500° war $q_- = 600$ und bei 550° gar 1300. Der Temperaturkoeffizient war also beträchtlich größer als beim Platin; so war es meist bei abnorm hohen Zerstreuungen. Bald sank q_- und lag, ebenso wie q_+ von Anfang an, zwischen 100 und 350. Erst nach einer Erhitzung über 600° sank q_+ auf etwa 10, q_- auf 55, dann von Versuch zu Versuch weiter, bis sowohl q_+ als q_- im Mittel gleich 2 geworden war ($550-680^\circ$). Es war also, wie bei Platin, α_+ etwas größer als α_- . Der Wert 2 wurde auch beim Platin noch als normal betrachtet. Ob es der Endwert war, wurde nicht ermittelt, denn als nach Unterbrechung durch andere Versuche noch einer mit dem Silberkörper gemacht wurde, zeigte er, wohl wegen des Liegens in der Kälte, trotz Ausglühens $q_+ = 10$, $q_- = 4$. Das Aussehen des Silbers hatte sich während der Versuche etwas geändert, unter anderem zeigte es am Schluß größeren Metallglanz.

Kupfer.

Zwei Kupferdrahtnetze von 12 cm Länge und 3 cm Durchmesser zeigten folgende Zerstreuungswerte (q ist wieder das Verhältniß zum „Normalwert“ beim Platin):

Tabelle 3.

t	q_+	q_-	Bemerkungen
500°	21	38	Erstes Drahtnetz ohne vorherige höhere Temperatur
600	> 90	38	Nach höherer Erhitzung
550	170	23	
570	270	30	
590	> 150	100	Nachdem eine Weile auf 700° erhitzt
560	600	60	
540	400	21	Nach einigen Stunden ohne Abkühlung
520	260	—	
570	—	27	
540	260	23	
510	160	17	
620	>	10	Neues Drahtnetz v. derselben Sorte u. Größe
580	190	6,5	
550	120	5	
520	45	—	
590	> 150	6	
550	120	—	
560	130	5	
600	65	4,2	Nach zwei Tagen
560	45	2,6	
590	55	4,8	
630	>	6	Nach einigen Stunden ohne Abkühlung
590	110	4	
530	32	—	
600	85	4,2	
560	570	1,2	Nach einigen Tagen, nachdem der Körper herausgenommen gewesen
590	150	2	
600	70	1,5	
600	100	1,2	Nächsten Tag
630	>	16	Nach zweistündigem Erhitzen bis zu 750°
590	100	12	
540	50	3,8	Nach einigen Stunden ohne Abkühlung
520	27	—	
560	50	5	

Die Oxydation des Kupfers erfolgt so schnell, daß man es auch bei den ersten Zahlen nicht mehr mit blankem Metall zu tun hat. Es scheint aber nach den q_+ -Werten beim ersten Drahtnetz, daß die positive Zerstreuung mit zunehmender Oxydation zunimmt. Nachdem diese beendet oder wenigstens die Oxydschicht so dick geworden ist, daß der Kern metallischen Kupfers kaum mehr durch sie hindurchwirken kann¹⁾, hat das Oxyd doch noch keine konstante Beschaffenheit, sondern q_+ nimmt bei dauerndem Erhitzen ab, beim Kaltliegen wieder zu, bleibt aber stets sehr beträchtlich. q_- steigt einige Mal, wenn der Körper nach dem Kaltliegen über die Beobachtungstemperatur erhitzt gewesen ist, sonst aber nimmt q_- stetig ab. Sowohl q_+ als q_- hängen stark von der Temperatur ab, und zwar ist der Temperaturkoeffizient von α größer als beim Platin.

Messing.

Mit einem Messingdrahtnetz von 12 cm Länge und 3 cm Durchmesser machte ich die ersten Versuche, in der Meinung, es komme wahrscheinlich nicht auf die Natur des Metalles an. q_+ war nur zuerst bei 590° gleich 45 und wurde bald ziemlich konstant mit Werten zwischen 1 und 4. Das ist auffällig, da die Oberfläche ja Kupferoxyd enthält, dieses aber im reinen Zustand, wie wir sahen, q_+ dauernd größer als 50 macht. — Ein Temperaturkoeffizient von q_+ war kaum zu bemerken, d. h. der von α_+ war ziemlich normal. q_- fing mit 1600 an (bei 530°), sank schnell auf Werte um 100, dann um 20, und zeigte stets einen beträchtlichen Temperaturkoeffizienten. Die Oxydschicht, die bei Messing viel langsamer zunimmt als bei Kupfer, wurde bis zuletzt stetig dicker, es wurde aber auch in Unkenntnis der Wichtigkeit des Ausglühens keine Temperatur über 660° angewandt. Daher schwanken die Zahlen stärker als bei den später untersuchten Körpern.

Ein kleineres Messingdrahtnetz (6,5 cm lang, 2,7 cm weit) zeigte ganz dasselbe Verhalten, nur war q_+ von Anfang an niedrig, es ist daher anzunehmen, daß die ganz am Anfang hohen Werte von q_+ beim größeren Drahtnetz auf hoher

1) Nach den Versuchen zerbröckelten die Körper völlig, und die meisten Drähte zeigten überhaupt keinen Metallkern mehr.

negativer Zerstreuung durch das damals noch frische äußere Messing beruhen. Mit dem kleineren Drahtnetz wurde auch bewiesen, daß tatsächlich die Bedeckung mit Oxyd die Abnahme von q_- mit der Zeit bedingt, denn als ein Teil des Oxyds mit einer Bürste abgerieben wurde, so daß vielfach blankes Messing sichtbar wurde, stieg q_- von etwa 10 auf Werte um 100 und sank nach kurzem Erhitzen auf 650° wieder auf den vorhergehenden Betrag. Auch einige Versuche an einem Messingblech von der Größe des größeren Drahtnetzes zeigten kein abweichendes Verhalten, obgleich es, nach dem Aussehen am Schluß zu urteilen, ein zinkreicheres Messing war.

Wasserstoff.

Die schon p. 562 zitierte Arbeit von Wilson veranlaßte mich, den Einfluß von Wasserstoff auf die Zerstreuung ganz roh zu untersuchen. Zerstreuungsversuche in einer erhitzten Wasserstoffatmosphäre waren mit meiner Versuchsanordnung nicht gut möglich. Ich begnügte mich daher, mit Wasserstoff beladene Zerstreuungskörper einzuhängen. Zuerst ließ ich den Silberkörper zwei Tage lang in einer Atmosphäre von mit Permanganat gewaschenem Wasserstoff und hängte ihn dann sofort in den schon heißen Ofen. Ich fand bei 580° $q_+ = 190$, $q_- = 60$ (vorher waren beide gleich 4 gewesen) und nach kurzem Ausglühen über 800° wieder normale Werte. $q_- = 60$ reicht lange nicht an die Werte beim frischen Silber heran, diese lassen sich also nicht auf Wasserstoffbeladung zurückführen, $q_+ = 190$ dagegen ist von der Größenordnung wie beim frischen Silber, dessen erhöhte positive Zerstreuung läßt sich also durch Wasserstoffbeladung erklären. Zuverlässigere Resultate waren mit dem Platinkörper zu erwarten. Diesen belud ich dadurch mit Wasserstoff, daß ich ihn in einer Bunsenflamme ausglühte, den Gasstrom unterbrach und nach einer gewissen Abkühlung des Platins wieder Gas darauf strömen ließ. Die Wirkung kann auch mit auf anderen Bestandteilen des Leuchtgases beruhen, doch wahrscheinlich überwiegt die des Wasserstoffs, da er am stärksten vom Platin absorbiert wird. Zum Vergleich wurde erst der unbeladene Platinkörper in den schon heißen Ofen gehängt: es fanden sich normale Werte. Nach der Beladung war α_- völlig normal ($q_- = 1$ und $0,6$), für q_+

fand sich auch hier eine beträchtliche Erhöhung. Wie sich dies Resultat mit dem von Wilson verträgt, bleibt unaufgeklärt, doch liegt kein experimenteller Widerspruch vor, da die Temperaturen und Drucke beider Versuche weit auseinander liegen.

Die Werte für q_+ sind folgende (bei jeder der beiden Temperaturen nach frischer Beladung).

Tabelle 4.

570°		590°	
Zeit in Min.	q_+	Zeit in Min.	q_+
0	38	0	32
3	31	2	26
15	20	6	16
33	13	19	9
90	8	37	6,5
		70	5
		200	7

Der Abfall infolge Entweichens von Wasserstoff erfolgt bei 590° doppelt so schnell als bei 570°. Daß die Grenze, der sich die Zahlen nähern, noch bedeutend über dem normalen Wert zu liegen scheint, darf nicht wundernehmen, da bekannt ist, wie langsam Platin die letzten Anteile Wasserstoff abgibt. Bei dem der Abgabe zugrunde liegenden Diffusionsvorgang liegt die Frage nahe, ob das Platin von einer Wasserstoffatmosphäre umgeben ist und Sauerstoff gar nicht an seine Oberfläche gelangt, oder ob der Sauerstoff allen austretenden Wasserstoff sofort verbrennt (unterstützt durch die katalytische Wirkung des Platins), vielleicht sogar eindringt und an der Oberfläche überhaupt kein Wasserstoff mehr vorhanden ist. Diese Frage läßt sich aus meinen Beobachtungen nicht beantworten, ihre Lösung könnte aber Licht auf den Einfluß des Wasserstoffs auf die Zerstreuung werfen.

Metalloxyde.

Schon die Versuche mit Kupfer und Messing zeigten die Zerstreuung durch Metalloxyde. Nun hat Wehnelt¹⁾ gefunden (ähnliches war schon an Nernstschen Glühkörpern beobachtet),

1) A. Wehnelt, Ann. d. Phys. 14. p. 425. 1904.

daß eine Reihe Metalloxyde, auf Platin aufgetragen, in Vakuumröhren eine abnorme Erniedrigung des Kathodenfalles schon unter 1000° hervorrufen und im Zusammenhang damit eine beträchtliche Erhöhung der negativen Zerstreuung bei Atmosphärendruck und Temperaturen, die sämtlich über den von mir benutzten liegen. Beides führt er auf besonders starke Aussendung negativer Ionen zurück. Ich überzog daher das große Messingdrahtnetz und den Platinkörper mit Calciumkarbonat (auf einen gleichmäßigen Überzug kommt es nicht an), das bei den Beobachtungstemperaturen an der Luft völlig in Calciumoxyd, ein typisches Beispiel bei Wehnelts Untersuchungen, übergeht. Zudem wurde erst ausgeglüht. Das Resultat war sehr überraschend. Beim Messing fand sich q_- in den Grenzen der Werte, die oxydiertes Messing auch für sich zeigte, q_+ (untersucht zwischen 550 und 600°) lag um 100 herum, 20 mal so groß als vorher und nach Abreiben des Kalkes. Zuverlässiger sind die Versuche mit Platin. Die negative Zerstreuung war völlig normal ($q_- = 0,75$ und $1,1$), q_+ dagegen lag zwischen 20 und 50 (mit der Temperatur zunehmend, im Mittel bei 30). Daß die negative Zerstreuung bei mir nicht erhöht ist, stimmt mit Wehnelt überein, denn bei ihm¹⁾ zeigt ein mit CaO überzogener Platindraht, wenn er negativ geladen ist, einen Sättigungsstrom, der gegenüber dem des reinen Drahtes bei 970° , 1050° , 1120° im Verhältnis bez. 3, 26, 150 erhöht ist. Danach ist bei meinen unter 700° liegenden Temperaturen keine Erhöhung zu erwarten. — Meine Erhöhung von α_+ , für die ich keine Erklärung versuche, kann nicht etwa auf einer Änderung des äußeren Drahtnetzes beruhen, denn ohne CaO zeigt das Platin kurz nachher dieselben Werte wie kurz vorher.

Meine Versuche mit Messing legten es nahe, außer dem bereits am Kupferdrahtnetz untersuchten Einfluß von CuO (das nach Wehnelt den Kathodenfall nicht erniedrigt) auch den von Zinkoxyd zu untersuchen. Ich überzog einmal den Platinkörper mit ZnO und fand im Mittel $q_+ = 0,7$, $q_- = 5$. Hier ist im Gegensatz zu CuO und CaO nur die negative Zerstreuung vergrößert. Danach findet die vermehrte Aus-

1) l. c. p. 437.

sendung von negativen Ionen, die Wehnelt beim ZnO schwächer als beim CaO beobachtet, hier schon bei meinen Temperaturen statt. Das erklärt auch, warum beim Messing mit wenigen Ausnahmen q_- größer als 10 blieb. Der vergrößernde Einfluß von CuO auf q_+ dagegen scheint beim oxydierten Messing fast völlig aufgehoben zu sein.

Um zu sehen, ob Asbestfasern, die zufällig auf den Zerstreuungskörper gefallen sein konnten, Einfluß haben, untersuchte ich diesen Einfluß, indem ich möglichst viele Asbestfasern an den Platinkörper brachte, fand aber keine Änderung der Zerstreuung.

Fragt man nach der Temperatur, wo ein merklicher Anstieg der Zerstreuung stattfindet, so benutzt man am besten die, bei der sich die geradlinigen Teile der Kurve für $\log \alpha$ schneiden. Das sind bei mir ungefähr folgende Temperaturen:

Tabelle 5.

Zerstreuungskörper	+	-
Normales Platin	515°	515°
Silber frisch	420	410
„ nach kurzem Gebrauch	490	425
„ lange ausgeglüht	500	500
Kupfer frisch oxydiert	410	460
„ später	430	490
Messing frisch	510?	400
„ oxydiert	480	465
Platin mit Wasserstoff beladen	435	525
„ „ CaO überzogen	465	515
„ „ ZnO überzogen	525	480

Diese Tabelle steht in Widerspruch mit der von Byk¹⁾, wonach die Temperatur, bei der eine stärkere Zerstreuung beginnt, bei allen Metallen für negative Elektrizität zwischen 400 und 445°, für positive zwischen 590 und 610° liegt. Der Widerspruch wird wohl durch die wesentlich verschiedene Versuchsanordnung zu erklären sein. Daß die Differenzen für verschiedene Metalle bei Byk geringer sind, kann auf den geometrischen Verhältnissen beruhen, vielleicht auch darauf, daß er fast

1) A. Byk, Physik. Zeitschr. 4. p. 645. 1903.

immer Kohlensäurefüllung und nur bei einem einzigen Metall auch Luft verwendet. Wesentlicher ist, daß bei Byks Versuchen in Ermangelung eines faradischen Schutzes kein völlig definiertes elektrisches Feld vorhanden ist. Die Annahme, daß sich das Gas in der Nähe der Glaswand durch die Berührung mit dieser in der Hitze positiv lädt, würde z. B. die Unipolarität völlig erklären. Bei mir war Derartiges ausgeschlossen, ich glaube daher an der Beweiskraft meiner Versuche nicht zweifeln zu müssen.

Schlußbetrachtung.

Der Schluß, der sich bei meinen Resultaten sofort aufdrängt, ist der, daß die Ionisierung der Gase bei diesen Temperaturen keine spontane, vielmehr durch vom Metall ausgehende Ionen bedingt ist. Das folgt auch daraus, daß erhitzte Gase zwischen kalten Elektroden erst bei viel höherer Temperatur anfangen, besser zu leiten. Was für Ionen senden nun die Elektroden — so will ich den Zerstreuungskörper und das äußere Drahtnetz von nun an nennen — aus? Zunächst ist sehr wahrscheinlich, daß nur die mit der Ladung einer Elektrode gleichnamigen Ionen auf die Leitfähigkeit einwirken, denn die ungleichnamigen werden, falls sie überhaupt austreten, gleich wieder zurückgeführt und befördern so weder selbst Elektrizität, noch erlangen sie genügende Geschwindigkeit, um neutrale Moleküle zu ionisieren. Daraus folgt aber, daß die Elektroden positive *und* negative Ionen aussenden. Wären es z. B. nur negative, so dürfte die negative Zerstreuung nur vom Zerstreuungskörper, die positive nur vom äußeren Drahtnetz abhängen. Aber weder das, noch das Umgekehrte ist der Fall, vielmehr hängen beide Zerstreuungen bei konstantem äußeren Metall stark vom innern ab. Nur Elektronen können möglicherweise auch beim Austritt aus der positiv geladenen Elektrode ionisieren, aber sie können nicht bewirken, daß positive Elektrizität schneller als negative zerstreut wird. Das ist aber in verschiedenen von mir untersuchten Beispielen der Fall, und dabei konnte die größere positive Zerstreuung nicht durch die äußere Elektrode bedingt sein, denn sie war größer als die positive Zerstreuung anderer Körper bei unverändertem äußeren Drahtnetz. Also müssen

mindestens in einem Teil meiner Fälle positive und negative Ionen abgegeben werden.

Die nächste Frage ist, ob der gesamte Elektrizitätstransport durch die ausgesandten Ionen besorgt wird oder zum kleineren oder größeren Teil durch Ionen, die durch den Stoß jener im Gas erzeugt sind. Die Beantwortung dieser Frage wird dadurch sehr erschwert, daß noch nicht bekannt ist, um wieviel die Ionisierung durch Stoß bei höherer Temperatur leichter erfolgt, genauer präzisiert, um wieviel der zur Ionisierung mindestens nötige von einem Ion frei durchlaufene Potentialabfall (nach Stark die Ionisierungsspannung) mit der Temperatur abnimmt. Daß die ganze beobachtete Leitung von den abgegebenen Ionen besorgt wird, dagegen spricht die Tatsache, daß die an sich große Wiedervereinigungsgeschwindigkeit der durch Röntgenstrahlen erzeugten Ionen (also wohl aller Gasionen) nach den Beobachtungen von Mc Clung¹⁾ stark mit der Temperatur ansteigt, zwischen 15 und 270° aufs 8fache.

Daß die Stromstärke bei mir dem Potential proportional ist, läßt sich schwer auf einfache Weise deuten. Jedenfalls zeigt es, daß der Sättigungsstrom, durch den alle entstehenden Ionen weggeführt werden, ehe sie sich wieder vereinigen, noch nicht erreicht ist. Dazu sind bei Wehnelts Versuchen 1000 Volt nötig, bei mir werden 270 nicht überschritten.

Die Unipolaritätserscheinungen können nicht gut durch verschiedene Beweglichkeit von positiven und negativen Ionen erklärt werden. Wie mir scheint, kann ein großer Unterschied in der Beweglichkeit beider Ionen höchstens einen kleinen Unterschied in der Entladungsgeschwindigkeit beider Elektrizitäten hervorbringen, denn bei der weitgehenden Symmetrie der Anordnung tragen die von einer Elektrode abgestoßenen Ionen ebensoviel zur Leitung bei als die angezogenen.

Zusammenfassung.

Es wurde die Elektrizitätszerstreuung einiger Metalle in einem mit Luft von Atmosphärendruck gefüllten und von einem geerdeten, oberflächlich oxydierten Messingdrahtnetz

1) R. K. Mc Clung, Phil. Mag. (6) 6. p. 655. 1903.

umschlossenen Raum von überall konstanter Temperatur mittels eines Elektroskopes bis gegen 700° untersucht. Die Zerstreuung fand sich bis zu den in Tab. 5, p. 569 angegebenen Temperaturen unabhängig von der Temperatur und dem Metall, *darüber* stark ansteigend, etwa aufs Doppelte bei 15° Temperaturerhöhung, und sehr abhängig vom *Material* des Zerstreuungskörpers. *Frische* Metalle (Platin, Silber, Messing) zerstreuen *negative* Elektrizität viel schneller als nach längerem Ausglühen, wobei Platin und Silber fast das gleiche Verhalten erlangen und + und — gleich schnell zerstreuen. Kupferoxyd, Calciumoxyd und Wasserstoff erhöhen die *positive* Zerstreuung bedeutend, aber nicht die negative, während es bei höheren Temperaturen, was CaO und H_2 betrifft, nach Untersuchungen anderer umgekehrt ist. ZnO erhöht etwas die negative Zerstreuung.

Die Versuche wurden im Physikalischen Institut zu Freiburg i. B. im Winter 1903/04 ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Hrn. Prof. Himstedt für die Anregung zu dieser Arbeit und ihre eifrige Förderung meinen herzlichen Dank auszusprechen.

(Eingegangen 29. August 1904.)