

---

*I. Ueber die Leitungsfähigkeit für Elektrizität von Kalium, Natrium, Lithium, Magnesium, Calcium und Strontium; mitgetheilt von G. Kirchhoff.*

---

**H**r. Dr. Matthiessen hat in meinem Laboratorium einige Messungen angestellt über die Leitungsfähigkeit für Elektrizität von Kalium, Natrium, Lithium, Magnesium, Calcium und Strontium. Von diesen Metallen ist das Kalium schon vor 30 Jahren in Bezug auf seine Leitungsfähigkeit von Becquerel untersucht<sup>1)</sup>; nach diesem Physiker soll die Leitungsfähigkeit des Kaliums zu der des Silbers bei der Temperatur von 0° in dem Verhältniß von 1,7:100 stehen, während nach den Versuchen des Hrn. Dr. Matthiessen dieses Verhältniß das von 22,6:100 ist. Becquerel giebt das Verfahren, welches er eingeschlagen hat, nicht genau genug an, als daß der Grund dieses großen Unterschiedes sich auffinden ließe. Neuerdings, nachdem Hr. Dr. Matthiessen seine Versuche bereits beendet, und die Resultate derselben bekannt gemacht hatte<sup>2)</sup>, hat Hr. Lamy<sup>3)</sup> eine Notiz über die Leitungsfähigkeiten von Kalium und Natrium veröffentlicht. Derselbe giebt keine Zahlen für diese an, sondern bezeichnet nur die Stellung, die die beiden Metalle gegen einige andere in der Reihe haben, in der die Metalle nach der Güte der Leitung geordnet sind. Seine Angaben sind in Uebereinstimmung mit den Zahlen, die Hr. Matthiessen gefunden hat.

Bei seinen Hauptversuchen hat dieser die oben genann-

1) *Ann. de chem. et de phys.* T. 32, p. 420.

2) *Phil. Mag.* Sept. 1856.

3) *C. R.* Bd. 43, S. 695 (6 Oct. 1856).

ten Metalle alle in Form von Drähten angewendet, die mit Hülfe einer Presse erhalten wurden. Die Presse bestand aus einem Stahlstücke, dessen Querschnitt in Fig. 1 Taf. III in natürlicher Gröfse dargestellt ist; in die, in eine feine, kreisrunde Oeffnung mündende Höhlung dieses Stückes wurde eine Quantität des zu untersuchenden Metalls gebracht, ein gleichfalls stählerner Piston eingesetzt, und dieser mit Hülfe eines Schraubstockes eingeprefst. Das Metall trat dann als Draht aus der feinen Oeffnung hervor. Bei Kalium, Natrium und Lithium durfte, der leichten Oxydirbarkeit dieser Metalle wegen, der Draht keinen Augenblick mit der atmosphärischen Luft in Berührung seyn; er wurde daher in einen Trog geprefst, der mit Steinöl gefüllt war, welches man, um es vollkommen trocken und frei von Sauerstoff zu erhalten, portionenweise über Stücken metallischen Natriums ausgekocht hatte. Die beim Pressen getroffene Anordnung ist Fig. 2 Taf. III dargestellt. Hier sieht man zwischen den Backen eines Schraubstockes zwei eiserne Balken, welche oben einander berühren; unten drückt der eine gegen den Piston, der andere gegen die Presse, welche in dem mit Steinöl gefüllten Trog sich befindet. Der zweite Balken ist mit einer Oeffnung versehen, durch welche der Draht hindurchgeht. Sobald durch diese der Anfang des Drahtes hervorgetreten war, wurde er mit einer Zange gefasst, und in eine Klemme gebracht, die aus zwei stark gegen einander federnden Stücken von Messingblech bestand, und Fig. 3 Taf. III in natürlicher Gröfse abgebildet ist; sie safs an einem mehrfach gebogenen Drahte, der von dem Holzklotz i getragen wurde. In dem Maafse, in dem der Draht sich verlängerte, wurde die Klemme verschoben, so dafs der Draht immer fast gerade blieb. Hatte derselbe die gewünschte Länge erhalten, so wurde er von der Presse abgeschnitten, diese entfernt, und das Ende in einer zweiten Klemme ähnlicher Art befestigt. Eine Glasplatte, die in dem Trog so angebracht war, dafs der Draht auf ihr ruhte, diente dazu, zu verhindern, dafs der Draht durch sein eigenes Gewicht sich ausdehnte, Diese Vorsicht war

beim Kalium bei der hohen Sommertemperatur, bei der einige Versuche angestellt wurden, sehr nöthig. Um den Zutritt des Sauerstoffs der Luft zu dem Steinöl so viel als möglich zu erschweren, wurde der Trog sogleich nach der Einklemmung des zweiten Drahtendes mit einer Glasplatte bedeckt. Um dieser die nöthigen Stützpunkte zu gewähren, war dem Querschnitt des Troges die in Fig. 4 Taf. III gezeichnete Gestalt gegeben. In derselben Figur ist auch dargestellt, wie die die Klemmen tragenden Drähte an dem Rande der Glasplatte vorbeigehen.

Bei Magnesium, Calcium und Strontium ist die Oxydirbarkeit nicht so groß, daß eine augenblickliche Berührung mit der Luft sehr zu fürchten war; dafür ist die Dehnbarkeit derselben aber auch so geringe, daß es bei gewöhnlicher Temperatur nicht gelang, Drähte von ihnen zu pressen. Es wurde dieses aber möglich, indem man die Presse, während mit Hülfe des Schraubstocks ein starker Druck auf den Piston ausgeübt wurde, durch eine Glasbläserlampe erhitze, und, um die schnelle Ableitung der Wärme durch das Metall des Schraubstocks zu verhindern, zwischen dieses und die Presse eine Lage Asbest brachte. Auf diese Weise ist es Hrn. Matthiessen selbst gelungen von Tellur, Wismuth und Antimon Drähte zu pressen. Bei dem Magnesium liefs man den Draht in eine mit Luft, bei dem Calcium und Strontium in eine mit Steinöl gefüllte Röhre treten, die so vor die Oeffnung der Presse gelegt war, daß das Metall nur auf einem Wege von wenigen Millimetern mit der Luft in Berührung blieb. Hatte man in der Röhre einen Draht von gewünschter Länge, so wurde dieser mit der Röhre in den mit Steinöl gefüllten Trog gebracht, unter dem Oel aus der Röhre gezogen, an den Enden blank geschabt und mit diesen in den Klemmen befestigt.

Bei der Messung des Widerstandes des Drahtes wurde eine Methode benutzt, die auf dem, auch der Wheastone'schen Methode zu Grunde liegenden Principe beruht, auf dem Principe nämlich: daß, wenn man vier Drähte mit ein-

einander verbindet wie die vier Seiten eines Vierecks, in die eine Diagonale des Vierecks eine Kette, in die andere ein Galvanometer einschaltet, die Nadel dieses keinen Strom anzeigt, wenn die Widerstände jener vier Drähte eine Proportion bilden. Den einen von den vier Drähten bildete der zu untersuchende Draht, den zweiten ein aus reinem Silber bestehender Normaldraht, den dritten und vierten die Theile eines auf einer Holzleiste ausgespannten Kupferdrahtes, die von einander abgegränzt waren durch ein an einem Bleiklotze befestigtes Stück Kupferblech, das mit seiner Kante sich auf dem Drahte längs einer Scale verschieben liefs, und mit dem einen Ende des Drahtes eines Galvanometers in Verbindung war. Man suchte die Stellung des Kupferbleches auf, bei der das Galvanometer keinen Strom anzeigte; es mußte dann das Verhältniß der Widerstände des zu untersuchenden Drahtes und des Normaldrahtes gleich seyn dem Verhältniß der Längen der beiden Theile, in welche der ausgespannte Draht durch das Kupferblech getheilt war.

Die Anordnung der Apparate bei der Widerstandsmessung ist in Fig. 5 Taf. III dargestellt. Auf der Holzleiste *A* sind nahe der Mitte zwei Klemmschrauben, *a* und *a'*, befestigt; diese halten die beiden Enden eines ungefähr 1<sup>m</sup> dicken Kupferdrahtes, der fast die doppelte Länge als die Leiste hat, auf der oberen Fläche derselben um die beiden Holzsäulen *s* und *s'* geschlagen und stark ausgespannt ist. Auf der Leiste ist eine Theilung angebracht, an der man den Punkt ablesen kann, in welchem der Draht von dem Kupferbleche *b* berührt wird, das durch eine Spirale mit dem Galvanometer *G* in Verbindung gesetzt ist. In der Nähe der Klemmschraube *a* ist auf den ausgespannten Draht in *c* ein Draht gelöthet, dessen eines Ende in das Quecksilbernäpfchen *g* taucht, während das andere zu dem einen Pole der Kette *K* geführt ist. Ein gleicher Draht ist in der Nähe der zweiten Klemmschraube in *a'* angebracht; das eine Ende desselben taucht in das Quecksilbernäpfchen *g'*, das andere ist zu dem zweiten Pole der Kette

geleitet. In demselben kleinen Brette, in dem die Quecksilbernäpfchen  $g$  und  $g'$  sich befinden, sind noch zwei andere,  $f$  und  $e$ , vorhanden, welche mit jenen die Ecken eines Quadrats bilden. Mit  $f$  ist das eine Ende des Normaldrahts in Verbindung gesetzt. Dieser Draht ist auf ein Holzbrettchen gewunden, mit seinen Enden an zwei dicke Kupferdrähte gelöthet, die an das Brettchen befestigt sind und befindet sich in einem mit Steinöl gefüllten Glascylinder  $N$ . Der eine von diesen Kupferdrähten taucht in das Näpfchen  $f$ , der andere in das Näpfchen  $h$ . Von  $h$  und  $e$  sind zwei Kupferdrähte nach den Näpfchen  $i$  und  $k$  geführt, in deren Quecksilber die Drähte stehen, die die Klemmen tragen, welche den zu untersuchenden Draht halten. Von  $h$  ist überdies ein Draht zu dem noch freien Ende des Galvanometerdrahtes geleitet. Ueber dem Brette, welches die vier Näpfchen  $g$ ,  $g'$ ,  $f$ ,  $e$  enthält, ist ein Holzklötz gezeichnet, an welchem zwei zweimal rechtwinklig gebogene Drähte befestigt sind. Die vier nach unten gekehrten Enden dieser Drähte passen in die vier Nüpfen, und können in dieselben entweder so eingesetzt werden, daß  $e$  mit  $g$  und  $f$  mit  $g'$ , oder so, daß  $e$  mit  $g'$  und  $f$  mit  $g$  verbunden werden. Bei jeder von diesen beiden Stellungen des Commutators ist eine Combination der oben gedachten Art hergestellt; die Eckpunkte des Vierecks sind dabei: die Löthstellen  $c$  und  $c'$ , der Punkt, in dem das Kupferblech den ausgespannten Draht berührt, und das Quecksilbernäpfchen  $h$ . Bei der Aenderung der Stellung des Commutators werden die beiden Zweige, von denen der eine den Normaldraht, der andere den zu bestimmenden Draht enthält, gegen einander vertauscht.

Die Scale an dem ausgespannten Drahte war so gelegt, daß ihr Nullpunkt gleich weit von den Löthstellen  $c$  und  $c'$  abstand; ein Scalentheil war  $6^{\text{mm}},75$ , die Länge des Drahtes von dem Nullpunkte bis zu einer der beiden Löthstellen betrug  $170,4$  solcher Scalentheile. Es werde diese Zahl mit  $l$  bezeichnet; es sey ferner  $\alpha$ , die Ablesung am Kupferbleche bei der richtigen Einstellung desselben für die

Stellung des Commutators, die mit 1 bezeichnet wurde, und  $\alpha$ , die Ablesung für die Stellung 2 des Commutators; dann ist das Verhältniß des Widerstandes des Zweiges, der den zu bestimmenden Draht enthält, zu dem Widerstande des Zweiges, in dem der Normaldraht ist,

$$= \frac{l + \alpha_1}{l - \alpha_1} \text{ oder } = \frac{l - \alpha_2}{l + \alpha_2}.$$

Bedeutet  $\mu$  den Widerstand des Normaldrahtes,  $w$  den des zu untersuchenden Drahtes,  $a$  den Widerstand der Drähte, die mit jenem den einen Zweig bilden,  $b$  endlich den Widerstand der Drähte, die mit diesem den andern Zweig ausmachen, so ist also

$$\frac{w + b}{\mu + a} = \frac{l + \alpha_1}{l - \alpha_1} \text{ oder } = \frac{l - \alpha_2}{l + \alpha_2}.$$

Um mit Hilfe dieser Gleichungen aus dem beobachteten Werthe von  $\alpha_1$  oder  $\alpha_2$   $w$  berechnen zu können, unter der Voraussetzung, daß  $\mu$  bekannt ist, war es nöthig durch vorläufige Versuche  $a$  und  $b$  zu bestimmen. Es geschah das, indem in die Klemmen, welche bei den Hauptversuchen die Drähte von Kalium, Natrium u. s. w. trugen, unter übrigens unveränderten Umständen Silberdrähte von gemessenen Längen eingeschaltet wurden, welche von demselben Stücke als der Normaldraht abgeschnitten waren. Bezeichnen  $w'$  und  $w''$  die Widerstände zweier solcher Drähte,  $\alpha'_1$  und  $\alpha''_1$ , die entsprechenden Werthe von  $\alpha_1$ , so hat man

$$\begin{aligned} \frac{w' + b}{\mu + a} &= \frac{l + \alpha'_1}{l - \alpha'_1} \\ \frac{w'' + b}{\mu + a} &= \frac{l + \alpha''_1}{l - \alpha''_1} \end{aligned}$$

Nimmt man als Einheit des Widerstandes den Widerstand von 1<sup>mm</sup> des Normaldrahtes an, so kann man für  $\mu$ ,  $w'$ ,  $w''$  die in Millimetern ausgedrückten Längen der drei Drähte setzen; aus den beiden Gleichungen lassen sich dann  $a$  und  $b$  berechnen. Bei den Versuchen mit Kalium, Natrium

und Lithium war in der festgesetzten Einheit des Widerstandes ausgedrückt:

$$\mu = 500,9 \quad w' = 492,4 \quad w'' = 594,2;$$

diese Zahlen gaben nämlich in Millimetern die Längen der drei Drähte an nach Abrechnung von 4<sup>mm</sup> bei einem jeden, welche bei dem ersten eingelöthet, bei den beiden andern eingeklemmt waren. Es wurde gefunden:

$$\alpha'_1 = -3,15 \quad \alpha''_1 = 11,55,$$

woraus sich ergibt:

$$a = 59,4 \quad b = 47,5.$$

Bei den Versuchen mit Calcium, Strontium und Magnesium benutzte man einen andern Normaldraht und andere Verbindungsdrähte; hier hatten also  $\mu$ ,  $a$  und  $b$  andere Werthe. War der Widerstand  $w$  in der bezeichneten Einheit bestimmt, so konnte hieraus und aus den Dimensionen des Drahtes das Verhältniß seiner Leitungsfähigkeit zu der des Silbers berechnet werden. Es bezeichne  $\lambda$  seine Leitungsfähigkeit,  $L$  seine Länge in Millimetern ausgedrückt,  $\delta$  seinen Durchmesser,  $\nu$  den Durchmesser des Normaldrahtes,  $s$  die Leitungsfähigkeit des Silbers bei der Temperatur, die der Normaldraht bei dem Versuche hatte, und die durch ein Thermometer gemessen wurde, das in dem Steinöl des Cylinders  $N$  sich befand; dann ist:

$$\lambda = \frac{\nu^2}{\delta^2} \frac{L}{w} s.$$

Setzt man die Leitungsfähigkeit des Silbers bei 0° C. = 100, so ist nach einer von Lenz <sup>1)</sup> gegebenen Formel bei der Temperatur von  $t^\circ$  C

$$s = 100 - 0,29254 t + 0,000 3776 t^2.$$

Die Länge  $L$  wurde nach der Bestimmung des Widerstandes mit einem Stangenzirkel gemessen; der Durchmesser  $\delta$  wurde bei den kalt geprefsten Metallen als gleich dem Durchmesser der Oeffnung der Presse angesehen, und dieser wurde mit Hülfe eines Mikroskopes gemessen; Bleidrähte, welche kalt mit derselben Presse dargestellt waren, zeigten einen Durchmesser, welcher mit der Oeffnung genau übereinstimmte; hierdurch schien es gerechtfertigt, die-

1) Pogg. Ann. Bd. 34, S. 433.

selbe Uebereinstimmung beim Kalium, Natrium und Lithium vorauszusetzen. Bei den heifs geprefsten Metallen, Calcium, Strontium und Magnesium wurde der Durchmesser direct unter dem Mikroskope gemessen, während der Draht unter Steinöl lag. Hier zeigte sich der Durchmesser des Drahtes immer kleiner als der der Oeffnung und merklich verschieden an verschiedenen Stellen. Das Mittel aus den an den beiden Enden gemessenen Dicken wurde in die Rechnung eingeführt.

Es folgt nun die Angabe der Beobachtungen, die mit verschiedenen Drähten angestellt sind. In den beiden ersten Columnen sind die Werthe von  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  aufgeführt; diese wären ohne störende Einflüsse gleich und entgegengesetzt gewesen; es wurde das arithmetische Mittel aus den absoluten Werthen bei der Rechnung benutzt; die dritte Columnne giebt die Temperatur  $t$  des Normaldrahtes, die vierte die Temperatur  $T$  des der Untersuchung unterworfenen Drahtes nach Celsius'schen Graden an, die fünfte den Durchmesser  $\delta$  in Millimetern, die sechste die Länge  $L$  ebenfalls in Millimetern, die siebente endlich die Leitungsfähigkeit  $\lambda$ , die für die Temperatur  $T$  gilt. Vorausgesetzt sind noch die Werthe von  $\mu$ ,  $a$ ,  $b$  und  $\nu$ .

$$\mu = 500,9 \quad a = 59,4 \quad b = 47,5 \quad \nu = 0,292^{\text{mm}}$$

#### K a l i u m.

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	$T$	$\delta$	$L$	$\lambda$
63,9	— 64,5	17,7	18,5	0,321	304,0	20,08
61,6	— 62,0	17,7	18,5	0,321	285,7	19,57
43,6	— 44,6	17,7	18,5	0,321	230,6	20,06
77,6	— 77,6	21,0	23,2	0,321	394,5	21,17
66,6	— 66,6	21,0	22,0	0,321	341,9	21,60
— 75,7	75,3	19,5	21,5	0,777	276,3	21,82
— 74,0	74,1	19,5	21,0	0,777	281,9	21,61

#### N a t r i u m.

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	$T$	$\delta$	$L$	$\lambda$
30,2	— 30,9	21,2	22,5	0,321	364,9	31,45
30,8	— 31,6	21,2	21,9	0,321	366,0	37,25
41,0	— 41,4	20,0	21,0	0,321	413,9	37,21
35,0	— 35,0	21,0	21,9	0,321	392,2	37,94
14,2	— 14,3	21,0	21,5	0,321	294,8	37,29

## L i t h i u m.

$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	$T$	$\delta$	$L$	$\lambda$
77,6	— 77,6	20,0	21,2	0,321	353,7	19,05
52,9	— 52,9	20,0	21,2	0,321	248,6	19,08
36,4	— 36,4	20,0	21,2	0,321	198,7	19,00
69,3	— 69,2	17,7	19,7	0,321	310,1	19,01
41,6	— 41,6	17,7	19,6	0,321	208,7	18,78

$$\mu = 591,5 \quad a = 10,3 \quad b = 43,0 \quad r = 0,319 \text{ mm}$$

## C a l c i u m.

—31,5	31,5	17,0	16,5	0,432	161,7	22,62
—44,6	44,6	17,0	16,5	0,432	126,4	21,23
—77,1	77,1	17,0	17,5	0,460	90,7	22,58

## S t r o n t i u m.

95,1	— 95,1	18,0	20,0	0,411	250,1	6,88
77,9	— 77,9	18,0	19,7	0,411	180,5	6,56
76,3	— 76,3	18,0	20,2	0,351	130,8	6,68

## M a g n e s i u m.

—18,7	18,7	17,0	16,7	0,453	236,9	25,37
—45,2	45,3	17,0	16,7	0,453	169,2	26,08
—21,3	21,4	17,0	16,0	0,453	227,8	25,32
—11,8	11,8	17,8	16,7	0,319	171,4	25,10

Aus diesen Zahlen sind nun in der Weise die letzten Resultate gezogen, dafs aus den Werthen, welche für die Leitungsfähigkeit  $\lambda$  eines jeden Metalles gefunden sind, das Mittel genommen, und dieses als gültig betrachtet ist für das Mittel aus den Temperaturen  $T$ . Auf diese Weise hat sich ergeben: die Leitungsfähigkeit von Silber bei 0° C. = 100 gesetzt, ist die

von Natrium bei 21°,7 C. = 37,43

Magnesium " 17 ,0 " = 25,47

Calcium " 16 ,8 " = 22,14

Kalium " 20 ,4 " = 20,85

Lithium " 20 ,0 " = 19,00

Strontium " 20 ,0 " = 6,71.

Was das zu den Versuchen verwendete Material betrifft, so war das Kalium und Natrium das im Handel vorkommende, Lithium, Strontium und Calcium waren elek-

trolytisch nach der in den Ann. der Chem. und Pharm. Bd. 94, S. 107 von Bunsen beschriebenen Methode dargestellt, das Magnesium endlich war gleichfalls elektrolytisch nach der von Hrn. Dr. Matthiessen, *Chem. Soc. Qu. J.* 8 p. 107 beschriebenen Methode erhalten. Wenn die Metalle auch sicher nicht chemisch rein gewesen sind, so kann man doch nur unbedeutende Verunreinigungen bei ihnen vermuthen.

Es ist zu fürchten, daß bei Kalium, Natrium und Lithium, namentlich bei den beiden ersten dieser Metalle, die Leitungsfähigkeit sich ein wenig zu klein gezeigt hat, deswegen, weil der Draht, bevor die richtige Einstellung bei der Widerstandsmessung gefunden war, etwas anlief, obwohl er unter ausgekochtem Steinöl sich befand. Die Oxydation des Drahtes ging continuirlich fort, und hatte einen merklichen Einfluß auf den Widerstand desselben, wie einige zur Untersuchung dieses Punktes angestellte Versuche lehrten. Es wurde nämlich der Widerstand eines Drahtes gleich nach seiner Befestigung in den Klemmen gemessen, dann nach 5, nach 10, nach 15 Minuten. In der folgenden Tabelle sind die abgelesenen Werthe von  $\alpha_1$  und die daraus berechneten von  $\lambda$  angegeben.

Zeit	Kalium		Natrium		Lithium	
	$\alpha_1$	$\lambda$	$\alpha_1$	$\lambda$	$\alpha_1$	$\lambda$
0'	44,1	20,06	31,2	37,25	41,6	18,78
5	45,3	19,74	31,5	37,11	41,6	18,78
10	46,2	19,50	31,8	36,96	41,6	18,78
15	46,9	19,32	32,2	36,77	42,2	18,63
20			32,5	36,63	42,8	18,49
25					43,2	18,39

In der Veränderung des Widerstandes mit der Zeit, die durch diese Versuche gezeigt ist, liegt wahrscheinlich der hauptsächlichste Grund davon, daß die absoluten Werthe von  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  in der früheren Tabelle bei Kalium und Natrium oft beträchtliche Unterschiede darbieten, bei den andern Metallen aber nicht.

Ein Umstand, der mehrere Versuche nutzlos gemacht hat, möge noch erwähnt werden. Es fehlte einige Male die gute metallische Berührung zwischen den Drahtenden und den Klemmen; der Widerstand erschien dann viel zu groß, aber fortwährend schwankend, so daß die Nadel des Galvanometers nicht auf dem Nullpunkt blieb; sie schlug bald nach dieser, bald nach jener Richtung aus, und ihre Unruhe wurde besonders groß, wenn der Trog, in dem der Draht sich befand, durch leise Schläge erschüttert wurde.

Kalium und Natrium hat Hr. Dr. Matthiessen auch in Beziehung auf die Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Temperatur untersucht, und zwar sowohl im festen, als im geschmolzenen Zustande. Zu diesen Versuchen wurde das Metall in eine weite Thermometerröhre gebracht. An zwei Stellen, bei *a* und *b*, Fig. 6 Taf. III, war die Röhre vor der Glasbläserlampe aufgetrieben, dann an jeder dieser Stellen ein kurzer Platindraht eingeschmolzen und an das eine Ende eine weitere Röhre angelöthet. Durch die so vorgerichtete Röhre wurde eine Zeit lang trocknes Wasserstoffgas hindurchgeleitet; bei *c* wurde ein Stück des Metalls eingeschoben, die ganze Röhre bei nahe horizontaler Lage erwärmt, bis das Metall schmolz, und nun, nachdem die Röhre geneigt war, das geschmolzene Metall dadurch, daß bei *c* Wasserstoff eingepreßt wurde, in die enge Röhre bis zu deren Ende getrieben. Darauf wurden die beiden Enden der Röhre zugeschmolzen, über *a* und *b* zwei Stücke von Kautschukröhren gesteckt, durch die vorher Löcher quer hindurch gebrannt waren, die unteren Oeffnungen dieser Röhren mit Glasstäbchen verschlossen, und in die oberen Glasröhren gebracht. Diese wurden mit Quecksilber gefüllt und bildeten so Quecksilbernäpfe, in die die Zuleitungsdrähte zu tauchen waren. Die ganze Vorrichtung wurde in einen Trog gebracht, der mit Wasser oder einer Chlorcalciumlösung, je nach der Temperatur, die man erreichen wollte, gefüllt war. Es wurde die Flüssigkeit des Troges durch untergestellte Lampen sehr allmählich

erwärmt, dabei fortwährend umgerührt, und von Zeit zu Zeit, nach der bei den früheren Versuchsreichen benutzten Methode, der Widerstand des in der Röhre enthaltenen Metalldrahtes bestimmt. Gleichzeitig wurde der Stand eines in die Flüssigkeit tauchenden Thermometers abgelesen. Es war die Entfernung der beiden eingeschmolzenen Platindrähte gemessen, und der Querschnitt der Röhre bestimmt durch die Wägung der Quantität Quecksilber, welche eine gemessene Länge in ihr eingenommen hatte; es konnten hiernach aus den gefundenen Widerständen die Werthe der Leitungsfähigkeit berechnet werden. Es zeigte sich hierbei eine interessante Thatsache. Bei beiden Metallen nämlich ist in einiger Entfernung vom Schmelzpunkte, sowohl beim festen, wie beim flüssigen Zustande die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Zunahme der Temperatur nahezu proportional, in der Nähe des Schmelzpunktes aber findet eine besonders schnelle Aenderung in der Leitungsfähigkeit statt. Diese Aenderung scheint beim Natrium eine sprungweise zu seyn, beim Kalium ist sie eine allmähliche. Der Gegensatz, den hierin die beiden Metalle zeigen, stimmt damit überein, daß bei der Erwärmung das Kalium sich erweicht und allmählich in den flüssigen Zustand übergeht, das Natrium aber plötzlich seinen Aggregatzustand zu ändern scheint<sup>1)</sup>.

Die durch die Versuche gefundenen Werthe der Leitungsfähigkeit lassen sich genügend durch die folgenden Formeln darstellen, in denen  $\lambda$  die Leitungsfähigkeit, die von Silber bei  $0^\circ = 100$  gesetzt,  $t$  die Temperatur in Centigraden ausdrückt:

**Kalium.**

Für  $t$  zwischen 0 und 46,8:

$$\lambda = 20,14 - 0,0819t + 0,000235t^2,$$

für  $t$  zwischen 46,8 und 56,8:

$$\lambda = 668,26 - 40,402t + 0,83801t^2 - 0,0058155t^3,$$

für  $t$  zwischen 56,8 und 100:

$$\lambda = 13,35 - 0,03393t.$$

1) Vergl. Regnault, Pogg. Ann. Bd. 98, S. 411.

## Natrium.

Für  $t$  zwischen 0 und 95,4:

$$\lambda = 32,54 - 0,1172t + 0,000127t^2,$$

für  $t$  zwischen 96,1 und 120:

$$\lambda = 23,38 - 0,7222t.$$

Das Kalium schmolz zwischen 46,8 und 56,8, das Natrium zwischen 95,4 und 96,1.

Die Curven Fig. 8 Taf. III stellen die durch diese Formeln ausgesprochene Abhängigkeit der Leitungsfähigkeit von der Temperatur dar. Die folgenden Tabellen geben die Unterschiede der beobachteten Werthe von  $\lambda$  und der nach diesen Formeln berechneten an.

## Kalium.

$t$ .	Beobacht.	Rechnung.	Unterschied.
0	20,14	20,14	0,00
9,8	19,41	19,36	— 0,05
15,8	18,90	18,91	+ 0,01
19,4	18,64	18,64	0,00
21,4	18,52	18,50	— 0,02
28,7	17,95	17,98	+ 0,03
36,8	17,41	17,45	+ 0,04
46,8	16,85	16,82	— 0,03
49,2	16,42	16,45	+ 0,03
52,7	15,38	15,35	— 0,03
54,2	14,38	14,36	— 0,02
55,4	13,43	13,22	— 0,21
56,0	12,24	12,62	+ 0,28
56,8	11,53	11,43	— 0,10
65,6	11,15	11,13	— 0,02
74,7	10,83	10,82	— 0,01
84,5	10,50	10,49	— 0,01
87,7	10,38	10,38	0,00
100	9,93	9,96	+ 0,03.

## Natrium.

<i>t.</i>	Beobacht.	Rechnung.	Unterschied.
0	32,54	32,54	0,00
11,0	31,28	31,27	— 0,01
21,1	30,13	30,12	— 0,01
28,1	29,32	29,33	+ 0,01
33,5	28,77	28,76	— 0,01
40,2	28,07	28,04	— 0,03
46,5	27,38	27,37	— 0,01
52,3	26,72	26,76	+ 0,04
59,0	26,05	26,07	+ 0,02
65,8	25,40	25,39	— 0,01
72,1	24,74	24,75	+ 0,01
78,6	24,11	24,11	0,00
89,3	23,11	23,09	— 0,02
95,4	22,51	22,53	+ 0,02
96,1	16,60	16,44	— 0,16
96,6	16,38	16,40	+ 0,02
97,6	16,27	16,33	+ 0,06
103,6	15,84	15,90	+ 0,06
109,6	15,38	15,46	+ 0,08
120,2	14,76	14,70	— 0,06.

Eine Fehlerquelle, die von erheblichem Einfluß auf die so gewonnenen Resultate gewesen ist, liegt in der Zusammenziehung, die sowohl Kalium als Natrium beim Erstarren zeigen, und die beim letzteren namentlich groß ist. In Folge dieser bildeten sich beim Abkühlen der Röhre, nach dem Einbringen des Metalls, in derselben leere Räume, welche den Querschnitt des Metalls verkleinerten, und daher die Leitungsfähigkeit zu klein erscheinen ließen. Zuweilen dehnten sich beim Natrium diese leeren Räume über den ganzen Querschnitt aus, und unterbrachen so ganz die Leitung des elektrischen Stromes. Meistens gelang es dann aber die Leitung wieder herzustellen und die leeren Räume so klein als möglich zu machen, indem man die Röhre in einem Bade über den Schmelzpunkt des Metalls erwärmte, und sie dann schnell erkalten ließ. Je enger die Röhre

war, desto kleiner waren die leeren Räume im Verhältniß zum Querschnitt, weil die Adhäsion des Metalls am Glase ihrer Bildung entgegenwirkte, und desto weniger war ein Zerreißen des Metalls zu fürchten. Von den Röhren, mit denen die angegebenen Versuche angestellt sind, hat die das Kalium enthaltende einen Durchmesser von 0,446<sup>mm</sup>, die das Natrium enthaltende einen Durchmesser von 0,368<sup>mm</sup>; hier sind die Lücken zwar klein, aber noch sehr deutlich mit bloßem Auge wahrnehmbar. Der Einfluß, den dieselben auf die Bestimmung der Leitungsfähigkeit gehabt haben, läßt sich beurtheilen, wenn man die aus den Versuchen mit den geprefsten Drähten gefundenen Leitungsfähigkeiten vergleicht mit den aus diesen Versuchen für dieselben Temperaturen sich ergebenden. Dort war gefunden:

für Kalium  $\lambda = 20,85$  wenn  $t = 20,4$

für Natrium  $= 37,43$   $= 21,7$ ;

hier ergibt sich für dieselben Temperaturen:

bei Kalium  $\lambda = 18,56$

bei Natrium  $= 30,06$ .

Darf man annehmen, daß die Lücken bei Temperaturveränderungen sich nicht merklich ändern beim Kalium, so lange die Temperatur unter 46,8, beim Natrium, so lange sie unter 95,4 bleibt, so werden die für die Leitungsfähigkeit aufgestellten Ausdrücke, die bis zu diesen Temperaturen gelten sollen, von dem Einfluß der Lücken befreit, wenn man sie respective mit den Factoren:

$$\frac{20,85}{18,56} \text{ d. b. } 1,1233$$

und

$$\frac{37,43}{30,06} \text{ d. b. } 1,2451$$

multiplicirt. Dadurch erhält man für das Kalium:

$$\lambda = 22,62 - 0,0920 \quad t + 0,000263 t^2$$

und für das Natrium:

$$\lambda = 40,52 - 0,1459 \quad t + 0,000158 t^2.$$

Man kann annehmen, daß nach der Schmelzung des Metalls die Lücken vollständig verschwunden sind, die für den flüssigen Zustand von Kalium und Natrium aufgestellten Gleichungen sind also nicht zu verändern. Zwischen den Temperaturen 46,8 und 56,8 ändern sich beim Kalium die Lücken; man kennt aber das Gesetz nicht, nach dem dieses geschieht, und man ist daher auch nicht im Stande, die für dieses Temperaturintervall aufgestellte Gleichung von dem Einfluß der Lücken zu befreien.

Matteucci hat gefunden, daß beim Wismuth die Leitungsfähigkeit beim Schmelzen wächst<sup>1)</sup>; Hr. Dr. Matthiessen hat dieses Resultat bestätigt, indem er eine Methode angewandt hat, die der beim Kalium und Natrium benutzten ganz ähnlich war. Es steht dasselbe vielleicht mit der Zusammenziehung in Verbindung, die das Wismuth bei dem Schmelzen erleidet.

Um noch ein viertes Metall in derselben Hinsicht zu prüfen, untersuchte Hr. Matthiessen das Rose'sche Metallgemisch. Die graphische Darstellung der hierbei gewonnenen Resultate gab eine Curve, welche der auf das Kalium bezüglichen ganz ähnlich war. Es bot sich bei dieser Gelegenheit die Veranlassung dar, auch geprefste Drähte von Rose'schem Metall auf ihre Leitungsfähigkeit bei verschiedenen Temperaturen zu untersuchen. Dabei zeigte sich eine bemerkenswerthe Erscheinung. Wenn man nämlich einen geprefsten Draht von Rose'schem Metall allmählich erwärmt, dann abkühlen läßt, und bei steigender und bei abnehmender Wärme den Widerstand bei gewissen Temperaturen mißt, so findet man für dieselben Temperaturen dieselben Widerstände, sobald die Erwärmung nicht über 40° ungefähr gegangen ist; ist aber die Temperatur weiter gesteigert, so findet man durch die Erwärmung den Widerstand vergrößert. Die so hervorgebrachte Vergrößerung des Widerstandes verringert sich allmählich, wenn der Draht sich selbst überlassen wird. Die Verringerung geht anfangs schnell, dann langsamer und lang-

1) *Ann. de chem. et de phys. Ser. III. T. 43, p. 472.*

samer vor sich, so daß sich der Widerstand des Drahtes asymptotisch dem Werthe zu nähern scheint, den er vor der Erwärmung hatte. Bei einem Drahte, der bis  $80^{\circ}$  erhitzt war, waren noch 6 Wochen nach der Erwärmung Aenderungen in dem Widerstande merklich.

Die Möglichkeit, den Alkalimetallen und Erdmetallen die Form von Drähten zu geben, macht es leicht noch eine andere Eigenschaft derselben als die Leitungsfähigkeit für Elektricität zu bestimmen, nämlich ihre Stellung in der thermoelektrischen Spannungsreihe. Hr. Dr. Matthiessen ist gegenwärtig mit Versuchen hierüber beschäftigt; ich werde mir später erlauben, die Resultate derselben mitzutheilen.

## II. *Ueber die Bewegung der Elektricität in Drähten; von G. Kirchhoff.*

Ich habe versucht eine allgemeine Theorie der Bewegung der Elektricität in einem unendlich dünnen Drahte aufzustellen, indem ich gewisse Thatsachen, welche bei constanten elektrischen Strömen, und Strömen, deren Intensität sich nur langsam ändert, stattfinden, als allgemein geltend angenommen habe. Ich erlaube mir hier diese Theorie zu entwickeln, und ihre Anwendung auf einige einfache Fälle auseinander zu setzen.

Ich denke mir einen homogenen und überall gleich dicken Draht von kreisförmigem Querschnitt; auf der Mittellinie dieses Drahtes nehme ich einen festen und einen veränderlichen Punkt an; das Stück der Mittellinie zwischen beiden nenne ich  $s$ ; durch den veränderlichen Punkt lege ich einen Querschnitt und bezeichne die Polarcoordinaten eines Punktes dieses Querschnitts in Beziehung auf ein Coordinatensystem, dessen Anfangspunkt der Mittelpunkt ist, durch  $\varrho$  und  $\psi$ . Ich will die elektromotorische Kraft

