schen Herstellung von Rheostaten und Widerstandseinheiten am Platze zu sein: nämlich deren „Normaltemperatur“, die gegenwärtig meistens ziemlich hoch gewählt wird, umgekehrt niedrig zu greifen. Sind die Rheostaten für etwa 10° anstatt der gebräuchlichen 20° abgeglichen, so wird der Uebergang zu der richtigen Einheit immer ohne Unbequemlichkeit geschehen können.

Strassburg i. E., September 1888.

VI. Untersuchungen über die Aenderungen des galvanischen Leitungswiderstandes verschiedener Körper bei Aenderung ihres Aggregatzustandes; von L. Grunmach.

(Aus dem physikalischen Laboratorium der Königl. Techn. Hochschule zu Berlin-Charlottenburg.)

(Hierzu Taf. VI Fig. 6.)

Clausius hat auf Grund der Untersuchungen von Arndt-sen über den galvanischen Leitungswiderstand der Metalle bei verschiedenen Temperaturen zuerst die Vermuthung ausgesprochen, dass der Leitungswiderstand der einfachen Metalle im festen Zustande nahe proportional der absoluten Temperatur sei.¹⁾ In seiner Abhandlung über Widerstandsmaasse und die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur schliesst sich Hr. Werner v. Siemens²⁾ dieser Vermuthung an; die vorhandenen Abweichungen bei festen Metallen erklärt er als Folgen geringer Verunreinigungen und hält es für wahrscheinlich, dass auch das Quecksilber, welches in flüssigem Zustande eine entschiedene Ausnahme macht, in starrem Zustande und in hinreichendem Abstände vom Schmelzpunkte sich in seinem Verhalten hinsichtlich

1) Clausius, Pogg. Ann. 104. p. 650. 1858.

2) Werner Siemens, Gesam. Abhandl. p. 259 und Pogg. Ann. 113. p. 91. 1861.

des galvanischen Leitungswiderstandes den anderen Metallen anschliessen, und dass demgemäss die von Clausius zuerst bemerkte Thatsache für alle einfachen reinen Metalle unter der Einschränkung gelten würde, dass der Abstand vom Schmelzpunkte hinreichend gross wäre.

Zur Entscheidung dieser für den Zusammenhang der electrischen und der Wärmeerscheinungen interessanten und wichtigen Frage habe ich, zumal Versuche hierüber noch nicht ausgeführt waren, bereits im Anfange des Jahres 1885 das galvanische Leistungsvermögen des Quecksilbers in dem Temperaturintervalle von -90°C. bis zu $+20^{\circ}\text{C.}$ untersucht, und da ich zur Zeit aus anderen Gesichtspunkten mit Untersuchungen der Aenderungen physikalischer Constanten verschiedener Körper bei Aenderungen ihres Aggregatzustandes beschäftigt war, so habe ich auch das Verhalten einer grösseren Reihe von Legirungen, von Haloidsalzen und von Salzlösungen bezüglich ihres galvanischen Leitungswiderstandes bei Aenderung ihres Aggregatzustandes in den Kreis meiner Versuche gezogen. Von diesen, zum grössten Theil bereits im Jahre 1885 experimentell abgeschlossenen Versuchen sollen an dieser Stelle zunächst nur die für Quecksilber und für die leicht schmelzbaren Legirungen gewonnenen Resultate mitgetheilt werden.

Quecksilber.¹⁾

Das zu den Versuchen benutzte Quecksilber war vorher destillirt worden und wurde kurz vor und während der Fül-

1) Die hier mitzutheilenden Versuche waren experimentell bereits abgeschlossen, als von den Herren Cailletet und Bouty eine Mittheilung über den galvanischen Leitungswiderstand des starren Quecksilbers in den C. R. 100. (2) p. 1188 bis 1189 und bald darauf von Hrn. C. L. Weber eine Arbeit über denselben Gegenstand in Wied. Ann. 25. p. 245 erschien. Die Herren Cailletet und Bouty beschränken sich darauf, ohne weitere Angaben der Details ihrer Messungen, mitzutheilen, dass die von den Herren Mascart, Nerville und Benoit für den scheinbaren Widerstand des Quecksilbers in Glas angegebene Formel auch unterhalb 0°C. bis zur Temperatur der Erstarrung des Quecksilbers anwendbar sei, dass die Leitungsfähigkeit des Quecksilbers beim Erstarren desselben plötz-

lung in einer Schale bis zu etwa $+50^{\circ}\text{C}$. erwärmt. Als Gefässe dienten Glasspiralen aus Thermometerröhren von 0,75 mm bis 1,2 mm Weite und nahezu 1 m Länge, nach Art der Siemens'schen Normalröhren geformt, mit aufwärts gerichteten geraden Enden, an welche weitere Röhren von etwa 15 mm Durchmesser zur Aufnahme der Electroden angeschmolzen waren. Auf die Reinigung der Röhren und besonders auf die Füllung derselben mit luftfreiem Quecksilber ist die grösste Sorgfalt zu verwenden, weil die Anwesenheit des kleinsten Luftbläschens in der Capillarröhre beim Erstarren des Quecksilbers Stromunterbrechung veranlasst. Mehrere Versuchsreihen mussten aus diesem Grunde abgebrochen und verworfen werden. Mit gutem Erfolge wandte ich schliesslich folgendes Füllungsverfahren an: Nach sorgfältiger Reinigung der Spiralaröhre mittelst Salpetersäure, concentrirter Schwefelsäure, destillirtem Wasser und absolutem Alkohol und nach Austrocknung derselben wurde sie mit ihrem einen Ende *b* an den Stopfen der Quecksilberluftpumpe befestigt, während die andere Erweiterung *a* durch einen Kork verschlossen war, durch dessen Durchbohrung ein heberförmiges, beiderseits in feine Spitzen ausgezogenes Glasröhrchen hindurchging. Das äussere Ende des Heberöhrchens wurde nun zugeschmolzen, dann die Spirale mittelst der Pumpe vollständig evacuirt und hierauf die Spitze unter Quecksilber abgebrochen, sodass letzteres durch den

lich zunehme und bei -40°C . 4,08 betrage, und dass der Coëfficient für die Widerstandsabnahme des starren Quecksilbers in dem Temperaturintervall von -40° bis -92°C . den constanten Werth 0,00407 besitze. Einen noch grösseren Werth für den Temperaturcoëfficienten der Widerstandsänderung des starren Quecksilbers, nämlich 0,00433 findet Hr. C. L. Weber aus seinen Versuchen, die allerdings nur mit sehr kleinen Widerständen (von 0,13 bis zu 0,02 Ohm) und überdies nur bis zu einem Abstände von 15° unterhalb der Erstarrungstemperatur ausgeführt sind. Meine Versuche, welche innerhalb des Temperaturintervalls von -90°C . bis $+20^{\circ}\text{C}$. mit Widerständen von etwa 0,75 bis zu 1 Ohm ausgeführt sind, führen zu Resultaten, welche sowohl hinsichtlich der Aenderung der Leitungsfähigkeit während des Erstarrungsprocesses, als auch hinsichtlich der Grösse des Temperaturcoëfficienten des starren Quecksilbers wesentlich von den Angaben der genannten Autoren abweichen.

Luftdruck in kleinen Tröpfchen in die Glasspirale getrieben wurde, bis dieselbe mit der erforderlichen Quecksilbermenge gefüllt war, was durch rechtzeitiges Oeffnen und Schliessen des Hahnes am Stopfen und des Haupthahnes der Quecksilberluftpumpe zu ermöglichen ist. Als Electroden dienten wohl amalgamirte, 6 mm dicke Kupferdrähte, welche, in Korken steckend, bis an den Boden der Erweiterungen der Spirale reichten.

Die zu untersuchende Quecksilberspirale befand sich in einem weiten cylindrischen Glasgefässe, welches mit einem Gemische von fester Kohlensäure und stark abgekühltem Aether gefüllt wurde; dieses Glasgefäss stand wieder in einem weiteren, mit einer Kältemischung von -30° C. gefüllten cylindrischen Glasgefässe. Um eine ganz allmähliche Abkühlung der Quecksilberspirale zu erzielen, wurde dieselbe eine Zeit lang in klein zerstoßenes Eis eingebettet, dann in eine Kältemischung von etwa -30° C. gebracht, in der sie 10 bis 15 Minuten stand, und hierauf erst in das Gefäss zur Aufnahme der festen Kohlensäure gestellt. In dieses Gefäss wurde zuerst bis zu -30° C. abgekühlter Schwefeläther gegossen und hierauf nach und nach feste Kohlensäure bei beständigem Umrühren des Gemisches hinzugefügt. Da grössere Mengen Kohlensäure zur Verfügung standen, war es leicht möglich, sehr niedrige Temperaturen (bis zu -90° C.) zu erzielen und verhältnissmässig lange Zeit (bis zu 10 und 15 Minuten) nahezu constant zu erhalten. Zur Temperaturmessung dienten zwei von Florenz Müller hergestellte Alkoholthermometer, deren Eispunkte bestimmt, und welche bis zu -10° C. mit einem genau untersuchten Fues'schen Normal-Quecksilberthermometer verglichen und berichtigt worden waren. Da dieselben ferner bei Vergleichen mit zwei Thermoëlementen, einem Wismuth-Antimon- und einem Neusilber-Eisen-Element bis zu Temperaturen von -60° C. eine hinreichende Uebereinstimmung in ihren Angaben zeigten, so wurden letztere direct ohne Berichtigung verworthen. Die Widerstandsbestimmungen wurden mit Hülfe der Wheatstone'schen Brücke ausgeführt; der Messdraht war calibriert, die aus sehr starken Kupferdrähten bestehen-

den Zuleitungsdrähte in beiden Zweigen waren genau abgeglichen worden. Als Galvanometer diente ein sehr empfindliches Siemens'sches aperiodisches Galvanometer mit Glockenmagnet; die Ablesungen erfolgten mittelst Fernrohr und Scala, welche in zwei und drei Metern Entfernung vom Spiegelgalvanometer aufgestellt waren. Die Empfindlichkeit war so gewählt worden, dass, wenn in beiden Zweigen je ein Ohm Widerstand eingeschaltet war, und der Brückenklotz sich in der Mitte des Messdrahtes befand, eine Verschiebung des Klotzes von 3 mm einen Galvanometerausschlag von 500 Scalentheilen, demgemäss eine Verschiebung des Klotzes um 0,1 mm einen Galvanometerausschlag von etwa 17 Scalentheilen hervorbrachte.

Der Widerstand der Versuchsspirale bei mittlerer Zimmertemperatur betrug 0,8 bis 1,0 Ohm. Als Vergleichungswiderstand diente eine ebenfalls mit Quecksilber gefüllte Glasspirale, die in einem zu Eispunktsbestimmungen dienenden trichterförmigen Gefässe sorgfältig in Eis gebettet war und auf constanter Temperatur (0° C.) erhalten wurde.

Es sind drei Doppelversuchsreihen ausgeführt worden, bei absteigender und bei aufsteigender Temperatur. Da aber die Abkühlung trotz grösster Sorgfalt nicht genügend allmählich und gleichmässig bewirkt werden konnte, so dienten die Beobachtungen bei abnehmender Temperatur nur als Controlbestimmungen, während für die Berechnung nur die Beobachtungsreihen benutzt wurden, bei welchen das starre Quecksilber allmählich bis zur tiefsten erreichbaren Temperatur abgekühlt war, und die Widerstandsmessungen bei allmählich steigender Temperatur ausgeführt wurden. Es sei hier nur eine dieser Beobachtungsreihen¹⁾ mit ihren Details mitgetheilt:

1) Bei diesen Versuchen wurde ich von den Herren Kratzenstein und Rubens freundlichst unterstützt; ich spreche den genannten Herren hierfür meinen verbindlichsten Dank aus.

1. Beobachtungsreihe.

Beobachter: 1) Grunmach, 2) Kratzenstein.

Datum und Zeit der Ablesungen	Mittel aus d. beiden Ther- mometerab- lesungen	Stellung des Klotzes auf dem Mess- drahte	Hieraus berechneter Widerstand	Datum und Zeit der Ablesungen	Mittel aus d. beiden Ther- mometerab- lesungen	Stellung des Klotzes auf dem Mess- drahte	Hieraus berechneter Widerstand
1885 April 4 1 ^h 4'	in °C.	mm		1885 April 4 1 ^h 56'	in °C.	mm	
5	-90,1 ⁰	534,7	1,14915 ¹⁾	56 ^h	-39,0 ⁰	547,0	1,20751 ²⁾
7	-87,0	535,6	1,15332	56,5	-38,75	547,2	1,20849
7	-85,2	536,1	1,15564	57	-38,5	547,4	1,20946
7,5	-84,1	536,4	1,15703	57,2	-38,15	547,9	1,21190
9	-83,0	536,6	1,15797	57,5	-37,95	548,2	1,21337
10	-82,0	536,9	1,15936	58	-37,8	548,6	1,21534
11	-81,0	537,1	1,16030	59	-37,5	549,0	1,21730
13	-80,0	537,4	1,16170	59,5	-37,4	549,1	1,21779
14,5	-78,0	538,0	1,16450	2 0	-37,2	549,5	1,21976
16	-76,5	538,4	1,16638	—	-37,0	549,9	1,22173
18	-75,1	539,0	1,16920	—	-36,8	550,4	1,22420
18,5	-74,75	539,0	1,16920	—	-36,6	550,9	1,22668
20	-74,2	539,3	1,17061	—	-36,5	551,3	1,22866
22	-73,15	540,0	1,17391	—	-36,3	552,0	1,23214
22,5	-72,5	540,1	1,17438	—	-36,1	552,4	1,23414
23,5	-71,75	540,1	1,17428	2 1	-35,9	553,5	1,23965
24	-71,0	540,1	1,17438	—	-35,7	554,1	1,24265
25	-70,5	540,4	1,17581	—	-35,5	555,0	1,24719
26	-69,65	541,0	1,17865	—	-35,3	555,9	1,25174
27	-69,0	541,1	1,17913	—	-35,2	556,3	1,25378
28	-68,25	541,4	1,18055	2 2	-35,1	558,0	1,26244
30	-66,75	541,6	1,18151	—	-34,9	559,0	1,26757
31	-64,8	542,0	1,18341	—	-34,8	560,8	1,27687
33	-62,85	542,1	1,18389	—	-34,6	562,8	1,28729
34	-60,95	542,3	1,18484	3	-34,4	565,2	1,29991
35	-60,0	542,6	1,18627	3,5	-34,2	572,8	1,34083
35,5	-59,0	543,0	1,18818	—	-34,0	575,2	1,35405
36	-58,5	543,0	1,18818	4,2	-33,8	577,0	1,36407
37	-55,85	543,3	1,18962	5	-33,4	578,0	1,36967
39	-54,6	543,7	1,19154	—	-33,2	578,9	1,37474
40	-52,95	543,8	1,19202	5,5	-33,0	580,0	1,38095
42	-51,25	544,1	1,19346	6,2	-32,8	580,7	1,38493
43	-49,9	544,6	1,19587	—	-32,6	581,3	1,38834
44	-49,0	544,3	1,19443	6,8	-32,3	582,6	1,39578
45	-48,2	544,2	1,19394	—	-32,0	583,3	1,39981
46	-47,3	544,3	1,19443	7,7	-31,8	585,0	1,40964
47	-46,0	544,6	1,19587	—	-31,5	586,2	1,41663
48	-44,9	544,7	1,19635	8,6	-31,2	588,9	1,43250
49	-43,9	544,9	1,19732	9	-30,95	589,9	1,43843
51	-43,0	545,1	1,19828	10	-30,6	590,0	1,43902
52	-41,9	545,4	1,19974	—	-30,3	590,0	1,43902
53	-41,0	545,9	1,20216	11	-29,9	589,9	1,43843
54	-40,1	546,1	1,20313	11,5	-29,7	589,95	1,43872
55,5	-39,35	546,8	1,20654	12	-29,3	590,05	1,43932

1) und 2) s. die Bemerkungen auf der folgenden Seite.

(Fortsetzung der Tabelle.)

Datum und Zeit der Ablesungen	Mittel aus d. beiden Ther- mometerab- lesungen	Stellung des Klotzes auf dem Mess- drahte	Hieraus berechneter Widerstand	Datum und Zeit der Ablesungen	Mittel aus d. beiden Ther- mometerab- lesungen	Stellung des Klotzes auf dem Mess- drahte	Hieraus berechneter Widerstand
1885 April 4	in °C.	mm		1885 April 4	in °C.	mm	
2 ^h 13'	-28,9 ^o	590,1	1,43962	2 ^h 36'	-15,0 ^o	592,7	1,45519
14	-28,2	590,25	1,44051	39	-13,5	592,95	1,45670
15	-27,0	590,4	1,44141 ³⁾	40	-11,5	593,30	1,45882
16	-26,5	590,5	1,44201	44	-10,5	593,5	1,46002
18	-25,1	590,8	1,44380	46	-7,6	594,1	1,46335
19	-24,2	591,0	1,44499	50	-5,0	594,4	1,46549
21	-23,5	591,1	1,44559	55	-3,0	594,8	1,46792 ⁴⁾
22	-23,2	591,2	1,44619	3 1	+ 0,2	596,0	1,47525
24,5	-21,0	591,6	1,44858	9	+ 5,0	596,9	1,48078
26	-20,5	591,7	1,44918	15	+ 8,5	597,5	1,48447
29	-18,5	592,0	1,45098	25	+ 13,4	598,5	1,49066
32	-17,2	592,3	1,45279				

Schluss der 1. Versuchsreihe: 3^h 30'.

Bemerkungen zu vorstehender Tabelle.

1) Als Vergleichungswiderstand diente eine mit Quecksilber gefüllte Glasspirale, die sich in einem grossen, mit klein zerstoßenem Eise gefüllten trichterförmigen Gefässe befindet, deren Widerstand vor Beginn und nach Schluss der Beobachtungsreihe mit 1 Normal-Ohm von Siemens verglichen und bei 0° C. gleich 0,5764 Ohm gefunden wurde. Für die Berechnung ist dieser Vergleichungswiderstand der Einfachheit halber = 1 gesetzt.

Der Nullpunkt der Scala wird stets auf 500 eingestellt.

Die thermometrische Ablesung ist der Mittelwerth aus den Ablesungen des Thermometers vor und nach der Galvanometereinstellung.

2) Es finden nur einfache Thermometerablesungen statt, und zwar möglichst zur Zeit der Galvanometereinstellungen.

3) Um die Abkühlung zu beschleunigen, wird nach und nach abgekühltes Salzwasser in das innere Gefäss, in welchem sich die Versuchspirale befindet, gegossen und fortwährend umgerührt.

4) Es wird Leitungswasser bei beständigem Umrühren hinzugegossen.

Stellt man diese Beobachtungsreihe, sowie die beiden anderen hier nicht mitgetheilten Reihen, welche aus einer fast ebenso grossen Zahl von Einzelbeobachtungen innerhalb desselben Temperaturintervalles bestehen, graphisch dar, so ergibt sich aus den drei auf diese Weise erhaltenen Curven eine Mittelcurve, welche in Fig. 6 dargestellt ist, und welche ein anschauliches Bild von dem Verhalten des galvanischen

Leitungswiderstandes des Quecksilbers innerhalb des Temperaturintervalles von -90 bis zu $+20^{\circ}$ C. darbietet und folgende tabellarische Zusammenstellung liefert:

1.	2.	3.	4.
T	W	$\frac{\partial W}{\partial T}$	α
in $^{\circ}$ C.	in Ohm		
-90	0,4987		
-80	0,5016	0,00029	0,00037
-70	0,5078	0,00062	0,00078
-60	0,5166	0,00088	0,00111
-50	0,5272	0,00106	0,00134
-40	0,5451	0,00179	0,00226
-30	0,7723	0,02272	0,02866
-20	0,7798	0,00075	0,00095
-10	0,7859	0,00061	0,00077
± 0	0,7927	0,00068	0,00086
$+10$	0,7994	0,00067	0,00085
$+20$	0,8064	0,00070	0,00088

In dieser Tabelle enthalten die ersten beiden Columnen die Temperaturen T in $^{\circ}$ C. und die zugehörigen Widerstände W in Ohm, während Columnne 3 die mittlere Widerstandszunahme $\partial W/\partial T$ pro 1° C. für das betreffende Temperaturintervall gibt, und Columnne 4 den Temperaturcoefficienten α der Widerstandszunahme für dieses Intervall, den man erhält, wenn man die in Columnne 3 enthaltenen Zahlenwerthe durch den beobachteten Widerstand der Quecksilberspirale bei 0° C., also durch 0,7927, dividirt.¹⁾

Aus den mitgetheilten Versuchen ergibt sich, dass der Temperaturcoefficient der Widerstandsabnahme des flüssigen Quecksilbers in dem Temperaturintervall von $+20$ bis -30° C. den constanten Werth 0,0,86 besitzt, welcher mit dem von Hrn. Werner v. Siemens einerseits (0,0,95) und von den Herren Mascart, Neville und Benoît andererseits (0,0,882) für Temperaturen über 0° C. angegebenen Werthen gut übereinstimmt, und dass während des Erstarrungsprocesses des Quecksilbers plötzlich eine beträchtliche Zunahme seiner galvanischen Leitungsfähigkeit eintritt. Diese Zunahme erreicht aber nicht die von den Herren Cailletet und Bouty

1) cf. Werner Siemens, l. c. p. 258. Hr. C. L. Weber setzt für den Temperaturcoefficienten den aus den Formeln $W = w_0(1 + \alpha T)$ und $w = w_0(1 + \alpha t)$ resultirenden Werth $\alpha = W - w/wT - Wt$.

und von Hrn. C. L. Weber angegebene Grösse. Nach den Herren Cailletet und Bouty beträgt die Leitungsfähigkeit des starren Quecksilbers bei -40° C. 4,08, und ebenso findet Hr. C. L. Weber, dass beim Schmelzen des starren Quecksilbers der Widerstand desselben schnell auf den dem flüssigen Quecksilber zukommenden Werth steigt, welcher viermal so gross sei, als der Widerstand des festen Quecksilbers beim Schmelzpunkt. Aus meinen Versuchen ergibt sich hingegen, dass der Widerstand des Quecksilbers nach dem Schmelzen (bei -30° C.) etwa nur *1,5 mal so gross ist*, als der Widerstand des starren Quecksilbers unmittelbar vor dem Beginn des Schmelzens bei -40° C. Endlich folgt aus meinen Versuchen, *dass der Temperaturcoefficient der Widerstandsabnahme des starren Quecksilbers innerhalb des Temperaturintervalles von -40 bis zu -90° C. nicht constant ist, sondern mit abnehmender Temperatur beständig abnimmt*. Sein Werth zwischen:

-40	und	-50° C.	ist	0,00226,
-50	„	-60 „	„	0,00134,
-60	„	-70 „	„	0,00111,
-70	„	-80 „	„	0,00078,
-80	„	-90 „	„	0,00037.

Reines Quecksilber bildet also, sowohl wenn es sich in flüssigem, als auch wenn es sich in festem Zustande und in beträchtlichem Abstände von seinem Schmelzpunkte, nämlich bei Temperaturen bis zu -90° C., befindet, in seinem Verhalten hinsichtlich des galvanischen Leitungswiderstandes eine entschiedene Ausnahme gegenüber den anderen einfachen reinen Metallen.

VII. *Ein Quadrantelectrometer mit constanter Empfindlichkeit; von Aurel Hartwich.*

Die hauptsächliche Schwierigkeit, mit der man bei allen Quadrantelectrometern zu kämpfen hat, beruht in Schwankungen des Nadelpotentials, welche alle Resultate stark beeinflussen. Um eine constante Empfindlichkeit zu erzielen, hat man bisher sich bemüht, diese Schwankungen zu beseitigen,