

## Elektrische Leitfähigkeit verschiedener Mischungen von Quecksilberisotopen.

Von W. Jaeger und H. v. Steinwehr in Charlottenburg.

(Mittellung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Mit einer Abbildung. (Eingegangen am 1. September 1921.)

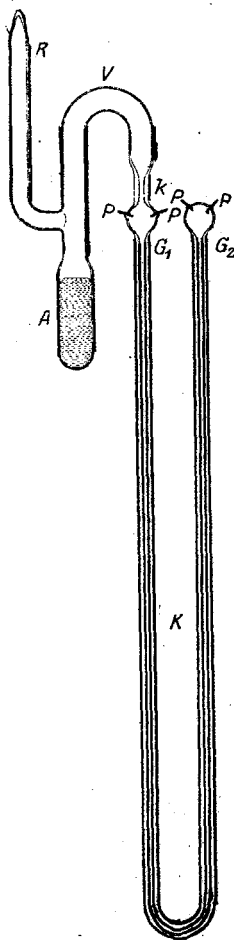
Durch das freundliche Entgegenkommen von Herrn G. v. Hevesy in Kopenhagen wurden der Reichsanstalt zwei verschiedene Gemische von Quecksilberisotopen zur Verfügung gestellt, die sich in der Dichte um etwa 0,3 Promille unterscheiden. Für die Definition der Ohmrohre kommt sowohl die Dichte (für die Auswägung der Ohmrohre) als die elektrische Leitfähigkeit des Quecksilbers in Betracht, so daß die Möglichkeit des Vorkommens von verschiedenen Gemischen der verschiedenen (wenigstens fünf) Quecksilberisotopen<sup>1)</sup> für die Herstellung der Widerstandseinheit von Bedeutung ist. Daher erschien es erwünscht, auch die Leitfähigkeit der verschiedenen Gemische mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln. Erschwert werden die Messungen durch den Umstand, daß nur geringe Mengen (etwa 1 cem) der Gemische zur Verfügung standen.

Auf Wunsch von Herrn v. Hevesy haben wir die Dichte der beiden Gemische, von denen das eine schwerer, das andere leichter als gewöhnliches Quecksilber ist, nochmals ermittelt. Wir fanden für das leichtere Quecksilber einen Unterschied von 0,2 Promille, für das schwerere einen solchen von 0,11 Promille, so daß die Differenz beider im Betrage von 0,31 Promille mit der von Herrn v. Hevesy brieflich angegebenen Differenz übereinstimmt.

Für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit wurde das Quecksilber in eine U-förmige Kapillare  $K$  mit kugelförmigen Endgefäßen  $G_1$ ,  $G_2$  von etwa 7 mm Durchmesser, in welche Substanzen ( $P$ ) aus Platin eingeschmolzen waren, gebracht (siehe Figur). Wegen der der Röhrenwand anhaftenden Luftschicht ist es notwendig, die Füllungen (wie bei der Herstellung der Ohmnormalen) im Vakuum vorzunehmen. Dabei mußte der Apparat so konstruiert werden, daß eine Neufüllung der Kapillare mit demselben Quecksilber stattfinden konnte, ohne daß der Apparat neu ausgepumpt zu werden brauchte. Zu diesem Zwecke diente ein seitlicher Ansatz  $A$ , in den vor dem

<sup>1)</sup> F. W. Aston, Phil. Mag. (6) 39, 624, 1920.

Auspumpen das Quecksilber durch das noch offene Ansatzrohr *R* eingefüllt wurde. Das Rohr wurde an eine Vollmersche Quecksilberdampfstrahlpumpe angeschmolzen, auf beginnendes Röntgenvakuum gebracht und sodann abgeschmolzen. Durch Umkehren des Apparates gelangte dann das Quecksilber in die Kapillare und füllte das



oben zugeschmolzene Gefäß  $G_2$  vollständig aus. Zwischen das Gefäß  $G_1$  und das Verbindungsrohr *V* war noch eine kurze Kapillare *k* eingeschaltet, die das überschüssige Quecksilber aufnahm. Diese Maßnahme erschien zur genaueren Definition des Widerstandes erwünscht.

Der Apparat wurde zur Messung in ein 4 Liter fassendes, mit Petroleum gefülltes Dewargefäß bis über die Endgefäße (*G*) eingetaucht. Die Messungen wurden bei Zimmertemperatur vorgenommen; zur Temperaturbestimmung, die auf  $\frac{1}{1000}$  Grad ausgeführt wurde, diente einerseits ein in  $\frac{1}{10}$  Grade geteiltes Einschlußthermometer von Richter, das mit einem Mikrometerfernrohr abgelesen wurde, andererseits ein Beckmannsches Thermometer von etwa 4 cm Gradlänge (in  $\frac{1}{100}$  Grade geteilt). Die Angaben beider Thermometer wurden gemittelt (siehe Tabelle). Um das Petroleum gut durchzurühren, wurde vor jeder Messung Luft hindurchgeblasen.

Die Widerstandsmessung geschah mittels des Differentialgalvanometers nach der Methode des übergreifenden Nebenschlusses von Kohlrausch<sup>1)</sup>. Der Widerstand des Quecksilbers in der Kapillare betrug etwas weniger als  $\frac{1}{2}$  Ohm. Als Vergleichswiderstand diente eine Büchse von  $\frac{1}{2}$  Ohm (legal), zu der ein Nebenschluß von 11 Ohm (Büchse von 10 und von 1 Ohm) gelegt war. Diese Büchsen befanden sich in Petroleum, dessen Temperatur gemessen und berücksichtigt wurde. Zu dem Büchsenwiderstand von 0,477 2160 Ohm (bei 18°; Temperaturkoeffizient  $+9 \times 10^{-6}$ ) wurde zur genauen Abgleichung des Widerstandes ein Kurbelrheostat als Nebenschluß gelegt. Der genaue Wert des Nebenschlusses wurde durch Interpolation

<sup>1)</sup> ZS. f. Instrkde. 24, 288, 1904.

zwischen den Reziproken zweier Nebenschlüsse ermittelt, die den richtigen Wert einschlossen. Die Meßstromstärke betrug 0,005 Amp.; als Galvanometer diente ein differential gewickeltes Kugelpanzergalvanometer. Die Empfindlichkeit der Messung betrug etwa  $2 \times 10^{-6}$  des Widerstandswertes für einen Skalenteil Ausschlag.

Im folgenden ist das Beispiel einer Messung gegeben.

$N_1 = 175 \text{ Ohm}$	$N_2 = 185 \text{ Ohm}$
$1/N_1 = 5714,3 \cdot 10^{-6}$	$1/N_2 = 5405,4 \cdot 10^{-6}$
$A \begin{cases} \text{I} \dots\dots 447 \\ \text{II} \dots\dots 480 \\ \hline - 33 \end{cases}$	$\begin{matrix} 488 \\ 440 \\ \hline + 48 \end{matrix}$
$B \begin{cases} \text{I} \dots\dots 387 \\ \text{II} \dots\dots 360 \\ \hline - 27 \end{cases}$	$\begin{matrix} 354 \\ 393 \\ \hline + 39 \end{matrix}$
Mittel: $\alpha_1 = -30$	$\alpha_2 = +43_5$

$$\frac{1}{N} = \frac{1}{N_2} + \frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1} \left( \frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_2} \right)$$

$$= \left( 5405 + \frac{43,5}{73,5} \cdot 309 \right) \cdot 10^{-6} = 5588 \cdot 10^{-6}.$$

In diesem Beispiel sind  $N_1$  und  $N_2$  die beiden Nebenschlüsse, zwischen denen interpoliert wurde; unter diesen sind die reziproken Werte derselben angegeben. I und II bedeuten die beiden Stellungen des Kommutators<sup>1)</sup>; die Zahlen 447 usw. sind die Einstellungen des Galvanometers, durch deren Kombination (I—II) sich der zu dem Nebenschlusse gehörende Ausschlag ergibt. Zwischen den beiden Messungen A und B ist der Hauptstrom kommutiert worden. Die Ausschläge von A und B sind zu Mittelwerten  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  zusammengefaßt, die in der oben angegebenen Weise zur Interpolation benutzt wurden. In dieser Art sind stets zwei Messungen hintereinander ausgeführt worden, die auf wenige Milliontel übereinstimmten. Der so erhaltene Mittelwert für den reziproken Nebenschluß wurde zu dem reziproken Werte des Büchsenwiderstandes addiert und der hieraus berechnete Gesamtwiderstand noch für die Temperatur der Büchsen korrigiert.

In der folgenden Tabelle sind die so erhaltenen Beobachtungen zusammengestellt. Neben der Temperatur  $t$  des Bades (Mittel der beiden Thermometerangaben) ist die Differenz  $\Delta t$  angegeben, um welche sich die Temperatur des Einschlußthermometers von dem

<sup>1)</sup> l. c., S. 290.

Mittel zwischen den Angaben dieses Thermometers und demjenigen des Beckmannschen Thermometers unterscheidet; die Unterschiede betragen nur wenige  $\frac{1}{1000}$  Grade. Unter  $W_t$  sind die direkt beobachteten Widerstände des Quecksilbers angegeben. Die Messungen unter 1 für das normale Quecksilber wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen, um den scheinbaren Temperaturkoeffizienten der Widerstandsänderung des Quecksilbers zum Zwecke der Reduktion aller Beobachtungen auf eine Temperatur von  $17^\circ$  zu bestimmen. Es ergab sich  $W_t = 0,475\,5987_4 + 4,2696 \times 10^{-4} (t - 17^\circ)$ .

Datum	$t$ Grad	$\Delta t$	$W_t$	$W_{17}$	$\Delta$ 10 <sup>-6</sup>
1. Normales Quecksilber.					
18. Juni 1921	17,853	— 4	0,475 9605	0,475 5961	— 5
"	17,810	0	9446	5987 <sub>5</sub>	0
"	17,804 <sub>5</sub>	— 1 <sub>5</sub>	9436	6001	+ 3
"	17,802 <sub>5</sub>	— 2 <sub>5</sub>	9404 <sub>5</sub>	5978	— 2
"	17,802 <sub>5</sub>	— 1 <sub>5</sub>	9412 <sub>5</sub>	5986	— 0 <sub>5</sub>
20. Juni 1921	16,920 <sub>5</sub>	+ 1	5648	5987 <sub>5</sub>	0
"	16,893 <sub>5</sub>	+ 2	5540 <sub>5</sub>	5995	+ 1 <sub>5</sub>
"	16,871 <sub>5</sub>	+ 1 <sub>5</sub>	5420 <sub>5</sub>	5969	— 3 <sub>5</sub>
"	17,416	+ 1	7771 <sub>5</sub>	5994 <sub>5</sub>	+ 1 <sub>5</sub>
"	17,389 <sub>5</sub>	0	7677	6014	+ 5 <sub>5</sub>
21. Juni 1921	16,016 <sub>5</sub>	+ 2 <sub>5</sub>	1779	5978	— 2
"	16,001 <sub>5</sub>	+ 1 <sub>5</sub>	1726	5989	+ 0 <sub>5</sub>
"	16,001	+ 1	1726 <sub>5</sub>	5992	+ 1
			Mittel: 0,475 5987 <sub>5</sub>		
2. Quecksilber von größerer Dichte.					
23. Juni 1921	15,922	+ 1 <sub>5</sub>	0,475 1383	0,475 5985 <sub>5</sub>	— 4
"	15,923 <sub>5</sub>	+ 0 <sub>5</sub>	1410	6006	0
24. Juni 1921	15,991	0	1681 <sub>5</sub>	5989 <sub>5</sub>	— 3 <sub>5</sub>
"	15,982	0	1697	6043 <sub>5</sub>	+ 7 <sub>5</sub>
"	15,981	— 0 <sub>5</sub>	1671	6021 <sub>5</sub>	+ 3
25. Juni 1921	16,205	+ 1 <sub>5</sub>	2602	5996 <sub>5</sub>	— 2
"	16,162 <sub>5</sub>	+ 2 <sub>5</sub>	2426 <sub>5</sub>	6002 <sub>5</sub>	— 1
			Mittel: 0,475 6006 <sub>5</sub>		
3. Quecksilber von kleinerer Dichte.					
27. Juni 1921	16,972	— 0 <sub>5</sub>	0,475 5863	0,475 5982 <sub>5</sub>	+ 1 <sub>5</sub>
"	17,030 <sub>5</sub>	0	6104	5974	0
"	17,085 <sub>5</sub>	— 1	6331 <sub>5</sub>	5966 <sub>5</sub>	— 1 <sub>5</sub>
"	17,462	— 1 <sub>5</sub>	7906 <sub>5</sub>	5934	— 8
"	17,494	— 3	8093	5984	+ 2
"	17,524 <sub>5</sub>	— 1 <sub>5</sub>	8231 <sub>5</sub>	5992	+ 3 <sub>5</sub>
"	17,557	— 1 <sub>5</sub>	8370 <sub>5</sub>	5992 <sub>5</sub>	+ 3
			Mittel: 0,475 5975		

Mittels des Temperaturkoeffizienten  $4,2696 \times 10^{-4}$  Ohm/Grad (entsprechend  $0,8977 \times 10^{-3}$  des Wertes) wurden sämtliche Messungen auf  $17^\circ$  reduziert. Die so erhaltenen Werte sind unter  $W_{17}$  aufgeführt.

Jede Serie wurde dann für sich gemittelt; die Abweichungen der Werte  $W_{17}$  von den Mittelwerten sind unter  $\Delta$  in Milliontel des Wertes angegeben. Unter Beachtung des Umstandes, daß  $1/1000$  Grad etwa  $10^{-6}$  des Widerstandes entspricht, zeigen die Messungen eine sehr bemerkenswerte Übereinstimmung.

Die in der Tabelle mit Klammern zusammengefaßten Beobachtungen sind mit ein und derselben Füllung vorgenommen, bei allen übrigen Messungen war die Kapillare auf die oben angegebene Weise entleert und neu gefüllt worden. Die Beobachtungen zeigen, daß die verschiedenen Füllungen auf wenige Milliontel übereinstimmen. Da die Kapillare einen Durchmesser von etwa  $1/2$  mm besitzt, so muß sich das Quecksilber bis auf  $0,25 \times 10^{-6}$  mm (gleich  $1/4 \mu\mu$ ) in derselben Weise an die Wandung der Kapillare anlegen, wenn der Unterschied nicht mehr als  $1/1000000$  des Widerstandswertes betragen soll. Es ist erstaunlich, daß eine solch exakte Raumerfüllung der Kapillare durch das Quecksilber stattfindet.

Als Endresultat der Messungen ergibt sich aus der oben stehenden Tabelle für die Widerstandswerte der verschiedenen Gemische:

	$W_{17}$	$\Delta$ $10^{-6}$
Quecksilber von kleinerer Dichte . . . .	0,475 5975	— 3
"    "    normaler    "    . . . .	5987 <sub>5</sub>	0
"    "    größerer    "    . . . .	6006 <sub>5</sub>	+ 3

Die Unterschiede  $\Delta$  der verschiedenen Quecksilbersorten (Abweichungen im Mittel in Milliontel des Wertes) liegen so nahe an der Grenze der Beobachtungsfehler, daß die gefundenen Abweichungen kaum als reell angesehen werden können. Falls es gelingen sollte, die Trennung der Isotopen noch weiter zu treiben, könnte die Frage, ob Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit vorhanden sind, vielleicht mit noch größerer Sicherheit entschieden werden. Nach den Anschauungen, die man sich über die Konstitution der Isotopen gebildet hat, wäre ein Unterschied in der elektrischen Leitfähigkeit allerdings nicht zu erwarten.