

Messungen mit Wechselströmen von hoher Frequenz

Dr. Josef Tuma,

Assistent am physikalischen Cabinet der k. k. Universität in Wien.

(Mit 3 Textfiguren.)

Maxwell, Lord Rayleigh und Stefan haben bekanntlich die Gleichungen für den veränderlichen Strom in linearen Leitern aufgestellt, wobei sich als sehr interessante Thatsache ergab, dass ein solcher Strom nicht den ganzen Querschnitt mit gleicher Dichte ausfüllt, sondern vorzugsweise in den peripherischen Theilen des Leiters strömt. Daraus folgt, dass der Widerstand des letzteren für Wechselströme ein anderer ist als für Gleichstrom.

Schon Hertz hat den Nachweis dieser Widerstandsänderung geliefert. Hernach hat Bjerknes¹ nach einer sehr schönen Methode die Tiefe des Eindringens der Wechselströme von hoher Frequenz gemessen. Eine thatsächliche experimentelle Bestimmung des Widerstandes linearer Leiter für oscillirende Ströme ist aber bisher noch nicht geliefert worden. Da nun die von den erwähnten Forschern aufgestellten Formeln der Verification bedürfen, um zu entscheiden, von welcher Tragweite die bei ihrer Ableitung gemachten Vernachlässigungen sind, will ich im Folgenden eine Methode angeben, nach welcher Widerstandsmessungen mit oscillirenden Strömen leicht ausgeführt werden können. Umfangreichere Messungen dieser Art beabsichtige ich erst im kommenden Winter auszuführen, da

¹ Wied. Ann., Bd. 48, 1893.

bei denselben Eis calorimeter zur Anwendung kommen und derartige Untersuchungen während der warmen Jahreszeit durch den grossen Eisconsum theuer sind.

Schickt man durch einen Leiter von sehr kleinem Querschnitte einen rasch wechselnden Strom, so kann man annehmen, dass der ganze Querschnitt gleichförmig vom Strome durchflossen wird. Diese Thatsache hat vor mir schon Czermak zur Messung des Widerstandes von Funkenentladungen verwendet. Misst man nämlich die Wärmeentwicklung, welche durch den oscillirenden Strom stattfindet und jene, die ein durch denselben Leiter hindurchgeschickter Gleichstrom erzeugt, so verhalten sich die in der Zeiteinheit gelieferten Wärmemengen wie die mittleren Quadrate der Stromstärken. Es kann also ein Leiter von der erwähnten Beschaffenheit zur Messung der Intensität sehr rasch verlaufender Wechselströme, z. B. oscillatorischer Entladungen, verwendet werden.

Schalten wir nun hinter diesen Vergleichswiderstand einen dicken Draht, der ebenfalls von den Strömen durchflossen wird, so wird das Verhältniss der Erwärmungen dieses Drahtes und des Vergleichswiderstandes bei Anwendung von Gleichströmen verschiedener Intensität constant sein; dagegen wird es im Allgemeinen ein anderes werden, wenn wir oscillirende Ströme hindurchschicken. Bezeichnen wir mit W die in dem Drahte, mit W_1 die im Vergleichswiderstande entwickelte Joule'sche Wärme, wenn beide hintereinander geschaltet gleichzeitig vom Gleichstrome von der Intensität I während der Zeit t durchflossen werden, und mit W' und W'_1 die bezüglichen Wärmemengen bei Anwendung eines Wechselstromes von der Intensität I' während der Zeit t' . Ferner sollen w_1 den Vergleichswiderstand, w den Widerstand des Drahtes für Gleichstrom und w' jenen für den Wechselstrom bedeuten.

Wir erhalten dann folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} kW &= wI^2t & kW' &= w'I'^2t' \\ k_1W_1 &= w_1I^2t & k_1W'_1 &= w_1I'^2t' \end{aligned}$$

Woraus folgt:

$$\frac{w'}{w} = \frac{W'}{W} \frac{W_1}{W'_1}$$

und

$$I' = I \sqrt{\frac{W_1' t}{W_1 t'}}.$$

Werden die Messungen mit einem Bunsen'schen Eiscalorimeter gemacht und bedeuten l , l_1 , l' und l_1' die bezüglichen Längen, um welche sich der Flüssigkeitsmeniscus in der Capillaren des Calorimeters verschiebt, so erhalten wir das Verhältniss der Widerstände des Drahtes für Wechselstrom und Gleichstrom nach der Formel

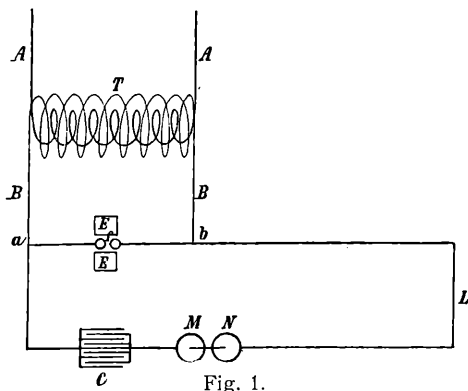
$$\frac{w'}{w} = \frac{l'}{l_1'} \frac{l_1}{l}$$

und die Intensität des Wechselstromes

$$I' = I \sqrt{\frac{l_1' t}{l_1 t'}}.$$

Versuchsordnung.

Zur Erzeugung der Wechselströme von hoher Frequenz wurde die bei Anstellung Tesla'scher Versuche angewandte



Schaltungsweise benützt. Ein Wechselstrom von 100 V Spannung, der durch die Leitungen A (Fig. 1) zugeleitet wurde, wurde im Transformator T auf circa 10.000 V. transformirt und dann mittelst der Leitungen B zu den Verzweigungspunkten a

und b geführt. Die weiteren Leitungen waren durchaus aus $2 \cdot 35$ mm dickem Kupferdrahte hergestellt.

Es führten von den Punkten a und b zwei Leitungen zu der in einem magnetischen Felde E befindlichen Funkenstrecke f . Andererseits war a mit einer Capacität C in Verbindung, von deren anderem Pole eine Leitung zu den zwei die Wärmeentwicklung messenden Eis calorimetern M und N führte. Schliesslich war N durch eine lange Leitung NLb mit b verbunden. Die Gesamtlänge aller dieser Leitungen betrug $26 \cdot 5$ m.

Die Capacität C bestand aus sechs Franklin'schen Tafeln, die übereinander geschichtet und in einem Holzkasten eingeschlossen waren. Das Zwischenmedium der Condensatoren war Glas. Es wurden verwendet entweder eine der Tafeln mit einer Capacität von $0 \cdot 0095$ M. F. oder drei derselben mit einer Capacität von $0 \cdot 033$ M. F. oder alle sechs mit einer Capacität von $0 \cdot 072$ M. F. Bei derartigen Messungen, wie sie von mir angestellt wurden, sind solche Condensatoren der Anwendung von Leydnerflaschen vorzuziehen, da sie ohne Einführung nennenswerther uncontrolirbarer Selbstinductionen miteinander verbunden werden können. Die lange Leitung bLN hatte den Zweck, eine grosse Selbstinduction zu erzeugen, so dass dieselbe durch Einschaltung des Vergleichswiderstandes und der zu untersuchenden Drahtproben in den Calorimetern M und N nicht mehr wesentlich verändert wurde. Je nach der Wahl der Capacitäten erhielt ich demnach drei verschiedene Schwingungszahlen, die im Folgenden mit n_1 , n_3 und n_6 bezeichnet werden mögen, und zwar ergibt die Rechnung für $n_1 = 232.900$, für $n_3 = 124.800$ und für $n_6 = 84.400$ Schwingungen pro Secunde. Wie man sieht, sind diese Schwingungszahlen verhältnissmässig klein und war daher leider nicht zu erwarten, dass die von Stefan aufgestellten Formeln mit den Messungen vollkommen übereinstimmende Resultate liefern würden.

Stefan hat zweierlei Formeln für die Berechnung von Widerständen entwickelt. Die eine, für langsame Schwingungen,¹ enthält Reihen, die für obige Schwingungszahlen

¹ Diese Sitzungsber., 1887, S. 917.

zu wenig convergiren, während die andere¹ nur für sehr hohe Schwingungszahlen giltig ist. Hätte ich aber die grosse Selbstinduction bLN weggelassen, so wäre die Zahl der Schwingungen überhaupt nicht mit einiger Sicherheit zu bestimmen gewesen. Leider verfügt kein Institut in Wien über einen rasch rotirenden Spiegel, mit dem die Schwingungszahlen experimentell hätten gefunden werden können.

Als Leiter von sehr kleinem Querschnitte, welche ich in der oben angedeuteten Weise als Vergleichswiderstände verwendete, wählte ich sehr dünne Kupferröhren, welche auf folgende Weise erhalten wurden. Ein möglichst dünnwandiges Glasrohr von 10 *mm* Durchmesser und 200 *mm* Länge wurde beiderseits zugeschmolzen und mit Platinösen versehen. Hièrauf wurde es in eine Versilberungsflüssigkeit getaucht und ein Silberüberzug hergestellt, der dann durch Verkupferung verstärkt wurde. Letztere wurde an den Enden noch besonders verstärkt. Um die Zuleitungen zu befestigen, wurden die Enden mit einem 0·2 *mm* dicken Kupferdrahte umwickelt und diese Windungen unter sich und mit der starken Zuleitung mittelst Rose'schen Metalls verlöthet.

Es kamen bei den Messungen drei Röhren von verschiedener Metallstärke zur Verwendung, und zwar:

Rohr	Dicke des Ag	Dicke des Cu	Gesamtdicke
Nr. 1	0·00013 <i>mm</i>	0·0009 <i>mm</i>	0·00103 <i>mm</i>
Nr. 2	0·00019	0·00366	0·00385
Nr. 3	0·00022	0·00978	0·01000

Die Dicken der Silberschichten wurden durch Wägung, jene des Kupfers durch Messung der Intensität und der Dauer des Verkupferungsstromes bestimmt.

Fig. 2 zeigt die Einrichtung der Eiscalorimeter mit einem Vergleichswiderstände. Das Bunsen'sche Eiscalorimeter wurde insoferne abgeändert, dass die Eprouvette durch ein das Calorimeter ganz durchdringendes, sehr dünnwandiges Rohr ersetzt wurde. Die wichtigsten Dimensionen des Apparates sind in der Zeichnung angegeben. Der Vergleichswiderstand wurde in

folgender Weise eingefügt. An das obere Ende war mit Rose'schem Metall der Kopf einer den Kautschukpfropfen 5 durchsetzenden messingenen Schraube r angelöthet. Mit Hilfe der Schraubenmutter m wurde ein untergelegtes dünnes Kupferblech b festgehalten und zugleich durch Pressung des Pfropfens

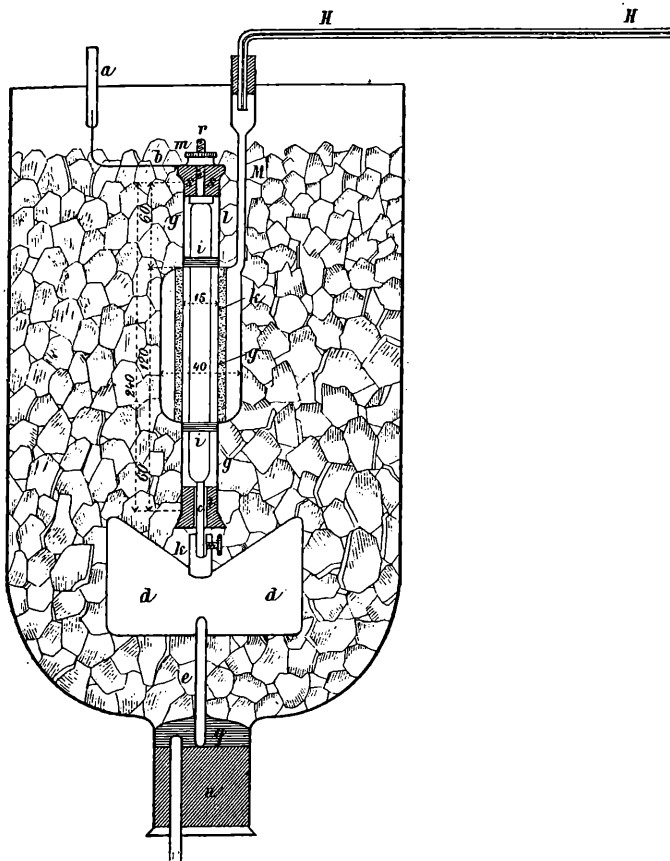


Fig. 2.

eine sichere Befestigung des Vergleichswiderstandes erzielt. Das andere Ende des Kupferstreifens b war mit der Zuleitung a verlöthet. b hatte den Zweck, Wärme, welche aus der Leitung zugeführt wurde, noch vor dem Eintritte in das Calorimeter an das umgebende Eis abzuleiten. An das untere Ende des Vergleichswiderstandes war ein circa 3 mm starker Kupfer-

draht c angelöthet, der lose durch den Pfropfen t hindurchgeführt wurde. Ausserhalb des Calorimeters wurde dieser Draht von einer Klemmschraube k gefasst, welche letztere wieder an einem Kupferbleche d befestigt war, das demselben Zwecke diente wie das Blech b . Der ganze Apparat befand sich in einer umgestürzten Flasche, deren Boden weggesprengt war, und stützte sich mit dem Drahte e auf den Kork u , welcher den Hals der Flasche verschloss.

Das Quecksilber q vermittelte den Contact mit der Zu-
leitung f , welche durch eine Bohrung des Korkes u eingeführt war. Im Übrigen war die Flasche mit Eis und Wasser gefüllt. Behufs der Messung wurde der Stand des Wassers in der Capillaren H beobachtet, und wurde desshalb über die letztere noch ein getheiltes Rohr geschoben. Die Ablesungen erfolgten mit Hilfe eines Fernrohres.

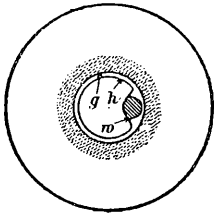


Fig. 3.

Das Calorimeter, in welches die zu messenden Drähte gebracht wurden, war ganz ebenso eingerichtet, nur war an dem Kopfe der Schraube r eine Klemmschraube angebracht, um die Drähte festzuhalten. Die Drähte w (Fig. 3) wurden

derart gebogen, dass sie sich möglichst nahe an der Wand des Rohres g befanden. Der übrige Raum wurde durch ein dünnwandiges, beiderseits verschlossenes Rohr h eingenommen, das ich auf der dem Drahte w zugewendeten Seite der ganzen Länge nach einfallen liess, um für den Draht Platz zu schaffen. Der Draht wurde an das Glasrohr festgebunden.

Um den Eismantel k im Calorimeter zu bilden, wurde das Rohr g an dem unteren Ende mit einem undurchbohrten Kautschukpfropfen verschlossen. In das obere Ende wurde ein Pfropf mit zwei Bohrungen und einem langen und einem kurzen Glasrohre gebracht. Von dem kurzen führte eine Verbindung zu einer Vorlage und von da zu einer Wasserstrahlpumpe.

Mit Hilfe eines an dem längeren, in das Calorimeter führenden Rohre angeschlossenen Schlauches wurde Luft, respective zur Nachfüllung Äther, in das Calorimeter gesaugt.

Eine Unterkühlung wurde durch Rühren mit einem durch M eingeführten dünnen Pt-Drahte vermieden.

Nachdem die Bildung des Eismantels vollendet war, wurde das Calorimeter mit dem Vergleichswiderstande oder dem zu untersuchenden Drahte versehen und Alles in der in Fig. 2 angedeuteten Weise zusammengestellt. Nun wurde zunächst der Propf s nur lose eingeführt und die Schraubenmutter m nicht angezogen. Sobald das Calorimeter in das mit Eis und Wasser gefüllte Gefäß gebracht wurde, stieg von unten nullgrädiges Wasser im Rohre g auf, und erst, wenn dieses ganz gefüllt war, wurde der Pfropf s in die Mündung des Rohres g eingedrückt und m festgezogen. Das Wasser im Rohre g hatte den Zweck, die sich im metallenen Leiter entwickelnde Wärme rasch aufzunehmen, um Verluste durch Ableitung derselben nach aussen zu vermeiden. Durch Umwicklung der Vergleichswiderstände, respective der Drähte und der beigelegten Glasröhren an den Stellen i wurden schädliche Strömungen des Wassers verhindert.

Vorversuche.

Bevor ich an die eigentlichen Messungen gehen konnte, musste ich mich überzeugen:

1. ob die Verschiebungen des Meniscus in der Capillaren des Eiscalorimeters proportional dem Quadrate der Stromstärke sind;

2. ob die oscillirenden Ströme den ganzen Querschnitt der Vergleichswiderstände gleichförmig einnehmen.

Es wurden daher Vergleichswiderstände und Drähte hintereinander in einen Gleichstrom geschaltet und bei verschiedenen Stromstärken I während der Zeit t die erfolgenden Verschiebungen des Meniscus l am Calorimeter mit dem Drahte und jenes l_1 am Calorimeter mit dem Vergleichswiderstande beobachtet.

Die Stromstärke wurde mit einem Siemens'schen Torsionsgalvanometer (100 Ω) gemessen und aus den Werthen von l und l_1 berechnet, wobei die Reductionsfactoren der Calorimeter der ersten Messung entnommen wurden.

Beispiele dieser oft wiederholten Beobachtungen finden sich in nachfolgender Tabelle.

Die Vergleichswiderstände wurden mit Nr. bezeichnet und bedeutet in dieser, sowie in den folgenden Tabellen:

Nr. 1 den Widerstand von $0\cdot00103$ *mm* Metallstärke,

Nr. 2 den Widerstand von $0\cdot00385$ *mm* Metallstärke,

Nr. 3 den Widerstand von $0\cdot01$ *mm* Metallstärke.

Ebenso bedeuten allgemein l die Verschiebungen des Meniscus am Calorimeter mit dem Drahte, l_1 jene am Calorimeter mit dem Vergleichswiderstande, wobei Centimeter als Einheit gelten. Bei den Ablesungen wurden $0\cdot1$ *mm* geschätzt. Die Einheiten der Gleichstromstärken I sind Ampère.

Material	Drahtstärke d <i>m/m</i>	Vergleichs- widerstand	l	l_1	ts	I aus l ber.	I aus l_1 ber.	I beob.
Cu	0·31	Nr. 3	17·80	6·00	90	—	—	8·22
			16·10	5·00	300	4·27	4·11	4·3
			19·18	6·00	60	10·44	<u>9·86</u>	10·5
Cu	3·00	Nr. 3	3·25	11·85	180	—	—	8·10
			2·65	9·60	600	3·88	3·96	4·00
			3·30	12·00	75	12·64	12·64	12·65
Fe	3·10	Nr. 2	2·75	16·50	120	—	—	11·30
			3·39	20·26	600	5·65	5·59	5·60
			2·43	14·54	60	15·03	15·03	15·00

Die hier angegebenen Werthe sind nur einige der vielen Ablesungen, und zwar habe ich die ungünstigsten Fälle gewählt, damit sich der Leser ein Urtheil über den Maximalwerth der vorkommenden Beobachtungsfehler bilden könne. Unter den angeführten Messungen beträgt die grösste Abweichung, die betreffende Stromstärke ist unterstrichen, $6\cdot4\%$, während die gewöhnlichen Differenzen 3% nicht übersteigen. Somit ist Punkt 1 im günstigen Sinne zu beantworten.

Um mich bezüglich des Punktes 2 zu orientiren, benützte ich den Widerstand Nr. 1 als Vergleichswiderstand, um das Verhältniss der Widerstände für oscillirende Ströme zu jenen

für Gleichstrom (in den folgenden Tabellen mit $\frac{w'}{w}$ bezeichnet) bei Widerstand Nr. 3 zu messen. Die Messung wurde mit der kleinsten und grössten Schwingungszahl, nämlich mit $n_6 = 84.400$ und $n_1 = 232.900$ durchgeführt. Ferner bedeuten l, l_1, I die Verschiebungen der Miniscusse an den Calorimetern und die Intensität des Gleichstromes. Die bezüglichen Grössen für Wechselstrom werden mit $'$ bezeichnet. Es ergaben sich als Mittelwerthe, die aus je drei Serien von Ablesungen gewonnen wurden:

n	l	l_1	l'	l'_1	t^s	I	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l'}{l'_1}$	$\frac{w'}{w}$
—	1·37	9·41	—	—	50	6·00	6·87	—	—
n_1	—	—	0·73	5·03	120	—	—	0·14	0·996
n_6	—	—	2·27	15·35	30	—	—	0·148	1·016

Wie man sieht, ist $\frac{w'}{w}$ gleich 1 anzunehmen, woraus folgt, dass der Widerstand der 0·01 *mm* dicken Kupferschichte für die in Anwendung gebrachten Wechselströme und für Gleichstrom derselbe ist.

Messungen.

Nach diesen Vorbereitungen konnte ich die eigentlichen Messungen beginnen, deren Ergebnisse ich in folgenden Tafeln darstellen will. Die angegebenen Werthe sind das Mittel aus durchschnittlich vier Bestimmungen.

Die Intensitäten der Wechselströme I' wurden aus den jeweiligen Mittelwerthen der übrigen Grössen berechnet. Obwohl, wie schon erwähnt, die Formel, welche Stefan für den Widerstand gerader Leiter aufgestellt hat, für die angewandten kleinen Schwingungszahlen noch kaum als gültig angenommen werden kann, habe ich doch in der letzten Rubrik die nach ihr berechneten Werthe von $\frac{w'}{w}$ angeführt, um eine beiläufige Vorstellung von der Grösse und dem Sinne der Abweichungen

zu erhalten. Indem sich die Permeabilitäten von Eisen und Nickel mit der Intensität der Magnetisirung ändern, können derartige Rechnungen überhaupt keine grosse Genauigkeit liefern, wesshalb ich sie nur für Eisen ausführte, da Stefan einige Beispiele für von oscillirenden Strömen durchflossene Eisendrähte gerechnet hat. Auch habe ich mich dabei des von Stefan angenommenen Werthes der Permeabilität $\mu = 150$ bedient. Als spezifische Widerstände wurde angenommen:

für Kupfer $\sigma = 1650$,

für Neusilber $\sigma = 26700$,

für Nickel $\sigma = 15000$,

für Eisen $\sigma = 9900$.

Die Drahtstärken wurden durch Längenmessung und Wägung bestimmt.

Kupfer.

Vergleichswiderstand Nr. 3.

d^{mm}	n	l	l_1	l'	l'_1	l^s	I	I'	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l'}{l'_1}$	$\frac{w'}{w}$ beob.	$\frac{w'}{w}$ ber.
0.31	—	17.94	6.07	—	—	90	8.27	—	0.339	—	—	—
	n_1	—	—	5.24	1.80	300	—	2.45	—	2.91	0.986	0.83
	n_3	—	—	17.90	6.09	180	—	5.79	—	2.94	0.996	0.67
	n_6	—	—	16.37	5.45	60	—	9.59	—	3.00	1.017	0.35
1.055	—	6.04	7.88	—	—	100	8.18	—	1.30	—	—	—
	n_1	—	—	1.86	1.11	180	—	2.29	—	1.68	2.18	2.23
	n_3	—	—	6.45	4.89	120	—	5.89	—	1.31	1.70	1.69
	n_6	—	—	9.46	8.18	75	—	9.57	—	1.15	1.50	1.43
1.955	—	3.25	13.68	—	—	600	8.49	—	4.21	—	—	—
	n_1	—	—	0.56	0.45	240	—	2.37	—	1.24	5.22	3.90
	n_3	—	—	2.10	3.14	300	—	5.68	—	0.67	2.82	2.92
	n_6	—	—	2.77	5.05	180	—	9.34	—	0.55	2.31	2.44
3.00	—	1.14	5.00	—	—	210	8.40	—	4.40	—	—	—
	n_1	—	—	1.03	0.70	310	—	2.60	—	1.47	6.47	5.85
	n_3	—	—	2.17	2.93	240	—	5.97	—	0.74	3.26	4.35
	n_6	—	—	3.38	5.87	180	—	9.83	—	0.57	2.51	3.62

Neusilber.

Vergleichswiderstand Nr. 2.

d_{mm}	n	l	l_1	l'	l'_1	ts	I	I'	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l'}{l'_1}$	$\frac{w'}{w}$ beob.	$\frac{w'}{w}$ ber.
0·93	—	11·37	1·36	—	—	20	8·55	—	0·12	—	—	—
	n_1	—	—	12·60	1·43	180	—	2·91	—	8·81	1·06	0·68
	n_3	—	—	15·00	1·80	40	—	6·84	—	8·33	1·00	0·57
	n_6	—	—	12·80	1·57	14	—	11·12	—	8·15	0·98	0·51
2·04	—	7·52	4·41	—	—	60	8·57	—	0·58	—	—	—
	n_1	—	—	5·60	2·55	360	—	2·66	—	2·19	1·27	1·20
	n_3	—	—	8·55	4·59	120	—	6·17	—	1·86	1·08	0·94
	n_6	—	—	11·53	6·45	60	—	10·28	—	1·78	1·03	0·82

Nickel.

Vergleichswiderstand Nr. 2.

d	n	l	l_1	l'	l'_1	ts	I	I'	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l'}{l'_1}$	$\frac{w'}{w}$ beob.	
1·00	—	4·32	17·36	—	—	60	11·65	—	4·01	—	—	
	n_1	—	—	5·52	3·51	240	—	2·56	—	1·57	6·30	
	n_3	—	—	9·10	8·99	120	—	5·83	—	1·01	4·05	
	n_6	—	—	8·78	11·58	60	—	9·55	—	0·76	3·05	
2·00	—	2·46	7·58	—	—	150	8·33	—	3·08	—	—	
	n_1	—	—	5·70	1·10	150	—	3·16	—	5·18	15·95	
	n_3	—	—	9·43	2·67	75	—	7·00	—	3·53	10·87	
	n_6	—	—	13·21	5·11	60	—	10·75	—	2·58	7·95	
3·00	—	1·67	13·80	—	—	120	9·85	—	8·27	—	—	
	n_1	—	—	6·74	1·64	180	—	2·76	—	4·11	33·99	
	n_3	—	—	8·78	2·28	90	—	4·63	—	3·85	31·84	
	n_6	—	—	14·53	7·30	90	—	8·27	—	1·99	16·46	

Eisen.

Vergleichswiderstand Nr. 2.

d	n	l	l_1	l'	l'_1	ts	I	I'	$\frac{l_1}{l}$	$\frac{l'}{l'_1}$	$\frac{w'}{w}$ beob.	$\frac{w'}{w}$ ber.
0.6	—	9.08	2.12	—	—	30	8.53	—	0.23	—	—	—
	n_1	—	—	19.95	0.89	85	—	3.28	—	22.4	5.15	5.85
	n_3	—	—	15.50	0.96	20	—	7.01	—	14.0	3.22	4.35
1.25	n_6	—	—	15.20	1.70	15	—	10.77	—	8.94	2.06	3.62
	—	7.03	2.35	—	—	180	6.20	—	0.33	—	—	—
	n_1	—	—	16.83	0.41	150	—	2.79	—	41.00	13.53	11.92
2.00	n_3	—	—	23.41	1.03	60	—	7.19	—	22.73	7.50	8.79
	n_6	—	—	7.98	0.55	30	—	7.32	—	14.50	4.79	7.27
	—	2.07	15.66	—	—	90	11.45	—	7.57	—	—	—
3.10	n_1	—	—	12.70	4.65	600	—	2.40	—	2.73	20.67	18.91
	n_3	—	—	13.63	6.20	300	—	3.96	—	2.19	16.58	
	n_6	—	—	20.33	12.47	300	—	5.61	—	1.631	12.35	13.91
3.10	n_3	—	—	20.28	13.55	180	—	7.54	—	1.497	11.33	21.43
	n_6	—	—	16.04	13.62	180	—	7.55	—	1.178	8.92	
	n_6	—	—	12.98	11.82	60	—	12.13	—	1.099	8.32	11.49
3.10	—	3.00	17.10	—	—	135	11.58	—	5.70	—	—	—
	n_1	—	—	17.58	1.65	600	—	1.69	—	10.65	60.71	29.18
	n_3	—	—	19.70	2.14	300	—	2.67	—	9.20	52.44	
3.10	n_6	—	—	24.55	3.91	150	—	5.27	—	6.28	35.80	21.43
	n_6	—	—	23.10	4.27	120	—	6.14	—	5.41	30.84	
	n_6	—	—	18.35	4.88	180	—	5.32	—	3.76	21.43	17.67
n_6	—	—	20.80	5.73	60	—	10.07	—	3.63	20.69		

Zunächst sehen wir aus sämtlichen Messungen, dass wirklich das Verhältniss $\frac{w'}{w}$ mit wachsender Dicke des Leiters und Schwingungszahl des Stromes zunimmt. Um ein bestimmtes Gesetz abzuleiten, stehen mir bis jetzt zu wenig Beobachtungen zur Verfügung. Aus den Messungen an Neusilberdrähten sieht man weiters, dass in der That sich das Verhältniss $\frac{w'}{w}$ desto

mehr der Einheit nähert, je grösser der specifische Widerstand ist. Dies scheint mir bezüglich der Beantwortung der Frage betreffs der Unschädlichkeit rasch wechselnder Ströme von bedeutender Intensität für den thierischen Organismus von Belang zu sein. Ich habe im vorigen Jahre gelegentlich der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien mit Strömen, deren Schwingungszahl kaum höher als der hier verwendeten gewesen sein dürfte, gezeigt, dass dieselben mit einer Intensität, welche eine 100-voltige Glühlampe zum Leuchten brachte, durch den Körper geleitet, sehr wenig fühlbar waren. Dieses zuerst von d'Arsonval angestellte Experiment wurde bekanntlich immer so gedeutet, dass man die Unföhlbarkeit der Ströme auf deren oberflächliches Fliessen zurückführte. Indem wir nun sahen, dass ein Strom von 232.900 Schwingungen einen 2·04 *mm* dicken Neusilberdraht fast im ganzen Querschnitte gleichförmig durchströmt, scheint mir die Behauptung gerechtfertigt, dass selbst viel frequentere Ströme in Substanzen von so hohem specifischen Widerstande, wie es die Gewebe des thierischen Körpers sind, noch ziemlich tief eindringen und daher die erwähnte Erklärung des Phänomens unzulässig ist.

Die von Stefan entwickelte Formel hat ausserdem, dass sie nur für sehr hohe Schwingungen gilt, noch die Voraussetzung, dass der Draht verhältnissmässig dick sei. Daher stammen die berechneten Werthe von $\frac{w'}{w}$, welche kleiner als 1 sind. Dies gilt wohl vorzugsweise für den 0·31 *mm* starken Cu-Draht. Die Formel gilt aber ausserdem nur für Leiter von kleinem specifischen Widerstande, was bei der Betrachtung der für einen 2·04 *mm* dicken Neusilberdraht berechneten Werthe ersichtlich ist. Immerhin aber sieht man, dass für nicht magnetische Leiter die Formel von Stefan bei genügend hohen Schwingungszahlen wohl den wahren Werth des Widerstandes angeben dürfte.

Wesentlich schwieriger gestaltet sich die Berechnung des Widerstandes magnetisirbarer Leiter, indem sich die Permeabilität mit der Grösse der magnetischen Induction ändert.

Es muss daher der Widerstand von der Stromstärke abhängig sein. Bei Nickel konnte ich dies noch nicht mit Sicher-

heit constatiren. Dagegen war diese Erscheinung bei dem $2\cdot00\text{ mm}$ und dem $3\cdot10\text{ mm}$ dicken Eisendrahte sehr auffallend. Wie man sieht, waren bei diesen Drahtstärken fast alle beobachteten $\frac{w'}{w}$ wesentlich höher als die berechneten. Weiters zeigt sich die auffallende Erscheinung, dass der höheren Stromstärke ein kleinerer Widerstand entspricht. Beachtet man, dass dies nach der Stefan'schen Formel durch eine Verkleinerung der Permeabilität zu erklären ist, so würde sich ergeben, dass in diesen Fällen das Eisen schon seiner magnetischen Sättigung nahe war.

Die vorliegenden wenigen Bestimmungen zeigen somit, dass es, um ein klares Bild von der Grösse der Widerstände linearer Leiter für oscillirende Ströme zu erhalten, nöthig ist, eine systematische Reihe von Messungen mit gleichzeitiger genauer Bestimmung der Schwingungszahl durchzuführen. Daher beabsichtige ich, wie schon erwähnt, im kommenden Winter ausgebreitete Untersuchungen nach dieser Methode anzustellen. Es bleibt mir somit noch die angenehme Pflicht, zwei hiesigen Firmen, nämlich der Firma Kremenezky, Mayer & Co. und der Firma Felten & Guillaume für leihweise Überlassung von Apparaten meinen besten Dank auszudrücken.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: [104_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Tuma Josef

Artikel/Article: [Messungen mit Wechselströmen von hoher Frequenz. 470-484](#)