**IV. Ueber den Uebergangswiderstand an den Berührungsstellen metallischer Leiter;
von Friedrich C. G. Müller in Osnabrück.**

In meiner Abhandlung über die galvanische Polarisation¹⁾ findet sich die Angabe: „Commutatoren mit schleifenden Metallfedern sind nach meiner Erfahrung vollständig unbrauchbar; sie bieten einen nach ihrer Stellung und der Stromintensität variablen Uebergangswiderstand, dessen Gröfse mitunter über 10 Einheiten betrug“. Zu dieser Wahrnehmung gab ein allerdings mittelmäßig gearbeiteter Ruhmkorff'scher Commutator Anlaß, welcher nie gestattete, den Strom ohne erhebliche Aenderung der Intensität zu wenden. Später habe ich bei demselben Apparate durch directe Messungen Widerstände gefunden, welche zwischen 1,7 und 12,0 Einheiten schwankten. (Widerstandseinheit hat 1 Cm. Platindraht von 0,05254 ^{mm} Querschnitt). Ebenfalls bestätigte es sich, daß dieser Widerstand sich mit der Stromstärke in unregelmäßigster Weise änderte. Die Thatsache, daß ein Uebergangswiderstand an der Berührungsstelle metallischer Leiter stattfindet, erinnere ich mich in verschiedenen Lehrbüchern und Originalabhandlungen erwähnt gefunden zu haben, ohne daß irgendwo viel Aufsehens davon gemacht wurde. Eine eingehende Specialuntersuchung ist mir nicht zu Gesicht gekommen. Die angegebenen eigenen Beobachtungen machten mich daher so besorgt, daß ich bei meinen galvanometrischen

1) Pogg. Ann. Bd. 151, S. 295. Ich benutze diese Gelegenheit, um zu constatiren, daß die im §. 8. der citirten Abhandlung von mir beschriebene Reduction des Kupferoxyds durch Galv. Wasserstoff bereits bekannt gewesen ist, wie folgende Stelle aus Maxwell's neuestem Werk über Elektrizität und Magnetismus beweist (S. 326): *A different mode of getting rid of the hydrogen is by using copper as the negative metal, and covering the surface with a coat of oxide. This, however, rapidly disappears when it is used as the negative electrode.*

Apparaten fast alle Klemmschrauben entfernte und die Leitung mit Zinn verlöthete. Da sich aber Contactstellen im Stromkreise wohl selten ganz werden vermeiden lassen, zumal wenn man mit Zink-Kohlen-Elementen arbeitet, so beschloß ich, mir durch eine specielle Untersuchung in dieser Frage Aufklärung zu verschaffen.

Aus Messingdraht von 1,95^{mm} Dicke liefs ich mir eine Kette anfertigen, deren kurze 3 förmige Glieder bequem zusammengehängt und auseinander genommen werden konnten. Das oberste Glied hing vermittelt eines mit Quecksilbernafp versehenen Doppelhakens an einem Stativ, das unterste trug einen ähnlichen Haken, ebenfalls mit Nafp und zudem mit einer Waagschale. Die nahe über der Tischfläche schwebende Schale stützte sich zur Vermeidung von Schwankungen auf einen lockeren Ballen Baumwolle. Die Berührungsstellen der Glieder waren polirt, was leicht geschieht mittelst eines darum geschlungenen, mit *caput mortuum* bestreuten, Bindfadens, dem man eine sägende Bewegung ertheilt. Die aus 15 Gliedern bestehende Kette wog 10,45 Gr.; der daran hängende Nafp nebst Waagschale 34,3 Gr. Um das seitliche Ausweichen der Kette zu verhüten, liefs man sie durch ein vertical eingespanntes, genau anschließendes, Glasrohr gehen.

Ein durch die Kette geleiteter Strom mußte somit 16 Berührungsstellen passiren und dadurch voraussichtlich einen beträchtlichen Widerstand erfahren. Durch einen Quecksilber-Umschalter konnte die Kette leicht ohne Erschütterung in den Schließungskreis ein- und ausgeschaltet werden. Der Strom ging gleichzeitig durchs Galvanometer und Rheochord. Bei Abgleichung der Widerstände bediente man sich der in derselben Abhandlung S. 292 ausführlich dargelegten mikroskopischen Ablesung der Nadelstellung. Als Stromquelle diente in der Regel ein sehr constantes Daniell'sches Element. So war alles gethan, um für die vorzunehmenden Widerstandsmessungen eine hinreichende Genauigkeit garantiren zu können. In der

That beliefen sich bei der Ausmittlung der Leitungsfähigkeit des zur Kette verwandten Drahts die grössten Abweichungen vom Mittel nicht über $\frac{1}{30}$ Einheit.

Die Untersuchung selbst anlangend, muß im voraus bemerkt werden, daß ich damit anfänglich auf Irrwege gerathen bin. Eine zeitlang glaubte ich sogar aus meinen Messungen schließen zu müssen, der Uebergangswiderstand sey nicht allein von der Intensität, sondern auch von der elektromotorischen Kraft der Säule abhängig. Erst nachdem eine große Zahl von Beobachtungsreihen ausgeführt war, welche durchaus nicht in Einklang gebracht werden konnten, gelang es mir, die Quelle des grössten Irrthums zu erkennen und zu vermeiden, worauf einige weitere Messungen zum Endresultat führten.

Die Schwierigkeit liegt darin, daß auch an noch so nahe bei einander gelegenen Berührungspunkten trotz der Politur der Uebergangswiderstand ein wesentlich anderer ist, wovon man sich durch gelindes Ausbiegen der Kette leicht überzeugen kann. Dabei wird sich ihr Widerstand möglicherweise um das 10fache vermehren oder vermindern. — Nachdem ich die Kette in ein Glasrohr eingeschlossen hatte, meinte ich einer derartigen Störung genügend vorgesehen zu haben. Das ist indessen nicht der Fall; die geringste Erschütterung des Hauses und des Tisches beeinflusst den Widerstand. Selbst durch die kaum wahrnehmbaren Stöße, welche durch den Wagenverkehr in entfernteren Strassen hervorgebracht werden, pflegt der Widerstand fortwährend geringer zu werden; stärkere Erschütterungen, z. B. Fahren in der Nähe des Hauses, können ihn rasch steigern. Hierin liegt der Grund, weshalb erstens, namentlich für geringe Belastungen der Schale, die Einzelwerthe der Reihen durchaus nicht mit der erwarteten Genauigkeit unter einander stimmten, weshalb zweitens die Mittelwerthe der zu verschiedenen Zeiten angestellten Beobachtungsreihen gar nicht mit einander verglichen werden konnten.

Durch folgenden Kunstgriff liefs sich schliefslich der Uebelstand in etwas beseitigen. Der Strom wurde mit der gewünschten Intensität durch den Apparat gelassen und das Mikroskop auf die Galvanometernadel eingestellt. Während man durch dasselbe die Nadel beobachtete, wurde mit einem Stäbchen fortwährend an den Tisch, welcher das Stativ mit der Kette trug, geklopft. Die Nadel rückte stetig vorwärts bis sie schliefslich stationär blieb. Dabei hatten sich, wie leicht zu verstehen, die Berührungspunkte der einzelnen Glieder nach und nach auf die Oerter der grössten Stabilität begeben, von denen sie thatsächlich nur durch eine starke Erschütterung wieder zu entfernen waren, vorausgesetzt, dafs die Belastung der Schale mindestens 100 Gr. betrug. Bei geringerer Belastung versagte auch die angegebene Manipulation ihren Dienst. — Die alsbald mitzutheilenden Zahlen wurden erhalten, nachdem vor jeder Reihe durch Klopfen der stationäre Zustand herbeigeführt war.

Der *metallische Widerstand* der Kette läfst sich nicht genau angeben, weil man die wahre Länge des aus gekrümmten Gliedern zusammengesetzten Leiters nicht kennt. Die Kette war 21 Ctm. lang, daraus schätze ich auf Grund von annähernden Messungen die absolute Länge des leitenden Drahtes zu 26 Ctm. Der Widerstand von 26 Ctm. des zur Kette verwandten Drahtes wurde durch directe Versuche zu 0,64 gefunden. Hierzu würde noch ein geringer Betrag auf Rechnung des an jedem Berührungspunkte stattfindenden Ausbreitungswiderstandes hinzuzuzählen seyn. Wir dürfen also annehmen, die Zahl 0,7 bezeichne den metallischen Widerstand. Uebrigens wird es für unsere Messungen meistens wenig störend seyn, auch wenn die Zahl 0,7 um einige Procente fehlerhaft ist, weil sie von dem vielfach gröfseren Gesamtwiderstande subtrahirt werden mufs, um als Rest den Uebergangswiderstand zu geben.

I. *Belastung der Schale 100 Gr.* Elektromotor ein Zink-Kohlen-Element.

a) $J = 10$ voltametrische Einheiten. Der Gesamtwiderstand wurde gefunden:

$$W = 4,4, 4,0, 3,8, 4,0$$

$$\text{Mittel } 4,05$$

Daraus $U = 3,35$.

b) $J = 20$

$$W = 4,0, 4,0, 3,84$$

$$\text{Mittel } 3,95$$

$$U = 3,25.$$

c) $J = 10$

$$W = 4,0, 3,8, 3,8$$

$$\text{Mittel } 3,87$$

$$U = 3,17.$$

d) Elektromotor ein Daniell'sches Element. Sonst wie c).

$$W = 4,4, 4,2, 4,3$$

$$\text{Mittel } 4,3$$

$$U = 3,6.$$

II. *Belastung 200 Gr.* $J = 10$

$$W = 3,0, 3,0, 3,0, 2,8$$

$$\text{Mittel } 2,95$$

$$U = 2,25.$$

III. *Belastung 400 Gr.* $J = 10$

$$W = 0,98, 0,98, 0,96, 0,97$$

$$\text{Mittel } 0,972$$

$$U = 0,272.$$

Schon aus diesen wenigen Beobachtungen leitet sich eine negative Antwort auf die den Ausgangspunkt der Untersuchung bildende Frage her. Der Uebergangswiderstand ist *unabhängig von der Intensität* und der elektromotorischen Kraft; die GröÙe desselben ist *verschwindend klein*, selbst wenn die Leiter sich bei einem gegenseitigen Druck von nur 400 Gr. in einem Punkte berühren.

Nach III. ist für eine einzige Uebergangsstelle ja $U=0,017$; nach II. $U=0,14$. Daraus ergibt sich, daß der durch Einfügung von Klemmschrauben veranlafste Widerstand vollständig unmeßbar ist; denn durch gehöriges Anziehen der Schraube wird ein Druck von mehreren Kilogrammen hervorgebracht, abgesehen davon, daß sich die Leiter nicht, wie bei unserer Kette, in einem Punkte, sondern in einer Linie berühren.

Die mitgetheilten Zahlen sind zur Feststellung des negativen Resultats beweisend genug, obgleich sie aus den angeführten Gründen nicht mit der Schärfe übereinstimmen, welche man zur Begründung positiver Gesetze verlangt. Das von mir eingeschlagene Verfahren wenigstens ist kaum anwendbar, um die Abhängigkeit des Uebergangswiderstands von der Gröfse des Drucks zu ermitteln.

Um einen Begriff davon zu geben, wie groß in derselben Kette der Widerstand seyn konnte, wenn sie nach Auflegung des Gewichts nicht dauernd erschüttert wurde, theile ich aus der Zahl meiner vergeblichen Messungsreihen folgende Mittelwerthe mit. Für die Belastung von 200 Gr. fand ich zu verschiedenen Zeiten $U=2,66, 5,68, 6,28$. Ebenso für 100 Gr. Belastung $U=4,84, 9,18, 7,14, 12,5, 12,30, 10,62, 10,30$.

Der Leser wird fragen, weshalb mein Ruhmkorff'scher Commutator ebenfalls bei unveränderter Stellung der Walze einen variablen Widerstand zeigte, so daß er Anlaß zu der früheren falschen Behauptung und der vorstehenden Untersuchung werden konnte. Der Grund liegt, wie ich mich hernach überzeugt habe, darin, daß die an sich schwachen Federn fast gleich stark waren. Dadurch wurde die Walze in der Schwebe gehalten, so daß die schlotternden Zapfen bei jeder Erschütterung in ihren Lagern, unter unzureichendem Drucke, einen andern Berührungspunkt finden mußten. Durch folgende einfache Abänderung wird jedoch auch der Ruhmkorff'sche Commutator zu exacten Versuchen brauchbar: Man macht die thunlichst kräftigen Federn ungleich stark, dann wer-

den durch den Ueberdruck der stärkeren die Zapfen stets fest an die Lager gepreßt.

Osnabrück, den 26. Mai 1874.

**V. Die specifischen Wärmen der Elemente
Kohlenstoff, Bor und Silicium;
von Dr. H. F. Weber,**

Prof. d. Physik u. Math. an der land- u. forstwirthschaftl. Akademie zu
Hohenheim.

(Aus dem Programm d. Akad. vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

Erste Abhandlung: Die Abhängigkeit der specifischen Wärmen der isolirten Elemente Kohlenstoff, Bor und Silicium von der Temperatur.

Dulong und Petit maßen 1819 die specifischen Wärmen dreizehn fester Elemente. Für jedes der untersuchten Elemente ergab sich eine sehr einfache Abhängigkeit seiner specifischen Wärme von seinem Atomgewicht: das Product aus specifischer Wärme in das Atomgewicht lieferte eine Constante. Die Atome aller untersuchten Elemente haben also dieselbe Wärmecapacität. Wurde die specifische Wärme des Wassers als Einheit angenommen und das Atomgewicht des Sauerstoffs gleich 16 gesetzt, so nahm diese Constante, die sogenannte Atomwärme, den Mittelwerth 6,0 an.

In zahlreichen, von 1840 bis 1862 fortgesetzten Untersuchungen hat später Hr. Regnault die *Allgemeingültigkeit* dieses von Dulong und Petit gefundenen Gesetzes geprüft. Das allgemeine Ergebniß war, daß dieses Gesetz für die meisten festen Elemente annähernde Gültigkeit hat, doch müssen die specifischen Wärmen dieser Elemente bei Temperaturen bestimmt werden, die hinreichend tief unter dem Schmelzpunkte der betreffenden Ele-