

ANNALEN DER CHEMIE UND PHARMACIE.

CII. Bandes drittes Heft.

Ueber das electriche Verhalten des Aluminiums; von *H. Buff*.

Das Verhalten des Aluminiums als Glied einer electricen Kette ist vor ungefähr anderthalb Jahren von Wheatstone *) untersucht worden. Aus seinen Beobachtungen geht hervor, dafs die Stellung dieses Metalles in der Spannungsreihe keine unveränderliche, sondern von der Natur der Flüssigkeiten, in welche es während der Berührung mit einem andern Metalle eingetaucht wurde, wesentlich abhängige ist.

Bei der Wiederholung dieser Versuche fand ich bestätigt, was Heeren **) aus allgemeinen Gründen schon früher richtig erkannt hatte, dafs das Aluminium das erwähnte wechselnde Verhalten einer Eigenschaft verdankt, welche man in gleich auffallender Weise bis jetzt nur noch bei dem Eisen wahrgenommen hat und die unter dem Namen *Passivität* bekannt ist.

Passiv nennt man nach dem electricen Sprachgebrauche ein Metall bekanntlich dann, wenn es unter der Einwirkung einer Flüssigkeit, in die man es eintaucht, sich entweder mit einer schwer löslichen Oxydschicht überzieht, oder auch, ohne eine sichtbare Oxydecke zu erhalten, durch Polari-

*) Phil. Mag. [4] X, 143; Arch. ph. nat. XXIX, 350.

**) Mittheil. des Gewerbevereins für Hannover, Jahrg. 1855, S. 342.

sirung mit Sauerstoff den weiteren chemischen Angriff der Flüssigkeit mehr oder weniger vollständig abhält. So erscheinen Eisen, Blei, Kupfer und einige andere Metalle, die bei gewöhnlicher Temperatur und in dem derb metallischen Zustande keine sehr energische Verwandtschaft zum Sauerstoff besitzen, in concentrirter Salpetersäure von 1,5 spec. Gew. passiv und werden dadurch dem negativen Ende der Spannungsreihe scheinbar näher gerückt. Das Eisen kann, wie man weiß, schon in gewöhnlicher Salpetersäure passiv und somit in erhöhtem Grade negativ electriche gemacht werden. Das Aluminium gewinnt diese Eigenschaft unmittelbar, beim Eintauchen in Salpetersäure von jedem Concentrationsgrade.

Weniger wirksam in dieser Beziehung zeigt sich die verdünnte Schwefelsäure. Bildet man daher eine galvanische Kette aus Salpetersäure, verdünnter Schwefelsäure und Aluminium, so geht die Richtung des Stroms stets von dem in die Schwefelsäure eingetauchten Metallende durch diese Säure zu der Salpetersäure und dem andern Metallende. Die electromotorische Kraft dieser Kette, wenn man Salpetersäure von 1,4 spec. Gewicht nimmt, beträgt 0,63 von derjenigen eines Bunsen'schen Paares, während die der ähnlich gebildeten Eisenkette nicht 0,56 übersteigt; die letztere ist aber beständiger, weil das in die Schwefelsäure tauchende Aluminium sehr bald einen dunkelgrauen, ins Schwarze übergehenden Ueberzug annimmt, durch dessen allmälige Anhäufung die Einwirkung auf die Säure gestört wird. Dieser Ueberzug ist Silicium, wovon, bald in größerer bald in geringerer Menge, alle von mir untersuchten Aluminiumproben enthielten.

In alkalischen Lösungen ist das Aluminium stets activ, d. h. es behauptet bei fortdauernder Einwirkung des Stroms seine Auflöslichkeit in der Flüssigkeit; auch erhält man mit

Salpetersäure, Aetzkali und Aluminium eine Kette von ziemlich großer Beständigkeit, deren electromotorische Kraft die des Bunsen'schen Paares erreicht und sogar übertrifft.

Es ist bemerkenswerth, daß diese aus Aluminium und zwei Flüssigkeiten gebildete Kette eine größere Kraft besitzt, als die Combination : Aluminium, Salpetersäure, Aetzkali, Zink, während gerade das Umgekehrte stattfindet, wenn das Aetzkali durch verdünnte Schwefelsäure vertreten ist. Der Grund liegt darin, daß das Zink sich gegen Aluminium in geringem Grade negativ electricisch verhält, sobald beide Metalle neben einander in Aetzkali tauchen, dagegen ziemlich stark positiv electricisch, wenn sich beide Metalle zugleich in verdünnter Schwefelsäure befinden. Die galvanische Combination : Aluminium (des Handels), Salpetersäure, Schwefelsäure, Zink bildet eine Kette, die, obwohl nicht vollkommen beständig, doch sehr gut geeignet ist, auch starke Ströme in Circulation zu erhalten, um z. B. dünne Drähte zum Glühen zu bringen, oder um Wasser zu zersetzen. Ihre electromotorische Kraft schwankt zwischen 0,7 und 0,85 eines constanten Kohlenzinkpaares. Vertauscht man das Zink dieser Kette mit Zinn, Eisen, Kupfer oder Silber, so vermindert sich zwar stufenweise die electromotorische Kraft, jedoch ohne Aenderung der Stromesrichtung. Nur Platin, in Schwefelsäure tauchend, verhält sich electronegativ zu dem in Salpetersäure eingetauchten Aluminium.

Wenn das Aluminium in Schwefelsäure oder in Brunnenwasser eintaucht, habe ich dasselbe, bei reiner Oberfläche, gegenüber dem Eisen, Kupfer, Silber oder Platin, stets positiv electricisch gefunden; d. h. die Richtung des Stroms ging vom Aluminium durch die Flüssigkeit zum andern Metalle. Dieses Verhalten kann aber durch Polarisation bedeutende Veränderungen erfahren.

Das Platin mit anderen Metallen in verdünnte Schwefelsäure gebracht, bildet, wie man weiß, hauptsächlich aus dem Grunde unbeständige Ketten, weil es sich in dem geschlossenen leitenden Kreise rasch mit Wasserstoff polarisirt. In der Platin-Aluminiumkette wird gleichzeitig das letztere Metall electronegativ polarisirt. Man kann diese Polarisationserscheinung sehr leicht dadurch auffallend machen, daß man das Platin-Aluminium-Paar vor der unmittelbaren Schließung in den Kreis von zweien oder mehreren Bunsen'schen Paaren in der Art einschaltet, daß das in Schwefelsäure tauchende Aluminium die Rolle des Sauerstoffpols übernehmen muß. Man bemerkt sogleich an der Oberfläche dieses Metalles eine Gasentwicklung, die unter der Einwirkung von 6 bis 8 Paaren anfangs ziemlich lebhaft ist, nach und nach aber bis auf einen kleinen Rest verschwindet. Das Gas aufgesammelt und eudiometrisch geprüft verhielt sich wie Sauerstoffgas, stand aber nicht im Verhältnisse zu dem gleichzeitig am andern Pole auftretenden Wasserstoffgase. In der That war zugleich ein Theil des Aluminiums aufgelöst worden.

Wenn nun die zwischen Platin und Aluminium eintretende electromotorische Thätigkeit zuerst bei reiner Aluminiumfläche, dann, nachdem sich Sauerstoff daran abgesetzt hatte, von Neuem gemessen wird, so zeigt sich im letzteren Falle eine Verminderung der Stromstärke von weit größerem Betrage, als durch die Polarisation des Platins allein herbeigeführt werden kann; ja es läßt sich dahin bringen, daß die Galvanometernadel eine kurze Zeit unter Null zurückweicht, d. h. daß das Aluminium einige Augenblicke dem Platin gegenüber negativ electriche erscheint. Dann erst geht die Nadel durch ihre Nulllage sehr langsam nach der andern Seite zurück.

Wheatstone, der das Aluminium, mit Eisen in verdünnte Schwefelsäure getaucht, negativ electriche fand, hatte

wahrscheinlich ein solches, durch vorhergehende Versuche bereits polarisirtes Metallstück der Prüfung unterworfen.

Die electronegative Polarisation des Aluminiums in verdünnter Schwefelsäure, so weit sie von einem Sauerstoffabsatze abhängig ist, läßt sich durch Umkehrung der Stromesrichtung, oder auch Abwaschen mit reinem Wasser leicht entfernen. Auch verschwindet sie in der offenen Kette nach und nach von selbst. Das Metall überzieht sich aber zugleich mit einer Siliciumdecke, die sehr fest anhängt und um so dicker wird, je länger der Strom im Gange geblieben war. Dieser Ueberzug verhält sich nicht nur in hohem Grade electronegativ, sondern besitzt auch die Eigenschaft eines sehr schlechten Leiters, wodurch der Circulation des Stromes ein sehr großes Hemmnifs entgegengesetzt wird.

Ein gewöhnliches Bunsen'sches Paar, zu dessen Schließungsbogen das sehr lange Gewinde einer Tangentenbussole und zugleich mehrere Widerstandsrollen verwendet worden waren, bewirkte einen Ausschlag der Nadel von $29^{\circ},2$ (Mittel der östlichen und westlichen Ablenkung). Nachdem man das Zink des Paares mit einer Aluminium-Barre mit ganz reiner Oberfläche vertauscht hatte, betrug die, übrigens ziemlich beständige Ablenkung $23^{\circ},15$. Die electromotorische Kraft der Kohlen-Aluminium-Kette (die der Kohlen-Zink-Kette als Einheit genommen) war demnach $\frac{\text{tng } 23,15}{\text{tng } 29,20} = 0,765$.

Entsprechend einer Kraft von dieser Größe hätte die Aluminiumkette bei unmittelbarer Schließung durch eine Weber'sche Tangentenbussole (zwei Centimeter Durchmesser des Rings) eine Ablenkung wenigstens von 77° bewirken müssen. In der That nahm aber die Nadel nach einer ersten einige Grade betragenden Oscillation in der Nähe von 0° eine feste Stellung. Selbst mit Hülfe von 9 Bunsen'schen Paaren, die nach und nach in dieselbe Kette eingeschaltet wurden,

konnte keine stärkere Ablenkung, als die von 1^o,5 erreicht werden. Verschiedene Sorten Aluminium verhielten sich in dieser Beziehung so ziemlich auf gleiche Weise, sowohl die aus der Pariser Fabrik bezogenen Barren, wie die aus reinem Metall gezogenen Drähte und selbst das aus Kryolith reducirte Aluminium, welches aufser Silicium nichts Fremdartiges enthält und wovon mir Wöhler mehrere Stücke in Form von Blechen und Draht geliehen hatte. Durch seinen Siliciumgehalt ist daher das Aluminium ungeeignet zum Gebrauche als positives Glied electriche Ketten.

Das beschriebene Verhalten des Aluminiums, während dieses Metall als Sauerstoffpol in verdünnte Schwefelsäure taucht, ist nicht ohne Analogieen. Aehnliche Vorgänge bemerkt man z. B. in auffallendem Grade bei dem Kupfer. Lässt man den Strom von 2 bis 9 Kohlenzinkpaaren durch einen schmalen Streifen reinen Kupferblechs in verdünnte Schwefelsäure eindringen, so hat man anfangs gewöhnlich eine starke Gasentwicklung am negativen Pole, so wie eine grosse Ablenkung der Galvanometernadel. Bald aber überzieht sich die Kupferfläche mit Oxyd, durch dessen Auftreten der Strom, zuweilen plötzlich, grösstentheils unterbrochen wird. Der dunkle Oxydüberzug verschwindet zwar nach und nach und der Strom nimmt wieder zu, immer jedoch hinter der anfänglichen Stärke weit zurückbleibend. Zugleich bemerkt man eine anfangs schwache, dann etwas lebhafter werdende Entbindung von Sauerstoffgas an allen Punkten der Kupferfläche. Das auf diesem Wege negativ polarisirte Kupfer verhält sich negativ electriche sogar dem Platin gegenüber. Die negative Polarisirung und der sie begleitende, wahrscheinlich von einem Anfluge von Kupferoxydul abhängige Leitungswiderstand verschwindet bei geöffneter Kette nach wenigen Augenblicken, wird aber nach erneuertem Schliessen fast eben so schnell wieder erhalten, so dass bei dieser Kette, ein periodisches

Oeffnen und Schliessen die Bedingung zur Erzielung einer kräftigen Stromwirkung ist.

Wenn die verdünnte Schwefelsäure sich erwärmt hat, oder wenn die electriche Kette aus einer zu grossen Anzahl Elementen besteht, so wird der Leitungswiderstand des polarisirten Kupferstreifens dauernd überwunden. Ein Gemenge von Kupferoxyd und Kupferoxydul löst sich von dem Blechstück ab und erfüllt bald die ganze Flüssigkeit mit einer dunkelen Trübung. Nur ein verhältnissmäfsig kleiner Theil des Kupfers wird unter dem Einflusse des Stroms in derselben Zeit wirklich aufgelöst.

Auch das Eisen, wenn es in Schwefelsäure eingetaucht wird, zeigt ein dem des Aluminiums sehr ähnliches electriche Verhalten. Ein reiner Eisendraht in der Säure einem Platinstreifen gegenübergestellt, gab in gewöhnlicher Weise einen Strom, in der Richtung durch die Flüssigkeit zum Platin; bei ungeschlossener Kette schwache Auflösung des Eisens, unter Entwicklung von Wasserstoffgas. Diese Entbindung von Wasserstoffgas am Eisen hörte sogleich auf, als der Kette ein Kohlenzinkpaar in gleicher Richtung eingeschaltet wurde; ein lebhafter Gasstrom trat jetzt am Platin auf, während das Eisen unter sichtbarer theilweiser Auflösung sich mit einer dicken dunkelbraunen Hülle bedeckte. Plötzlich erlosch der Strom fast gänzlich, und die Nadel der Bussole mit einfachem Ringe fiel wie bei geöffneter Kette auf Null. Der Oxydüberzug löste sich jetzt rasch und vollständig auf und liefs eine metallisch glänzende Oberfläche des Drahtes zurück. Nur geringe Spuren von Gasentwicklung am Platin erinnerten, dafs die electriche Strömung nicht ganz und gar aufgehört hatte.

Bei geöffneter Kette erschien das Eisen jetzt unlöslich in der Säure. Dem (mit Wasserstoff noch bedeckten) Platin gegenüber verhielt es sich stark negativ polarisirt. Jedoch

war dieser Zustand nicht dauernd. Nach einiger Zeit begann der Eisendraht wieder, wie anfangs, unter Wasserstoffentwicklung sich aufzulösen, und dann wiederholten sich bei erneuerter Schließung mit dem Bunsen'schen Paare alle vorher beschriebenen Vorgänge. Eine kurze Unterbrechung der Kette hatte jedesmal die Wiederholung dieser Erscheinungen zur Folge. Oft konnte aber auch dasselbe ohne vorausgegangenes Oeffnen, durch bloße Erschütterung erreicht werden. Ja ohne jede andere sichtbare Ursache, als daß der noch circulirende Stromrest unter eine gewisse Grenze herabgedrückt worden war, erneuerte sich von Zeit zu Zeit, auch bei dauernd geschlossener Kette, jener Vorgang.

Der auf diesem Wege polarisirte Eisendraht verhielt sich in Salpetersäure von 1,4 spec. Gewicht passiv. Umgekehrt wurde durch einen in dieser Salpetersäure passiv gemachten Draht, wenn man denselben nachgehends mit Platin in Schwefelsäure brachte und der so gebildeten Kette ein Bunsen'sches Element einschaltete, die Entfaltung eines kräftigen Stroms unmittelbar gehindert.

Wurden zwei oder mehrere constante Paare eingeschaltet, so konnte eine kräftige Stromentwicklung nicht mehr verhindert werden, ungeachtet der Eisendraht durch dieselben Uebergänge, wie vorher, in den Zustand der Polarisation eintrat. Er behauptete von diesem Augenblicke an seine metallisch-glänzende Oberfläche, löste sich aber gleichwohl, unter gleichzeitiger reichlicher Entwicklung von Sauerstoffgas an seiner Oberfläche, allmähig auf.

Das im höchsten Grade passiv gewordene Eisen ist electronegativer, als das im Maximum seiner electronegativen Polarisation befindliche Aluminium. Daß das erstere gleichwohl nicht, ähnlich dem letzteren, den Strom mehrerer galvanischer Paare aufzuhalten vermag, kann nur darauf beruhen, weil die polarisirende Hülle des Eisens ein besserer Leiter ist.

In der Salpetersäure erhält das Aluminium seine stärkste electronegative Polarisation ebenfalls nicht unmittelbar, sondern nur durch Berührung mit Platin oder Kohle, oder noch besser, indem man es als positives Ende einer noch kräftigeren Kette verwendet, so daß sich, während es in die Salpetersäure eintauchte, an seiner Oberfläche Sauerstoff entwickeln mußte. Der hierdurch zum Maximum gesteigerte electronegative Zustand verliert sich in der geöffneten oder auch durch einen sehr langen Draht geschlossenen Kette von selbst wieder. In Folge dieses bei gut leitender Schließung rasch zunehmenden Polarisationseffectes ist das Aluminium unfähig, mit Kohle oder Platin in Salpetersäure getaucht Ströme von hinlänglicher Kraft zu erzeugen, um auf die Nadel der Weber'schen Tangentenbussole mehr als eine vorübergehende Schwankung hervorzubringen; während gleichwohl dieselbe Kette, durch einen langen Multiplicatordraht geschlossen, eine dauernde Ablenkung bewirkt, einer electromotorischen Kraft entsprechend, welche der Hälfte von derjenigen eines Bunsen'schen Paares gleich kommt. — Das Aluminium als positiver Pol einer Kette löst sich in der Salpetersäure auf, als negativer Pol wird es nicht im geringsten angegriffen.

Leitungsvermögen des Aluminiums. — Das Leitungsvermögen des Aluminiums ist von St. Claire-Deville*) und von Poggendorff**) bestimmt worden. Die Angaben dieser beiden Physiker sind aber so abweichend von einander, daß eine erneuerte Prüfung und Vergleichung mit dem Verhalten anderer Metalle mir nicht überflüssig schien.

Meine Widerstandsmessungen wurden auf die bekannte Weise ausgeführt, indem mit Hülfe eines Wheatstone'-

*) Ann. chim. phys. [3] XLIII, 10.

**) Pogg. Ann. XCIX, 643.

schen Stromregulators die Anzahl Drahtwindungen aufgesucht wurden, welche, an die Stelle des untersuchten Drahts einer electriche Kette eingeschaltet, deren Stromstärke ungeändert ließen, also einen demjenigen des ausgeschalteten Leiters genau gleichen Widerstand äußerten. Zur Bestimmung der Stromstärke diente eine Weber'sche Tangentenbussole, deren Ring zwei Decimeter Durchmesser hat. Die nur 2,5 Centimeter lange Nadel oscillirt zwar um eine Stahlspitze, besitzt aber gleichwohl einen sehr hohen Grad der Beweglichkeit, weil sie an einem Coconfaden hängt, dessen oberes, an einem auf und nieder verschiebbaren Messingprisma befestigtes Ende mittelst einer Schraube so weit gehoben werden kann, bis das ganze Gewicht der Nadel von der Spitze abgenommen ist. Drei Stellschrauben, die gegen die drei Seiten des Prisma's pressen, gestatten, den Aufhängepunkt des Fadens senkrecht über die Stahlspitze zu richten. Um einen etwaigen nachtheiligen Einfluß der Torsion des Fadens auf seinen kleinsten Werth zurückführen zu können, ist Sorge getroffen, daß der Faden vor dem Einhängen der Nadel gedreht werden kann. Bei diesen Vorkehrungen war es möglich eine verhältnißmäfsig schwere und darum, ungeachtet ihrer Kürze, stark magnetische und kräftig schwingende Magnetonadel auszuwählen. Ein auf dieser Nadel befestigter Glasfaden diente, wie gewöhnlich, als Zeiger. Der Ablenkungsbogen war jedesmal 30°. Diese Ablenkung wurde aus dem Grunde vorgezogen, weil bei der entsprechenden Stromstärke die beiden einander entgegengesetzten Kräfte starke Drehungsmomente hatten, ohne daß gleichwohl die geprüften Drähte sich erwärmen konnten. Wenn die Nadel eingestellt war und mit der Loupe beobachtet wurde, ließen sich Aenderungen in der Stromstärke, dadurch bewirkt, daß man den Leitungswiderstand um $\frac{1}{100}$ Regulatorwindung vergrößerte oder verringerte, mit vollkommener Sicherheit erkennen. Um die Stromstärke

während der Dauer eines Versuchs möglichst unveränderlich erhalten zu können, wurden gute Kohlen-Zink-Elemente stets einige Stunden vorher mit frischer Salpetersäure und frischer Schwefelsäure zusammengesetzt. Ein Paar genügte zur Hervorbringung der nöthigen Stromstärke. Damit sich dasselbe nicht bedeutend erwärmen oder zu rasch erschöpfen konnte, wurden immer zwei Elemente als ein Paar verbunden. Erst wenn die Stromstärke, so weit möglich, unveränderlich erschien, wurden die Versuche ausgeführt. Bei aller Vorsicht war nicht zu verhindern, daß Aenderungen der Stromstärke, die einen Einfluß bis zu zwei und selbst bis zu drei Hundertel einer Regulatorwindung äußerten, zuweilen ganz plötzlich eintraten. Im letzten Falle wurde das erhaltene Resultat unbeachtet gelassen. Die aus solchen Aenderungen, die allmähig eintraten, entspringenden Fehler ließen sich durch den Wechsel der Versuche verbessern und oft ganz ausschließen.

Es standen mir zwei Stücke Aluminiumdraht zur Verfügung. Das eine, welches dem hiesigen chemischen Laboratorium gehört, ist aus Paris bezogen und nicht ganz rein. Es enthält Silicium in bedeutender Menge und wahrscheinlich auch Eisen. Dieser Draht, obwohl spröde, ist sehr gut und rein gezogen; sein äußeres Ansehen fast stahlgrau und wenig glänzend.

Das andere Drahtstück, aus einem Aluminium gebildet, welches Wöhler aus Kryolith reducirte, ist nach seiner Angabe zwar ebenfalls nicht frei von Silicium, enthält aber keine anderen fremden Bestandtheile. Es zeigte eine rein metallische, glänzende Oberfläche, war ziemlich biegsam und geschmeidig, jedoch an einigen Stellen etwas eingerissen. Diese kleine Unregelmäßigkeit konnte auf das Maß des Leitungswiderstandes keinen Einfluß äußern, weil die mittlere

Dicke der Drähte jedesmal aus dem Rauminhalte und der Länge der ganzen Drahtmasse abgeleitet wurde.

Jeder Draht wurde zu diesem Zwecke zuerst in der Luft, dann in luftfreiem Wasser abgewogen, nachdem durch Behandlung unter der Luftpumpe alle Luft von der unter Wasser getauchten Metalloberfläche entfernt worden war. Die Drahtmasse hing unter Wasser an einem sehr feinen Platindrahte, der selbst nur $\frac{2}{10}$ Milligramme Wasser verdrängte. Die Unsicherheit der Wägung, weil die Wage, so lange der Draht in das Wasser eingesenkt war, etwas träger oscillirte, erreichte nicht die Hälfte eines Milligramms.

Der aus *Paris stammende Aluminiumdraht* war 251,3 Centimeter lang und wog in der Luft 2,090 Grm. Sein Gewichtsverlust in Wasser von 6° C. betrug 0,784 Gramme.

Der Leitungswiderstand einer Drahtlänge von 250 Centimeter entsprach dem von 3,06 Regulatorwindungen (jede Windung gleich $\frac{3}{4}$ Meter eines Neusilberdrahts von 1,5^{mm} Dicke).

Nach diesen Daten wurde berechnet: das wahre Volum der Drahtmasse, 0,785 CC.; ihr spec. Gewicht, 2,6636; die mittlere Drahtdicke, 0,6308 Millimeter; der Leitungswiderstand von 1 Meter Drahtlänge: bei 1^{mm} Dicke 0,4858 Regulatorwindungen; bei 1 Gramm Gewicht 1,0185 Regulatorwindungen.

Der aus dem *reineren Aluminium* gezogene Draht war 76,2 Centimeter lang. Sein Gewicht in der Luft betrug 1,205 Grm., der Gewichtsverlust in Wasser 0,451 Grm. Beide Wägungen wurden bei 9° Lufttemperatur vorgenommen.

Der Leitungswiderstand von 74 Centimeter Drahtlänge war nach drei ganz übereinstimmenden Messungen gleich dem von 0,450 Regulatorwindungen.

Nach diesen Erfahrungen sind die folgenden Zahlen durch Rechnung gefunden worden:

0,4516 CC. für das wahre Volum der Drahtmasse.

1,2056 Grm. für ihr Gewicht, reducirt auf den luftleeren Raum.

2,6697 für ihr spec. Gewicht.

0,4598 für den Leitungswiderstand von 1 Meter Länge bei 1^{mm} Dicke.

0,9621 für den Leitungswiderstand von 1 Meter Drahtlänge bei 1 Grm. Gewicht.

Die für den Leitungswiderstand dieser Drähte gefundenen Zahlen erhalten ihre rechte Bedeutung natürlich erst durch die Vergleichung mit den Leitungswiderständen anderer Metalle. Ich wählte hierzu : Silber, Kupfer und Eisen.

Silber. Der Silberdraht, dessen ich mich bediente, ist aus chemisch reinem Metalle gezogen, welches ich zum Zwecke der Bestimmung seines Leitungswiderstandes schon vor 10 Jahren von Liebig erhalten hatte. Dieser Draht war damals mit der Vorsicht gebildet worden, daß man durch rechtzeitiges Ausglühen während wiederholter Behandlung vor dem Zieheisen die Sprödigkeit nie überhandnehmen liefs. Nachdem derselbe bis zu einem Durchmesser von ungefähr 0,8^{mm} gebracht worden war, wurde er zum letztenmal über Kohlenfeuer ausgeglüht, dann mehrere Stunden lang, um etwa anhängende Eisentheile abzulösen, in verdünnte Schwefelsäure getaucht, gewaschen, über der Spiritusflamme getrocknet, und schließlich, um ihn gerade zu strecken, noch einmal durch dieselbe Oeffnung gezogen, durch welche er zum letztenmale gegangen war. Er war durch diese letzte Operation merklich elastischer geworden, wiewohl immer noch sehr weich und biegsam. Von dem so beschaffenen Drahte war ein Stück von 1 Meter Länge abgeschnitten, der Rest von genau 14 Meter Länge gewogen und dann um eine mit Schraubendrehungen versehene Walze von Holz gewickelt worden. Als Aequivalent für den Leitungswiderstand von 13,96 Meter

dieses Drahtes hatte ich damals die Zahl von 5,67 Windungen meines Neusilber - Regulators gefunden. Einige Jahre später erhielt Langsdorf *) aus einer grossen Anzahl Versuche, deren Resultate sämmtlich unter der von mir gefundenen Zahl blieben, den Mittelwerth 5,626. Eine erneuerte Prüfung desselben Drahtes bei 15° C. Zimmertemperatur lieferte mir aus mehreren übereinstimmenden Versuchen jetzt die Zahl 5,59.

Die unmittelbaren Beobachtungsergebnisse, welche zu dieser letzten Bestimmung führten, mögen beispielsweise hier eine Stelle finden. Um die Nadel auf 30° zu stellen und in dieser Lage zu erhalten, wurden erfordert :

Regulatorwindungen bei		Unterschiede	Mittelzahl
Ausschluss	Einschluss		
10,235			
	4,645	5,593	} . . 5,59
10,240		5,597	
	4,640	5,590	
10,220		5,583	
	4,635	5,590	
10,230		5,593	
	4,640		

Die Abweichung des so bestimmten Mittelwerthes 5,59 von den Ergebnissen der beiden früheren Beobachtungen ist zu gross, um nur auf Beobachtungsfehlern beruhen zu können. Ueberdies habe ich ähnliche Differenzen auch bei erneuerter Prüfung eines aufbewahrten Kupferdrahtes wahrgenommen.

Viel wahrscheinlicher ist es daher, dass der Neusilberdraht des Stromregulators mit der durch den Gebrauch nach und nach zunehmenden Sprödigkeit zugleich seinen Leitungswiderstand etwas vermehrt hat, dass folglich die früheren und gegenwärtigen Angaben unter einander nicht unmittelbar

*) Diese Annalen LXXXV, 160.

vergleichbar sind. Ein ähnliches Anwachsen des Leitungswiderstandes mit der Elasticität und Sprödigkeit des Drahtes habe ich schon vor langer Zeit bei Kupferdrähten bemerkt, Langsdorf hat dasselbe für Silberdrähte nachgewiesen. Aus dem Allem folgt, daß eine Vergleichung der Leitungswiderstände verschiedener Stoffe, um auf Genauigkeit Anspruch machen zu können, gleichzeitige Beobachtungsgrundlagen erfordert.

Die Dicke des Silberdrahts ist nicht direct gemessen, sondern aus seinem spec. Gewichte abgeleitet worden. Zur Bestimmung des letzteren wurde das wie vorher erwähnt abgeschnittene 1 Meter lange Drahtstück in kleinere Stücke zerschnitten, um von einem Gläschen mit eingeschliffenem Stöpsel aufgenommen werden zu können. Dieses Silber wog in der Luft 4,9091 Grm. und verdrängte 0,4675 Grm. Wasser von 8° C.

Nennt man A das Gewicht eines Körpers in der Luft, V sein wahres Volum, δ das Gewicht von 1 CC. Luft bei der Beobachtungstemperatur, so ist sein spec. Gewicht, reducirt auf den leeren Raum, $s = \frac{A + V \cdot \delta}{V}$. . (I).

Es sei ferner ω das beobachtete Gewicht des ausgeflossenen Wassers. Dasselbe war gefunden worden, indem man von der Summe der Gewichte des mit Wasser gefüllten Gläschens und des in der Luft gewogenen Körpers abzog: das Gewicht desselben Gläschens, nachdem das Silber hinein gebracht worden, und also mit seinem ganzen Gewichte an die Stelle des mit seinem ganzen Gewichte ausgeflossenen Wassers getreten war. Das letztere ist folglich um $V \cdot \delta$ zu klein gefunden, oder das wahre Volum des verdrängten Wassers, und zugleich dasjenige der Körpermasse A beträgt

$$V = \omega + V \cdot \delta. \text{ Es ist daher } V = \frac{\omega}{1 - \delta} \dots \text{ (II).}$$

Wird dieser Werth an die Stelle von V in die Gleichung (I) gesetzt, so erhält man $s = \frac{A - (A - \omega) \delta}{\omega}$; Gleichung, in welcher A die erste Wägung, $A - \omega$ die zweite Wägung und ω ihren Unterschied bedeutet.

Das spec. Gewicht meines Silberdrahts, in dieser Weise berechnet, ist : $s = 10,4890$.

Die ganze Drahtlänge von 14 Meter wiegt 69,0596 Grm.

Es ist folglich ihr Gewicht im leeren Raum 69,0679 Grm., ihr Volum 6,5848 CC., die mittlere Drahtdicke 0,7741 Millimeter.

Der Leitungswiderstand von 1 Meter bei 1^{mm} Durchmesser 0,2399 Windungen.

Widerstand von 1 Meter bei 1 Grm. Gewicht 1,9755 Windungen.

Kupfer. Bereits im Jahre 1847 habe ich den Leitungswiderstand verschiedener Sorten Kupferdraht untersucht und mit dem des reinen Silbers verglichen, aber nur gelegentlich einige der Hauptresultate mitgetheilt *). Das reine Kupfer hatte ich mir selbst aus ziemlich reinem Kupfervitriol galvanisch dargestellt. Es war dann umgeschmolzen und ein Theil davon unter der gewöhnlichen Vorsicht in Draht verwandelt worden. Nach dem letzten Ausglühen über Kohlenfeuer liefs man diesen Draht nur noch ein einziges Mal durch das Ziehisen gehen, um das anhängende Oxyd abzustreifen. Er hatte dadurch nur wenig von seiner Weichheit und Geschmeidigkeit eingebüfst. Sein Leitungswiderstand verhielt sich zu dem des Silbers bei gleicher Länge und Dicke wie 104,3 zu 100. Nach einer chemischen Analyse, welche Liebig die Güte hatte in seinem Laboratorium ausführen zu

*) Jahresbericht f. 1847 u. 1848, 286.

lassen, enthielt dieser Draht außer Kupfer nur noch 0,03 pC. Eisen und dürfte demnach wohl als rein angesehen werden.

Da mir noch ein großer Theil dieser Kupfermasse übrig geblieben war, so ließ ich einen neuen Draht daraus ziehen, dessen Behandlung sich von der des früheren nur dadurch unterschied, daß man ihn nach dem letzten Glühen nicht mehr durch das Zieheisen gehen ließ, sondern denselben in verdünnter Schwefelsäure von 50 bis 60° C. so lange digerirte, bis sich alles Oxyd abgelöst und seine Oberfläche die rein rothe Farbe des Kupfers angenommen hatte. Er wurde schließlich mit reinem Wasser gewaschen und unter der Luftpumpe getrocknet.

Dieser Draht hatte 780,4 Centimeter Länge und wog bei 17°,5 C. 43,3336 Grm. Sein Gewichtsverlust in reinem, luftfreiem Wasser von 16°,1 C. betrug 4,8476 Grm. Der Leitungswiderstand von 753,6 Centimeter Drahtlänge entsprach nach vier ganz übereinstimmenden Versuchen dem von 2,33 Regulatorwindungen. Durch Rechnung wurde hieraus gefunden :

- 4,8578 CC. für das Volum der ganzen Drahtmasse;
- 43,3395 Grm. für ihr Gewicht, reducirt auf den leeren Raum;
- 8,9216 für ihr spec. Gewicht;
- 0,8905^{mm} für die Drahtdicke;
- 0,2452 Windungen für den Leitungswiderstand von 1 Meter Länge bei 1^{mm} Dicke des Drahts;
- 0,7170 Windungen für den Leitungswiderstand von 1 Meter Länge bei 1 Grm. Gewicht.

Das Leitungsvermögen des Kupfers ist sehr abhängig

von seiner Reinheit und wird durch die gewöhnlichen Beimengungen, welche man im Kupfer des Handels findet, stets und oft sehr bedeutend vergrößert. Ein Handelskupfer, unter ganz gleicher Behandlung wie das vorher erwähnte reine Metall in Draht verwandelt, gab einen Draht von gleichem äußerem Ansehen und anscheinend eben so großer Weichheit und Geschmeidigkeit. Er war gleichwohl unrein, wie sich schon aus seinem geringen, nur 8,729 betragenden spec. Gewichte ergab. Der Leitungswiderstand desselben für 1 Meter Drahtlänge betrug bei 1^{mm} Durchmesser 0,3071, bei 1 Grm. Gewicht 2,1044.

Draht von derselben Kupfermasse, der nach dem Ziehen nicht geglüht worden war und sich daher sehr elastisch und verhältnißmäßig hart zeigte, hatte einen merklich größeren Leitungswiderstand; derselbe entsprach für 1 Meter Länge bei 1^{mm} Durchmesser dem von 0,3131, bei 1 Grm. Gewicht dem von 2,1430 Regulatorwindungen.

Noch verschiedene andere Kupferdrähte, die ich theils schon vor längerer Zeit, theils jetzt untersuchte, hatten sämmtlich einen größeren Leitungswiderstand, als das reine Metall. Bei einem stieg derselbe sogar bis auf das 1 $\frac{1}{2}$ fache. Dieser Draht enthielt etwas Blei und Nickel, zusammen noch nicht $\frac{1}{4}$ pC. vom Gewichte der Drahtmasse.

Eisen. — Das untersuchte Drahtstück von unbekannter chemischer Beschaffenheit war ziemlich weich und wenig elastisch. Es wog bei 102,2 Centimeter Länge 2,805 Grm. In Wasser von 6° verlor es 0,362 Grm. Mittlerer Durchmesser 0,6722^{mm}. Der Leitungswiderstand von 1 Meter entsprach dem von 3,45 Regulatorwindungen.

Vergleichung der beobachteten Leitungswiderstände mit dem des Silbers im Maximum der Leitfähigkeit *).

Beschaffenheit des Drahts	Spec. Gewicht	Leitungswiderstand		
		von 1 M. Drahtlänge bei 1 Grm. Gewicht	bei 1 ^{mm} Dicke	bei gleicher Länge u. Dicke
Silber, Maximum der Leitfähigkeit	10,420	1,884	0,2303	100
Silber, chemisch rein, weich, doch elastisch .	10,489	1,976	0,2399	104,16
Kupfer, chemisch rein, sehr weich	8,922	1,717	0,2452	106,46
Kupfer, eisenhaltig, sehr weich	8,729	2,104	0,3071	133,34
Dasselbe, hart, elastisch		2,143	0,3131	135,94
Aluminium, aus Kryolith, fast rein, weich und biegsam	2,670	0,962	0,4598	199,63
Aluminium, des Handels, spröde	2,664	1,019	0,4858	210,92
Eisen, weicher, wenig elastischer Draht . .	7,740	9,471	1,5587	676,71

Bemerkenswerth ist die Vergleichung der Leitungswiderstände nach gleicher Länge bei gleichem Gewichte. Das Aluminium ist, in dieser Weise betrachtet, der beste Leiter, und das Silber erscheint erst als der Dritte in der Reihe, indem sein Leitungswiderstand mehr als das Doppelte von dem des Aluminiums beträgt. Der des Eisens erreicht fast das Zehnfache von dem des Aluminiums.

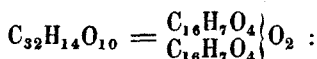
Gewöhnlicher ist die Vergleichung nach gleicher Länge und Dicke. In diesem Sinne glaubte Deville gefunden zu haben, daß das Aluminium achtmal leitender sei als das Eisen. Seine Angabe wird indessen durch die vorstehenden Beobachtungen nicht bestätigt. Dagegen führen die Zahlen 106,46 des reinen Kupfers und 210,92 des in Paris käuflichen Alu-

*) Nach Langsdorf, in diesen Annalen LXXXV, 155.

miniums fast genau zu dem von Poggendorff*) erhaltenen Resultate, wonach die Leitfähigkeit des Aluminiums 51,3 ist, wenn die des Kupfers zu 100 angenommen wird. Da auch der reinste von den beiden von mir untersuchten Drähten Silicium enthielt, welches unter den Leitern einer der schlechtesten ist, so wäre es immerhin möglich, dafs ein von Silicium ganz freies Aluminium bedeutend besser leitet.

Ueber wasserfreie Anissäure; nach *F. Pisani* **).

Wasserfreie Anissäure bildet sich bei der Erwärmung von getrocknetem anissaurem Natron mit Phosphoroxchlorid. Nach beendigter Einwirkung zieht man die Masse mit kaltem Wasser aus, filtrirt, preßt die auf dem Filter bleibende wasserfreie Säure zwischen Fließpapier und läßt sie aus Aether krystallisiren. Die wasserfreie Anissäure krystallisirt in kleinen seideartigen, concentrisch gruppirten Nadeln, ist unlöslich in Wasser, leichtlöslich in Alkohol und in Aether. Sie löst sich nicht in wässrigem Kali oder Ammoniak und wird bei Einwirkung dieser Alkalien erst beim Erhitzen zu gewöhnlicher Anissäure umgewandelt; dieselbe Umwandlung wird durch längeres Kochen der wasserfreien Säure mit Wasser bewirkt. Die wasserfreie Anissäure schmilzt gegen 99° und destillirt bei stärkerem Erhitzen; ihre Zusammensetzung ist



*) Pogg. Ann. XCVII, 643.

***) Compt. rend. XLIV, 837.