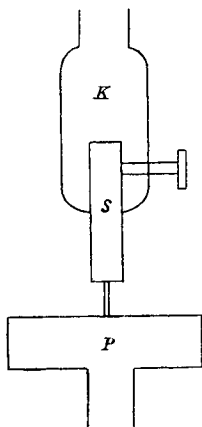


7. Über die Bildung leitender Brücken an der Stelle, wo ein Strom von geringer Spannung unterbrochen wird; von Th. Sundorph.

P ist eine feststehende Metallplatte, S eine Metallstange von einem zirka 1 mm großen Diameter. S ist durch eine Klemmschraube K befestigt, welche mit Hülfe einer Mikrometerschraube, eingeteilt in halbe Grade, gehoben und gesenkt werden kann.

S wird ungefähr $\frac{1}{3000}$ mm gehoben oder gesenkt, wenn die Mikrometerschraube $\frac{1}{2}$ Grad umgedreht wird. S und P sind mit den Polen von einem oder zwei Bunsenelementen in Verbindung gesetzt, und in die Leitung sind ein Widerstandskasten und ein Galvanometer eingeschoben, welches letztere oft mit einer Kompaßnadel ersetzt ist, um soweit als möglich die Selbstinduktion zu vermindern, welche nicht allein nicht eine Bedingung bei den Versuchen ist, sondern am liebsten vermieden werden muss. — Zuerst wird S so weit gesenkt, daß sie P berührt, wodurch der Strom in Gang kommt. Wenn dann S mit Hülfe der Mikrometerschraube vorsichtig gehoben wird, bleibt der Strom bestehen, und man wird zwischen S und P



eine Brücke sehen, deren Dicke zum öfteren zwischen 0,01 und 0,05 mm liegt. Diese Brücke wird besser durch stärkere als durch schwache Ströme und besser durch eine langsame als durch eine rasche Drehung der Mikrometerschraube gebildet. Die Stromstärke war in der Regel 2,5 Amp., und bei den Metallen, welche am leichtesten eine Brücke bildeten, konnte diese ca. $\frac{1}{10}$ mm lang werden. Für die

Stromstärke kann jedoch die Länge und Dicke nicht bestimmt angegeben werden, da diese von der Langsamkeit der Drehung und den etwaigen Pausen zwischen denselben abhängig ist. Bei den Versuchen wurde Platin, reines Silber, Eisen, Kupfer, Aluminium, Nickel, Zink, Blei, Zinn, Wismut, Antimon und Kadmium verwandt.

Die Berührungsstelle zwischen S und P wurde durch ein Mikroskop mit geringer Vergrößerung, aber mit einem ziemlich tiefen Gesichtsfelde beobachtet. Das Mikroskop war mit einem Drahtmikrometer versehen, sodaß die Länge und Dicke der Brücke gemessen werden konnte.

Die Bildung der Brücke. Wenn man die Umdrehung beginnt, so wird es eine Zeit dauern, bis sich Zwischenraum zwischen P und der unteren Fläche von S zeigt. Der Zwischenraum, welcher hätte gebildet werden sollen, ist von einem Stoff ausgefüllt, welcher vom Metall ausgeschieden ist. Es ist nicht die Stange S , welche sich durch die vom Strom erzeugte Wärme erweitert; denn ist die Stange z. B. von Aluminium, so kann sich schon Zwischenraum nach 8° Drehung zeigen, aber es kann auch passieren, daß Zwischenraum weit später gebildet wird, z. B. nach 55° Drehung (dieselbe Stromstärke in beiden Beispielen); der Zwischenraum, welcher zum mindesten 47° Drehung entspricht, muß also ausgefüllt sein. Dreht man sehr langsam, bedarf es vielmehr der Grade bei der Drehung, bis Zwischenraum sich zeigt, als wenn rasch gedreht wird, und die Schnelligkeit der Drehung kann unmöglich einen Einfluß auf die Verlängerung der Stange durch die Stromwärme haben. Und schließlich ist es nicht anzunehmen, daß die kurze Stange eine so hohe Temperatur erreichen könnte, welche notwendig wäre zu den Erweiterungen, von denen hier die Rede sein kann.

Hat man so lange gedreht, bis ein kleiner Zwischenraum hervorgebracht ist, sieht man in demselben eine dunkle Brücke, mitunter mehrere, von einem halbklaren Raum umgeben, welcher aus unzähligen, außerordentlich feinen Drähten zu bestehen scheint. Diese Teile in dem halbklaren Raum sind oft in steter Bewegung, welche sich namentlich dadurch kundgibt, daß derselbe an einzelnen Stellen dunkler oder heller wird. Hört man mit dem Drehen auf, wird der Raum in kurzer

Zeit ganz dunkel. Man sieht oft, daß es Metallstoff ist, welcher in den halbklaaren Raum hinunterschießt und denselben schließt.

Hebt man nun S wieder ein wenig in die Höhe, wird aufs neue ein halbklaarer Raum mit dunkler Brücke gebildet, welcher sich wieder schließt, sobald man mit dem Drehen aufhört etc. Es ist einige Male passiert (mit Zink und Silber), daß zwischen S und P keine sichtbare Verbindung gewesen ist, wenn dieselben etwas voneinander entfernt waren, obgleich der Strom zu strömen fortfuhr. Nach Verlauf einiger Sekunden erschien dann ein sehr feiner Draht, dessen Dicke rasch bis ungefähr 0,01 mm wuchs. In diesen Fällen muß der Strom vermutlich von S bis P durch so feine Drähte gegangen sein, daß man keine Verbindung im Mikroskop sehen konnte. Einige feine Drähte haben sich schnell darauf zu einem sichtbaren Draht vereinigt.

Die erwähnten Bewegungen nehmen in dem halbklaaren Raum bei Aluminium, Zinn, Blei, Zink und Platin oft eine eigentümliche Form an. Wenn man einen halbklaaren Raum mit einer deutlichen Brücke in der Mitte gebildet hat und mit dem Drehen aufhört, wird der Zwischenraum zwischen P und der unteren Fläche von S abwechselnd größer und kleiner werden; es sieht aus, als ob das untere Ende der Stange S auf- und niederginge. Es sind offenbar ähnliche Bewegungen der Metallteile, bloß in mehr ausgeprägtem Grade, als diejenige, welche vor sich gehen, wenn der halbklaare Raum sich schließt; denn auch hierbei passiert es häufig nach einigen Schwingungen, daß der Zwischenraum sich ganz schließt und geschlossen bleibt. Hebt man nun S so hoch, daß wiederum ein Zwischenraum entsteht, fangen in der Regel die starken Bewegungen wieder an. Daß diese scheinbare auf- und niedergehende Bewegung der Stange nicht in Verbindung mit Temperaturschwankungen oder Erschütterungen in der Umgebung steht, davon kann man sich leicht durch verschiedene Versuche überzeugen (Hervorrufung von Temperaturschwankungen und Erschütterungen, langwierige Beobachtung von kleinen Zwischenräumen, wenn kein Strom geht). Endlich muß noch erwähnt werden, daß bei Aluminium, Zink und Blei zuweilen plötzlich eine lange

Brücke gebildet wird. Die Aluminiumstange ist z. B. 50° gehoben, aber der Zwischenraum ist die ganze Zeit vollständig geschlossen gewesen. Plötzlich verschwindet der Stoff aus dem Zwischenraum, aber mitten in diesem steht nun eine lange, scharf begrenzte Brücke ohne halbklare Umgebungen. Dieses Phänomen ist ja nur eine Abänderung des oben erwähnten; es zeigt, mit wie großer Schnelligkeit die Bewegung der Partikel vor sich geht, indem es unmöglich ist zu erkennen, wohin der Stoff geht, ob derselbe sich zusammenzieht und die Brücke bildet, oder ob derselbe sich ins Metall zurückzieht, wodurch die Brücke, welche dann die ganze Zeit dort gewesen ist, sichtbar wird.

Bei stetigem Fortsetzen der Drehung verschwindet der halbklare Raum und nur die scharf begrenzte Brücke ist sichtbar; diese bricht zuletzt und der größte Teil der Brücke verschwindet oft. Die bei 2 Amp. erreichten größten Drehungen waren beim Eisen 150° , Zinn 150° , Blei 120° , Nickel 94° , Kupfer 92° , Aluminium 69° , Zink 65° , Wismut 65° , Kadmium 58° , Platin 50° , Silber $32\frac{1}{2}^\circ$, Antimon 30° .

Die Beschaffenheit der Brücke. Die Brücken müssen entweder aus geschmolzenem Metall, nicht geschmolzenem Metall oder Metalloxyd bestehen. Bei Platin, Nickel, Eisen, Kupfer, Silber und Aluminium müssen die Brücken glühend sein, wenn sie aus geschmolzenem Metall bestehen, aber bei den fünf letztgenannten kann man recht lange Brücken bilden, ohne daß sich im Dunklen die geringste Glühung oder Funkenbildung zeigt. Da die Oxyde der erwähnten Metalle in kaltem Zustande schlechte Leiter sind, kann man sich davon überzeugen, ob die Brücke aus reinem oder oxydierten Metall besteht, indem man untersucht, ob die Brücke nach geschehener Stromunterbrechung und genügender Abkühlung leitend oder nichtleitend ist. Um diese Verhältnisse näher zu beleuchten, werden hier einige Zahlenbeispiele bei den Versuchen angeführt.

Nickel. Nach 10° Umdrehung zeigte sich ein Zwischenraum zwischen *S* und *P*. Nach 30° Umdrehung war die Brücke nicht glühend gewesen, und es hatten sich keine Funken gezeigt. Der Strom wurde nur unterbrochen, wobei das eine Ende der Brücke sich von der Nickelplatte löste, während das andere Ende an der Nickelstange hängen blieb.

Nach Verlauf einiger Minuten mußte die Brücke bis zur Temperatur ihrer Umgebung abgekühlt sein. *S* wurde gesenkt, bis die Brücke die Nickelplatte berührte. Der Draht war gut leitend.

Nickel. Nach 14° Umdrehung zeigte sich ein Zwischenraum. Nach 35° Umdrehung begannen sich Funken zu zeigen, deren Häufigkeit zunahm, bis die Brücke nach 60° Umdrehung glühend wurde. Sie glühte nun fortwährend, bis sie nach 94° Umdrehung sich von der Nickelplatte löste. Nach geschehener Abkühlung, indem man sich ebenso benahm, wie oben erwähnt, zeigte es sich, daß der Rest schlecht leitend war, indem sie Stromstärke, welche von vorneherein 2 Amp. gewesen war, nun nur 9 Milliamp. war.

Die Brücke hat also zuerst aus nicht geschmolzenem, reinem Nickel bestanden, später, als die Brücke länger wurde, wurde dieselbe glühend und teilweise zu Nickeloxyd umgebildet.

In gleicher Weise ist der Vorgang beim Kupfer, wo die Brücke weich und zähe ist, wenn der Strom unterbrochen wird, ehe sich Funken zeigen. Die Brücke kann schwach glühend werden, wenn sie lang wird. Eisen verhält sich ungefähr wie Nickel. Die Brücke ist porös und leicht zerbrechlich sowie gut leitend, selbst wenn sie glühend gewesen ist; sie glüht in der Regel stark während des letzten Teiles der Drehung.

Beim Silber verschwindet die Brücke ganz, wenn der Strom unterbrochen wird. Die Brücke ist nicht glühend, und es werden selten Funken gesehen.

Aluminium verhält sich ungefähr wie Kupfer. Bei dem Platin ist es sehr schwierig eine Brücke zu bilden. Der Zwischenraum zwischen der Stange und Platte kann gänzlich geschlossen sein bis zu 50° Drehung. In der Regel werden während der ganzen Umdrehung Funken gesehen; sie nehmen an Häufigkeit zu, bis sich zuletzt an einer bestimmten Stelle ein stetiges starkes Licht zeigt. In einzelnen Fällen können die Funken ziemlich schwach sein, und es erscheint dann zuletzt eine Brücke in einem halbklaaren Raum, in welchem sich eine Menge feiner Drähte befinden. Wenn der Strom unterbrochen wird, sieht man keinen Rest an der Stange und Platte.

Bei den übrigen Metallen, deren Schmelzpunkt unter 500° liegt, kann man nicht mit Sicherheit bestimmen, ob die Brücken aus geschmolzenem oder ungeschmolzenem Metall bestehen. Sie wachsen oft stark an Umfang, und es könnte zuweilen aussehen, daß es geschmolzenes Metall ist, welches längsseits der Brücken herunterfließt und dieselben dicker macht. Wenn die Brücken zuletzt zuweilen schwach glühend werden, ist es ja keinem Zweifel unterworfen, daß sie geschmolzen sind. Oft kommen jedoch Erscheinungen zum Vorschein, welche auf das Entgegengesetzte deuten könnten.

Die Brücken können z. B. sehr unregelmäßig gebildet sein. Wird der Strom unterbrochen, kann der Rest der Bleibrücke, welcher fest an der unteren Fläche der Stange *S* hängt, nach geschehener Abkühlung sich über die untere Fläche der Stange ausbreiten, wenn man mit einem Bleistift an die Stange klopft, welche die Klemmschraube *K* trägt. Da kurz vorher geronnenes Blei ziemlich hart ist, könnte dieses nicht geschehen, wenn die Bleibrücke aus geschmolzenem Metall bestände.

Stange und Platte von verschiedenem Metall. Hiermit sind verschiedene Versuche unternommen, von welchen einige erwähnt werden sollen, welche mit Sicherheit zeigen, daß die Stromrichtung eine Rolle spielt. Wenn *S* Silber und *P* Kupfer war, oder umgekehrt, konnte keine Brücke gebildet werden, wenn der Strom von Silber auf Kupfer ging; die Drehungen, welche erreicht werden konnten, ehe der Strom aufhörte, lagen zwischen $2\frac{1}{2}^{\circ}$ und 19° . Ging der Strom dagegen von Kupfer zu Silber, konnte man mit Leichtigkeit eine lange Brücke bilden (121° Umdrehung, bis der Strom aufhörte), welche ähnlich aussah wie die langen Brücken, welche zwischen Kupfer-Kupfer gebildet werden. Diese Brücken wachsen nämlich stark in die Dicke und werden in der Regel nach und nach kegelförmig mit der Grundfläche gegen die Stange gewendet, wenn der Strom von der Stange zur Platte geht, gegen die Platte, wenn der Strom von der Platte zur Stange geht. Auf dieselbe Weise sind Eisenbrücken zu erkennen, wenn sie lang werden. Es zeigt sich oft, daß sich die für Kupfer und Eisen charakteristischen Brücken bilden, wenn der Strom von Kupfer oder Eisen zu einem anderen Metall geht.

Eine Reihe von Versuchen, bei welchen der Strom wechselweise von Blei zu Kupfer und umgekehrt ging, gaben als Resultat, daß die Brücke durchschnittlich fünfmal so lang werden kann, wenn der Strom von Blei zu Kupfer, als wenn er den entgegengesetzten Weg geht.

Platin-Platin bildet, wie schon früher erwähnt, sehr schwierig eine Brücke, sondern nur einen dunklen Raum. Leitet man dagegen den Strom von Zink zum Platin, kommt schon ein Zwischenraum nach 8° bis 10° Umdrehung, und bei fortgesetztem Umdrehen bildet sich eine sehr lange Brücke, von der man annehmen muß, daß sie vom Zink hervorgebracht wird. Geht der Strom vom Platin zum Zink, ist lange ein dunkler Zwischenraum vorhanden und darauf eine kurze Brücke ohne Reste, nachdem der Strom unterbrochen ist, und ohne Funken, das ist eine Mischung der Eigenschaften der Platin- und Zinkbrücke.

Endlich muß noch erwähnt werden, daß Aluminium und Zink fast gar keine Brücke miteinander bilden können, gleichviel in welcher Richtung der Strom geht, obgleich beide Metalle jedes für sich gute Brückenbildner sind. Aluminium-Kupfer und Zink-Kupfer bilden dagegen gute Brücken, unabhängig von der Stromrichtung.

Kopenhagen, Oktober 1902.

(Eingegangen 24. Oktober 1902.)
