

und mit Berücksichtigung von 2):

$$w = -(b+c)\alpha + b\beta + c\gamma \\ = b(\beta-\alpha) + c(\gamma-\alpha). \quad 3)$$

Nun ist die Potentialdifferenz zwischen den Leitern 1 und 2 gleich  $\beta-\alpha$  und die zwischen den Leitern 1 und 3 gleich  $\gamma-\alpha$ .  
Ferner:

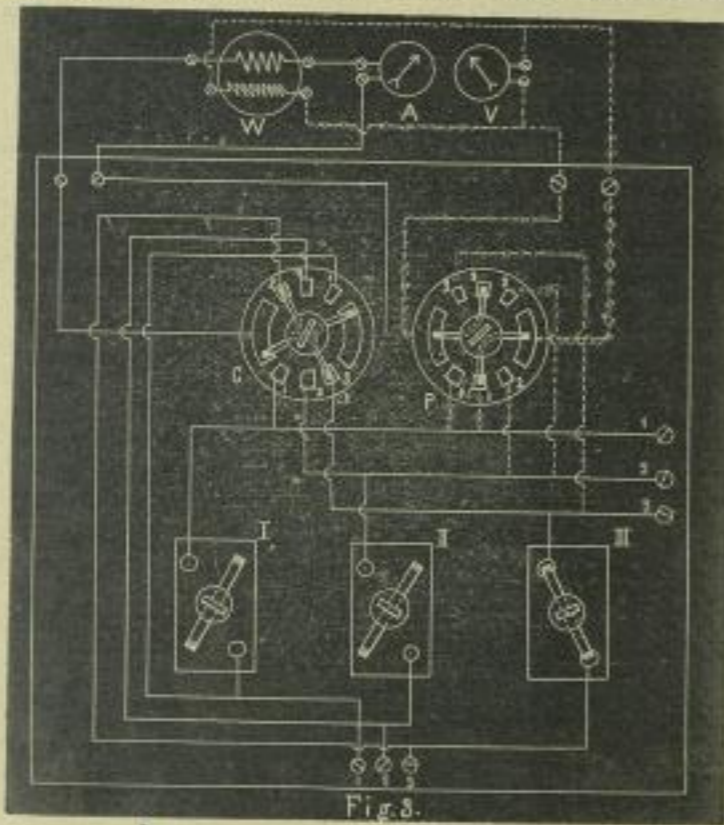
$$\beta-\alpha = p_{12} \text{ und } \gamma-\alpha = p_{13} \\ b = c_2 \text{ und } c = c_3.$$

und Hieraus erhält man mit Beachtung von 3):

$$w = p_{12} \cdot c_2 + p_{13} \cdot c_3. \quad 4)$$

Es sind nun die zwei Produkte zu messen, deren Summe gleich  $w$  ist.

Die Schalttafel, welche als Diagramm in Figur 3 dargestellt ist, gestattet die zwei Messungen mittels eines einzigen Wattmeters auszuführen und zwar in sehr kurzer Zeit. Die Tafel trägt drei Ausschalter I, II und III und zwei Selektoren P und C, der eine dient für Potential- und der andere für Strommessungen. Die Verbindungen auf der Tafel bleiben stets unverändert und sind angeordnet wie Figur 3 zeigt. Die Leiter für die Hauptstrommessungen sind voll ausgezogen, die Leiter für die Spannungsmessungen sind voll ausgezogen, die Leiter für die Spannungsmessungen sind punktiert. Auf dem Schaltbrett in Hannover sind die Meßinstrumente nicht fest eingesetzt, sondern es sind Klemmschrauben angebracht, mittels welcher Verbindungsdrähte an die Instrumente geschaltet werden können, wie Figur 3 zeigt. Das hannoversche Schaltbrett ist eben und an einer Mauer nahe bei der Dreiphasen-Dynamo befestigt. Wenn eine Messung vorgenommen werden soll, so werden die Klemmen 1, 2, 3 unten mit dem Generator und die Klemmen 1, 2, 3 rechts (in der Mitte) mit den Hauptleitungen verbunden, welche zur Verbrauchsstelle führen. Nunmehr schaltet man die Meßinstrumente ein. Dies geschieht, wie an dem Diagramm ersichtlich ist, indem man die Potentialspule des Wattmeters und das Voltmeter mit den Klemmen rechts



oben an der Figur verbindet, während die Stromspule und das Ampèremeter an die Klemmen links oben geschaltet werden. Die Verbindungsweise am Schaltbrett selbst ist so einfach, daß sie ohne weitere Erklärung an der Figur ersehen werden kann.

Um nun die Potentialspule und das Voltmeter mit zwei Leitern des Systems zu verbinden, drehen wir einfach den Potentialsелеktor P, bis er die Stellung wie in der Figur einnimmt, so daß seine Arme mit den zwei Drähten in Verbindung steht, auf die sich die Untersuchung beziehen soll. Da die Kontakte mit Ziffern versehen sind, die den Drähten entsprechen, so läßt das Verfahren an Einfachheit nichts zu wünschen übrig. Die Einführung der Stromspule und des Ampèremeters in den Kreis ist etwas verwickelter. Der Stromselektor C muß gedreht werden, bis seine Arme mit den Kontakten in Berührung kommen, welche die Zahlen des Kreises tragen, in den die Instrumente geschaltet werden sollen. Dann aber muß die Klemme geöffnet werden, welche diesem Kreise entspricht, weil sonst das Ampèremeter kurz geschlossen wurde; dagegen müssen die zwei andern Klemmen geschlossen werden.

Um nun eine Energiemessung vorzunehmen, entsprechend dem so erhaltenen Schema, so stellt man den Potentialsелеktor P mit seinen Armen auf die Kontakte 1 und 2 und den Stromselektor auf die Kontakte 3. Dann gibt die Ablesung am Wattmeter das Produkt  $p_{12} \cdot c_2$ . Hierauf verstellt man die Selektoren so, daß man das Produkt  $p_{13} \cdot c_3$  erhält. Die Summe dieser zwei Produkte zeigt alsdann die Zahl der Watt an, welche von der Dynamo geliefert werden, während das Volt- und das Ampèremeter zugleich die Spannung und die Stromstärke anzeigen, unter denen diese Energiemenge geliefert wird. Ist eine ganze Anzahl von Messungen vorzunehmen, so ist es nützlich zu beachten, daß der Leiter, welcher bei beiden Messungen der Spannung vorkommt, derjenige ist, dessen Strom wir nicht messen. Sind z. B. die zu messenden Potentialdifferenzen  $p_{12}$  und  $p_{13}$ , so kommen die Ströme  $c_2$  und  $c_3$  in Betracht, der Strom  $c_1$  aber wird nicht gemessen, denn der Leiter 1 kommt in beiden Potential-

messungen vor. Zu  $p_{12}$  und  $p_{13}$  müssen die in den Potentialwerten vorkommenden nicht gemeinschaftlichen Zahlen die zugehörigen Zahlen für die Stromfaktoren bilden, also:  $c_2 \cdot p_{12} + c_3 \cdot p_{13}$ .



## Ueber den elektrischen Kohlenlichtbogen.

Die zur Herstellung eines elektrischen Lichtbogens erforderliche Spannungsdifferenz der beiden Elektroden zerfällt in 2 Teile; einen größeren, der von der Länge des Lichtbogens unabhängig ist, und einen kleineren, der proportional mit dieser Länge wächst. Sie wechselt hauptsächlich mit der Natur der Elektroden, weniger mit der Natur und dem Druck des umgebenden Gases. Bei Kohlenstäben, die praktisch allein als Material für die Elektroden verwandt werden, beträgt die aufzuwendende Spannung 30–50 Volt; sie nimmt nach Casselmann erheblich ab, wenn man die Kohlen mit flüchtigen Substanzen tränkt. Wie der von der Lichtbogenlänge unabhängige Teil der Spannung zu erklären ist, darüber gehen die Ansichten weit auseinander. Nach der einen Annahme ist der Lichtbogen der Sitz einer thermoelektrischen Kraft, deren Richtung der des Hauptstromes entgegengesetzt ist. Nach einer anderen Ansicht ruft der Strom ähnlich wie beim Durchgange durch eine elektrolytische Zelle eine der Polarisation verwandte elektromotorische Gegenkraft hervor und nach einer dritten Erklärung, erfordert der Uebergang der Elektrizität von der Kohle zur Luft und die dabei erfolgende Zerstäubung der Elektroden-Arbeit, die in einem Verbrauch von elektrischer Spannung ihr Aequivalent findet.

Wild schloß seine Untersuchungen an die Thatsache an, daß die positive Kohle viel stärker und auf eine größere Strecke hin glüht und deshalb jedenfalls eine viel höhere Temperatur hat als die negative; er erklärte dies durch einen dem Hauptstrom entgegengesetzten, von der Kathode zur Anode fließenden Strom, der durch den Peltier-Effekt die Kontaktstelle zwischen Kathode und Luft abkühle, die zwischen Luft und Anode erwärme. Wenn er unmittelbar nach Unterbrechung des Hauptstromes einen Stromkreis aus den Kohlen und einem Galvanometer bildete, so erhielt er einen starken Ausschlag, den er auf diesen Gegenstrom zurückführte; seine Voraussetzung zwang ihn zu der Annahme, daß die thermoelektrische Kraft zwischen Kohle und Gas etwa 100 mal so groß sei, wie die zwischen Neusilber und Kupfer.

Edlund nahm an, daß der Lichtbogen der Sitz einer elektromotorischen Gegenkraft sei. Um sie nachzuweisen, brachte er ähnlich wie Wild, an den Kohlen eine Nebenschließung an, in welche er ein Galvanometer einschaltete, und schloß diesen Strom durch eine Wippe, durch deren Umlegen er kurz vorher den Hauptstrom unterbrochen hatte. Er erhielt am Galvanometer einen Ausschlag, der auf eine noch vorhandene Gegenkraft von 18–27 Volt schließen ließ. Erhitzte er mittels eines Bunsen'schen Gasbrenners die negative Kohle, so wurde der Ausschlag stärker, obwohl die Temperaturdifferenz der Kohlen geringer wurde; er schloß daraus, daß die Gegenkraft der Hauptsache nach nicht thermoelektrischen Ursprungs sein konnte.

Daß man es unter Umständen beim Lichtbogen wirklich mit Polarisationsvorgängen zu thun hat zeigen die jüngsten Versuche von Wilson und Fitzgerald. Sie untersuchten das Verhalten des Kohlenbogens in einer Wasserstoff-Atmosphäre, die Kohlenwasserstoffe beigemengt enthielt, und fanden eine Ablagerung von graphitischer Kohle an der positiven Kohlenspitze, an der negativen dagegen keine Spur davon. Es läßt sich daraus auf eine Elektrolyse der Kohlenwasserstoffe schließen.

Lecher hat den Edlund'schen Versuch wesentlich vereinfacht, konnte aber dessen Resultat nicht bestätigen. Er schaltete in den Stromkreis einer Nebenschluß-Dynamomaschine außer den Kohlen ein Galvanometer ein, das infolge einer einseitigen Hemmung keinen Ausschlag im Sinne des Hauptstromes gab. Schloß er die Dynamomaschine kurz, so erhielt die Schenkelwicklung nur einen minimalen Strom, die Feldmagnete verloren ihren Magnetismus, die Maschine wurde stromlos und der Bogen erlosch fast momentan. Wäre der Lichtbogen der Sitz einer elektromotorischen Gegenkraft, so hätte das Galvanometer abgelenkt werden müssen; dies geschah aber nicht.

Stenger prüfte die Empfindlichkeit dieser Methode dadurch, daß er 4 bis 5 Akkumulatoren in den Stromkreis einschloß, die durch den Hauptstrom geladen wurden; durch Kurzschluß der Maschine erhielt er dann am Galvanometer einen Ausschlag, da der erlöschende Lichtbogen die Elektrizität noch leitete. Arons mußte eine Batterie von 18 Volt einschalten, um einen Ausschlag am Galvanometer zu erhalten. Herzfeld wiederholte diesen Versuch in neuester Zeit<sup>1)</sup> und konnte mit dieser Spannung einen Rückstrom nicht nachweisen. Jedenfalls hängt nach Herzfeld der Zustand des Lichtbogens unmittelbar nach dem Erlöschen wesentlich von der Zerstäubbarkeit und der chemischen Zusammensetzung der Kohlen ab.

V. v. Lang und Arons haben auf indirektem Wege versucht, den wahren Widerstand und die Polarisation im Lichtbogen von einander zu trennen, und fanden nach verschiedenen Methoden für

1) Wiedem. Ann. 1897. B. 62. S. 437.