 ©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über die Art der Elektricitätsleitung im Lichtbogen

von

H. Luggin.

(Mit 1 Textfigur.)

Die experimentellen Behelfe zur Durchführung dieser Arbeit stammten zum bedeutendsten Theile aus dem physikalischen Institute, dessen Vorstand, Herr Hofrath Stefan, mir die Mehrzahl der erforderlichen Apparate und Vorrichtungen zur Verfügung stellte; ich bin aber auch noch nach anderen Seiten hin zu grösstem Danke verpflichtet. Die Versuche erheischten nämlich eine sehr bedeutende Stromquelle, welche mir im Sommer des vergangenen Jahres in einer Accumulatorenbatterie von 80 Volt Spannung (dieselbe diente im städtischen Rathhause zu Beleuchtungszwecken) geboten wurde; dort stellte mir auch Herr Ingenieur Klose seinen Messraum und mehrere Instrumente freundlichst zur Verfügung. Vom Anfange dieses Jahres an konnte ich durch mehrere Monate im technologischen Museum, in den Messräumen des Herrn Prof. Schlenk, mit Maschinenströmen arbeiten und genoss dabei in so mancher Beziehung überaus liebenswürdige Unterstützung von Seiten des genannten Herrn. Als der elektrische Beleuchtungsbetrieb des technologischen Museums wegen vorgerückter Jahreszeit eingestellt wurde, gestatteten mir Herr Regierungsrath v. Waltenhofen im elektrotechnischen Institute des Polytechnikums und Herr Prof. v. Lang, im physikalischen Cabinete, die Vornahme einiger letzter Versuche.

1. Schon der erste Anblick des Lichtbogens erinnert an einige von jenen elektrokinetischen Vorgängen, welche man mit dem Ausdruck der Gasentladungen zusammenfasst. Bei näherer Be-

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

trachtung scheint noch eine ganze Reihe das Lichtbogenphänomen begleitender Umstände für innige Verwandtschaft mit der genannten Erscheinungsclasse zu sprechen: so z. B. die Zerstäubung und Convection des Elektrodenmaterials, die Verschiedenheit der Arbeitsleistung beim Aus- und Eintritt des Stromes, das an elektrische Ventilwirkung gemahnende Verhalten beim Übergang von Wechselströmen zwischen ungleichen Elektroden und dazu noch die geringe Abhängigkeit der Spannung von der Stromstärke, welche sich im Entladungsgesetze kundgibt.

Wenn man diese Ähnlichkeiten insgesammt ins Auge fasst, so dürfte das Bestreben nach Erweiterung der Analogien nicht aussichtslos erscheinen und auch das Bemühen, die Gesetze des Lichtbogens durch ähnliche Beziehungen bei Gasentladungen zu erläutern, dürfte seine Rechtfertigung finden. (Siehe besonders die von Stenger gezogene Parallele zwischen Lichtbogen und Glimmentladung.[1])

Auf solche Erwägungen gestützt, erblickt Wiedemann[2] im Lichtbogen lediglich eine äusserst rasche Aufeinanderfolge getrennter Entladungen und versucht auf Grund dieser Annahme das Edlund'sche Spannungsgesetz zu erklären. Um diese Anschauung zu erhärten, unternahm Lecher eine Reihe von Versuchen, welche für Platin und Eisenlichtbogen heftige Potentialschwankungen erwiesen.[3]

Bei der vorliegenden Untersuchung hatte ich vor Allem das Bestreben, die Dichtigkeit in den Lichtbogen einfliessender Ströme zu variiren und gleichzeitig die Veränderung der Spannungsverhältnisse an den betreffenden Eintrittsstellen der Ströme wahrzunehmen, um aus einer derartigen Erweiterung des Entladungsgesetzes zu neuen Vergleichspunkten mit irgend welchen Gasentladungen zu gelangen. Es musste mir im Verlaufe der Untersuchung auffallen, dass an der Anode ausserhalb des eigentlichen Kraters, aus welchem die Elektricität in grosser Dichtigkeit und unter mächtiger Licht- und Wärmeentwicklung strömt, noch eine weitere leitende Zone existirt, welche den Übergang beträchtlicher Elektricitätsmengen allerdings in wesentlich gerin-

[1] Wied. Ann. Bd. 25, 1885.

[2] Elektricität und Magnetismus, IV, S. 855.

[3] Diese Ber. Bd. 95, 1887.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gerer Dichte vermittelt. Diese Thatsache führte mich zum Schlusse, dass der Lichtbogen Schauplatz zweier verschiedener Entladungsvorgänge ist, welche von ganz verschiedenen Gesetzen beherrscht werden; über die Art dieser Gesetze vermag ich leider nur einige wenige qualitative Angaben zu machen.

2. Bei den nun folgenden Versuchen sowie bei allen übrigen, wo nicht ausdrücklich Anderes angegeben wird, diente ein d'Arsonval'scher Multiplicator mit objectiver Ablesung als einziges Messinstrument. Der Apparat wurde durch Wippen abwechselnd in verschiedene Widerstandscombinationen eingefügt und mass nun, derart auf passende Empfindlichkeit gebracht, entweder in directer Weise alle Potentialdifferenzen, welche zu ermitteln waren oder indirect die Stromstärken, indem er die Spannung an den Enden eines stromdurchflossenen 0·001 Ohmseils angab. Zu Zwecken der Spannungsmessung war der Multiplicator in eine Widerstandscombination von mehr als 100.000 Ohm eingefügt, so dass allfällige Übergangswiderstände verschwinden mussten. Bei der Raschheit, mit welcher die aperiodischen Anschläge des Multiplicators erfolgen, war es möglich, alle Ablesungen in kurzer Aufeinanderfolge zu erledigen.

3. Die Beschaffenheit des Potentialabfalls längs des Lichtbogens wurde bereits mehrfach in der Weise untersucht, dass das Potential eines in den Lichtbogen tauchenden Probirstiftes ermittelt und dann auf das Potential des Bogengases um den Stift geschlossen wurde. Dabei bediente sich Lecher[1] eines Elektrometers; ich[2] wandte eine Brückenmethode und Uppenborn[3] das Spannungsgalvanometer an. Die derart gewonnenen Resultate liessen mir eine eingehendere Untersuchung der Fehlerquellen bei der Messung und insbesondere der Unterschiede in der Potentialvertheilung, die innerhalb eines und desselben Lichtbogenquerschnittes gefunden werden, wünschenswerth erscheinen. Es waren schon im Vorhinein recht complicirte Verhältnisse zu erwarten. Eine derartige Untersuchung lässt wenigstens die Vergleichbarkeit verschiedener Resultate beurtheilen, dem abso-

---

[1] Diese Ber. Bd. 95, 1887.

[2] Diese Ber. Bd. 96. 1887.

[3] Centralblatt für Elektrotechnik, Bd. 10, 1888.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

luten Werthe nach bleiben dieselben immer unsicher, da man den Betrag der Spannungsdifferenz zwischen dem Probirstift und dem umgebenden Bogengase nicht ermitteln kann. Übrigens dürfte dieser Unterschied in den Potentialen nicht sehr gross sein, da der Abstand eines dünnen Stiftes von der Lichtbogenachse für die Grösse seines Potentials ziemlich belanglos ist und an der Oberfläche eines Stiftes, der nur in die Aureole reicht, denn doch keine gar sehr hohen thermoelektrischen oder contactelektromotorischen Kräfte wahrscheinlich sind.

Wenn ein Stift in den Lichtbogen Ströme seitlich überführt, oder wenn er aus ihm Ströme empfängt, so vermitteln vor Allem jene Stellen seiner Oberfläche, welche am weitesten in den Lichtbogen hineinragen, den Übergang der Elektricitäten (siehe unter 18); das Potential eines Stiftes wird also in bedeutendem Masse durch das Potential der Bogengase, welche jene tief eingesenkten Stellen des Stiftes umgeben, bestimmt.

Nun kann man am normalen (das heisst nicht zischenden) Lichtbogen drei Theile: das hellleuchtende Lichtbogeninnere oder den Lichtbogenkern, den dunkleren umgebenden Flammenmantel und die meist grün gefärbte Aureole unterscheiden; darnach lässt sich die Stellung des Probirstiftes wenigstens einigermassen charakterisiren, je nachdem er nämlich in den ersten, zweiten oder dritten dieser Theile ragt.

Will man den Einfluss der Stellung eines Stiftes auf sein Potential studiren, so empfiehlt es sich, zwei gleich starke Stifte gleichzeitig in unterschiedlichen Lagen in den Lichtbogen zu tauchen und ihre Potentiale zu vergleichen. Ich wählte zunächst zwei Stifte von etwa 1·2 *mm* Stärke, welche durch ein zwischengelegtes Brettchen in etwa 4 *mm* Abstand einander parallel erhalten wurden, und brachte sie in horizontale Lage und in ein und derselben Höhe in einen vertical gestellten Lichtbogen, so dass nur der Unterschied ihrer Abstände von der Bogenachse in ihrer Potentialdifferenz zum Ausdrucke kam. Die Stifte spitzten sich im Lichtbogen sehr fein zu, sie bestanden wie immer bei diesen Untersuchungen, aus harter Carré'scher Kohle. Die Lichtbogenelektroden wurden stets durch Siemens'sche Kohlen und zwar diesmal aus Homogenkohle (*N* 12 *mm* als Anode oben und *N* 12 *mm* als Kathode unten) gebildet.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zwischen ihnen brannte der Lichtbogen bei 16 Ampère mit einer Länge von 8 *mm*.

Die Stifte wurden zunächst in den tiefsten Querschnitt des Lichtbogens gestellt und zwar so, dass der eine möglichst nahe am Lichtbogenkern vorbeiging, dann war sein Potential meist um 3 Volt niedriger als das des anderen Stiftes, der nur in die äusseren Partien des Flammenmantels reichte; ein derartiges Resultat konnte schon im Vorhinein erwartet werden, da sich der Lichtbogen vom hellen Gluthfleck an der Kathode aus zunächst kegelförmig verbreitert und die Niveauflächen des Potentials in Folge dessen schalig um diese Stelle gelagert sind.

Für höher gelegene Querschnitte des Lichtbogens ergaben diese Versuche ein umgekehrtes Verhältniss. Wenn die Stifte sich in halber Höhe des Lichtbogens befanden und der eine bis in das Lichtbogeninnere zu ragen schien, während der andere nur bis in die äusseren Theile des Flammenmantels drang, so war das Potential des ersteren, tiefer eingesenkten durchschnittlich um zwei Volt höher als das des zweiten. In ganz derselben Weise wird für Stifte, welche dicht unterhalb der Anode stehen, die Potentialdifferenz Anode—Stift, dann kleiner gefunden, wenn der Stift mit seiner Spitze erst unterhalb der centralen Partien der Anode endet, als dann, wenn er nicht so tief eindringt. Ich bemerke hier, dass an der Endfläche der Anode zwei Regionen, nach welchen sich die Stellung der Stiftspitze wenigstens einigermassen charakterisiren lässt, zu unterscheiden sind: eine Kernzone von höchster Glut, in welcher die Kraterbildung vor sich geht, und eine Ringzone, deren Temperatur und Leuchtkraft geringer ist und welche ich die Gluthzone nennen will.

Das Potential eines dünnen Stiftes, der — nicht allzunahe der Kathode — mit seiner Spitze bis in den Lichtbogenkern eingesenkt wird, ist also höher als das eines anderen gleich dünnen Stiftes, der im selben Querschnitt des Lichtbogens steht, aber mit seiner Spitze bereits im Flammenmantel endigt. Diese Verschiedenheit des Verhaltens könnte entweder in einem Potentialabfall vom Lichtbogenkern gegen den Lichtbogenmantel hin begründet sein oder es könnten auch entsprechende contactelektromotorische und thermoelektrische Kräfte vom heisseren, (tiefer eintauchenden Stift) durch das Galvanometer hindurch

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gegen den kühleren (weiter ausserhalb befindlichen) wirken; im letzteren Falle müsste man auch im Lichtbogen selbst wegen des ungeheuren Temperaturunterschiedes zwischen Anode und Kathode eine entsprechende thermoelektrische Gegenkraft annehmen. (Siehe unten 15.)

Übrigens wird sich der tiefer eintauchende Stift auch in höherem Masse an der Überleitung des Stromes betheiligen und dabei an der oberen der Anode zugekehrten Seite gewissermassen als Kathode und an der unteren Seite als Anode fungiren, auch davon könnte man eine Erhöhung des Stiftpotentiales erwarten, es ist aber auffallend, dass dickere Stifte, bei denen dies noch mehr hervortreten müsste, nicht nur kein höheres, sondern sogar bedeutend niedrigeres Potential aufweisen. Stifte von ursprünglich 4 *mm* Stärke, deren Dicke aber durch Verbrennung bedeutend abgenommen hatte, die bis in den Lichtbogenkern zu tauchen schienen, zeigten ein um 7·3 Volt niedrigeres Potential als ganz dünne Stifte, die nur bis in den Flammenmantel drangen. Dieser Einfluss der Stiftdimensionen macht sich viel weniger geltend, wenn die Stifte nur in den Flammenmantel des Lichtbogens, woselbst die Stromdichtigkeit viel geringer ist, eindringen. (Ich will hier gleich im Vorhinein bemerken, dass wenn im Folgenden dickere Stifte bei Potentialmessungen in Verwendung kommen, diese Stifte niemals bis in den Lichtbogenkern hineinreichten oder daran dicht anzuliegen schienen.)

Dickere Stifte pflegten übrigens auch auf das Brennen des Lichtbogens eine störende Wirkung zu üben, man braucht nur durch die Aureole hindurch tiefer in den Flammenmantel hineinzufahren, um zu bemerken, dass der Lichtbogenkern dem Stifte auszuweichen strebt. Besonders dann, wenn ein verhältnissmässig geringer Querschnitt der Anode dies Streben behindert, macht sich ein Steigen der Spannung bemerkbar; man kann den Lichtbogen durch Einschieben des Stiftes zum Singen und schliesslich zum Zischen bringen. Selbst dann, wenn die Spitze eines Stiftes in den Lichtbogenkern eindringt, unterbindet sie noch in einem gewissen Grade den Hauptstrom und falls der Stift nur um ein paar Millimeter von der Anode absteht, hebt sich ein ziemlich scharf umrissenes Schattenbild seiner Spitze vom unvergleichlich hellen Krater ab und zeigt, dass die Stromfäden fast durchgeschnitten sind.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Bei den vorher beschriebenen Versuchen diente, wie bereits angegeben, Homogenkohle als Anode, das Verhalten wird anders, wenn man anstatt derselben Dochtkohle wählt. Probestifte von 4 *mm* Stärke, welche verschieden tief in ein und denselben Querschnitt des Lichtbogens eindrangen, wiesen dann stets nur ganz geringfügige Potentialdifferenzen auf. Ein so wesentlich verschiedenes Verhalten, an einen scheinbar geringfügigen Materialunterschied geknüpft, lässt grosse Ungewissheit und Unsicherheit empfinden, wenn es sich darum handelt, ob mit einem Wechsel des Elektrodenmateriales die absoluten Werthe des Lichtbogenpotentials oder nur die Wechselwirkung von Stift und Lichtbogengas geändert wurde.[1] Ich muss übrigens bemerken, dass Verschiedenheit des Materials auch Verschiedenheit im Aussehen des Lichtbogens bedingt. (Siehe unter 10.)

4. Ich gehe nun zur Untersuchung eines vertical gestellten, normalen, das heisst nicht zischenden Lichtbogens über und zwar ist zunächst die Potentialvertheilung längs eines Bogens, der zwischen Siemens'scher Homogenkohlen (Sorte *N* 12 *mm*) mit 15·5 Ampère brannte, zu beschreiben; die Anode des Bogens befand sich (wie immer, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt wird) über der Kathode.

Zunächst wurden die Potentialsprünge, welche an den Oberflächen der Elektroden statt haben, gemessen. Den einen von ihnen, welcher das Potential von Anode und Lichtbogen trennt, will ich künftig der Kürze halber und, um keinerlei Annahme über eine Ursache zu machen, als das Anodenhinderniss H_+ bezeichnen, während der Potentialabfall an der Kathode das Kathodenhinderniss H_- benannt werden soll.

---

[1] Ich will an dieser Stelle eine ungerechtfertigte Verallgemeinerung berichtigen, die sich in meiner früheren Arbeit (siehe Citat) vorfindet. Ich bemerke nämlich dortselbst, dass ganz kurze Lichtbögen mit nur 25 Volt, also unter wesentlich herabgesetzter Spannung brennen. Ich habe ein solches Verhalten neuerdings und sogar bei grossen Stromstärken (16 Ampère) aber nur für Dochtkohle constatiren können; bei Homogenkohle sank die Spannung nicht unter 40 Volt und vor der Berührung der Elektroden trat Zischen ein. Das Verhalten der Dochtkohle mag mit dem erhöhten Salzgehalt der Bogengase, welche bei geringem Elektrodenabstand von Luftströmungen langsamer fortgeführt werden, zusammenhängen.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zur Messung von H_+ bediente ich mich eines horizontal gestellten Probirstiftes von ursprünglich 1·3 *mm* Stärke, der sich dicht unterhalb der Anode befand und dessen Spitze, durch den Flammenmantel des Lichtbogens hindurchragend, erst unterhalb des eigentlichen Kraters endete. Bei solcher Anordnung erhielt ich aus 5 Messungen $H_+ = 33 \cdot 7 \pm 0 \cdot 46$ Volt.

Die Bogenlänge, welche bei diesen Versuchen sehr stark variirte, schien keinen Einfluss auf die Werthe von H_+ zu haben

Bei der nun folgenden Messung des Kathodenhindernisses H_- tauchte der wieder horizontal gestellte Stift möglichst tief in den Lichtbogen und stand mit seiner Spitze dem hellen Gluthfleck an der Kathode möglichst nahe. Sechs Messungen ergaben $H_0 = 8 \cdot 78 \pm 0 \cdot 17$ Volt. Uppenborn[1] erhielt ebenfalls durch Messungen mittelst eines Probirstiftes für Dochtkohle-Lichtbögen $H_+ = 32 \cdot 5$ Volt und $H_- = 5 \cdot 5$ Volt.

Nach meinen Messungen würden Anoden- und Kathodenhinderniss zusammen 42·5 Volt für den von der Bogenlänge unabhängigen Theil der Spannung ergeben, ihre Differenz, welche ich die Einseitigkeit E der Potentialvertheilung nennen will, beträgt $E = 24 \cdot 9$ Volt. Unter Voraussetzung eines ganz gleichmässigen Potentialgefälles im Lichtbogen selbst, könnte diese Einseitigkeit auch noch in anderer Weise ermittelt werden. Stellt man nämlich den Stift in den mittleren Querschnitt des Lichtbogens und misst einerseits die Potentialdifferenz v zwischen der Anode des Lichtbogens und dem Stift und anderseits die Spannungsdifferenz S zwischen den beiden Elektroden, so ist unter obiger Voraussetzung $E = v - (S - v) = -S + 2v$. Wenn das Potential des Stiftes um einen Betrag dv von dem der umgebenden Bogengase abweicht, so wird der Werth von E um $2\,dv$ fehlerhaft.

Bei Anwendung dieser Methode wurden immer erst v dann S und schliesslich wieder v bestimmt. Die Probestifte hatten ursprünglich 4 *mm* Stärke, spitzten sich aber im Lichtbogen so sehr zu, dass sie daselbst nirgends 2 *mm* stark sein mochten. Die Spitze des Stiftes kam nur in die äusseren Theile des Flammenmantels des Lichtbogens zu liegen; ange-

[1] Centralblatt f. Elektrotechn. Bd. 10, 1888.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

sichts der nicht unbeträchtlichen Querschnittsdimension wäre das mittlere Potential des Stiftes bei tieferem Eindringen in den Lichtbogen zu niedrig und v daher erheblich zu gross ausgefallen. Aber auch so ist noch eine gewisse Unsicherheit vorhanden, wegen deren auf die Übereinstimmung der nachfolgend mitgetheilten Werthe von E mit dem früher ermittelten Werthe ($E = 24{\cdot}9$ Volt) kein zu grosses Gewicht gelegt werden darf. Als ich erkannte, dass bei Homogenkohle eigentlich immer mit ganz dünnen Probestiften gemessen werden sollte, war eine Wiederholung der Versuche nicht mehr möglich. Ich erhielt bei 16·8 Ampère mittlerer Stromstärke für

$S = 49{\cdot}9$ Volt	$E = 24{\cdot}5$ Volt
$S = 53{\cdot}8$ „	$E = 25{\cdot}8$
$S = 65{\cdot}2$ „	$E = 25{\cdot}6$ „

Die annähernde Übereinstimmung in den Werthen für E deutet darauf hin, dass die Potentialdifferenz zwischen der Anode und dem mittleren Querschnitt des Lichtbogens und die Potentialdifferenz zwischen der Kathode und eben diesem Querschnitt beide bei wachsender Bogenlänge ungefähr gleich stark zunehmen.

Ein solches symmetrisches Anwachsen des Potentials bei wachsender Bogenlänge wird nur für homogene Elektroden gefunden, als ich Dochtkohle (*Do* 12 *mm*) als Anode über einen Stab (*N* 12 *mm*) als Kathode stellte und das mittlere Potential des Lichtbogens mittelst eines Probirstiftes bestimmte, so ergab sich bei 17 Ampère Stromstärke für

$S = 44{\cdot}9$ Volt	$E = 28{\cdot}3 \pm 0{\cdot}24$
$S = 51{\cdot}4$	$E = 29{\cdot}6 \pm 0{\cdot}61$
$S = 55{\cdot}2$	$E = 30{\cdot}3 \pm 0{\cdot}29$
$S = 58{\cdot}7$	$E = 31{\cdot}4 \pm 0{\cdot}40$
$S = 64{\cdot}8$ „	$E = 34{\cdot}4 \pm 0{\cdot}54.$

Bei diesen Versuchen wurde die Einstellung des Stiftes in die Lichtbogenmitte ohne alle Messung besorgt, während bei den unmittelbar vorher mitgetheilen ein Bild von Stift und Lichtbogen gleichzeitig auf die transparente Scala eines Flammenmasses geworfen und hernach der Stift so lange verschoben wurde, bis sein Bild von jeder der beiden Elektroden um gleichviel Scalentheile entfernt zu sein schien. Ich habe mich überzeugt, dass die

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Einstellung des Stiftes ohne Flammenmass nicht schlechter gelingt als mit einem solchen.

Die vorstehenden Versuche lassen sich so deuten, dass bei Dochtkohle der Potentialabfall in der oberen Hälfte des Lichtbogens grösser ist als in der unteren, damit würde noch ein anderes Experiment übereinstimmen. Es wurden zwei Stifte (2 *mm* stark) einander parallel zu beiden Seiten eines horizontalen, 3 *mm* starken Brettchens befestigt und so in einem constanten Verticalabstande erhalten. Dieses Stiftepaar tauchte in einen verticalen Lichtbogen, der bei 20 Ampère Stromstärke zwischen (*Do* 18 *mm*) als Anode und (*N* 12 *mm*) als Kathode mit 1·4 *cm* durchschnittlicher Bogenlänge brannte. Je nachdem nun das Stiftepaar, welches in das Lichtbogeninnere selbst einzudringen schien, im oberen oder unteren Theile des Lichtbogens, das heisst je nachdem es der Anode oder der Kathode näher stand, wiesen die Stifte 12·4 oder 8·05 Volt Potentialdifferenz auf. Die sehr langen Bögen brannten ruhig mit einem scharf umränderten Krater, sie waren aber dem Aussehen nach schon darin verändert, dass die Aureole meist im oberen Theile in eine natriumgelbe Flamme ausartete, welche seitlich an der Anode emporschlug. (Siehe unter 10.)

Es erscheint befremdlich, dass der Werth der Einseitigkeit gerade bei Dochtkohle grösser gefunden wird, als bei Homogenkohle, woselbst ähnlich grosse Werthe nur dann zu erlangen sind, wenn ein verhältnissmässig dicker Stift dicht an den Lichtbogen herangerückt ist, so dass sein Potential angesichts seiner bedeutenden Querschnittsdimension herabgedrückt wird. Für diese Verschiedenheit der *E*, welche durch einen scheinbar geringfügigen Materialunterschied herbeigeführt wird, gebe ich noch ein weiteres Beispiel. Ich erhielt bei 55 Volt mittlerer Spannung und 16·2 Ampère Stromstärke, während immer ein und dieselbe Kathode (*N* 12 *mm*) in Verwendung stand unter Anwendung eines Probirstiftes, von ursprünglich 4 *mm* Stärke für

(*Do* 18*mm*) als Anode $E = 32 \cdot 1 \pm 0 \cdot 20$ Volt
(*N* 20*mm*) „ $E = 22 \cdot 5 \pm 0 \cdot 25$
(*N* 20 *mm* auf 12 *mm* abgedreht) $E = 24 \cdot 7 \pm 0 \cdot 35$ „

Für diesen Unterschied kann nicht etwa eine Verschiedenheit in den Werthen des Anodenhindernisses als Erklärungsgrund ange-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

führt werden, denn während im Früheren für homogene Elektroden $H_1 = 33{\cdot}7 \pm 0{\cdot}46$ Volt gefunden wurde, erhielt ich für (*Do* 12 *mm*) als Anode und (*N* 12 *mm*) als Kathode bei 49 Volt Spannung und 14·5 Ampère Stromstärke $H_1 = 34{\cdot}4 \pm 0{\cdot}25$ Volt, wenn die Spitze des dicht unter der Anode stehenden Stiftes (4 *mm* Stärke) bis unter einen Punkt des hellleuchtenden Kraterbodens reichte. Wenn die Spitze bereits unterhalb eines Punktes der ringförmigen Gluthzone um den Krater endete, erhielt ich $36{\cdot}9 \pm 0{\cdot}16$ Volt; als die Spitze des horizontal gestellten Stiftes bis an einen Punkt der Seitenfläche der Anode, welcher sich noch innerhalb der Aureole befand, reichte, wurde $H_+ = 35{\cdot}9 \pm 0{\cdot}39$ Volt gefunden. Das Hinderniss wird also auch für Dochtkohle in den centralen Partien der Anode kleiner gefunden als in der Ringzone.

5. Das Vorhergehende bestätigt die Regel, dass das Anodenhinderniss, das heisst die Potentialdifferenz wischen der Anode und dem angrenzenden Bogengas für lange und kurze Bögen in erster Annäherung constant ist; auch schwankt bekanntlich diese Potentialdifferenz (siehe unter 20), wenn der Strom einmal einen gewissen Betrag erreicht hat, bei einer weiteren Erhöhung seiner Intensität nur wenig, so lange die Stromesdichtigkeit nicht Beträge erreicht, bei denen Zischen eintreten muss. Diese Regeln gelten nicht nur für axiale Ströme, sondern auch dann, wenn der Strom unter sehr bedeutenden Schwankungen aus seitlich in den Lichtbogen ragenden Stiften in das Bogengas überfliesst, bleibt der Potentialsprung Kohle-Lichtbogen auf derselben Grössenordnung,[1] Ein horizontal gestellter Stift *a* (Carrékohle 4 *mm*) stand, mit der Spitze bereits ein wenig in das Lichtbogeninnere ragend, in halber Höhe des vertical gestellten Bogens, der während der Versuche mit nahezu constanter Intensität von 16 Ampère zwischen Homogenkohlen (N 12 *mm*) brannte. Der Stift *a* war abwechselnd isolirt und von Strömen von 2·5 und dann von 8·2 Ampère durchflossen, hernach wurde er wieder isolirt; in diesen verschiedenen Zuständen wurde sein Potential mit dem eines zweiten in derselben Höhe

[1] Ich benütze diese Gelegenheit, Herrn Assistenten Dr. Kusminsky zu danken, der mich bei einigen dieser Versuche hilfreich unterstützte.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

in den Lichtbogen tauchenden, isolirten Stiftes *b* verglichen. Das Einleiten der Ströme von 2·5 und 8·2 Ampère hob das Potential des früher isolirten Stiftes *a* durchschnittlich um 34 beziehungsweise 40 Volt. Es muss hier noch bemerkt werden, dass diese beiden Werthe etwas zu hoch gemessen sind; denn da der Stift (wenn auch mit ziemlich dünner Spitze) bis in das Lichtbogeninnere drang, so musste sein Potential ursprünglich, als er noch isolirt war, zu niedrig gefunden werden; allerdings kann der Fehler durchaus nicht so bedeutend gewesen sein, wie bei dem betreffenden Beispiele in 3, wo der Einfluss der Stiftdichte absichtlich an einem ganz extremen Fall illustrirt wurde. Andererseits dürfte sich am Werthe (34 Volt) bei der geringeren Intensität des seitlichen Stromes (2·5 Ampère) bereits eine Herabsetzung des Potentialsprunges in Folge herabgesetzter Stromesdichtigkeit bemerkbar machen. (Siehe unter 6.)

Ein ähnlicher Fall, bei dem auch ein bedeutender Strom, 5·2 Ampère, durch einen Stift (4 *mm*) seitlich in den Lichtbogen überfloss und das Potential des Stiftes um 37·5 Volt erhöhte, ist unter (18.) beschrieben. Der Einfluss der Stiftdicke muss dabei in geringerem Grade hervorgetreten sein, da der Stift, so lange er isolirt war, nicht in die heissesten Theile des Lichtbogens ragte und erst später, nach Messung seines Anfangspotentials, in den Kern des Lichtbogens eingeschoben wurde.

Vorhin (4) wurde bei homogenen Elektroden das Hinderniss H_+ für axiale Ströme zu 33·7 Volt angegeben, dieser Potentialsprung ist von dem bei seitlich eintretenden Strömen constatirten nicht wesentlich verschieden.

Ich ergänze diese Fälle durch einen anderen, wo eine zischende Entladung von grösster Heftigkeit innerhalb des Hauptlichtbogens hervorbrach und die Spannung dieses Lichtbogens doch nicht erheblich stärker beeinflusste, als bei einer entsprechenden Intensitätsvermehrung des aus der Anode austretenden Stromes der Fall gewesen wäre. Ein horizontaler Stift (4 *mm* Carré) wurde mit seiner Spitze bis dicht an den Kern eines vertical gestellten Lichtbogens, der von seiner Anode einen constanten Strom von 16 Ampère bezog, geführt. In der Regel flossen 3·5 Ampère durch den seitlichen Stift in den Lichtbogen ab, für Augenblicke wurde aber der Strom auf 16·4 Ampère erhöht.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Diese so grosse Veränderung und Verstärkung der seitlich eintretenden Entladung hatte nur eine Verminderung der Spannung von 59·5 auf durchschnittlich 53·7 Volt zur Folge.

6. Während bedeutende Ströme immer unter Überwindung eines nahezu constanten Anodenhindernisses in den Lichtbogen übertreten und dies Verhältniss nach oben hin erst dann eine wesentliche Änderung erfährt, wenn der Lichtbogen, im Austritt bedeutend eingeengt, zu zischen beginnt, lässt sich durch Verminderung der Stromstärke alsbald ein Punkt erreichen, von dem an das Hinderniss rasch abnimmt, um später mit den Strömen zugleich auf Null zu sinken. Schon Edlund[1] macht die Bemerkung, dass ein Lichtbogen unter verminderter Intensität mit verminderter Spannung (allerdings wahrscheinlich nicht ganz geräuschlos) brannte.

Da aber ein Lichtbogen schon bei 4 Ampère leicht erlischt, studirte ich statt der Hauptentladung eine Nebenentladung, welche seitlich in einen starken Lichtbogen einfloss. Bei der hohen Temperatur, welche der seitlich eintauchende Stift schon an sich im Lichtbogen aufweist, erwuchs mir der weitere Vortheil, dass die Erwärmung durch die schwächeren, seitlich einfliessenden Ströme den Gang der Erscheinung weniger beeinflusste.

Die Resultate, welche ich hier mitzutheilen habe, an sich nur von qualitativem Werthe, schliessen sich leider nicht vollkommen einheitlich an die unmittelbar vorher gegebenen an. Unkundig der wesentlichen Veränderungen, welche die Erscheinungen des Lichtbogens in mancher Hinsicht durch verdampfende Salze erleiden, hatte ich als Anode Siemens'sche Dochtkohle (*Do* 10 *mm*) zur Erzeugung des horizontal stehenden Lichtbogens verwendet und als Kathode Siemens'sche *J*-Kohle von gleicher Stärke, deren Salzgehalt so bedeutend ist, dass der Lichtbogen mit wesentlich verringerter Spannung brennt. Eine vollständige Wiederholung der Versuche war später nicht mehr möglich, doch verschaffte ich mir, ohne Messungen anzustellen, die Sicherheit, dass wenigstens der allgemeine Charakter der Erscheinung, das continuirliche und rapide Anwachsen des Hindernisses beim

[1] Edlund, Pogg. Ann., Bd. 131, S. 586.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

allmähligen Ansteigen des Stromes auch bei Homogenkohle derselbe bleibt.

Der Lichtbogen brannte, wie gesagt, zwischen horizontal gestellten Elektroden mit etwa 4 *mm* Länge, sein Kern war schwach nach oben gekrümmt und sass nicht in der Achse des Flammenmantels, welcher durch den aufsteigenden Luftstrom in die Höhe getrieben, auf seiner oberen Seite bedeutend erweitert und ausgebaucht war. Gleichfalls in horizontaler Lage, etwas oberhalb der Lichtbogenachse und im Kreuz zu ihr, stand ein Stift aus Carrékohle (5 *mm*); mit der Spitze etwas über den Lichtbogen vorschauend, schien er mit ihm einen hell glühenden Berührungspunkt gemein zu haben. An dieser Gluthstelle brannte der Stift rascher ab als in den übrigen Theilen, so dass sich sein äusserstes Ende alsbald pfriemenförmig nach abwärts bog; oft schien eine feine halbzirkelige Baumbildung den Lichtbogen umklammern zu wollen.

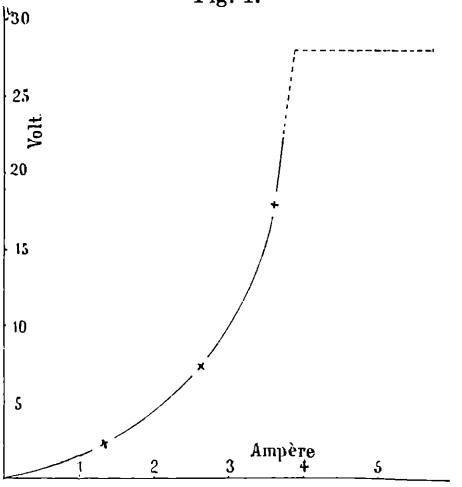
Wenn ich den Stift durch einen Widerstand mit der Anode des Lichtbogens verband, so floss nur mehr ein Theil des Gesammtstromes direct durch die Anode in den Lichtbogen, der andere Theil wurde durch die neugeschaffene Zweigleitung seitlich dem Lichtbogen übermittelt. Der Lichtbogen behält bei solcher Massnahme seine Spannung fast unverändert bei und da er die Batterie sammt ihrem Zusatzwiderstande zu einem geschlossenen Stromkreise ergänzt, so erfährt der Batteriestrom keine Veränderung. Ich will nun, ohne an dieser Stelle (siehe diesbezüglich 18) auf die Messmethode einzugehen, einige Resultate angeben, die bei der geschilderten Anordnung von Lichtbogen und Zuleitungsstift für eine bestimmte Form, Grösse und Stellung des Stiftes gewonnen wurden.

	1	2	3
J	1·33	2·60	3·54
H_+	2·20	7·71	18·5
$W=\frac{H_+}{J}$	1·73	2·97	5·23

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Jede Colonne der vorstehenden Tabelle enthält zusammengehörige Werthe; die erste Zeile gibt die Stromstärken J in Ampère, die zweite die entsprechenden Hindernisse in Volt; wollte man diese Hindernisse durch Übergangswiderstände zwischen Stift und Bogengas hervorgerufen denken, so müssten dieselben die in Zeile 3 der Tabelle angebenen Werthe haben. Das Resultat der Tabelle erfährt in der beistehenden Figur eine graphische Darstellung.

Fig. 1.



Wenn man die Oberfläche des Stiftes vergrössern würde, so könnte bei constant bleibendem Hinderniss ein stärkerer Strom in den Lichtbogen gelangen, wie ja z. B. zwei Stifte den doppelten Strom überzuführen vermöchten. Da das Hinderniss sich derart als Function der Stromesdichtigkeit charakterisirt, ist es selbstverständlich, dass die Resultate der vorstehenden Tabelle nur von qualitativem Werthe sein können, sie gelten nur für jene specielle Form und Stellung der Stiftspitze, bei welcher sie gefunden wurden, und für Spitzen von anderer Grösse und Stellung werden sich auch wieder anders gekrümmte Curven ergeben als die dargestellte.

Es ist aber immer möglich, Stiftstellung, Form und Grösse der Spitze soweit ähnlich zu erhalten, dass man stets ähnliche Linien bekommt, welche vereint einen mittleren Zustand zur Darstellung bringen; thatsächlich ist auch die mitgetheilte Curve das Resultat einer solchen Vereinigung aus fünf Linien und zur

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Schätzung der erzielten Übereinstimmung gebe ich an, dass die Mittel aus den Verhältnissen $\frac{W_1}{W_0}$ und $\frac{W_2}{W_0}$ wahrscheinliche Fehler von $4{\cdot}5\%$ aufweisen.

7. Ich habe in der vorstehenden Figur versucht, die Curve noch über den Messbereich hinaus schematisch zu ergänzen: das Hinderniss würde bei wachsender Stromstärke noch einige Zeit rasch zunehmen, um dann fast constant zu werden. Ich habe dieses Maximum der Spannungsdifferenz nur zu 28 Volt angenommen, da dieselbe im vorliegenden Falle durch den bedeutenden Salzgehalt des Lichtbogens jedenfalls sehr herabgesetzt ist; vom Knie an führte ich die Curve der Abscissenachse parallel weiter.

Eine rasche Änderung im Charakter des Entladungsgesetzes liess sich leicht nachträglich für Homogenkohle erweisen: Der positive Strom der Dynamomaschine floss durch einen Ballastwiderstand in den vertical gestellten Lichtbogen. In diesen Lichtbogen wurden zwei horizontale Stifte in gleicher Höhe eingesenkt und der eine durch einen ausziehbaren Rheostaten mit der Anode der Dynamomaschine verbunden, während das Spannungsgalvanometer die Potentialdifferenz der beiden Stifte verglich. Beim Nähern der Elektrodenplatten des Rheostaten bewegte sich die aperiodisch schwingende Nadel rasch und rascher, um bei einem gewissen Punkte angelangt — allerdings nicht plötzlich — ganz langsame Bewegung anzunehmen.

So lange der Stift wie bei den früher beschriebenen Anordnungen bis dicht an den Lichtbogenkern reichte oder wohl gar hineinzuragen schien, vermochte ich, während das Entladungsgesetz in der beschriebenen Weise wechselte, keinerlei plötzliche Änderung im Aussehen der Entladungserscheinung selbst wahrzunehmen. Denn der Stift wies von Anfang an, da wo er den Lichtbogenkern berührte, bereits eine Stelle von äusserst heftiger Gluth auf, und mit steigender Stromstärke nahm dieselbe scheinbar continuirlich an Intensität und Ausdehnung zu.

Es liess sich aber eine Anordnung treffen, bei welcher mit einer sprungweisen Änderung des Stiftpotentials das Entladungsgesetz und das Aussehen der Erscheinung beide gleichzeitig wechselten. Ich verband den horizontal in halbe Höhe des Licht-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

bogens gestellten Stift durch einen Flüssigkeitsrheostaten mit der Lichtbogenanode und liess die Stiftspitze so weit durch die Aureole in den Flammenmantel ragen, dass sie nur durch eine dünne glühende Gasschicht vom Innersten der Strombahn getrennt war. Beim Nähern der Elektrodenplatten des Rheostaten stieg der seitlich einfliessende Strom auf Kosten des Hauptstromes und während in Folge dessen die Gluth des Stiftes immer höher wurde, stieg sein Potential rasch und näherte sich dem der Anode; da brach plötzlich an einer Stelle des Stiftes eine Lichterscheinung durch, so hell und scharf umrandet, wie die am Krater, und im gleichen Augenblicke stürzte das Potential des Stiftes um einige Volt. Das Potential des Stiftes, welches vorher rasch angestiegen war, blieb nach der plötzlichen Abnahme ziemlich ruhig und mochte das Potential des mittleren Lichtbogenquerschnittes etwa um so viel übertreffen, als das der Hauptanode von dem des ihr angrenzenden Bogengases verschieden war. Wenn die beschriebene Lichterscheinung, die ich so wie den entsprechenden Vorgang im Krater der Hauptanode des Lichtbogens als das Kraterlicht bezeichnen will, einmal durchgebrochen war, so schien der Stift an der betreffenden Durchbruchstelle mit dem Lichtbogenkern zusammenzuhängen und der Sturz des Potentials mag lediglich dem Ausfall der trennenden Gasschicht zuzuschreiben sein.

Ich muss noch erwähnen, dass ich keinen solchen momentanen Wechsel, sondern nur raschen, aber allmähligen Übergang gewahren konnte, wenn der Stift statt mit der Anode des Lichtbogens mit der Anode der Dynamomaschine verbunden war, dann konnte die seitlich einfliessende Stromstärke beim Sinken des Stiftpotentials nicht mehr so bedeutend zunehmen, da der Widerstand der zum Stift führenden Abzweigung jetzt bedeutend grösser war; es mag also das bedeutende Ansteigen der seitlichen Stromstärke beim Sinken des Stiftpotentials bedeutenden Antheil am brüsken Wechsel der Erscheinung gehabt haben.

Ich kann nach allem Gesagten nicht behaupten, dass der Gang, der der Potentialcurve in der vorhin gegebenen schematischen Darstellung zugeschrieben wird, auch wirklich einen ähnlich scharfen Wendepunkt aufweist, und es wäre möglich, dass die eigentliche Kraterlichterscheinung manchmal schon bei

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

erheblich niedrigeren Potentialen auftreten kann, und dass die Spannungsdifferenz dann allmählig zum Werthe ansteigt, den das Hinderniss an der Hauptanode eines Lichtbogens aufweist; ja wenn der in Rede stehende Entladungsvorgang wirklich ein periodischer ist, so müsste man für spärlichere Elektricitätsquellen sogar bei Anwesenheit von Kraterlicht ein kleineres Anodenhinderniss erwarten.[1]

Wenn aber auch ein momentaner Wechsel des Entladungsgesetzes und ein momentanes und gleichzeitiges Auftreten einer besonderen Lichterscheinung nicht immer wahrgenommen werden konnten, so war doch wenigstens immer dann, wenn das Hinderniss einmal seinen hohen Endwert erreicht zu haben schien, am Stift eine ziemlich scharf umrandete Stelle bemerkbar, deren Lichtglanz sich von der Gluth der Umgebung deutlich abhob.

8. Der Wandel im Charakter des Entladungsgesetzes knüpft sich also an das Auftreten eines neu hinzukommenden Entladungsvorganges, der, an einer besonders günstigen Stelle des Stiftes hervorbrechend, sich dortselbst durch intensivste Lichtentwicklung zu erkennen gibt.

In ihrer Entstehung und zu ihrem Fortbestande an sehr bedeutende Werthe des Potentialabfalles zwischen Kohle und Gas geknüpft, greift diese Entladung beim weiteren Anwachsen des Stromes um sich und regulirt so die Spannung.

Sie hat bei normalen Lichtbögen, welche zwischen gegenüberstehenden Elektroden brennen, den bedeutendsten Antheil

---

[1] Ich bemerke hier, dass Kraterlicht sehr häufig momentan auftaucht und dann wieder verschwindet, wenn man einen vorher isolirt in den Flammenmantel des Lichtbogens tauchenden Stift mit der Lichtbogenanode durch einen Widerstand verbindet.

Das eine Ende der primären Spirale eines sehr kleinen Ruhmkorff'schen Inductors war dauernd durch einen geringen Widerstand mit einem isolirt in den Flammenmantel des Lichtbogens tauchenden Stift verbunden. Wurde nun das andere Ende der primären Spirale an die Lichtbogenanode angelegt, so gab die Secundärspirale einen Schliessungsfunken, gleichzeitig war ein momentanes Aufblitzen von Kraterlicht am Stift bemerkbar; beim Abheben der Leitung wurde kein Öffnungsfunken wahrgenommen. Das momentane Auftreten der Erscheinung hängt wahrscheinlich nur von einem äusserst rasch verflüchtigten Salzgehalt der Stiftspitze ab.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

an der Elektricitätsvermittlung und führt, vom Krater des Lichtbogens ausgehend, den Strom in solcher Dichtigkeit und in Folge dessen unter so bedeutender Lichtentwicklung über, dass sie seit jeher als das wesentliche Phänomen im Lichtbogen erkannt wurde, ja dass sogar der andere Entladungsvorgang, welcher bei den schwachen seitlichen Strömen (6) die ausschliessliche Rolle spielte, obwohl nicht belanglos, übersehen wurde.

Diese letztere Erscheinung breitet sich rings um den Krater in einer hellen Gluthzone bis dahin aus, wo die innere Begrenzungsfläche der Aureole in einer nicht immer gut sichtbaren Linie an der Anode des Lichtbogens anrandet.

Man kann einen Antheil dieser Gluthzone an der Elektricitätsvermittlung auch ohne alle Messung ersehen. Unter Bedingungen nämlich, wie die meinen es waren, schloss sich die Aureole erst oberhalb des Kraterrandes an die Anode an, während sie in Kraterhöhe von der Anode noch so weit abstand, dass ich leicht die Spitze eines Stiftes in den Zwischenraum zwischen ihr und der Anode zu bringen vermochte, wurde nun der vorher isolirte Stift durch einen Kurzschluss mit der Anode verbunden, so erreichte seine vorher geringere Gluth alsbald einen solchen Grad, wie ihn die Ringzone im Krater besitzt und die galvanometrische Messung ergab 1·1 bis 1·5, ja sogar 2·4 Ampère als Intensität des den Stift durchfliesenden Stromes. Gleicherzeit war die rasche Verbrennung des Stiftes auffallend, wie denn überhaupt starker Kohlenverbrauch in der ganzen Ausdehnung der Gluthzone oft nachträglich bei Besichtigung des erkalteten Stiftes erkennbar ist.

So offenkundig nun auch der Durchgang von nicht unbedeutenden Strömen durch die Gluthzone ist, so kann doch der ungeheure Unterschied der Arbeitsleistungen, welche der Strom pro Flächeneinheit im Krater und in der Gluthzone vollbringt, nicht übersehen wurden.

Diese blosse Thatsache der Verschiedenheit der pro Flächeneinheit geleisteten Arbeit und, da der Potentialsprung an der Anode gegen das Bogengas zu überall fast derselbe ist, also auch der Stromdichtigkeit vermöchte, abgesehen von allem Vorhergehenden, die gleichzeitige Existenz zweier verschiedener Entladungsvorgänge an der Anode zu erweisen.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

9. Bevor ich des Weiteren nach den Gesetzen der Entladungserscheinungen, welche von der Anode des Lichtbogens ausgehen, und nach Analogien mit anderen Gasentladungen frage, möchte ich noch ein paar Bemerkungen über die Structur des Lichtbogens als des Entladungsfeldes, durch welches sich die beiden Erscheinungen verbreiten, machen.

Stifte in beliebiger Stellung in den Lichtbogen gebracht und als Elektroden zur Einleitung bedeutender seitlicher Ströme benützt, erglühen lebhaft, soweit sie durch die Aureole hindurch ragen, und, wenn sich die Aureole bei bedeutender Intensität des seitlich ausfliessenden Stromes gegen den Stift hin ausbaucht, so erfährt auch die Gluthzone dortselbst eine entsprechende Erweiterung. Dergestalt ergibt sich für den ganzen Lichtbogen, soweit er von der Aureole umschlossen ist, ein bedeutendes Leitungsvermögen.

Strombahn und Aureole wechseln in ihrer Form je nach Material, Querschnitt und Stellung der Elektroden und auch mit der Stärke des durchfliessenden Stromes. Bei Homogenkohle (*N* 12 *mm*) — Anode oben und Kathode unten — und bei etwa 16 bis 20 Ampère Stromstärke, woran ich als bestimmten Fall denke, hatte die Innenfläche der Aureole die Form einer Glocke, welche, auf der Spitze der Kathode aufsitzend, sich zuerst rasch, dann langsam erweitert, um sich schliesslich oberhalb des Kraters einzuschnüren und an die Anode anzuschliessen. Nach aussen hat die Aureole keine scharfe Begrenzung, und ihr grünlicher Lichtglanz verliert sich allmählich in dem dunklen Raum.

In der Strombahn selbst hebt sich der helle Lichtbogenkern, eine nach unten zu sich verjüngende Säule, welche den Krater mit der Kathode verbindet, vom umgebenden Gasmantel, der sogar der Aureole an Glanz nachsteht, auffallendst ab, ohne von ihm scharf und deutlich geschieden zu sein.

10. Schon bei einem solchen Lichtbogen zwischen salzfreien Elektroden lässt das Lichtbogeninnere bei genügender Bogenlänge in den mittleren Querschnitten geringere Leuchtkraft bemerken, als an den Enden. Ist ein solches Verhältniss in diesem Falle eben erst bemerkbar, so kann es für Dochtkohle nicht mehr übersehen werden, und bei noch weiterem Steigen des Salzgehaltes gewinnt die ganze Erscheinung geradezu ein verändertes Aussehen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wenn Dochtkohle (Do. 18 *mm*) als Anode über der Kathode (*N* 12 *mm*) stand, so hatte der Lichtbogenkern bei 20 Ampère und für Längen von etwa 7 *mm* Birnform (einen solchen Fall hat schon Uppenborn[1] zu photographischer Darstellung gebracht). Beim weiteren Auseinanderziehen der Elektroden verlängert sich diese Birne und gleichzeitig wird die Leuchtkraft des Verbindungsstückes zwischen dem oberen grösseren und stark gebauchten und dem kleineren unteren Theile der Birne immer schwächer, so dass schliesslich zwei der Grösse nach sehr ungleiche, ungestielte Büschel durch fast wässerigen Lichtglanz verbunden erscheinen.

Gelegentlich dieser hier zu Tage tretenden Verschiedenheit des oberen, bis in die Mitte des Lichtbogens reichenden und des kleineren unteren Büschels, erinnere ich an die Unregelmässigkeiten des Potentialgefälls (4), welche sich bei Dochtkohle geltend machten.

Es empfiehlt sich, die Vorgänge, welche durch Einbringen von Salz in den Lichtbogen verursacht werden, durch eine Combination farbiger Gläser, welche das intensive blaue Licht des Lichtbogens entsprechend mildert und die Spectralfarbe des eingebrachten Salzes, z. B. Natriumlicht deutlich wahrnehmen lässt, zu betrachten. Bei Annäherung eines salzgetränkten Stiftes beginnt der Lichtbogenkern sich innerhalb seines mittleren Querschnittes zu lösen, während die Aureole besonders im unteren Theile gefärbt erscheint. Bei steigendem Salzgehalte schrumpfen der Krater und das aufsitzende blaue Anodenbüschel ein, die Bläue des Kathodenbüschels, welches mit der Aureole eng verwachsen erscheint, scheint zu schwinden oder verblasst zum Mindesten vor dem Glanze des Natriumlichtes; gleichzeitig verändert die Aureole selbst ihre Form, die früher bauchige Glocke wird zu einem gegen die Anode hin offenen Kegel. So fortschreitend, verschwinden schliesslich Krater und Anodenbüschel und die Anode scheint nur mehr Glutbzonenlicht auszustrahlen, so dass das ursprüngliche Lichtbogenphänomen zu einem ganz andern wird.

---

[1] Uppenborn loc. cit.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Es muss hier sehr auffallen, dass dem Auge nur die Aureole und nicht auch der ungleich heissere Flammenmantel mit sammt dem Lichtbogenkern gefärbt erscheint.

Während nun hier der Kern des normalen, d. h. nicht zischenden Lichtbogens bei gleichbleibender Intensität gewissermassen in zwei Büschel aufgelöst wird, darf ein älterer Versuch von Hittorf[1] nicht übergangen werden, wo der anfangs schwache Strom zwischen Platinelektroden durch eine Flamme fliesst und fortwährend anwachsend, zuerst ein kleines Büschelchen an der Anode, dann bei kleinen Entfernungen im dunklen Raume gelbes Licht und schliesslich Bogenentladung bewirkt.

Wenn ich im Vorhergehenden den Ausdruck Büschel wählte, und denselben auch fernerhin anwende, so soll damit nur eine Äusserlichkeit der Form charakterisirt und nicht auch bereits Identität mit den Büscheln der Reibungselektricität behauptet werden. In der That handelt es sich hier nur um Bestandtheile der gasförmigen Strombahn und die Arbeitsleistung selbst, welche an der Oberfläche der Anode geleistet wird, könnte auch ganz wohl dem Glimmlicht entsprechen, welches zu seinem Auftreten ebenfalls erst das Vorhandensein einer gewissen minimalen Spannung erfordert und das, einmal gebildet, mit der Stromstärke langsam steigende Spannungen aufweist.[2]

11. Die beiden Büschel, welche als Bestandtheile eines langen salzhältigen Lichtbogens unterschieden werden können, scheinen in einem gewissen Masse in ihrer Stellung von einander unabhängig zu sein. Sie orientiren sich möglichst senkrecht zu jener Stelle der Anodenfläche, auf welcher sie fussen. So kann es kommen, dass sie mit einander Winkel einschliessen: z. B. wenn die Anode schief abgebrannt ist und der Krater demnach nicht senkrecht auf der Verbindungslinie von Anode und Kathode steht, oder wenn der Lichtbogen auf der Kante der Kathode aufsitzt.

Am auffallendsten werden diese Erscheinungen, wenn man gleiche und bedeutende Ströme durch zwei Anodenkohlen gegen eine und dieselbe Stelle einer Kathode strömen lässt, wobei sich

---

[1] Hittorf, Pogg. Ann., Jubelbd. S. 443, 1874.

[2] Jaumann, Diese Ber. Bd. 47, S. 1587 u. f., Jahrg. 1888.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

meist die 3 Büschel gegen einen in ihrer Mitte gelegenen Punkt richten und manchmal eines der 2 positiven Büschel vielmehr gegen die andere Anode als die Kathode zu streben scheint.

Die elektrostatischen Ladungen gegenüberliegender Elektroden sind also für die Stellung der Büschel nicht massgebend; hingegen sind elektrodynamische Einflüsse auf die Büschel leicht nachweisbar sowohl was die Richtung anlangt, als auch in Bezug auf die Abstossung des gasförmigen Stromleiters in Richtung des Stromes. In letzterer Hinsicht braucht man nur zwei gleichnamige verticale Elektroden wie die Pole einer Lampe einander gegenüberzustellen und eine dritte horizontale Elektrode von entgegengesetztem Zeichen im ⊏ hinzuzufügen, so dass der Lichtbogen sich von der horizontalen gegen die beiden anderen Elektroden hin spaltet; man wird nun bei genügender Stromstärke bemerken, wie die horizontale Elektrode die Lichtbogengase geradeaus zwischen den beiden verticalen hindurch und darüber hinaustreibt.

Da die Stromesdichtigkeit im mittleren Querschnitte des Lichtbogens wohl geringer ist als an der Austrittsstelle des Stromes an der Kathode, müssen solche elektrodynamische Abstossungen auch im Lichtbogen statt haben und werden auf die Luftströmungen daselbst ihren Einfluss üben.

12. Es ist hier der Ort, eine andere Lichterscheinung zu beschreiben, welche von der Anode zischender Lichtbögen auszugehen pflegt. Um das Phänomen als ein in gewissem Sinne selbständiges und isolirtes betrachten zu können, empfiehlt es sich, eine zischende Entladung von der Seite in einen Lichtbogen übertreten zu lassen. Ich stellte einen verticalen Stift (4 *mm*) mit seinem oberen Ende dicht unter die Mitte eines horizontalen Lichtbogens und liess dann einen positiven Strom von sehr bedeutender Dichtigkeit in den Lichtbogen übertreten; dabei brach alsbald an der Austrittsstelle des Stromes eine Flamme von blendender Weisse hervor und schoss unter Zischen zwischen dem Elektroden des Lichtbogens hindurch nach oben. Das Zischen und Rauschen, zugleich das rasche Zerstäuben des Stiftes und die blendende Weissgluth der abgesprengten Theilchen, welche, in geraden Strahlen fortgerissen, der Flamme ihr Licht gaben und, dann sich in den

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Lichtbogen vertheilend, auch diesen weiss färbten und noch darüber hinaus eine Flammenzunge erfüllten, — dies Alles verlieh dem Phänomen das Aussehen äusserster Gewaltsamkeit.

Wenn man über kräftige Ströme verfügt, so kann der Stift (4 *mm*) ganz wohl 3 *cm* und mehr unterhalb der Lichtbogenachse stehen und dann strebt die weisse Büschelflamme in einem schwach divergenten Kegel nach oben und, je nach der Stellung des Stiftes mehr gegen die Anode oder die Kathode gewendet, lässt sie zwar den richtenden Einfluss einer zur Ebene der Austrittsstelle senkrechten Kraft, aber keinerlei elektrostatischen Einfluss von Seiten der Elektroden des Lichtbogens erkennen. Einmal in den Lichtbogen übergegangen, strebte die Büschelflamme darüber hinaus nicht geradstrahlig weiter, sondern spitzte sich zu einer Zunge zu, die etwa so wie eine Kerzenflamme in ihrem oberen Theile geformt war.[1]

13. Die beiden Erscheinungen, welche ich beim zischenden, beziehungsweise beim normalen Lichtbogen Anodenbüschel nannte, sind bei der grossen Verschiedenheit ihres Aussehens vielleicht nicht genau correspondirende Phänomene. Mag aber diese Benennung sich auch streng genommen nicht rechtfertigen, so bietet doch im Allgemeinen die Identität der beiderseitigen Entladungsgesetze dieser zwei Lichtbogentypen und die Ähnlichkeit der sonstigen Bedingungen ihres Auftretens, wie der bedeutenden Stromstärke und der enormen Temperatur gewichtige Gründe dar, dieselben für innig verwandt zu halten, und in allen wichtigen Punkten Analogien zu erwarten. Ich habe aus diesem Grunde beim zischenden Lichtbogen einige Versuche allerdings mehr qualitativer Natur über den Einfluss der Stromesdichtigkeit angestellt, um so für den normalen Lichtbogen in den gleichen Fragen Winke zu erhalten.

Es ist längst erkannt worden, dass Zischen durch fortgesetzte Vermehrung der Stromesdichtigkeit herbeigeführt werden kann,

---

[1] Bei Anwendung von Zinkelektroden gewann ich den Eindruck, dass auch an der Kathode zischende Entladung auftreten könne, es gingen nämlich bei geringer Stromstärke von den nahe gegenüberstehenden Elektroden feine Büschel aus, welche, sich unter den verschiedensten Winkeln begegnend, den Übergang der Elektricitäten vermittelten.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ich versuchte nun zu ermitteln, ob Zischen etwa immer durch annähernd ein und dieselbe Stromesdichtigkeit eingeleitet wird. Ein vertikaler Lichtbogen wurde zwischen vertikalen Stiften (N 12 *mm*) entzündet und zwar mit der Kathode nach oben und der Anode nach unten, um einerseits die Gluthzone um den Krater möglichst einzuengen und anderseits um zu verhindern, dass das Kraterlicht bei fort und fort anwachsender Stromesdichtigkeit über die Endfläche der Anode hinausgreife. Sowie der Strom so bedeutend war, dass das Kraterlicht diese Endfläche ausfüllte, bedurfte es nur mehr einer ganz geringen Annäherung der Elektroden um Zischen hervorzurufen. Im selben Augenblick wurde auch schon der Strom unterbrochen und nach dem Erkalten der Elektroden wurde die Endfläche der Anode und hiemit die Ausdehnung des Kraterlichtes mittelst Massstabes ausgewerthet. Derart liess sich die Stromesdichtigkeit (der Quotient $D = \frac{\text{Stromstärke}}{\text{Kraterfläche}}$), bei der Zischen eingetreten war, berechnen. Die langen Lichtbögen vertragen viel bedeutendere Stromstärken J_n, ohne zu zischen, als die kurzen, dafür ist aber auch ihre Kraterfläche entsprechend grösser, und zwar haben die kürzeren Lichtbögen concave, die langen convexe Endflächen, d. h. statt der Krater Kuppen, immer waren diese Endflächen auffallend regelmässig gebildet und umrandet. Ich hatte z. B.:

Bogenlänge	J_n (Ampère	Durchmesser der Endfläche	D
8·7 *mm*	19·2	6·87 *mm*	0·51 Ampère
8·5	26·3	8·25	0·49

Die letzte Colonne gibt den grössten Strom D, der pro Quadratmillimeter des Kraters in den Lichtbogen ohne Zischen übertreten kann. Für 8 *mm* starke Kohlen wurde für kurze und lange Bögen zwischen 41 und 73 Volt Spannung und dem entsprechend

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

bei Stromstärken J_a zwischen 6·5 und 12 Ampère die maximale Stromesdichtigkeit D mit allerdings bedeutenden Schwankungen zu 0·62 Ampère pro $(1\,mm)^2$ gefunden.

Sowie der Lichtbogen zu zischen beginnt, wird die Ausdehnung des Kraterlichtes geringer, die Stromesdichtigkeit also etwas grösser; zugleich sinkt die Minimmalspannung (Bogenlänge $=0$) nach den Formeln, welche Cross und Shepard[1] aufgestellt haben, um etwa 23 Volt. Mir sank in sechs Versuchen, die mit Homogenkohle, (N 12 mm) — Anode oben, Kathode unten — angestellt wurden, die Spannung des bis 50·9 Volt und 16·4 Ampère noch normal brennenden Lichtbogens auf 38·5 Volt also um 12·4 Volt, als ich die ursprüngliche Stromstärke von 16·4 Ampère durch Ausschalten von Rheostatenwiderständen soweit erhöhte, dass der Lichtbogen nunmehr unter Zischen mit 24·8 Ampère brannte. Dabei ging der Werth der Einseitigkeit $E=2v-S$, welche mittelst eines Probirstiftes von 4 mm gemessen wurde, um $9{\cdot}4\pm0{\cdot}17$, nämlich von 26·4 auf 17·0 Volt zurück. Der Spannungsrückgang beim Eintritt des Zischens findet also zum weitaus grössten Theile auf Seiten der Anode, also wohl an der Anodenoberfläche selbst statt.

Da ein zischender Lichtbogen immerfort ein zischender Lichtbogen bleibt, wie sehr man auch seine Stromstärke vermehren mag, so kann man sich in einfacher Weise Aufschluss verschaffen, wie das Anodenhinderniss bei stark wechselnder Stromstärke verändert wird. Es wurde die Anode dünn genommen (N 8 mm) und unter eine Kathode (N 12 mm) gestellt, so dass also das Kraterlicht des zischenden Bogens möglichst auf die Endfläche der dünnen Elektrode beschränkt war.

Der Lichtbogen brannte zwischen diesen Elektroden unter Zischen mit einer Stromstärke J_α; nachdem die Spannung S_α und das Potential der Lichtbogenmitte v_α in Bezug auf die Anode ermittelt war, wurde eine grössere Stromstärke J_β angewendet und das zugehörige S_β und v_β bestimmt, hernach ging ich nochmals auf J_α zurück und bestimmte nochmals S_α und v_α. Die folgende Tabelle enthält das Ergebniss zweier Beobachtungs-

[1] Proc. Amer. Ac. of. arts and sciences 1886.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

	J (Ampère)	Diff.	S (Volt)	Diff.	v (Volt)	Diff.	E (Volt)	Diff.
	α	13·5		39·1		27·4		15·7	
I			5·3		—1·32±0·13		—0·32±0·24		+0·68
	β	18·8		37·8		27·1		16·4	
	α	21·3		39·5		29·0		18·5	
II			17·4		+3·44±0·19		+4·25±0·13		+5·1
	β	38·7		42·9		33·2		23·4	

sätze I und II, welche aus je 7 derartigen Versuchen unter absichtlich verschiedenen Modalitäten gewonnen wurden; sie enthält in der vierten Colonne die Werthe für die Einseitigkeit $E = 2(v) - S$. Im ersten Beobachtungssatze (I) füllte das Kraterlicht des zischenden Lichtbogens nicht die ganze Endfläche der Anode aus und eine Vermehrung der Intensität bewirkte in Folge des verbesserten Leitungsvermögens der Lichtbogengase ein deutliches Sinken der Spannung. Im zweiten Beobachtungssatze (II) erschien die Endfläche der Anode von allem Anfang an mit Kraterlicht bedeckt, eine Vermehrung der Intensität auf fast das Doppelte bewirkte diesmal ein Steigen der Strom-Dichte und hiemit stieg die Spannung, die vierte Colonne zeigt, dass letzteres durch ein Anwachsen der E um 5 Volt bewirkt wurde.

Wenn es nun auch sicher ist, dass das Hinderniss, d. h. die Potentialdifferenz zwischen der Anode und dem umgebenden Bogengas durch die grossen Intensitätsvariationen in (II) vermehrt wurde, so veränderte sich das Hinderniss doch keineswegs proportional der Stromdichte. Man kann darum nicht einfach von einem Übergangswiderstande an der Anode des zischenden Lichtbogens in dem Sinne sprechen, als ob ein constanter Factor existirte, der, mit der Stromesdichtigkeit multiplicirt, den Potentialsprung an der Anodenoberfläche des zischenden Lichtbogens liefern würde.

14. Ähnlich wie das Anodenhinderniss des zischenden Lichtbogens erfährt auch das des normalen bei wachsender

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Stromesdichtigkeit jedenfalls keine sehr rasche Steigerung, wenn auch ein geringes Anwachsen wahrscheinlich ist.

Die Sache erfordert beim normalen Lichtbogen ein etwas abgeändertes Beobachtungsverfahren, da normales Brennen bei bedeutend vermehrter Stromesdichtigkeit auf die Dauer unmöglich ist.

Die blosse Thatsache, dass die Bogenentladung überhaupt jemals normal, d. h. im Vergleiche zum zischenden Lichtbogen unter um 12 Volt erhöhter Spannung vor sich geht, erheischt das Vorhandensein einer Kraft, welche der fortschreitenden Concentration der Stromesdichtigkeit, die schliesslich zum Zischen führen müsste, entgegenwirkt. Wenn also an einer bevorzugten Stelle, an einer Hervorragung des Kraterrandes oder an einer Unebenheit im Krater eine Vermehrung der Stromesdichtigkeit stattfindet, so macht sich dort ein Wachsen des Potentialgefälls bemerkbar, welches zum Theil in der Grenzfläche zwischen der Kohle und den angrenzenden Partien des Lichtbogens, zum Theil in diesen Partien selbst stattfinden kann.

Über die Grössenordnung der bei wechselnder Stromesdichtigkeit stattfindenden Veränderung versuchte ich mich in folgender Art zu orientiren. Ich glaubte bemerkt zu haben, dass die zischende Entladung bei rascher und bedeutender Vermehrung der Stromstärke zwar plötzlich, aber nicht absolut gleichzeitig hervorbricht. Darnach sollte eine elektrometrische Messung der Potentialdifferenz zwischen den Elektroden, unmittelbar nach der Intensitätssteigerung vorgenommen, die Spannung eines unter gesteigerter Stromesdichtigkeit normal brennenden Lichtbogens liefern.

Ein solcher Versuch wurde im elektrotechnischen Institute des Polytechnicums ausgeführt, ich genoss dabei freundliche Unterstützung seitens der beiden Herren Assistenten Zickler und Frisch. Ich gebe im folgenden die Einzelheiten des Versuches.

Zu Anfang des Versuches theilte sich der Strom einer Dynamomaschine, der durch Ballastwiderstände auf ungefähr 21 Ampère erhalten wurde, in zwei Stromzweige, deren einer den normal brennenden Lichtbogen enthielt, während der andere aus Regulirwiderständen und einer Unterbrechervorrichtung bestand. Diese Regulirwiderstände wurden derart gehandhabt, dass

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der Lichtbogen durchschnittlich von 8 Ampère durchflossen war, während sie selbst den Rest des Hauptstromes (13 Ampère) vermittelten. Zur Messung des Lichtbogenstromes und des gesammten Maschinenstromes waren in die betreffenden Stromzweige Ampèremeter eingeschaltet.

Die Kathode des Lichtbogens war zur Erde abgeleitet, die darunter stehende Anode wurde mit der Nadel eines Lang'schen Elektrometers verbunden, beide Elektroden waren homogen und hatten 8 *mm* Stärke (Siemens'sche Kohle).

Die vorher erwähnte Unterbrechervorrichtung bestand aus einer sehr kräftigen, horizontal gestellten Stahlfeder, in deren freies Ende ein nach unten ragender, starker Kupferstift eingeschraubt war. Dieses freie Ende liess sich mit Hilfe eines Excenters um etwa 2·5 *cm* nach abwärts biegen, wobei die platinbelegte Endfläche des eingeschraubten Kupferstiftes mit dem ebenfalls platinbelegten Ende eines anderen untergestellten Stiftes in vollkommene Berührung kam. In solcher Lage, welche zu Anfang des Versuches eingenommen wurde, leitete die Feder den vom Zweigrheostaten kommenden Strom (13 Ampère) durch den Stift hindurch zur Vereinigung mit dem vom Lichtbogen kommenden Strom über, alsdann flossen die beiden Ströme wieder vereint in die Maschine zurück.

Sowie die Feder nach einer kleinen Drehung des Excenters wieder frei wurde, schnellte sie mit bedeutender Geschwindigkeit aufwärts, riss dabei den eingeschraubten Stift aus der Berührung mit dem darunter stehenden und unterbrach derart den Zweigstrom, so dass die Maschine von nun an ihren ganzen Strom durch den Lichtbogen sendete. Der Gesammtstrom der Maschine wurde beim Unterbrechen des Zweigstromes für den Anfang fast gar nicht geändert; da nämlich die Spannungsmessung (siehe weiter unten) ergab, dass der Lichtbogen seine Spannung indessen fast unverändert bewahrt hatte, und da ja die Spannung an den Enden des Lichtbogens zugleich die Spannung an den Enden des von der Maschine und ihren Ballaswiderständen gebildeten Leiterstückes ist, muss auch der Strom in diesem Leitersück derselbe geblieben sein. Vor dem Abschnellen der Feder ging also nur ein Theilstrom von 8 Ampère, nach dem Abschnellen ging der

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

volle Strom von im ersten Augenblick etwa 20 Ampère, durch den Lichtbogen über.

Um die Spannung des Lichtbogens im ersten Augenblick nach dieser Intensitätsveränderung zu ermitteln (was der Versuchszweck war), war Vorkehrung getroffen, dass die abschnappende Unterbrecherfeder, noch ehe sie ihre Ruhelage nach etwa 0·005 Secunden erreichte, die Leitung, welche die Lichtbogenanode mit der Elektrometernadel verband, durchschlug. Die Nadel, von diesem Moment an isolirt, liess die Potentialveränderung, welche die Anode beim Eintritt der Intensitätsvariation erlitten hatte, erkennen.

Um die erforderliche jähe Unterbrechung der Elektrometerleitung durch die abschnappende Feder zu bewerkstelligen, wurde die Leitung von Anfang an in zwei Stücke zerschnitten. So lange der Lichtbogen mit 8 Ampère brannte, wurde die leitende Verbindung der beiden Stücke und hiermit die Ladung der Elektrometernadel durch zwei Platinfedern, deren Enden sich deckten und leicht gegen einander pressten, besorgt. Gegen die Enden der Platinfeder stiess nun die abschnellende Unterbrecherfeder mit Hilfe eines isolirt eingesetzten Stiftes und stellte, dieselben erst dicht an einander vorbei reissend (Moment der Berührung) und dann auseinander schlagend, die Isolation der Elektrometernadel her. Zu ganz einwurfsfreier elektrometrischer Messung ist bei so kurzer Ladezeit des Elektrometers wohl ein ganz ausgezeichneter Contact zwischen den Platinfedern der Leitung unerlässlich; ein solcher war bei der getroffenen Anordnung nur in dem Momente zuverlässig vorhanden, in welchem der isolirte Stift, auf die Federn aufschlagend, dieselben fest aneinander presste, um sie hernach zu trennen. Bei Vorversuchen hatte ich die Platinfedern in der Unterbrecherstelle der Elektrometerleitung anfänglich ganz auseinander gebogen, so dass sie einander gar nicht berührten; die eine von ihnen stand dabei wieder mit der (bei diesem Vorversuch) vorher abgeleiteten und dann isolirten Elektrometernadel in Verbindung, die andere Feder war mit dem positiven oder negativen Pol einer constanten Elektricitätsquelle dauernd verbunden. Die Platinfedern kamen erst beim Abschnellen der stählernen Unterbrecherfeder in gegenseitige Berührung, indem

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

sie erst hart an einander geschlagen und dann an einander vorbeigerissen wurden; bei diesem Vorgang lud sich die Nadel nur zu drei Viertheilen des Potentials der Elektricitätsquelle.

Mag nun aber auch die Schwankung im Potential der Anode des Lichtbogens beim nachfolgend beschriebenen Versuche seitens der Elektrometernadel nicht voll mitgemacht worden sein, der qualitative Werth des Resultates wurde dadurch nicht beeinträchtigt.

Der Lichtbogen brannte, so lange er von 8 Ampère durchflossen war, mit einer durchschnittlichen Spannung von 46 Volt und dem entsprachen 27·8 Scalentheile Elektrometerausschlag, nach dem Abschnappen der Feder und in Folge dessen einer Intensitätsvermehrung auf etwa 20 Ampère, stieg die Angabe des Elektrometers durchschnittlich um 1 Volt, es zeigte aber auch bis um 2 Volt höhere Potentiale an. Die Spannung des Lichtbogens änderte sich also im ersten Augenblick nur sehr wenig, während sich die Stromesdichtigkeit wohl fast verdoppelt haben mochte; das Kraterlicht erfüllte nämlich bereits bei 8 Ampère fast die ganze Endfläche der Anode und ich konnte nicht bemerken, dass dasselbe etwa hernach, beim Abschnellen der Feder, noch auf die Seitenflächen der Anode hinab übergegriffen hätte.

Ich kann nach dem Gesagten nicht glauben, dass der Potentialsprung von der Anode gegen den Lichtbogen der Stromesdichtigkeit proportional zunehme, wie dies Herr Feussner[1] annimmt, indem er an der Oberfläche der Lichtbogenanode einen Übergangswiderstand von der Beschaffenheit voraussetzt, dass er, wie jeder andere Wiederstand, dem Ohm'schen Gesetze folgt.

15. Im Grossen und Ganzen dürfte sogar die Annahme einer gegenelektromotorischen Kraft den Beziehungen, die zwischen dem Potentialsprung an der Anode und der Stromesdichtigkeit herrschen, viel besser gerecht werden, als die Annahme eines derartigen Übergangswiderstandes. Wenn ein Theil oder die ganze Stromarbeit zur Schaffung einer neuen Elektricitätsquelle aufgewendet wird, so ist der Nachweis eines entsprechenden

[1] Centralbl. für Elektrotechnik 1888, pag. 226.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Polarisationsstromes der einzig zuverlässige Beweis einer solchen Thatsache. In dieser Hinsicht liegt ein einziges sicheres Ergebniss vor und dieses ist vollkommen negativer Natur. Lecher[1] hat nämlich gezeigt, dass der Integralwerth des Polarisationsstromes des Lichtbogens auch unter den günstigsten Widerstandsverhältnissen viel kleiner ist, als man nach einem von Edlund viel früher angestellten Versuche, bei dem mancherlei Fehlerquellen mitgewirkt haben mochten, erwarten musste.

Die von mir in (14) benützte Aufstellung ermöglichte nach einer kleinen Abänderung die Grenzen, innerhalb welcher der Polarisationsstrom, wenn überhaupt vorhanden, nachweisbar wäre, noch weiter einzuengen.

Der positive Strom der Dynamomaschine (12 Ampère) floss durch Ballastwiderstände und die vorher beschriebene Unterbrecherfeder hindurch zur Anode des Lichtbogens und dann von der Kathode aus wieder in die Maschine zurück. Derart hing die Anode des Lichtbogens nach dem Abschnellen der Feder nur noch nach einer Seite, nämlich gegen die Kathode zu mit dem nunmehr unterbrochenen Stromkreise zusammen.

Die Kathode des Lichtbogens stand dauernd mit der Erde in Verbindung, die Anode kam nur nach der Unterbrechung des Maschinenstromes auf einen kurzen Augenblick mit der isolirten und ungeladenen Nadel des Elektrometers in Berührung; hätte nun die hypothetische Gegenkraft des Lichtbogens in diesem Momente noch vorgehalten, so hätte die Nadel des Elektrometers eine entsprechende Ladung bekommen müssen. Die momentane Verbindung von Nadel und Lichtbogenanode wurde, wie beim Vorversuche in (14) in der Weise erreicht, dass 2 Platinfedern, deren eine mit der Anode des Lichtbogens und deren andere mit der Elektrometernadel zusammenhing, von dem in die abschnellende Unterbrecherfeder isolirt eingesetzten Stifte erst hart an einander geschlagen, und dann sofort an einander vorbei gerissen wurden.

Wenn nach Unterbrechung des Maschinenstromes die momentane Verbindung der Anode mit dem Elektrometer erst dann hergestellt wurde, als die abschnellende Unterbrecherfeder

[1] Lecher, loc. cit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

bereits ihre Ruhelage passirte, so konnte ich keinerlei Ladung der Elektrometernadel wahrnehmen. Es wurden aber sehr bedeutende Ausschläge erhalten, wenn die Verbindung mit der Anode in früheren Phasen der Federschwingung geschah, so zwar, dass schliesslich Nadelausschläge auftraten, die fast der vollen Lichtbogenspannung entsprachen. Ich kann aber in diesen Ladungen keinen Beweis einer Gegenkraft erblicken, denn es zeigten sich beim Abschnellen der Feder stets sehr lange Funken an der Unterbrechungsstelle, so dass also der Maschinenstrom damals gar nicht unterbrochen war. Erfolgte aber die Verbindung mit dem Elektrometer erst, als die Unterbrecherfeder durch ihre Ruhelage ging, also etwa 0·005 Secunden nach ihrem Abschnappen vom Excenter, so war die platinirte Endfläche des in die Feder eingeschraubten Stiftes bereits in 2·5 *cm* Entfernung von der Endfläche des darunter stehenden fixen Stiftes, dann war der Öffnungsfunke des Maschinenstromes zwischen den beiden Stiften verschwunden, dann empfing auch, wie gesagt, die Nadel keine Ladung mehr.

Die Polarisationsversuche konnten im elektro-technischen Institute nur ein paar Mal angestellt werden, um möglichst sicher zu gehen, führte ich eine Wiederholung derselben im physikalischen Cabinet durch, woselbst mir ein einpferdiger Gasmotor und eine Gramme'sche Maschine, die kurze Lichtbögen mit 4—5 Ampère erzeugte, zur Verfügung standen. Es machte sich diesmal eine neue Fehlerquelle störend bemerkbar, obwohl nämlich die Kathode mit zwei verschiedenen Punkten des Gasleitungsnetzes gut leitend verbunden war, floss die negative Elektricität des Extrastromes doch nicht mit genügender Raschheit zur Erde ab, so dass die Anode durch den Lichtbogen hindurch Negativladungen von ein paar Volt erhielt. Derartige Ladungen zeigten sich in annähernd gleicher Grösse, wenn der Lichtbogen durch vollkommen inductionsfreie Widerstände aus Neusilberstreifen von zusammen 6·4 Ohm ersetzt wurde; es ist also nicht zu befürchten, dass etwa der Effect eines erheblicheren Polarisationsstromes durch diese Negativladung der Elektrode verdeckt würde. Auch bei schwachen Strömen von 4—5 Ampère hatte der Inductionsfunke an der Unterbrecherstelle noch sehr bedeutende Länge: der fixe Stift des Unterbrechers wurde von einem

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Napf umgeben und absoluter Alkohol 1 *cm* hoch über die Endfläche dieses Stiftes gegossen; beim Abschnellen der Feder setzte der Inductionsfunke den Alkohol in Brand. Nach Erlöschen des Inductionsfunkens war auch diesmal keine + Nadelladung zu erzielen.

Mir scheint durch diese Versuche erwiesen, dass 0·005 Secunden nach der Stromunterbrechung keine irgend bedeutende elektromotorische Kraft im erlöschenden Lichtbogen vorhanden ist; an eine thermoelektrische Kraft von 40 Volt, wie dies neuerdings von Dub[1] halb und halb vermuthet wurde, vermag ich nicht zu glauben. Einer derartigen Ansicht steht auch die geringe Veränderlichkeit der Potentialdifferenz zwischen Anode und Lichtbogen und nicht zum Mindesten die Thatsache, dass verschieden tief in den Lichtbogen eingesenkte dünne Stifte trotz der enormen Temperaturdifferenz ihrer Spitzen so geringe Potentialdifferenzen aufweisen, entgegen.

16. Es soll übrigens eine mehr untergeordnete Rolle thermoelektrischer Kräfte im Lichtbogen nicht geleugnet werden, solche Kräfte machen sich auch noch im erlöschenden Lichtbogen bemerkbar.

Ich führte eine Wiederholung des Edlund'schen Polarisationsversuches aus, dabei floss der Strom einer Accumulatorenbatterie von 80 Volt durch Ballastwiderstände in ein Excenter aus Messing und vom Zahn des Excenters durch eine aufliegende Feder zur Anode in den Lichtbogen, um von hier zur Batterie zurückzukehren. Die Kathode des Lichtbogens war dauernd durch einen 100.000-Ohmwiderstand hindurch mit dem einen Ende eines d'Arsonvalschen Multiplicators in Verbindung; wenn man den Excenter drehte, so schnappte die Feder ab, unterbrach den Batteriestrom ohne auffälligen Inductionsfunken und stellte, auf einen darunterstehenden Stift aufschlagend, eine Verbindung der Anode des Lichtbogens mit dem andern bisher freien Ende des Muliplicators her. Nun standen also die Elektroden des Lichtbogens durch den 100.000-Ohmwiderstand und den Multiplicator, welcher bei so grossen Widerständen mit 0·5 Secunden Schwingungsdauer fast ohne Dämpfung schwang, mit einander in Verbindung; ein all-

[1] Centralbl. f. Elektrotechnik Bd. 10, 1888.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

fälliger Polarisationsstrom, so weit er seinen Weg nicht durch die Gluthzone in den Lichtbogen und vom Lichtbogen zurück in den Krater wählte, konnte durch den Multiplicator abfliessen. Hatte der horizontal gestellte Lichtbogen (Do 10*mm* als Anode, N 10*mm* als Kathode) mit 10 Ampère bei 48 Volt Spannung gebrannt, so gab der Muliplicator bei Unterbrechung des Stromes einen ersten Ausschlag nach rechts, ebenso gross, wie ihn etwa eine auftretende constante Polarisation von 0·46 Volt bewirkt hätte, die nächstfolgenden Schwingungen wurden um Punkte, die ebenfalls auf der rechten Seite der Scala lagen, vollzogen. Wurde ein Element von 0·67 Volt elektromotorischer Kraft zwischen Multiplicator und Zusatzwiderstand gegen den Sinn des Polarisationsstromes eingeschaltet, so erfolgte nach Unterbrechung des Batteriestromes ein erster Ausschlag nach links, derselbe liess wieder auf eine gegenelektromotorische Kraft von 0·3—0·45 (Volt) schliessen. Beim zweiten Ausschlag nach derselben (linken) Seite lag der Umkehrpunkt der Nadel noch weiter nach links, wodurch ein weiterer Rückgang der vom Lichtbogen ausgehenden elektromotorischen Kraft gegenüber der Kraft (0·67 Volt) des polarisirenden Elementes offenbar wurde.

Bei einer Stromstärke des Batteriestromes von 14 Ampère und bei 49 Volt Spannung des Lichtbogens reichte das Element von 0·67 Volt nicht mehr ganz aus, um bereits im ersten Ausschlag die Wirkung der Polarisation im Lichtbogen aufzuheben; die Nadel schwang also erst nach rechts, ging dann rückschwingend über den Nullpunkt hinaus, kehrte aber dann nicht mehr auf die rechte Seite zurück, sondern vollzog Schwingungen um Punkte, die auf der linken Seite der Scale legen.

Es ist ersichtlich, dass die Polarisationskräfte, welche sich bei diesen Versuchen in den Ausschlägen des Multiplicators offenbarten, niedrige Werthe hatten, lang aushielten und nur allmälig abfielen, sie waren bei grösserer Intensität des ursprünglichen Batteriestromes bedeutender und mögen ganz wohl thermischen Ursprungs gewesen sein.

In Allgemeinen dürften indess jene, welche in der hohen Spannung des normalen und wohl auch des zischenden Lichtbogens in erster Linie eine Äusserung bedeutender gegenelektromotorischer Kräfte erblicken, geneigt sein, des Weiteren auch das

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

hohe Entladungspotential von Funken, Büschel und Glimmlicht auf gegenelektromotorische Kräfte zurückzuführen. Versuchte doch auch Edlund gleicher Zeit im Funken und im Lichtbogen elektromotorische Kräfte nachzuweisen.

Diese Polarisationen würden mit von keiner Federschwingung erreichbarer Raschheit entstehen und vergehen, und da sind denn Beweis und Widerlegung beide gleich schwer.

17. Es war mir leider nicht mehr möglich, die elektrometrischen Versuche über den Zusammenhang von Stromesdichtigkeit und Stromstärke weiter auszudehnen, besonders um zu erfahren, bei welchen Stromstärken die rasche Abnahme der Lichtbogenspannung beginnt; dies wäre mir als weitere Controle der in dieser Arbeit niedergelegten Anschauungen von grossem Werth gewesen.

Eine derartige Untersuchung ist übrigens bereits von Joubert[1] für den Wechselstromlichtbogen, und zwar in einer Weise ausgeführt worden, dass der allgemeine Charakter der Beziehung zwischen Spannung und Stromstärke gewissermassen mit einem Blicke zu übersehen ist. Leider sind keinerlei Angaben über den Elektrodenquerschnitt und über die Intensitäten der Ströme gemacht, so dass kein Schluss auf die Stromesdichtigkeit möglich ist.

Joubert schaltete einen Lichtbogen in den Stromkreis einer Wechselstrommaschine, deren Ströme nach dem Gesetze einer Sinuscurve variirten, ein. Mit der rotirenden Welle der Maschine war ein Interruptor in Verbindung, der immer nur in einer bestimmten beliebig gewählten Phase der wechselnden Stromstärke zuliess, dass das Elektrometer durch die Elektroden des Lichtbogens geladen werde.

Indem man diese Phasen passend auswählte, wurde nach und nach der gesammte Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannung ersichtlich. Die Spannung des Lichtbogens hielt sich fast beständig zwischen 40 und 45 Volt, es muss also mit nur ganz kurzen zwischenliegenden Unterbrechungen bald von der einen, bald von der anderen Elektrode des Lichtbogens jener Entladungsvorgang ausgegangen sein, der die annähernd constante Spannungsdifferenz an der Anode herbeiführt und die hohe Gluth des Kraters verursacht.

[1] Joubert, Comp. rend. 91, p. 161.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wenn kein Strom vorhanden war, bestand auch keine Spannungsdifferenz; in dem Augenblicke, wo die Stromstärke im Begriff war, auf Null zu sinken, war ein rascher Abfall der Spannung wahrnehmbar. In dieser kurzen Zeit des raschen Spannungsabfalls gab es jedenfalls im Lichtbogen nur jene eine Entladungsform, die sich bei geringerer Lichtentwicklung in der Gluthzone um den Krater vollzieht und deren Spannungsgesetz durch die bedeutende Veränderlichkeit des Potentialsprunges an der Anode H_+ mit der Stromstärke J charakterisirt ist. (Siehe unter 5.)

Wenn der Strom nach seinem Abfall auf Null wieder in entgegengesetzter Richtung anstieg, so traten die hohen Spannungen von 40 Volt plötzlich wieder auf, das Kraterlicht brach also jedenfalls fast unvermittelt aus. Allerdings ist zu vermuthen, es möchte eine kurze Vorperiode in der nur Glutzonenleitung stattfand, der Beobachtung entgangen sein.

Eine Wiederholung derartiger Versuche an Lichtbögen mit ungleichen Elektroden möchte wohl für die Versuche von Jamin und Maneuvrier[1] eine andere Erklärung ergeben, als die von jenen Physikern durch die Annahme einer ungleichen Polarisation der Elektroden versuchte. Es mag z. B. das Kathodenbüschel aus einer Quecksilberelektrode früher hervorbrechen als aus einer gegenübergestellten Kohlenelektrode und so der Anschein erweckt werden, die Kohle wirke dem Strom mit einer um 103·7 Bunsen grösseren Polarisation entgegen als das Quecksilber. In ähnlicher Weise wurde bei einem von mir[2] beschriebenen Versuche, bei dem eine Kohlenscheibe als Anode diente, der Lichtbogen immer wieder sofort entzündet, wenn er in Folge der Rotation der Scheibe zerriss, während die einmal unterbrochene Entladung dann dauernd aufgehalten wurde, sowie die Scheibe als Kathode fungirte. Auch möchte der Umstand, dass die von Jamin und Maneuvrier wahrgenommenen Unterschiede mit der Bogenlänge zunahmen, dem Einflusse der Schlagweite zuzuschreiben sein.

18. Ich komme nochmals auf jenen Entladungsvorgang zurück, der sich beim normalen Lichtbogen in der Gluthzone rings um den

---

[1] Compt. rend. 94 1882.

[2] Loc. cit.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Krater abspielt und der vielleicht auch im Krater selbst einen gewissen Antheil an der Elektricitätsleitung nimmt. Diese Erscheinung charakterisirt sich durch die bedeutende Veränderlichkeit des Potentialgefälls bei wechselnder Stromesdichtigkeit, ich halte sie für identisch mit dem von Hittorf[1] beobachteten Entladungsvorgange: Schmelzen der Anode ohne sichtbaren Lichtbogen.

Zunächst folge eine Beschreibung der Messmethode, welche auch die bereits unter (6) mitgetheilten Resultate gewinnen liess.

Es waren sowohl die Stromesintensitäten, welche aus Zuleitungsstiften seitlich in den Lichtbogen übergingen, als auch die Veränderungen, welche die Stiftpotentiale beim Durchgang dieser Ströme erfuhren, in möglichst rascher Weise zu ermitteln.

Die bedeutende Abnützung, welche stromdurchflossene Stifte gerade an jenen Stellen, welche am weitesten in den Lichtbogen ragen, erfahren, vergrössert die Widerstände für die austretenden Ströme so schnell, dass eine kurze Dauer des Versuches ganz unerlässlich erscheint.

Ich ermittelte vor dem Versuche, als der seitlich in den Lichtbogen tauchende Stift noch von keinem Strome durchflossen war, die Spannung S des Lichtbogens und die Potentialdifferenz v_0 zwischen einem Vergleichungspunkt A und dem Stift.

Nun wurde der Stift durch einen bekannten Widerstand w mit der Anode des Lichtbogens verbunden, in Folge des durchfliessenden Stromes J nahm er das Potential v_1 an, die Differenz $H = v_1 - v_0$ war die Potentialerhöhung durch den Strom.

Die zugehörige Grösse J, die Stärke dieses Stromes war aus denselben Daten zu berechnen, ich musste nur auch noch die Potentialdifferenz p zwischen der Anode des Lichtbogens und dem Punkte A kennen; $p - v_1$ gab dann die Spannung an den Enden des Widerstandes w und $J = \frac{p - v_1}{w}$ die Grösse des durch den Stift in den Lichtbogen überfliesenden Stromes.

Von den Grössen v_0, v_1, p, welche sich zur Ermittlung von H und J nothwendig erwiesen, wurden die ersten zwei direct spannungsgalvanometrisch gemessen. Der Punkt A war nämlich

[1] Wied. Ann. 21 p. 112, 1884.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

mit dem einen Ende eines d'Arsonval'schen Multiplicators, dessen Empfindlichkeit durch nebengeschaltete Widerstände passend und in bekannter Weise regulirt wurde, in Verbindung; vom andern Ende des Multiplicators führte die Leitung durch einen Widerstand von 10000 SE zum Stift, dessen Potential ich zu ermitteln hatte. Dasselbe liess sich aus dem Ausschlag des Multiplicators, dem Reductionsfactor dieses Instrumentes und aus allen Widerständen, durch welche der Stift mit dem Punkte A verbunden war, berechnen.

Zur Kenntniss der Grösse p war nur die zu Anfang des Versuches gemachte Bestimmung der Lichtbogenspannung S, welche mittelst eines Siemens'schen Torsionsgalvanometers vorgenommen wurde, erforderlich, denn S stand zu p in constanter Beziehung. Ich hatte nämlich zwei mit Zinksulfatlösung gefüllte Rheostatenröhren, deren Widerstände a und b sich wie 0·87 zu 0·13 verhielten, hintereinander dem Lichtbogen parallel geschaltet. Das längere a grenzte an die Anode, das kürzere b an die Kathode an; der Punkt, wo die beiden Röhren a und b zusammenstiessen, bildete den Vergleichspunkt A für die Messung des Stiftpotentials. Die Potentialdifferenz zwischen der Anode des Lichtbogens und dem Punkte A war nun einfach $p = S\,\frac{a}{a+b} = S.0{\cdot}87$, falls kein Strom sich vom Stift aus durch die Mulipliticatorleitung in die beiden Rheostatenröhren verzweigte. Wenn ein Strom durch die Multiplicatorleitung abfloss, so hob er das Potential des Punktes p ein wenig, so dass eine kleine Correctur nothwendig wurde.

Der geschilderte Vorgang bei der Messung von J und H hat den Vorzug kurzer Dauer, der Strom J brauchte nur während der einen Ablesung von v_1 durch den Stift zu gehen und es waren auch kleine v_1 mit grosser Empfindlichkeit messbar, da sich das Potential des Stiftes dann wenig von dem des Vergleichspunktes A unterschied; anderseits basirt dieser Vorgang auf nicht vollkommen gerechtfertigten Voraussetzungen. Die Verbindung der Anode mit dem Stifte und hiemit die Abzweigung eines Stromes von der Anode hinweg und die seitliche Zuleitung desselben in den Lichtbogen muss nämlich sowohl die Spannung S und in Folge dessen die Potentialdifferenz p zwischen der Anode und dem Punkte

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

A vergrössern als auch die ganze Potentialvertheilung im Lichtbogen selbst bis zu einem gewissen Grade verändern. Die Grösse $H = v_1 - v_0$ wird von diesen Fehlerquellen nur wenig beeinflusst, die Intensitäten J werden aber zu klein gefunden und zwar in um so rascher zunehmendem Masse, je grösser sie sind. Wenn aber auch die Curven wie die unter (6) mitgetheilte derart zu sehr gekrümmt erscheinen, so kann doch der Grundcharakter der Beziehung zwischen J und H keine wesentliche Veränderung erlitten haben. Die bedeutendste dortselbst (6) mitgetheilte Intensität beträgt $J = 3{\cdot}5$ Ampère; wäre nun dieser Strom bei der Abzweigung von der Anode in den Stift vollkommen verloren gegangen und nicht wieder seitlich durch den Stift in den Lichtbogen zurückgekehrt, so hätte die eingetretene Veränderung der Spannungsverhältnisse des Lichtbogens einen Fehler von 10% bewirkt; da nun aber der Zweigstrom schliesslich doch wieder durch den Stift dem Lichtbogen zufloss, muss der Fehler geringer gewesen sein. Übrigens handelt es sich hier (6) ja um eine Vermehrung des Verhältnisses $w = \frac{H}{J}$ von 1·7 auf 5·2 Ohm, so dass das rapide Anwachsen von H bei zunehmendem J ausser Zweifel steht.

Auch Spannungsdifferenzen irgend welcher Natur, die von allem Anfang an, als noch gar kein Strom seitlich durch den Stift überfloss, vorhanden gewesen sein mochten, können diesen Allgemeincharakter der Erscheinung nicht berührt haben.

Beobachtungen wie die in Rede stehenden müssen in unmittelbarer Aufeinanderfolge bei ein und derselben Stellung und Form des Stiftes gemacht werden, da nur so gewonnene Werthepaare als zusammengehörig mit einander vergleichbar sind. Die Beobachtungen wurden zuerst bei den geringeren (J_0) und dann bei den grösseren (J_1) Intensitäten vorgenommen, und hernach wurde, ohne an der Stellung des Stiftes etwas zu ändern, auf die geringeren Intensitäten zurückgegriffen, um so auch den Einfluss, den das Abbrennen des Stiftes auf die Grösse H ausübt, zu eliminiren. Zu Anfang und am Ende jedes Beobachtungssatzes wurde die Spannung S des Lichtbogens und das Potential v_0 des isolirt in den Lichtbogen tauchenden Stiftes gemessen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Aus der Spannung der Batterie von meist 80 Volt, den Widerständen der Aufstellung und der Spannung des Lichtbogens liess sich schliesslich noch die Intensität des Batteriestromes annähernd ermitteln.

Streng vergleichbare Werthpaare können nur bei unveränderter Form und Stellung des Stiftes erhalten werden:

Wenn mit der Form der Stiftspitze die Stromesdichtigkeit verändert wird, so gibt sich dies alsbald in den Resultaten zu erkennen:

1. Stifte, die mit stumpferen und breiteren Spitzen in den Lichtbogen ragten, lieferten gestrecktere Curve.

2. Wenn umgekehrt vom Stifte aus feine Bäume in den Lichtbogen wuchsen, so nahm das Hinderniss oft für geringere Intensitäten ab, für stärkere Intensitäten konnte es sogar in Folge der gleichzeitig fortschreitenden Verbrennung des Stiftes zunehmen, derart wurden bei fortschreitender Baumbildug die Curven stärker gekrümmt.

Ich beobachtete beispielsweise abwechselnd bei geringeren J_0 und bei grösseren J_1 Intensitäten, während ein Baum sich vom Stifte aus zwischen die beiden Elektroden senkte, und erhielt, ohne sonst etwas an der Stellung des Stiftes zu ändern, nach einander die Werthe

H_0 (Volt)	J_0 (Ampère)	H_1 (Volt)	J_1 (Ampère)
2·95	1·22	15·4	4·13
2·41	1·24	16·4	3·98
1·93	1·39	19·0	3·85

Also bei fortschreitender Baumbildung: Abnahme des Hindernisses für die geringeren und Zunahme für die grösseren Intensitäten.

Wo möglich noch auffallender als dieser Einfluss der Stiftform ist der Einfluss der Stiftstellung, derselbe ist den grossen Widerständen zuzuschreiben, welche die dünne Gasschicht zwischen Stift und Lichtbogenkern dem Durchgang des Stromes entgegengesetzt. Ich erwähne beispielshalber Messungen, welche bei homogenen vertical gestellten Lichtbogenelektroden, und Stiften von 4 *mm* mit Maschinenströmen (17 Ampère) ausgeführt

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wurden. Ein Stift *a*, ich will ihn den Zuleitungstift nennen, empfing seinen Strom von einem Punkte des Rheostaten (höheres Potential als das der Lichtbogenanode); das Potential von *a* wurde mit dem eines zweiten in den Lichtbogen tauchenden Stiftes *b* verglichen. Zu Anfang des Versuches stand der Stift deutlich ausserhalb des Lichtbogenkerns tangential zur Peripherie desselben, wies nirgends eine besonders helle Stelle, welche sich mit Kraterlicht hätte vergleichen können, auf, und leitete 2·73 Ampère über, dabei war sein Potential gegen den ursprünglichen Zustand, wo ihn noch kein Strom durchfloss, um 44·5 Volt erhöht. Hernach wurde der Stift sich selbst parallel allmählig näher gegen den Lichtbogen geschoben, da trat, anfangs noch nicht sehr concentrirt, dann immer heller und schärfer umrissen, das blendend weisse Kraterlicht auf, und so wurde durch geringe Verschiebung auf continuirliche Weise ein stationärer Zustand erreicht, bei dem die entsprechenden durchschnittlichen Werthe für das Stiftpotential und für die überfliessende Stromstärke 37·5 Volt und 5·2 Ampère betrugen. Als ich den Stift wieder zurückschob, nahmen Potential und Stromstärke wieder angenähert die alten Werthe an. Es reichte also eine dünne Gasschicht zwischen Lichtbogenkern und Zuleitungsstift hin, um das Ausbrechen von Kraterlicht völlig hintanzuhalten und die Spannungsdifferenz des Stiftes gegen den Lichtbogen erheblich zu erhöhen. — Auch die Verbrennung, welche selbst bei geringer Intensität des seitlich austretenden Stromes gerade in den am weitesten vorragenden Theilen des Stiftes rasch beschleunigt vor sich geht, erhöht diese Spannungsdifferenz, indem sie die Entfernung zwischen Stift und Lichtbogenkern vergrössert.

Wenn sich also auch alle Partien des Stiftes, sofern sie noch in den Flammenmantel des Lichtbogens zu liegen kommen, an der Elektricitätsvermittlung in merklichem Grade betheiligen, so tritt der Strom doch meist an jenen Stellen über, welche dem Lichtbogenkern am nächsten liegen. Derart lagern sich bei wachsender Entfernung eines Stiftes stets grössere Widerstände zwischen Lichtbogenkern und Stift, und die Curven, welche das Potential (als Ordinate) und die Stromstärke (als Abscisse) in ihrem gegenseitigen Zusammenhang versinnlichen, steigen immer steiler und getreckter zu den hohen Potentialen auf.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Eine schlechter leitende Zwischenschicht kühleren Gases, welche bei wachsender Intensität des Stromes immer mehr schwinden müsste, ist wohl auch dann vorhanden, wenn Stift und Lichtbogen — wie in (6) — sich zu berühren scheinen; ihr Einfluss, von den Potentialwerthen der Curve in (6) in Abzug gebracht, würde zwar die Ordinaten geringer, die Krümmung der Curve aber bedeutender erscheinen lassen. Auch nach Abzug dieser Correctur würde übrigens die Curve noch nicht den Zusammenhang zwischen Stromesdichtigkeit und Anodenhinderniss wiedergeben, da ja bei stufenweiser Steigerung des seitlich eintretenden Stromes immer weitere Stellen des Stiftes nahe an den Lichtbogen heranrückten, derart musste jene Zone, welche die Überleitung der Elektricität in relativ bedeutender Dichtigkeit besorgt, fortwährend an Ausdehnung gewinnen.

19. Braun[1] hat für Elektroden, welche durch Bunsenflammen ganz geringe Ströme vermittelten, bei wachsender Intensität an den Austrittsstellen dieser Ströme in die Flamme rasches Wachsen des Übergangswiderstandes constatirt. Es handelt sich hier zwar nur um äusserst geringe Ströme, aber immerhin erinnert der Charakter dieser Beziehung zwischen Übergangswiderstand und Stromstärke an den Zusammenhang zwischen Anodenhinderniss und Stromstärke, welcher beim Lichtbogen für nicht übermässig starke Zweigströme wahrgenommen wird.

So lange der Stift nahe dem Lichtbogenkern steht, ist allerdings ein unipolares Leitungsvermögen für schwache Ströme, wie es bei Flammen besteht, nicht wahrzunehmen. In diesem Falle scheinen in den Stift ein- oder austretende Ströme bei ihrem Übergange vom Stromsinn und innerhalb enger Grenzen auch von der Stromstärke unabhängige Widerstände zu überwinden:

1. Der Stift wurde in passende Lage gebracht und hernach wurden bei geringerer J_0, dann bei grösserer J_1 und hernach wieder bei geringerer J_0 Intensität die Grössen J und H nach der in (18) beschriebenen Methode bestimmt. Neun derartige Beobachtungssätze lieferten im Mittel

$$i_0 = 0{\cdot}386 \text{ Ampère} \qquad h_0 = 0{\cdot}913 \text{ Volt}$$
$$i_1 = 0{\cdot}908 \quad \text{„} \qquad h_1 = 2{\cdot}34 \quad \text{„}$$

[1] Braun, Pogg. Ann. Bd. 154, S. 481, 1875.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Das Verhältniss $\frac{W_1}{W_0}$, für jeden einzelnen Beobachtungssatz berechnet, ergab den Mittelwert:

$$\frac{W_1}{W_0} = 1 \cdot 09 \pm 0 \cdot 041;$$

hier ist unter W wieder der Quotient $\frac{H}{J}$ verstanden.

2. Der Stift wurde wieder möglichst dicht an den Lichtbogen herangeschoben und dann bei unveränderter Stellung abwechselnd durch bekannte Widerstände mit der Anode des Lichtbogens oder mit der Kathode der Batterie und hierauf wieder mit der Anode verbunden. Derart flossen abwechselnd Ströme von $J_+ = 0 \cdot 874$ Ampère durch den Stift in den Lichtbogen oder aus dem Lichtbogen ($J_- = 0 \cdot 394$ Ampère) in den Stift. Dabei gab der d'Arsonval'sche Multiplicator abwechselnd positive und negative Ausschläge, aus welchen nach der in (18) beschriebenen Methode J_+ und H_+, beziehungsweise — da das Potential der Kathode der Batterie bekannt war — nach den selben Grundsätzen auch J_- und H_- bezeichnet wurden. Das gegenseitige Verhältniss $\frac{W_+}{W_-}$ der Quotienten $W_+ = \frac{H_+}{i_+}$ und $W_- = \frac{H_-}{i_-}$ wurde für sieben derartige Beobachtungssätze getrennt gerechnet. Als Mittelwerth ergab sich

$$\frac{W_+}{W_-} = 0 \cdot 986 \pm 0 \cdot 055.$$

So lange der Stift bis dicht an die heissesten Theile des Lichtbogens ragt, bieten sich also ein- und austretenden schwachen Strömen annähernd gleiche Widerstände dar; diese Widerstände nehmen rasch zu, je mehr man den Stift vom Lichtbogenkern entfernt, und zwar wahrscheinlich stärker für die negativen (vom Lichtbogen durch den Stift abfliessenden) Ströme als für die entgegengesetzt gerichteten positiven. Schliesslich, wenn der Stift nur mehr in die Aureole reichte und positive Ströme bei 50 Ohm Widerstand zu überwinden hatten, wurden für negative Ströme mehrfach und vielfach grössere Widerstände gefunden. Hier herrschten also Zustände, wie in den gewöhnlichen Flammen, wo

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

auch an der Kathode ungleich grössere Übergangswiderstände sind als an der Anode.

20. Das Vorhergehende bot mehrmals Beispiele, dass die Entladungsvorgänge in der Glutzone neben denen in der Kraterfläche eine bedeutende Rolle zu spielen vermögen. Der Antheil der beiden Erscheinungen an der Elektricitätsvermittlung wird bei Lichtbögen von nur zwei Elektroden nicht immer derselbe sein, ebensowenig nimmt die Ausdehnung des Kraters immer proportional mit der Stromstärke zu. Ich stellte die Anode (N_{12} *mm*) eines Lichtbogens unter eine Kathode aus gleichem Material und entwarf ein Bild des Lichtbogenkraters auf der transparenten Scala eines Flammenmasses. Da das Flammenmass dem annähernd kreisförmigen Krater nicht direct gegenüberstehen konnte, so musste das Bild elliptisch erscheinen. Die Länge der grossen Achse a der Ellipse wurde an der Scala des Flammenmasses abgelesen, a^2 musste der Kraterfläche proportional sein. Es wurden abwechselnd Ströme $i_0 = 12 \cdot 9$ und $i_1 = 7 \cdot 34$ Ampère durch den Lichtbogen gesendet und gleichzeitig immer die Grössen a_0, a_1 bestimmt. Während die Ströme im Verhältnisse $\frac{i_0}{i} = 1 \cdot 764$ standen, war das Verhältniss der Flächen $\frac{f_0}{fi} = 2 \cdot 57 \mp 0 \cdot 088$. Die Ungleichheit der beiden Verhältnisse kann nicht durch störende Irradiationswirkungen hervorgebracht sein, da färbige Gläser, zwischen den Lichtbogen und das Flammenmass geschoben, die Grösse des Kraterbildes unverändert erscheinen liessen.

Auch dieses eigenthümliche Wachsthum des Kraters muss wohl die Spannungsverhältnisse der Erscheinung beeinflussen und derlei wird bei künftigen Arbeiten über den Lichtbogen Berücksichtigung verdienen.

Beispielsweise steigt die Spannungsdifferenz zwischen der Anode und dem Flammenmantel des Lichtbogens beträchtlich, wenn derselbe zwischen sehr dicken Elektroden brennt, darin muss aber noch nicht mit Nothwendigkeit ein directer Einfluss der Abkühlung gesehen werden. Als ich mit der Spitze eines Stiftes möglichst dicht unter die Glutzone eines aufrechten Lichtbogens von $5 \cdot 2$ Ampère, der zwischen (N 20 *mm*) als Anode und (N 8 *mm*) als

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kathode brannte, fuhr, so war das Potential des Stiftes um $H = 47 \cdot 1 \pm 0 \cdot 67$ Volt niedriger als das der Anode, während bei dünneren Anoden und stärkeren Strömen (siehe unter 3) $H_1 = 33 \cdot 7 \pm 0 \cdot 46$ für einen in den Lichtbogenkern dringenden Stift gefunden wurde. Es ist nun auffallend, dass solche Lichtbögen mit sehr dicken Anoden punktförmige Krater hatten, so dass also nicht gerade die Temperatur als Ursache der Veränderung von H angenommen werden muss.

Ähnliche, nur viel geringere Variationen in den Potentialverhältnissen des Lichtbogens werden auch bei geringen Veränderungen der Stromstärke wahrgenommen:

Ich nahm *Do* 18 *mm* als Anode und stellte darunter N 12 *mm* als Kathode und mass nun für drei verschiedene Bogenlängen, deren Werthe mittelst eines Flammenmasses ermittelt wurden, die Spannungen S_0 und die Intensitäten J_0 des Lichtbogens, sowie auch die Beträge dS, um welche die Spannungen S abnahmen, wenn J um dJ vermehrt wurde. Der Controle halber wurde hernach wieder eine Verminderung um dJ vorgenommen und die entsprechende Spannungsvariation dS beobachtet.

Es wurde nun die Voraussetzung gemacht, die Spannungsvariation gehe ganz innerhalb des Lichtbogens von der Länge l vor sich; darnach wurde der Werth $\frac{dS}{dJ}\ \frac{1}{l}$ für die einzelnen Fälle berechnet, d. h. es wurde die Spannungsvariation per Millimeter des Lichtbogens berechnet. Die folgende Tabelle enthält in ihrer vierten Colonne die mittleren Werthe dieser Variationen. Die Intensitäten J (zweite Colonne) sind die Mittelwerthe aus J_0 und $J_0 + dJ$, also die Werthe $Jo + \frac{dJ}{2}$, ebenso ist $S = So - \frac{dS}{2}$

Die Spannungsvariationen dJ betrugen im Durchschnitt 6 Ampère

Bogenlänge *mm*	J Ampère	S Volt	$\frac{1}{l}\frac{dS}{dJ}$	$\frac{dS}{dJ}$
3·59	20.6	45·4	$0 \cdot 142 \pm 0 \cdot 002$	0·510
6·78	21·0	50·0	$0 \cdot 104 \pm 0 \cdot 003$	0·703
9·70	20·4	53·4	$0 \cdot 062 \pm 0 \cdot 001$	0·602

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Werthe der dritten Colonne erscheinen von der Bogenlänge in hohem Masse abhängig, im Gegensatze dazu behalten die Werthe $\frac{dS}{dJ}$ wenigstens immer gleiche Grössenordnung: d. h. bei einer Veränderung der Intensität J wurde in erster Linie das Glied a im Ausdrucke $S = a + bl$, der die Beziehung zwischen Spannung und Bogenlänge l zum Ausdrucke bringt, geändert. Natürlich soll damit nicht geleugnet werden, dass das Potentialgefälle bei schwächeren Strömen mit steigender Stromstärke im Lichtbogen selbst sehr stark zurückgeht.

Die ausgesprochene Vermuthung, es möchten Intensitätsvariationen im vorliegenden Falle vor Allem die Spannungsdifferenz zwischen Lichtbogen und Anode herabsetzen, wird durch Beobachtung der Schwankungen im Potential des Bogens gestützt. Es wurde ein Stift in halber Höhe eines Lichtbogens (Spannung S und Länge l) in den Flammenmantel gebracht und das Stiftpotential mit dem der Lichtbogenanode verglichen; der bezügliche Potentialunterschied v erfuhr bei der Vermehrung des Stromes J um dJ eine Verminderung um dv, gleichzeitig ging auch die Spannung S um dS zurück. Nun wurde in ähnlicher Weise, wie bei den unmittelbar vorhergehenden Versuchen, wo es sich um $\frac{dS}{dJ}$ handelte, jetzt $\frac{dv}{dS}$ bestimmt. Das Material war dasselbe wie bei diesen früheren Versuchen und ferner war $J = J_0 + \frac{dJ}{2} = 21$ Ampère und $S = S_0 - \frac{dS}{2} = 51 \cdot 7$ Volt. Ich fand $\frac{dv}{dS} = 0 \cdot 856 \pm 0 \cdot 038$, der Potentialrückgang erfolgte also grösstentheils auf Seiten der Anode.

In anderen Fällen, wo Homogenkohle in Verwendung stand, und die Stromstärke verhältnissmässig sehr bedeutend war, ergab sich bei Anwendung derselben Methode nur geringe Abhängigkeit des Anodenhindernisses von der Stromstärke. Indess konnte ich auch bei Homogenkohle niemals ein Ansteigen der Spannung bei wachsender Stromstärke wahrnehmen, wie dies von Nebel[1] beobachtet wurde.

---

[1] Exner's Repert. 1886, S. 527 u. ff.

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Immerhin beweist z. B. ein Versuch von Arons,[1] dass bei sehr rasch verlaufenden Variationen des Stromes die Spannung des Lichtbogens zugleich mit der Stromstärke steigt und fällt; ungefähr wie dies bei einem kleinen Widerstande der Fall ist.

Ich bemerke aber an dieser Stelle, dass mir die Annahme, die Spannung habe bei diesem Versuche nur in der Gasstrecke variirt und sei einzig und allein dem Widerstande derselben zuzuschreiben, sehr gewagt erscheint.

[1] Wied. Ann., Bd. 30 (1887).

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: 1889

Band/Volume: 98_2a

Autor(en)/Author(s): Luggin Hans

Artikel/Article: Über die Art der Elektricitätsleitung im Lichtbogen 1192-1239