

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Experimentelle Untersuchung der Kommutation mit besonderer Berücksichtigung der Änderung der Übergangsspannung und der Verteilung des Energieverlustes zwischen Kommutator und Bürste**

**Jordan, Friedrich**

**Berlin, 1909**

4. Das Wesen der Funkenbildung

[urn:nbn:de:bsz:31-274862](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-274862)

so wird man finden, daß sich die Lauffläche unter der negativen Bürste schwärzt, während sie unter der positiven Bürste blank bleibt und die Kanten angefressen werden. Dafür wird dort die ablaufende Kante der Bürste matt und färbt sich schließlich. Nun hat man aber zu beachten, daß sich bei Überkommulation die Richtung von Strom und Spannung in der ablaufenden Bürstenspitze gegen die Richtung in der auflaufenden Kante umkehrt. An der positiven Bürste ist die Spitze nicht mehr Kathode, sondern Anode und an der negativen Bürste ist sie zur Kathode geworden.

Schleifen, wie das gewöhnlich der Fall ist, beide Bürsten auf derselben Fläche, so verwischen sich die Erscheinungen. Es färbt sich dann auch die andere Bürste etwas, während sich die angefressenen Teile der Lamellen mit dem schwarzen Überzug bedecken.

Die Isolation des Kommutators der Versuchsmaschine war mit etwa 1 mm Tiefe ausgeschabt, um Störungen durch abgeriebene Isolationsteilchen zu vermeiden. Diese Störungen erwiesen sich bei den Vorversuchen als sehr beträchtlich, so daß es nicht gelang auch nur für kurze Zeit einen unveränderlichen am ganzen Umfang gleichen Zustand des Kommutators zu erreichen.

Die losen Kohleteilchen werden von den Bürsten auch in die Isolationsrillen gestrichen, die sich bald damit anfüllen. Bei genügend hoher Spannung zwischen zwei Lamellen geht Strom (s. Fig. 24 u. 55) über und es entsteht dann die Gefahr, daß Rundfeuer auftritt. Kommutatoren mit ausgeschabter Isolation werden also auch einer gewissen Wartung mit Hinsicht auf diesen Umstand bedürfen.

#### 4. Das Wesen der Funkenbildung.

Wenn man den beschriebenen Erscheinungen auf den Grund kommen will, muß man vor allem daran denken, daß der Begriff des „Übergangswiderstandes“ hier in besonderer Weise aufgefaßt werden muß. Er ist als Quotient aus der Übergangsspannung und dem entsprechenden Strom definiert. Dabei ist stillschweigend vorausgesetzt, daß es sich stets um inniges Berühren der Flächen handelt, zwischen denen der Stromübergang stattfindet; daß man es also bei Schleifringen und Kommutatoren mit reinem Gleiten der Kohle auf dem Metall zu tun hat.

Daß dem aber nicht so ist, geht zur Genüge aus dem Umstand hervor, daß, wenn man bei den Kohleuntersuchungsapparaten, wie sie Arnold angegeben und Kahn<sup>1)</sup> bei seinen Untersuchungen

<sup>1)</sup> Kahn, „Der Übergangswiderstand von Kohlebürsten“. Sammlung Elektrotechn. Vorträge, Stuttgart 1902.

benutzt hat, vom glatten Schleifring zum kommutatorartig aufgebauten übergeht, die Übergangsspannung stark steigt und der Reibungskoeffizient bedeutend kleiner wird.<sup>1)</sup>

Das deutet daraufhin, daß der Vorgang beim Gleiten so ist, daß einmal die Bürste in direkter metallischer Berührung mit dem Kommutator ist, und sich dann ganz von ihm entfernt. Der Stromübergang findet nur während des metallischen Berührens statt. Das Spiel wiederholt sich fortwährend. Die Zeiten des Spiels und der entstehende Abstand sind natürlich ganz außerordentlich klein, so daß äußerlich ein erschütterungsfreies Laufen und ein konstanter Betrag von Strom und Übergangsspannung sich einstellt.

Trennt man in den Untersuchungsapparaten die Kohle ganz vom Schleifring, so steigt die Spannung zwischen beiden bis auf die Klemmenspannung der Batterie. Bei sehr kleinen Zeiten der Trennung ist das nicht möglich. Es stellt sich ein Mittelwert ein, der höher liegt als die reine Übergangsspannung.

Bei einer Kommutatormaschine ist die der Batteriespannung entsprechende Spannung die in den kurzgeschlossenen Spulen induzierte EMK. Bei ungünstigen Kommutationsverhältnissen vollzieht sich, wie die Oszillogramme im Abschnitt 2 (VI.) zeigen, die Stromwendung sehr schnell. Der Strom wird auf eine kurze Strecke der Bürste zusammengedrängt und der Wert der Übergangsspannung nach den gegebenen Gesichtspunkten geändert. An den übrigen Stellen reicht dann die Spannung nicht aus, während der Zeit des metallischen Berührens einen zusätzlichen Strom fließen zu lassen, da diesem Wege auch der Ankerzweig parallel geschaltet ist. Es treten dann zwischen der Bürste und der Lamelle, auch ohne daß Stromübergang stattfindet, den in der Spule induzierten EMK entsprechende Spannungen auf.

Diese Spannungen können relativ sehr hohe Werte erreichen, höhere als sie eine reine Übergangsspannung je annehmen kann.

Daß diese Spannungen nicht von hohen Stromdichten herühren, ist bei Überkommutation sicher. Also sind die Stromdichten und Energiedichten auch nicht die Ursache der Färbung und der Funkenbildung. Auch bei Unterkommutation, wo am Ende der Lamellenstromkurve (Fig. 13, 22, 23) noch beträchtliche Ströme vorhanden sind, könnten die hohen Spannungen nicht allein von den Stromdichten verursacht werden, denn die haben viel eher, wie wir gesehen haben, die Tendenz, die Spannung herunterzudrücken.

Auch der Umstand, daß an den auflaufenden Kanten, wo sehr erhebliche Stromdichten auftreten können, die Lamellen stets blank

<sup>1)</sup> Liska, Die Reibung von Dynamobürsten (Arbeiten aus dem elektrotechn. Institut Karlsruhe 1908—1909. S. 71).

bleiben, beweist, daß die Stromdichten mit den beschriebenen Erscheinungen nichts zu tun haben.

Der Strom der Funken ist unter allen Umständen sehr gering. Man kann es deshalb bei der Funkenbildung nicht mit Lichtbogen zu tun haben.

Man hat zwar die Funken an Kommutatoren als kleine Lichtbogen angesehen und man ist sogar soweit gegangen, anzunehmen, die ganze Stromleitung zwischen Kohle und Kupfer beruhe auf sehr kleinen über die ganze Berührungsfläche verteilten Lichtbogen.

Nun ist aber das charakteristische an einem Lichtbogen der Umstand, daß die Elektroden infolge des Stromdurchgangs auf so hoher Temperatur sind, daß sie Ionen aussenden, auf deren Anwesenheit im Luftraum die Stromleitung beruht.

Für die Lichtbogen besteht bekanntlich die Beziehung

$$V = m + u \cdot l,$$

worin  $V$  die Spannung zwischen den Elektroden,  $l$  die Länge des Bogens und  $m$  und  $u$  Konstante sind. Zur Unterhaltung und zum Entstehen sind also Spannungen von bestimmter Größe nötig, die höher liegen ( $\leq 20$  Volt) als sie je hier erreicht werden.

Ein Lichtbogen zwischen Kohle-Kupfer-Elektroden ist zudem nur möglich, wenn die Kohle Kathode ist. Darauf beruht die Ventilwirkung des Wechselstromlichtbogens.

Der Funken, wie er bei der Kommutation auftritt, ist also ein Glimmstrom. Er tritt zwischen Bürste und Lamelle auf, sowie sie sich voneinander trennen und eine genügend große Spannung zwischen ihnen vorhanden ist. Das wird meist an der ablaufenden Kante der Fall sein. Der Funken kann höchstens für die Dauer des Fortschreitens um eine Isolationsbreite bestehen.

Nun sind die Potentialdifferenzen, die zur Erzeugung derartiger Funken zwischen Elektroden in Luft nötig sind, meist noch viel größer, als die zur Aufrechterhaltung von Lichtbogen nötigen.

Es sind aber Versuche bekannt, die sowohl der Spannung als auch der Funkenlänge nach hierher passen. Kinsley<sup>1)</sup> hat Versuche angestellt mit Funkenlängen von  $3 \cdot 10^{-7}$  cm und einem Volt Funkenspannung. Andere Beobachter<sup>2)</sup> haben für Funkenlängen von 0,05 cm bis 0,1 cm zwischen Platten 8,94 bis 14,7 Volt und wieder andere zwischen Kugeln von 1 cm bis 0,25 cm Radius bei 0,01 cm bis 0,07 cm Funkenlänge, 3,8 bis 12,29 Volt gefunden.

Ist nun auch unter den Bürstenkanten die Spannung gegen

<sup>1)</sup> J. J. Thomson, Conduction of Electricity through Gases. Cambridge 1906. S. 357 ff.

<sup>2)</sup> l. c.

die Lamelle groß genug, so können sich solche sehr kurze Funken auch dort ausbilden, während der Zeit, in der, wie angenommen, ein sehr kleiner Luftraum zwischen beiden besteht.

Wenn an derselben Stelle mehrere Funken kurz nacheinander übergehen, so ist ein geringerer Spannungsbetrag zur Aufrechterhaltung nötig als zur Zündung. Dann aber zerstäubt ein Glimmstrom seine Kathode, wobei weniger an eine thermische als eine mechanische Wirkung zu denken ist, obwohl auch erstere zu dieser Wirkung beiträgt. Diese Zerstäubung muß auch eintreten, wenn die Funken noch nicht sichtbar sind. Diese Zerstäubung der Kathode ist nun die Ursache für das Schwärzen und Anfressen des Kommutators (Zerstäuben der Kohle) und für das Mattwerden und Färben der Bürsten (Zerstäuben von Metall der Lamelle).

Der Vorgang beim Färben der Bürsten ist nun nicht so zu denken, daß sich die Färbung von der ablaufenden Kante her weiter verbreitet, weil dort die Bürste angefressen worden ist. Vielmehr tritt sie gleichzeitig überall da auf, wo die in der kurzgeschlossenen Spule induzierte EMK ausreicht die Färbung hervorzurufen, und ist ihr entsprechend verschieden stark. Es kommt dabei nicht auf die örtlichen Mittelwerte, sondern nur auf die Höchstwerte an.

Da wo die Bürste nur matt geworden oder auch nur schwach gefärbt ist, findet, wenn man z. B. von Überkommutation zu Unterkommutation übergeht, noch Stromübergang statt, doch ist der scheinbare Übergangswiderstand gegen früher erhöht. Wenn aber nach stärkerer Funkenbildung der Kommutator und die Bürste sorgfältig gereinigt werden, kann der gefärbt gewesene Teil der Bürste nicht mehr als aktive Bürste angesehen werden.

Bei Unterkommutation ist es möglich, daß ein Teil des Stromes sich auch über die Funkenbahnen schließt. Die Temperatur der Funken könnte dadurch erhöht werden. Das würde dann die Beobachtung erklären, auf die schon hingewiesen wurde, daß nämlich die Funken bei Unterkommutation schädlicher sind als bei Überkommutation.

In allen Fällen aber ist der Strom in den Funken sehr klein und deshalb sind auch die Wärmeverluste im Funken unbeschadet der hohen Temperatur der Funken selbst sehr klein. Die Energiedichte kann gleichwohl sehr erheblich sein, doch läßt sich darüber nichts aussagen.

Die Vorgänge werden noch insofern getrübt, als in den Funkenbahnen zweifellos ein Teil der Kohleteilchen verbrennt und dabei leuchtet, während bei einem reinen Glimmstromfunken nur das Gas leuchtend ist.