

Über den Sahulka'schen Gleichstrom im Wechselstromlichtbogen Eisen—Kohle

Franz Gold.

Aus dem physikalischen Institute der k. k. Universität in Innsbruck.

(Mit 2 Textfiguren.)

Fr. Sahulka¹ stellte durch eine Reihe von Versuchen fest, dass im Wechselstromlichtbogen zwischen einer Eisen- und Kohlenelektrode ein verhältnissmässig starker Gleichstrom in der Richtung Eisen—Kohle auftritt. Die Resultate wurden durch die ablenkende Einwirkung des Stromes auf eine Magnetonadel gewonnen, wodurch von vornherein die Möglichkeit der Fehlerquelle nicht ganz ausgeschlossen erscheint, dass der beobachtete Gleichstrom durch den Einfluss des Wechselstromes auf die Magnetonadel zu erklären sei.²

Ich machte daher dieselben Versuche nochmals, aber mit Benützung eines Kupfervoltameters zur Constatirung des Gleichstromes. Dabei hatte ich unter dem Übelstande zu leiden, dass bei mir die Messung längere Zeit dauerte. Nun ist es, wie wiederholte Versuche zeigen, nicht gleichgiltig, ob die Eisenelektrode einen ausgebildeten Tropfen trägt oder nicht, ob der Bogen ruhig brennt oder ob er spritzt; deshalb schaltete ich ohne Stromunterbrechung das Kupfervoltameter durch einen

¹ Sahulka, diese Berichte, 103, S. 414, 1894.

Nur bei besonders gehärteten Stahlmagneten übt der Wechselstrom keine richtende Kraft aus. Die Magnetonadeln der gewöhnlichen Tangenteboussole u. dergl. werden durch Wechselströme stark abgelenkt, wobei die Richtung von der Anfangslage der Nadel abhängig ist.

Nebenschluss rasch aus, sowie der Bogen unruhig wurde. Da dies jedoch nicht immer bewirkt werden konnte, so geben die folgenden Zahlen nur Näherungswerthe an. Die Stärke und die Beschaffenheit der Elektroden war dieselbe, wie sie Sahulka anwendete, nämlich ein Eisenstab von 4 *mm*, eine Dochkohle von 10 *mm* Durchmesser. Die Fläche der Kupferelektroden war je 160 *cm*²

In der folgenden Tabelle steht an erster Stelle die Stromstärke des Wechselstromes (*A*), welche durch Regulirung des Lichtbogens ohne Änderung des vorgeschalteten Widerstandes constant erhalten wurde, an zweiter Stelle die Dauer der einzelnen Versuche (*T*), an dritter die Gleichstromstärke (*A'*), welche das Kupfervoltmeter lieferte. Die Stellung der Elektroden war eine verticale, und zwar Eisen unten, Kohle oben.

<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A'</i>
5	15 Minuten	3·20 Ampère
6	15	4·05
7	20	4·75
7	20	4·76

Die folgende Tabelle enthält die Werthe, welche sich ergaben, wenn Eisen oben und Kohle unten war.

<i>A</i>	<i>T</i>	<i>A'</i>
5	15 Minuten	3·07 Ampère
5	15	3·16
5	15	3·29
6	15	3·88
6	15	3·89
6·6	15	4·23
7	15	4·78
7	15	4·62
7	10	4·67
8	15	5·59

Zu ähnlichen Resultaten gelangte ich bei horizontaler Lage der Spitzen. Es ist somit der Sahulka-Effect von der Lage der Spitzen unabhängig. Die Versuche mit höheren

Stromstärken mussten wegen des starken Schmelzens des Eisens aufgegeben werden.

Ausserdem zeigte sich regelmässig die merkwürdige Thatsache, dass der auftretende Gleichstrom weit schwächer war, wenn die Eisenelektrode während der Versuchszeit öfter sprühte, was immer eintrat, wenn dieselbe keinen Tropfen trug. So gab z. B. ein 8 Ampère starker Strom nur $4\cdot83 A$, oder gar nur $4\cdot27 A$ statt $5\cdot59 A$, wenn der Lichtbogen sprühte.

Einen weiteren und sehr bequemen Beweis für das Auftreten des Sahulka'schen Gleichstromes bietet folgender Versuch. Bekanntlich lenkt ein Magnet den Gleichstromlichtbogen nach einer, den Wechselstromlichtbogen nach zwei Seiten ab; ein Wechselstromlichtbogen Eisen—Kohle wird durch den Magneten so abgelenkt, als ob von Eisen zu Kohle ein Gleichstrom flösse.

Nachdem so die von Sahulka entdeckte Thatsache über jeden Zweifel gesichert erscheint, liegt die Idee nahe, eine Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung zu suchen. Zunächst stellte ich Versuche an über das Verhalten des Gleichstromlichtbogens Eisen—Kohle. Als Stromquelle diente mir eine Accumulatorenatterie von 60 Volt. Ein Hitzdrahtvoltmeter diente zur Messung der Potentialdifferenz des Gleichstrom-Lichtbogens, ein Ampèremeter zur Bestimmung der Stromstärke; ausserdem wurde noch ein Rheostat und ein Commutator eingeschaltet. Die Bogenlänge wurde durch einen Keil gemessen. Die Beobachtungen geschahen in folgender Weise. Zuerst wurde Stromstärke, Potentialdifferenz und Bogenlänge für eine Stromrichtung bestimmt, dann wurde der Commutator umgelegt und, nachdem durch Regulirung des Lichtbogens dieselbe Stromstärke erzielt worden war, Spannung und Bogenlänge wieder gemessen. Der vorgeschaltete Widerstand blieb derselbe. Dabei zeigte sich, dass die Potentialdifferenz im zweiten Falle ganz dieselbe war, wie im ersten, bis auf wenige Ausnahmen, in denen übrigens der Unterschied höchstens $0\cdot2 V$ betrug. Anfangs wurden die Versuche mit denselben Elektroden angestellt, wie bei Anwendung von Wechselstrom. Da sich aber in der 10 *mm* starken Dochkohle bald ein Krater bildete, der die Messung des Bogens sehr erschwerte, so wurden auch

Kohlen von 4 und 6 *mm* Dicke verwendet; das Eisen war wie früher 4 *mm* stark.

In der folgenden Tabelle enthält die erste Columnne (*A*) die Stromstärke, die zweite (*V*) die Potentialdifferenz, die dritte (*B*) die Bogenlänge bei der Stromrichtung Kohle—Eisen, die vierte (*B'*) die Bogenlänge für die entgegengesetzte Stromrichtung, die fünfte (*V.-A.*) die Volt-Ampère, die sechste (*D*) die Kohlenstärke. Aus den vielen hundert Beobachtungen sollen nur jene angeführt werden, welche dann vorgenommen wurden, wenn der Lichtbogen ruhig und ohne Sprühen brannte und die Eisen-elektrode einen ausgebildeten Tropfen trug. Es sind Mittelwerthe die aus Sätzen von 5 bis 15 Ablesungen zusammengestellt sind. An erster Stelle (I.) befindet sich das Resultat aus einer Reihe von Beobachtungen, bei denen ein kleinerer Widerstand eingeschaltet war, als in (II.).

<i>A</i>	<i>V</i>	<i>B</i>	<i>B'</i>	<i>V.-A.</i>	<i>D</i>
		<i>mm</i>			
I.					
3·5	39·5	3	2·4	138	4
4	36	2·75	2·26	144	
4·5	33	2·38	1·9	148	
5	30	2·0	1·5	150	
5·5	27·6	1·9	1·16	151	
6	25	1·6	1	150	
6·5	22	1·0	0·8	143	
4	36	3·45	2	144	6
4·5	33	3	1·85	148	
5	29·7	2	1·45	148	
5·5	27	1·6	1	148	
6	24·2	1·1	0·88	145	
6·5	22	0·98	0·82	143	
5	31	4	2·8	155	
5·5	28	2·6	1·6	154	
6	25·7	2·3	1·3	154	
6·5	23	1·65	0·95	149	
II.					
3·5	33·2	2·83	1·93	116	4
4	30·06	2·5	1·6	120	
4·5	26·4	1·99	1·09	118	
4·7	23·7	1·4	0·88	121	
5	21·7	1	0·78	108	

Aus den vorliegenden Zahlen erhellt:

a) Dass die Bogenlänge bei derselben Stromstärke und derselben Spannungsdifferenz bedeutend geringer ist, wenn der Strom im Lichtbogen von Eisen zu Kohle fliesst, als für die entgegengesetzte Richtung;

b) dass sich auf diesem Wege kaum ein allgemeines Gesetz ableiten lassen wird, welches das Verhältniss zwischen den drei Grössen und der Stromrichtung ausdrücke, da die ungleichmässige Zusammensetzung und die inhomogene Beschaffenheit der Elektroden wahrscheinlich einen grossen Einfluss ausübt. Ausserdem ist noch zu beachten, dass, wie der Tropfen an der Eisenelektrode sich beim Erhitzen ziemlich stark ausdehnt und bei der Erkaltung zusammenzieht, so auch der Lichtbogen immerwährend seinen Ort wechselt und meistens nicht von der Spitze, sondern von der Seite des Tropfens zur Kohle überspringt, wie dies die Projection des Lichtbogens deutlich zeigt;

c) dass die geleistete Arbeit bei derselben Kohlenstärke und demselben äusseren Widerstande fast gleich ist für verschiedene Combinationen.

Was schliesslich die Werthe betrifft, welche die Bogenlänge dann zeigte, wenn die Eisenelektrode keinen Tropfen trug, so waren dieselben für beide Stromrichtungen fast gleich, eher noch grösser für die Richtung Kohle—Eisen. Die genaue Bestimmung derselben wurde durch folgende Umstände sehr erschwert. Sobald der Tropfen, zu dessen Bildung oft eine längere Zeit nothwendig war, herabgefallen war, zerfrante sich die Eisenelektrode, zeigte viele Spitzen, auf die der Lichtbogen abwechselnd übersprang; zugleich sprühte das Eisen sehr heftig bei einem nur etwas stärkerem Strome.

Nachdem diese Erfahrungen mit Gleichstrom eine Erklärung des Sahulka-Effectes nicht lieferten, so stellte ich neue Versuche an, um zu sehen, ob vielleicht die Ursache dieser Erscheinung eine neu auftretende Gegenkraft sei, wie noch trotz der Arbeiten Lecher's¹ und Stenger's² für zwei

¹ Lecher, diese Ber., 95, S. 629, 1887. Wied. Ann., 33, S. 609, 1888.
² Stenger, Wied. Ann. 45, S. 33, 1892.

Kohlenelektroden oft angenommen wird. Die ersten Versuche fanden auch genau nach der Methode Lecher—Stenger statt, nur wurde an Stelle einer Tangentenboussole ein ballistisches, einseitig gehemmtes Galvanometer verwendet. Trotzdem die mechanische Hemmung eine ergiebige Fehlerquelle bot, so schien es doch, dass die Leitungsfähigkeit des Lichtbogens Kohle—Eisen von der Richtung des Hauptstromes abhängt.

Nachdem verschiedene Methoden, die einseitige Hemmung der Galvanometernadel elektrisch zu insceniren, wegen Inconstanz des Lichtbogens gescheitert waren, wurde darauf verzichtet, gleichzeitig mit der Unterbrechung des Hauptstromes die Leitungsfähigkeit des Lichtbogens zu untersuchen. Es wurde der Hauptstrom unterbrochen und nach möglichst kurzer Zeit, circa $\frac{1}{200}$ Secunde, die Untersuchung vorgenommen.

In Fig. 1 bedeutet *A* die Accumulatorenbatte, *W* einen Rheostaten, *U* einen Unterbrecher, *C* einen Commutator, *L* den Lichtbogen, *R* den Elektromagneten eines ungemein kleinen, sehr empfindlichen Relais. So lange der Hauptstrom durch den Lichtbogen fließt, ist die punktirte Nebenschaltung, in der sich das ballistische Galvanometer *G* und eine galvanische Batterie *B* befinden, geöffnet.

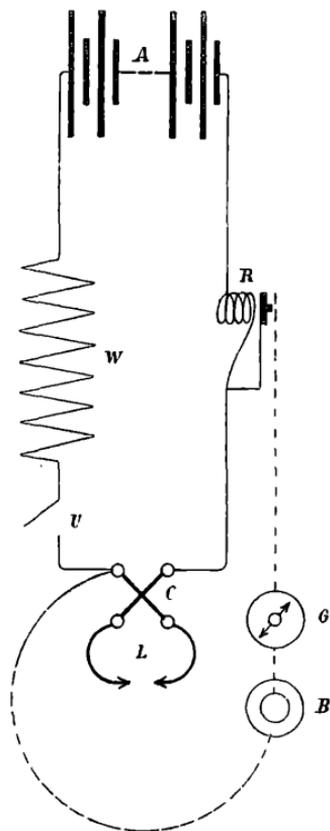


Fig. 1.

Im Moment, wo der Hauptstrom bei *U* unterbrochen wird, erlischt der Lichtbogen, die Batterie *B* wird mittels *R* durch den Lichtbogen und das Galvanometer hindurch geschlossen und es bringt die elektromotorische Kraft der Batterie *B* durch die Reste des Lichtbogens hindurch eventuell eine Ablenkung der Galvanometernadel hervor. Der Lichtbogen wird auf einen Schirm projicirt und

immer möglichst gleich gross erhalten. Die Länge desselben betrug auf dem Projectionsschirme 5 mm , der eine wahre Länge von 1 mm entsprach. Diese Anordnung hat den grossen Vortheil, dass die Galvanometernadel ruhig erhalten werden kann, dass kein Extrastrom wirksam auftritt und so die Fehlerquellen auf ein Minimum reducirt werden. Zuerst wurde unter Hinweglassung der Batterie B nach einer eventuellen elektrischen Gegenkraft im Lichtbogen selbst gefahndet.

Fliesst der Accumulatorenstrom im Lichtbogen von Eisen zu Kohle, so erhielt man nach Öffnung von U und dem fast momentan erfolgenden Schlusse bei R den Ausschlag $0\cdot1\text{ mm}$ im Mittel ($0\cdot3, 0\cdot0, 0\cdot1, 0\cdot0$); fliesst der Accumulatorenstrom aber in der Richtung Kohle—Eisen, so war das Mittel $-0\cdot03\text{ mm}$ ($-0\cdot1, 0\cdot6, -0\cdot1, -0\cdot3, -0\cdot0, -0\cdot5$). Es ist somit die elektrische Gegenkraft unmittelbar nach dem Erlöschen des Lichtbogens, wenn überhaupt vorhanden, minimal.

Hierauf wurden Versuche, sowohl mit 3 Daniel, als auch mit 4 Bunsen in B angestellt. Da die Resultate ziemlich genau übereinstimmen, so sollen hier nur jene Werthe angeführt werden, welche sich im letzteren Falle ergaben.

a) Die Bunsenbatterie ist gegen die Accumulatoren geschaltet.

α) Der Hauptstrom fliesst im Lichtbogen von Eisen zu Kohle; die Ablenkung beträgt

$$0\cdot2, 0\cdot3, 0\cdot4, 0\cdot1, 0\cdot1\text{ mm}.$$

β) Der Hauptstrom fliesst von Kohle zu Eisen:

$$31\cdot4, 39\cdot4, 40\cdot23, 33\cdot48, 41\cdot6\text{ mm}.$$

b) Der Bunsenstrom hat dieselbe Richtung wie der Accumulatorenstrom, und zwar

α) Eisen—Kohle:

$$8\cdot4, 6\cdot7, 5\cdot0, 4\cdot2, 6\cdot0\text{ mm}.$$

β) Kohle—Eisen:

$$0\cdot0, 0\cdot2, 0\cdot06, -0\cdot1, 0\cdot2\text{ mm}.$$

Die Abweichungen in den einzelnen Gruppen erklären sich wenigstens theilweise dadurch, dass der Lichtbogen trotz aller Sorgfalt Ort und Länge wechselt. Wie aus den vorausgehenden Zahlen erhellt, fließt der Strom der Bunsenbatterie nur in der Richtung Eisen—Kohle und zwar bedeutend leichter, wenn der Hauptstrom die entgegengesetzte Richtung hatte. Muthmassungen über diese merkwürdige Thatsache liessen sich wohl aufstellen, es seien aber die experimentell gesicherten Thatsachen hier nur angeführt, um die Erscheinungen im Wechselstromlichtbogen zu erklären. Wenn der Wechselstrom in der Richtung Eisen—Kohle einsetzt, so findet er einen viel geringeren Widerstand als in umgekehrter Richtung. Ob dieser Grund auch quantitativ ausreicht, lässt sich schwer bestimmen.

Es ist nämlich auch noch eine weitere Erklärung des Sahulka'schen Phänomens möglich. Ich erwähnte bereits, dass bei Unterbrechung des Gleichstromes der Eisentropfen sich stark zusammenzieht und der Lichtbogen sich vergrößert. Dies geschieht in viel stärkerer Masse in der Richtung Eisen—Kohle. Betrachtet man nun den Wechselstromlichtbogen Eisen—Kohle durch eine stroboskopische Scheibe, die fast synchron mit den Wechselstromschwüngen rotirt wird, so schwingt der Eisentropfen zwischen den nebenbei in Fig. 2 gezeichneten Tropfen hin und her, ein Beweis dafür, dass der Tropfen Pendelbewegungen in der Richtung des Stromes ausführt. Durch diese mechanische Verkürzung des Lichtbogens wird dem Durchgang des Stromes in der Richtung Eisen—Kohle ein geringerer Widerstand entgegengesetzt, als bei der Richtung Kohle—Eisen. Dieses Phänomen des oscillirenden Tropfens konnte bei Anwendung von Gleichstrom nicht wahrgenommen werden.



Fig. 2.

Bei letzterer Untersuchung trat noch eine andere Erscheinung zu Tage, die hier nur nebenbei erwähnt werden soll.

Der Tropfen zeigt, durch die stroboskopische Scheibe gesehen, dunkle Curven, fünf bis sieben an der Zahl, die nach der Krümmung zu urtheilen, geschlossen sind. Die Ebenen der einzelnen Curven stehen auf der Stromrichtung senkrecht, oder genauer, auf der Lichtbogenrichtung. Denn zieht man z. B. durch einen Magneten den Lichtbogen auf die Aussenseite des

Tropfens, so stellen sich die Curven beinahe in die Richtung der Elektroden. Bei einer bestimmten Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe scheinen dieselben an der Austrittsstelle des Stromes zu entstehen und sich in rascher Aufeinanderfolge von derselben zu entfernen, um auf der entgegengesetzten Seite zu verschwinden; ihre grösste gegenseitige Entfernung, welche ungefähr 0.5 mm beträgt, erreichen sie unmittelbar vor ihrem Verschwinden. Diese Erscheinung macht den Eindruck einer Wellenbewegung an der Oberfläche, welche durch den raschen Stromwechsel verursacht wird. Eine Bekräftigung findet diese Ansicht in dem Ausbleiben des Phänomens, wenn statt des Wechselstromes Gleichstrom angewendet wird.

Resultate. 1. Bei Anwendung von Wechselstrom tritt bei ruhig brennendem Lichtbogen Eisen—Kohle der Sahulka'sche Gleichstrom in der Richtung Eisen—Kohle auf.

2. Unmittelbar nach dem Verlöschen des Lichtbogens lässt sich eine elektromotorische Gegenkraft, welche jenen Gleichstrom erzeugte, nicht nachweisen.

3. Der auftretende Gleichstrom findet eine Erklärung in der grösseren Leitungsfähigkeit des Lichtbogens in der Richtung Eisen—Kohle, wenn vorher ein entgegengesetzter Strom floss, und in den Schwingungen, welche die flüssige Eisenelektrode ausführt.

4. Bei Anwendung von Gleichstrom ist der Lichtbogen Eisen—Kohle bedeutend länger, für die Stromrichtung Kohle—Eisen als für Eisen—Kohle bei gleicher Stromstärke und gleicher Potentialdifferenz.

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: 1895

Band/Volume: [104_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Gold Franz

Artikel/Article: [Über den Sahulka'schen Gleichstrom im Wechselstromlichtbogen Eisen-Kohle. 814-822](#)