

Beschreibung einiger Versuche über den Funken, welcher bei der Unterbrechung einer Strombahn auftritt.

Von

Dr. P. Culmann.

Vor einigen Jahren versuchte ich das Selbstpotential einer Spirale dadurch zu bestimmen, dass ich den Einfluss verfolgte, welchen dasselbe auf einen in derselben entstehenden Strom ausübt. ¹⁾ Ich fand damals, dass der Funken, welcher beim Oeffnen der Strombahn überspringt, die Genauigkeit der Messungen beeinträchtigt. Da derselbe auch bei anderen Messungen als störender Faktor auftritt, ²⁾ nahm ich mir vor, seine Natur näher zu studiren. Leider konnte ich die Experimente, die ich zu diesem Zweck ausführte, nicht zu dem gewünschten Abschluss bringen; da ich aber meine Untersuchungen in nächster Zeit nicht wieder werde aufnehmen können, so will ich einstweilen die Resultate, zu welchen ich gelangt bin, kurz mittheilen.

Die Methode, welche mir die besten Resultate gab, beruhte auf der scheinbaren Verzögerung, welche die Induktion durch den Funken erfährt. Helmholtz bemerkte diese Verzögerung bei seinen Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der electrodynamischen

¹⁾ Culmann, eine Methode zur experimentellen Bestimmung des Selbstpotentials einer Spirale. Inaugural - Dissertation. Berlin. 1884.

²⁾ Vergleiche: Helmholtz über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der electrodynamischen Wirkungen. Monatsberichte der Berliner Ak. 25. Mai 1871.

Wirkungen.¹⁾ Er bestimmte auch mit ihrer Hilfe die Dauer eines Funkens, hielt sich aber nicht weiter bei dessen Untersuchung auf, sondern suchte nur den Funken als störenden Faktor möglichst klein zu machen.

Wird eine erste Leitungsbahn in einem gegebenen Momente mechanisch geöffnet, so würde in einer unmittelbar benachbarten, wenn der Strom in der ersten sofort auf Null herabfiele, sofort ein Induktionsstrom auftreten und dieser inducirte Strom würde im ersten Augenblicke am stärksten sein, um dann von diesem seinem höchsten Werthe an allmählig auf Null herabzusinken. Durch den Funken wird der primäre Strom noch einige Zeit unterhalten, das Auftreten des Induktionsstromes wird verzögert und sein Verlauf geändert. Diese Wirkungen des Funkens gestatten einen Rückschluss auf seine Dauer und seinen Verlauf.

Zunächst kann man daran denken, die Dauer des Funkens dadurch zu bestimmen, dass man untersucht, von welchem Augenblicke an die Stromstärke in der sekundären Leitungsbahn abnimmt. Ich habe, um diesen Moment zu bestimmen, den Verlauf der Stromstärke i im inducirten Kreis verfolgt. Da der inducirte Strom innerhalb einer Tausendstelsekunde so gut wie ganz erloschen ist, kann nicht i selbst gemessen werden, man muss den Integralstrom J d. h. die ganze Electricitätsmenge messen, welche bis zu einem gegebenen Zeitmomente t (die Zeit wird immer von der mechanischen Oeffnung der primären Strombahn an gezählt werden) durch jeden Querschnitt der sekundären Bahn hindurchgeflossen ist. Misst man J für zwei kurz aufeinander folgende

¹⁾ Loc. cit. pag. 293.

Zeitmomente t_1 und t_2 , J_1 und J_2 seien die Werthe die man so erhält, und bilde dann den Quotienten $\frac{J_2 - J_1}{t_2 - t_1}$, so gibt dieser Quotient ein Maass für die Stromstärke i . Vorausgesetzt wird dabei, dass bei der Bestimmung von J_1 und J_2 die Umstände genau dieselben seien, was, wie wir sehen werden, schwer zu erreichen ist.

Die Anordnung der Versuche, welche zur Bestimmung des Integralstromes J diente, war folgende. In einer ersten Leitungsbahn standen die Elemente, eine Tangentenbusssole zur Messung der Stromstärke j im primären Kreis, ein Rheostat zur Aenderung der Widerstände und eine Spirale aus dickem Kupferdraht. Um diese Spirale liefen die Windungen einer zweiten der sekundären Leitungsbahn, in welche ein empfindliches Galvanometer eingeschaltet war. Mit Hilfe des Helmholtz'schen Unterbrechers (ausführlich beschrieben von Schiller Pogg. Ann. 152 p. 539 ff.) konnte die zweite Leitungsbahn eine genau messbare Zeit nach der ersten unterbrochen werden. Die Unterbrechung geschah in der Weise, dass zwei kleine Platinflächen mit einer bei allen Versuchen gleichen Geschwindigkeit von einander entfernt wurden. Die Zeit, welche zwischen den beiden Unterbrechungen verlief, konnte beliebig variirt werden. Ich maass nun für denselben an der Tangentenbusssole gemessenen primären Strom j , den nach verschiedenen Zwischenzeiten zwischen den beiden Unterbrechungen induzirten Integralstrom J . Ich habe in der folgenden Tabelle die Werthe, welche ich auf diese Weise für eine Stromstärke $j = 3,48$ Ampères erhielt, zusammengestellt. In der ersten Kolonne stehen die Zwischenzeiten t zwischen den beiden Unterbrechungen gemessen in einer

besonderen Zeiteinheit τ , welche von der Konstruktion des Unterbrechers abhängt. τ war für den Apparat, dessen ich mich bediente, ungefähr gleich 115 Millionsteln einer Sekunde. In der zweiten Kolonne stehen die den Zeiten t entsprechenden Integralströme J , gemessen durch den auf den doppelten Sinus des halben Winkels reducirten Ausschlag des Galvanometers. Die dritte Kolonne endlich gibt den Werth des Quotienten $i = \frac{J_2 - J_1}{t_2 - t_1}$ an, dessen Werth der mittleren Stromstärke in dem der Zeit t vorangehenden Zeitabschnitte proportional ist.

t	J	i
0,5	10	20
1	49	78
1,5	106	114
2	193	174
2,5	291	196
3	489	306
4	680	191
5	844	134
6	889	75

Der Zeitpunkt T , von welchem an die Stromstärke in der sekundären Leitungsbahn immer abfällt, liegt nach dieser Tabelle zwischen 2,5 und 3 τ . Um ihn genau zu bestimmen, schaltete ich zwischen 2,5 und 3 τ noch eine dritte Messung für 2,75 τ ein. Ich erhielt so:

t	J	i
2,5	291	
2,75	357	264
3	489	528

welcher bei der Entzündung einer Sträubler auftritt. 267

Eine weitere Messung für $l = 2,875 \tau$ ergab:

l	J	T
2,875	489	312
2,875	489	312
3	489	311

T wird also zwischen $2,875$ und 3τ liegen müssen. Man könnte so T ausserordentlich genau bestimmen, wenn die Werthe, die sich für J namentlich in der Nähe des kritischen Punktes T ergeben, nicht sehr stark schwankten. So erhielt ich z. B. bei einer zweiten Messung von J für $l = 3\tau$ statt, wie das erste Mal, 489 jetzt 497. Ja die Differenzen können bei zwei unmittelbar aufeinander folgenden Bestimmungen bei anscheinend genau denselben Umständen 50 Skalenthelle erreichen. So ergab sich für $l = 2,9\tau$ der Integralstrom J einmal gleich 429, unmittelbar darauf gleich 476. Durch diese Schwankungen wird die Bestimmung von T sehr erschwert. Ich habe mir viele Mühe gegeben möglichst gleichförmige Funken zu erhalten. Die Stromstärke wurde durch den in die primäre Leitungsbahn eingeschalteten Rheostaten immer möglichst genau auf denselben Werth gebracht. Die Kontakte wurden durch den Unterbrecher immer mit derselben Geschwindigkeit von einander entfernt. Die Hauptquelle der Verschiedenheiten war aber offenbar die Natur des Kontaktes selbst. Ich dachte, der Funken könne, wenn das Metall nicht ganz homogen sei, nachdem er die oberflächlichen Theile weggerissen hätte, darunter ein Metall von etwas anderer Beschaffenheit vorfinden und ersetze daher das Platin durch chemisch reines Gold. Die Kontakte aus Gold gaben aber kein

besseres Resultat als die aus Platin. Um die kleinen Aenderungen, welche der Funken selbst in der Gestalt des Platins hervorbringt, zu beseitigen, versuchte ich das Platin nach dem Uebergang eines jeden Funkens frisch zu poliren; aber auch diese sehr umständliche Operation half nichts. Schliesslich begnugte ich mich damit, alle zusammengehörigen Messungen möglichst rasch hintereinander auszuführen. Ich verfuhr dabei so, dass ich zuerst von den kleinen Werthen von t zu den grösseren aufstieg, dann umgekehrt von den grossen zu den kleinen herunter ging und aus den beiden so erhaltenen Werthen das Mittel nahm.

Die folgende Tabelle gibt das Resultat zweier Messungsreihen für T an. In der ersten Kolonne steht unter j die Stromstärke im primären Kreis in Ampères. In der zweiten Kolonne stehen die Werthe T_1 einer ersten Beobachtungsreihe für den Zeitpunkt T_1 , die dritte Kolonne enthält die Werthe T_2 einer zweiten Beobachtungsreihe, die vierte das Mittel T_m von T_1 und T_2 . Die Zeiteinheit, mit welcher T_1 , T_2 und T_m gemessen sind, ist τ . In der fünften Kolonne steht unter T_s der Werth von T_m in Millionsteln einer Sekunde. Die sechste Kolonne endlich gibt den Werth von $\frac{T_s}{j}$, auf welchen ich gleich zurückkommen werde.

j	T_1	T_2	T_m	T_s	$\frac{T_s}{j}$
0,45	0,52	0,52	0,52	60	133
0,89	0,73	0,77	0,75	86	97
1,78	1,56	1,59	1,57	181	102
2,66	2,25	2,26	2,25	259	97
3,48	2,90	2,90	2,90	334	96

Der bisher immer mit T bezeichnete Zeitpunkt ist nach seiner Definition der Moment, von welchem an die Stromstärke im sekundären Kreise zu fallen beginnt. Jedenfalls muss, sobald die Bewegung der Electricität im primären Kreise aufgehört hat, die Stromstärke im sekundären Kreise beständig sinken; es wäre aber denkbar, dass sie schon vor diesem Moment zu fallen anfinge. Die genaue Betrachtung der Werthe des Integralstromes für die verschiedenen Zeiten t macht es aber sehr wahrscheinlich, dass das nicht der Fall ist. Der Integralstrom wächst von dem Moment T an so regelmässig, als sich nach den Schwankungen, welche sich für die Werthe zur Zeit T ergeben, überhaupt erwarten lässt. Wenn also der Funken erst nach dem Moment T aufhörte, so hätte er keinen auffallenden Einfluss auf die Stromstärke im sekundären Kreise und überdiess bliebe in diesem Falle das Anwachsen des Stromes bis zum Momente T und seine Abnahme unmittelbar nach demselben unerklärt. Ich hatte zuerst versucht, streng mathematisch nachzuweisen, dass von dem Moment T an die Stromstärke genau den durch die Induktionsgesetze verlangten Verlauf zeige, musste den Versuch aber aufgeben, weil die Werthe von J zu unsicher waren, um irgend welche Beweiskraft zu haben. Die mathematische Behandlung des Problems hätte übrigens doch nicht genau den Thatsachen entsprochen, weil ja auch im sekundären Kreise Funken überspringen, welche die Werthe von J vergrössern. Die Funken im sekundären Kreise hinderten jedoch die Bestimmung von T nicht, denn sie waren bei meinen Versuchen weit weniger stark als die des primären Kreises. Die Stromstärke im sekundären Kreise war nämlich immer mindestens 50 Mal kleiner als die Stromstärke

im primären Kreis. Ueberdies war die Zahl der Windungen im sekundären Kreise auf der Spirale klein (195 bei den oben angeführten Messungsreihen). Endlich ist leicht einzusehen, dass für die Bestimmung von T nur die Unregelmässigkeiten des Funkens im sekundären Kreise schädlich sind. Es seien nämlich J_1 und J_2 die für die Zeiten t_1 und t_2 beobachteten Integralströme. Wenn die Stromstärke im sekundären Kreise vom Momente t_1 bis zum Momente t_2 wächst, so wird J_2 durch den Funken im sekundären Kreise stärker vergrössert als J_1 ; es wird also $\frac{J_2}{t_2} > \frac{J_1}{t_1}$, der Quotient, welchen ich als das Maass der mittleren Stromstärke im sekundären Kreise ansah, durch die Wirkung des Funkens vergrössert erscheinen. Wenn umgekehrt die Stromstärke während desselben Zeitabschnittes fällt, so wird der Quotient $\frac{J_2}{t_2} < \frac{J_1}{t_1}$ durch den Funken verkleinert. Der Funken im sekundären Kreise würde also, wenn er ganz regelmässig wäre, den Moment T , von welchem an die Stromstärke im sekundären Kreise zu fallen beginnt, nur deutlicher hervorheben.

Nimmt man an, dass die Zeit T der Funkendauer entspricht, so zeigen die in der Tabelle unter $\frac{T_n}{J}$ angegebenen Werthe, dass die Funkendauer der Stromstärke proportional ist. Nur der erste Werth von $\frac{T_n}{J}$ weicht stark ab; es ist aber gerade für die schwachen Stromstärken die Bestimmung von T besonders unsicher, so dass ich glaube, die Abweichung beruht auf einer fehlerhaften Bestimmung von T . Diese Anschauung wird be-

sonders dadurch gerechtfertigt, dass in einer anderen Reihe von Beobachtungen, die ich gleich mittheilen werde, der Werth des Quotienten $\frac{T_2}{j}$ ebenfalls für die kleinste Stromstärke die grösste Abweichung zeigt, die Abweichung in diesem Falle aber das entgegengesetzte Zeichen hat. Zudem hat Herr Haidich schon gefunden, ¹⁾ dass die Leuchtdauer des Funkens linear von der Stromstärke abhängt. Wenn er die Leuchtdauer für Stromstärken unter 1 Ampere gleich Null findet, so rührt dies wohl daher, dass für diese kleinen Stromstärken die Leuchtkraft zu gering war, um vom Auge wahrgenommen zu werden.

Die Vermuthung liegt nahe, dass der sekundäre Kreis auf den primären, während derselbe durch den Funken geschlossen ist, zurückwirkt. Um zu sehen, ob derselbe auf die Funkendauer von Einfluss sei, bestimmte ich dieselbe noch einmal mit einer anderen Drahtkombination. Der primäre Kreis blieb unverändert, in den sekundären Kreis aber schaltete ich statt der 195 Windungen, aus denen er bisher bestand, nur 50 über die 195 Windungen gewickelte neue Windungen ein. Ich erhielt so die in der folgenden Tabelle angegebenen Werthe:

j	T_1	T_2	T_m	T_n	$\frac{T_n}{j}$
0,45	0,49	0,41	0,45	52	115
0,89	0,99	1,00	0,99	114	128
1,77	1,92	1,87	1,89	218	123
2,64	2,83	2,92	2,87	330	125
3,48	3,59	3,71	3,65	420	121

¹⁾ Ueber die Leuchtdauer des Oeffnungsfunkens des Induktatoriums. Wied. Ann. 30, Seite 343 ff.

Man sieht, wiederum ist die Funkendauer, soweit die Genauigkeit der Beobachtungen es zu beurtheilen erlaubt, der Stromstärke proportional. Durchweg ist sie aber, bei gleicher Stromstärke, grösser als vorhin. Es lässt sich diese längere Dauer des Funkens folgendermassen erklären. Das Anwachsen des sekundären Stromes während der Dauer des Funkens wirkt auf den primären Strom zurück und schwächt denselben. Je stärker die Wirkung des sekundären Stromes ist, desto grösser wird die Schwächung sein. Da nun im ersten Falle mehr Windungen im sekundären Kreis eingeschaltet waren als im zweiten, so war die Schwächung das erste Mal stärker (der Widerstand der sekundären Leitungsbahn war so gross, dass die Aenderung des Widerstandes durch die Verminderung der Windungen nicht in Betracht kam). Je schneller aber die Stromstärke herabsinkt, desto rascher hört der Funken auf. Er muss also, wie die Versuche es zeigen, bei gleicher Stromstärke von längerer Dauer gewesen sein, als nur 50 Windungen im sekundären Kreis eingeschaltet waren.

Soviel über die Dauer des Funkens. Was den Verlauf der Stromstärke im primären und sekundären Kreis während der Dauer des Funkens anbetrifft, so ergibt sich ein merkwürdiges Gesetz aus der Vergleichung der durch verschieden starke Ströme während der Dauer des Funkens inducirten Ströme. In der folgenden Tabelle habe ich die für diese Vergleichung nöthigen Daten zusammengestellt. In der ersten Kolonne stehen die Zwischenzeiten t zwischen den beiden Unterbrechungen; in der ersten Zeile sind die Stromstärken j im primären Kreis angegeben, im Schnittpunkte der Zeilen und Kolonnen findet man die entsprechenden Integralströme.

welcher bei der Untersuchung einer Strombahn auftritt. 273

Integralströme J .

	3,48	2,66	1,78	0,89	0,45
0,5	10	10	10	12	19
1,0	49	50	50	77	44
1,5	106	117	119	118	
2	193	216	241	151	82
2,5	291	370	299		
3	489	451			
4	689				
5	814	654	460	239	120
6	889				
20	1006	768	515	257	128

Die Zeit t wird durch $\tau = 115$ Millionstel Sekunden gemessen, j ist in Amperes angegeben. Zu bemerken ist jedoch, dass die Zeit t nicht für alle Stromstärken ganz genau den angegebenen Werth hat. Um den genauen Werth von t zu erhalten, ist eine für jede Stromstärke verschiedene Korrektur c zu t zu addiren. Diese Korrektur ist in folgender Tabelle angegeben.

J	c
3,48	0,001
2,66	0,005
1,78	0,013
0,89	0,024
0,45	0,028

Aus der Tabelle für die Integralströme lässt sich die mittlere Stromstärke $i = \frac{J_2 - J_1}{t_2 - t_1}$ leicht berechnen. Ich habe ihre Werthe in der folgenden Tabelle für die Dauer des Funkens (Siehe Seite 268) zusammengestellt.

In der ersten Kolonne steht die Zeit, für welche die Stromstärke gültig ist (t_1 bis t_2), in der ersten Zeile die Stromstärke j im primären Kreis, im Schnittpunkte der Zeilen und Kolonnen die mittlere Stromstärke \bar{i} im sekundären Kreis.

Mittlere Stromstärke \bar{i} .

	3,18	2,64	1,78	0,89	0,45
0 bis 0,5	29	29	29	24	38
0,5 „ 1	78	89	98	139	
1 „ 1,5	114	134	180		
1,5 „ 2	174	198			
2,0 „ 2,5	196				
2,5 „ 3	206				

Es fällt in diesen Tabellen sofort auf, dass während der Dauer des Funkens der Integralstrom und die mittlere Stromstärke im sekundären Kreis der Stromstärke im primären Kreis durchaus nicht proportional sind. Für die ersten Momente nach der Unterbrechung ist die Stromstärke im sekundären Kreis \bar{i} für alle Stromstärken im primären Kreise fast genau dieselbe; dann wächst die Stromstärke \bar{i} um so rascher, je kleiner der inducierende Strom j ist. So lange der Funke besteht, entspricht geradezu dem stärkeren primären Strom der schwächere sekundäre oder genauer:

Es kursire in der primären Leitungsbahn einmal der Strom j_1 , ein andermal der Strom j_2 ; t Sekunden nach Oeffnung der primären Leitungsbahn sei in keinem der beiden Fälle der Funke erloschen; J_1 und J_2 seien die dem Moment t entsprechenden Integralströme; i_1 und i_2 die Stromstärken im sekundären Kreis zur Zeit t ; dann ist, wenn $j_1 < j_2$,

$$i_1 > i_2 \quad \text{und} \quad J_1 > J_2.$$

Wenn man den nach unendlich langer Zeit in der sekundären Leitungsbahn durch den Strom j inducirten Integralstrom mit I bezeichnet, so kann man die Bedingung $j_1 \approx j_2$ auch durch

$$U_1 \approx U_2$$

ersetzen, da ja die totale durch einen Strom j inducirte Electricitätsmenge I diesem Strome proportional ist.

In dieser Form habe ich das Gesetz bestätigt gefunden, als ich, statt die Stromstärke im primären Kreis zu ändern, die primäre Leitungsbahn selbst transformirte. Diese Leitungsbahn bestand aus drei Lagen übereinander liegender Windungen, die ich mit *I*, *II* und *III* bezeichnen will. Ich erhielt für die Stromstärke 3,48 Ampères die folgenden Integralströme, je nachdem ich eine, zwei oder drei Lagen in die primäre Leitungsbahn einschaltete.

Integralströme *J*.

<i>t</i>	<i>I, II, III</i>	<i>II, III</i>	<i>II</i>
0,5	4	7	14
1	19	28	53
1,5	43	61	87
2	76	109	109
2,5	113	156	
3	159	186	128
3,5	213		
4	289	216	
4,5	338		
5	376		
6	408		
20	424	231	139

Die für den Zeitintervall $t = 20 \tau$ angegebenen Integralströme 424, 231 und 139 sind für die hier erreichte Genauigkeit identisch mit den nach unendlich langer

Zeit inducirten Integralströmen U . Die Funkendauer, die diesen Integralströmen entsprach, war $3,59 \tau$; $2,00 \tau$ und $0,85 \tau$. Die Stromstärken $i = \frac{J_2}{t_2} = \frac{J_1}{t_1}$ im sekundären Kreis vor dem Erlöschen des Funkens ergeben sich aus folgender Tabelle:

Mittlere Stromstärke.

	I, II, III	II, III	II
0 bis 0,5	8	14	28
0,5 " 1	30	42	78
1 " 1,5	48	66	
1,5 " 2	66	96	
2 " 2,5	74		
2,5 " 3	92		
3 " 3,5	108		

Man sieht, das oben ausgesprochene Gesetz bestätigt sich hier. Während der Dauer des Funkens ist die Stromstärke im sekundären Kreis um so schwächer, je grösser der nach unendlich langer Zeit inducirte Integralstrom ist. Ein merkwürdiges Resultat, welches zeigt, dass der Funken die Ueberführung der Electricität weit vollständiger vermittelt, wenn er stark, als wenn er schwach ist.

Anmerkung I. Bildet man den Quotienten $\frac{T}{U}$, der, wenn die Stromstärke allein variirt, konstant bleibt, weil ja $\frac{T}{j}$ konstant ist, so erhält man für 3 und 2 Windungslagen angenähert denselben Werth $\frac{3,59}{424} = 0,0085$ und $\frac{2,00}{231} = ,0087$; der für eine einzige Lage erhaltene

welcher bei der Untersuchung einer Strombahn auftritt. 277

Werth $\frac{0,85}{139} = 0,0061$ weicht stark ab. Es hätte weiterer Versuche bedurft um diesen Punkt aufzuklären.

Anmerkung II. Ich habe die Stellung des beweglichen Kontakts, für welchen das Zeitintervall zwischen den zwei Unterbrechungen gleich Null ist, nicht, wie es z. B. Herr Schiller gethan hat, auf electricischem Wege bestimmt. Ich legte einfach die Finger gegen die Hebel an, welche den Kontakt öffnen und führte dann das Pendel sanft gegen die Hebel heran. Man fühlt so sehr genau, welcher Hebel zuerst getroffen wird, und kann bis auf 0,001 τ oder etwa ein Zehnmillionstel einer Sekunde genau die Stellung herausfinden, in welcher beide Kontakte zugleich geöffnet werden. Die Methode ist genauer als die elektrische und führt ungleich rascher zum Ziele.

Resultate.

Die Dauer des Funkens, welcher bei der Oeffnung eines Stromes überspringt, ist der Stromstärke proportional.

Verificirt zwischen 0,89 und 3,48 Ampères.

Eine während des Ueberspringens des Funkens geschlossene benachbarte Leitungsbahn vermindert seine Dauer.

Der durch den primären Strom in einer benachbarten Leitungsbahn inducirte sekundäre Strom ist während der Dauer des Funkens um so stärker, je schwächer der primäre Strom ist.

Verificirt zwischen 0,45 und 3,48 Ampères.

Hat man 3 Windungslagen im primären Stromkreis und bestimmt den bei Einschaltung von ein, zwei oder

drei dieser Lagen durch denselben primären Strom inducirten sekundären Strom, so findet man denselben während der Dauer des Funkens am stärksten, wenn nur eine Windungslage im primären Kreise eingeschaltet ist, am schwächsten, wenn alle drei eingeschaltet sind.

Ich verhehle mir nicht, dass ich die Gültigkeit dieser Gesetze nur innerhalb sehr enger Grenzen verificirt habe. Wenn ich meine Untersuchungen wieder aufnehmen kann, werde ich den Bereich ihrer Gültigkeit näher festzulegen suchen.

Die hier mitgetheilten Untersuchungen wurden im Laboratorium des Eidgenössischen Polytechnikums ausgeführt. Herr Professor Weber stellte mir mit dem grössten Wohlwollen die reichen Hilfsmittel des Laboratoriums zur Verfügung und unterstützte mich vielfach durch seinen Rath. Es freut mich ihm hier öffentlich meinen wärmsten Dank aussprechen zu können.

Paris, November 1888.