II. Ueber das Verhalten der Flammen in electrischer Beziehung; von J. Kollert.

(Hierzu Taf. II Fig. 1–13.)

Einleitung. Die im Folgenden mitzutheilenden Versuche bezwecken eine Weiterführung der vor längerer Zeit von Hrn. Prof. Hankel angestellten ähnlichen Untersuchungen über die Alkoholflamme.¹⁾ Auf die von den Herren Elster und Geitel vor einiger Zeit in dieser Zeitschrift veröffentlichte Abhandlung²⁾ über den gleichen Gegenstand werde ich weiter unten einzugehen Gelegenheit haben.

Meine Untersuchungen beziehen sich hauptsächlich auf die Flamme des Bunsen'schen Brenners; ausserdem wurden untersucht eine leuchtende Gasflamme und die Alkoholflamme. Zur Messung der electrischen Spannungen diente ein Hankel'sches Electrometer³⁾, dessen Polplatten durch einen Commutator mit den Polen einer in der Mitte zur Erde abgeleiteten Säule von 230 Zink-Kupfer-Wasser-Elementen verbunden waren. Die Messungen geschahen in der Weise, dass die betreffenden electromotorischen Kräfte mit derjenigen eines Normal-Daniells verglichen wurden: die electromotorische Kraft des letzteren ist die Einheit, auf welche die im Folgenden mitzutheilenden Zahlenwerthe bezogen sind. Wurde mit Hülfe eines Commutators erst der Zinkpol mit dem Goldblatte, der Kupferpol mit der Erde (Gasleitung), dann durch Umlegung des Bügels der Kupferpol mit dem Goldblatte, der Zinkpol mit der Erde verbunden, so änderte das unterste Ende des Goldblattes seine Stellung um acht bis zehn Scalentheile. Da nun $\frac{1}{10}$ Scalentheil mit Genauigkeit geschätzt werden konnte, so war demnach $\frac{1}{80}$ bis $\frac{1}{100}$ Daniell mit Sicherheit zu messen.

1) Hankel, Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. 5. p. 3 ff. 1861.

2) Elster u. Geitel, Wied. Ann. 16. p. 193 ff. 1882.

3) Vgl. Hankel, Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. 3. p. 382 ff. 1857; Pogg. Ann. 84. p. 28 ff. 1851. Betreffs der Justirung des Instrumentes, s. Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. 6. p. 6 Anm. 1864.

Was schliesslich die Bezeichnung der electromotorischen Kräfte betrifft, so habe ich im wesentlichen die von Hrn. Hankel in der schon erwähnten Abhandlung benutzte angewandt und dieselbe nur dahin abgeändert, dass z. B. $[MNOP] = +a$ bedeutet, dass in der Combination MNOP die positive Electricität von M über N und O nach P mit einer electromotorischen Kraft von a Daniell fortbewegt wird; hat a das negative Zeichen, so bedeutet dies die umgekehrte Bewegungsrichtung der positiven Electricität. Das Symbol $[MNOP]$ repräsentirt somit die Summe von electromotorischen Kräften: $M|N + N|O + O|P + P|M$, und es ist der Grösse nach $[MNOP] = -[PONM]$.

§ 1. Abhängigkeit der electromotorischen Kräfte von der Brennermündung.

Die Fragestellung ist hier zunächst die folgende: die Mündung eines Bunsen'schen Brenners besteht aus irgend einem Metalle M ; in einem gewissen Abstände von der Mündung befindet sich in der Flamme (F , vgl. Fig. 1) eine flache Spirale aus Platindraht (pt), und zwar in Bezug auf die Axe der Flamme symmetrisch gestellt; in welcher Weise hängt die electromotorische Kraft des Elementes $[ptFM]$ von der Beschaffenheit des Metalles M ab? Bestehen hier etwa ähnliche Verhältnisse, wie bei der Weingeistflamme hinsichtlich der in den Alkohol der Lampe eingetauchten Metalle?¹⁾

Um in bequemer Weise verschiedene Metalle als Mündung anwenden zu können, verfertigte ich mir ca. 25—30 mm lange Röhren aus Zink-, Kupfer-, Zinn-, Blei- und Eisenblech, welche sich auf das Rohr eines gewöhnlichen Bunsen'schen Brenners aufstecken liessen; der Rand eines anderen Brenners war mit dünnem Platinblech umwickelt; endlich hatte ich einen 30 mm langen Cylinder von Bunsen'scher Kohle mit einer Bohrung versehen, sodass er sich ebenfalls auf den erstgenannten Brenner aufstecken liess. Die mit diesen Mündungen versehenen Brenner wurden zur Isolation auf Tischchen mit Schellackfüssen gestellt und ausserdem mit dem zur Gasleitung führenden Gummischlauche

1) Hankel, Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. 5. p. 20ff. 1861.

durch eine innen und aussen gefirnisste Glasröhre verbunden. Der Platindraht *pt* war ebenfalls gut isolirt und beide, Brenner und Spirale, konnten mittelst eines Commutators mit dem Electrometer, resp. der Erde verbunden werden; ich mass immer die durch Umlegung des Commutators verdoppelten Ausschläge (vgl. Einleitung). Durch Regulirung des Gaszuflusses wurde dafür gesorgt, dass in allen Fällen die Flamme dieselbe Höhe besass (ca. 120 mm), und es wurden die electromotorischen Kräfte [*pt FM*] für die Abstände 50 mm und 100 mm des Drahtes *pt* von der Brennermündung bestimmt. Die in folgender Tabelle I mitgetheilten Werthe (1 Dan. = 1) sind die Mittel aus je zehn bis zwölf einzelnen Versuchsreihen, und zur Beurtheilung der Genauigkeit der Messungen theile ich gleichzeitig die mittleren Fehler derselben sowohl ihrem absoluten Betrage nach, als in Proc. der Mittelwerthe mit.

Tabelle I.

	[<i>pt F Pt</i>]		[<i>pt F Zn</i>]		[<i>pt F Cu</i>]		[<i>pt F Sn</i>]	
Abstand	50	100	50	100	50	100	50	100
electrom. Kraft	1,39	—	0,72	0,35	1,27	0,90	1,50	1,09
m. Fehl. {	abs. ±0,01	—	±0,03	±0,02	±0,01	±0,02	±0,06	±0,07
	in % 0,9	—	4,2	5,1	1,0	1,9	3,8	6,3

	[<i>pt F C</i>]		[<i>pt F Pb</i>]		[<i>pt F Fe</i>]	
Abstand	50	100	50	100	50	100
electrom. Kraft	1,36	0,97	1,17	0,86	1,70	1,39
m. Fehl. {	abs. ±0,03	±0,01	±0,04	±0,04	±0,02	±0,03
	in % 2,0	1,5	3,1	4,2	1,2	1,8

Es ergibt sich hieraus, dass die Platinspirale durchgängig den Charakter des electropositiven, die Brennermündung den des electronegativen Bestandtheiles eines galvanischen Elementes besessen hat; dabei ist aber das Platin in 100 mm schwächer positiv, als in 50 mm, ein Umstand, auf den später ausführlicher eingegangen werden soll. Die uns jetzt allein interessirenden Metalle an der Brenner-

mündung ordnen sich, vom negativsten angefangen in folgende Reihe:

Fe Sn Pt C Cu Pb Zn.

Bildet man nun die gegenseitigen Differenzen der Werthe $[ptFM]$ (selbstverständlich für dieselbe Stellung von pt), so erhält man:

$$[ptFM] - [ptFM'] \\ = pt|F + F|M + M|pt - pt|F - F|M' - M'|pt = [M'FM],$$

und diese Werthe müssen nothwendig dem Gesetze der Spannungsreihe gehorchen, denn es ist:

$$[MFM'] + [M'FM''] + \dots + [M^{(n-1)}FM^{(n)}] = [MFM^{(n)}].$$

Diese Differenzen habe ich nun einmal aus den Werthen $[ptFM]$, und zwar sowohl für 50 mm als für 100 mm unter Berücksichtigung der mittleren Fehler berechnet, zweitens habe ich dieselben direct beobachtet. Letzteres kann auf zwei Weisen geschehen. 1) Man lässt die beiden Brenner in der in Fig. 2 angedeuteten Weise gegen einander brennen und misst so die electromotorische Kraft:

$$[M'F'FM] = [M'FM], \text{ weil } F'|F = 0$$

zu setzen ist. Die Zulässigkeit dieser Annahme erwies ich dadurch, dass ich für M' und M zwei gleiche Kupferröhren anwandte, wobei sich abgesehen von kleinen Schwankungen nach der einen und anderen Seite die electromotorische Kraft = 0 ergab, unabhängig von der Stelle, wo die eine Flamme von der anderen getroffen wurde. 2) Man bringt zwei gleiche Platinspiralen in die Flammen, sodass beide dieselbe Stellung besitzen (z. B. beide in 50 mm Abstand von der Brennermündung sich befinden), und verbindet beide metallisch (Fig. 3); man misst in dieser Weise die Summe der electromotorischen Kräfte:

$M'|F' + F'|pt' + pt'|pt + pt|F + F|M + M|M' = [M'FM]$, da $F' = F$ und $pt' = pt$ zu setzen ist. Dieses Verfahren erfordert aber ausser gleichen Drähten auch sehr gleichmässige Flammen, d. h. genau gearbeitete Brenner. Auf die in Tabelle I mitgetheilten Versuche habe ich deshalb nur das erste Verfahren angewandt und stelle in Tabelle II die beobachteten mit den berechneten Werthen zusammen.

Tabelle II.

M	[M F Fe]		[M F Sn]		[M F Pt]		[M F C]		[M F Cu]		[M F Pb]	
	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.
Zn	1,01	1,00	0,76	0,69	0,68	0,60	0,62	0,47	0,55	0,44	0,48	0,47
Pb	0,53	0,52	0,29	0,22	0,22	0,13	0,14	-0,12	0,01	-0,08	—	—
Cu	0,45	0,49	0,22	0,30	0,12	0,06	0,08	0,04	—	—	—	—
C	0,38	0,44	0,13	0,31	0,03	0,00	—	—	—	—	—	—
Pt	0,31	0,38	0,11	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—
Sn	0,24	0,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Die Übereinstimmung ist eine vollkommen befriedigende; die grösseren Abweichungen sind theils auf die verhältnissmässig geringe Zahl von Versuchen, theils vielleicht auf Aenderungen des Temperaturzustandes des Brennerandes infolge des Schiefstellens zurückführen, was ich namentlich bei der Kohle für wahrscheinlich halte.

Für die in den folgenden Paragraphen mitzutheilenden Versuche liess ich mir, um möglichst gleiche Flammen zu erhalten, je zwei kurze Rohre aus massiven Zink-, Kupfer- und Eisencylindern ausbohren, welche mit der weiteren Bohrung an dem einen Ende genau auf die Brennerrohre zweier gleicher Bunsen'scher Brenner passten (Fig. 4). Die innere Weite betrug 8 mm, die Wandstärke 2,5 mm, die Länge ca. 30 mm. Diese Brenner lieferten bei gewöhnlichem Gasdrucke ca. 150 mm hohe Flammen von sehr regelmässiger Form. Aus der grossen Zahl der mit denselben angestellten Beobachtungen ergaben sich folgende Werthe:

$$[Zn F Fe] = 1,24; [Cu F Fe] = 0,56; [Zn F Cu] = 0,68.$$

Die nach der zweiten Methode angestellten, directen Beobachtungen lieferten:

$$[Zn F Fe] = 1,16; [Cu F Fe] = 0,47; [Zn F Cu] = 0,63,$$

wozu indessen zu bemerken ist, dass diese Beobachtungen nur drei- oder viermal wiederholt worden sind. Diese Werthe erlitten übrigens keine merkliche Aenderung, als bei einigen weiteren Versuchsreihen, um eine ruhig brennende Flamme zu erhalten, die letztere durch Verminderung des Gaszuflusses auf 60 mm Höhe reducirt wurde.

Um endlich auch das Verhalten der leuchtenden Flammen zu untersuchen, liess ich kurze, konische, mit einer ca. 0,7 mm weiten Bohrung versehene Rohre aus Zink, Kupfer, Eisen und Silber anfertigen, welche auf ein mit einem Fuss versehenes Messingrohr passten und mittelst des letzteren in derselben Weise, wie die Bunsen'schen Brenner, mit der Gasleitung in Verbindung gesetzt werden konnten (Fig. 5). Als Mittelwerthe aus sämmtlichen damit angestellten Versuchen erhielt ich folgende:

$$[Zn F Fe] = 1,47; [Cu F Fe] = 0,60; [Ag F Fe] = 0,36.$$

In allen Fällen erwies sich somit das Eisen als am stärksten negativ und sogar stärker negativ, als die Brennermündung aus Platin. Dieser Umstand ist leicht erklärlich, wenn man beachtet, dass als äusserste, allein in Betracht kommende Schicht nicht metallisches Eisen, sondern Oxydationsstufen desselben zu setzen sind; und in der That waren die vor jedem Versuche frisch mit Schmirgelpapier geputzten Ränder nach dem Versuche immer mit einer Oxydschicht bedeckt. Ausserdem wird natürlich die vom Brennerrande schliesslich angenommene Temperatur auch die Stellung des betreffenden Metalles in der Spannungsreihe von Einfluss sein. An dritter Stelle ist wahrscheinlich auch eine Contactwirkung seitens der unmittelbar berührenden Gasschicht in Betracht zu ziehen.

Man wird hiernach erwarten müssen, dass im ersten Moment nach dem Anzünden der Flamme bei frisch geputzten Brennern die Spannungen ganz andere sein werden, als einige Zeit nachher, dass überhaupt erst nach Eintritt eines stationären Temperatur- und Oxydationszustandes dieselben constante Werthe annehmen werden. Diese Vermuthung bestätigte sich in der That, wie sich aus der folgenden Tabelle III ergibt. Dieselbe enthält die Werthe der electromotorischen Kräfte, wie sie nach Verlauf der angegebenen Zahl von Secunden nach dem Anzünden der Flamme beobachtet wurden, während sich eine ca. 15 mm im Durchmesser haltende, flache Spirale aus Platindraht 40 mm über der Mündung central in der Flamme befand. Die

Untersuchungen beziehen sich nur auf die zuletzt beschriebenen Bunsen'schen Brenner, da die bei den an erster Stelle genannten Versuchen verwendeten Brennermündungen wegen ihrer geringen Masse den stationären Zustand zu rasch erreichten.

Tabelle III.

Sec.	5	10	15	20	25	30	45	50
[<i>pt F Fe</i>]	0,24	0,14	0,12	0,11	0,29	0,77	0,99	1,12
[<i>pt F Zn</i>]	—	-0,23	—	—	—	-0,23	-0,33	-0,23
[<i>pt F Cu</i>]	0,66	—	—	0,64	—	—	0,59	0,51

Sec.	60	70	75	80	85	90	100	120
[<i>pt F Fe</i>]	1,26	—	1,33	—	—	—	1,43	1,49
[<i>pt F Zn</i>]	-0,15	-0,10	—	-0,05	—	0,03	—	0,13
[<i>pt F Cu</i>]	0,70	—	0,80	—	0,88	—	0,89	—

Sec.	145	150	160	180	185	200	220	250
[<i>pt F Fe</i>]	1,52	—	—	1,56	—	1,59	—	1,59
[<i>pt F Zn</i>]	—	—	0,25	0,28	—	—	0,30	0,30
[<i>pt F Cu</i>]	—	0,95	—	—	0,96	0,96	—	—

Man erkennt, dass in den ersten Momenten nach dem Anzünden die drei Metalle in der Reihenfolge Cu, Fe, Zn, d. h. wie in der gewöhnlichen Spannungsreihe, aufeinanderfolgen. Alle drei werden sodann zunächst etwas nach der positiven Seite verschoben, was jedenfalls der Temperaturerhöhung zuzuschreiben ist. Sobald aber die Oxydation beginnt, rücken die Metalle mehr oder weniger rasch nach der negativen Seite hin; der stationäre Zustand wird nach ungefähr vier Minuten erreicht. Vielleicht ist aus einer positiven Verschiebung des Platins infolge der Erwärmung der Umstand zu erklären, dass der Platinbrenner schwächer negativ ist, als der aus Eisen gefertigte. Genau denselben Verlauf der Erscheinung beobachtete ich bei der leuchtenden Flamme.

Alle folgenden Untersuchungen beziehen sich nur auf den stationären Endzustand der Brennermündung.

§ 2. Abhängigkeit der electromotorischen Kräfte vom Orte des Platindrahtes in der Flamme.

Es lehrten bereits die in Tabelle I mitgetheilten Zahlen, dass die electromotorischen Kräfte $[ptFM]$ auch von dem Orte abhängen, an welchem sich der Draht pt befindet, und zwar zeigte sich, dass die Spirale in 100 mm Höhe schwächer positiv wird, als in 50 mm, oder der Draht in 100 mm muss gegen den in 50 mm negativ sein. Bildet man die Differenzen $[pt_{50}FM] - [pt_{100}FM] = [pt_{50}Fpt_{100}]$, so erhält man als Mittel $[pt_{50}Fpt_{100}] = 0,36$. Als zwei Spiralen pt und pt' ; die eine in 50, die andere in 100 mm über einem isolirten Brenner angebracht wurden (Fig. 6), ergab die directe Beobachtung:

$$[ptFpt'] = 0,30.$$

Die Differenz von 0,06 Dan. erklärt sich, wie aus dem Folgenden sich ergeben wird, hinreichend daraus, dass der Durchmesser der Spirale pt' etwas kleiner war, als der von pt . Ehe ich die weiteren Untersuchungen über diesen Gegenstand mittheile, will ich zunächst einige allgemeine Betrachtungen über das Wesen dieser Vorgänge vorausschicken, deren Zulässigkeit alsdann durch die Versuche dargethan werden soll. Wir denken uns zu diesem Zwecke an irgend einem Orte xyz in der Flamme ein Platintheilchen pt und verbinden dasselbe durch einen gegen die Einwirkung der Flamme vollkommen geschützten Metalldraht mit dem Brenner M . Dann wird die electromotorische Kraft $[ptFM]$ einmal von der in xyz herrschenden Temperatur, zweitens von der Zusammensetzung des Gases daselbst abhängig sein, oder kurz gesagt, es ist $[ptFM]$ eine Function des Ortes, d. h.:

$$[ptFM] = f(xyz).$$

Bei den aus runden Oeffnungen brennenden Flammen hat man einfacher, wenn man die Axe der Flamme, von der Mitte der Brenneröffnung aus gerechnet, mit z bezeichnet und mit r den Abstand eines Ortes in der Flamme von der Axe z :

$$[ptFM] = f(r, z).$$

Für einen horizontalen Querschnitt durch die Flamme in der Höhe $z = a$ gilt demnach:

$$[ptFM] = f(r, a) = \varphi(r),$$

d. h. die Spannung ist constant längs einer jeden um den Mittelpunkt des betreffenden Querschnittes beschriebenen Kreisperipherie.

Denken wir uns nun einen dünnen, geradlinigen Platindraht pt horizontal in radialer Richtung in eine in Bezug auf eine Axe z symmetrische Flamme eingeführt, sodass er gerade bis zur Axe z reicht (Fig. 7), und mit dem Brenner M metallisch verbunden, so wird das Element $ptFM$ eine gewisse electromotorische Kraft $[ptFM] = a_1$ besitzen, welche man sich folgendermassen entstanden zu denken hat.

Jedes Theilchen des Drahtes besitzt gegen die Mündung M eine Spannung $\varphi(r)$. Von diesen Elementarspannungen nehme ich nun an (eine Annahme, deren Zulässigkeit ich durch die experimentelle Bestätigung einiger aus derselben gezogenen Folgerungen beweisen werde), dass sie sich nach dem Gesetze des arithmetischen Mittels zu einer Integralspannung zusammensetzen, d. h. dass:

$$a_1 = \frac{\int_0^R \varphi(r) dr}{R}$$

ist, wobei die Integration über alle Theilchen des Drahtes zu erstrecken ist, welche durch die Flammengase mit M in leitender Verbindung stehen (vergl. Fig. 7). Um R zu bestimmen, zieht man den Draht pt in radialer Richtung soweit aus der Flamme heraus, bis die Ausschläge des Electrometers nur noch sehr langsam ihren definitiven Werth annehmen und für beide Pole, den Draht und die Brennermündung, bei richtig justirtem Electrometer nicht mehr entgegengesetzt gleich ausfallen.¹⁾ Man kann so R auf ca. $\frac{1}{2}$ mm genau ermitteln. Zieht man den Draht aus seiner Anfangsstellung, wo sich sein Ende im Punkte 0 der Flam-

1) Das nähere hierüber siehe § 3.

menaxe befindet, um dr zurück, so beobachtet man eine neue Integralspannung:

$$a_2 = \frac{\int_{dr}^R \varphi(r) dr}{R - dr},$$

und es ist:

$$a_1 R - a_2 (R - dr) = \int_0^{dr} \varphi(r) dr = x_1 dr,$$

wenn man den Mittelwerth von φ auf dr mit x_1 bezeichnet. Zieht man hierauf wieder um dr zurück, so findet man für den Mittelwerth von φ auf diesem nächstfolgenden dr : $x_2 dr = a_2 (R - dr) - a_3 (R - 2dr)$ u. s. f. Man kann also in dieser Weise die den einzelnen Orten entsprechenden Spannungen ermitteln, wobei freilich wegen des theilweisen Temperatenausgleiches nicht genau die Werthe erhalten werden, welche man an einem mit einer von der Flamme nicht afficirten Ableitung versehenen Theilchen beobachten würde, ein Verfahren, das sich natürlich praktisch nicht ausführen lässt. Diese Werthe x gelten dann immer längs einer um 0 beschriebenen Kreisperipherie oder genauer ausgedrückt längs einer Kreisringfläche von der Breite dr .

In dieser Weise untersuchte ich zunächst die 150 mm hohen Flammen der p. 248 beschriebenen Bunsen'schen Brenner, und zwar den 40 mm über der Mündung gelegenen Querschnitt derselben. Der Draht pt war etwa 0,2 mm dick und isolirt an einer geeigneten Schlittenvorrichtung befestigt, welche es gestattete, denselben radial um genau messbare Grössen zu verschieben; dr wurde dabei = 1 mm genommen. Ich theile zunächst in Tabelle IV_a die Integralwerthe a mit, wobei die für die Cu- und Zn-Mündungen erhaltenen Werthe durch Addition der bereits p. 248 angeführten Grössen $[ZnFFe] = 1,24$ und $[CuFFe] = 0,56$ auf die Fe-Mündung reducirt worden sind. Für jede Mündung wurden vier, für jedes Metall also acht und insgesamt 24 Beobachtungsreihen angestellt.

Tabelle IV_a.

Mittel	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
für Fe	1,58	1,57	1,58	1,54	1,44	1,28	1,16	1,07
„ Zn	1,57	1,57	1,56	1,52	1,40	1,26	1,17	1,10
„ Cu	1,60	1,61	1,61	1,56	1,44	1,28	1,17	1,09
Gesamtmittel	1,58	1,58	1,58	1,54	1,43	1,27	1,17	1,09

Mittel	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
für Fe	0,91	0,63	0,22	-0,08	-0,32	-0,42	-0,41	-0,43
„ Zn	0,96	0,64	0,23	-0,08	-0,35	-0,41	-0,39	-0,22
„ Cu	0,97	0,61	0,17	-0,17	-0,37	-0,40	-0,36	-0,35
Gesamtmittel	0,95	0,63	0,21	-0,11	-0,35	-0,41	-0,39	-0,33

Da $R = 16$ mm sich ergab, und $dr = 1$ mm gesetzt worden ist, so folgt $x_m = (16 - m + 1)a_m - (16 - m)a_{m+1}$ als Werth von $[ptFFe]$ in Bezug auf das vom Mittelpunkt 0 (Fig. 7) aus gerechnet zwischen $m - 1$ und m Millimeter gelegene Theilchen des Drahtes pt . Man erhält so:

Tabelle IV_b.

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}
1,58	1,58	2,10	2,87	3,16	2,29	1,93	2,18	3,21	3,12	1,80	0,83	-0,15	-0,46	-0,44	-0,33

Die Werthe x sind in Fig. 8_a graphisch dargestellt, wobei 1 Dan. = 10 mm gemacht worden ist. Jedes x gilt für einen Kreisring von 1 mm Breite. Die graphische Darstellung für alle Punkte des Querschnittes würde durch die durch Rotation der Fig. 8_a um die x -Axe entstehende Fläche gegeben sein. Um die entsprechenden Darstellungen für die Zn- und Cu-Mündungen zu erhalten, hat man einfach die Abscissenaxe um 12,4 mm, resp. 5,6 mm höher zu legen (vergl. die punktirten Linien in der Figur).

Man hat somit zwei Maxima der Spannung, von denen das eine mit dem inneren, blauen Kegel begrenzenden, röthlichen Saume, das andere mit dem röthlichen Saume an der äussersten Grenze der sichtbaren Flamme zusammenfällt (vergl. hierzu Fig. 7, wo die beiden Säume durch die ausgezogenen Linien, die Grenze des Wirkungsbereiches durch

die punktirte Curve bezeichnet ist). Wir werden in § 5 sehen, dass diese Stellen wahrscheinlich als Temperaturmaxima zu bezeichnen sind. Denkt man sich die durch Rotation der Fig. 8_a um die x -Axe entstandene Fläche durch auf der Basis senkrechte, parallele Ebenen im Abstände von 1, 3, 5 . . . 15 mm von der Mitte geschnitten (siehe Fig. 8_b) und berechnet den Rauminhalt der zwischen der Fläche, der Basis und je zwei der Ebenen gelegenen Theile, so erhält man durch Division dieser Volumina durch die zugehörigen Basisabschnitte MNM' die den betreffenden Flächenstreifen entsprechenden mittleren Spannungen. Diese kann man angenähert durch directe Beobachtung finden, indem man einen geradlinigen Draht pt zunächst diametral durch die Flamme hindurch führt, sodass er das gesammte Wirkungsgebiet durchschneidet, und alsdann denselben um je zwei Millimeter seitwärts verschiebt, bis man zur Grenze des Wirkungsbereiches gelangt; man misst so immer die den Mittellinien $\overline{00}$, $\overline{11}$ etc. der Flächenstücke MNM' entsprechenden Integralspannungen (siehe Fig. 8_b). In Tabelle IV_c finden sich die in der eben angegebenen Weise berechneten und die beobachteten Werthe zusammengestellt; dieselben sind entsprechend den zugehörigen Flächenstücken mit $X_0, X_1 \dots X_8$ bezeichnet.

Tabelle IV_c.

	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
ber.	1,58	1,65	1,67	1,44	1,44	0,76	-0,15	-0,41	-0,33
beob.	1,52	1,52	1,45	1,21	1,13	0,92	0,17	-0,30	-0,31

Beide Reihen zeigen im Hinblick auf die den Voraussetzungen der Rechnung nicht genau entsprechende Versuchsanordnung befriedigende Uebereinstimmung. Die graphische Darstellung der Werthe X ist in Fig. 8_c gegeben.

Man kann endlich nach dem Mittelwerthe für das ganze Wirkungsgebiet fragen, welchen man aus den Werthen x durch Multiplication derselben mit den Flächen der zugehörigen Kreisringe und Division der Summe dieser Producte

durch die Fläche des ganzen Wirkungsgebietes erhält. Die Ausführung der Rechnung geschieht nach der Formel:

$$X = \frac{1 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + \dots + (2n-1)x_n}{n^2},$$

wo $n = 16$ mm zu setzen ist; es ergibt sich so $X = 1,13$. Dieser Werth wurde wieder in angenäherter Weise direct beobachtet, indem central über die Flamme ein 32 mm im Durchmesser haltender Ring aus Platindraht gebracht wurde, dessen Inneres in der aus Fig. 9 ersichtlichen Weise von dünnen Platindrähten durchzogen war. Als Mittel aus zwölf Beobachtungen ergab sich:

$$X = 1,25.$$

Nachdem ich durch diese mit möglichster Sorgfalt ausgeführten Versuche mich von der Zulässigkeit der p. 251 ff. dargelegten Art, diese Phänomene zu interpretiren, überzeugt hatte, untersuchte ich zunächst den Verlauf der Schichten in verschiedenen Höhen. Da hierzu die 150 mm hohe Flamme des Bunsen'schen Brenners in den oberen Partien zu unruhig war, so reducirte ich dieselbe auf 60 mm Höhe, wodurch ich eine vollkommen ruhige Flamme von der aus Fig. 10 ersichtlichen Gestalt erhielt; dabei repräsentiren wieder die ausgezogenen Linien die beiden röthlichen Säume, die punktirte die Wirkungsgrenze, deren Radius innerhalb der in Frage kommenden Grenzen constant = 9 mm war.

Tabelle V.

Querschn.	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
a, a	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,31	0,75	0,13	-0,68
b, b	1,52	1,43	1,27	1,07	0,97	0,72	0,10	-0,31	-0,60
c, c	1,13	1,09	1,04	0,94	0,74	0,40	-0,10	-0,49	-0,60

Querschn.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
a, a	1,37	1,37	1,37	1,37	1,62	2,99	1,99	0,93	-0,68
b, b	2,25	2,53	1,49	1,55	1,98	2,55	0,92	-0,04	-0,60
c, c	1,47	1,42	1,65	1,93	2,08	1,91	0,68	-0,38	-0,60

In Tabelle V sind die den drei Querschnitten a, b und c entsprechenden Integralwerthe $a_1 a_2 \dots$, und die nach der Formel:

$$x_m = (9 - m + 1) a_m - (9 - m) a_{m+1}$$

berechneten x zusammengestellt; dieselben beziehen sich auch hier auf die Eisenmündung.

Man ersieht hieraus deutlich, wie immer die Maxima den röthlichen Conturen entsprechen, und wie infolge dessen über der inneren Spitze nur noch ein einziges Maximum auftritt. Die graphische Darstellung ist durch Fig. 11 *a, b, c* repräsentirt, wobei wieder 10 mm = 1 Dan. ist.

Ein ganz ähnlicher Verlauf der Schichten fand sich bei einer mit kleiner, ruhiger Flamme brennenden Alkohollampe, deren Flamme mit der des klein brennenden Bunsen'schen Brenners bereits äusserlich die grösste Aehnlichkeit zeigte.

Es folgen endlich die entsprechenden Untersuchungen über die aus den p. 249 beschriebenen Brennern erhaltene leuchtende Flamme von 60 mm Höhe, und zwar für die Querschnitte in 5, 10 und 15 mm Höhe über der Mündung. Die Flamme besass die in Fig. 12 dargestellte Form. Für jede der Mündungen Fe, Zn, Ag und Cu wurden in jedem der drei Querschnitte je drei Versuchsreihen angestellt, sodass also nach Reduction derselben auf Fe (durch Addition der p. 249 erwähnten Zahlen $[ZnFFe] = 1,47$, $[CuFFe] = 0,60$ und $[AgFFe] = 0,36$ für jeden Querschnitt zwölf Versuchsreihen vorlagen. Der dabei verwendete Platindraht *pt* war ca. 0,1 mm dick und wurde immer um je $\frac{1}{2}$ mm verschoben. Die Gesammtmittelwerthe (auf die Fe-Mündung sich beziehend) und die daraus nach den Formeln:

$$\text{Querschnitt in } \left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ mm, } R = 5 \text{ mm: } \frac{1}{2}x_m = \left(\frac{10}{2} - \frac{m}{2} + \frac{1}{2}\right)a_m - \left(\frac{10}{2} - \frac{m}{2}\right)a_{m+1} \\ 10 \text{ mm, } R = 6 \text{ mm: } \frac{1}{2}x_m = \left(\frac{12}{2} - \frac{m}{2} + \frac{1}{2}\right)a_m - \left(\frac{12}{2} - \frac{m}{2}\right)a_{m+1} \\ 15 \text{ mm, } R = 6\frac{1}{2} \text{ mm: } \frac{1}{2}x_m = \left(\frac{13}{2} - \frac{m}{2} + \frac{1}{2}\right)a_m - \left(\frac{13}{2} - \frac{m}{2}\right)a_{m+1} \end{array} \right.$$

berechneten Werthe der x sind in Tabelle VI₁ zusammengestellt.

Bei der leuchtenden Flamme existirt hiernach ein Hauptmaximum, welches mit der Grenze des leuchtenden Theiles (in Fig. 12 die stärker gezeichnete, ausgezogene Linie) zusammenfällt. Hierauf sinken die Werthe beträchtlich und

Tabelle VI_a.

Querschn.	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}
5 mm	1,11	1,15	1,17	1,13	0,92	0,46	0,33	0,02	-0,32	-0,72	—	—	—
10 mm	1,16	1,17	1,15	1,15	1,07	0,64	0,43	0,31	0,09	-0,07	-0,42	-0,69	—
15 mm	1,13	1,14	1,11	1,11	1,09	0,94	0,45	0,33	0,21	-0,01	-0,21	-0,43	-0,61

Querschn.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
5 mm	0,71	0,97	1,47	2,38	3,23	0,95	1,27	0,71	0,09	-0,72	—	—	—
10 mm	1,03	1,33	1,13	1,78	4,12	1,91	1,02	1,20	0,56	0,63	-0,15	-0,69	—
15 mm	1,02	1,41	1,14	1,30	2,25	4,36	1,16	0,97	1,08	0,57	0,24	-0,26	-0,61

steigen dann nochmals ein wenig an der Grenze des äusseren, kaum sichtbaren Mantels (in Fig. 12 die schwächere, ausgezogene Curve). Bis ca. 20 mm erstreckte sich im Inneren ein dunkler Kegel, während oberhalb desselben die Flamme gleichförmig hell erschien; auch der Grenze dieses dunklen Kernes (in Fig. 12 schraffirt) entspricht ein schwaches Maximum. Leider machte die starke Russabscheidung die Untersuchung des oberen, gleichförmig leuchtenden Theiles der Flamme unmöglich. Es sei übrigens noch bemerkt, dass man, wegen der verschiedenen Stärke der verwendeten Platindrähte pt , die Werthe der Tabelle VI_a nicht etwa mit denen in den Tabellen IV_b und V vergleichen und daraus den Schluss ziehen darf, dass die leuchtende Flamme Schichten von höherer Temperatur enthält, als die Flamme des Bunsen'schen Brenners; denn natürlich wird ein Temperatureausgleich längs des dickeren Drahtes in stärkerem Maasse stattfinden, als längs des dünneren. Die graphische Darstellung dieser Versuche geben die Figuren 13 *a, b, c*.¹⁾ Zur Prüfung der Theorie berechnete ich auch hier, ähnlich wie bei Tabelle IV_a, und zwar für den Querschnitt in 5 mm über der Mündung, die den einzelnen Flächenstreifen von 1 mm Breite (s. Fig. 13_a) entsprechenden Mittelwerthe X und stelle hiermit die (allerdings nur durch eine einzige Beobachtungsreihe) direct gefundenen Zahlen zusammen (graphische Darstellung der berechneten Werthe s. Fig. 13_a).

1) Der Uebersichtlichkeit wegen sind die horizontalen Dimensionen verdoppelt.

Tabelle VI_b.

	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
berechnet	1,11	1,23	1,37	0,55	-0,61	-0,72
beobachtet	1,31	1,34	1,34	0,75	-0,25	-0,67

Die Uebereinstimmung ist auch hier eine befriedigende. Die Experimente stehen somit mit den aus der p. 252 gemachten Annahme über die Zusammensetzung von Spannungen zu Mittelwerthen gezogenen Folgerungen in Einklang. Ferner ergibt die Anwendung dieser Annahme auf die Beobachtungen gerade für schon dem blossen Auge auffällige Orte in der Flamme durch Grösse ausgezeichnete Werthe. Alles dies scheint mir dafür zu sprechen, dass die im Vorstehenden gegebene Interpretation der experimentellen Thatsachen als berechtigt anzusehen ist, womit ich indessen nicht gesagt haben will, dass sie die einzig richtige und einzig mögliche ist. Darüber zu entscheiden, ist weiteren Versuchen vorbehalten.

Die im Vorstehenden beschriebenen Versuche lehren, wie sich die electriche Erregung des Platins mit der Temperatur und Zusammensetzung der Flammengase ändert, wenn man in demselben Querschnitte von der Axe nach der Grenze der Flamme geht. Da beide Factoren auch mit der Höhe sich ändern, so ist schon hiernach mit Sicherheit zu erwarten, dass die Werthe $[ptFM]$ sich ebenfalls mit der Höhe, in welcher sich pt über der Mündung befindet, ändern werden. Ein Beispiel hierfür ist bereits p. 251 besprochen worden, und es sollen jetzt die genaueren Untersuchungen über diese Vorgänge mitgetheilt werden. Hierbei wurden die verwendeten Platindrähte isolirt an einer Vorrichtung befestigt, welche eine Verschiebung in verticaler Richtung um genau messbare Grössen gestattete. Ich lasse zunächst die Versuche für die 150 mm hoch brennende Bunsen'sche Flamme folgen, in welcher eine 15 mm im Durchmesser haltende, flache Spirale aus 0,2 mm dickem Platindrahte in der Weise bewegt wurde, dass ihr Mittelpunkt immer auf der Axe der Flamme lag. Die auf Fe reducirten Werthe

nebst den Gesamtmitteln daraus (im ganzen aus 23 Beobachtungsreihen abgeleitet) gibt Tabelle VII_a.

Tabelle VII_a.

Höhe mm		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
Mittel für	Fe	1,59	1,62	1,61	1,57	1,42	1,31	1,22	1,09	0,88	0,49	0,09	-0,05	-0,05
	Zn	1,59	1,65	1,65	1,62	1,50	1,33	1,12	0,92	0,29	0,21	0,14	+0,13	+0,08
	Cu	1,60	1,66	1,64	1,62	1,51	1,34	1,19	0,92	0,35	0,15	0,03	0,04	0,05
Gesamtmittel		1,59	1,64	1,63	1,60	1,48	1,32	1,18	0,97	0,51	0,28	0,09	0,04	0,03

Die Werthe [*pt F Fe*] sind hiernach von 20 bis 80 mm ziemlich constant, sinken aber dann rasch und werden ziemlich zu Null, also bei dem Zn- und Cu-Brenner, für welche man beziehungsweise 1,24 und 0,56 zu subtrahiren hat, negativ. Was die Zahl für 40 mm angeht, so weicht dieselbe von der für eine Kreisfläche von 15 mm aus den Zahlen *x* der Tabelle IV_b berechneten beträchtlich ab, sie ist ca. 0,7 Dan. kleiner als letztere; indessen ist hierzu zu bemerken, dass die ziemlich dichte Spirale die Schichtungsverhältnisse ganz beträchtlich störte und infolge ihrer grossen Masse wahrscheinlich auch die Temperatur stark erniedrigte. Die Untersuchungen wurden bis zu der Grenze fortgesetzt, wo noch hinreichende Leitungsfähigkeit vorhanden war¹⁾; die weiter oben eintretenden eigenthümlichen Phänomene sollen im nächsten Paragraphen behandelt und eine Erklärung derselben zu geben versucht werden.

Ganz ähnlich war der Verlauf bei den übrigen untersuchten Flammen, für welche ich kurz die Resultate in den Tabellen VII_b, VII_c, VII_d mittheilen will. Betreffs der Grenze der Untersuchung gilt das oben Bemerkte.

Tabelle VII_b.

Bunsen'scher Brenner, Flamme 60 mm hoch.

Höhe in mm	10	20	30	40	50	60	70	100	110
[<i>pt F Fe</i>]	1,34	1,38	1,25	1,11	1,09	1,03	0,68	0,11	0,10

1) Vgl. p. 252 nebst Anm.

Tabelle VII_c.
Leuchtende Flamme, 60 mm hoch.

Höhe in mm	5	10	15	20	60	70	80	90	100	120	140	160
[<i>pt F Fe</i>]	1,09	1,14	1,09	1,03	1,04	0,98	0,85	0,73	0,61	0,44	0,34	0,32

Tabelle VII_a.

Alkoholflamme, 35 mm hoch; im Alkohol ein Kupferdraht Cu.

Höhe über Docht	10	22,5	45	72,5	85	92,5	100	110
[<i>pt F Alk. Cu</i>]	0,68	0,42	0,28	0,16	0,08	0,04	0,00	-0,16

Diese Versuche stimmen ihrem Verlaufe nach vollkommen mit den Hankel'schen¹⁾ überein und widerlegen das von den Herren Elster und Geitel²⁾ aus ihren Versuchen über diesen Gegenstand abgeleitete Resultat. Die von denselben erhaltenen Ergebnisse finden aber sehr leicht ihre Erklärung, wenn man beachtet, dass allerdings innerhalb gewisser Grenzen die Werthe [*pt F Fe*] constant bleiben (s. Tab. VII_a), also ihre Differenzen (d. h. die Werthe [*pt_h F pt_h*]) Null werden. Es erklärt sich aber in Hinblick auf die zuerst (p. 254 ff.) mitgetheilten Versuche und aus dem Umstande, dass die beiden genannten Beobachter bei ihren Versuchen nur geradlinige Drähte benutzten, auch der von denselben beschriebene „Wechsel der Polarität“.³⁾

§ 3. Ueber Phänomene, welche aus der Natur der Electricitätsleitung durch Flammen zu erklären sind.

Alle die im Vorstehenden mitgetheilten Versuche beruhen darauf, dass die Flamme sich in Bezug auf Electricitätsleitung ähnlich verhält, wie ein Leiter zweiter Classe. Es soll jetzt auf die Art und Weise, wie diese Leitung vor sich geht, näher eingegangen werden.

Was zunächst den Uebertritt der Electricität aus den metallischen Electroden in die Flamme betrifft, so wird

1) Hankel, Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl. 5. p. 14 ff. 1861.

2) Elster u. Geitel, Wied. Ann. 16. p. 196 ff. 1882.

3) Elster u. Geitel, Wied. Ann. 16. p. 198 ff. 1882.

hierbei der Vorgang ein ähnlicher sein, wie bei der Zerstreuung der Electricität in die Luft, d. h. es werden sich die einzelnen, die Electrode treffenden Gastheilchen mit Electricität von demselben Potentialwerthe laden, welcher auf der Electrode vorhanden ist. Die Zerstreuung geschieht aber durch die Flamme weit rascher, als durch die Luft, weil hier die mit Ladung versehenen Gastheilchen ausserordentlich viel rascher aus dem Bereiche des metallischen Conductors entfernt werden, als in Luft von gewöhnlicher Temperatur und Spannung, wo nach der Auffassungsweise der kinetischen Gastheorie nur sehr wenige Gasmoleculé die den electrischen Conductor unmittelbar umhüllende Schicht verlassen können, sodass sich die Luft schwachen Electricitäten gegenüber fast wie ein absoluter Nichtleiter verhält; bei stärkeren Spannungen bewirkt allerdings die infolge der electrischen Abstossung vermehrte Geschwindigkeit der Moleculé den Durchbruch einer beträchtlicheren Anzahl der letzteren und damit eine merkbare Zerstreuung. Die unipolare Leitung der Flamme würde sich durch die Annahme erklären lassen, dass die Gasmoleculé den negativen Zustand weit schwieriger annehmen, als den positiven.

Aus der Eigenschaft der Flamme, metallischen Conductoren ihre Electricität rasch zu entziehen, erklären sich die Erscheinungen, welche eintreten, wenn man einen isolirten Metallbrenner mit dem Electrometer verbindet, ohne in die Flamme irgend welche Ableitung zu bringen. Es besitzt nämlich der heisse, oxydirte und von Gas von gewisser Beschaffenheit berührte Brennerrand gegen das Goldblatt eine bestimmte, electrische Differenz. Indem nun die Flamme die Electricität des Brennerrandes hinwegführt, bringt sie denselben langsam auf Null, d. h. sie verhält sich wie eine ausserordentlich schlechte Ableitung zur Erde; in demselben Maasse aber kommt die entgegengesetzte Spannung des Goldblattes zur Wirkung, und dasselbe bewegt sich langsam von seiner Ruhelage aus bis zu einer neuen festen Stellung. Die Differenz beider Einstellungen würde somit die electromotorische Kraft

Flammengase (F) | Brennermünd. (M) + Brennermünd. (M) | Goldblatt (G)

messen, wenn nicht ein anderer Umstand störend einwirkte, nämlich die Influenz seitens der im Zimmer vertheilt sitzenden Electricität. Man erhält deswegen bei dem eben beschriebenen Versuche, wo man einen isolirten Brenner mit frei brennender Flamme mit dem Electrometer verbindet, einen Ausschlag, welcher dem Potential $F|M + M|G +$ einem unbekannten Potential V äquivalent ist. Stellen wir jetzt denselben Versuch mit einem anderen Metall M' an, so erhalten wir $F|M' + M'|G + V$, wenn wir annehmen dürfen, dass sich letzteres nicht geändert hat; nun ist aber:

$$F|M' + M'|G + V - (F|M + M|G + V) = [MFM'],$$

d. h. die Differenzen der beobachteten Ausschläge müssen bei unverändertem V wieder die Werthe $[MFM']$ liefern.

Ich habe eine Reihe solcher Versuche mit den am Anfange von § 1 beschriebenen Brennermündungen angestellt, und theile dieselben zunächst in Tabelle VIII_a mit. Dabei sind die zwischen denselben zwei Horizontallinien stehenden Werthe immer durch unmittelbar aufeinander folgende Beobachtungen erhalten worden, und für sie infolge dessen mit grösster Wahrscheinlichkeit V constant zu setzen.

Tabelle VIII_a.

Pt	Werthe für $F M + M G + V$ für $M =$					Fe
	Zn	Cu	Sn	C	Pb	
1,01	0,66	1,00	—	—	—	—
1,18	0,57	—	1,15	1,33	0,90	1,35
0,98	0,22	0,88	1,24	0,91	0,67	1,47
		0,84		0,70		
		0,86		0,81		
—	—	—	1,17	—	1,00	1,38
1,33	0,87	1,35	1,62	1,30	—	1,60
1,58	0,03	1,51	1,82	1,80	1,53	2,08
					1,54	
					1,51	
					1,53	
1,52	1,00	1,50	1,80	1,73	—	2,09
1,55	1,01	1,50	1,81	1,77	—	2,09
1,45	0,86	1,41	1,91	1,55	—	—
1,86	1,12	1,73	2,20	1,69	1,55	2,15
					1,71	2,06
					1,63	2,11
					—	—

Bildet man aus den einzelnen Horizontalreihen die Werthe $[MFM]$, so ergibt sich für die Mittelwerthe dieser Differenzen folgende Uebersicht:

Tabelle VIII_b.

<i>M</i>	$[MFFe]$	$[MFSn]$	$[MFPt]$	$[MFC]$	$[MFCu]$	$[MFPb]$
Zn	0,97	0,88	0,58	0,63	0,52	0,45
Pb	0,53	0,37	0,21	0,22	0,09	—
Cu	0,46	0,39	0,06	0,05	—	—
C	0,37	0,22	—0,02	—	—	—
Pt	0,34	0,26	—	—	—	—
Sn	0,14	—	—	—	—	—

Die Zahlen der Tabelle VIII_b stimmen mit denen der Tabelle II in Hinblick auf die Unsicherheit der Voraussetzung $V = \text{const.}$ gut überein. Schlüsse auf die Werthe $F|M + M|G$ gestatten jedoch die Zahlen der Tabelle VIII_a nicht.

Ich komme endlich zur Betrachtung der eigenthümlichen Phänomene, welche eintreten, wenn ein Platindraht sich sehr weit oberhalb der Brennermündung befindet, oder sehr weit seitwärts aus der Flamme herausgezogen worden ist, auf welche bereits p. 252 und 260 aufmerksam gemacht worden ist. Denken wir uns zunächst einen Platindraht vollkommen in die Flamme eingetaucht und metallisch mit dem Brenner verbunden, so circulirt alsbald ein electricischer Strom, den man auch leicht mit einem empfindlichen Galvanometer nachweisen und messen kann. Die Leitung innerhalb der Flamme kommt dadurch zu Stande, dass Molecüle, welche von dem einen Pole ausgehen, den anderen treffen und umgekehrt. Eine directe Mittheilung der Electricität von Molecül zu Molecül beim Zusammenstoss derselben ist nicht wohl annehmbar, da sonst die gewöhnliche Luft ziemlich ebensogut leiten müsste, wie die Flamme. Solange nun die Anzahl der in der Zeiteinheit zwischen den beiden Polen sich hin und her bewegendes, und so die Electricität überführendes Molecüle eine sehr beträchtliche ist, verhält sich die Flamme wie ein guter Leiter, und wenn der eine Pol zur Erde, der andere zum Electrometer geführt ist, so verhält sich letzteres

wie zur Erde abgeleitet, sodass also ausser den in der Ableitung zur Erde liegenden Spannungen keine anderen Electricitäten auf dasselbe einwirken können. Die Zahl dieser Theilchen nimmt aber ab, je weiter wir uns von der eigentlichen Flamme entfernen, was sich zunächst in einer Verlangsamung der Bewegung des Goldblättchens kund gibt; auch bringt jetzt z. B. eine der Flamme genäherte, geriebene Siegellackstange eine momentane Aenderung des Ausschlags hervor, die indessen alsbald wieder verschwindet. Noch sind aber die Ausschläge beim Umlegen des Commutators bei sonst gut justirtem Electrometer entgegengesetzt gleich. Geht man noch weiter, so hört schliesslich die Verbindung beider Pole durch zwischen ihnen sich hin und her bewegendes Gastheilchen ganz oder so gut wie ganz auf; beide Pole werden bis zu einem gewissen Grade voneinander unabhängig, und die Ausschläge des Goldblättchens sind beim Umlegen des Commutators nicht mehr entgegengesetzt gleich. Es beginnt nämlich jetzt die auf beide Electroden influenzirende, im Zimmer vertheilte Electricität die Ausschläge zu modificiren, weil die Ableitung zur Erde unterbrochen ist, dagegen noch der am Anfange dieses Paragraphen beschriebene Vorgang der Electricitätszerstreuung durch die Flammengase stattfindet.

Ich will jetzt eine Reihe derartiger Beobachtungen mittheilen, wie sie mit den zu Anfange von § 1 beschriebenen Brennern erhalten wurden, als sich der Draht *pt* 340 mm über der Brennermündung befand. War der Draht *pt* zur Erde abgeleitet, so zeigten die mit dem Electrometer verbundenen Brenner folgende Spannungen:

Pt	Zn	Cu	Sn	C	Pb	Fe
0,65	-0,19	0,40	0,66	0,56	0,41	0,92.

Wurde der Draht *pt* ganz entfernt, so zeigten die Brenner bei frei brennenden Flammen:

1,06	0,48	0,89	1,19	0,97	0,86	1,40.
------	------	------	------	------	------	-------

Die Differenzen zwischen den unteren und oberen Zahlen sind:

0,41	0,67	0,40	0,53	0,41	0,45	0,48,
------	------	------	------	------	------	-------

d. h. nahezu constant, und im Mittel = 0,48. Die ganze Erscheinung lässt sich erklären, wenn man annimmt, dass die

Luft eine positive Ladung besass, gegen welche die Brennermündungen durch den zur Erde abgeleiteten Draht pt soweit gedeckt wurden, dass die Einwirkung der Luftladung auf dieselben um 0,48 Dan. vermindert wurde: die Zahlen der zweiten Reihe stellen die Werthe $F|M+M|G+V$ dar, die der ersten $F|M+M|G+V-0,48$. Wurden alsdann die Brenner abgeleitet, der Draht pt aber mit dem Electrometer verbunden, so zeigte er für die verschiedenen Brenner folgende Spannungen:

$$-0,10 \quad 0,74 \quad 0,21 \quad 0,00 \quad 0,00 \quad 0,20 \quad -0,28.$$

Diese Werthe bestehen erstens aus der electromotorischen Kraft $F|pt+pt|G$; sodann aus der Influenzwirkung der äusseren positiven Electricität, welche aber eine andere sein wird, als die auf die Brenner ausgeübte (V'); an dritter Stelle ist zu beachten, dass die Flammenmolecüle, die den in der ersten Reihe angeführten entgegengesetzten Spannungswerthe mit sich führen, d. h. die Flamme bildet in den einzelnen Fällen ein electrishes Feld von den Intensitäten:

$$-0,65 \quad 0,19 \quad -0,49 \quad -0,66 \quad -0,56 \quad -0,41 \quad -0,92,$$

welche Ladungen ebenfalls noch vom Drahte pt aufgenommen werden (was übrigens vielleicht nicht vollständig genau der Fall sein wird). Aus allen drei Wirkungen setzen sich die beobachteten Werthe zusammen, d. h. es müssen folgende sieben Gleichungen stattfinden:

$$F|pt+pt|G+V' = \begin{cases} -0,65 = -0,10 \\ +0,19 = 0,74 \\ -0,49 = 0,21 \\ -0,66 = 0 \\ -0,56 = 0 \\ -0,41 = 0,20 \\ -0,92 = -0,28 \end{cases} \text{ , woraus folgt } F|pt+pt|G+V' = \begin{cases} 0,55 \\ 0,55 \\ 0,70 \\ 0,66 \\ 0,56 \\ 0,61 \\ 0,64 \end{cases}$$

oder es ist im Mittel $F|pt+pt|G+V'=0,61$. Auch aus diesen Versuchen sind Schlüsse über die Werthe $F|M+M|G$ und $F|pt+pt|G$ ohne weitere Annahmen nicht zu machen.

Ob die im Vorstehenden für die Erscheinungen an in grosser Höhe abgeleiteten und frei brennenden Flammen gegebene Erklärung, welche für die angeführten Versuche sich als ausreichend erweist, berechtigt ist, müssen weitere

ausgedehnte Untersuchungen entscheiden, bei denen Influenzwirkungen von messbarer Grösse ausgeübt werden. Man übersieht leicht, wie durch messbare Aenderungen der Potentiale V und V' die Werthe $F|M + M|G$ und $F|pt + pt|G$ einzeln ermittelt werden könnten.

§ 4. Ableitung der Flamme durch Wasserstrahlen.

Da ein in die Flamme oder deren Nähe gebrachter Platindraht mit dem Orte seine Temperatur ändert, so ist er nicht geeignet, die Frage zur Entscheidung zu führen, ob die auftretenden electromotorischen Kräfte lediglich auf thermoelectrischen Ursprung zurückzuführen sind, oder ob die Berührung der Metalle mit den Flammengasen einen wesentlichen Beitrag liefert. Man könnte nun der Entscheidung dieser wichtigen Frage dadurch näher zu treten versuchen, dass man durch Eis oder Wasser abgekühlte Platingefässe in die Flamme bringt, wie Becquerel¹⁾ und Hankel²⁾ gethan haben. Indessen sind mit Eis abgekühlte Electroden in einer Wasserdampf entwickelnden Flamme schon deshalb nicht geeignet, hier zu entscheiden, weil ein Wasserbeschlagnahme unvermeidlich ist, sodass nicht mehr, wie vorausgesetzt wird, die Combination Flammengase — Platin, sondern Flammengase — Wasser — Platin vorhanden ist. Um diesen Wasserbeschlagnahme zu vermeiden, füllte ich eine grosse Platinschale, ehe ich sie über die Flamme brachte, mit nahezu siedendem Wasser. Aber auch so ergaben die Versuche keine bestimmt definirbaren Resultate, da sich auch jetzt noch am Boden des Gefässes Beschläge bildeten, über deren Beschaffenheit sich etwas Bestimmtes kaum behaupten lässt; ich will deshalb diese Versuche hier übergehen, um in § 5 nochmals auf die Frage, ob wir es hier mit rein thermoelectrischen Vorgängen zu thun haben oder nicht, zurückzukommen.

Es sollen in diesem Paragraphen einige Versuche beschrieben werden, wo eine thermoelectrische Erregung mit Sicherheit auszuschliessen ist, bei denen die in die Flamme

1) Hankel, *Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. math. phys. Cl.* 5. p. 9. 4861.

2) Hankel, *l. c.* p. 26 ff.

gebrachten Electroden aus Wasserstrahlen bestanden, ein Verfahren, dessen sich bereits Hankel¹⁾ bedient hat. Dieselben wurden mittelst isolirt aufgestellter Mariotte'scher Flaschen erzeugt, in welche zur Ableitung Kupferdrähte (cu) eintauchten. Die Strahlen selbst strömten aus fein ausgezogenen, durch Glashähne verschliessbaren Glasröhren, welche behufs verticaler und horizontaler Verschiebung an denselben Vorrichtungen isolirt sich befestigen liessen, welche bei den ähnlichen Versuchen mit den Platindrähten verwendet worden sind. Durch die Kupferdrähte konnten dieselben mit dem Electrometer beziehentlich der Erde in leitende Verbindung gesetzt werden. Die Ableitung durch die zum Auffangen dienenden Gefässe genügte nicht, weil die Strahlen bereits in Tropfen aufgelöst daselbst anlangten. Die Wasserstrahlen sind im Folgenden immer mit *h* bezeichnet.

Ich will jetzt zunächst die Resultate der Beobachtungen mittheilen, und zwar in den Tabellen IX a, b, c derjenigen, wo der Wasserstrahl seitwärts aus der Flamme heraus bewegt wurde, in den Tabellen X a bis d derjenigen, wo derselbe vertical verschoben wurde; in den letzteren Versuchen ging der Strahl durch die Axe der Flamme.

Tabelle IX_a.

Bunsen'scher Brenner, Flamme 150 mm hoch, Wasserstrahl im Querschnitt 40 mm über der Mündung.

Entfern. v. d. Axe mm	0	2	4	6	8	10	12	14	15
[cu <i>h</i> F Fe]	1,32	1,32	1,32	1,31	1,40	1,46	1,49	1,49	1,48

Tabelle IX_b.

Leuchtende Flamme, 140 mm hoch, Wasserstrahl im Querschnitt 20 mm über der Mündung.

Entfern. v. d. Axe mm	0	1	2	3	4	5	6	7
[cu <i>h</i> F Fe]	1,01	1,01	1,00	0,98	1,05	1,14	1,16	1,17

1) Hankel, l. c. p. 27.

Tabelle IX_c.

Alkoholflamme, Alkohol durch Kupferdraht Cu abgeleitet.
Ohne Flamme zeigte der Draht cu gegen Cu die Spannung
[cu h $Alk.$ Cu] = - 0,04.

Entfernung von d. Axe mm	0	1	2	3	4	5
h in 5 mm über Docht [cu h $F Alk.$ Cu] }	0,23	0,25	0,16	0,20	0,35	0,40
h in d. Höhd. Spitze d. inne- ren Kegels [cu h $F Alk.$ Cu] }	0,38	0,36	0,37	0,43	0,47	—

Tabelle X_a.

Bunsen'scher Brenner, Flamme 60 mm hoch.

Höhe üb. d. Mündung	10	25	40	50	70	100	110
[cu h $F Fe$]	1,05	1,26	1,43	1,52	1,61	1,68	1,70

Hieraus wurden die Werthe:

$$[cu h_x F Fe] - [cu h_{10} F Fe] = [cu h_x F h_{10} cu]$$

berechnet und alsdann mittelst eines Wasserstrahles in 10 mm und eines zweiten in x mm Höhe über dem isolirten Brenner direct gemessen. Es ergaben sich folgende Werthe:

Tabelle X_b.

$x = mm$	25	40	50	70	100
[cu $h_x F h_{10} cu$] { ber.	0,21	0,37	0,46	0,56	0,62
{ beob.	0,30	0,50	0,52	0,56	0,56

Dass beide Zahlenreihen nicht völlig übereinstimmen, ist wahrscheinlich daraus zu erklären, dass der untere Wasserstrahl die kleine Flamme bereits ziemlich störte.

Tabelle X_c.

Leuchtende Flamme, 60 mm hoch.

Höhe üb. d. Münd.	10	20	40	60	80	100	120	140	160
[cu h $F Fe$] . . .	0,89	0,96	1,32	1,44	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54

Tabelle X_a.Alkoholflamme, Cu im Alkohol, $[cu \ h \ Alk. \ Cu] = -0,04$.

Höhe üb. dem Docht	10	20	40	60	80	100	110
$[cu \ h \ F \ Alk. \ Cu]$. .	0,21	0,27	0,46	0,49	0,49	0,50	0,51

Was nun zunächst die Tabellen IX anlangt, so ergibt sich durchgängig für den Strahl ausserhalb der Flamme ein höherer Werth, als für den innerhalb, und zwar beträgt die Differenz in den ersten beiden Fällen 0,16, bei der Alkoholflamme 0,17 Dan. für den unteren Querschnitt, dagegen nur 0,09 für den oberen.

Weit beträchtlichere Aenderungen zeigen die Werthe in den Tabellen X, wobei ebenfalls dem ausserhalb der Flamme befindlichen Strahle die höheren Spannungswerthe zukommen. Diese Aenderungen betragen resp. 0,65 Dan. für die Bunsen'sche und die leuchtende Gasflamme, dagegen nur 0,30 Dan. für die Alkoholflamme.

Wollte man nun diese Vorgänge etwa durch die Annahme erklären, dass diese Differenzen aus der Verschiedenartigkeit der Erregung des Wassers seitens der Flammengase entspringen, so würde man auf die Schwierigkeit stossen, dass sich hierbei die Gase in der Richtung von unten nach oben nicht mehr, wie bei den Versuchen mit dem Platindraht, ebenso verhalten, wie in der Richtung von der Flammenmitte zur Peripherie.

Eine andere Erklärung für diese Erscheinungen lässt sich vielleicht folgendermassen gewinnen: Schon infolge der im Zimmer vertheilten Electricität führen die Theilchen der zur Erde abgeleiteten Flamme Electricität von bestimmter Spannung mit sich. Nehmen wir nun an, das Element Kupfer — Wasser — heisse Brennermündung besitze eine gewisse Spannung α , und zwar beim Eisen so, dass sich die positive Electricität von cu durch h und F zum Fe bewegt. Ausserdem sei die Flamme infolge der Influenzwirkung von im Zimmer vertheilter, positiver Electricität negativ geladen; die Spannung sei $-\alpha$. Dann vermittelt einmal die Flamme als gewöhnlicher Leiter in der in § 3 beschriebenen Weise

den Austausch der Spannung α ; ferner aber condensirt der Wasserstrahl h von dem negativelectrischen Felde in jedem Zeittheilchen die Electricitätsmenge $-k\alpha$, wovon er in derselben Zeit wegen der Schwierigkeit des Austrittes der negativen Electricität¹⁾ nur $-k'\alpha$ wieder sofort an andere, ihn treffende und von ihm nicht condensirte Flammenmoleculé abgibt, sodass er also einen Ueberschuss $-(k - k')\alpha$ behält, welcher sich zum Potentialwerthe α addirt; wir messen also am Electrometer bei dem Element $[cu h F Fe]$ nicht die Spannung α allein, sondern $\alpha + (k - k')\alpha$. Nun wird k' , wenn h aus der Flamme herausrückt, kleiner werden, d. h. der Verlust an Electricität wird um so geringer, oder der Widerstand gegen den Austritt negativer Electricität um so grösser, je weiter man sich von der eigentlichen Flamme entfernt, während k beim Aufwärtsbewegen wahrscheinlich wegen der Zunahme condensirbarer Moleculé zunächst wachsen und später wegen des nahezu cylindrischen Verlaufes des heissen Gasstromes nahezu constant bleiben wird. Es muss hiernach die Spannung beim Aufwärtsbewegen des Wasserstrahles erst rascher, dann langsamer wachsen, wie dies die in den Tabellen X_a bis X_d mitgetheilten Versuche thatsächlich zeigen.

Aehnlich wird es sich bei der Seitwärtsbewegung verhalten, nur dass hier jedenfalls ausser k' auch k abnehmen wird, weil sich einmal die Strecke, in welcher das electricische Feld durchsetzt wird, verkleinert, zweitens aber nach dem Rande zu die mit Electricität geladenen Moleculé weniger dicht nebeneinander sich vorfinden werden. Das Gesamtergebnis jedoch ist nach den Beobachtungen auch hierbei, dass $k - k'$ wächst, wenn auch beträchtlich weniger als bei verticaler Verschiebung von h in der Axe der Flamme.

Diese zu den Spannungen α sich hinzuaddirenden Werthe sind es, welche man beobachtet, sobald zwei Wasserstrahlen durch die Flamme geschickt werden (Tabelle X_b). Eben daher sind auch die Spannungen bei der durch einen Wasserstrahl abgeleiteten Weingeistflamme herzuleiten (Tabelle X_d), ohne dass man eine besondere Erregung der Flüssigkeit durch das Gas anzunehmen nöthig hätte.

1) Hankel, l. c. p. 39 ff.

Die Zulässigkeit dieser Art und Weise der Interpretation dieser Versuche wäre übrigens einer genaueren und umfassenderen Prüfung zu unterwerfen, wobei wieder die Entscheidung durch messbare Veränderung der influenzierend wirkenden Electricitäten herbeizuführen sein würde.

§ 5. Recapitulation der hauptsächlichsten Ergebnisse.

Die im Vorstehenden mitgetheilten Versuche ergaben zunächst, dass die Spannungen von der chemischen Beschaffenheit und der Temperatur der Brennermündungen abhängen, und dass sich diese letzteren nach Eintritt eines stationären Zustandes in eine Spannungsreihe einordnen lassen. Dabei erwies sich vor allen das Eisen als sehr stark negativ.

Es zeigte sich ferner, dass die electromotorischen Kräfte Functionen des Ortes sind, an welchem sich die Electrode in der Flamme befindet, und ich habe bereits p. 255 behauptet, dass die Orte grösster Spannung mit den Temperaturmaximis zusammenfallen, eine Behauptung, die ich jetzt genauer zu begründen versuchen will. Wenn man die ausserordentlich hohen Beträge der gewissen Schichten der Flamme entsprechenden Spannungen (ca. 4 Dan.) mit denjenigen vergleicht, welche man sonst bei thermoelectrischen Wirkungen beobachtet, so fällt es schwer, dieselben lediglich aus einer positiven Verschiebung des Platins durch die Temperaturerhöhung zu erklären. Ich will deshalb die Beobachtungen in anderer Weise zu interpretiren versuchen, wobei ich mich auf eine Abhandlung St.-Claire-Deville's¹⁾ berufe, worin dieser bezüglich der Kohlenoxydknallgasflamme nachweist, dass in derselben mit der Temperatur die Menge des freien Kohlenoxydes zunimmt, oder dass dem Temperaturmaximum ein Dissociationsmaximum entspricht. Uebertragen wir diese Resultate auf die Kohlenwasserstoffflamme, so wird in einer solchen an den heissesten Stellen Wasserstoff und Kohlenoxyd in grösster Menge frei sein. Es lehren ferner die Untersuchungen Grove's, dass die das Wasser nicht zersetzenden Metalle in Berührung mit Wasserstoff und Kohlen-

1) St.-Claire-Deville, Compt. rend. 60. p. 884 ff. 1865.

oxyd stark negativ erregt werden. Diese Beobachtungen beziehen sich allerdings nur auf kalte Metalle und Gase; nehmen wir aber an, dass auch für hohe Temperaturen ähnliche Beziehungen statthaben, so wird einmal an den Stellen höchster Temperatur, vermöge der positiven Verschiebung des Platins infolge der Temperaturerhöhung in dem das Molecül *pt* mit dem Brenner *M* verbindenden Drahte positive Electricität von *M* nach *pt* getrieben, zweitens aber treibt die Berührung von *pt* mit den nach Vorstehendem vorwiegend aus Kohlenoxyd und Wasserstoff bestehenden Flammgasen negative Electricität nach der entgegengesetzten Richtung, d. h. beide Wirkungen summiren sich. An den Stellen niederer Temperatur überwiegt nach St.-Claire-Deville Kohlensäure (und Wasserdampf), welche das Platin schwach positiv erregen; hier fällt also die zweite Wirkung weg, und es bleibt allein die thermoelectrische übrig. Dies letztere gilt nun vor allem für die über der Flamme und seitwärts derselben gelegenen Orte, wo ausserdem noch die thermoelectrische Wirkung stark vermindert ist. Die Verhältnisse compliciren sich aber in allen Fällen dadurch, dass die Flamme kein homogenes Gebilde ist, und dass die Beobachtungen immer nur gewisse Mittelwerthe liefern.

Im Anschluss hieran will ich noch erwähnen, dass meine Beobachtungen mit denen der Hrn. Elster und Geitel, soweit sie mit denselben vergleichbar sind, den numerischen Werthen nach gut übereinstimmen. Dieselben fanden die electromotorische Kraft eines ausserhalb der Flamme befindlichen Platindrahtes gegen einen in demselben Querschnitte bis zur Mitte geführten, für die Flamme des Bunsen'schen Brenners = 1,92 Dan., für die Alkoholflamme = 1,44 Dan.¹⁾ Aus meinen Beobachtungen folgt nach Tabelle IV, als Mittel von a_{13} bis a_{16} = - 0,37; dies von a_1 abgezogen, gibt 1,95 für die obengenannte electromotorische Kraft; die directe Beobachtung lieferte genau dieselbe Zahl. Für die Alkoholflamme fand ich aus den ähnlichen (hier nicht mitgetheilten) Versuchen 1,43.

1) Elster u. Geitel, Wied. Ann. 16. 19 8 u. 199. 1882.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 10.