

DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND XVI.

I. *Ueber die Electricität der Flamme;*
von Julius Elster und Hans Geitel.

(Hierzu Taf. III Fig. 1—4.)

§ 1. Einleitung.

Ueber die Electricität der Flamme liegt bereits eine grosse Reihe von Arbeiten vor, die sich jedoch noch in mannichfacher Beziehung widersprechen, sowohl in Bezug auf die Resultate, als auch in Bezug auf die von den verschiedenen Verfassern hinsichtlich der Ursache der Flammenelectricität vertretenen Ansichten. Da Holtz kürzlich¹⁾ eine sehr übersichtliche Zusammenstellung aller auf das electrische Verhalten der Flamme bezüglichen Arbeiten gegeben hat, so darf wohl an dieser Stelle auf eine nochmalige historische Anführung derselben verzichtet werden.

Das Entstehen der electrischen Differenz kann in folgenden drei Ursachen seine Erklärung finden:

1) Die Electricität der Flamme ist bedingt durch den Verbrennungsprocess als solchen. [Pouillet²⁾, Hankel.³⁾]

2) Sie entsteht dadurch, dass die Flamme sich gegen die als Electroden eingeführten Metalle wie ein Electrolyt verhält. [Matteucci.⁴⁾] Es kann mit dieser Erklärung offenbar kein anderer Sinn verbunden werden, als der, dass die verschiedenen Schichten der Flamme die von derselben umspülten Metalldrähte durch den Contact verschiedenartig erregen. Der Kürze wegen werden wir diese Theorie in Zukunft als die „electrolytische“ bezeichnen und dement-

1) Holtz, Carl's Rep. 17. p. 269—294. 1881.

2) Pouillet, Ann. de chim. et de phys. 35. p. 404. 1827.

3) Hankel, Pogg. Ann. 81. p. 212. 1850.

4) Matteucci, Phil. Mag. 8. p. 309. 1854.

sprechend auch von einer „electrolytischen“ Erregung der Flamme sprechen.

3) Sie findet in einer thermoelectrischen Differenz der Electroden ihre Erklärung. [Buff.¹⁾]

Von den Theorien, welche aus der unipolaren Leitungsfähigkeit der Flamme abgeleitet sind, sei verstattet, abzusehen, da, wie sich aus der nachfolgenden Untersuchung ergeben wird, hier Fehlerquellen obgewaltet haben können, welche die daraus gezogenen Schlüsse als zweifelhaft erscheinen lassen.

Ausser diesen Differenzen in theoretischer Beziehung führen die verschiedenen Beobachter aber auch Versuche an, welche sich absolut nicht miteinander vereinbaren lassen. Dies geht so weit, dass nicht einmal hinsichtlich des Punktes, ob der Flamme die positive oder die negative Electricität als Eigenelectricität zukommt, Einigkeit herrscht.

Der Grund hiervon liegt darin, dass alle Beobachter einen Punkt ausser acht gelassen haben, der bei der Flammelectricität eine sehr wesentliche Rolle mitspielt, nämlich das Verhalten der die Flamme unmittelbar umhüllenden Luftschicht.

Führt man einen Draht in diese letztere, einen anderen in das Innere der Flamme ein, so findet man, wie im Folgenden gezeigt werden wird, stets das Maximum der electromotorischen Kraft. Gleichzeitig ist aber bei dieser Stellung der Electroden der Widerstand der die Drähte trennenden heissen Gasschicht ein ungemein grosser, sodass man schwerlich darauf rechnen kann, mit Hülfe eines Multiplicators die Stromintensität zu messen. Es ist wohl eine Folge dieses Umstandes, dass alle Beobachter, die mittelst jenes Instrumentes die Flammelectricität untersuchten, den oben genannten Punkt übersehen haben.

Da bislang, so weit uns bekannt, die Electricität der Flamme mit einem Electrometer, welches exacte Messungen gestattet, noch nicht untersucht worden ist, so schien es uns von Interesse, mit dem Thomson'schen Quadrantenelectrometer

1) Buff, Lieb. Ann. 80. p. 1. 1851 u. 90. p. 1. 1834.

das electrische Verhalten der Flamme zu prüfen und eventuell die Richtigkeit einer der oben angeführten Theorien zu bestätigen.

§ 2. Apparat und Methode.

Um die Ladung der Nadel des Electrometers constant zu erhalten, wurde sie mit dem einen Pole einer aus 2400 Plattenpaaren bestehenden Zamboni'schen Säule in Verbindung gebracht, deren anderer Pol zur Erde abgeleitet war. Der Doppelausschlag, den ein Normaldaniell verursachte, schwankte während der Dauer der Untersuchung um 4 bis 5 Scalentheile und betrug im Mittel 112. Auf dieses Normaldaniell, seine electromotorische Kraft gleich hundert gesetzt, sind alle Angaben in der nachfolgenden Mittheilung bezogen. Die Scala befand sich 2 m vom Spiegel entfernt, und vermittelt einer geeigneten Wippe wurde die Ablenkung links und rechts von der Ruhelage gemessen.

Um den Quadranten, von denen einer, wie gewöhnlich. zur Erde abgeleitet war, die Electricität der Flamme zuzuführen, wurden meist gerade Metalldrähte verwandt oder Electroden aus Flüssigkeiten, die in passenden, auf Harzkuchen wohl isolirten Stativen befestigt, beliebig gehoben und gesenkt werden konnten.

Experimentirt wurde mit wohl isolirten Bunsen'schen Brennern und mit Spiritusflammen. Die Flammen der ersteren, aus einer Brenneröffnung von gewöhnlicher Weite kommend, erwiesen sich jedoch als zu flackernd und die Messungen daher zu unsicher. Es wurde deshalb aus einem 4 mm weiten Glasrohre ein ganz kleiner Bunsen'scher Brenner hergerichtet. Der obere Rand desselben war von einer Platinhülse umgeben, um die Flammenfärbung durch das sich allmählich erhitzende Glas zu vermeiden. War die eine Electrode („Basiselectrode“) (*B* Fig. 1) in den Fuss der Flamme eingetaucht, die andere in die Spitze [„Spitzenelectrode“ (*S*)], (Vgl. Fig. 1), so war bei der einen Stellung der Wippe, (*W*), der Fuss der Flamme abgeleitet, die Spitze isolirt, bei der anderen Stellung der Wippe fand das Umgekehrte statt.

§ 3. Längspolarisation der Flamme.

Hankel gibt an, dass, wenn man einen Platindraht in die Flammenspitze, einen in die Flammenbasis einführt, ein Galvanometer einen von oben nach unten verlaufenden electrischen Strom anzeige. Hieraus könnte man schliessen, dass die Flamme der Länge nach polarisirt sei.

Der entsprechende Versuch mit dem Electrometer liefert scheinbar dasselbe Resultat, nur sind dabei zwei sehr auffallende Punkte zu bemerken.

Der erste dieser Punkte ist folgender:

Trifft man die Anordnung des Versuches so, wie es in Fig. 1 angegeben, so zeigt sich die Spitze, entsprechend dem Hankel'schen Versuche **meist** negativ gegen die Basis; sehr häufig, und zwar scheinbar ohne äussere Veranlassung, findet aber auch das Umgekehrte statt.

Der zweite Punkt ist der, dass, wenn man das Metall, aus welchem die Flamme brennt, mit dem zur Erde abgeleiteten Quadranten verbindet, während man die isolirte Electrode in verschiedenen Höhen s über der Basis einführt, man es durch passende Verschiebung der isolirten Electrode innerhalb eines Querschnitts leicht dahin bringen kann, dass das Potential innerhalb der Flamme constant erscheint.

So bestimmte sich z. B. die electromotorische Kraft (E) für:

$$s = 1 \text{ mm} \quad \text{zu} \quad E = 104$$

$$s = 20 \text{ mm} \quad \text{„} \quad E = 104$$

$$s = 60 \text{ mm} \quad \text{„} \quad E = 94 \text{ (Draht in der äussersten Spitze.)}$$

Schliesslich könnte man als dritten bemerkenswerthen Punkt noch den hinzufügen, dass die electromotorische Kraft unabhängig von der Grösse der Flamme ist, d. h. also unabhängig von der Menge des verbrennenden Gases.

Dies erhellt aus folgendem Versuche:

Durch Regulirung des Gaszutrittes wurden über derselben Brenneröffnung drei Flammen von verschiedener Höhe h erzeugt und deren Spitzen durch ein reines Platinblech mit dem isolirten Quadrantenpaare verbunden. Es fand sich für:

$$\begin{array}{lll} h = 20 & h = 35 & h = 70 \\ E = 73,7 & E = 75,0 & E = 73,9 \end{array}$$

mithin die electromotorische Kraft E unabhängig von der Höhe h der Flamme. Zwei spätere Versuchsreihen ergaben dasselbe Resultat. Die Anordnung der Electroden war hier die in Fig. 2a gegebene. Es fand sich für:

	I. Reihe	II. Reihe
$h = 20$	$E = 142,0$	$E = 213,2$
$h = 40$	$E = 145,0$	$E = 219,2$
$h = 70$	$E = 142,0$	$E = 216,0$

Der Grund, weswegen hier der Werth von E ein so bedeutend grösserer, wird sich später ergeben.

§. 4. Polarisation der Flamme im Querschnitt.

Wäre die Flamme der Länge nach polarisirt, so würden die Flächen gleichen Potentials gegeben sein durch Ebenen senkrecht zur Axe der Flamme. Bei der Untersuchung derartiger Querschnitte ergab sich das überraschende Resultat, dass zwar in dem Falle die Potentialdifferenz innerhalb eines und desselben Querschnittes gleich Null ist, dass die beiden seitlich eingeführten Platindrähte gleich tief in die Flamme eintauchen, dass aber bei geringer horizontaler Verschiebung der einen oder anderen Electrode oft eine Potentialdifferenz auftritt, die der durch die Verticalschiebung hervorgebrachten gleich kommt oder sie weit übertrifft. Das letztere findet allemal dann statt, wenn die eine der Electroden gar nicht mehr in die Flamme, sondern in die dieselbe umgebende heisse Luftschicht (AA' Fig. 1) eintaucht. Die die Flamme unmittelbar umhüllende Luftschicht spielt also bei dem electrischen Verhalten der Flamme eine wesentliche Rolle mit.

Um etwaige Fehler zu vermeiden, schien es daher geboten, die Electroden, so weit sie nicht in der Flamme befindlich waren, mit einer isolirenden Schicht zu überziehen, was durch Einschmelzen der Platindrähte in Glasröhrchen leicht bewerkstelligt werden konnte. Der aus dem Glase herausragende Draht war so lang, dass er von einem Flammensaume zum anderen reichte.

Stellte man nun zwei solcher Platinstäbchen in einem und demselben Querschnitt der Flamme einander gegenüber

und entfernte die eine derselben immer mehr von der anderen, so trat mit dem gänzlichen Entfernen derselben aus der Flamme eine ganz bedeutende Zunahme der electromotorischen Kraft auf; dieselbe stieg von 12 auf 192, und zwar war die in der heissen Luftschicht befindliche Electrode positiv.

Dementsprechend gibt eine Flamme das Maximum der Wirkung, wenn die Spitzenelectrode in den heissesten Theil derselben, die Basiselectrode in die empfindliche, heisse Luftschicht eingeführt ist, etwa so, wie es Fig. 2a schematisch darstellt.

Es sei noch bemerkt, dass bei dieser Versuchsanordnung eine Umkehr der Polarität der Flamme von uns nie beobachtet wurde, und dass alle Kohlenwasserstoffflammen das nämliche Verhalten zeigten.

§ 5. Ueber den Wechsel der Polarität der Flamme.

In § 3 wurde erwähnt, dass eine und dieselbe Flamme bald positiv, bald negativ erscheint. Da nun der in die äussere Luftschicht eingeführte Draht stark positiv electrisch wird, so ist klar, dass ungemein viel darauf ankommen wird, wie die Electroden in die Flamme eingeführt sind. Will man die Spitze der Flamme negativ electrisch haben, so muss die Spitzenelectrode ganz von der Flamme umspült sein; im anderen Falle kann, zumal wenn die der Basis ganz in die Flamme eintaucht, die electrische Erregung der umhüllenden Luftschicht überwiegen, und mithin die Flamme positiv erscheinen. Wenn diese Erklärungsweise die richtige ist, so muss man den Wechsel der Polarisirung der Flamme künstlich hervorrufen können.

Aus den Versuchen mit Weingeistflammen heben wir folgenden hervor:

Die Stellung der Platinelectroden ist die in Fig. 2a, b, c, d, e gegebene. In Fig. 2a ist die Basiselectrode *B* in Luft ca. $\frac{1}{2}$ mm vom Flammensaum entfernt und wird nun aus dieser Lage allmählich so weit in die Flamme hineingeschoben, bis sie (Fig. 2c) beide Flammensäume berührt. Die gleiche Stellung hatte von vornherein die Spitzenelec-

trode *S*; alsdann wurde die Electrode *B* in dieser Lage gelassen und *S* allmählich aus der Flamme herausgerückt, bis sie sich (Fig. 2e) ganz in Luft befand.

Es ergaben sich nun folgende Ablenkungen:

Ruhelage der Electrometernadel: 511,0.		
Daniell = 100.		
Die Electroden befanden sich in der Stellung	Einstellung	Electrom. Kraft
<i>a</i>	439	+ 144
<i>b</i>	485	+ 52
<i>c</i>	510,5	+ 1,0
<i>d</i>	547,0	— 72,0
<i>e</i>	572,0	— 122,0

(Das vor *E* gesetzte Zeichen gibt den Sinn der electrischen Erregung der Electrode *B* an).

Oder in Worten:

So lange *B* ausserhalb der Flamme, ist sie positiv, *S* negativ. (Fig. 2a).

Ist *B* im Flammensaume, so nimmt die Ablenkung ab; *B* bleibt aber noch positiv; *S* negativ. (Fig. 2b).

Befinden sich *B* und *S* gleichmässig in die Flamme eingetaucht, so geht die Nadel auf die Ruhelage zurück. (Ruhelage: 511,0; Ablenkung: 510,5). Bei der Stellung Fig. 2c ist also $E = 0$.

Rückt man jetzt *S* in den Flammensaum, (Fig. 2d), so wird sie positiv, *B* negativ; die Polarität der Flamme ist also umgekehrt; und ist schliesslich *S* ganz ausserhalb der Flamme (Fig. 2e), so ist sie stark positiv, verhält sich mithin ganz so, wie Electrode *B* in der Anfangsstellung Fig. 2a.

Bei geeigneter Stellung der Electroden zeigt sich mithin die Flamme der Länge nach gar nicht polarisirt. Hiermit ist bewiesen, dass die Längspolarisation der Flamme nur eine scheinbare ist, hervorgerufen durch das ungleichmässige Eintauchen beider Electroden in die Flamme. Zugleich wird hierdurch auch der zweite Punkt, die Constanz des Potentialwerthes in der Flamme, erklärt.

Mit einer Gasflamme ist die Umkehr der Polarität ebenso zu zeigen, nur gelingt es nicht, die Electrometernadel ganz auf die Ruhelage zurückzubringen, ein kleiner \pm Ausschlag von 5 bis 10 Scalentheilen bleibt immer bestehen.

Eine Schwefelkohlenstoffflamme zeigt die Umkehr der Polarität in gleichem Maasse wie eine Spiritusflamme, was insofern von Interesse ist, als in einer solchen der chemische Vorgang ein grundverschiedener ist.

Sehen wir vor der Hand von einer Eigenelectricität der Flamme ganz ab, so könnten die besprochenen electricischen Erscheinungen wesentlich durch den Contact der Metalle mit der heissen Luft und den Flammengasen bedingt sein. Alsdann darf man erwarten, dass die electromotorische Kraft sowohl von der Natur der Metalle wie auch der verbrennenden Gase abhängt.

Eine Reihe sehr sorgfältig angestellter Versuche hat diese beiden Folgerungen aufs Entschiedenste bestätigt.

§ 6. Abhängigkeit der electromotorischen Kraft von der Natur der Metalle.

Führt man eine Platinelectrode in die Basis der Flamme oder in die empfindliche Luftschicht ein, während man die Spitze der Flamme immer möglichst genau an derselben Stelle zur Erde ableitet, so erhält man wesentlich verschiedene Werthe, je nach der Natur des ableitenden Metalles. Die Stellung der Electroden war bei den in untenstehender Tabelle mitgetheilten Beobachtungsreihen die in Fig. 2a angegebene. *B* blieb ebenso wie die Flamme selber während der Dauer einer Versuchsreihe unverrückt stehen; die Spitzenelectrode *S* wurde dagegen der Reihe nach aus Drähten von Platin, Eisen, Kupfer und Aluminium gebildet. Experimentirt wurde mit der nichtleuchtenden Flamme des eingangs beschriebenen kleinen Bunsen'schen Brenners.

Tabelle I.

Electromotorische Kraft für $D = 100$.

Die Flammenspitze ableitet durch	V e r s u c h s r e i h e			
	I	II	III	IV
Platin	49,6	116,0	157,2	188,4
Eisen	64,3	139,0	173,8	232,0
Kupfer	—	153,2	208,8	264,0
Aluminium	171,0	237,0	268,8	364,0

In allen vier Versuchsreihen zeigt sich die Flamme sehr stark electricisch bei Ableitung durch Aluminium, schwächer

bei Ableitung durch Kupfer, noch schwächer bei Anwendung von Eisen, und die kleinsten Werthe erhält man bei Ableitung durch Platin.

Tauchen beide Electroden in die Flamme ein, wie in Fig. 2 b, so ist das Resultat ein ganz analoges; ebenso, wenn man statt der nichtleuchtenden Gasflamme eine leuchtende Gasflamme oder eine Spiritusflamme in Anwendung bringt. Die Sonderstellung des Aluminiums auch bei derartiger Stellung der Electroden und bei Anwendung derartiger Flammen geht aus Tabelle II hervor.

Tabelle II.

Art der Flamme.	Spitze der Flamme abgeleitet durch		Stellung der Electroden wie
	Platin	Alumin.	
Gewöhnlicher Bunsen'scher Brenner	74,2	149,2	in Fig. 2b
Leuchtende Gasflamme	49,6	112,2	in Fig. 2b
Spiritusflamme	160,0	278,0	in Fig. 2a

Die Basiselectrode wurde bei allen Versuchsreihen durch einen Platindraht gebildet.

Da die angewendeten Drähte nicht von gleicher Dicke waren, so machten wir noch eine Versuchsreihe mit drei genau gleich grossen Blechen aus Aluminium, Kupfer, Platin, die in die Spitzen einer reinen Alkoholflamme eingeführt wurden. In der Gasflamme tritt immer eine Schmelzung des Aluminiums ein, wodurch die Gestalt der Electrode verändert wird. Die hierin liegende etwaige Fehlerquelle fällt bei einer Spiritusflamme ebenfalls fort.

Die electromotorische Kraft der Flamme bestimmte sich, wenn ihre Spitze abgeleitet war:

durch das Platinblech . .	zu 120,1
durch das Kupferblech . .	„ 166,0
durch das Aluminiumblech	„ 301,5

Natrium und Magnesium sind noch negativer als Aluminium, wie aus den nachfolgenden Zahlen ersichtlich ist.

Flamme abgeleitet durch	Electrom. Kraft
Platindraht	119
Aluminiumdraht	198
Magnesiumband	221
Natrium	338

Die beiden letzten Metalle wurden in den unteren Theil der Flamme eingeführt, um ein Entzünden derselben zu verhindern. Das Natrium war ein bohnergrosses Stück mit blanker Schnittfläche.

Die Stellung aller zu den Versuchen benutzten Metalle zueinander ist durch folgende Zahlen charakterisirt:

Käufliche Drähte von:	{	Gold (unrein)	} . . . 150
		Platin	
		Silber (unrein)	
	{	Eisen	170
		Kupfer	200
		Aluminium	300
		Magnesium	320
		Natrium	500
		Daniell'sches Element	= 100.

Somit ist ausser Frage gestellt, dass der electricische Zustand der Flamme wesentlich von der Natur des ableitenden Metalles abhängt; dass jedoch auch die Oberflächenbeschaffenheit der in Luft befindlichen Electrode eine wesentliche Rolle mitspielt, wurde durch folgende Versuche dargethan.

Benetzt man die in Luft befindliche isolirte Basiselectrode, während die Spitze der Flamme zur Erde abgeleitet ist, mit Wasser oder einer Salzlösung, so findet sofort eine Abnahme der electromotorischen Kraft statt, die namentlich bei Anwendung einer Chlorkaliumlösung eine sehr bedeutende ist.

Ein völlig reiner Platindraht, als Basiselectrode verwandt, ergab $E = 184$; als derselbe mit destillirtem Wasser befeuchtet wurde, sank momentan E auf 134, durchlief die Werthe 148, 160 und wurde schliesslich bei 170 constant. Dass der frühere Werth 184 nach dem Verdunsten des Wassers nicht wieder erreicht wurde, dürfte in der nicht völligen Reinheit des (käuflichen) destillirten Wassers seine Erklärung finden.

Noch auffallender war die Erscheinung bei Anwendung einer Chlorkaliumlösung. Hier fand ebenfalls eine momentane Abnahme der electromotorischen Kraft von 184 auf 74 statt, und als der Draht einmal flüchtig durch die Flamme gezogen war, sodass ihn die kleinen geschmolzenen Chlor-

kaliumpartikelchen bedeckten, sank sie gar bis auf 16. Durch kein Verschieben der Electrode war dieser Werth zu vergrössern, sodass diese grosse Abnahme nicht etwa in dem nicht zu vermeidenden Stellungswechsel der betreffenden Electrode ihren Grund hat.

Schliesslich sei noch eines hierher gehörigen Umstandes gedacht, nämlich dessen, dass frisch ausgeglühte Drähte, als Electroden in der Luftschicht benutzt, stets bedeutend grössere Werthe geben als solche, welche längere Zeit, etwa 10 Minuten, an der Luft gestanden haben; ein Verhalten, das selbst bei Platin nur in einer Aenderung der Oberflächenbeschaffenheit seine Erklärung finden kann.

§ 7. Wiederholung der Versuche mit Flüssigkeitselectroden.

Um eine Berührung der Flammengase mit Metallen ganz zu vermeiden, wurden Flüssigkeitselectroden von der in Fig. 3 dargestellten Form verwandt. Der Druck der Flüssigkeitssäule in dem Glasrohr *R* sorgte dafür, dass aus der feinen Oeffnung *a* ein Tropfen herausgepresst wurde, der dann in die die Flamme umgebende Luft, und zwar möglichst nahe der Flammenbasis gebracht wurde. Um die Flamme eines ganz aus Glas construirten Bunsen'schen Brenners zur Erde abzuleiten, diente eine U-Röhre, deren einer Schenkel in der inneren Höhlung des Brenners heraufgeführt war. Beide Glaselectroden wurden mit destillirtem Wasser gefüllt, in welches reine Platindrähte (Pt) eintauchten. Verband man die beiden Wassersäulen in den Electroden direct miteinander, so betrug die durch die Ungleichartigkeit der Platinelectroden hervorgerufene electromotorische Kraft im Maximum 0,05 Daniell.

Bei allen Versuchen lud sich nun die in Luft befindliche Electrode in demselben Sinne wie eine Metallelektrode, sie wurde ebenfalls positiv. Die electromotorische Kraft war allerdings eine viel schwächere.

Die Mittelwerthe aus drei Versuchsreihen waren folgende:

$$E = 51 \qquad E = 51 \qquad E = 56,$$

während an derselben Flamme zwei Platinelectroden Werthe lieferten, die zwischen 150 und 180 lagen.

Eine ähnliche Reihe von Versuchen wurde mit einer Spiritusflamme durchgeführt, bei welcher ebenfalls alles Metall, das mit der Flamme direct in Berührung kommen könnte, vermieden war. Die Ableitung zur Erde geschah hier vermittelst eines in den Alkohol der Lampe eintauchenden Platinblechs, das durch einen Platindraht mit der Erdleitung in Verbindung gesetzt war. Ausser der in Fig. 3 dargestellten Electrode kam noch eine um einen Glasstab fest umgewickelte feuchte Schnur zur Anwendung.

Die electromotorische Kraft bestimmte sich dann für die:

Wasserelectrode in Luft	$E = 24$,
Feuchte Schnur in Luft	$E = 58$,
Für eine Platinelectrode	$E = 99$.

Dass für letztere ebenfalls kleinere Werthe resultiren, als bei den früheren Versuchen, darf nicht auffallen, da bei dieser Versuchsanordnung ein zweites in die Flamme selbst eintauchendes Metall fehlt.

Eine directe Bestimmung der Combination Platin — Wasser — Alkohol — Platin lieferte im Maximum 11,6 für Daniell = 100, sodass also die beobachtete electromotorische Kraft hierdurch nicht hervorgerufen sein kann.

Bei Anwendung der feuchten Schnur hat man sich zu hüten, dass man sie nicht in tangentialer Richtung an die Flamme anlegt. Alsdann ragen leicht kleine Fäserchen in die Flamme selbst hinein, wodurch leicht eine Umkehr der Polarität der Flamme aus den früher erörterten Gründen hervorgerufen wird.

Dass die oben mitgetheilten Werthe so sehr viel kleinere sind, als bei Verwendung von Platinelectroden, könnte man sich auch dadurch erklären, dass die Ableitung zur Erde durch das destillirte Wasser oder den Alkohol eine doch immerhin sehr unvollkommene ist. Deshalb schien es geboten, das Verhalten einer Wasserelectrode einer Platinelectrode gegenüber zu prüfen. Leitet man die Spitze der Flamme durch einen Platindraht zur Erde ab, so ist die in Luft befindliche Wasserelectrode nur so lange positiv, als derselbe vollständig von der Flamme umhüllt ist. Rückt man ihn soweit aus der Flamme heraus, dass auch er sich

ganz in der heissen Luftschicht befindet, so kehrt sich die Polarität der Electroden um, der Platindraht ist positiv, die Wasserelectrode negativ. Bei einem derartigen Versuche stieg z. B. durch die Verrückung die electromotorische Kraft von -142 auf $+60$. (Das Vorzeichen bezieht sich auf die Metallelectrode.) Hieraus geht hervor, dass Metalle mit heisser Luft in Berührung stärker positiv werden, als Flüssigkeiten, dass aber immerhin Flüssigkeiten in Contact mit erhitzten Gasen ein den Metallen analoges Verhalten zeigen. Demnach darf daraus, dass Flammen sich auch bei Vermeidung aller Metalle electrisch zeigen, nicht direct auf eine Eigenelectricität der Flamme geschlossen werden.

Das ganz analoge Verhalten zwischen Metall- und Wasserelectroden tritt auch noch dadurch hervor, dass von wesentlichem Einfluss ist, was für ein Metall die Flamme zur Erde ableitet.

Wurde die Basiselectrode durch Wasser gebildet, die Spitze der Flamme dagegen durch verschiedene gleich grosse Metallbleche abgeleitet, so bestimmte sich bei Ableitung:

durch ein Platinblech . . E zu $73,6$,
 „ „ Aluminiumblech E zu $176,8$.

Die electromotorische Kraft der Combination: Aluminium — Flamme — heisse Luft — Wasser — Platin ist also eine über noch einmal so grosse, als zwischen: Platin — Flamme — heisse Luft — Wasser — Platin, ganz entsprechend den früheren Versuchen mit zwei Metallelectroden.

§ 8. Abhängigkeit der electromotorischen Kraft von der Natur der Flamme.

Da die electromotorische Kraft der Flamme von der Natur der in dieselbe eingeführten Metalle abhängt, so steht zu erwarten, dass, wenn man die Beschaffenheit der Flammengase ändert, auch eine Aenderung der electromotorischen Kraft eintreten muss. Eine solche Aenderung lässt sich z. B. dadurch leicht herbeiführen, dass man an einem wohl isolirten Metalldraht eine Sodaperle in die Flamme einführt. In der That tritt dann auch sofort eine Aenderung in der Stellung der Electrometernadel ein, nur ist bei Na der grosse

Uebelstand, dass binnen kurzer Zeit die ganze Atmosphäre des Zimmers so mit Natriumdampf geschwängert ist, dass die Flamme stark nach Natrium brennt, wodurch die Zuverlässigkeit der Resultate beeinflusst wird. Es wurde deshalb ein Salz gewählt, für welches die Flamme weniger empfindlich ist, nämlich Chlorkalium.

Zunächst wurde durch eine sorgfältige Versuchsreihe festgestellt, dass das Einführen eines isolirten, wohl gereinigten Platindrahtes in die Flamme die electromotorische Kraft nicht änderte. Es möge genügen, an dieser Stelle auf diesen Punkt hinzuweisen, da wir später noch einmal auf denselben zurückkommen werden.

Befinden sich die Electroden in der in Fig. 2a) angegebenen Stellung, und führt man an einem isolirten Platindrahte eine Chlorkaliumperle ein, so erhält die Nadel einen Stoss, welcher eine Vermehrung der electromotorischen Kraft anzeigt; schnell jedoch geht sie wieder zurück, und zwar weit unter den Werth der Ablenkung, der sich bei reiner Flamme ergeben hatte. Es fände demnach eine Abnahme der electromotorischen Kraft statt; dieselbe ist jedoch nur eine scheinbare. Nimmt man nämlich jetzt die Chlorkaliumperle aus der Flamme heraus, so nähert sich die Nadel der Ruhelage noch mehr. Dies deutet darauf hin, dass mit der in Luft befindlichen Electrode eine Veränderung vor sich gegangen sein muss. Auf derselben hat sich ein dünner Anflug von Chlorkalium gebildet, sodass der Platindraht, in die Flamme eingeführt, einen Moment nach Kalium brennt. Sobald die Flammenfärbung vorüber, gibt derselbe Draht, als Electrode in Luft benutzt, wieder die gewöhnlichen (meist etwas grösseren) Werthe.

Die scheinbare Abnahme der electromotorischen Kraft ist demnach bedingt durch das Ueberziehen der in Luft befindlichen Electrode mit Chlorkalium, entsprechend dem im § 6 angegebenen Versuche.

In der nachfolgenden Tabelle bezeichnet:

E die electromotorische Kraft einer absolut reinen, nicht-leuchtenden Gasflamme.

E_k die electromotorische Kraft derselben Flamme, wenn eine Chlorkaliumperle eingeführt ist. E' die electromotorische Kraft der Flamme nach Entfernung der Chlorkaliumperle, aber bei mit $KaCl$ bedeckten Electroden B und S (Fig. 2a und e). Demnach stellt $E_k - E'$ die Zunahme der electromotorischen Kraft, die durch das Einführen des $KaCl$ hervorgebracht wird, dar.

Versuchsreihe	E	E_k	E'	$E_k - E'$	Stellung der Electroden wie in
I	150	60	26	34	} Fig. 2a.
II	171	111	80	31	
III	182	142	30	112	} Fig. 2e.
IV	174	132	75	57	

Dass die Werthe $E_k - E'$ so wenig Uebereinstimmung untereinander zeigen, liegt darin, dass es nicht möglich ist, zwei Versuchsreihen unter genau denselben Bedingungen anzustellen. Ausser von der Stellung der Electroden ist $E_k - E'$ auch noch in complicirter Weise davon abhängig, in welchen Theil der Flamme die Chlorkaliumperle eingeführt wird; immerhin aber beweisen die obigen Zahlen, dass durch das Verdampfen des Chlorkaliums in der Flamme eine Zunahme der electromotorischen Kraft herbeigeführt wird.

Dasselbe lässt sich auch bei Anwendung von Flüssigkeitselectroden constatiren.

Bei Anwendung verschiedener Flammen ergeben sich im Durchschnitt bei Einführung von Platinelectroden in der Stellung Fig. 2a für die electromotorischen Kräfte folgende Werthe:

Art der Flamme	E
1) Bunsen'scher Brenner	180 bis 200
2) Leuchtende Gasflamme	180 „ 200
3) Stearinkerze	180 „ 200
4) Spiritusflamme	180 „ 200
5) Magnesiumflamme	20 „ 30
6) Schwefelkohlenstoffflamme	85 „ 100

Bei Magnesium sind die experimentellen Schwierigkeiten sehr gross. Es konnte hier nicht mit Sicherheit constatirt werden, ob die Luftelectrode positiv, was sonst bei allen Flammen der Fall war, oder negativ erregt wurde.

§ 9. Combination mehrerer Flammen.

Es sei noch erwähnt, dass man Flammen in genau derselben Weise mit einander combiniren kann, wie galvanische Elemente, indem man die Basis einer Flamme mit der Spitze der zweiten, die Basis dieser zweiten mit der Spitze der dritten und so fort durch Metalldrähte verbindet. Drei Bunsen'sche Brenner auf diese Weise mit einander durch Kupferdrähte verbunden, ergaben am Electrometer folgende Ablenkungen:

1 Brenner	80	Scalentheile	
2 "	156	"	(160)
3 "	245	"	(240)

Bei völliger Gleichheit der Brenner wären die in Klammern beigesetzten Zahlen zu erwarten gewesen.

Fünfundzwanzig Spiritusflammen auf diese Weise zu einer „Flammenbatterie“ vereinigt, erzeugten am Electrometer eine Ablenkung, die mit Spiegel und Scala nicht mehr zu messen war. Die Intensität des auftretenden Stromes ist jedenfalls wegen des grossen Widerstandes innerhalb der Flammen eine sehr kleine. Zur Prüfung des letzteren Punktes stand uns ein hinreichend empfindlicher Multiplicator nicht zu gebote.

§ 10. Zusammenfassung der Resultate.

Fassen wir die bisher gewonnenen Resultate zusammen, so ergibt sich Folgendes:

1) Die Längspolarisation der Flamme ist nur eine scheinbare und wird durch das ungleichmässige Eintauchen der als Electroden dienenden Drähte hervorgerufen.

2) Die Flamme erscheint im Querschnitt stark electrisc polarisirt, und zwar zeigt sich die in der die Flamme unmittelbar umhüllenden Luftschicht befindliche Electrode stets positiv gegen die Electrode in der Flamme.

Mit Punkt 1) und 2) steht im Einklange, dass 3) die electromotorische Kraft unabhängig ist von der Grösse der Flamme.

4) Der Wechsel der Polarität der Flamme lässt sich durch passende Verschiebung der Electroden hervorrufen und findet ebenfalls in Punkt 1) und 2) seine Erklärung.

5) Die electromotorische Kraft der Flamme ist abhängig von der Natur der als Electroden benutzten Metalle und der Natur der verbrennenden Gase. Besonders stark electricisch zeigt sie sich, wenn Aluminium oder Magnesium als ableitendes Metall benutzt wird, besonders schwach, wenn die in Luft befindliche Electrode mit Salzen (Chlorkalium) bedeckt ist.

6) Bei Anwendung von Wasserelectroden und Ausschluss jeglichen Metalles erhält man ebenfalls unzweideutige electricische Wirkungen der Flamme, und zwar ist die in Luft befindliche Electrode ebenfalls positiv gegen die in der Flamme. Alle die obigen Sätze lassen sich, soweit es die Natur der Flüssigkeiten gestattet, mit solchen bestätigen.

7) Flammen lassen sich nach Art galvanischer Elemente hintereinander combiniren, man kann also eine Anzahl derselben zu einer „Flammenbatterie“ vereinigen.

§ 11. Thermoelectrisches Verhalten von Platindrähten, die durch eine heisse Luftschicht getrennt sind.¹⁾

Die bisher besprochenen Erscheinungen lassen sich sowohl aus der thermoelectrischen, wie electrolytischen Theorie ungezwungen erklären; jedoch kamen wir bald zu der Ueberzeugung, dass, solange das Experiment an der Flamme selber ausgeführt wurde, ein für die eine oder andere Theorie wirklich entscheidender Versuch nicht angestellt werden konnte, zumal wenn man eine von unseren Betrachtungen bisher ausgeschlossene Eigenelectricität der Flamme zur Erklärung der Erscheinungen mit zu Hülfe nahm. Es war daher nothwendig, die Sache von einer anderen Seite anzufassen und eine Methode aufzufinden, mit deren Hülfe man Metalldrähte von verschiedener Temperatur in heisser Luft befindlich auf ihr gegenseitiges electricisches Verhalten prüfen konnte. Selbstverständlich durfte hierbei die heisse Luft nicht von einer Flamme herrühren, also nicht mit Verbrennungsproducten gemischt sein.

1) Die hierbei auftretende electricische Erregung findet nur insoweit an dieser Stelle Berücksichtigung, als dieselbe unmittelbar mit der Electricität der Flamme zusammen hängt. Die allgemeine Behandlung dieser Erscheinung bleibt einer späteren Mittheilung vorbehalten.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, wurde der in Fig. 4 schematisch dargestellte Apparat in Anwendung gebracht.

Es ist ab (Fig. 4) ein feiner zwischen zwei Kupferdrähten x und y ausgespannter Platindraht, der durch eine Batterie von zwei Bunsen'schen Elementen (B) ins Glühen versetzt werden konnte. Am Punkt u war derselbe und damit auch die Batterie zur Erde abgeleitet und mit dem einen Quadrantenpaare des Electrometers verbunden. Ein zweiter dünner Platindraht c war mit dem isolirten Quadrantenpaare des Electrometers in Verbindung und konnte dem Drahte ab beliebig genähert werden. Dieser bewegliche Draht wurde so gestellt, dass er dem Punkte u möglichst nahe war; trat alsdann durch das Glühen des Drahtes ab eine thermoelectrische Differenz auf, so musste sich diese am Electrometer kund thun.

Bei diesem Versuche ist jedoch einer Fehlerquelle zu gedenken. Da es unstatthaft und auch mit Genauigkeit unmöglich sein dürfte, den Draht c genau dem Punkte u gegenüber zu stellen, so könnte eine etwaige Potentialdifferenz auch daher rühren, dass, vermittelt durch die Leitungsfähigkeit der erhitzten Luft, die Potentialdifferenz der Punkte u und v auf dem ausgespannten, vom Strome durchflossenen Drahte ab gemessen würde. Um hiervon unabhängig zu sein, wurde in den Stromkreis eine Wippe W_1 eingeschaltet, welche gestattete, die Stromesrichtung im Drahte ab zu ändern. Ist bei der einen Stellung der Wippe der Werth des Potentials $+x$, so wird derselbe durch das Umlegen der Wippe in $-x$ übergeführt, d. h. der Sinn des Electrometerauschlages müsste je nach der Stellung der Wippe W_1 nach rechts oder links erfolgen.

Durch diesen hier erörterten Umstand wurde in der That eine kleine Correction nöthig. Nehmen wir an, der Draht c verhielte sich wie eine in die heisse Luftschicht einer Flamme eingeführte Platinelectrode, so können wir den Werth des Potentials auf denselben mit $+e$ bezeichnen. Zu diesem Werthe $+e$ wird sich der Potentialwerth im Punkte v je nach der Stellung der Wippe W_1 hinzuaddiren oder von

ihm subtrahiren. Bezeichnen wir die Ablenkungen des Electrometers, den beiden Lagen der Wippe entsprechend, mit s_1 und s_2 , so hat man:

$$e + x = s_1, \quad e - x = s_2, \quad \text{mithin: } e = \frac{s_1 + s_2}{2}.$$

Bringt man die Erdleitung nicht im Punkte u , sondern etwa im Punkte r an, so bleibt diese Methode ebenfalls noch anwendbar, nur ist hier häufig $x \geq e$, was für den Moment die Uebersichtlichkeit des Versuches leicht stört.

Es ergab sich nun, dass ein Platindraht c , der dem glühenden Drahte genähert wurde, sich stark positiv lud, sich mithin ganz so verhielt, wie die Basiselectrode der Flamme. Die Uebereinstimmung geht soweit, dass selbst die Werthe der electromotorischen Kraft innerhalb derselben Grenzen liegen. Ja die Analogie zwischen beiden Erscheinungen ist noch grösser, denn fast alle die für die Flamme angegebenen Versuche lassen sich mit einem solchen glühenden Drahte wiederholen.

Die electromotorische Kraft zeigt sich, ausser von der Entfernung des Drahtes c vom Drahte ab , abhängig von:

1. dem Glühzustande des Drahtes ab .
2. der Oberflächenbeschaffenheit des Drahtes c .

Die Richtigkeit der Sätze geht aus der nachfolgenden Tabelle hervor, in welcher die Zahlen der Uebersichtlichkeit wegen auf gleiche Empfindlichkeit des Electrometers reducirt worden sind. (Doppelausschlag des Daniell gleich 100).

Tabelle III.

I. Versuchsreihe. ($x \geq e$).

Ableitung zur Erde im Punkte r . (Fig. 4).

$x + e$	$x - e$	e	Stellung des Drahtes c
+ 151,0.	— 10,0	161,0	} $\frac{1}{2}$ mm über ab (Fig. 4).
+ 150,6	— 16,1	166,0	
+ 169,5	+ 6,0	163,5	
+ 155,0	— 3,0	158,0	} $\frac{1}{2}$ mm seitlich von ab
+ 163,9	+ 0,8	163,1	

Brachte man den Draht c einen halben Millimeter unter Draht ab , so war die Einstellung des Electrometers keine constante. Im Maximum ergeben sich folgende Werthe:

$x + e$	$x - e$	e
129	- 9	138

II. Versuchsreihe. ($e > x$).Ableitung zur Erde im Punkte u .Abhängigkeit vom Glühzustande des Drahtes ab .

Glühzustand des Drahtes ab	$e + x$	$e - x$	e
schwachroth	54	42	96
hellroth	86	83	169
weissglühend	74	42	116

Aus der letzten Versuchsreihe ist hervorzuheben, dass bei derselben Stellung des Drahtes c ($\frac{1}{2}$ mm über ab) bei heller Weissgluth der Werth von e kleiner ist, als bei heller Rothgluth, ein sehr auffälliger, aber durch mehrfache Controlversuche bestätigter Umstand.

Ueberzieht man den Draht c mit einer Schicht Chlorkalium, so sinkt die electromotorische Kraft bedeutend. Bei einem Versuche sank sie z. B. von 188 auf 34.

Es wurde nun der Draht c durch eine Wasserelectrode (Fig. 3) oder eine feuchte Schnur ersetzt. Die Versuche ergaben ganz unzweifelhaft, dass auch Flüssigkeiten, von glühendem Platin durch eine heisse Luftschicht getrennt, electricisch erregt werden, nur ist diese Erregung, gerade wie bei der Flamme, eine viel geringere.

Es ergab sich, wenn:

	$e + x$	$e - x$	e
c eine Platinelectrode . .	85	84	169
c eine Wasserelectrode . .	26	15	41
c eine feuchte Schnur war	26	24	50

Demnach darf daraus, dass Flammen selbst bei Vermeidung jeglicher Berührung mit Metallen sich deutlich electricisch zeigen, nicht ohne weiteres auf eine Eigenelectricität derselben geschlossen werden.

Es sei noch bemerkt, dass sowohl bei Anwendung der feuchten Schnur, als auch der Wasserelectrode, vor den definitiven Versuchen bestimmt wurde, wie gross bei directer Verbindung durch Wasser die Potentialdifferenz zwischen ab und den mit der Flüssigkeit der Electroden in Berührung stehenden Drahte war. Der Ausschlag der Electrometernadel betrug für dieselbe nur wenige Scalentheile, sodass also eine Fehlerquelle hieraus nicht entspringen konnte.

Die hier besprochenen Erscheinungen, die unseres Wissens nicht bisher beobachtet wurden, stehen offenbar mit einem von Edlund¹⁾ angegebenen Versuche in engstem Zusammenhange, nämlich mit dem, dass, wenn man die glühenden Kohlenspitzen der electrischen Lampe unmittelbar nach dem Verlöschen des Flammenbogens durch einen Multiplikator verbindet, ein starker thermoelectrischer Strom angezeigt wird. Auch geht aus den mitgetheilten Versuchen hervor, dass, wenn die Kohlenspitzen im Flammenbogen in verschiedenem Glühzustande sind, (die positive ist bekanntlich die heissere, diese Bedingung ist mithin erfüllt) eine electromotorische Gegenkraft entstehen muss, deren Grösse wesentlich von der Natur der Leiter, zwischen denen der Flammenbogen übergeht, abhängig ist; eine Folgerung, die bereits von Edlund bestätigt worden ist.

Die positive Electrode, als die heissere, muss sich wie der glühende Draht in unserem Versuche verhalten, d. h. thermoelectrisch negativ, die kältere negative dagegen thermoelectrisch positiv erregt werden, womit der Nachweis der entstehenden electromotorischen Gegenkraft gegeben ist.

§ 12. Abhängigkeit der Flammenelectricität vom Glühzustand der Electroden.

Nachdem wir so nachgewiesen, dass Platindrähte sowohl, wie auch Wasserelectroden im Contact mit heisser Luft electrisch erregt werden, kehren wir zu der Electricität der Flamme zurück.

Die im vorigen Paragraph erörterte Methode gestattet auch, die electromotorische Kraft des Elementes: „glühendes Platin — heisse Luft — Flammengase — glühendes Platin“, zu bestimmen, wenn man den Draht *ab* in die heisse Luftschicht, den Draht *c* in die Spitze der Flamme einführt.

So lange Draht *ab* (Fig. 4) nicht glüht, ist er positiv gegen den Draht *c* in der Flamme, so bald er aber ins Glühen versetzt wird, addirt sich zu dem positiven Potentialwerthe ein negativer hinzu, mithin muss die Potentialdifferenz

1) Edlund, Pogg. Ann. **131**. p. 586. 1850. und **133**. p. 353. 1851.

zwischen den beiden Electroden eine Abnahme erfahren. Diese Folgerung bestätigte der Versuch vollkommen.

Im Folgenden bedeutet E die electromotorische Kraft der Flamme, wenn c glüht, Draht ab nicht, und e die electromotorische Kraft der Flamme, wenn beide Drähte glühen. Es müsste $e = E$ sein, wenn das Glühen des Drahtes ab ohne Einfluss wäre, es ergab sich jedoch:

I. Versuchsreihe.		II. Versuchsreihe.	
E	e	E	e
254	148	134	47
246	147	122	50
216	116	114	37

mithin stets eine bedeutende Abnahme der electromotorischen Kraft.

Die Verschiedenheit der vertical unter einander stehenden Zahlen rührt daher, dass für jede neue Bestimmung der Draht ab in eine etwas andere Lage zum Flammensaume gebracht wurde.

Ein Versuch, der ebenfalls die Abhängigkeit der electromotorischen Kraft vom Glühzustande der Electroden beweist, der jedoch nicht so einwurfsfrei, wie der obige ist, ist folgender.

Die Electrode S (Fig. 2a) wurde durch einen Platintiegel ersetzt und die electromotorische Kraft E bestimmt. Als dann wurde in den rothglühenden Tiegel Wasser eingeführt, und sobald dasselbe siedete, die Grösse E wiederum gemessen. War dasselbe ganz verdampft, und der Tiegel wieder rothglühend, so wurde zur Controle der erste Versuch nochmals wiederholt. Es war hierbei die Wippe W Fig. 1 so gestellt, dass der Platintiegel zur Erde abgeleitet war. Eine grosse Reihe von Versuchen lieferte stets dasselbe Resultat, nämlich eine bedeutende Abnahme der electromotorischen Kraft mit Abnahme der Temperatur des Tiegels.

Es war z. B.:

- 1) die electrom. Kraft bei rothglühendem Tiegel $E = 216$
 " " " " dem Tiegel von 100° $E = 152$
 " " " " rothglühendem Tiegel (Controlvers.) $E = 213$
- 2) die electrom. Kraft bei rothglühendem Tiegel $E = 196$
 " " " " dem Tiegel von 100° $E = 118$
 " " " " rothglühendem Tiegel (Controlvers.) $E = 197$

Diese Versuche scheinen ohne die Bestätigung des vorigen Versuchs, uns deshalb nicht massgebend zu sein, weil durch das Verdunsten des Wassers und durch das Beschlagen des Tiegels mit Wasser an der Aussen Seite eventuell eine Aenderung E herbeigeführt werden könnte. Aus dem ersteren Versuche geht jedoch schon hervor, dass die electromotorische Kraft um so grösser wird, je grösser die Temperaturdifferenz zwischen der Electrode in der Flamme und der in Luft ist.

§ 13. Thermoelectrisches Verhalten von Metalldrähten innerhalb einer Flamme.

Mit den in den letzten Paragraphen angeführten fundamentalen Versuchen steht im Widerspruch, dass trotz grosser Temperaturdifferenzen keine thermoelectrische Erregung stattfindet, sobald beide Electroden gleichmässig in die Flamme eintauchen. Bei der in Fig. 2c angegebenen Stellung der Electroden gelingt es leicht, die Electrode B so zu stellen, dass dieselbe nicht glüht, während S in heller Weissgluth befindlich ist; trotzdem sind die auftretenden electrischen Kräfte sehr gering, wie folgender Versuch zeigt:

Electrode S (Fig. 2c) weissglühend. Basiselectrode B :

In der Flamme. (Fig. 2a):	In Luft. (Fig. 2a):
dunkel . . $E' = + 4$	
rothglühend $E' = + 3$	$E = + 150$
weissglühend $E' = - 6$	

Das vorgesetzte Zeichen bezieht sich auf die Electrode B .

Auch wenn sich die Electroden innerhalb eines Querschnittes der Flamme befinden und dabei vollständig in dieselbe eintauchen, ist trotz grosser Temperaturdifferenzen die electromotorische Kraft sehr klein. Brachte man die Drähte ab und c (Fig. 4) in den kältesten (tiefsten) Theil einer Alkoholfamme, so bestimmte sich E zu 23. Durch passende Verschiebung des Drahtes c liess sich dieselbe auf 6 reduciren, trotzdem Draht c nicht glühte, ab dagegen durch einen electrischen Strom in helle Weissgluth versetzt wurde. Der Grund für dieses auffallende Verhalten scheint darin zu liegen, dass die gegen die heisse Luft relativ gut leitenden Flammengase ein Zustandekommen der electrischen

Differenz verhindern. Dies dürfte auch darin seine Bestätigung finden, dass bei den Versuchen mit Drähten in Luft das Maximum gefunden wird, wenn der Draht *ab* in heller Rothgluth befindlich ist. Weissglühende Drähte liefern bei der gleichen Stellung der Electroden stets kleinere Werthe für die electromotorische Kraft, wie bereits früher erwähnt, was unseres Erachtens nur darin seine Erklärung finden kann, dass die Leitungsfähigkeit der umgebenden Luft durch die starke Erhitzung so erhöht wird, dass sie gleichsam eine Nebenschliessung bildet.

§ 14. Fälle, in welchen die thermoelectrische Erregung die electrolytische überwiegt und umgekehrt.

Die zuletzt erörterte Anschauungsweise erklärt auch sehr ungezwungen den in § 4 erwähnten Versuch, dass die electromotorische Kraft so bedeutend von 12 auf 190 steigt, sobald die Electrode *B* (Fig 2a) ganz aus der Flamme entfernt wird. In dem Momente, wo dies geschieht, wird die durch die Flamme gebildete Nebenschliessung aufgehoben, und die dem Temperaturunterschiede der Electroden entsprechende thermoelectrische Kraft tritt voll in Wirkung.

Will man diese Erklärungsweise nicht als die richtige anerkennen, so könnte es zweifelhaft erscheinen, ob nicht bei der Flamme die thermoelectrische Erregung ganz fortfällt und die electrolytische ausschliesslich das electrische Verhalten der Flamme bedingt.

Sprechen hiergegen schon die im § 12 mitgetheilten Versuche, so lassen sich auch noch einige andere anstellen, welche ohne die Annahme einer thermoelectrischen Erregung schwer zu erklären sein dürften. Diese sind folgende:

Leitet man die Spitze der Flamme durch einen Platintiegel zur Erde ab und bringt unterhalb desselben in den äussersten Saum der Flamme einen feinen, hell weissglühenden Platindraht, so zeigt derselbe freie positive Electricität. Nach den früheren Versuchen müsste aber ein weissglühender Draht gegen den rothglühenden Tiegel negativ geladen erscheinen.

In diesem Falle überwiegt also die electrolytische Er-

regung die thermoelectrische. Sorgt man jedoch nun dafür, dass die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Electroden noch grösser wird, was durch Abkühlen des Platintiegels durch Wasser leicht geschehen kann, so kehrt sich die Polarität der Flamme um; der weissglühende Platindraht ist jetzt mithin negativ, wie es die thermoelectrische Theorie verlangt.

Bei einem derartigen Versuche ergeben sich folgende Werthe:

1) Tiegel rothglühend . . . (-)	} $E = + 20$
Platindraht weissglühend . . (+)	
2) Tiegel abgekühlt durch H_2O (+)	} $E = - 32.$
Platindraht wie oben . . . (-)	

Die Werthe von E sind bedeutend kleinere, weil bei diesem Versuche beide Electroden in der Flamme befindlich sind. Zugleich erscheint der Raum der Flamme negativ gegen den Kern der Flamme; ein Verhalten, was unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht beobachtet werden kann.

Es lässt sich ferner auch nachweisen, dass ein hellweissglühender Platindraht in Luft negativ ist gegen einen nichtglühenden in der Flamme. Wurde Draht ab (Fig. 4) ca. 3 mm vom Flammensaume entfernt ausgespannt und c so in den Fuss der Flamme eingeführt, dass er ganz von Flammengasen umgeben war, dabei aber nicht glühte, so kehrte sich ebenfalls die Polarität der Flamme um, sobald ab durch den Strom in helle Weissgluth versetzt wurde. Die electromotorische Kraft bei dunklem Drahte ab betrug ca. 1 Daniell, bei weissglühendem ca. 0,17 bis 0,2 Daniell, dabei erfolgte die Ablenkung aber nach der entgegengesetzten Richtung, wie vorher. In diesem Falle überwiegt also die thermoelectrische Erregung wiederum die electrolytische.

Aus diesen und den gesammten früher mitgetheilten Versuchen geht hervor, dass wir weder mit der Annahme einer ausschliesslich thermoelectrischen Erregung, noch einer ausschliesslich electrolytischen Erregung das electrische Verhalten der Flamme erklären können, sondern dass wir nothgedrungen beide Punkte als zusammenwirkend und den gesammten electrischen Zustand der Flamme bedingend ansehen müssen.

§ 15. Ueber die Eigenelectricität der Flamme.

Denken wir uns in die Flamme und die dieselbe umhüllende Luftschicht zwei Platinelectroden eingeführt, so entsteht der obigen Auffassung gemäss ein thermoelectrisches-electrolytisches Element der Zusammensetzung:

Kaltes Platin | Heisse Luft + Heisse Luft | Flammengase +
Flammengase | glühendes Platin.

Fassen wir die einzelnen Glieder dieser Combination ins Auge, so ist durch die Versuche nachgewiesen, dass zwischen kaltem Platin, heisser Luft einerseits und glühendem Platin, Flammengasen andererseits eine electricische Erregung stattfindet; dagegen ist die Frage noch unentschieden, ob zwischen der heissen Luft und den Flammengasen eine electricische Differenz besteht, auch ohne dass Drähte oder Flüssigkeiten mit den betreffenden Gasen in Berührung sind. Diese Frage ist identisch mit der, ob der Flamme eine Eigenelectricität zukomme oder nicht.

Um auch diesen Punkt zur Entscheidung zu bringen, seien hier noch einige Versuche angeführt, welche entschieden gegen eine Eigenelectricität der Flamme sprechen.

Wollte man annehmen, dass der die Flamme umhüllenden Luftschicht AA' (Fig. 1) durch den Verbrennungsprocess oder durch blossen Contact ein gewisses Quantum positiver Electricität zugeführt würde, so müsste, selbst wenn man die schlechte Leitungsfähigkeit der beiden in Frage kommenden Gasschichten mit berücksichtigt, doch wenigstens eine theilweise Ausgleichung der Electricitäten stattfinden, so bald man einen oder mehrere wohl isolirte Metalldrähte quer durch die Flamme hindurch führt. Die zwischen den Electroden S und B (Fig. 1) bestehende Potentialdifferenz wird aber dadurch gar nicht oder doch nur sehr unbedeutend geändert. Es sei E die electromotorische Kraft ohne Querdraht,

E_D „ „ „ mit „ (Platin).

Bei einer Versuchsreihe ergab sich:

E	= 169,0	164,8	168,4	Mittel 167,4,
E_D	= 162,0	161,2	—	Mittel 161,6,

mithin eine kleine Abnahme von ca. 3%.

Bei einer zweiten, als zwei sehr sorgfältig gereinigte und wohl isolirte Platindrähte quer durch die Flamme geführt wurden:

	E	E_D	$E - E_D$
Versuch I	168,5	168,0	+ 0,5
„ II	158,4	158,9	- 0,5
„ III	182,0	182,0	0,0

Jede der hier mitgetheilten Zahlen ist das Mittel aus fünf Ablesungen, und von Versuch zu Versuch wurde die Stellung der Electroden etwas geändert, daher wieder die Verschiedenheit der vertical unter einander stehenden Zahlen. Durch das Einführen der Querdrähte findet also ein theilweiser Ausgleich der Electricität nicht statt.

Ferner spricht gegen die Eigenelectricität der Flamme, dass, wenn man möglichst gleichartige Platindrähte, die sich auch in nahezu demselben Glühzustande befinden, als Electroden benutzt, die electromotorische Kraft der Flamme auf ein Minimum zurücksinkt. Die electromotorische Kraft der Combination:

Weissglühendes Platin | heisse Luft + heisse Luft
| Flammengase + Flammengase | weissglühendes Platin
bestimmte sich zu 0,0013 Daniell, ein Werth, der innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegt, mithin gleich Null zu setzen ist. Bei dieser Bestimmung musste natürlich die in § 11 erörterte Methode angewandt werden.

Für e ergaben sich folgende Werthe:

$$\left. \begin{array}{lll} e + x & e - x & e \\ + 9,5 & - 9,0 & + 0,5 \\ - 1,7 & - 0,2 & - 1,9 \\ + 7,3 & - 5,5 & + 1,8 \end{array} \right\} \text{Daniell} = 100$$

mithin: $e = 0,0013$ Daniell. Demnach ist die electromotorische Kraft des Gliedes:

Heisse Luft | Flammengase = 0 zu setzen,
mithin von einer Eigenelectricität der Flamme abzusehen.

Der gewichtigste Umstand, der gegen eine Eigenelectricität der Flamme spricht, dürfte aber der sein, dass mit einer Umkehr des Verbrennungsprocesses nicht auch die Umkehr der Polarität der Flamme verbunden ist.

Eine Flamme von brennender Luft in einer Atmosphäre von Leuchtgas zeigt dieselbe Polarität, wie brennendes Leuchtgas in Luft.

Ein in brennender Luft befindlicher glühender Platindraht war stark negativ electrisch gegen das Metall (Kupfer), aus welchem die Flamme brannte, und als ein zweiter in die empfindliche Schicht derselben eingeführt wurde, so lud sich dieser stark positiv, mithin ganz so, wie die Basiselectrode einer gewöhnlichen Flamme.

Die näheren Einzelheiten dieses Versuches waren folgende:

Zunächst wurde die electromotorische Kraft einer gewöhnlichen aus einer mit einem kupfernen Aufsatz versehenen Glasröhre brennenden Leuchtgasflamme bei einer bestimmten Stellung der Electroden (Fig. 2 a) gemessen. Alsdann wurde ein Luftstrom durch die Röhre geleitet, dieselbe in einen mit Leuchtgas erfüllten Raum gebracht und der Luftstrom durch den Funken eines Inductionsapparates entzündet. Eine Fehlerquelle entstand hierdurch, wie wir uns durch viele Vorversuche überzeugten, nicht, da beide Electroden, bevor die Flamme brannte, mit einander metallisch verbunden und zur Erde abgeleitet waren.

Da die Gestalt der kleinen bläulichen Flamme eine ganz andere war, als die einer Gasflamme in Luft, so war es nöthig, die Basiselectrode etwas zu verschieben, um eine analoge Stellung, wie beim ersten Versuche zu erzielen.

Für die electromotorische Kraft der:

Gasflamme in Luft fand sich $E = 148$

Luftflamme in Gas $E = 152$.

In beiden Fällen war der glühende Draht negativ, der nicht glühende positiv, mithin die scheinbare Polarität der Flamme dieselbe.

Schliesslich sei noch eines bemerkenswerthen Umstandes gedacht.

Die Polarität der Luftflamme erscheint nämlich in dem Falle umgekehrt, dass die Flammenelectrode sich in dem tiefsten, daher auch kältesten Theile befindet und nicht glüht. Im § 13 hatten wir gesehen, dass bei einer analogen Stellung

der Electroden in einer gewöhnlichen Flamme der dunkle in der Flamme befindliche Draht immer noch negativ war gegen einen in heisser Luft befindlichen. Dort hatten wir die Combination:

Platin, heisses Gas, heisse Luft, Platin;
bei der Luftflamme haben wir jedoch:

Platin, heisse Luft, heisses Gas, Platin,
mithin dieselben Elemente in umgekehrter Reihenfolge, woraus die Umkehr der Polarität der Flamme von selbst folgt.

§ 16. Theorie und Folgerungen.

Auf Grund der mitgetheilten Versuche lässt sich nun über die Electricität der Flamme folgende Theorie aufstellen.

Durch den Verbrennungsprocess an sich wird freie Electricität innerhalb der Flamme nicht erzeugt; dagegen haben die Flammengase und die die Flamme unmittelbar umhüllende Luftschicht die Eigenschaft, im Contact mit Metallen oder Flüssigkeiten dieselben ähnlich wie ein Electrolyt zu erregen. Zu dieser electrolytischen Erregung kommt noch eine durch den Glühzustand der Electroden bedingte thermoelectrische hinzu. Alsdann ist die Grösse und Art der electricischen Erregung:

- 1) unabhängig von der Grösse der Flamme;
- 2) abhängig von der Natur und Oberflächenbeschaffenheit der Electroden;
- 3) abhängig von der Natur der verbrennenden Gase;
- 4) abhängig von dem Glühzustande der Electroden.

Diese Folgerungen sind durch vielfache Versuche bestätigt und keiner aufgefunden, welcher ihnen widerspräche.

Den Ausschlag zu Gunsten dieser Theorie gab die That-
sache, dass glühende und kalte Metalldrähte, die bei Ausschluss verbrennender Gase nur durch erhitzte Luft getrennt waren, eine electricische Differenz zeigten. Auch hier ist letztere von der Natur und Oberflächenbeschaffenheit der angewandten Electroden und ihrem Glühzustande abhängig. Zu starke Erkitzung der Drähte und damit auch der trennenden Luftschicht erwies sich der Entwicklung freier electricischer Spannung nicht günstig, ein Umstand, der vermuthlich in der Ver-

mehrung des Leitungsvermögens jener Trennungsschicht seinen Grund hat. In übereinstimmender Weise geben in die Flamme eingeführte Metalldrähte, so lange sie beide von den relativ gut leitenden Verbrennungsgasen umspült werden, niemals das Maximum der Potentialdifferenz, es tritt dasselbe vielmehr erst dann ein, wenn der eine der Drähte nur die äussere, mit sehr hohem Widerstand ausgestattete Luftschicht der Flamme berührt.

Auch das Auftreten einer thermoelectrischen Gegenkraft innerhalb des galvanischen Flammenbogens findet in der obigen Theorie ungezwungen seine Erklärung.

Die eingangs aufgeworfenen Fragen sind demnach dahin zu beantworten, dass Hankel's Theorie mit dem Experimente nicht im Einklange ist, und dass man die von Buff und Matteucci angenommenen Erregungsarten als gleichzeitig die scheinbare Electricität der Flamme bedingende anzusehen hat.

Wolfenbüttel, im Februar 1882.

II. *Ueber Doppelbrechung bei Glas und Schwefelkohlenstoff, hervorgerufen durch electrische Influenz; von H. Brongersma.*

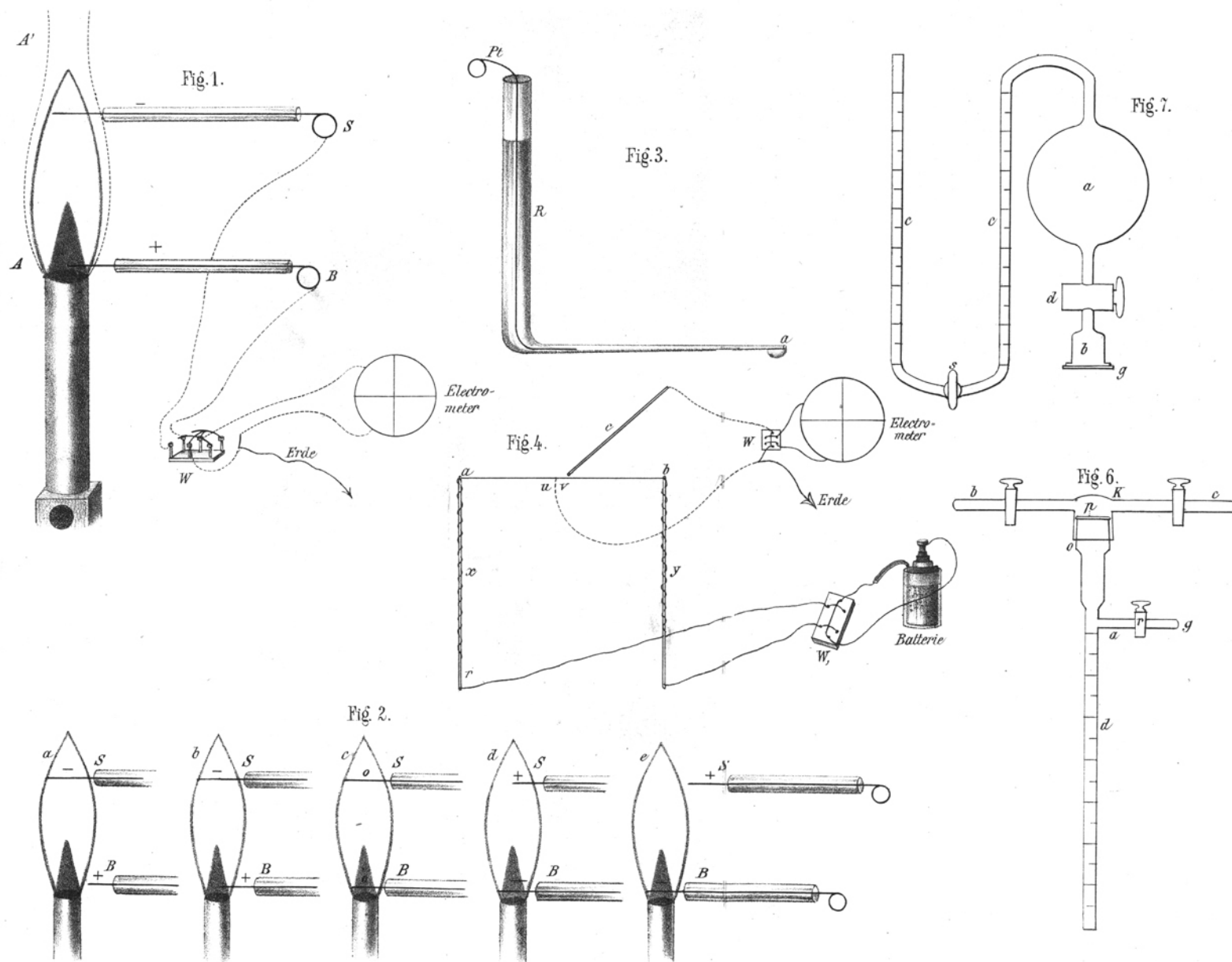
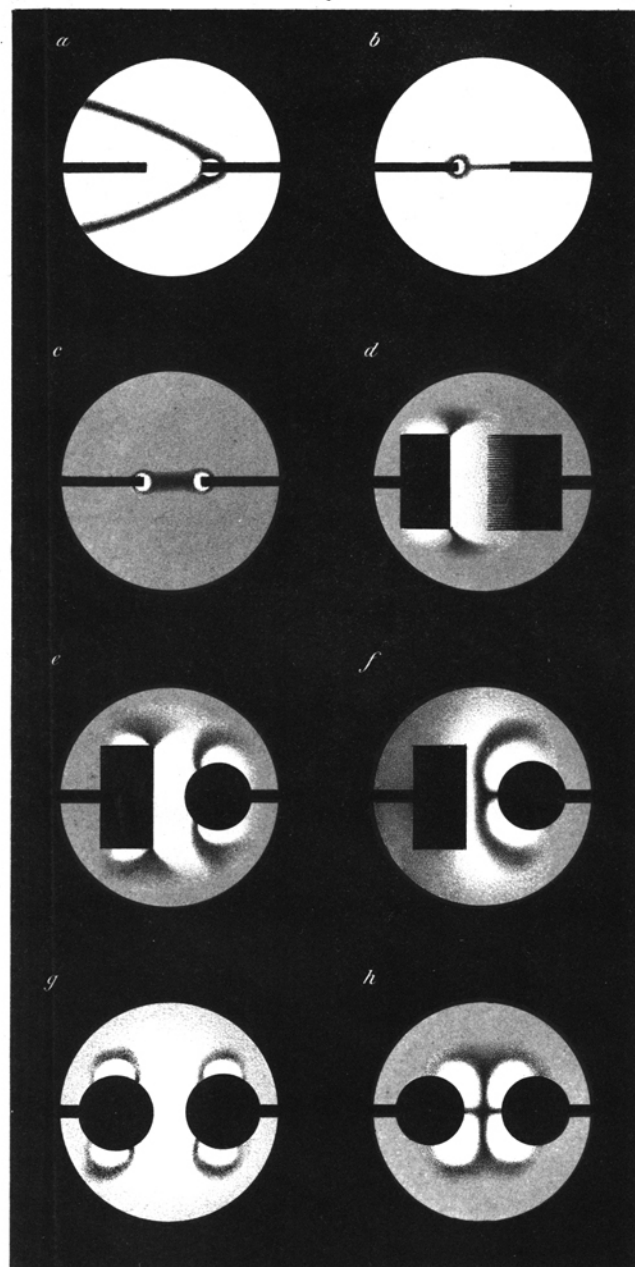
(Hierzu Taf. III Fig. 5a — h.)

I.

Die von Kerr¹⁾ zuerst beobachteten und in seinen Abhandlungen unter dem Titel: „A new relation between electricity and light“ beschriebenen Phänomene habe ich einer neuen Prüfung unterworfen. Die Wichtigkeit des Gegenstandes und das Misslingen der Versuche verschiedener Physiker, die Versuche von Kerr, insoweit dieselben sich auf feste Körper bezogen, zu wiederholen, veranlassten mich zu dieser Untersuchung.

1) Kerr, Phil. Mag. (4) 50. p. 337. 1875.

Fig. 5.



Elster Fig. 1-4. Brongersma Fig. 5. Hüfner Fig. 6-7.