DER PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE. BAND XXXII.

*I. Versuche mit einem Dampfstrahl;
von Robert von Helmholtz.*

(Hierzu Taf. I Fig. 1.)

I. Lässt man aus einer engen, am besten 1 bis 2 mm weiten Oeffnung einen Dampfstrahl ausströmen — jedoch nicht gerade senkrecht über der den Dampf erzeugenden Heizflamme — so zeigt derselbe, gegen einen dunklen Hintergrund betrachtet, das bekannte nebelhafte, indifferent grau-weiße, mehr oder weniger undeutliche Aussehen. Am schärfsten sichtbar ist er, wenn die Beleuchtung, etwa das Fensterlicht, schräg von vorn kommt, vom Auge selbst aber abgeblendet ist. Dann gelangt nur das von den Nebelkügelchen gebeugte Licht zum Beobachter. Hat man sich unter diesen „normalen“ Umständen die Erscheinung des Strahles eingeprägt — sie wird u. a. von der Ausströmungsgeschwindigkeit des Dampfes und der Feuchtigkeit der Zimmerluft abhängen — so näherte man dem Anfang des Strahles eine „electriche Spitze“, welche etwa mit einem Pole einer Influenzmaschine verbunden ist.

Sobald aus derselben Electricität auszuströmen beginnt, ändert sich das Aussehen des Strahles in auffallender Weise. Derselbe hebt sich nämlich plötzlich nicht nur viel heller und deutlicher von dem dunklen Hintergrund ab, sondern er nimmt auch mehr oder weniger intensive Färbungen an, die sofort an die in Nebelschichten auftretenden Diffractionsfarben erinnern.¹⁾ Da letztere bekanntlich von der Grösse und Regelmässigkeit der Nebeltröpfchen abhängen, so liegt der Schluss nahe, dass durch die electriche Kräfte die

1) S. darüber Kiessling, Naturw. Ver. Hamburg-Altona 8. p. 1. 1884.

Condensation des Dampfes beeinflusst, und zwar beschleunigt wird. Die Art, wie sich die Farben mit der Electrisirung der Spitze ändern, scheint dies zu bestätigen. Ist nämlich die Menge der ausströmenden Electricität sehr gross, so wird der Strahl bläulich bis tief azurblau wie der Himmel. Diese Färbung deutet auf sehr zahlreiche, sehr kleine und sehr regelmässige Nebeltröpfchen hin. Ich erwähne blos, dass unter diesen Verhältnissen oft auch ein eigenthümlich zischen- des Geräusch hörbar ist. Lässt der Strom der Electricität allmählich nach, so wird das Blau immer weisslicher, was auf das Hinzutreten grösserer Tropfen deutet; dann aber treten purpurne, rothe, später gelbe, grüne und endlich bei ganz schwacher Wirkung wieder blassblaue Farbentöne von höherer Ordnung auf.

Dass dieselben in der That mit der Grösse der Tropfen zusammenhängen, geht auch daraus hervor, dass sie im Strahl gleichzeitig auftreten, und zwar so, dass die Farben von unten nach oben langwelliger werden. Bei der zuletzt genannten schwächsten Wirkung in der schematischen Zeichnung (Fig. 1) ist z. B. der Strahl: bis *a* überhaupt unsichtbar, bis *b* blau, bis *c* grün, bis *d* gelb, bis *e* roth purpurn, und der bei weitem grösste Rest wieder blau. Eine so ruhige Einstellung der Farben ist übrigens mit der electrischen Spitze nicht zu erreichen, da das Potential der Influenzmaschine zu veränderlich ist. Ich werde später dafür ein besseres Mittel angeben.

Die Wirkung der Spitze auf den Strahl ist eine sehr schnelle. Sorgt man nämlich durch Näherung der Pole der Maschine dafür, dass letztere in beliebig kurzen Intervallen durch Funkenübergang entladen wird, so entspricht jedem Funken ein plötzliches Zusammenzucken, d. h. Blasswerden des Strahles, worauf wieder ein „Aufflammen“, ein abermaliges Verschwinden u. s. w. folgt. Bei gut geladener feiner Spitze äussert sich der geschilderte Einfluss bis auf mehrere Decimeter Entfernung.

Diese eigenthümliche Wirkung electrischer Kräfte auf die Condensation des Wasserdampfes hatte ich zufällig beobachtet. Da sie meines Wissens noch nicht beschrieben ist,

suchte ich in einer Reihe von Versuchen ihren Bedingungen nachzugehen, und theile hier mit, was ich bisher zu finden geglaubt, obgleich noch mehrere wichtige Ergänzungen fehlen, zu denen mir jetzt die Zeit mangelt.

Leicht zeigte es sich zunächst, dass es nicht auf das Potential, sondern auf die Dichte der einwirkenden Electricität ankommt, d. h. eine geladene Kugel übt keine Wirkung. Wenn sie es thut, so kann man sicher sein, dass ein daran hängendes Haar oder ein Wassertröpfchen als Spitze wirkt. Ferner bewirkt jeder der Kugel abgezogene Funke ein plötzliches Aufflammen des Strahles. Es ist auch nothwendig, dass zwischen Strahl und Spitze ein Potentialunterschied herrscht, da z. B. die Wirkung sehr geschwächt wird, wenn die Ausflussöffnung gleichnamig electricisirt wird.

Diese und andere Umstände zeigen, dass es vornehmlich auf die Menge der ausströmenden Electricität ankommt. Es fragt sich nur: ist es diese selbst oder etwas, was mit ihr zusammen von der Spitze ausströmt? Ein dazwischen gehaltener Schirm, einerlei aus welchem Material, hindert die Wirkung und wirft gleichsam einen electricischen Schatten auf den Strahl. Jedenfalls ist es also etwas geradlinig, und zwar mit grosser Geschwindigkeit Weggeschleudertes.

Nach den früheren Versuchen von Aitken¹⁾, Coulier²⁾, Kiessling³⁾ und mir selbst⁴⁾ über die Abhängigkeit der Nebelbildung vom Staubgehalt der Luft liegt nun die Vermuthung sehr nahe, dass die Spitze aus der Atmosphäre Staubtheilchen heranziehe und geladen wieder abstosse.

Es lässt sich mathematisch näher nachweisen, dass sehr kleine indifferente Körper sich stets nach den Stellen der grössten Dichtigkeit der Kraftlinien hinbegeben müssen, und zwar je kleiner, desto schneller.

1) Aitken, Nat. 23. p. 195 u. 384. 1880; Hauptarbeit in: Trans. of the Roy. Soc. Edinb. 30. p. 337. 1881.

2) Coulier u. Mascart, Journ. de pharm. et de chim. (4) 22. p. 165. 1875; Referat d. Naturforscher 1875. p. 400 u. 453.

3) Kiessling, Naturw. Ver. Hamburg-Altona 8. p. 1. 1884.

4) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. 27. p. 527. 1886.

Auch wäre es zweitens möglich, dass durch das heftige Ausströmen der Electricität feste Theilchen des Spitzenmaterials mitgerissen würden.

Zur näheren Prüfung dieser Auffassung stellte ich folgenden Versuch an. Ich verlegte die Spitze in einen „Nebelapparat“, d. h. ein geschlossenes Glasgefäß mit 2 Hähnen, in welchem sich Wasser und Luft befand. Durch adiabatische Ausdehnung konnte Nebel erzeugt werden, der durch einen Lichtkegel in geeigneter Weise beleuchtet wurde.

Nach obiger Theorie wäre zu erwarten, dass der Nebel am dichtesten in der Nähe der electrisirten Spitze auftreten müsse. Gerade das Gegentheil tritt ein. Es entsteht sofort nach dem Beginn der Electrisirung ein nebelfreier Raum vor der Spitze, und innerhalb weniger Secunden ist Nebel und Staub und alles, was in der Luft suspendirt war, in einer Art von Sturmwind hinweggefegt und bleibt wahrscheinlich an den Wänden des Gefäßes haften. Von nun an ist es überhaupt (bis auf selten hinwegzubringende vereinzelte Kerne) unmöglich, Nebel in dem Raume zu bilden, es sei denn, dass frische Luft aus der Atmosphäre eingelassen werde. Uebrigens ist ja diese Methode, Luft von Staub zu befreien, längst bekannt¹⁾ und sogar praktisch verwendet worden.

Hier interessirt uns nur soviel, dass man eine Verdichtung des Nebels auch im ersten Moment, wo noch reichlich atmosphärischer Staub vorhanden, nicht beobachten kann, und dass die Spitze selbst sicher kein Stäuberzeuger ist. Ich erinnere hier beiläufig daran, dass nach Nahrwold²⁾ Luft unter den geschilderten Bedingungen, also von Staub befreit, durch eine Spitze nicht electrisirbar ist.

Es ist daher zum mindesten nicht sehr wahrscheinlich, dass der Dampfstrahl in dem erwähnten Falle durch feste Staubtheilchen gefärbt werde.

Eine andere Möglichkeit war zu prüfen. Das an der Spitze bekanntlich gebildete Ozon könnte die Ursache des Phänomens sein. Es zeigte sich zwar schnell, dass der

1) Nahrwold, Wied. Ann. 5. p. 460. 1878; s. auch Lodge, Nat. 31. p. 268. 1885.

2) Nahrwold, l. c.

Dampfstrahl viel früher reagirt als das bekannte Jodkalium-Stärkepapier, welches durch Ozon gebläut wird. Doch konnte letzteres möglicherweise zu unempfindlich sein. Es wurde daher Luft künstlich mit Ozon geschwängert und gegen den Strahl geblasen. Nunmehr blieb dieser unverändert, während das Papier sich bläute. Es ist hierdurch bewiesen, dass Ozon wenigstens in seiner (dreiatomigen) Dauerform nicht wirksam ist. Ueberhaupt ist nach meinen und, wie mir Hr. Kiessling mittheilte, auch nach seinen Versuchen eigentliches Ozon an sich kein Nebelbildner, während Mascart¹⁾ bei der Fortsetzung Coulier'scher Versuche sagt: „L'air fortement ozonisé parait être très-actif“.

Da somit die electricische Spitze keine Entscheidung darüber lieferte, was die Ursache der Veränderung des Dampfstrahles sei, wurde die zweite Methode geprüft, mittelst deren man Electricität in die Luft überzuführen pflegt — nämlich ein glühender Platindraht, welcher durch eine isolirte Batterie im Glühen gehalten und durch eine Influenzmaschine electricisirt wird. Derselbe erwies sich im höchsten Maasse wirksam auf den Dampfstrahl. Er konnte bis auf $\frac{1}{2}$ m von demselben entfernt werden, und doch trat noch deutliche Farbenänderung ein.

Derselbe wurde nun dem Parallelversuch im Nebelgefäß unterworfen. Auch hier wurde während der Electricisirung vorhandener Nebel verjagt. Aber im Gegensatz zum früheren Versuche konnte sofort nach dem Anhalten der Influenzmaschine wieder Nebel erzeugt werden. Ja, wenn das Gefäß von Staub frei gewesen war, konnte man durch ganz kurzes Glühen des Drahtes dasselbe wieder dicht mit Nebelkernen anfüllen. Der glühende Draht ist also an sich ein Stauberzeuger, und die electricischen Kräfte schleudern denselben nur fort und gegen die Wände.

Schon Coulier hatte gefunden, dass glühende Körper Stauberzeuger sind. Aitken schreibt aber deren ganze Wirkung oberflächlichen Verunreinigungen zu. Dieselben spielen auch nach meinen Erfahrungen eine sehr leicht täuschende

1) Referat in Naturforscher. 1875. p. 453.

Rolle. Dennoch steht die Thatsache fest, dass Platin wenigstens von heller Gelbgluth an immer Nebelkerne liefert (was übrigens Aitken nicht leugnet). Den zu glühenden dünnen Draht führte ich mittelst wohl ausgeglühter dicker Platin-drähte in das Nebelgefäss. Derselbe war geknickt, sodass er zugleich als Spitze gebraucht werden konnte. Nun wurde immer abwechselnd geglüht und electricisirt. Stets ergab sich dasselbe Resultat, dass das Glühen Nebelkerne lieferte, das Electricisiren sie gegen die Wände trieb und verschwinden machte. Ich überzeugte mich speciell, dass sie nicht etwa wieder durch Luftströme aufgejagt wurden. Wie sollen hierbei Verunreinigungen auf den Draht gelangen? Es scheint daher wahrscheinlich, dass wirklich Platintheilchen abgeschleudert werden, ob man sich dieselben aber als Dampfmoecüle oder als durch die mechanische Wirkung der Wärme abgerissene feste Theilchen zu denken haben, wollen wir unentschieden lassen. Für die sogenannte „Electricisirung der Luft“ durch einen glühenden Draht ist das aber jedenfalls eine beachtenswerthe Thatsache!

Da also schon der einfach glühende (nicht electricisirte) Draht im geschlossenen Gefäss Nebelkerne bildete, so musste nun wieder rückwärts der Gegenversuch gemacht werden, ob nicht auch der Dampfstrahl auf einfach glühende, nicht künstlich electricisirte Körper reagirte.

Dies ist nun in der That der Fall. Wurde der ungeladene Platindraht durch den Strom in helle Gelbgluth versetzt, so trat eine Wirkung deutlich ein, nicht aber liess sie sich bei Rothgluth nachweisen, während electricisirtes, gereinigtes Platin schon unter Rothgluth wirkt! Man kann also in diesem Falle den Einwurf machen, dass die von der Batterie gelieferte Spannung jene Wirkung ausübt — doch macht es gerade bei Platin grosse technische Schwierigkeiten, diesen Einwurf zu umgehen. Andere Metalle dagegen, wie Silber, Eisen, Kupfer, Messing, liessen sich leicht in Flammen so weit erhitzen, dass sie noch längere Zeit den Dampfstrahl färbten. Auch erhitztes Glas war weit unter der sichtbaren Gluth wirksam. Ferner in sehr hohem Grade alle glimmenden organischen Körper: Holz, Papier, Tabak,

ferner besonders glimmender Schwefel. Man sieht dabei sofort, dass es auf die Rauchentwicklung nicht ankommt. Eigenthlicher Tabaksrauch ist z. B. ganz einflusslos.

Von grossem Interesse wird das genauere Studium der Temperaturgrenzen sein, bei denen die einzelnen Stoffe den Strahl zu verändern beginnen, besonders im Vergleich zu ihrer spectroscopischen Färbung der Flammen. Manches scheint darauf hinzuweisen, dass der Dampfstrahl zur Färbung weniger hoher Temperaturen bedarf als die Flamme.

Da durch die vorigen Versuche der Gedanke sehr nahe gelegt war, dass Electricität immer nur durch „Staub“ in die Atmosphäre übergeführt wird, so war ich sehr gespannt auf das Verhalten des Strahles gegen die Flammen, die ja die besten Vertheiler der Electricität sind. Dass sie Nebelbildner sind, hatten ebenfalls Coulier und Aitken bemerkt.

Eine Einwirkung derselben auf den Dampfstrahl wurde denn auch schnell constatirt. Aber es ist dabei die Vorsicht zu brauchen, dass die Flammen nicht direct unter den Dampfstrahl gestellt werden, weil vermöge der grossen Erwärmung der verbrannten Gase der ganze Strahl gleichsam ausgelöscht wird, indem überhaupt keine Condensation mehr eintritt. Man stelle sie daher seitlich und blase oder fächle die davon aufsteigenden Gase gegen den Strahl; oder man führe die Gase durch ein längeres, abkühlendes Schornsteinrohr zum Strahl hin. Eine Erhitzung des Rohres muss aus naheliegenden Gründen vermieden werden. Erstere Methode ist übrigens sehr bequem und einwurfsfrei. Unter solchen Bedingungen zeigt sich nun, dass Flammen im allgemeinen sehr wirksam sind. Diese Wirkung steigt noch, d. h. äussert sich in noch grösseren, auch seitlichen Entfernungen, wenn die Flamme electricisirt wird!

Dies gilt von der gewöhnlichen Gasflamme, einerlei, ob leuchtend oder nicht. Sie färbt den Strahl stark blau. Es gilt ferner von der Kohlenoxydflamme, von der Wasserstoffflamme, von der Petroleum-, Stearin- und Terpentinflamme. Es ist dabei ganz einerlei, ob die Flammen russen oder nicht. Im Gegentheil, je besser die Verbrennung vor sich geht, desto stärkere Wirkung.

Es gilt aber nicht von einer ganz rein brennenden Aethyl-Alkohol oder -Aetherflamme. Rein brennt eine solche Flamme, wenn der äussere bläuliche, fast unsichtbare Flammenmantel normal, d. h. ungefärbt ist. Sowie ein Natriumtheilchen etc. hineinkommt, leuchtet er auf, und sofort tritt eine Wirkung auf den Dampfstrahl ein. Es muss daher, wenn man den Alkohol durch einen Docht zuführt, grosse Sorgfalt auf letzteren verwendet werden, damit ja kein Fäserchen desselben verbrennt.

Reiner gelingt der Versuch, wenn man Alkoholdämpfe aus einer gut ausgeglühten Platinröhre ausströmen lässt und entzündet. Solche unwirksamen Flammen sind wichtige Hilfsmittel des Versuchs, weil man mit ihnen am besten die Wirksamkeit oder Nichtwirksamkeit erhitzter, d. h. in die Flamme eingeführter fester Körper prüfen kann. Um Platin wirksam zu machen, ist die Alkoholflamme nicht heiss genug.

Da der Einwand nahe liegt, dass der von aussen in die Flammen gerathende atmosphärische Staub dieselben „wirksam“ mache, so gab ich mir Mühe, diesen Einfluss zu beseitigen. Zu diesem Behuf filtrirte ich die zusammen zu verbrennenden Gase, z. B. Luft und Wasserstoff und liess sie im Innern eines unten geschlossenen Cylinders brennen. Zudem wurde die Brenneröffnung durch ein silbernes Netz ersetzt, welches durch Spülung ganz kalt erhalten wurde, um den eventuellen Einfluss des erhitzten Metalls zu beseitigen. Durch alle diese Maassregeln wurde die „Wirksamkeit“ der Flamme um nichts vermindert.

Warum sollte auch schliesslich eine Alkoholflamme weniger Staub enthalten als eine Wasserstoffflamme? Warum wirken russende Flammen schlechter wie nicht russende? Kurz, die „Staubhypothese“ scheint für die Flammen nicht zu genügen.

Grösseren Einfluss scheint dagegen die Temperatur der Flamme zu haben. Erstlich ist bekannt, dass besonders die nicht wirksame wässerige Alkoholflamme eine der kühlgsten ist, dagegen die wirksamen Wasserstoff-, CO- und Leuchtgasflammen zu den heissen Flammen gehören. Ferner liess sich zeigen, dass, wenn die Leuchtgasflamme durch Bei-

mengung eines indifferenten Gases, z. B. CO_2 mehr und mehr abgekühlt wird, auch ihre Wirksamkeit mehr und mehr aufhört. Ist Leuchtgas so weit mit Kohlensäure gemischt, dass es nur noch durch eine beständige an sich unwirksame Alkoholf Flamme am Brennen erhalten werden kann, so ist es auch selbst nahezu unwirksam.

Eine sehr erwähnenswerthe Thatsache ist andererseits folgende. Hält man ein glühendes Platingitter in einen Strom von nicht brennendem Leuchtgas, so glüht es bekanntlich weiter. Man kann die Stelle leicht so wählen, dass es gerade noch sichtbar glüht oder gar nur dunkle Strahlen aussendet und das Gas nicht mehr entzündet. Unter diesen Umständen ist das Platin an sich nach dem vorigen unwirksam. Trotzdem wird der Strahl von dem „katalysirten“ Gase ganz ebenso gefärbt, wie von eigentlich, d. h. leuchtend verbranntem.

Mit Alkohol gelang der Versuch nicht, wenn auch das Gitter hell glühte, und deutlicher Aldehydgeruch wahrnehmbar war.

Ich verlasse nunmehr die Flammen und nenne noch eine letzte Kategorie von Erscheinungen, die den Dampfstrahl zu färben vermögen, das sind gewisse chemische Substanzen. Bei den früheren Versuchen über Nebelbildung hatte ich gefunden, dass geringe Mengen von Dämpfen der stärksten Säuren, besonders H_2SO_4 , ferner suspendirte Salze, besonders Salmiak, den Nebel „permanent“ zu machen vermögen, also, wie das auch leicht verständlich, die Condensation des Wasserdampfes beschleunigen.

Aehnliches suchte ich nun beim Dampfstrahl. Bringt man einen Tropfen ganz concentrirter Schwefelsäure in die Nähe der Ausflussöffnung, so färbt sich der Strahl intensiv blau. Diese Wirkung nimmt aber mit der Concentration der Säure sehr schnell ab, sodass sie schon bei einer 86procentigen Säure kaum mehr zu constatiren war. Dem entsprechend ist ja auch anzunehmen, dass die Dampfspannung der Säure bei Wasserzusatz sehr schnell abnimmt. Diese Wirkung der Säure liefert das Mittel, um die Färbungen des Strahles constant zu erhalten. Zu diesem Behufe bedecke man den Boden einer doppelt tubulirten Flasche mit

Schwefelsäure und blase nun Luft durch die Flasche gegen den Strahl. Durch Regulirung der Stärke dieses säurehaltigen Luftstromes kann man dann beliebige Grade der „Wirkung“ erzielen.

Andere Substanzen, die so stark wie H_2SO_4 wirkten, fand ich nicht. Salzsäure und Salpetersäure färbten den Strahl höchstens in erhitztem Zustand. Kommt aber Ammoniak noch hinzu, und tritt die Vereinigung zu den betreffenden Ammoniumsalzen erst im Strahl ein, so kann die Wirkung so stark sein, dass man sogar dasselbe zischendknatternde Geräusch hört, wie bei der electricischen Spitze. Dagegen wirkt schon ausserhalb des Strahles gebildeter Salmiaknebel fast gar nicht, wie überhaupt aller sichtbarer, also grobkörniger Staub.

Zum Schluss dieses Abschnitts möchte ich noch eine ingeniöse Anwendung der beschriebenen Versuche im Grossen erwähnen, die ich zufällig kürzlich in dem sogenannten Solfatara-Krater bei Neapel sah. Dort entsteigen den Ritzen und Höhlen des von heissen Quellen unterwühlten Bodens fortwährend Wasserdämpfe, die aber in der sonnen-erhitzten Luft sich schnell auflösen. Um dieselben den Fremden nun recht grandios darzustellen, zünden die Führer einfach ein kleines Häufchen Reisig oder nur ein Stückchen Papier an, und sofort ballen sich die Dämpfe mehrere Meter im Umkreis vor den Augen des staunenden Fremden zu dichten weissen Wolken zusammen.

II. Dieses sind ungefähr die Thatfachen, die ich beobachtete. Es geht aus ihnen das eine wenigstens sicher hervor, dass die Ursachen der Erscheinungen im offenen Dampfstrahl im wesentlichen dieselben sind, welche die Nebelbildung im geschlossenen Gefäss beeinflussen und dort untersucht waren. Zum mindesten ist also die Benutzung des Dampfstrahls eine neue bequemere Methode, jene Bedingungen zu untersuchen. Der Versuch mit der electricischen Spitze, von dem wir ausgingen, ist aber überhaupt nur mittelst des Dampfstrahls ausführbar. Und gerade er scheint mir erhöhte Bedeutung zu gewinnen, weil er durch die Staubtheorie nicht erklärt werden kann. Auch bei den Flammen war die Durch-

führung derselben so schwer, dass Coulier, der bekanntlich zuerst die Staubtheorie aufgestellt hat, dieselbe später widerrief. Aitken dagegen suchte alles, wie auch ich zuerst nachweisen zu können hoffte, durch Verunreinigungen und Erhitzung der Brennermündungen etc. zu erklären¹⁾, sieht sich aber in seiner schliesslichen Hauptarbeit²⁾ gezwungen, zuzugeben, dass doch wohl die Verbrennungsproducte selbst Nebelkerne bilden. Er scheint anzunehmen, dass es feste oder flüssige Condensationsproducte der Verbrennungsgase seien, hält also auch in diesem Fall die Kernhypothese aufrecht.

Was nämlich Aitken und jeden anderen zur Annahme fester Kerne zuerst führen muss, ist folgender Umstand. Wenn man die Verbrennungsproducte einer Flamme mittelst Wattepfropfens filtrirt, oder wenn man sie tagelang im geschlossenen Gefäss stehen lässt, so verlieren sie die Eigenschaft, Nebelbildner zu sein, ganz ebenso wie Luft, die mit sichtbarem Staub geschwängert ist oder mit glühenden Körpern in Berührung war. Dies ist eine unzweifelhafte Thatsache. Gasige Bestandtheile würden, so sollte man denken, das Filter passiren und sich unverändert im Gefäss erhalten, also können es nur feste Kerne sein. Woher sollten aber solche z. B. bei einer Wasserstoff- oder Kohlenoxydflamme kommen? Hier liegt ein Widerspruch vor, der vorläufig nur durch eine Hypothese gelöst werden kann. Wenn ich mir erlaube, eine solche zu geben, so ist es mehr um die Richtung anzudeuten, die fernere Versuche wohl einschlagen müssen.

Die Analogie zwischen übersättigtem Dampf — woraus der Dampfstrahl offenbar in seinem ersten Stadium besteht — einerseits und unterkühltem Wasser und Lösungen andererseits, ist schon öfters hervorgehoben.

Wie kleine Eis- oder Salzkristalle in diesen Fällen An-

1) Siehe hierüber Aitken's Brief an die Nature **23.** p. 384. 1881.

2) Aitken, Trans. of the Roy. Soc. Edinb. **30.** p. 337. 1881. Ich bemerke hier, dass mir diese ausführliche Arbeit erst jetzt zu Gesicht gekommen ist; ich habe daher in meinem früheren Aufsatz (Wied. Ann. **27.** p. 527. 1886) viele der Aitken'schen Versuche unabhängig wiederholt und beschrieben mit theilweis abweichenden Resultaten.

satzflächen für den Uebergang aus dem labilen in den stabilen Zustand geben, so thut es der „Staub“ (wir bezeichnen hiermit nur feste Kerne) beim Dampf. Aber es gibt erfahrungsgemäss auch eine zweite Veranlassung für das plötzliche Erstarren der labilen Flüssigkeiten: das sind heftige mechanische Erschütterungen.

Liesse sich nicht Aehnliches beim Gaszustand denken? Freilich können wir nicht erwarten, dass sinnlich wahrnehmbare mechanische Stösse auf so „weiche“ Körper, wie die Gase Einfluss haben. Selbst Schallwellen sind noch langsame Bewegungen gegen das Hinundherschwirren der Gasmolecüle. Es müssten schon Erschütterungen sein, die den inneren Bau der Molecüle selbst betreffen. Solche könnte die Lichtbewegung liefern. Und in der That zeigt das Chlorknallgas ein Beispiel, wo ein labiler gasförmiger Zustand durch Licht ausgelöst wird.

Die Wärme ihrerseits steigert zwar auch die innere Molecularbewegung, aber zugleich entfernt sie den Wasserdampf von seinem Condensationspunkt; eine einfache Erhitzung kann daher Nebelbildung nicht hervorrufen. Es bleiben aber noch andere Ursachen für eine wenigstens zeitweilige Erschütterung der Molecüle. Das sind chemische Processe. Wenn wir auch noch so wenig über die genaueren Bewegungserscheinungen wissen, soviel können wir sagen, dass die Neubildung eines Molecüls aus seinen ungesättigten Bestandtheilen von einer zeitweilig heftigeren Bewegung begleitet sein muss, als der mittleren Temperatur der Umgebung entspricht. Es käme also nur darauf an, einen geeigneten chemischen Process in den Dampfstrahl selbst zu verlegen. Wir sahen dementsprechend, dass die Bildung von Salmiaknebeln im Strahl den gewünschten Erfolg hatte — nicht aber ausserhalb desselben. Wir sahen ferner, dass concentrirte Schwefelsäure, welche zum Wasser selbst eine äusserst starke Verwandtschaft hat, auslösend wirkt. Ich möchte ihre starke Wirkung auch mehr als mechanische, denn als rein chemische auffassen, d. h. es nicht als nothwendig ansehen, dass der Wasserdampf selbst in den chemischen Process eingreift.

Auf diese Weise nämlich lässt sich auch eine Anschau-

ung von dem Einfluss so sehr verschiedener Flammen gewinnen. Eine Flamme ist ja nichts anderes, als der Ort eines fortdauernden chemischen Processes. Derselbe besteht in einer mehr oder weniger verwickelten Reihe von Zerlegungen, Neubildungen und Wiederzerlegungen von Gas-moleculen. Die Stabilität der Flamme, d. h. ihre Eigenschaft, eine annähernd bestimmte körperliche Form zu bewahren, zeigt nur, dass der mittlere chemische Zustand und die mittlere Temperatur eines Ortes dieselbe bleibt, und die Begrenzungsflächen der Flammenmängel als Flächen gleicher mittlerer Zustände (als Isothermen) zu betrachten sind. Nicht aber ist daraus zu schliessen, dass an jeder Stelle der Flamme alle Moleculen in demselben Process oder gar im selben Stadium desselben Processes befindlich sein müssen. Durch gasanalytische Arbeiten (z. B. von Landolt¹⁾) ist gezeigt, wie fast an jeder Stelle fast alle Flammencomponenten zugleich auftreten, nur in allmählich sich ändernden Verhältnissen.

Wie in einem einfachen Gase nach den Anschauungen der Gastheorie die verschiedensten Geschwindigkeiten zu gleicher Zeit nur mit verschiedener Wahrscheinlichkeit vorkommen, so gehen in der Flamme Moleculen jeder Art, unverbrannte und verbrannte, neugebildete und dissociirte, gesättigte und ungesättigte, stark schwingende und niedrig temperirte, überall und fortwährend durcheinander. Aus diesen Gründen ist es nicht nur als möglich, sondern sogar als wahrscheinlich zu betrachten, dass auch ausserhalb der sichtbaren Flamme, d. h. in den sogenannten Verbrennungsgasen oder technisch ausgedrückt der „Abhitze“, sich noch die Eigenschaften jener, wenn auch in schwächerem Maasse nachweisen lassen. Es ist mit anderen Worten wahrscheinlich, dass noch dissociirte, ungesättigte, vielleicht sogar noch ganz unverbrannte Moleculen hinausdiffundiren und sich erst ausserhalb der Flamme gegenseitig treffen und sättigen, dass dort also noch dieselben Processe wie in der Flamme auftreten, nur bei niedrigerer mittlerer Temperatur der Umgebung. Sollte

1) Landolt, Pogg. Ann. 99. p. 389. 1856.

sich dies als richtig oder wahrscheinlich ergeben, so wäre nach dem obigen der Einfluss der Verbrennungsgase auf den Dampfstrahl dem Verständniss näher gerückt. Es würden dann chemische Umbildungen in statu nascendi, d. h. moleculare Erschütterungen im Strahl selbst vorkommen, ohne dass, wie es in der Flamme selbst zweifellos geschehen würde, die Gesammttemperatur den Dampf an seiner Condensation hinderte.

Es sind nun in der That mehrere der wesentlichen Eigenschaften der Flamme auch noch bei den Verbrennungsgasen nachgewiesen worden. Eine der charakteristischsten ist die Electricitätsleitung. Sie unterscheidet brennende Gase ganz wesentlich von den nicht brennenden, im chemischen Gleichgewicht befindlichen. Dennoch hat Giese¹⁾ sie für die verbrannten Gase bis zu gewisser Höhe über der Flamme, oder was dasselbe ist, bis zu einer gewissen Zeit nach ihrer Verbrennung nachgewiesen und zugleich gezeigt, dass die Leitungsfähigkeit der Brenngase durch den Act der Leitung selbst vermindert werde.

Unserer Ansicht nach, die der Giese'schen Erklärung sehr ähnlich ist, erklärt sich aber diese Art der Electricitätsleitung leicht ganz analog der der Electrolyten. In der Flamme sind, wie wir sagten, fortwährend dissociirte, also ungesättigte positive und negative Atome vorhanden, natürlich gleich viel von beiden, wenn keine äusseren electrischen Kräfte wirken. Bringt man nun aber in die Nähe oder Berührung der Flamme einen positiv geladenen Körper, so werden die negativen Atome sich zu demselben hinbegeben, ihn mit einer negativen Schicht bedecken und so scheinbar entladen. Möglicherweise ist dieser Vorgang von einer chemischen Bindung dieser Ionen an der Körperoberfläche begleitet. Die Flamme wird nun positiv erscheinen, da sie positive Molecülbestandtheile im Ueberschuss enthält; diese müssen nun jeden zweiten neutralen Körper ebenso scheinbar positiv laden, wie der erste scheinbar entladen wurde, und im ganzen ist also der Schein erweckt, als sei positive

1) Giese, Wied. Ann. 17. p. 236 u. 519. 1882.

Electricität durch die Flamme vom ersten zum zweiten Körper „geleitet“ worden. Es ist leicht einzusehen, dass durch diesen „Leitungsvorgang“ die Zahl der vorhandenen ungesättigten Molecüle, die also freie Electricität enthalten, verringert worden ist, und dass in den oberen Theilen der Flamme und in den abziehenden Verbrennungsgasen, wie Giese es zeigte, deshalb die „Leitungsfähigkeit“ unter die normale sinken muss. Nach Giese selbst beruht aber die Abnahme nur darauf, dass die Zahl der Zusammenstösse der Ionen im electrischen Felde zunehmen muss, sie selbst daher schneller verschwinden. Die eine wie die andere Deutung des Vorganges ist wesentlich basirt auf dem Vorhandensein ungesättigter Atome, von Ionen. Ist sie richtig, so zeigen die von Giese constatirten identischen electrischen Eigenschaften der Verbrennungsgase, dass auch in diesen noch ungesättigte Atome eine gewisse Zeit lang sich erhalten. Ich erlaube mir, hier anzuführen, dass ich vor mehreren Jahren mittelst einer Condensatormethode nach der supponirten Doppelschicht scheinbar von der Flamme entladener Körper suchte. Der erwartete Ausschlag des Electrometers trat auch in der That ein; ich musste aber aus äusseren Gründen die Versuche abbrechen, ehe ich das Resultat genügend verificirt hatte.

Bemerkenswerth ist ferner, dass auch die seitlich von der Flamme befindliche Luft leitet. Auch dieses beweist, wie Giese bemerkt, ein Hinausdiffundiren der Ionen aus der Flamme.

Einen weiteren Beweis für das Vorhandensein wenigstens dissociirten Sauerstoffs in der Umgebung der Flamme gibt nach der Meinung Hrn. Wurster's¹⁾ dessen Tetramethylparaphenylendiamin-Papier, welches sich bei Gegenwart von einatomigem Sauerstoff (Antozon) bläut und viel empfindlicher ist als das Jodkaliumstärke-Papier. Dieses Wurster'sche Papier wird in der Bunsenflamme sofort intensiv blau; langsamer, aber auch sehr entschieden am seitlichen Rand der Flamme und in den Verbrennungsgasen. Ebenso verhält es sich bei Alkoholflammen.

1) Wurster, Chem. Ber. 19. p. 3195 u. 3208. 1886.

Jedenfalls ist dasselbe ein Beweis, dass ausser den theoretisch geforderten Verbrennungsproducten sehr stark oxydirend wirkende zeitweise noch vorhanden sind. Dazu kann freilich — aber muss nicht — „activer“ einatomiger Sauerstoff gehören. Z. B. leistet der in einer Alkoholf Flamme gebildete Aldehyd dasselbe.

Die allerauffälligste der Flammeneigenschaften fehlt freilich den Verbrennungsgasen ganz: nämlich das Leuchten. Es wird das Leuchten als so charakteristisch für das Brennen der Gase angesehen, dass, wo ersteres fehlt, man auch letzteres für ausgeschlossen halten möchte. Und doch zeigt die Katalyse der Gase durch Platinnetz oder -schwamm, dass wenigstens eine theilweise nichtleuchtende Verbrennung eintreten kann, wenn man nur für eine genügende Wärmeableitung sorgt. Denn obgleich das Leuchten der Flammen sich in manchen Beziehungen nicht den Kirchhoff'schen Emissionsgesetzen unterordnet, hängt dasselbe doch, wie das aller Körper, von der Höhe der mittleren Temperatur ab, dass man aus dem Nichtleuchten der Verbrennungsgase nicht auf die vollständige Beendigung des chemischen Verbrennungsprocesses schliessen darf. Andererseits ist gerade wegen dieser Abweichungen¹⁾ vom Emissionsgesetz das Leuchten ein Beweis dafür, dass in der Flamme nicht normale, d. h. nicht der Temperatur entsprechende Molecülbewegungen vorkommen. Der Dampfstrahl scheint mir dasselbe für die Verbrennungsgase nachzuweisen.

Durch diese Theorie wird es auch einigermaßen verständlich, warum der Einfluss der Verbrennungsgase auf den Dampfstrahl mit der Temperatur der Flamme zu steigen scheint. Je höher die letztere liegt, desto mehr Dissociationen treten auf, und desto höhere Geschwindigkeiten und desto längere Wege werden bei den Ionen vorwiegen. Die Wahrscheinlichkeit, solche noch in den Verbrennungsgasen zu treffen, steigt also aus doppeltem Grunde.

Es wird ferner durch diese Annahme erklärt, warum filtrirte Flammengase nicht mehr nebelbildend wirken. Bei

1) Werner Siemens, Abh. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin 1882. p. 557.

der Filtration werden dieselben in engste Berührung mit kalten Körperflächen gebracht. Welcher Natur die letzteren auch seien, die Ionen als Träger freier Electricität, resp. ungesättigter chemischer Bindungskräfte müssen an ihnen haften bleiben. Oder man kann den Vorgang auch so auffassen. Ein abgekühltes, theilweise noch dissociirtes Gas ist in einem „unterkühlten“ Zustand befindlich, der durch die Gegenwart von Körperflächen ausgelöst wird. Eine wichtige Ergänzung dieser Hypothese würde der Nachweis sein, dass filtrirte Flammengase nicht mehr Electricität leiten und ihre eventuelle Ladung an das Filter abgeben.

Ich verhehle mir nicht, dass noch viel Einzelnes unerklärt bleibt, z. B. warum eine reine Alkoholflamme so ganz unwirksam gegen den Dampfstrahl zu sein scheint. Uebrigens ist dieselbe im Nebelapparat noch nicht geprüft worden. Die auffallende Thatsache, dass, sobald der Flammensaum durch kleine Verunreinigungen gelb aufleuchtet, auch der Dampfstrahl „aufleuchtet“, scheint wohl wieder dem eigentlichen „Staub“, d. h. den kleinen festen Natrontheilchen, zugeschrieben werden zu müssen. Doch bin ich meinerseits zweifelhaft darüber.

Die Uebertragung der entwickelten Annahmen auf den Versuch mit der electricisirten Spitze, von welchem wir überhaupt ausgingen, ist leicht. Vieles von dem, was über die Flammen gesagt ist, gilt ja auch von der unter dem Einfluss der Spitze stehenden Luft. Auch sie ist zweifellos molecularen Erschütterungen und Zerlegungen ausgesetzt, auch sie leuchtet deshalb bei tieferen Temperaturen, als dem Emissionsgesetz entspricht, auch sie färbt Ozonpapiere, und auch sie vermittelt räumliche Uebertragung von Electricität. Von einer annähernd klaren mechanischen Vorstellung ist aber die Lehre vom Durchgang der Electricität durch Gase noch ebensoweit entfernt, wie die Theorie der Flamme. Noch viel weniger sind wir daher im Stande, die Vorgänge im Dampfstrahl im einzelnen zu verfolgen.

Die Erklärung der Nebelbildung durch feste Staubkerne hat den Vorzug, klare Vorstellungen zu ermöglichen, da sie mit der Capillaritätstheorie in Zusammenhang gebracht wer-

den kann.¹⁾ Die nebelbildende Wirkung glühender Körper wird daher am einfachsten durch die Annahme fester abgeschleuderter Partikelchen erklärt, und so haben wir auch die betreffenden Versuche mit dem Dampfstrahl dargestellt. Das Hängenbleiben dieser Kerne am Filter, die bekannte Zerstäubung glühender Körper (z. B. der Electroden in Geissler'schen Röhren, der Kohlenfäden in Glühlampen) und andere Erfahrungen sprechen für ihre feste Natur. Aber zu verschweigen ist nicht, dass die Möglichkeit nicht ausgeschlossen scheint, dass auch hier Dissociationen, also Ionen, ins Spiel kommen. Wenigstens bemerkte ich, dass das Wurster'sche Papier in der Nähe eines glühenden Platindrahtes gebläut wird, also activen Sauerstoff anzeigt.²⁾

Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, dass der Dampfstrahl nach unserer Theorie ein Mittel geben müsste, die beiden Formen des activen Sauerstoffs: die vorübergehende einatomige (Antozon) und die dauernde dreiatomige (Ozon) zu trennen. Auf Ozon, sahen wir, reagirt nach Kiessling der Nebel und meinen Versuchen der Strahl nicht. Dagegen behauptet es Mascart. Der Widerspruch löst sich möglicherweise dahin, dass Mascart sein durch Inductionsfunken erzeugtes Ozon nicht filtrirte und nicht lange genug sich selbst überliess, daher noch einatomigen O in sein Nebelgefäss aufnahm. Eine Untersuchung des Dampfstrahls auf Wasserstoffsuperoxyd ist noch auszuführen.

Wie vieles auch noch unsicher bleibt, so hoffe ich durch das Vorige wenigstens so viel gezeigt zu haben, dass das Verhalten des Dampfstrahls durch 2 Factoren: Staub und chemische Gleichgewichtsstörungen in der umgebenden Atmosphäre wesentlich beeinflusst wird. Die beschriebenen Thatsachen gewinnen ungemein an Interesse durch den Umstand, dass jene zwei Factoren identisch zu sein scheinen mit den Bedingungen der Electrisirung der Luft. Es stellt sich mit immer grösserer Sicherheit heraus, dass Gase, die in statischem chemischen Gleichgewicht befindlich sind, nicht statisch electrirt werden können. Denn es ist

1) R. v. Helmholtz, Wied. Ann. 27, p. 522. 1886.

2) Siehe auch Gorup-Besanez, Chemie. 1. p. 655. 1876.

jetzt nachgewiesen, dass bei allen scheinbar dafür sprechenden Versuchen entweder der Staub nicht ausgeschlossen worden ist (resp. sogar erzeugt wurde, wie z. B. durch den glühenden Draht), oder die Uebertragung der Electricität von electrolytisch-chemischen Erscheinungen begleitet war, wie in der Flamme.

Während obige Arbeit annähernd druckfertig vorlag, sind von electrischer Seite zwei interessante Aufsätze erschienen, die hier Berührtes behandeln: nämlich „über die Electrisirung der Gase durch glühende Körper“ von Elster und Geitel¹⁾, zweitens „über Luftpolelectricität“ von Nahrwold.²⁾ In manchem könnte ich mich nun auf diese beziehen. Besonders Hr. Nahrwold hat ganz correspondirende Versuche gemacht und gelangt genau zu denselben Schlüssen. Es kann aber nur zur Kräftigung der letzteren dienen, wenn zwei so gänzlich verschiedene Reactionen, wie es Electrisirung und Nebelbildung sind, in gleichen Versuchen gleichen Erfolg geben.

Berlin, Juni 1887.

II. *Ueber den electrischen Rückstand und die Influenz in dielectrischen Körpern; von A. Wüllner.*³⁾

1.

In seiner classischen Abhandlung über den electrischen Rückstand⁴⁾ hat R. Kohlrausch wohl zuerst die Ansicht vertreten, dass die Rückstandsbildung in den electrischen Ladungsapparaten mit festen Zwischenmitteln der mit der Zeit wachsenden Influenz im Isolator zuzuschreiben sei, eine

1) Elster u. Geitel, Wied. Ann. **31.** p. 109. 1887.

2) Nahrwold, Wied. Ann. **31.** p. 448. 1887.

3) Auszüglich vorgetragen in der Sitzung des electrotechnischen Vereins zu Berlin am 26. April 1887.

4) R. Kohlrausch, Pogg. Ann. **91.** p. 56. 1854.

v. Helmholtz Fig. 1. Elster Fig. 2. Gubkin Fig. 3-5. Streintz Fig. 6. Schumann Fig. 7. v. B.