Zur Kenntniss der Flamme;

von

Nic. Teclu.

(Fortsetzung.)

Meine Mittheilungen über die Flamme¹⁾, welche im Wesentlichen feststellen, dass durch Entzünden eines in die Luft strömenden Gemenges von Leuchtgas und Luft eine Flamme entsteht, die sich unter Umständen spaltet und selbst theilt, veranlassten mich, um diese Erscheinungen namentlich für Vorlesungszwecke voranschaulichen zu können, eine Reihe von Apparaten zusammenzustellen. Während dieser Arbeit machte ich neue Beobachtungen, welche gleich den früheren, bezüglich ihrer experimentellen Ausführung und Erläuterung in Folgendem besprochen werden sollen.

Fig. 1.

Fig. 1²⁾ (a_1, b_1, c_1, d_1) stellt einen Apparat vor, welcher aus zwei übereinander verschiebbaren Glasröhren besteht, von denen

¹⁾ Dies. Journ. [2] 44, 1891, 246 u. Centr. 1891, 2, 609. Inzwischen sind folgende Arbeiten in dieser Richtung veröffentlicht worden:

Arthur Smithells u. Henry Ingle, Chem. Soc. 61, 204—216 u. Centr. 1892, 1, 122 u. 729.

Vivian B. Lewes, Chemical-News. 65, 79—81 u. Centr. 1892, 1, 464.

Arthur Smithells, Chemical-News. 65, 81—82 ¹³/₂. Chem. Soc. 61, 217—226 u. Centr. 1892, 1, 466 u. 729.

Arthur Smithells u. Frankland Deut, Chemical-News. 69, 248—249 ²⁵/₁₀ u. Centr. 1894, 2, 76.

²⁾ Die innere Röhre ist 17 Cm. lang und ihre Ausflussöffnung beträgt 1,5 Mm. im Durchmesser. Die äussere Röhre hat eine Länge von 13 Cm. und ist 10 Mm. weit.

die innere an einem Ende spitz ausgezogen, die äussere gleichweit und etwas kürzer ist; letztere passt knapp auf die erstere. Befestigt man durch eine entsprechende Vorrichtung, die engere Röhre mit der Spitze nach oben gerichtet, und verbindet das andere Ende mit der Gasleitung, schiebt man ferner die weitere Röhre über die engere in eine Stellung, bei welcher die Spitze frei herausragt, so wird das aus derselben ausströmende, entzündete Gas mit den charakteristischen Eigenschaften einer Einlochbrennerflamme verbrennen. Sie ist gelbleuchtend, am hellsten im oberen Drittel ihrer Höhe, da durch die Saugwirkung des aus der Röhre strömenden Leuchtgases die Luft in grösseren Mengen in den unteren Theil der Flamme dringt, wo ihre Bestandtheile in verschiedener Weise entleuchtend wirken. Wenn auch in beschränkterem Maasse, verhält sie sich ebenso auch im oberen Theile der Flamme, weshalb letztere von einem entleuchteten Saume umgeben erscheint. Eine Verbrennung geht im Inneren der Flamme nicht vor sich, wie dies durch horizontal und vertical hineingehaltene Holztafeln an den entstehenden Brandfiguren ersichtlich gemacht werden kann. Zwischen dem Leuchtgase und der Luft tritt hier eine schwachleuchtende, brennende Hülle auf. Ursprünglich aus einem Gemenge von Luft und Leuchtgas bestehend, verbrennen in derselben beim Anzünden zunächst Wasserstoff und das sich inzwischen gebildete Kohlenmonoxyd mit Sauerstoff, wodurch das an den brennenden Saum angrenzende Gas so sehr erhitzt wird, dass sich an dieser Stelle eine theilweise Zerlegung der Kohlenwasserstoffe vollzieht¹⁾, Kohlenstoff frei wird, welcher erglüht und die helle Lichtwirkung der Flamme verursacht. Die Gestalt der Flamme ist das Ergebniss mannigfaltiger Wirkungen. Der Druck, mit welchem das Leuchtgas ausströmt, und die Ausströmungsrichtung desselben, sowie die Diffusionsgeschwindigkeit seiner Bestandtheile, als auch der Querschnitt der Ausflussöffnung und der herrschende Luftdruck werden zunächst die Form der Flamme beeinflussen; ferner die auftretende Verbrennungstemperatur und die Verbrennungsgeschwindigkeit der verbrennenden Grundstoffe; insbesondere aber bewirkt der Umstand, dass der Zutritt des

¹⁾ Nach Vivian Lewis bildet sich hierbei reichlich Acetylen.

Sauerstoffes in senkrechter Richtung zum oberen Theile der Flamme am meisten gehemmt wird, indem die heissen Gase aus der Flamme direct emporsteigen, das Auslaufen der letzteren in eine Spitze, bis zu welcher, unterstützt durch die Strömung, das Leuchtgas an dieser Stelle am weitesten unverbrannt vordringen kann. Hebt man die äussere Röhre, so wird sich die Flamme auf die erhöhte Mündung der weiteren Röhre aufsetzen, da wegen Mangels an Sauerstoff dieselbe an der ursprünglichen Stelle nicht mehr fortbrennen kann. Wird die äussere Röhre um ein Geringes noch höher gehoben, über die Stelle, an welcher die innere Röhre sich zuzuspitzen beginnt, dann erfolgt von aussen, durch die Saugwirkung des strömenden Gases, der Zutritt von Luft; dem nun ausströmenden Leuchtgase mengt sich Luft bei, welche zunächst eine theilweise Entleuchtung der Flamme verursacht. Diese beginnt von unten und setzt sich nach oben fort; der ohnehin grünlichblau leuchtende untere Theil der Flamme zeigt gleich anfangs, durch die Wirkung des beigemengten Sauerstoffs, eine Spaltung an der Flammenbasis.¹⁾ Der Zutritt von Sauerstoff kann durch weiteres Heben der äusseren Röhre so geregelt werden, dass der gelbleuchtende Theil der Flamme bis auf eine gelbleuchtende Spitze von der inneren, grünlichblau leuchtenden, brennenden Hülle ersetzt wird, wodurch die Bunsen'sche Reactionsflamme entsteht. Wird die äussere Röhre noch höher gehoben, dann verschwindet die gelbe Spitze; man erhält eine Flamme, in welcher auch die innere, brennende Hülle ausgebildet ist. In diesem Falle berühren sich die beiden Flammen an ihren Spitzen, während nach unten die schon erfolgte, theilweise Spaltung sichtbar wird. Man erhält auf diese Weise eine grünlichblau leuchtende Gesammtflamme, welche in ihrem unteren Theile einen doppelten, in ihrem oberen Theile einen einfachen, schwach violett gefärbten Saum zeigt. Die lebhaftere Färbung des Saumes ist dem Umstande zuzuschreiben, dass längs desselben das Auge durch grössere Schichten der brennenden Hülle hindurchsieht. Steigert man noch mehr den Zutritt von Sauerstoff, dann trennen sich auch an der Spitze die brennenden Hüllen und die Spaltung der

¹⁾ Die Spaltung der Flamme erfolgt auch bei gleichzeitiger Entleuchtung durch ein indifferentes Gas.

ursprünglichen Flamme geht vollends vor sich; aus den auf Holztafeln erhaltenen Brandprofilen der einzelnen Flammen lässt sich aber auf keine Temperaturdifferenz derselben schliessen. Die Höhe der inneren Flamme nimmt nun weiter in dem Verhältnisse ab, als der Sauerstoffzufluss sich vermehrt, wobei auch die äussere Flamme kürzer und breiter wird. Auch die Farbenerscheinungen ändern sich insofern, als der Zwischenraum der brennenden Hüllen gelblichroth, die innere Flamme dagegen mit zunehmender Verkleinerung heller und grünlichblau erscheint, bis sie endlich bei ihrer geringsten Höhe intensiv grünlichblau leuchtet.¹⁾ Man erzielt bei dieser Beschaffenheit der Gesamtflamme einen Brandring, nicht nur aus der inneren Flamme als Horizontalprofil, sondern auch aus der äusseren, und der erstere zeigt eine weitergehendere Verkohlungs an seiner inneren Contour, während diese Erscheinung an der äusseren Begrenzung der letzteren bemerkbar wird. Auch ist der Brandring der unteren Flamme an seiner inneren Seite bei weitem intensiver, woraus sich ergibt, dass die Verbrennung in der äusseren Flamme mit Sauerstoff aus der umgebenden, in der inneren mit jenem der beigemengten Luft erfolgt, und die innere Flamme eine gesteigerte Temperatur besitzt.²⁾ Es wird demnach die Spaltung der Flamme durch den beigemengten Sauerstoff bewirkt, welcher den Flammenabstand bedingt; letzterer wächst im Verhältniss der zutretenden Sauerstoffmenge, gleich wie der Heizeffect der inneren Flamme. Das verticale Brandprofil der Gesamtflamme zeigt besonders deutlich, wenn die Holztafel nicht zu lange exponirt wird, dass im Inneren der beiden Flammen keine Verbrennung vor sich geht, welche Erscheinung weder in der Bunsen'schen Reactionsflamme, noch in der gewöhnlichen Flamme dieses Brenners zu beobachten ist, da sich bei diesen zu wenig Luft dem Gase beimengt, um einen beträchtlicheren Flammenabstand zu verursachen. Die geringste Vermehrung des Sauerstoffzutrittes bewirkt nun das Einschlagen der Flamme, gleichviel,

¹⁾ Bei dieser Stellung der inneren Flamme ist das durch die weitere Glasröhre strömende Luft-Gasgemenge brennbar. Sind in dieser Röhre Platindrähte eingeschmolzen, so entzünden die durchschlagenden Funken das Gasgemenge und dasselbe entflammt an der Mündung.

²⁾ Die Temperaturverhältnisse der Flamme untersuchte zuletzt Vivian Lewes.

ob dies dadurch geschieht, dass die äussere Röhre noch weiter gehoben, oder der Zufluss des Leuchtgases vermindert wird; die einschlagende Flamme führt dann dem aus der Spitze unmittelbar entströmenden Leuchtgase die Entzündungstemperatur zu, wodurch dieses an der ursprünglichen Ausflussöffnung mit gelbleuchtender Flamme fortbrennt. Die Bewegung der einschlagenden Flamme lässt sich genau verfolgen.

Zu diesem Zwecke benutzt man, statt des angeführten Glasbrenners, einen Brenner nach der von mir angegebenen Construction¹⁾, bei welchem der Zutritt der Luft so weit vermehrt werden kann, dass die innere Flamme sich möglichst verkleinert, ohne aber einzuschlagen. An das Brennerrohr eines solchen Brenners wird unmittelbar, wie es Fig. 2²⁾ (a_2 , b_2 , c_2 , d_2) veranschaulicht, mit Hülfe eines Pfropfs ein ziemlich weites und langes Glasrohr angefügt. Entzündet man das durch diesen Apparat strömende Leuchtgas, so entsteht, wenn demselben keine Luft beigemengt wird, an der Mündung des weiteren Glasrohrs die besprochene, gelbleuchtende Flamme; im entgegengesetzten Falle vollzieht sich die Spaltung derselben und die innere Flamme wird bald den niedrigsten Stand

erreicht haben. Je nachdem nun diese Röhre durchsichtig, verhältnissmässig lang und weit ist, wodurch eine gleichförmigere, langsamer strömende Leuchtgas Mischung erzielt wird, kann eine weitere Bewegung der inneren Flamme nach unten genau beobachtet werden. Bei nur geringer Steigerung der Luftzufuhr sieht man, wie dieselbe sich in die Röhre senkt, während die obere an ihrer ursprünglichen Stelle ruhig fortbrennt, womit thatsächlich die Trennung der beiden Flammen vollzogen ist. Es bestehen hier nämlich zwei entgegengesetzte Bewegungserscheinungen: Das Strömen des Luft-Gasgemenges von unten

¹⁾ Dies. Journ. 1892, [2] 45, 281.

²⁾ Das Glasrohr dieses Apparates ist 50 Cm. lang und 34 Mm. weit.

nach oben und das Abbrennen desselben von oben nach unten. Der jeweilige Stand der beweglichen Flamme wird demnach die Resultirende sein aus der Ausströmungsgeschwindigkeit und der Verbrennungsgeschwindigkeit des Luft-Gasgemenges, und bei Gleichheit der entgegengesetzten Bewegungserscheinungen wird die sich senkende Flamme an einer bestimmten Stelle in der Röhre stehen bleiben. Dies gelingt auch in der That experimentell auszuführen, wenn die Luftregulirscheibe des Brenners mit einiger Umsicht gehandhabt wird. Wirkungsvoller gestaltet sich dieser Versuch, sobald nach Einstellung der Flammen dieselben durch Absperren der Gasleitung für einige Augenblicke ausgelöscht werden, und hierauf das Gasgemenge neuerdings durch den Apparat geleitet und entzündet wird; die Flammen nehmen dann sofort ihre früher innegehabten Stellen wieder ein. Erstere unterscheiden sich in mancher Beziehung von einander. Die obere hat eine Kegelform und ist bläulichgrau gefärbt; ihre Temperatur ist verhältnissmässig niedrig und abhängig von dem Abstände der Flammen zu einander.¹⁾ Es kommen in der ersteren jene brennbaren Gase zur Verbrennung, welche die untere Flamme passirt haben und wegen Mangel an Sauerstoff nicht verbrennen konnten, so dass sie erst mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft zur Verbrennung gelangen. Zu diesen gehören namentlich Wasserstoff und Kohlenmonoxyd. Das Gasgemenge²⁾ zwischen den beiden Flammen hat eine wechselnde Zusammensetzung, welche von dem gegenseitigen Abstände der Flammen abhängig ist. Die untere Flamme ist grünlichblau, hellleuchtend und sehr heiss.³⁾ Ihre Form gleicht bald einer Schale, bald einer solchen mit nach aussen gebogenen Rändern; oft erscheint diese mit dem Boden nach oben, immer aber hat sie heller gezeichnete Contouren.

Zwischen diesen getrennten Flammen bemerkt man, über der unteren, heissen, gleichsam aus ihrer Höhlung emporsteigend, eine dritte Flamme, welche gelblichroth gefärbt ist. Allmählich wird die Röhre heisser; weshalb das durchströmende

¹⁾ Bei einem Abstände von 57 Cm. zündet sich am Rande der oberen Flamme der Schwefel nur nach einiger Zeit an.

²⁾ Dieses untersuchten: Arthur Smithells und Henry Ingle.

³⁾ Bei einem Flammenabstände von 57 Cm. beträgt sie über 1500°

Gasgemenge eine beschleunigte Geschwindigkeit erhält. Der raschere Strom verursacht eine gesteigerte Saugwirkung, und es mehrt sich der Sauerstoffgehalt in der Röhre, wodurch auch die Verbrennungsgeschwindigkeit wächst. Letztere überwiegt schliesslich, weshalb von Zeit zu Zeit der Luftzutritt regulirt werden muss, wenn man den ursprünglichen **Flammenabstand** erhalten will.

Dieser Versuch kann auch mit einer langen, gebogenen Glasröhre ausgeführt werden. Aus Fig. 3¹⁾ ist die Zusammenstellung des Apparates ersichtlich. Man kann unter diesen Bedingungen die früher beschriebenen Erscheinungen wieder beobachten; ein Unterschied zeigt sich nur darin, dass die obere Flamme nicht lange fortbrennt, da die Ausströmungsgeschwindigkeit des Gasgemenges, welches in der oberen Flamme verbrennt, bald grösser wird als die Verbrennungsgeschwindigkeit desselben. Dafür entwickelt die untere Flamme eine steigende Lichtintensität und bewegt sich mit auffallender, wachsender Geschwindigkeit in der Richtung zum Brenner, gleichviel, ob sich die Flamme in der Röhre nach aufwärts, oder nach abwärts bewegt.

Aehnliche und neue Erscheinungen bieten sich, wenn der Versuch mit dem Apparat Fig. 4²⁾ (a_4, b_4, c_4, d_4, e_4) ausgeführt wird. Dieser besitzt eine Verlängerung des

Fig. 3.

Fig. 4.

¹⁾ Diese Röhre ist 20 Mm. weit und hat drei Windungen, von denen jede eine Länge von 72 Cm. besitzt.

²⁾ Das innere Rohr ist 34 Cm. lang, 14 Mm. weit; die Höhe desselben in der längeren Röhre beträgt 6,5 Cm. Das längere, äussere Glasrohr ist 26,5 Cm. lang und 28 Mm. weit.

Brennerrohres, welche durch das Aufsetzen eines knapp anschliessenden Glasrohres erreicht wird.¹⁾ Auch bei diesem Apparate wiederholen sich zunächst die früher angegebenen Erscheinungen; bei entsprechendem Zutritt von Sauerstoff in den Brenner kann man aber in diesem Falle die untere Flamme auf die Mündung der inneren Röhre aufsitzen lassen und die beiden Flammen auf den verschiedenen Röhrenmündungen dauernd erhalten. Steigert man den Luftzutritt, dann wird die untere Flamme kleiner und leuchtender, bis sie schliesslich bei grösserer Sauerstoffzufuhr sich in die Röhre senkt und erlischt; wenn aber im Gegentheil durch die Luftregulirungsscheibe des Brenners der Zutritt von Luft allmählich vermindert wird, bemerkt man an dieser Flamme eine grosse Unruhe. Hemmt man noch mehr den Zufluss von Sauerstoff, dann steigt bei einer bestimmten Einstellung der Regulirungsvorrichtung die untere Flamme in der weiteren Röhre empor, um nur kurze Zeit auf der Mündung dieses Rohres zu verweilen, wo für einige Augenblicke, da die obere Flamme ruhig fortbrennt, die kennzeichnende Erscheinung der gespaltenen Flamme sichtbar wird. Bald senkt sich jedoch die innere Flamme wieder in die weitere Röhre hinab und setzt sich abermals auf die Mündung der engeren Röhre. Dieser Vorgang wiederholt sich in rhythmischem Tempo ohne Unterlass bei richtig gewählter, gleichbleibender Einstellung des Apparates²⁾ und unverändertem Gasdrucke. Die Ursache dieser Bewegungserscheinung ist naheliegend. Es senkt sich die innere Flamme durch das weitere Glasrohr, weil das Gasgemenge in demselben eine grössere Verbrennungsgeschwindigkeit als Ausströmungsgeschwindigkeit besitzt. Kommt nun auf diese Weise die innere Flamme allmählich bis auf die Mündung der engeren Röhre, so kann sie hier nicht lange verweilen, weil in der engeren Röhre das Gasgemenge eine grössere Ausströmungsgeschwindigkeit als Verbrennungsgeschwindigkeit hat

¹⁾ Ein solches Ansatzrohr benutzten schon Arthur Smithells und Henry Ingle.

²⁾ Gewöhnlich bemerkt man nach einiger Zeit, dass diese Flamme ihre Bewegungen entweder nach oben oder nach unten abkürzt. Wird zuviel Luft eingeleitet, dann steigt sie zu wenig hoch, und ist Mangel an Luft vorhanden, so kommt sie nicht bis zur Mündung der unteren Röhre.

und bei gleichbleibendem Gasdrucke und unveränderter Gaszufliessöffnung die Geschwindigkeit der Strömung in einer engeren Röhre grösser ist, als in einer weiteren. Die Flamme trennt sich somit von der engeren Röhrenmündung und steigt wieder empor. Das in die weitere Röhre einströmende Gasgemenge erreicht nun nicht sofort die früher besessene Verbrennungsgeschwindigkeit, und die Flamme kehrt deshalb nicht gleich wieder zurück, sondern sie vollendet die Steigung bis zur Mündung der weiteren Röhre, weil die weniger dichten Bestandtheile des aus der inneren Röhre ausströmenden Gasgemenges rascher aufsteigen und sich ausbreiten, wodurch dasselbe anfangs sauerstoffärmer sein wird. Zudem wirkt auch die unmittelbare Nähe der heissen Flamme auf das Gasgemenge ein, so dass dieses sich ausdehnt und die Ausströmungsgeschwindigkeit desselben auch aus diesem Grunde überwiegen wird; erst durch das Nachströmen des kühleren, sauerstoffreicheren Gasgemenges, während welcher Zeit die Flamme wieder zur Mündung der weiteren Röhre gelangt ist, stellen sich die früheren Beziehungen wieder her: die Verbrennungsgeschwindigkeit wird neuerdings grösser als die Ausströmungsgeschwindigkeit, und die Flamme beginnt sich abermals in der weiteren Röhre zu senken.

Die Vorrichtung eines dreifachen Apparates dieser Art, welche mit Hülfe eines Dreibrenners hergestellt werden kann, bringt das Flammenspiel noch mehr zur Geltung. In allen diesen Fällen sieht man auf der unteren Flamme und an diese anschliessend eine dritte, gelblichroth gefärbte auftreten.

Ein Ansatzrohr, im Wesentlichen von derselben früher angeführten Beschaffenheit, an welchem jedoch die weitere Röhre etwas länger ist, wird durch Fig. 4 (f_4) dargestellt.¹⁾ Dieser Apparat functionirt derart, dass selbst bei dem niedrigsten Stande der Luftregulirungsscheibe, aus Mangel an Sauerstoff,

¹⁾ Die Länge der äusseren Röhre beträgt 35 Cm.; sie hat eine Weite von 30 Mm. Die engere Röhre ist 40 Cm. lang, 14 Mm. weit und ihre Höhe in der äusseren Röhre beträgt 10 Cm. Die längere Röhre beschleunigt die Ausflussgeschwindigkeit des in derselben sich befindenden heissen Gasgemenges.

die untere Flamme sich nicht auf die Mündung der inneren Röhre setzen kann.¹⁾ Unter diesen Umständen wird dieselbe sich dieser Stelle zunächst nur nähern, dabei aber ausserordentlich unruhig und geräuschvoll fortbrennen, während die obere Flamme auf der Mündung der äusseren Röhre ruhig erscheint. Man steigert nun den Zutritt von Sauerstoff dadurch, dass man die Gasregulirschraube des Brenners, welche anfangs den Leuchtgaszufluss gar nicht hinderte, vorsichtig in der Schliessrichtung dreht, wodurch das Gasgemenge leuchtgasärmer und somit sauerstoffreicher wird. Die geräuschvolle Verbrennung vermindert sich hierauf, hört später ganz auf und die innere Flamme setzt sich, bei entsprechender Stellung der Gasregulirschraube, auf die Mündung der inneren Röhre. In diesem Augenblicke wird, durch die Schwingungen des Gasgemenges verursacht, ein durchdringender, anhaltender Ton hörbar, und die obere Flamme verschwindet. Besonders auffallend ist nun die Erscheinung, welche auftritt, wenn durch entsprechende Handhabung der Schraube allmählich mehr Leuchtgas zugeführt wird. Es erscheint die obere Flamme wieder, frei in der Luft schwebend, einige Centimeter hoch über der weiteren Röhrenmündung. Man kann dieselbe, unter wechselndem Tonfall, an dieser Stelle erhalten, auf die Röhrenmündung aufsitzen oder verschwinden lassen, je nach der Stellung, die der Regulirschraube gegeben wird. Noch eine Reihe anderer Erscheinungen treten hier auf. Befinden sich die beiden Flammen auf den entsprechenden Röhrenmündungen, so erscheint die obere bläulichgrau, von einem grauen Saum umgeben und über der grünlichblauen, unteren, erhebt sich noch eine andere, gelblichrothe Flamme. Durch die steigende Temperatur in der Röhre wird diese immer länger und ihre Farbe zusehends gelblicher, da sie flüchtige Zersetzungsprodukte des Glases aufnimmt. Sie befindet sich stets unmittelbar über der unteren

¹⁾ Das Auftreten der erwähnten Erscheinung ist auch von dem jeweiligen Gasdrucke abhängig; bei grösserem Drucke wird die innere Röhre weiter in die äussere Röhre geschoben, und ist der Druck geringer, dann wird die innere Röhre entsprechend aus der weiteren herausgezogen. Auf diese Weise vermehrt oder vermindert man die Ausströmungsgeschwindigkeit und stellt die erforderlichen Bedingungen für den Versuch her.

Flamme und ist im Wesentlichen eine Wasserstoffflamme.¹⁾ Ihre gelblichrothe Färbung wird durch die Sonnenstäubchen verursacht, welche aus der beigemengten Luft herrühren. Sie wird sofort nach der Spaltung der Flamme sichtbar und ist aus dem Grunde in jenen aller Heizbrenner zu sehen; es dringen bei diesen die Sonnenstäubchen auch aus der umgebenden Luft ein. Besonders bemerkenswerth ist der Umstand, dass die Wasserstoffflamme im Gegensatz zu den anderen, welche Oberflächenflammen sind, massiv erscheint; ihre Verbrennungsgeschwindigkeit wird jedoch durch die bedeutenden Mengen beigemischter Gase sehr verzögert. Demzufolge ist auch ihre Temperatur eine verhältnissmässig nicht sehr hohe, wodurch sich auch die Erscheinung erklärt, dass bei möglichst weitgehender Spaltung der Brennerflamme auch aus der oberen Flamme als Horizontalprofil ein Brandring mit der Holztafel erhalten werden kann. Dies gelingt aber nur, wenn der Versuch rasch durchgeführt wird; bei längerem Belassen der Holztafel in der Flamme bildet sich durch Einwirkung der Wasserstoffflamme statt des Ringes eine Brandfläche. Verschwindet die obere Flamme, dann wird an dieser Stelle eine dem grauen Rauche ähnliche Erscheinung sichtbar, an welcher die schwebende Flamme gleitet oder haftet. Diese Erscheinung wird durch das ausströmende Gasgemenge, bestehend aus den heissen, von unten beleuchteten, gasförmigen Produkten, hervorgerufen, in denen namentlich der Wasserdampf das Licht reflectirt. Durch dieses Gasgemenge strömen auch die brennbaren Gase empor, welche die obere Flamme bilden. Dieser Versuch ist insbesondere deshalb bemerkenswerth, weil er ersichtlich macht, dass auch die obere Flamme beweglich ist und gleich wie die untere stets jene Stelle einnimmt, bei welcher die Ausströmungsgeschwindigkeit des Gasgemenges der Verbrennungsgeschwindigkeit desselben gleich ist.²⁾ Man

¹⁾ Entzündet man Wasserstoff an der Luft, welcher aus einer ausgeglühten Platinröhre strömt, so hat die entstehende Flamme dieselbe gelblichrothe Färbung; sie ist nur dicht an der Ausflussöffnung blau gefärbt.

²⁾ Zu diesen Versuchen ist mit Rücksicht auf die angegebenen Dimensionen des Apparates ein Gasdruck von etwa 30 Mm. Wasser unter sonst gewöhnlichen Umständen erforderlich.

kann auch in anderer Weise vorgehen, um diese Erscheinungen hervorzurufen, indem man nämlich die abkühlende Wirkung eines Metalldrahtnetzes benutzt. Es wird die obere Mündung des besprochenen Glasbrenners mit einem horizontal abschliessenden Eisendrahtnetz¹⁾ versehen, das Leuchtgas durch den Apparat geleitet und angezündet. Die anfänglich gelbleuchtende Flamme wird durch Heben der äusseren Röhre bald entleuchtet, sie spaltet sich dann; allein die untere Flamme kann hier nicht einschlagen, da das abkühlende Drahtnetz die Fortpflanzung der Entzündungstemperatur zum Gasgemenge in der Röhre verhindert. Eine weitere Entfernung der unteren Röhrenmündung von der Ausflussöffnung des Gases vermehrt aber dadurch, dass ein Theil des letzteren seitlich entweicht, der andere Theil grössere Schichten von Luft passiren muss, den Sauerstoffgehalt des in der Röhre aufsteigenden Gasgemenges. Durch diese Vorrichtung ist es deshalb auch möglich, die äusserste Grenze der Sauerstoffzuführung zu erreichen. Demzufolge bemerkt man, wie durch allmähliches Heben der äusseren Röhre die untere Flamme in ihrer Höhe zusehends abnimmt, sich immer mehr abplattet, bis sie schliesslich als eine intensiv leuchtende, bläulichgrün gefärbte Fläche erscheint. Die Wasserstoffflamme, welche sofort anschliessend über der unteren Flamme erscheint, folgt in allen Bewegungen der letzteren.²⁾ Auch die obere Flamme, welche hier nicht auf einer besonderen Röhrenmündung aufsitzt, verhält sich bezüglich ihrer Formveränderung genau wie die untere. Im weiteren Verlaufe des Versuches gelangt die Wasserstoffflamme, indem die obere Flamme sich senkt, unter die brennende Hülle der letzteren und bald erscheint dann jene des Wasserstoffes für kurze Zeit isolirt; gleichzeitig erglüht das Netz als Beweis, dass diese Flamme massiv ist. Endlich versenkt sich auch diese in das Netz und eine andere, weisslichgrau gefärbte Flamme, welche sehr schwach leuchtend, ebenfalls massiv und ziemlich gross ist, wird sichtbar. Diese bewegt sich aber bei

¹⁾ Ein Platindrahtnetz erscheint nicht vorthellhaft, da dasselbe beim Erglühen eine zu grelle Lichtwirkung verursacht.

²⁾ Diese Erscheinung tritt in gleichem Maasse auf, wenn das Glasrohr durch ein Platinrohr, und das Eisendrahtnetz durch ein Platindrahtnetz ersetzt wird.

weiterer Steigerung des Luftzutrittes nicht in derselben Richtung nach abwärts, sondern trennt sich von dem Netze, steigt nach aufwärts und erlischt. In dieser Flamme verbrennt die möglichst geringe Menge von Leuchtgas mit überschüssig beigemengter Luft. Es erfolgt in derselben die weitgehendste Entleuchtung und die äusserste Erniedrigung der Temperatur. Der Apparat kann auch in der Weise eingestellt werden, dass man bei finsterner Umgebung aus der nächsten Nähe gleichzeitig alle vier Flammen sehen kann.¹⁾

Eine weitere Abbildung, welche mit Fig. 5²⁾ gegeben ist, zeigt eine Zusammenstellung zweier Apparate von ähnlicher Einrichtung über einander zusammengefügt. Es kann durch diese Vorrichtung, während sich an der obersten Mündung die äussere Flamme befindet, die innere zunächst auf die Mündung der höherstehenden und dann auf jene der tieferstehenden, inneren Röhre gestellt und dauernd erhalten werden. Der letztere Vorgang erfordert jedoch die Zuleitung relativ grösserer Mengen von Luft, deren gesteigerter Zutritt durch entsprechende Verminderung des Leuchtgaszuflusses mittelst der Gasregulierungsschraube erreicht wird.

Die angeführten Beobachtungen weisen darauf hin, dass bei der Verbrennung des Leuchtgases an der Luft im Wesentlichen nur zwei Flammen in Betracht kommen: die des Kohlenmonoxydes und jene des Wasserstoffes. Abgesehen davon, dass in der gelbleuchtenden Flamme des Leuchtgases ausgeschiedener, glühender Kohlenstoff die gelbe Färbung bewirkt, ist die Flamme an sich blau gefärbt.³⁾ Diese Färbung kann jedoch von keiner Flamme eines Kohlenwasserstoffes herrühren, denn selbst das Sumpfgas verbrennt noch mit einer gelblichleuchtenden Flamme. Eine blaue Flammenfärbung kann demnach nur von dem mit blauer

Fig. 5.

¹⁾ Für diese Versuche eignet sich besonders ein Brennerrohr aus Platin.

²⁾ Die Brenneröhre ist 33 Cm. lang, 13 Mm. weit und ragt in der Länge von 16,5 Cm. in die weitere Röhre hinein. Letztere ist 41 Cm. lang, 27 Mm. weit; die Höhe derselben in der nächst weiteren Röhre beträgt 7,5 Cm. Die weiteste Röhre ist 40 Cm. lang und 37 Mm. weit.

³⁾ Dies ist an dem unteren Theile einer jeden gelbleuchtenden Flamme zu sehen.

Farbe verbrennenden, in der Flamme reichlich vorhandenen Verbrennungsprodukte Kohlenmonoxyd und dem mit ähnlicher Farbe verbrennenden Wasserstoff herrühren.¹⁾ Strömt Leuchtgas in die Luft, dann entstehen zwischen letzterer und der Ausflussöffnung zwei Zonen, die des Leuchtgases und jene des Gemenges von Luft und Leuchtgas. Das Gemenge bildet die Flamme, wenn das Leuchtgas entzündet wird. Sie ist gleichbedeutend mit dem Saume, welcher an der gelb, oder blauleuchtenden Flamme beobachtet wird. Dort, wo dieser Saum und das Leuchtgas sich berühren, leuchtet abgeschiedener Kohlenstoff, brennendes Kohlenmonoxyd und brennender Wasserstoff und, wenn die Flamme blauleuchtend ist, nur letztere. Das entstandene Kohlendioxyd und der Wasserdampf durchdringen die Flamme, in welcher ebenfalls die Verbrennung der früher erwähnten Gase vor sich geht und wirken entleuchtend, wie auch der eintretende Stickstoff und der oxydirende Sauerstoff; wo das Gemenge und die Luft sich berühren, hört jede Lichtwirkung auf. Diese Beziehungen ändern sich einigermassen mit der Grösse der Flammenoberfläche. Ist letztere verhältnissmässig sehr klein, wie meistens bei grösseren Ausflussöffnungen, dann entweichen aus der Flamme selbst brennbare, unverbrannte Gase, und dieselbe russt auch unter solchen Umständen. Bei sehr ausgedehnter Flammenoberfläche, die dann vorhanden ist, wenn aus einer sehr kleinen Ausflussöffnung wenig Leuchtgas ausströmt, verliert die Flamme die intensive, gelbe Lichtwirkung und nimmt eine bläuliche Färbung an, weil die Kohlenstofftheilchen gleich bei ihrer Ausscheidung, ohne in Gluth zu gelangen, verbrennen. Auch in dem Falle, wenn ein strömendes Gasgemenge von Luft und Leuchtgas an der Luft verbrennt, lassen sich an den entstehenden Flammen dieselben, früher erwähnten Erscheinungen beobachten. Ist wenig Luft dem Gase beigemengt, so hat die Flamme noch eine leuchtende Spitze. In diesem Falle tritt der bemerkenswerthe Umstand ein, dass der noch gelbleuchtende Theil der Flamme Sauerstoff von der umgebenden, der untere Theil aber, von der beigemengten Luft erhält.

¹⁾ Bei Abwesenheit der Sonnenstäubchen ist die Wasserstoffflamme bläulich gefärbt.

Etwas mehr beigemischter Sauerstoff verursacht das Verschwinden der gelbleuchtenden Flammenspitze, und die weiteren Erscheinungen an dieser Flamme sind abhängig, abgesehen von der Ausströmungsgeschwindigkeit des Gasgemenges, mit welcher auch die Steigerung der Luftzufuhr und die Zunahme des Flammenabstandes wächst, auch noch von der Verbrennungsgeschwindigkeit des zur Verbrennung kommenden Gasgemenges. Es ist nämlich, bei einem äquivalenten Gehalte an Sauerstoff, die Verbrennungsgeschwindigkeit eines Gemenges von Sauerstoff mit Wasserstoff weit grösser, als jene von Sauerstoff mit Kohlenmonoxyd. Es wird demnach in der unteren Flamme und in jener anschliessend über dieser sich befindenden, die grössere Menge von Wasserstoff, in der oberen meist Kohlenmonoxyd verbrennen. Diese Beziehungen ändern sich aber sehr bedeutend, wenn die mit einander verbrennenden Gase in einem anderen Verhältnisse vorhanden sind, als es die entstehenden Verbrennungsprodukte erfordern, oder sich fremde Gase beimengen; da wird die Verbrennungsgeschwindigkeit verzögert, auch werden langsamer verbrennende Gasgemenge durch rascher verbrennende entzündet.

Bezüglich der Flammenfärbung lassen sich, ausser der Lichtwirkung des ausgeschiedenen, glühenden Kohlenstoffes, in nicht sehr ausgesprochener Reinheit die Grundfarben Gelb und Blau unterscheiden, aus welchen, da das Gelb röthlich auftritt, insbesondere die Mischfarben Violett und Grün in verschiedenen Schattirungen zu beobachten sind. Der gelbröthliche Farbenton rührt von der Wasserstoffflamme und der bläuliche namentlich von der Kohlenmonoxydflamme her. Diese Flammen durchdringen sich. Die violette Färbung des Flammen- saumes wird durch den röthlichen Farbenton der Wasserstoff- flamme und den bläulichen des Kohlenmonoxydes bewirkt, wobei die lichtschwächere Färbung mit grünlichem Ton, die hier gleichzeitig gesehen werden müsste, insbesondere durch die auftretende Farbenveränderung verdeckt wird, welche durch das wirksame Entleuchtungsvermögen des Stickstoffes, Kohlen- dioxydes und des Wasserdampfes erfolgt. Sobald dem Leucht- gase mehr Luft beigemengt wird, spaltet sich sowohl die Flamme des Kohlenmonoxydes, als die des Wasserstoffes. Die ungleiche Diffusions - und Verbrennungsgeschwindigkeit dieser Gase

bewirken auch verschieden grosse Spaltungsflammen und Flammenabstände. Die Wasserstoffflamme hat eine sehr voluminöse, obere und eine ziemlich wenig ausgedehnte, untere Flamme; im Gegensatze zu der Kohlenmonoxydflamme, bei welcher das umgekehrte Verhältniss auftritt. Spaltet sich daher die Kohlenmonoxydflamme, so ist der entstehende Flammenzwischenraum, sofern die gespaltenen Flammen eine gemeinsame Flammenbasis besitzen, mit der gelblichroth gefärbten, oberen Flamme des Wasserstoffes ausgefüllt. Eine weitere Farbenveränderung sieht man ferner in der unteren Flamme, deren bläulichgrüne Färbung mit wachsender Entfernung von der oberen zusehends heller wird, da diese Flamme fortwährend an Lichtintensität zunimmt.

Wien, Chemisches Laboratorium der Wiener Handels-Akademie, im März 1895.

(Fortsetzung folgt.)

Untersuchungen aus dem organischen Laboratorium der technischen Hochschule zu Dresden, mitgetheilt von E. v. Meyer.

III. B. Marquardt: Ueber die Einwirkung einiger Diazoverbindungen auf Cyanessigsäureäthylester.

Im Anschluss an die Arbeiten von Krückeberg¹⁾ und P. W. Uhlmann²⁾ sind die folgenden Versuche ausgeführt. Man konnte aus jenen Untersuchungen schliessen, dass die mittelst Diazoverbindungen aus Cyanessigester hervorgehenden stabilen Modificationen Phenylhydrazone sind, z. B. $C.(CN).COOC_2H_5$.

$\begin{array}{c} \parallel \\ N.NHC_6H_5 \end{array}$. Sollten aber nicht zuerst die wahren

Benzolazokörper, wie $\begin{array}{c} CH(CN).COOC_2H_5 \\ | \\ N=NC_6H_5 \end{array}$, als labile Modifica-

tionen entstehen und unter günstigen Bedingungen zu fassen sein?

¹⁾ Dies. Journ. [2] 49, 321.

²⁾ Das. 51, 217.