

## II. *Ueber die chemischen Vorgänge in der Flamme des Leuchtgases; von H. Landolt.*

(Auszug aus einer vom Hrn. Verfasser mitgetheilten Habilitationsschrift, Breslau 1856.)

---

Seit den berühmten Arbeiten Davy's über die Flamme war es vorzüglich die Untersuchung Hilgard's (Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCII., S. 129), welche uns über die chemischen Vorgänge, die im Innern einer Flamme stattfinden, genauere Auskunft verschaffte. Die früheren Vorstellungen über diesen Gegenstand haben durch dieselbe manche wesentliche Berichtigung erfahren; so ist es besonders das Eindringen des atmosphärischen Stickstoffs in die Flamme, von welchem uns diese Arbeit zuerst in Kenntniss setzt. Mit den im Innern einer Flamme vorhandenen Gasen gehen während ihres Aufsteigens eine Reihe von Veränderungen vor sich, welche in den verschiedenen Höhen, wie Hilgard gezeigt hat, nicht ihrem Wesen, sondern nur ihrem Umfange nach sich unterscheiden. Die Ermittlung dieses Umfangs der chemischen Vorgänge in der Flamme, sowie der Beziehungen, welche zwischen den in derselben verschwundenen und andererseits gebildeten Stoffen stattfinden müssen, ist die Hauptaufgabe, um zu einer genauen Kenntniss der Flamme zu gelangen. Hilgard hatte den Verbrennungsproceß des Talges und Wachses untersucht; die Vorgänge bei diesen Flammen sind aber wegen der darin auftretenden trockenen Destillation des Brennmaterials sehr complicirter Art, und es konnte daher eine vollständige Erledigung der vorhin angedeuteten Punkte sich nicht erreichen lassen. Durch eine Untersuchung der Flamme des Steinkohlenleuchtgases, bei welcher der ganze Verbrennungsproceß sich weit einfacher gestalten muß, konnte man hoffen, der Lösung etwas näher zu kommen. Ich habe diese Arbeit auf Veranlassung des Hrn. Prof. Bunsen in

dessen Laboratorium ausgeführt, und theile in Folgendem die erhaltenen Ergebnisse mit.

Bei der Untersuchung der Gasflamme mußte es sich vorzugsweise darum handeln, die Zusammensetzung des in verschiedenen Höhen des Flammeninnern sich vorfindenden Gasgemisches zu bestimmen. Zum Gewinnen dieser Gase ist die Flamme des aus einer ringförmigen Oeffnung strömenden Leuchtgases am besten geeignet. Es läßt sich bei einer solchen, auf ähnliche Weise, wie es von Hilgard geschehen war, von unten leicht eine Saugröhre ins Innere derselben einführen, durch welche dann mittelst eines Aspirators die Gase abgeleitet werden können. Diefs Verfahren machte vorerst die Construction eines besonderen Brenners nöthig, welcher Fig. 8, Taf. V abgebildet ist:

*AA* ist ein messingener hohler Cylinder von 35<sup>mm</sup> Durchmesser und 45<sup>mm</sup> Höhe; oben ist derselbe durch die Platte *BB* geschlossen, welche in der Mitte eine runde 7<sup>mm</sup> weite Oeffnung *CC* besitzt. Durch den Cylinder geht eine Röhre *DEF*, deren äußerer Durchmesser beinahe eben so viel beträgt, als die Weite der Oeffnung *CC*, durch welche sie noch hindurchreicht, so daß an dieser Stelle eine feine ringförmige Spalte entsteht. Unten bei *E* schließt die Röhre den Boden des Cylinders vollständig, und verlängert sich dann noch bis *F*. In derselben läßt sich die Saugröhre *GH* verschieben; diese besteht ebenfalls aus Messing, der obere, in die Flamme tauchende Theil wird jedoch von einem ungefähr 80<sup>mm</sup> langen und 1<sup>mm</sup> weiten Platinröhrchen gebildet. Ich versuchte es anfangs, gläserne Saugröhren anzuwenden, jedoch schmolzen die Spitzen derselben bei etwaigem Schwancken der Flamme sehr leicht zu. An der Stelle, wo die Saugröhre aus der Röhre *DEF* heraustritt, ist über beide ein Kautschukrohr *L* gezogen; es kann also von unten keine Luft in das Innere der Flamme eintreten. Das Gas wird durch die Oeffnung *O* dem Brenner zugeführt, und strömt nun aus der engen ringförmigen Spalte *CC* aus.

Der innere Raum des Cylinders *AA* dient hierbei als Reservoir, und verhindert, daß sich kleine Schwankungen im Gasdruck an der Flamme sogleich bemerklich machen.

Der vollständige Apparat, dessen ich mich bei diesen Versuchen bediente, ist in Fig. 9 Taf. V abgebildet. Das Leuchtgas ist in dem Gasometer *A* enthalten; als Sperrflüssigkeit wurde eine Lösung von Schwefelkalium angewandt, welche dazu diente, die Kohlensäure und den Sauerstoff aus dem Gase wegzunehmen, indem es wünschenswerth war, ein von diesen Stoffen freies Brennmaterial zu haben. Aus dem Gasometer wird das Gas durch einen Kolben *B*<sup>1)</sup> geleitet, welcher mit concentrirter Kalilauge getränkte Bimsteinstücke enthält, und sodann durch eine U-förmige Röhre *C*, in deren einen Hälfte sich Bimsteinstücke befinden, die mit einer Lösung von pyrogallussaurem Kali benetzt sind; die andere Hälfte ist mit Chlorcalcium gefüllt. Nachdem das Gas so noch vollständiger von Kohlensäure und Sauerstoff befreit ist, geht es dann durch die beiden Aufsammlungsrohre *D* und *E* und den Hahn *F* nach dem Brenner *G*. Die Flamme befindet sich innerhalb eines gläsernen Schornsteins *H* von 40<sup>mm</sup> Durchmesser und 150<sup>mm</sup> Höhe, und um dieselbe vor Luftströmungen möglichst zu schützen, ist das Ganze noch von einem größeren Glas-cylinder *I* umgeben. Der untere Rand des Schornsteins steht 20<sup>mm</sup> über dem Brenner; es zeigte sich bei dieser Entfernung die Flamme bei weitem am ruhigsten. Die Gase aus dem Innern derselben, welche von dem Aspirator *N* aufgesogen werden, gelangen aus dem Saugrohr *O* erst in die Chlorcalciumröhre *K*, und hernach in die beiden Sammelröhren *L* und *M*. Alle diese einzelnen Theile sind durch Kautschukröhren luftdicht verbunden.

Was die Ausführung der Operation anbelangt, so war diese folgende: Die Spitze der Saugröhre wurde erst genau in die Höhe, aus welcher Gas aus der Flamme abge-

1) An diesem war noch ein Manometer angebracht. Der Gasdruck betrug immer 17 Par. Lin. Wasser.

leitet werden sollte, eingestellt, und hierzu diente eine auf dem gläsernen Schornstein eingezogene Millimeterscale, durch welche mittelst eines Fernrohrs visirt werden konnte. Nachdem die Flamme angezündet und sie ganz ruhig geworden war, wurde derselben mit Hülfe des Hahns *F* eine Höhe von 95 bis 100 Millimetern ertheilt, und sodann der Hahn des Aspirators geöffnet. Die Schnelligkeit, mit welcher das Wasser abfloß, betrug 1 Liter in 20 bis 25 Minuten. Hieraus erlitt die Flamme eine Verkürzung von ungefähr 10 Millimeter, so daß sie nun während der Dauer der Operation zwischen 85 und 95 Millimetern auf und nieder schwankte. Eine Flamme von ganz constanter Höhe zu erzielen, ist nicht möglich. Abgesehen davon, daß dieselbe durch die Luftströmungen, welche sie veranlaßt, leicht in ihrer Gestalt Aenderungen erleiden kann, sind es auch noch die kleinen Ungleichheiten im Druck, unter welchem das Gas aus dem Brenner ausströmt, die hier ins Spiel kommen. Durch das Niedersinken des Gasometers mußte eine allmähliche Verminderung des Druckes eintreten, und es war daher, um die Flamme möglichst auf der nämlichen Höhe zu erhalten, eine Regulirung des Gasstroms mittelst des Hahns *F* nothwendig, welcher zu diesem Zwecke einen langen Hebelarm besaß.

Da das Leuchtgas sowohl, wie das aus der Flamme abgeleitete Gas specifisch leichter als die Luft ist, so waren die Sammelröhren *D*, *E* und *L*, *M* schief gestellt; es fand also eine allmähliche Verdrängung der Luft nach unten statt. Bei horizontaler Lage hätte besonders in den Röhren *L* und *M* leicht eine Schicht Luft zurückbleiben können, da die Bewegung des Gases in denselben nur sehr langsam geschieht.

Nachdem aus dem Aspirator ungefähr 2 bis  $2\frac{1}{2}$  Liter Wasser ausgeflossen waren, konnte man sicher seyn, in den Sammelröhren luftfreies Gas zu haben, und es wurden diese dann an beiden Enden mit dem Löthrohr rasch zugeschmolzen.

Leider konnte ich bei diesen Versuchen nur ein Gasometer von 40 Liter Inhalt benutzen. Da die Flamme aber während der Dauer einer Operation ungefähr 30 Liter Gas verzehrte, so mußte das Gasometer immer von Neuem gefüllt werden. Dieser Umstand machte es daher erforderlich, das zu den einzelnen Versuchen verwandte Leuchtgas jedesmal wieder zu analysiren, da in der Zusammensetzung desselben Schwankungen stattfinden können. Wie sich nachher zeigte, sind jedoch diese Verschiedenheiten sehr unbedeutend.

Ich habe die Gase aus dem dunkeln Kegel der Flamme immer in Distanzen von 10 Millimetern genommen, von der Ausströmungsöffnung an gemessen. Bei der Höhe von 60<sup>mm</sup>, wo sich das Ende des Saugrohrs noch ungefähr 5<sup>mm</sup> unterhalb der Gränze des dunklen Kegels befand, trat eine fortwährende Verstopfung der Saugspitze durch die in derselben sich absetzende Kohle ein. Hilgard, welcher bei der Untersuchung der Talg- und Wachsflamme mit diesem Uebelstande ebenfalls zu kämpfen hatte, half demselben dadurch ab, daß er einen Draht in die Saugröhre einführte. Dieses Mittel war jedoch bei der schlanken, leicht beweglichen Gasflamme, die zu diesen Versuchen diente, nicht anwendbar, denn diese gerieth dabei durch die Luftströmungen, welche die Nähe des Körpers und die Bewegung der Hand verursachte, immer in solches Schwanken, daß der Gasaufsaugung sogleich ein Ende gemacht werden mußte.

Die aus der Flamme abgeleiteten Gase waren geruchlos und ohne alle Beimischung von Rauch. Eben so war das in der Kugel des Chlorcalciumrohrs verdichtete Wasser immer ganz rein<sup>1)</sup>, es liefs sich also auch der Gehalt der Flammengase an Wasserdampf bestimmen. Zu diesem Zwecke wurde die Chlorcalciumröhre vor und nach dem Versuche gewogen; ferner, um das Volumen des abgelei-

1) Dasselbe zeigte erst bei der Gasaufsammlung aus den höheren Partien der Flamme einen schwach brenzlichen Geruch.

teten Gases zu erfahren, die aus dem Aspirator ausgeflossene Wassermenge gemessen, und endlich noch die Temperatur des in demselben befindlichen Gases, sowie zugleich der Barometerstand beobachtet. Diese Daten finden sich in der Folge jedesmal angegeben. Da die Flammengase erst in die Saugröhre und aus dieser dann in die Chlorcalciumröhre gelangten, so konnte sich ein Theil des Wassers schon in der ersteren verdichten, und es wurde dieselbe daher, nachdem sie sammt der noch damit verbundenen Chlorcalciumröhre von dem Brenner getrennt worden war, von vorn nach hinten allmählich erwärmt und dabei gleichzeitig ein Strom Luft durch beide hindurchgesogen. Chlorcalciumröhre und Saugröhre zusammen zu wiegen, wäre weniger rathsam gewesen, da sich die letztere im Innern meistens mit einer Schicht Kohle bekleidete.

Die Analyse der Gase wurde ganz nach den Bunsen'schen Methoden ausgeführt. Was zunächst die Zusammensetzung des Leuchtgases anbelangt, so enthielt dasselbe, da ihm, wie oben angegeben, Kohlensäure und Sauerstoff entzogen worden waren, noch Wasserstoff, Grubengas, Kohlenoxyd, Stickstoff und schwere Kohlenwasserstoffe <sup>1)</sup>. Unter den letzteren finden sich bekanntlich verschiedene Glieder der Gruppe  $C_n G_m$ , vorwiegend aber Elayl und Ditetryl. Ich habe auf das Verhältniß dieser beiden Gase ebenfalls Rücksicht genommen, so daß zu einer vollständigen Analyse folgende einzelne Bestimmungen nöthig waren: Zuerst wurde im Absorptionsrohr mittelst Kali und pyrogallussaurer Kali auf Kohlensäure und Sauerstoff geprüft (Anal. I.) und hierauf durch rauchende Schwefelsäure das gemeinschaftliche Volum der schweren Kohlenwasserstoffe bestimmt (II). — Das nach dieser letzteren Operation zurückbleibende Gas wurde ins Verbrennungseudiometer übergefüllt, und hier nach der gewöhnlichen Methode das relative Verhältniß zwischen Wassergas, Grubengas, Kohlenoxyd und Stickstoff ermittelt (II). Die zur Berechnung der drei

1) Von schwefelhaltigen Verbindungen enthielt das Gas nur Spuren.

ersteren Gase nöthigen Daten finden sich (im Original) stets angegeben. Schliesslich war noch eine Analyse des von Kohlensäure und Sauerstoff, aber noch nicht von  $C_2H_2$  befreiten Gases nothwendig; es wurde daher von dem nach der Operation I zurückbleibenden Gase, ehe dasselbe mit rauchender Schwefelsäure in Berührung kam, eine Portion ins Eudiometer übergefüllt, hier mit Sauerstoff verpufft und die Contraction sowie die gebildete Kohlensäure bestimmt (IV.) Berechnet man nun aus II. und III. die Zusammensetzung des zu der Analyse IV. angewandten Gasvolumens und ferner die Contraction und die Kohlensäure, welche den in diesen Volumen enthaltenen Mengen Wasserstoff, Grubengas und Kohlenoxyd entspricht, so ergibt sich durch Subtraction dieser letzteren Werthe von den bei der Bestimmung IV. gefundenen die Menge Kohlensäure  $B$  und die Contraction  $C$ , welche den schweren Kohlenwasserstoffen, resp. Elayl und Ditetryl, allein zukommt. Das gemeinschaftliche Volum  $A$  dieser beiden Gase ist, wie angegeben, aus der Analyse II bestimmt. Ich habe das Verhältniss von Elayl zu Ditetryl immer auf doppelte Weise berechnet, einmal aus  $A$  und  $B$  und hierauf aus  $A$  und  $C$ ; aus den beiden erhaltenen Werthen ist dann das Mittel genommen. Da ein Vol. Elayl bei seiner Verbrennung zwei Vol. Kohlensäure und zwei Vol. Contraction, Ditetryl aber vier Vol. Kohlensäure und drei Vol. Contraction giebt, so erhält man zur Berechnung des Ditetryls  $y$  aus  $A$  und  $B$  die Formel

$$y = \frac{B}{2} - A.$$

Aus  $A$  und  $C$  ergibt sich:

$$y = C - 2A.$$

Elaylgehalt  $x = A - y$ .

Da unter den schweren Kohlenwasserstoffen des Leucht-gases ausser Elayl und Ditetryl ohne Zweifel noch andere, mit diesen polymere Verbindungen und zugleich noch etwas Benzoldampf vorkommt, so muss diese obige Bestim-

mungsweise kleine Fehler mit sich führen. Versucht man es jedoch, aufser Elayl und Ditetryl noch einen dritten Kohlenwasserstoff in Rechnung zu ziehen, was ausführbar ist, da sich drei Bedingungsgleichungen aufstellen lassen, welche zur Bestimmung von drei Unbekannten führen, so ergeben sich für diesen letzteren Werthe, welche entweder in die Gränze der Beobachtungsfehler fallen, oder negativ werden. Es zeigt sich hieraus, daß die größte Menge der schweren Kohlenwasserstoffe, deren Gesamtvolum übrigens nur ungefähr 7 Proc. ausmacht, aus Elayl und Ditetryl bestand.

[Das Original giebt nun die angestellten Analysen in vollem Detail. Wir lassen dasselbe hier fort, um sogleich zu den Endresultaten überzugehen. P.]



Tabelle I.  
Zusammenstellung der Analysen.  
(Volumprocente.)

	0mm		10mm		20mm		30mm		40mm		50mm	
	Leucht- gas	Gas aus der Flamme	Leucht- gas	Gas aus der Flamme	Leucht- gas	Gas aus der Flamme	Leucht- gas	Gas aus der Flamme	Leucht- gas	Gas aus der Flamme	Leucht- gas	Gas aus der Flamme
Wasserstoff	39,30	20,34	41,04	12,45	44,00	2,23	44,00	4,99	41,37	3,43	41,37	2,59
Grubengas	40,56	30,31	40,71	25,14	38,40	11,52	38,40	6,92	38,30	2,82	38,30	0,79
Kohlenoxyd	4,95	6,59	7,64	11,71	5,73	5,71	5,73	4,68	5,56	5,26	5,56	5,45
Elayl	4,04	3,80	5,10	3,59	4,13	1,86	4,13	1,55	5,00	0,90	5,00	0,60
Diteryl	3,15	2,75	2,18	2,65	3,14	1,34	3,14	1,00	4,34	0,77	4,34	0,58
Sauerstoff	—	0,59	—	0,65	—	0,19	—	—	—	—	—	—
Stickstoff	8,00	26,40	2,75	32,20	4,23	57,25	4,23	59,18	5,43	64,01	5,43	66,59
Kohlensäure	—	1,74	0,58	1,95	0,37	4,11	0,37	4,81	—	5,62	—	7,01
Wasserdampf	—	7,48	—	9,66	—	15,79	—	16,87	—	17,19	—	16,39

Bevor wir uns an die Betrachtung der durch die Analysen erhaltenen Zahlen wenden, wird es nöthig seyn, erst im Allgemeinen die Vorgänge, welche in der Flamme des Leuchtgases auftreten müssen, kurz zu erörtern. Stellen wir uns die Flamme als eine Gassäule vor, die von dem Brenner aus senkrecht in die Höhe steigt, und an deren Oberfläche die Verbrennung vor sich geht. Die Luft, welche diese Gassäule umgiebt, diffundirt, wie von Hildgard nachgewiesen wurde, von allen Seiten in dieselbe hinein; sie trifft zunächst in der leuchtenden Hülle mit dem Brennmaterial zusammen, und giebt hier ihren Sauerstoff an dasselbe ab. Die gebildete Kohlensäure und der Wasserdampf treten dann nebst dem Stickstoff in das Innere der Flamme, mischen sich daselbst mit dem noch unverbrannten Leuchtgase, und steigen weiter empor. Während dieses Aufsteigens ist aber eine neue Menge Luft hinzuge treten, und dieser entsprechend ein weiterer Theil Kohlenstoff und Wasserstoff verbrannt; je höher also das Gasgemisch im Innern der Flamme sich erhebt, desto mehr werden die brennbaren Bestandtheile in demselben abnehmen, und desto reicher wird es an Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff. Schliesslich muß ein Punkt kommen, bei welchem alles Brennbare verschwunden ist, und wo also die Flamme eine Gränze hat. Bekanntlich lassen sich an der Flamme mehrere Theile unterscheiden, 1) der dunkle Kegel; um denselben 2) oben die leuchtende, 3) unten die blaue Hülle, und endlich 4) der das Ganze umschließende schwachleuchtende Schleier. Für die nachfolgenden Betrachtungen genügt es, die drei letzteren Parteen zusammenzufassen, und also nur auf zwei Flammentheile Rücksicht zu nehmen, nämlich auf den dunklen Kegel und die denselben umgebende brennende Hülle.

Um auf eine allgemeine Erörterung der Vorgänge in der Flamme in quantitativer Hinsicht einzugehen, ist es am geeignetsten, die Gase nicht nach Volum-, sondern nach Gewichtsmengen ins Auge zu fassen. Denken wir uns, es sey eine bestimmte Quantität Leuchtgas, z. B. 100 Theile,

in die Flamme eingeströmt, so tritt zu diesen, gleich nachdem sie den Brenner verlassen haben, eine gewisse Menge Luft  $p$  hinzu, und das Gewicht der Mischung beträgt dann  $100 + p$ . Gleichzeitig findet an der Stelle, wo sich Gas und Luft zunächst treffen, die Verbrennung statt; ein Theil des Kohlenstoffs und Wasserstoffs des Grubengases, Elayls u. s. w. ist nun in Kohlensäure und Wasserdampf umgewandelt, die ursprünglichen Mengen der beiden Elemente müssen sich aber gleich geblieben seyn, nur sind dieselben jetzt nicht mehr in dem Gewicht 100, sondern in dem Gewicht  $100 + p$  enthalten. Indem die Gase weiter in der Flamme emporsteigen, addirt sich zu denselben immer mehr Luft, das Gewicht der Mischung wird daher fortwährend zunehmen, und an aufeinanderfolgenden Stellen  $100 + p$ ,  $100 + p_2$  u. s. w. betragen. Um die Veränderungen, welche mit den ursprünglichen 100 Theilen Leuchtgas bis in eine gewisse Höhe der Flamme vorgegangen sind, quantitativ angeben zu können, würde es nöthig seyn, die Zusammensetzung der ganzen daselbst sich vorfindenden Gasmenge  $100 + p_a$  zu bestimmen; bei den obigen Gasaufsaugungsversuchen ist es aber nur ein Theil dieser Gasmengen  $100 + p$ ,  $100 + p_1$ , etc., welchen wir aus der Flamme herausnehmen, und in dem wir das relative Verhältniß der einzelnen Bestandtheile ermitteln. Aus den angeführten Analysen wird sich somit noch nicht direct ersehen lassen, wie viel Wasserstoff, Grubengas etc. verschwunden, und wie viel Kohlensäure und Wasserdampf gebildet wurde.

Vor Allem muß es sich daher um die Bestimmung der Menge Luft handeln, welche in den Flammengasen enthalten ist, und deren Sauerstoff sich also in Form von Kohlenoxyd, Kohlensäure und Wasserdampf darin vorfindet. Da das Brennmaterial nicht stickstofffrei war, so kann dieselbe nicht unmittelbar aus der im Flammengase gefundenen Stickstoffmenge berechnet werden; sie läßt sich aber auf folgende Weise finden: Geht man nämlich auf die Elementarzusammensetzung der Gase zurück, und bestimmt durch Rechnung aus den obigen Analysen die Quantitäten Koh-

lenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, welche einerseits in 100 Gewichtstheilen ursprünglichen Leuchtgas, und andererseits in 100 Gewichtstheilen Flammengases enthalten sind, so müssen, wenn  $x$  den Gehalt an Luft in 100 Gewichtstheilen dieses letzteren bedeutet, in  $100 - x$  Theilen desselben die vier Elemente noch in dem ursprünglichen Verhältniss sich vorfinden, in welchem sie im Leuchtgas vorhanden waren. Besteht nun:

- 1) das zugeleitete Leuchtgas dem Gewichte nach in 100 Theilen aus  $a$  Kohlenstoff,  $b$  Wasserstoff,  $c$  Sauerstoff und  $d$  Stickstoff;
  - 2) das Gas aus der Flamme in 100 Theilen aus  $a'$  Kohlenstoff,  $b'$  Wasserstoff,  $c'$  Sauerstoff und  $d'$  Stickstoff; und ist
  - 3)  $x$  das Gewicht der in 100 Theilen Flammengas enthaltenen Luft;
- so erhält man, da 100 Gewichtstheile Luft aus 23,186 Sauerstoff und 76,814 Stickstoff zusammengesetzt sind, die Bedingungsgleichungen:

$$a' = \frac{100 - x}{100} a$$

$$b' = \frac{100 - x}{100} b$$

$$c' = \frac{100 - x}{100} c + 0,23186 x$$

$$d' = \frac{100 - x}{100} d + 0,76814 x$$

Da sich aus jeder dieser Gleichungen  $x$  finden läßt, so resultiren also für dasselbe vier gesonderte Werthe.

Die beifolgende Tabelle II. giebt zuerst die Zusammensetzung der Leuchtgase und Flammengase nach Gewichtsprocenten, sodann die Elementarzusammensetzung derselben, und endlich die vier hieraus herechneten Werthe von  $x$ .

Da man nothwendig annehmen muß, daß in das Innere der Flamme mit dem Stickstoff auch eine entsprechende Menge der in der leuchtenden Hülle gebildeten Verbrennungsproducte gelangt, und hier sich gleichförmig mit den

**Tabelle II.**  
**Zusammensetzung der Leucht- und Flammengase nach Gewichtsprocenten.**

	0mm			10mm			20mm			30mm			40mm			50mm		
	Leuchtgas	Gas aus der Flamme		Leuchtgas	Gas aus der Flamme		Leuchtgas	Gas aus der Flamme		Leuchtgas	Gas aus der Flamme		Leuchtgas	Gas aus der Flamme		Leuchtgas	Gas aus der Flamme	
Wasserstoff	5,70	2,10		6,25	1,14		6,84	0,18		6,84	0,39		5,98	0,26		5,98	0,19	
Grubengas	47,01	24,97		49,54	18,38		47,65	7,22		47,65	4,38		44,19	1,72		44,19	0,47	
Kohlenoxyd	10,04	9,49		16,26	14,97		12,43	6,25		12,43	5,18		11,22	5,61		11,22	5,66	
Elaß	8,19	5,48		10,86	4,59		8,97	2,03		8,97	1,72		10,09	0,96		10,09	0,62	
Diätyl	12,78	7,93		9,27	6,78		13,63	2,93		13,63	2,21		17,52	1,64		17,52	1,20	
Sauerstoff	—	0,97		—	0,95		—	0,24		—	—		—	—		—	—	
Stickstoff	16,28	38,19		5,88	41,33		9,22	62,95		9,22	65,75		11,00	68,58		11,00	69,47	
Kohlensäure	—	3,94		—	3,92		1,26	7,07		1,26	8,36		—	9,42		—	11,44	
Wasserdampf	—	6,93		—	7,94		—	11,13		—	12,01		—	11,81		—	10,95	

## Elementarzusammensetzung:

[illegible]

noch unverbraunten Gasen mischt, so werden die Veränderungen, welche in den relativen Mengen von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff <sup>1)</sup> eintreten, alle in entsprechender Weise vor sich gehen müssen, und es sollte sich daher aus jedem dieser drei Bestandtheile durch die Rechnung die nämliche Menge zugetretener Luft ergeben, die verschiedenen  $x$ , mit Ausnahme des aus dem Kohlenstoff erhaltenen, sollten also vollkommen gleich seyn. Vergleicht man aber in Tab. II. bei den einzelnen Höhen die  $x$ , so zeigt sich, besonders bei 0 bis 10 Millimeter, eine sehr geringe Uebereinstimmung derselben; in den größeren Höhen nähern sie sich dagegen mehr, und es können hier die Abweichungen sehr wohl auf Rechnung der Beobachtungsfehler gesetzt werden. Bei den beiden ersten Rubriken sind jedoch die Differenzen zu groß, als daß sie sich auf diese Weise deuten ließen. Bei der Vergleichung der  $x$ , welche aus dem Sauerstoff und Stickstoff berechnet wurden, ergiebt sich das aus dem letzteren gefundene weit kleiner, als das andere; es haben also hier die beiden Elemente nicht in dem Verhältniß zugenommen, in welchem sie in der Luft vorhanden sind, sondern es findet sich weniger Stickstoff, als dem Sauerstoffgehalt der gebildeten Verbrennungsproducte entspricht. Dieses Verhalten, welches in den oberen Flammentheilen nicht mehr vorkommt, dürfte mit den folgenden Erscheinungen zusammenhängen und durch dieselben seine Erklärung finden.

Prüft man nämlich die Erscheinungen, welche beim Ausströmen eines Gasstroms aus einer ringförmigen Oeffnung vor sich gehen, so zeigt es sich, daß derselbe nicht in Form einer geraden Röhre aufwärts steigt, sondern in einiger Entfernung von der Ausströmungsöffnung eine Contraction erleidet. Bei dem zu den früheren Versuchen gebrauchten Gasbrenner liefs sich dieß sehr gut beobachten. Wurde durch denselben Tabaksrauch oder Salmiakdampf geblasen, so strömte dieser erst eine kleine Strecke gerade

1) Der Kohlenstoff kann wegen seiner theilweisen Ausscheidung in der Flamme hier nicht in Betracht gezogen werden.

aus, fing sich hierauf an zusammenzuziehen und in einer Höhe von ungefähr 15 Millimetern durchkreuzten sich die einzelnen Rauchstrahlen, und wirbelten dann von hier aus unregelmäßig aufwärts. Bei der Gasflamme läßt sich etwas Aehnliches wahrnehmen: Der dunkle Kegel derselben ist an seinem untersten Theile von einer dickwandigen, nicht leuchtenden Hülle umgeben, so daß die Flamme hier einen weit größeren Durchmesser besitzt, als der Ausströmungsöffnung entspricht. In etwas über 10<sup>mm</sup> Höhe bemerkt man ein Dünnerwerden um ungefähr  $\frac{1}{6}$  des bisherigen Flammendurchmessers, und zugleich beginnt an dieser Stelle der leuchtende Mantel. Tritt also das Gas aus der ringförmigen Spalte aus, so findet in der bezeichneten Gegend eine Zusammenziehung des Gasstroms statt, welcher bis dahin eine konisch röhrenförmige Gestalt hatte, und es muß daher unten ein kegelförmiger Raum vorhanden seyn, in welchem keine Strömung der Gase stattfindet. Aus diesem Raume wurden dieselben bei den zwei ersten Gasaufsammlungsversuchen geschöpft. Wie wir oben gesehen haben, ist der Sauerstoffgehalt der daselbst sich vorfindenden Verbrennungsproducte größer, als der Sauerstoffgehalt der Luft, welche dem eingedrungenen Stickstoff entspricht. Bestimmt man nach den angeführten Formeln mittelst des aus dem Stickstoff berechneten  $x$  die Menge Sauerstoff, welche in 100 Theilen Flammengas vorkommen sollte, so ergibt diese bei 0<sup>mm</sup> zu 12,06, während die gefundene Menge 15,42 beträgt, bei 100<sup>mm</sup> zu 16,94, wogegen 19,41 gefunden wurden. Die Ursache dieses Ueberschusses an Sauerstoff läßt sich nur auf folgende Weise erklären: Untersucht man die Temperatur, welche in den untersten Theilen des dunklen Kegels herrscht, durch hineingebrachte schmelzbare Körper, so ergibt sich diese als unter 100° liegend<sup>1)</sup>, was nicht auffallen kann, wenn man bedenkt,

1) Eine Legirung aus 5 Theilen Blei, 3 Theilen Zinn und 8 Theilen Wismuth schmilzt bei 94 bis 95°. Aus dieser Mischung gegossene dünne Stangen ließen sich in der Mitte des dunklen Kegels der Gasflamme

dafs hier das ausgetretene kalte Gas von der brennenden Hülle noch wenig Wärme empfangen hat, und ferner der metallene Brenner dieselbe sehr stark ableitet. Es ist daher denkbar, dafs der oben besprochene ruhende Gaskegel ähnlich wie ein kalter Körper wirkt, und dafs, indem die Gase an demselben vorbeistreichen und durch ihn hindurchdiffundiren, eine theilweise Verdichtung des Wasserdampfs eintritt, welcher nun in Form von Nebel sich hier anhäuft, während die übrigen Verbrennungsproducte, sowie der Stickstoff mit dem ursprünglichen Leuchtgas weiter emporsteigen. Der Gehalt an Wasserdampf des aus diesem Raume geschöpften Gases mufs daher viel zu grofs erhalten werden, und somit erklärt sich der Ueberschufs an Sauerstoff, sowie die Nichtübereinstimmung der  $x$  bei 0 und 10<sup>mm</sup>. In den höheren Theilen der Flamme wurde immer etwas weniger Sauerstoff in den Verbrennungspunkten gefunden, als dem Sauerstoffgehalt der aus dem Stickstoff berechneten Luft entspricht, was mit der gegebenen Erklärungsweise vollkommen im Einklange steht.

Es fragt sich, ob das Mittel, oder welcher von den vier verschiedenen Werthen für  $x$  den weiteren Rechnungen am besten zu Grunde zu legen sey. Der aus dem Kohlenstoff erhaltene mufs jedenfalls etwas zu klein seyn, da die schweren Kohlenwasserstoffe des Leuchtgases nicht vollständig zu Kohlensäure und Kohlenoxyd verbrennen, sondern bekanntlich ein Theil des Kohlenstoffs derselben in der Flamme als solcher sich ausscheidet, und daher der Bestimmung entgeht. Die aus dem Wasserstoff und Sauerstoff gefundenen  $x$  zu wählen, ist auch nicht rathsam, da an diesen die Versuchsfehler der Wasserbestimmung haften, welche immer einige Unsicherheiten darbietet. Es wird

von unten herauf bis über 10<sup>mm</sup> Höhe einführen, ohne dafs eine Schmelzung erfolgte. Beim Einbringen von der Seite schmolzen dieselben natürlich sogleich ab. Schwefel hielt sich im Innern der Flamme ebenfalls ganz unverändert. Dafs in dem dunklen Kegel eine verhältnismäfsig sehr niedrige Temperatur herrscht, ist überdiess schon früher durch ähnliche Versuche von Davy, Porret, Murray u. A. dargethan worden.



daher am zweckmässigsten das aus dem Stickstoff erhaltene  $x$  benutzt.

Berechnet man den in der Luftmenge  $x$  enthaltenen Stickstoff und zieht diesen von der Menge Stickstoff ab, welche in 100 Gewichtstheilen Flammengas gefunden wurde, so wird der Rest den vom Leuchtgas ursprünglich herrührenden Stickstoff  $n$  ergeben. Werden nun die Bestandtheile des Leuchtgases auf diese Stickstoffmenge  $n$  berechnet, wobei also ihre Summe  $100 - x$  betragen muß, und addirt man hierzu den Sauerstoff und Stickstoff der Luftmenge  $x$ , so erhält man die Zusammensetzung, welche 100 Gewichtstheile Flammengas vor ihrer Verbrennung be-saßen.

Auf diese Weise ist die Tabelle III berechnet. Bei den einzelnen Höhen enthalten die Columnen II. die Zusammensetzung von 100 Gewichtstheilen aus der Flamme abgeleiteten Gases, unmittelbar, wie sie sich durch die Analyse ergab. Die Columnen I. enthalten die auf obige Weise berechnete Zusammensetzung, welche diese 100 Gewichtstheile Gasgemisch zeigen müßten, wenn keine Verbrennung stattgefunden hätte, und sie also noch aus verändertem Leuchtgas und Luft bestehen würden.

Da nun die Zusammensetzung einer gleichen Gewichtsmenge des in verschiedenen Höhen der Flamme sich vorfindenden Gasgemisches vor und nach der Verbrennung bekannt ist, und sich während dieser das Gesamtgewicht nicht ändert, so läßt sich eine unmittelbare Vergleichung zwischen den dabei verschwundenen und gebildeten Stoffen anstellen.

Was zunächst den Sauerstoff der Luft betrifft, welche bis zu den verschiedenen Höhen dem Leuchtgase sich beigemischt hat und mit diesem verbrannt ist, so muß sich die Menge desselben in den Verbrennungsproducten vollständig wiederfinden. Bestimmt man in Tab. III. die Menge des neugebildeten Kohlenoxyds, und berechnet den Sauerstoffgehalt desselben, sowie denjenigen der Kohlensäure und des Wasserdampfes, so kommt die Summe, wie die



folgende Tabelle zeigt, dem Sauerstoffgehalt der zugetretenen Luft sehr nahe. Da bei 0<sup>mm</sup> und 10<sup>mm</sup> aus früher angeführten Gründen keine Uebereinstimmung möglich ist, so sind diese beiden Rubriken weggelassen.

H ö h e	20 <sup>mm</sup>	30 <sup>mm</sup>	40 <sup>mm</sup>	50 <sup>mm</sup>
In der gebildeten CO <sub>2</sub> enthaltener O	4,95	5,94	6,85	7,32
Im gebildeten CO enthaltener O	2,11	1,80	2,41	2,52
Im Wasserdampf enthaltener O	9,89	10,68	10,50	9,73
Freier Sauerstoff	0,24	—	—	—
	17,19	18,42	19,76	19,57
In der zugetretenen Luft enthaltener O	18,43	19,39	20,29	20,50

Vergleicht man ferner mit Hülfe der Tab. III. die Mengen des verbrannten Wasserstoffs, welcher in dem ursprünglichen Leuchtgas hauptsächlich im freien Zustande und in Form von Grubengas vorhanden war, mit dem Wasserstoffgehalt des gebildeten Wasserdampfs, so müssen diese Werthe sich ebenfalls gleich seyn. In der folgenden Tabelle ist der Wasserstoffgehalt des verbrannten Elayls und Ditetryls nicht berücksichtigt, da die Mengen dieser beiden Gase, welche bis zu den untersuchten Höhen verschwinden, sehr gering sind, und sich nicht mit Sicherheit angeben lassen. Bei 0<sup>mm</sup> und 10<sup>mm</sup> konnte ebenfalls keine Uebereinstimmung erwartet werden.

H ö h e	20 <sup>mm</sup>	30 <sup>mm</sup>	40 <sup>mm</sup>	50 <sup>mm</sup>
Verbranntes Wasserstoffgas	1,22	0,73	0,48	0,47
Im verbrannten Grubengas enthaltenes H	0,64	0,85	0,95	1,11
	1,86	1,58	1,43	1,58
Im gebildetem Wasser enthaltenes H	1,24	1,34	1,31	1,22

Für den Kohlenstoff können sich wegen der theilweisen Ausscheidung desselben in der Flamme keine solchen Beziehungen nachweisen lassen.

Was endlich den Stickstoff betrifft, so muß die in den Flammgasen aufgefundene Menge desselben gleich seyn dem Stickstoffgehalt der zugetretenen Luft + dem im Leuchtgas ursprünglich vorhandenen Stickstoff. Da die ganze

obige Rechnung sich hierauf stützt, so leisten die in der Tab. III. für den Stickstoff enthaltenen Zahlen dieser Bestimmung natürlich vollständig genüge.

Bei den bisherigen Betrachtungen war es immer einerseits die Zusammensetzung des Flammengases von einer bestimmten Stelle, und andererseits die des ursprünglichen Leuchtgases, welche mit einander verglichen wurden. Es lassen sich aber auch die aus den verschiedenen Höhen stammenden Flammengase selbst untereinander in Vergleichung bringen, und zwar kann diese ohne Anstand geschehen, da das zu den verschiedenen Gasaufsammlungsversuchen benutzte Leuchtgas nie wesentlich verschieden war. In der Tab. III. finden sich die Mengen Luft angegeben, welche in 100 Gewichtstheilen Flammengas von den verschiedenen Stellen enthalten sind. Bestimmt man hieraus die früher mit  $p$ ,  $p_1$ ,  $p_2$  etc. bezeichneten Luftmengen, welche 100 Gewichtstheile in die Flamme getretenen Leuchtgases bis zu den betreffenden Höhen sich beigemischt haben, so lassen sich somit die Gesamtgewichte  $100 + p$ ,  $100 + p_1$ , etc. angeben, die der ganzen Gasmischung daselbst zukommen. Da in diesen Gesamtgewichten durch die Verbrennung keine Aenderung herbeigeführt wird, so können die Bestandtheile der Flammengase auf die nämlichen Summen berechnet werden. Indem man nun die so erhaltenen Zahlen, welche also Gewichtstheile angeben, in Volumtheile überträgt, erhält man die Volumvermehrung, welche die ursprüngliche Gasmenge 100 durch den Luftzutritt erfährt, sowie die Zusammensetzung des Gemisches vor und nach der Verbrennung in absoluten Mengen. Während der Verbrennung ändert sich das Gesamtvolum, und zwar findet, wie die Rechnung ergibt, eine Contraction statt, welche von dem Verbrennen des Wasserstoffs herrührt. Natürlich ist hierbei vom Einfluß der Temperatur abgesehen.

In der Tab. IV. finden sich zuerst die Mengen Luft angegeben, welche bis in die verschiedenen Höhen zu 100 Volumtheilen Leuchtgas hinzugetreten sind, und ferner die

Tabelle IV.

H ö h e	0 <sup>mm</sup>	10 <sup>mm</sup>	20 <sup>mm</sup>	30 <sup>mm</sup>	40 <sup>mm</sup>	50 <sup>mm</sup>
Zu 100 Vol. Leuchtgas hinzuge tretene Luft	27,08	45,43	172,76	227,73	335,30	381,66
Vol. des Gasgemisches vor der Verbrennung	127,08	145,43	272,76	327,73	435,30	481,66
Vol. des Gasgemisches nach der Verbrennung	111,41	120,09	245,96	311,37	422,59	461,23
	Leuchtg. mit Luft. I.	Flam- mengas. II.	Leuchtg. mit Luft. I.	Flam- mengas. II.	Leuchtg. mit Luft. I.	Flam- mengas. II.
Wasserstoff	39,30	22,66	41,04	14,95	44,00	15,54
Grubengas	40,56	33,77	40,71	30,20	38,40	21,55
Kohlenoxyd	4,95	7,34	7,64	14,07	5,73	14,58
Elayl	4,04	4,23	5,10	4,31	4,13	4,83
Dietryl	3,15	3,06	2,18	3,18	3,14	3,11
Sauerstoff	5,67	0,66	9,52	0,78	47,73	—
Sickstoff	29,41	29,41	38,66	38,66	184,23	184,23
Kohlensäure	—	1,94	—	2,34	0,37	14,98
Wasserdampf	—	8,34	—	11,60	—	52,55
	127,08	111,41	145,43	120,09	327,73	311,37
			272,76	245,96	435,30	422,59
					481,66	461,23

Gesamtvolumina der Gasgemische daselbst vor und nach der Verbrennung. Die Columnen I. enthalten die Zusammensetzung der Mischung von Leuchtgas mit Luft, die Columnen II. die Zusammensetzung dieses Gemisches nach der Verbrennung, also der ganzen Menge Gas, welche sich an den verschiedenen Punkten des Flammeninnern vorfindet. Diese letzteren Zahlen sind es, die hier vorzugsweise in Betracht kommen.

In dieser Tabelle lassen sich die Veränderungen, welche mit den Bestandtheilen des Leuchtgases in der Flamme nach und nach vor sich gehen, stufenweise von 10 zu 10 Millimeter verfolgen. Um die Zu- und Abnahme der Gase überschauen zu können, sind in Fig. 10, Taf. V die Werthe der obigen Tabelle in Curven übertragen. Die Ordinaten enthalten die Höhen in Millimetern, die Abscissen die Zahlen der Columnen II. in Tab. IV. als halbe Millimeter. Die unter den Curven gezogenen Linien geben die im ursprünglichen Leuchtgas enthaltenen Mengen der betreffenden Stoffe an. Von den zwei Curven in Fig. 11, Taf. V giebt die ausgezogene die zu 100 Volumen Leuchtgas hinzugegetretenen Luftmengen an, die punktirte das Volum der Mischung nach der Verbrennung; die Entfernung zwischen beiden zeigt also die bei der Verbrennung erfolgende Contraction des Gasgemenges an. Diese zwei letzteren Curven können auch auf diese Weise dargestellt werden, wie es in Fig. 12, Taf. V ausgeführt ist; man sieht, daß das Volumen der Gase sich immer vermehrt und einen größeren Raum einnimmt, als dem Flammenkegel und der Flammenhülle entspricht. Die Gase müssen sich daher noch jenseits dieser Theile verbreiten, so daß streng gefaßt noch ein fünfter Flammentheil, nämlich ein nichtleuchtender, die leuchtende Hülle und den Schleier umgebender Mantel, angenommen werden muß.

Vergleicht man die Mengen Luft, welche bis in die verschiedenen Höhen zu den ursprünglichen Volum Leuchtgas hinzugegetreten sind, so bemerkt man zwischen 10 und 20<sup>mm</sup> eine plötzliche starke Zunahme desselben. Es rührt diese

davon her, daß der gläserne Schornstein, innerhalb welchem die Flamme brannte, in einer Entfernung von 20<sup>mm</sup> über dem Brenner angebracht war, und so durch den in demselben stattfindenden Zug mit einem Male der Flamme eine größere Menge Luft zugeführt wurde. Hierdurch mußte entsprechend auch eine vermehrte Bildung von Kohlensäure und Wasserdampf eintreten. Ein Blick auf die Curven dieser beiden Stoffe, sowie des Stickstoffs zeigt, daß zwischen allen dreien eine sehr große Aehnlichkeit stattfindet; sie steigen erst langsam, nehmen in Folge des angeführten Umstandes zwischen 10 und 20<sup>mm</sup> auf einmal stark zu, und wachsen dann gleichförmig weiter. Was die Curve der Kohlensäure betrifft, so sollte man erwarten, daß diese in den höheren Theilen der Flamme in weit stärkerem Maasse zunehmen müßte, als es der Fall ist, da hier eine vermehrte Verbrennung der schweren Kohlenwasserstoffe vor sich geht. Der Grund ergibt sich jedoch gleich, wenn man die Curve des Kohlenoxyds in Betracht zieht. Diese steigt bis 10<sup>mm</sup>, bleibt dann unverändert und nimmt hierauf von 30<sup>mm</sup> an wieder zu; die zweite Zunahme rührt unzweifelhaft davon her, daß die in der Flamme ausgeschiedene Kohle auf die Kohlensäure reducirend einwirkt, wodurch also die Menge dieser letzteren wieder vermindert wird.

Betrachtet man die Curven der brennbaren Bestandtheile des Leuchtgases, so zeigt sich, daß dieselben nicht in gleichem Verhältnisse abnehmen. Während die Verbrennung des Grubengases gleichförmig vor sich geht, und dasselbe ziemlich rasch verschwindet, haben sich die schweren Kohlenwasserstoffe bis gegen 40<sup>mm</sup> beinahe unverändert erhalten, und beim Wasserstoff endlich findet ein sehr rasches Abnehmen bis zu 20<sup>mm</sup> statt, und hierauf wieder eine Zunahme, welche von der Einwirkung der freien Kohle auf den Wasserdampf herrühren muß. Die Gase verschwinden also nach dem Grade ihrer Verbrennlichkeit. Der Wasserstoff ist unter allen Gasarten diejenige, welche am leichtesten verbrennt, es nimmt daher derselbe auch in der

Flamme am schnellsten ab; etwas langsamer verschwindet das Grubengas, und zuletzt kommen die schweren Kohlenwasserstoffe, deren Verbrennung hauptsächlich erst in der oberen Hälfte der Flamme vor sich geht <sup>1)</sup>).

Bei der Behandlung der Flammengase mit pyrogallussaurem Kali im Absorptionsrohr wurde bei denjenigen, welche aus den untersten Theilen der Flamme stammten, eine kleine Volumverminderung erhalten, welche nur von Sauerstoff herrühren kann. Da das Leuchtgas sauerstofffrei war, und das Ableiten der Flammengase jedesmal so lange dauerte, daß man überzeugt seyn konnte, alle Luft aus den Sammelröhren verdrängt zu haben, so bleibt nichts übrig, als anzunehmen, daß dieser Sauerstoff von der von außen in die Flamme eingedrungenen Luft herrührt. Es ist auch nicht undenkbar, daß längs der Oberfläche des metallenen Brenners in den untersten Theil der Flamme Sauerstoff eintreten könne, und da dessen Menge aber zu gering ist, als daß von der brennenden Hülle aus die Entzündung sich fortpflanzen könnte, so muß derselbe bis in eine gewisse Höhe der Flamme im freien Zustande bestehen. In den Gasen aus der Talg- und Wachsflamme hatte Hilgard keinen Sauerstoff gefunden, es konnte hier die bezeichnete Art des Eintretens nicht stattfinden.

#### Temperatur der Flamme.

Die Temperatur, welche bei der Verbrennung eines Gasgemisches von bestimmter Zusammensetzung entsteht, läßt sich bekanntlich berechnen, da man die Wärmemengen kennt, welche die einzelnen Gase bei ihrer Verbren-

- 1) Die Mengen des Elays und Ditetryls bleiben sich nach der Tabelle bis gegen 40<sup>mm</sup> fast immer gleich, während dieselben jedenfalls von 20<sup>mm</sup> an schon abnehmen müssen, da hier der leuchtende Mantel der Flamme beginnt. Der Grund liegt, abgesehen davon, daß schon eine kleine Menge ausgeschiedener Kohle hinreicht, der Flamme einen großen Glanz zu ertheilen, noch darin, daß die Bestimmung so kleiner Quantitäten von schweren Kohlenwasserstoffen, wie sie in den Flammengasen sich vorfinden, einige Unsicherheiten darbietet, und man die Mengen derselben fast immer etwas zu groß erhält.



nung geben, und ferner, wie Regnault nachgewiesen hat, die Wärmecapacität der Gase mit dem Druck und der Temperatur sich nicht ändert. Da nun aus der vorstehenden Untersuchung die Zusammensetzung des in verschiedenen Höhen des Flammeninnern sich vorfindenden Gasgemisches bekannt ist, so liegt es also nahe, auf solche Weise die Temperatur zu bestimmen, welche bei der Verbrennung dieser Gase an den betreffenden Stellen entstehen muß. Wie bekannt, wird bei diesen Rechnungen zunächst ermittelt, mit wie viel Luft sich eine bestimmte Gewichtsmenge Gas mischen muß, um vollständig verbrennen zu können; dieß giebt die Zusammensetzung des Gasgemenges vor der Verbrennung. Da nach Favre und Silbermann beim Verbrennen von

1 Gewichtstheil Wasserstoff	34462	Wärmeeinheiten,
1       "       Grubengas	13063	"
1       "       Kohlenoxyd	2403	"
1       "       Elayl und Ditetryl	11858	"

entstehen, so läßt sich leicht die Menge Wärmeeinheiten berechnen, welche 1 Gewichtstheil Gasgemisch giebt. Nach der Verbrennung ist bloß noch Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff vorhanden, deren Menge durch Rechnung bestimmt wird; das Gewicht dieser drei Stoffe zusammen genommen muß natürlich gleich seyn dem Gewicht des Gasgemenges vor der Verbrennung. Nachdem die Wärmecapacität von 1 Gewichtstheil verbrannten Gasgemisches mit Hülfe der von Regnault für die einzelnen Bestandtheile angegebenen specifischen Wärmen, nämlich für

Kohlensäure	0,2164
Wasserdampf	0,4750
Stickstoff	0,2440

berechnet worden ist, ergibt sich dann durch Division dieses zuletzt erhaltenen Werthes in die Menge Wärmeeinheiten, welche bei der Verbrennung gebildet wurden, die Temperatur in Centesimalgraden.

Die Rechnung gab:

für die Höhe von	0 <sup>m</sup>	die Verbrennungs-Temperatur	2643°
" "	10	" "	2581
" "	20	" "	2089
" "	30	" "	1937
" "	40	" "	1628
" "	50	" "	1375

Um diese Zahlen gehörig beurtheilen zu können, müssen wir nochmals die Verhältnisse, unter welchen die Verbrennung der Gase in der Flamme vor sich geht, genau ins Auge fassen. Stellen wir uns vor, es entstehe in der leuchtenden Hülle der Flamme, wo also zunächst die Berührung des Gases mit der zutretenden Luft vor sich geht, an irgend einer Stelle eine gewisse Wärme, so wird ein Theil dieser Wärme von dem Stickstoff der zugetretenen Luft, sowie von den gebildeten Verbrennungsproducten aufgenommen werden; ein anderer geht durch Strahlung und Leitung an die umgebende Luft über, und ein dritter endlich theilt sich dem Gas im dunklen Kegel mit. Nehmen wir eine höher gelegene Stelle, so werden sich hier die Verhältnisse, unter welchen die Verbrennung vor sich geht, etwas anders darstellen. Vor Allem hat sich die Zusammensetzung der im innern Kegel enthaltenen Gasmischung geändert; dieselbe ist ärmer an brennbaren Bestandtheilen, und reicher an Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff geworden, es wird also dieses Gas bei seiner Verbrennung eine geringere Menge Wärme entwickeln, als das an der tiefer gelegenen Stelle befindliche. Nun besitzt das erstere aber, ehe es zur Verbrennung gelangt, schon eine gewisse Temperatur, welche ihm das unterhalb verbrennende Gas mitgetheilt hatte, und diese Temperatur wird sich zu der beim Verbrennen neu entstandenen addiren. Die Temperatur der im dunklen Kegel enthaltenen Gase muß daher mit der Höhe fortwährend zunehmen, während umgekehrt die Menge Wärme, welche in der leuchtenden Hülle immer neu entsteht, wegen der allmählichen Verminderung der brennbaren Gase nach oben hin mehr und mehr abnehmen

mufs. Diese letztere nun, also die bei der Verbrennung neu erzeugte Wärme ist es, welche durch die Rechnung gefunden wird; es geben daher die obigen Zahlen die Temperaturen an, die an den betreffenden Stellen entstehen müßten, wenn das Gas im Innern des dunklen Kegels immer die nämliche Temperatur behielte, welche es ursprünglich vor seinem Eintritt in die Flamme besafs. Wären die Temperaturen bekannt, die das Gas an den verschiedenen Punkten unmittelbar vor der Verbrennung besitzt, so würde man durch Addition derselben zu den obigen durch die Rechnung gefundenen Werthen die wirklichen Temperaturen für diese Stellen erhalten. Von den beiden Quellen der Erhitzung, nämlich erstens der Erwärmung von unten, und zweitens der beim Verbrennen entwickelten Wärme geht, wie angegeben, die erstere in zunehmender, die zweite in abnehmender Progression vor sich; bei welchem Gliede aber bei ihrer Summierung das Maximum eintritt, läßt sich nicht bestimmen, die Stelle der höchsten Temperatur in der Flamme bleibt daher unbekannt.

---

Ich habe schliesslich noch verschiedene Theile der Gasflamme in Beziehung auf ihre *Lichtstärke* mit einander verglichen. Es diente hierzu das Bunsen'sche Photometer. Auf das Papierdiaphragma desselben, welches bis auf einen kleinen centralen Fleck ganz mit Stearinsäure getränkt war, wurde vermittelt einer zwischen der Gasflamme und dem Photometer eingeschalteten Linse ein vergrößertes Bild der Flamme geworfen, und nun der centrale Fleck auf einen bestimmten Punkt des Bildes eingestellt. Die Lage dieses Punktes liefs sich an einem Papierschirm bestimmen, in dessen durchlöcherten Mitte sich das Diaphragma des Photometers befand, und auf welchem sich die Flamme vollständig abbildete. Da am zweckmäfsigsten die Entfernungen zwischen Flamme, Linse und Photometer ungeändert blieben, so wurde, um die Lichtstärke des untersuchten Theils des Flammenbildes gleich der der Photometerflamme zu machen, um also den Fleck auf dem

Diaphragma zum Verschwinden zu bringen, die Linse mehr oder weniger verdeckt. Es geschah dieß mittelst zweier halbkreisförmiger metallener Scheiben, von welchen die eine an der Linse befestigt war, und gerade die Hälfte derselben bedeckte. Die andere liefs sich um den Mittelpunkt der Linse drehen, so dafs kleinere oder grössere Sectors derselben offen gemacht werden konnten, deren Winkel sich an einer Kreistheilung ablesen liefs. Die Lichtstärken mußten hierbei im umgekehrten Verhältniß zu den Winkeln der offenen Linsensectoren stehen.

Es zeigte sich bei diesen Versuchen, dafs der am stärksten leuchtende Theil der Flamme etwas über der Stelle liegt, wo der dunkle Kegel aufhört. Bei einer Flamme von 100 Millimetern Höhe, in welcher der dunkle Kegel bis ungefähr 65<sup>mm</sup> reicht, wurde dieser Punkt bei 70<sup>mm</sup> gefunden. Die Lichtstärke desselben = 100 gesetzt, ergaben sich als Mittel von vier Versuchsreihen für die Lichtstärken der übrigen Flammentheile folgende Werthe:

Höhe über dem Brenner.	Lichtstärke	
	nahe am Rande der Flamme.	in der Mitte der Flamme.
80 <sup>mm</sup>	66	66
70	100	100
60	77	59
50	47	24
40	20	5
30	4	—

Bei den einzelnen Versuchsreihen wurden einige Mal Zahlen erhalten, welche von den angegebenen nicht unerheblich abwichen, was hauptsächlich davon herrührte, dafs in den Gröfsenverhältnissen, in welchen die einzelnen Theile der Flamme zu einander stehen, fast immer kleine Aenderungen eintreten. Am obersten, sowie am untersten Theil der Flamme liefsen sich keine Messungen ausführen; an der Spitze war dieß nicht möglich wegen der Verlängerungen und Verkürzungen, welche dieselbe fortwährend erleidet, und bis zu der Höhe von 30<sup>mm</sup> war die Hellig-

keit zu gering, um sich mit Sicherheit bestimmen zu lassen. Da das Leuchten der Flamme von der Ausscheidung von Kohle aus den schweren Kohlenwasserstoffen abhängig ist, so sieht man, daß diese bis zu 50<sup>mm</sup> nur wenig abnehmen können, wie es die Erfahrung auch wirklich gezeigt hat.

### III. *Analyse des Phonolithes vom Nestomitzer Berge in Böhmen; von Dr. Gustav Jenzsch.*

In einer vor Kurzem erschienenen Abhandlung <sup>1)</sup> führe ich sämtliche mir bekannten Phonolithe des böhmischen Mittelgebirges auf ein ursprünglich wasserfreies Gestein zurück, aus welchen der Nestomitzer Berg, auf dem linken Elbufer zwischen Aussig und der Eisenbahnstation von Nestersitz, besteht. Dieses Gestein, in dessen frischesten Partien sich nur *Spuren* von Wasser auffinden ließen, hat nach meinen mineralogisch-mikroskopisch-chemischen Untersuchungen, auf welche ich hier nur verweisen kann, zu Gemengtheilen:

Sanidin (glasigen Feldspath),  
Nephelin,  
Arfvedsonit ähnlichen Amphibol,  
Titanit,  
Spuren von Eisenkies.

Oligoclas scheint im Nestomitzer Phonolithe nicht vorhanden zu seyn, obgleich es nicht unwahrscheinlich seyn dürfte, daß derselbe wohl hier und da einen Gemengtheil anderer Phonolithe ausmache. Einige andere von Hrn. G. Rose an Phonolithen mehrerer Localitäten als Seltenhei-

1) Beiträge zur Kenntniß einiger Phonolithe des böhmischen Mittelgebirges. Mit besonderer Berücksichtigung des Baues dieses Gebirges. Berlin, 1856. Verlag von Wilhelm Hertz und Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft. 1856. Heft 2.