

Druck <i>p</i> Mm.	Volum <i>v</i> in Litern.	Produkt <i>p v</i> .	Verhältniss der Produkte.
759	2689.43	2041.3	1.00000
515.59	3949.66	2036.4	0.99762,

d. h. mit dem Kleinerwerden von  $p$  wird das Produkt  $p v$  kleiner, wie ich behauptet habe, und welches den Schlüssen Hr. Siljeström's widerspricht. Auf demselben einfachen arithmetischem Wege kann man sich von der Unhaltbarkeit aller übrigen Schlussfolgerungen überzeugen, wozu übrigens die von mir in meiner früheren Abhandlung (diese Berichte VII, S. 1339) angewandte algebraische Beweisführung schon vollkommen hinreichend wäre.

Unter Anderem will ich aus Hr. Siljeström's Erwiderung nur die Bemerkung hervorheben, dass, wie er sagt, er meine Arbeit leider nur aus den kurzen Mittheilungen einiger Journale kenne und daher nicht im Stande sei, dieselbe zu beurtheilen. Gegenwärtig ist unter dem Titel: „Experimentelle Untersuchungen über die Elasticität der Gase“, (quarto, mit XII Tafeln, russ.), der erste Band der Berichte über meine Arbeit erschienen und S. 211—248 wird Hr. Siljeström die Beschreibung meiner, ihn interessirenden Beobachtungen und die Zusammenstellung derselben mit den seinigen finden. Im 2. Capitel dieses Werkes sind die Formeln, vermittelt welcher sich der mögliche und wahrscheinliche Beobachtungsfehler berechnen lässt, angeführt; Capitel 4 enthält die Beschreibung der „selbstständigen Controlirung“ der Barometer; Capitel 7 die an meinen Kathometern vorgenommene Modification (dieselben sind mit einem Ocularmikrometer versehen); ich hoffe, dass sie dazu beitragen werden, einige seiner Misverständnisse aufzuklären. Mein Werk ist durch die Buchhandlungen der HHrn. Nadejin oder Rikker in St. Petersburg zu beziehen, falls aber Hr. Siljeström mir seine Adresse mittheilen wollte, bin ich gerne bereit, es ihm zuzusenden. Hierbei folgt mein Werk für die Bibliothek der Gesellschaft.

## 216. Karl Heumann: Zur Theorie leuchtender Flammen.

(Eingegangen am 29. Mai.)

Die Entleuchtung kohlenstoffhaltiger Flammen wurde in letzter Zeit mehrfach discutirt, aber die Ansichten der verschiedenen Beobachter stehen sich noch schroff gegenüber. W. Stein<sup>1)</sup> gelangte zu dem Schluss, die Entleuchtung durch indifferente Gase sei unzweifelhaft nur die Folge der Verdünnung, welche den Sauerstoff der äusseren Luft veranlasse, in die Flamme einzutreten und sämmtlichen Kohlen-

<sup>1)</sup> J. f. prakt. Ch. Bd. 9, 180.

stoff in Kohlenoxyd zu verwandeln. R. Blochmann<sup>1)</sup> hatte gleichfalls betont, dass bei der durch indifferente Gase entleuchteten Flamme eine relativ geringere Menge brennbarer Bestandtheile mit dem Sauerstoff der Luft in Berührung komme. Bei der Bunsen'schen Flamme finde bereits in der inneren Verbrennungszone Zersetzung des Leuchtgases durch den mitgerissenen Sauerstoff statt, in Folge deren Wasserstoff und Kohlenoxyd auftreten, also Gase, welche auch unter gewöhnlichen Verhältnissen mit nichtleuchtender Flamme verbrennen. Frankland's Hypothese schreibt bekanntlich speciell der Dichtigkeit der Flammengase eine Hauptwirkung auf die Leuchtkraft zu.

Allem diesem entgegen bewies F. Wibel<sup>2)</sup>, dass eine durch Luft oder indifferentes Gas entleuchtete Flamme wieder helleuchtend wird, wenn man die Brennröhre zum Glühen erhitzt.

In diesem Fall muss die Verdünnung der Flammengase und die Menge der eingesaugten Luft grösser sein, und dennoch wird die Flamme leuchtend.

Wibel zieht nun aus diesem Versuch einen Schluss, in welchem er die Auffassung Frankland's, Stein's und Blochmann's verwirft, dabei aber, wie mir scheint, in ein entgegengesetztes Extrem geräth. Seine These besagt, dass das Entleuchten bei den Knapp'schen Versuchen, wie bei dem einfachen Bunsen'schen Brenner nicht in einer Verdünnung der Flammengase, weder im Sinne Blochmann's (Stein's), noch Frankland's begründet sei, sondern vielmehr auf der Abkühlung des Flammeninneren durch die eintretenden Gase beruhe.

Dieser Satz, in seiner Allgemeinheit so ausgesprochen, kann jedoch für die Entleuchtung mit Luft im Bunsen'schen Brenner schon allein aus dem Grund keine unbedingte Gültigkeit haben, weil ja alsdann die entleuchtete Flamme kühler sein müsste, als die leuchtende, während doch die tägliche Erfahrung zeigt, dass eine blau brennende Bunsen'sche Flamme eine viel höhere Temperatur besitzt, wie die leuchtende.

Der Sauerstoffgehalt der einströmenden Luft kann hier nicht als Einwand geltend gemacht werden, denn beim Erhitzen der Brennröhre tritt in dieser Beziehung keine wesentliche Aenderung ein, und dennoch erfolgt das Leuchten.

Vielleicht liesse sich der Einwurf erheben, dass die durch Erhitzen der Brennröhre zugeführte Wärme schliesslich doch nur dazu diene, die von der eintretenden Luft absorbirte Wärmemenge, welche vorher der Leuchtkraft zu Gute kam, wieder zu ersetzen. Dem widerspricht aber gerade die Thatsache, dass die durch Luft entleuchtete

<sup>1)</sup> Ann. Ch. Ph. 168, 355.

<sup>2)</sup> Diese Berichte VIII, 226.

Flamme bei Weitem heisser ist, als die leuchtende, und also von einer Temperaturerniedrigung der leuchtenden Materie nicht die Rede sein kann<sup>1)</sup>.

Es bleibt also nur übrig anzuerkennen, dass die Verdünnung der brennbaren Gase in der That ein wichtiger Factor ist und für sich allein — ganz abgesehen von der eintretenden Wärmebindung — die Flamme entleuchten kann. Demnach ist anzunehmen, dass ein Gemisch aus Leuchtgas und indifferentem Gas eine höhere absolute Temperatur nöthig hat, um zu leuchten, als das unverdünnte Leuchtgas für sich.

Wibel's Versuch beweist also nicht, dass die Abkühlung des Flammeninneren ausschliesslich die Ursache des Entleuchtens ist, weil ja die Flamme durch die eintretenden, indifferenten Gase in ihrer Zusammensetzung sehr wesentlich geändert wird.

Die Wahrheit wird daher wohl zwischen den entgegengesetzten Ansichten der oben genannten Beobachter in der Mitte liegen und das Entleuchten der kohlenstoffhaltigen Flammen durch Zuführung von Luft oder indifferentem Gas ausser auf der abkühlenden Wirkung<sup>2)</sup> allerdings auch auf einer Verdünnung der Flammengase beruhen, wobei aber ein Gasgemisch entsteht, welches, um leuchtend zu brennen, eine höhere Temperatur nöthig hat, als die leuchtende, verdünnte Flamme selbst vorher besass.

Die Stütze, welche Wibel in dem Verhalten der Flamme aus Leuchtgas und Sauerstoff für seine Theorie fand, erklärt meine Anschauung in der überzeugendsten Weise. Jene Flamme ist, wie Wibel fand, äusserst schwer zu entleuchten, und zwar aus dem Grund, weil die Flammentemperatur bei Gegenwart reinen Sauerstoffs eine sehr hohe ist. Die Abkühlung, welche durch das eintretende, kalte Sauerstoffgas verursacht wird, sowie die absolute Temperaturerhöhung, welche das Gasgemisch mehr bedarf, um leuchtend zu brennen, werden ganz oder fast ganz durch die intensive Hitze ausgeglichen, welche die energische, concentrirtere Verbrennung bei Gegenwart des reinen Sauerstoffs hervorbringt. Darum ist die Entleuchtung eine so schwierige; dass sie bei sehr starkem Sauerstoffstrom und bei Anwendung eines abkühlenden Drathnetzes endlich doch eintritt, ist selbstverständlich. (S. auch unten über die Entleuchtung durch ein Uebermaass von Sauerstoff.)

Dass die Einführung von Sauerstoffgas in geeigneter Weise eine Gasflamme äusserst hellleuchtend macht, beruht gleichfalls auf der Hervorrufung der höchst möglichen Temperatur, ohne dass, wie bei

<sup>1)</sup> Bei Entleuchtung durch sauerstofffreies, indifferentes Gas erniedrigt sich natürlicherweise die Flammentemperatur bedeutend, weil die gegebene Wärmemenge sich dann auf mehr Gas vertheilt.

<sup>2)</sup> S. weiter unten.

Eintritt von Luft, eine das Leuchten beeinträchtigende Verdünnung durch indifferentes Gas stattfindet.

Die hiermit scheinbar im Widerspruch stehende Thatsache, dass aus enger Oeffnung strömendes Leuchtgas in einer Atmosphäre von reinem Sauerstoff mit nichtleuchtender Flamme brennt, beruht jedenfalls auf der energisch oxydirenden Wirkung des Sauerstoffs, welcher in so grosser Menge in die schmale Flamme hinein diffundirt, dass der äussere, sonst fast unsichtbare Schleier der Flamme auf Kosten des leuchtenden Theils derselben bei Weitem überwiegt.

Auch durch Mangel an Sauerstoff, durch ungenügenden Luftzutritt, kann eine Flamme entleuchtet werden. Ein etwa 4 Ctm. hohes Gasflämmchen, welches aus einer Löthrohrspitze brennt, führt man in das Innere eines etwa 1 Liter haltenden, mit Luft gefüllten Kolbens, dessen Hals abwärts gekehrt ist. Anfangs brennt die Flamme hellleuchtend weiter, wird aber sehr bald blau und schliesslich fast ganz unsichtbar; dann dauert es noch einige Augenblicke, bis sie erlöscht.

Offenbar ist hier die zunehmende Verminderung des Sauerstoffgehalts der im Kolben vorhandenen Luft die Ursache, dass viel indifferentes Gas in die Flamme eindringt, die Flammentemperatur sehr herabgestimmt wird und aus diesen Gründen die Entleuchtung eintritt. Russabscheidung ist bei diesem Versuch nicht wahrzunehmen.

Das Entleuchten durch allzuviel Sauerstoff einerseits und durch zu wenig Sauerstoff andererseits lässt sich in folgender Weise sehr deutlich demonstrieren:

1) Ein etwa 1 Liter fassender Kolben wird mit Sauerstoffgas gefüllt und durch seinen nach abwärts gerichteten Hals ein 4–5 Ctm. hohes, leuchtendes Gasflämmchen eingeführt, welches aus einer Löthrohrspitze brennt. Sofort ändert die Flamme ihre Gestalt, der äussere Saum vergrössert sich enorm nach innen zu und verzehrt hierbei den leuchtenden Theil der Flamme fast vollständig. Nur ein ganz kleines, helles Pünktchen repräsentirt noch den leuchtenden Flammenmantel.

2) Nach einiger Zeit, sobald der Sauerstoff durch die Verbrennungsprodukte genügend verdünnt wird, beginnt sich der leuchtende Punkt zu vergrössern, er wird zum Flammenmantel, und die hellleuchtende Flamme zeigt ganz das Aussehen, als befände sie sich in atmosphärischer Luft.

3) Allmählig wird der Sauerstoff noch mehr durch die Verbrennungsgase verdünnt, und die Temperatur der Flamme sinkt immer tiefer. In Folge dessen vermindert sich die Leuchtkraft, die Flamme wird blau, dann fast unsichtbar und erlöscht schliesslich vollständig.

Es ist schwierig, Entleuchtungsversuche aufzufinden, bei welchen nicht mehrere Umstände gleichzeitig die Wirkung hervorbringen können. Folgender Versuch zeigt, dass die Abkühlung allein eine

Flamme entleuchten kann, weil durch einfache Wärmezufuhr die Leuchtkraft wiederherzustellen ist, ohne dass Verdünnung oder Oxydation die Sicherheit der Schlussfolgerung zweifelhaft erscheinen lässt.

4) Aus der Spitze eines Löthrohrs lässt man eine 1—2 Ctm. lange, leuchtende Gasflamme brennen und richtet sie schief gegen eine vertical aufgehängte Platinschale oder einen Tiegeldeckel desselben Metalls, sodass die Flamme sich ausbreitet und eben völlig blau geworden ist<sup>1)</sup>. Hierbei wäre man nicht berechtigt, diese längst bekannte Entleuchtung einfach der Abkühlung zuzuschreiben, weil ja die Flamme sich ausgebreitet hat und somit den Bestandtheilen der Luft eine zur Oxydation und Verdünnung der Flammengase viel günstigere Gestalt darbietet.

5) Erhitzt man aber nun die Platinfläche von der entgegengesetzten Seite mit einem horizontal gehaltenen, kräftigen Bunsen'schen Brenner zum Glühen, so wird das Gasflämmchen mit steigender Temperatur immer leuchtender und erhält schliesslich seine frühere Lichtstärke wieder. — Selbstverständlich muss die Platinfläche ganz rein sein und darf nicht vor dem Versuch mit den Fingern berührt werden, da sonst die Flamme Natronfärbung zeigt.

Hierdurch ist bewiesen, dass allein die Temperaturerhöhung das Leuchtendwerden der durch die eingebrachte Platte (auf deren Metall es natürlich nicht ankommt) entleuchteten Flamme bedingte.

6) Wird nunmehr die Bunsen'sche Lampe entfernt, so bleibt das Gasflämmchen noch kurze Zeit leuchtend und wird dann in dem Maasse blau, in welchem sich das Metall abkühlt.

Bei diesem Entleuchtungsversuch durch Abkühlung ist nicht mehr der obige Einwurf zu erheben, dass die Ausbreitung der Flamme irgend welchen Einfluss haben könnte, weil die geringe Volumverminderung, welche durch das Abkühlen verursacht wird, höchstens eine entgegengesetzte Wirkung hervorbringen könnte.

Die Frage, durch welche chemische und physikalische Vorgänge Entleuchtung in Folge von Verdünnung oder Abkühlung der Flammengase eintreten kann, sowie der Streitpunkt, ob die Materie, welche durch ihr Glühen das Leuchten selbst bedingt, aus Kohlenstoff oder vorzugsweise aus dichten Dämpfen besteht, wird durch Vorstehendes nicht berührt, aber der Gegensatz, ob Abkühlung oder Verdünnung die Ursache des Entleuchtens sei, scheint mir dahin entschieden, dass wenigstens drei verschiedene Ursachen, jede für sich, die Entleuchtung bewirken können. In den meisten Fällen werden zwei derselben oder alle drei gleichzeitig thätig sein<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Russabscheidung findet bei der blauen Flamme durchaus nicht statt.

<sup>2)</sup> Im Bunsen'schen Brenner wirken offenbar Abkühlung, Verdünnung und Oxydation gleichzeitig, theils im nämlichen, theils im entgegengesetzten Sinne, und

Die Resultate der oben vorläufig mitgetheilten Beobachtungen stelle ich hier kurz zusammen.

### Entleuchtung

kann eintreten:

- a) Durch Abkühlung (Versuch 6 resp. 4).
- b) Durch Verdünnung. Das Gasgemisch aus Leuchtgas und indifferentem Gas brennt nur dann leuchtend, wenn seiner Flamme eine viel höhere Temperatur ertheilt wird, als die gewöhnliche leuchtende Gasflamme besitzt. Folglich kann die Entleuchtung nicht allein Folge der bei Zutritt indifferenten Gase stets stattfindenden Wärmebindung sein, sondern die Verdünnung für sich muss entleuchtend wirken.
- c) Durch energische Zerstörung (Oxydation) der leuchtenden Materie (Versuch 1).

### Wiederherstellung der Leuchtkraft.

Bei a) Durch Wärmezufuhr (Versuch 5).

Bei b) Durch Erhöhung der Flammentemperatur, ausgeführt durch Erhitzen des Gasgemisches oder des indifferenten Gases vor der Verbrennung (Wibel's Versuch; s. auch Anmerkung<sup>1</sup>).

Bei c) Durch Verdünnung des Sauerstoffs mit indifferenten Gasen (Versuch 2).

Weitere Versuche werde ich den vorstehenden anreihen, um die Richtigkeit der oben entwickelten Ansicht noch nach anderen Beziehungen hin zu prüfen.

Darmstadt, Laborat. des Polytechnicums, Mai 1875.

---

machen seine Flamme zum complicirtesten und im Allgemeinen ungeeignetsten Entleuchtungsbeispiel.

<sup>1</sup>) Statt die gemischten Gase in der Brennröhre zu erhitzen, wie Wibel empfahl, kann man auch das indifferente Gas (Leuchtgas würde zersetzt) vor seinem Eintritt in die Lampe durch eine glühende Röhre leiten und erhält denselben Effekt; nur darf dann keine metallene Brennröhre verwendet werden, weil diese die heissen Gase zu stark abkühlt. Man stülpt ein Probirrohr, dessen Boden abgesprengt ist, statt der Brennröhre über die Lampe und schiebt z. B. in beide Luftöffnungen aus Platinblech gerollte Röhren. Die blau brennende Gasflamme wird sofort leuchtend, wenn die Luftröhren zum Glühen erhitzt werden. Um die Natronfärbung der Flamme zu umgehen, legt man auf die obere Oeffnung der Glasröhre ein kreisförmig ausgeschnittenes, reines Platinblech. Bei Luft und Leuchtgas war hierbei selbst nach längerem Brennen durchaus keine Kohle oder Theerablagerung im gläsernen Brennröhr zu beobachten, was zu beweisen scheint, dass die von Wibel beobachtete Kohlenausscheidung auf lokale Ueberhitzung der Gase im glühenden Brennröhr zurückzuführen ist. Eine so hohe Temperatur ist für obigen Versuch demnach nicht nöthig.

---