

Ueber den

# VERBRENNUNGS-PROCESS

mit spezieller Berücksichtigung  
der praktischen Erfordernisse.

~~~~~

Vortrag

gehalten am 18. December 1886 im Bezirksverein Deutscher  
Ingenieure zu Leipzig.

Von

**Friedrich Siemens.**

—  
Zweite Auflage.  
—



Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH  
1887.

Ueber den

# VERBRENNUNGS-PROCESS

mit spezieller Berücksichtigung  
der praktischen Erfordernisse.

Vortrag

gehalten am 18. December 1886 im Bezirksverein Deutscher  
Ingenieure zu Leipzig.

Von

**Friedrich Siemens.**

Zweite Auflage.



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1887

ISBN 978-3-662-39132-7  
DOI 10.1007/978-3-662-40115-6

ISBN 978-3-662-40115-6 (eBook)

Bei allen Heizoperationen geht das naturgemässe Streben dahin: das höchste Maass effektiver Leistung mit dem geringsten Aufwand von Brennmaterial und Arbeit zu erlangen. Man sucht dieses Ziel im Allgemeinen dadurch zu erreichen, dass man den eigentlichen Verbrennungsprozess so vollkommen wie möglich zu gestalten trachtet, ein Erforderniss, welches allerdings von höchster Wichtigkeit ist, aber doch noch lange nicht Alles einschliesst, was das praktische Bedürfniss verlangt. Es sind die so sehr verschiedenartigen Heizzwecke, bei welchen nicht nur der erforderliche Temperaturgrad, sondern auch noch viele andere Bedingungen gleichwerthige Berücksichtigung verlangen, z. B. die Frage, ob vorzugsweise die entwickelte Wärmemenge in Betracht kommt, wie bei der Heizung von Dampfkesseln oder ob mehr die Intensität der Wärme (der erzielte Temperaturgrad) von Bedeutung ist, wie beim Stahlschmelzen in Tiegeln. Ferner die Frage der Wärmevertheilung, sowie die Grösse und die Form der für die besonderen Zwecke einzurichtenden Ofenkammern nebst vielen anderen Betriebsbedingungen, denen Allen in gleicher Weise entsprochen werden muss und die nothwendig auf die zu wählende Form der Verbrennung oder die erforderliche Ofen-Einrichtung verschieden einwirken müssen.

Da nun die so verschiedenartig gestellten Bedingungen auch nothwendig den Verbrennungsprozess ebenso verschiedenartig gestalten müssen, erscheint es wohl erklärlich, dass es nicht thunlich ist, die Verbrennung nach

einer bestimmten Schablone einzurichten; wie aber unter Berücksichtigung aller praktischen Erfordernisse und in möglichst einfacher Weise, die Hauptbedingungen eines allgemein gültigen Verbrennungsverfahrens festzustellen sind, das soll die Aufgabe dieses Vortrages sein.

Vor ungefähr zwei Jahren hielt ich vor dieser Versammlung einen Vortrag über mein neues Heizverfahren mit freier Flammenentfaltung, oder, genauer ausgedrückt, einer Heizung vermittelt zweier zeitlich einander folgender und räumlich von einander getrennter Stadien, zuerst dem der reinen Wärmestrahlung, welchem als zweites Heizstadium die direkte Berührung der Verbrennungsprodukte mit einem heizbaren Körper folgte. Hierbei richtete ich die Aufmerksamkeit der Versammlung auf einen Punkt, welcher bei allen Verbrennungsfragen schwer ins Gewicht fällt, nämlich, dass jede Flamme in ihrem Verbrennungsstadium freien Raum bedarf, wenn die Verbrennung vollständig und zugleich wirkungsvoll sein soll. Als meine auf praktische Beobachtungen begründete Ueberzeugung legte ich Ihnen damals dar: eine im Ofen eingeschlossene Flamme müsse nothwendig so dirigirt werden, dass dieselbe während ihres ersten Stadiums, d. h. dem Verbrennungsstadium mit keiner Fläche eines Festkörpers, weder der Ofenwand noch des zu erhitzenden Körpers in Berührung kommen dürfe; dass wenn der lebendigen Flamme freier Raum zu ihrer vollen Entwicklung gelassen würde, von derselben nicht nur eine Mehrleistung, sondern auch eine wesentlich verbesserte Leistung erlangt werden könne, sowie dass beträchtliche Ersparnisse an Materialien verschiedener Art, an Ofenbaumaterialien und Heizgut, sowie Ersparnis an Arbeit und Zeit erreicht würden. Seit jener Zeit hat dieses System der freien Flammenentfaltung, wie ich es der Kürze halber nenne, eine weitere Entwicklung und grosse Verbreitung gefunden; meine damaligen Angaben sind durch die Praxis voll bestätigt worden; das Verfahren hat sich ein erweitertes Anwendungsfeld erobert und ist einer fach-

wissenschaftlichen Erörterung unterzogen worden, derart, dass eine Verbrennungstheorie, welche dieses Verfahren ausser Betracht lässt, nicht als zutreffend angesehen werden kann.

Bei einer Abhandlung dieser Art erscheint es zweckmässig, mit einer Untersuchung des eigentlichen Verbrennungsvorganges zu beginnen, um diejenige Theorie zu finden, welche diesen Vorgang am verständlichsten klar macht. Der eigentliche Verbrennungsvorgang erklärt sich wohl am besten als eine Molekularbewegung der dabei in Frage kommenden Gasarten, deren Moleküle chemisch oder elektrisch angeregt in heftiger Bewegung begriffen sind, entweder in einer Oscillation gegen einander oder in Rotation um einander oder in anderweitigen Bewegungsarten, auf die ich hier nicht weiter einzugehen brauche. Die bei dem Verbrennungsvorgange in Frage kommende Bewegung der Gasmoleküle ist demnach als Hauptbedingung einer erfolgreichen Verbrennung zu betrachten, welche ohne diese Bewegung gar nicht gedacht werden kann, weshalb es auch klar erscheint, dass jedes Hinderniss, das sich der Molekularbewegung der Gase entgegenstellt, zugleich auch die Verbrennung selbst hindert. Da feste Körper oder Flächen jedenfalls eine sehr beruhigende, hemmende Einwirkung auf die in heftiger Bewegung befindlichen Gasmoleküle ausüben können, theilweise durch Adhäsion und Attraktion, aber theilweise auch durch direktes Anschlagen der bereits in Bewegung befindlichen Moleküle, so müssen solche Körper, in eine lebendige Flamme gebracht, nothwendig den Verbrennungsprozess stören; auch ganz abgesehen von der Kühlung, welche durch die Einwirkung eines kälteren Körpers auf die Flamme hervorgerufen werden würde. Die Störung der Verbrennung muss um so grösser sein, je ausgedehnter die eingebrachten Körper und je enger die freien Räume sind, in welchen die Flamme sich entwickeln kann. Wenn man nun diesen wichtigen Umstand

mit in Betracht zieht, so ergeben sich folgende 3 Bedingungen, welche zu erfüllen sind, wenn eine Verbrennung vollständig werden soll.

1. Die Gase müssen im richtigen Mengenverhältniss dem Verbrennungsorte zugeführt werden.

2. Die Gase müssen in solcher Weise zusammengeführt werden, dass die verschiedenen Moleküle, welche Verbindungen eingehen sollen, sich auch wirklich finden.

3. Jedes Hinderniss muss beseitigt werden, welches der nothwendigen Bewegung der im Verbindungsprozess begriffenen Moleküle sich entgegenstellen könnte.

Die Bedingung sub 1 ist leicht verständlich und auch wohl allgemein acceptirt. Die Verhältnisse, in welchen die Gase sich verbinden, sind durch die chemische Analyse der Verbrennungsprodukte hinreichend festgestellt. Trotzdem aber diese Verhältnisse ganz klar liegen, so stösst die praktische Ausführung gerade in diesem Falle auf sehr bedeutende Schwierigkeiten, namentlich dann, wenn festes Brennmaterial als Heizmittel zur Anwendung gelangt. Diese Schwierigkeit wird aber bedeutend geringer, wenn das feste Brennmaterial durch den Schweißprozess zuerst in Gas verwandelt wird, weil sich die Zuführung des gasförmigen Brennmaterials viel besser reguliren und gleichartiger erhalten lässt, als die Zuführung des festen Brennstoffes. Die grössere Leichtigkeit, mit welcher Gase der Flamme oder dem Ofen im richtigen Mengenverhältniss zur Luft gleichmässig zugeführt werden können, ist eine der Hauptursachen der grösseren Oekonomie der Gasfeuerung an Brennmaterial und Arbeit in Vergleich zur direkten Feuerung; natürlich unter der Voraussetzung, dass die Gasfeuerung richtig angelegt ist und zweckmässiger Behandlung unterliegt, woran es in der Praxis allerdings sehr oft mangelt. — Was den Punkt sub 2 anbelangt, so ist es schwieriger, eine allgemeine theoretische Regel aufzustellen, in welcher Weise Luft und Brennstoff zusammengeführt werden müssen, weil dies

Verhältniss vollständig von dem speziellen Zweck der Feuerung abhängt und von der besonderen Arbeit, welche geleistet werden soll. Bei der Anwendung der Gasfeuerung würde, theoretisch gesprochen, eine vorherige Mischung von Gas und Luft, ähnlich dem Verfahren beim Bunsenbrenner, als einfachstes Mittel erscheinen, diese Frage zu lösen, aber in der Praxis ist dies Mittel nur in wenig Fällen zulässig, noch ist es in der grossen Majorität der Fälle gestattet, eine vollständige oder nur theilweise Mischung der Gase schon vor der Verbrennung einzuleiten. Ein Bunsenbrenner ist nur dann vortheilhaft, wenn kleine Körper in engen Räumen oder überhaupt nur kleine Körper erhitzt werden sollen, in welchen Fällen die Flamme direkt auf diese Körper aufschlagen muss, wie dies bei dem Gasglühlicht am besten nachweisbar ist. Der Bunsenbrenner ist vorzugsweise verwendbar bei gewissen Operationen im Kleinen im Laboratorium, im Haushalte oder in der Küche, aber nicht, wo es gilt, grosse Räume und ausgedehnte Oberflächen zu erhitzen, wie dies bei den meisten Heizanlagen in der angewandten Pyrotechnik erforderlich ist. In solchen Fällen ist ein grosser leuchtender Flammenkörper, welcher vorzugsweise strahlende Wärme liefert, unentbehrlich. Die Flamme des Bunsenbrenners, welche beinahe gar nicht leuchtet, weil ihr der freie Kohlenstoff mangelt, verbreitet auch wenig strahlende Wärme und kann daher nur durch direkte Berührung heizen. Die Berührung der lebendigen Flamme mit den zu erhitzenden Flächen ist aber in mehrfacher Beziehung verlustbringend und daher nach Möglichkeit zu vermeiden.

Obgleich der Bunsenbrenner, vom theoretischen Standpunkt aus betrachtet, einfach und vortheilhaft erscheint, so wird er doch für die meisten metallurgischen und andern technischen Zwecke unanwendbar, namentlich für fast alle solche Heizoperationen, welche in einem grösseren Maassstabe durchgeführt werden müssen.



Da nun in der Allgemeinheit der Fälle es nicht zulässig ist, die Gasarten schon vor ihrer Verbrennung ganz oder theilweise zu mischen, so müssen andere Mittel angewendet werden, die Gasarten zusammen zu führen, wobei der Hauptzweck vor Augen behalten werden muss, dass die erzeugte Flamme eine möglichst grosse Ausstrahlungsfähigkeit erhält, weil dadurch das beste Mittel gegeben ist, die erzeugte Wärme auf die Seiten und Gewölbe des Ofens und auf das zu behandelnde Heizgut zu übertragen.

Solche Oefen, in denen festes Brennmaterial Verwendung findet, erzeugen je nach der Natur des gewählten Brennstoffes ganz von selbst eine mehr oder weniger wärmeausstrahlende Flamme auf dem natürlichen Wege der Verbrennung; aber der wahre Grund der Leistungsfähigkeit solcher Anlagen scheint noch nicht hinreichend verstanden zu sein, obgleich es durch die Erfahrung feststeht, dass nur solche Kohlensorten mit Vortheil anwendbar sind, welche grosse Mengen Kohlenwasserstoffgas erzeugen und dadurch die Ausstrahlungsfähigkeit der Flamme vermehren. Die vorzüglichsten Kokesorten werden für den gleichen Zweck ganz unbrauchbar, obgleich durch dieselben die allerhöchsten Temperaturen erzeugt werden können, wenn die zu erhitzenden Gegenstände direkt in die glühende Kokemasse eingesetzt werden, wie dies wohl am besten durch die alte im Tiegelschmelzofen durchgeführte Methode, den Tiegel nicht in die Flamme, sondern direkt auf den Rost zu setzen und denselben mit brennendem Koke zu umgeben und zu bedecken, bewiesen wird.

Es besteht keine besondere Schwierigkeit, in der Heizkammer direkt befeuerter Oefen strahlende Wärme zu erzeugen, sobald man sich nur den richtigen Brennstoff auswählt; die Sache liegt aber ganz verschieden, wenn Gas als Brennmaterial verwendet wird und überhaupt bei den Regenerativgasöfen. Bei letzteren Oefen

ist die Art und Weise der Zusammenführung von Gas und Luft je nach der Art des benutzten Brenngases und der Verwendungsweise des Ofens von der grössten praktischen Bedeutung. Wenn die Mischung zu vollständig und zu schnell vor sich geht, so erzeugt man eine ganz kurze Flamme, welche zwar intensiv heiss ist, aber wenig Leuchtkraft, und dem entsprechend auch nur wenig Wärmeausstrahlungs-Fähigkeit besitzt. Im entgegengesetzten Falle, wenn also die Mischung überhaupt unvollkommen ist, kann keine vollkommene Verbrennung entstehen und es erwachsen nebst Verlust an Wärme eine Reihe von Nachtheilen, auf die ich später noch näher zurückkommen werde. Ein gewisser Mittelzustand, ein Verfahren, was zwischen beiden Extremen liegt, muss innegehalten werden, um einestheils noch eine vollständige Verbrennung zu erzielen und dennoch eine Flamme zu erzeugen, welche bei hoher Intensität eine grosse Fähigkeit besitzt, Wärme direkt auszustrahlen.

Die Art und Weise, wie Gas und Luft zum Zweck der Verbrennung und zur Erzeugung von strahlender Wärme zusammengebracht werden müssen, hängt, wie schon gesagt, von vielen Verhältnissen ab, sowohl chemischen, physikalischen, konstruktiven und ökonomischen, je nach der Qualität des angewendeten Gases, der verlangten Temperatur, der Grösse der Ofenkammer und der besonderen Arbeit, welche geleistet werden soll. Im allgemeinen thut man am besten, das Gas durch einen horizontalen Schlitz, welcher in der Seite der Ofenkammer angebracht ist, eintreten zu lassen, über welchem die Luft durch einen ähnlichen Schlitz von etwas grösserem Querschnitt und einer den Gasschlitz auf beiden Seiten überragenden Länge, ebenfalls eintritt. Da das Gas von erheblich geringerem spezifischen Gewicht ist als die Luft und daher eine Tendenz zeigt, durch die Luft in die Höhe zu steigen, während die Luft durch das Gas herabsinkt, so wird auf solche Weise in den meisten Fällen eine ge-

nügend schnelle und vollständige Mischung möglich werden. Die gute Wirkung dieses Arrangements hängt aber besonders von der Temperatur der Gasarten und von dem Temperaturverhältniss der beiden Gasarten zu einander ab, weil deren spezifisches Gewicht durch die Temperatur verändert wird und weil bereits erhitzte Gasarten eine erhöhte Verbrennungsenergie besitzen. Wenn z. B. nur die Luft vorher erhitzt wird und nicht auch das Gas, so würde das spezifische Gewicht beider Gasarten fast das gleiche werden und folglich könnte keine zweckentsprechende Mischung, welche ja auf der Verschiedenheit der spezifischen Gewichte dieser Gasarten basirt, in der Ofenkammer stattfinden. Man sieht aus diesem Beispiele deutlich, welche grosse Rolle die Vorwärmung der Gasarten bei allen Heizungsfragen spielt und wie leicht man gerade das Entgegengesetzte erlangt, wenn man sich der Konsequenzen nicht voll bewusst ist. Es wird dem besseren Verständniss des Gegenstandes entsprechen und auch momentan interessant sein, der Frage der Ursache der Leuchtfähigkeit einer Flamme, welche ziemlich identisch mit der Wärmeausstrahlungsfähigkeit derselben ist, etwas näher zu treten. Die Licht- und Wärmeausstrahlungsfähigkeit der Flamme beruht auf der Anwesenheit von freien Kohlenstofftheilchen, welche durch die Dissociation des Kohlenwasserstoffes entstehen.

Dieser freie Kohlenstoff, obgleich unendlich fein vertheilt, erscheint dennoch als fester Körper in der Flamme, welcher auf den Temperaturgrad der Flamme erhitzt, ungefähr so wirkt, wie ein Gasglühlicht, indem jedes noch unverbrannte Kohlenstofftheilchen nach allen Seiten Licht und Wärme ausstrahlt und damit nicht eher aufhört, als bis es zu Kohlensäure oder Kohlenoxyd verbrannt oder die Flamme bis unter die Glüh Temperatur abgekühlt ist. Die freie Kohle in der Flamme ist immer das Letzte, was zur Verbrennung gelangt, so dass in allen Fällen einer unvollkommenen Verbrennung gerade dieser Theil

zuletzt übrig bleibt und sich als Russ in den Kanälen und der Esse ablagert oder als schwarzer Rauch mit den Verbrennungsprodukten in die Atmosphäre entweicht. Dieselben minimalen Körperchen, welche der Flamme die so wohlthätige Fähigkeit, strahlende Wärme abzugeben, ertheilten, verursachen bei ungeeigneter Einrichtung oder Behandlung des Ofens zugleich die in unseren Städten und Fabriken so sehr bekämpften Belästigungen durch Russ und Rauch.

Die 3te Bedingung, deren Erfüllung ich als nöthig zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung hingestellt habe, bildete den Gegenstand meines eingang schon erwähnten Vortrages vor 2 Jahren. Diese 3te Bedingung ist hauptsächlich deshalb von hoher Wichtigkeit, weil sie die beiden ersten direkt beeinflusst, denn weder das richtige Verhältniss der Gasarten zu einander, noch ihre vollständige Zusammenführung ist hinreichend, eine gute Verbrennung zu erzielen, wenn der störende Einfluss der Oberflächen fester Körper nicht vermieden wird. Mein damaliger Vortrag war in so fern noch unvollständig, als ich nur die nachtheilige Wirkung der Flächen auf die Verbrennung selbst, aber nicht deren dissociirende Wirkung auf die bereits verbrannten Gase berücksichtigte. Ich unterliess es damals absichtlich, auf die heikle Frage der Dissociation näher einzugehen, obgleich ich mir des grossen Einflusses der Flächen auch in dieser Beziehung wohl bewusst war. Erst als man die noch unentwickelten Gesetze der Dissociation der Verbrennungsprodukte gegen die Richtigkeit meines Heizverfahrens ins Feld führte, fühlte ich mich veranlasst, auf diese Frage genauer einzugehen, welche den Gegenstand eines Vortrages bildete, den ich im Verein zur Beförderung des Gewerbflusses im vorigen Winter hielt. In diesem Vortrage zeigte ich, dass die Flächen nicht nur störend auf die Verbrennung einwirkten, sondern auch, dass dieselben, wenn hoch erhitzt, auch die Disso-

ciation der Verbrennungsprodukte beförderten; dass in der That die Dissociation, welche man nur der Einwirkung einer hohen Temperatur zuschob, in Wirklichkeit durch die Aktion der hoch erhitzten Flächen, mit welchen die verbrannten Gasarten in Berührung kommen, bewirkt wird, oder dass wenigstens bei Abwesenheit solcher Oberflächen die Dissociationstemperatur eine wesentlich höhere sein würde.

Es würde mich hier zu weit führen, wenn ich in diesem Falle alle die Umstände und Betrachtungen, welche mich zu der damals entwickelten Schlussfolge führten, wiederholen wollte; ich werde mich daher darauf beschränken, einige Umstände hervorzuheben, welche hinreichend scheinen, die Frage zu klären. Zunächst hebe ich hervor, dass alle Physiker, welche die Dissociation nachgewiesen haben, bei ihren Experimenten kleine Gefässe oder Röhren anwendeten, welche aus besonderen Materialien hergestellt und so hoch erhitzt wurden, wie zur Dissociation der darin enthaltenen oder durchfliessenden Gasarten erforderlich war. Da die zu den Röhren oder Gefässen gewählten Materialien wie Thon, Porzellan oder Asbest keine direkte chemische Affinität zu den dissociirten Gasarten oder Verbrennungsprodukten besaßen, so wurde der Einfluss der hoch erhitzten Flächen auf solche Gasarten gänzlich unbeachtet gelassen. Hitze expandirt aber die Moleküle der Gasverbindungen, wodurch die chemische Affinität der diese Moleküle bildenden Gasatome zu einander so sehr gelockert wird, dass bei einem bestimmten hohen Temperaturgrad die Expansion die chemische Affinität überwindet, also die Dissociation der Moleküle stattfindet; wenn aber hoch erhitzte Flächen vorhanden sind, welche eine gewisse Tendenz zeigen, die Atome der einen oder anderen Gasart anzuziehen oder zu kondensiren, so wird die Dissociation schon früher eingeleitet und muss daher schon bei einer niedrigeren Temperatur stattfinden. Eine andere Erklärungsweise des be-

schriebenen Vorganges könnte in der Thatsache gefunden werden, dass manche chemische oder physikalische Vorgänge einem Verzuge unterliegen, d. h. um in Gang zu kommen, erst eines äusseren Impulses bedürfen, ähnlich wie dies bei Siedeverzügen und verzögerter Eisbildung in völlig unbewegtem Wasser der Fall ist. Ganz dasselbe könnte auch bei der Dissociation der Gasverbindungen eintreten, indem diese im freien Raum des nöthigen Impulses entbehren, welcher aber durch das Anschlagen an feste Körper oder Flächen gegeben ist. Man sieht, es giebt mehrere Erklärungsweisen und deshalb will ich auch keine derselben als absolut sicher hinstellen; was ich aber als feststehend annehme, ist die Thatsache der durch die Berührung mit heissen Flächen hervorgerufenen Dissociation der Flammenbestandtheile, die ich als ganz unzweifelhaft, durch Resultate beim Ofenbetrieb erlangt, festgestellt habe. Nichts kann hierüber besseren Aufschluss geben, als der praktische Ofenbetrieb, denn das Eintreten der Dissociationsercheinung macht sich an den erlangten Resultaten sofort bemerkbar. Gerade deshalb finde ich es auch durchaus unnöthig, zu meinen Untersuchungen besondere Experimente anzustellen, welche nicht nur schwierig und zeitraubend, sondern auch, wie ja die Dissociationsexperimente so namhafter Gelehrter beweisen, sehr zweifelhafter Natur sind und viel leichter zu Täuschungen Anlass geben, als die wirklich im Grossen erhaltenen Betriebsresultate. Wie die Richtigkeit einer Theorie erst durch das praktische Verfahren voll bestätigt wird, so kann auch sogar durch das praktische Verfahren die Theorie hervorgerufen werden, ein Fall der im Gegenstand meiner heutigen Darstellungen vorliegt.

Die Experimente der Physiker haben ergeben, dass raue Flächen und poröses Material, für die Versuchsgefässe und Apparate angewendet, das Eintreten der Dissociation sehr befördern. Daraus geht ja schon hervor, dass alle heissen Flächen bei derartigen Experimenten

vermieden werden müssten. Ehe es daher nicht möglich ist, die Dissociation im freien Raume nachzuweisen, wird die wahre Dissociationstemperatur auch gar nicht sicher festzustellen sein.

Ein anderes Mittel, die Dissociation zu beweisen, bestand darin, zu zeigen, dass eine Flamme mit der Erhöhung der Temperatur über einen gewissen Grad hinaus länger wird. Es wurde daraus geschlossen, dass bei dieser Temperatur Dissociation eintrete, in Folge dessen eine Rückzersetzung der Verbrennungsprodukte stattfindet, so dass Verbrennung und Dissociation sich mehrfach wiederholend die Ursache der Verlängerung der Flamme wären.

Da dies auch wirklich der Fall ist, so scheint das Experiment ganz wohl zu obigem Schluss zu berechtigen, nur sind die wahre Ursache der eintretenden Dissociation und die daraus folgende Verlängerung der Flamme nicht richtig verstanden. Diese Versuche, Dissociation durch die Verlängerung der Flamme bei hoher Erhitzung zu beweisen, wurden, wie auch die übrigen Versuche, in engen Röhren ausgeführt und daher durch die Rohrflächen beeinflusst. Diese Art Dissociation ist auch so wie die anderweit beobachtete durch die Einwirkung der inneren heissen Flächen des Rohres verursacht, wie ich sehr wohl nachweisen kann, wenn ich eine Regenerativflamme herstelle, die im freien Raume brennt. Der hier aufgestellte Gasofen ist mit einem sehr heiss gehenden Regenerativbrenner versehen, welcher dazu dient, durch strahlende Wärme zu heizen, während der verhältnissmässig kleinere Theil der nach Erhitzung der Brennluft übrig bleibenden Wärme der Verbrennungsprodukte noch dazu dient, den Ofen zu heizen und Wasser zu verdampfen zur Anfeuchtung der Zimmerluft. Es würde hier zu weit führen, diesen Brenner und Ofen im Detail zu beschreiben, da dies schon bei anderen Gelegenheiten geschehen ist und ich dessen Konstruktion als bekannt voraussetzen darf. Für diejenigen Herren, welche sich besonders dafür interessiren, liegen

hier Beschreibungen, Zeichnungen und Prospekte zur Benutzung und Vertheilung bereit.

Der Brenner des Ofens wird mit dem gewöhnlichen Leuchtgas gespeist und wird hier nur deshalb aufgestellt, um die Wirkung der Temperaturerhöhung auf die Länge der Flamme zu zeigen, wenn keine direkte Einwirkung von festen Flächen auf dieselbe vorhanden ist. Nichts ist geschehen, seit die Flamme angesteckt wurde. Der Gaszufluss ist derselbe geblieben, da der Schornstein unabhängig von der Flamme ist, welche frei brennt. Alle Bedingungen sind die gleichen geblieben, nur die Temperatur ist verändert. Wenn ich die kurze Esse des separat aufgestellten Regenerativbrenners, welche übrigens nur sehr mässig erwärmt ist und nur zur Ventilation dient, oben zudecke, so brennt die Flamme weiter, ohne dass zunächst eine Aenderung verspürt wird. Die Temperatur der Flamme hat, wie Sie beobachten, inzwischen eine intensive Erhöhung erfahren. Dieselbe ist aber nicht länger, sondern sogar kürzer geworden. Die Temperatur dieser durch heisse Luft gespeisten Flamme ist jedenfalls viel höher, als die von einigen Forschern beobachtete verlängerte Flamme, welche in einem engen Rohr eingesperrt war, und trotzdem wird die Flamme kürzer. Dies ist die Folge der mangelnden Einwirkung der Flächen; wenn ich die Flamme einschliesse und die Seitenwände der Umschliessung berühren lasse, so kann ich die Flamme fast beliebig lang machen, sie verliert dann aber an Intensität. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich in ähnlicher Weise bei Oefen und Heizungsanlagen jeglicher Art. Die Flamme im engen Rohr kann verglichen werden mit dem altmodischen Ofensystem, in welchem beliebt wurde, die Flamme einzuengen und überall anschlagen zu lassen. Auf solche Weise kann man eine so lange Flamme erzeugen, dass dieselbe bis zur Essenspitze geführt wird und noch als rauchige Flamme oben hinaus schlägt. Natürlich bleibt in solchem Falle die Temperatur und die



Leistung der Flamme nur gering, aber dennoch wird das Ofenmaterial rasch zerstört, denn die dasselbe berührende lebendige Flamme wirkt wie ein Würgengel. Die hier brennende Flamme kann dagegen mit dem Ofensystem der freien Flammenentfaltung verglichen werden. Die Flamme eines solchen Ofens wird kurz, aber sehr heiss und wirkt im ersten Stadium nur mittelst Wärmestrahlung und erst später durch Berührung entweder in den Regeneratorkammern des Siemens-Ofens oder zur direkten anderweiten Ausnutzung, ähnlich, wie es dieser kleine Heizofen zeigt. Trotz der höheren Hitze und der vergrößerten Leistung wird das Ofenmaterial nur wenig angegriffen, ein besseres Produkt gewonnen und Rauch fast gar nicht erzeugt.

Aus obigen Ausführungen wird man ersehen, dass die Oberflächen fester Körper eine zweifache nachtheilige Einwirkung auf die Verbrennung ausüben. Zunächst verhindern dieselben die Verbrennung selbst und zwar in um so höherem Maasse je kälter diese Flächen sind; verursachen aber im hoch erhitzten Zustande die Dissociation der bereits gebildeten Verbrennungsprodukte, wobei zu bemerken ist, dass diese Dissociation bei verschiedenen Temperaturgraden und in sehr verschiedener Weise zur Geltung kommt. Bei einer verhältnissmässig sehr niedrigen Temperatur findet bereits die Dissociation der Kohlenwasserstoffe statt, die Kohle wird frei als fester Körper in der Form von Russ und bildet dadurch, wie schon beschrieben, den leuchtenden und Wärme ausstrahlenden Theil der Flamme. Bei einer mässig höheren Temperatur zersetzt sich oder dissociirt das Kohlenoxydgas,\*) ein Produkt, was bei der gewöhnlichen Schweißgasfeuerung einen wichtigen Bestandtheil des Gasgemenges bildet. Dasselbe zersetzt sich in Kohlenstoff und Kohlensäure, scheidet also ebenfalls freien Kohlenstoff aus. Bei einer noch höheren Temperatur beginnen die Endprodukte der Verbrennung zu dissociiren, zunächst der durch die Verbrennung

\*) Nachgewiesen von Deville.

des Wasserstoffes gebildete Wasserdampf, welcher sich in Wasserstoff und Sauerstoff scheidet; und zuletzt bei einer schon sehr hohen Temperatur, welche aber, wie bei allen übrigen Gasen, von der Art und Grösse der damit in Berührung kommenden Oberflächen abhängt, scheidet sich die Kohlensäure ebenfalls in feste Kohlentheilchen und Sauerstoffgas. Aus allen diesen Zersetzungsformen der das Brenngas und die Flamme bildenden Gasarten wird man erkennen, dass die Dissociation namentlich den Erfolg hat, Kohlenstoff frei zu machen und somit Rauch zu bilden. Dieser Rauch, der in der Flamme selbst unter gewissen Umständen so nützlich ist, erzeugt anderseitig grosse Nachtheile, wie aus folgender Betrachtung hervorgeht.

Es hat sich in der Praxis ergeben, dass sogar in grossen Oefen mit voluminöser Flamme, welche an die Seiten, die Gewölbe, den Heerd des Ofens und an den zu erheizenden Körper anschlägt, auch der Theil des inneren Flammenkörpers, welcher nicht in Berührung mit den Flächen kommt, das volle Maass der Wärmeausstrahlungsfähigkeit nicht zur Geltung bringt. Da die lebendige Flamme im normalen Zustande ganz durchsichtig und durchlässig für Licht- und Wärmestrahlen ist, so sollten die inneren Ofenflächen und das in der Ofenkammer befindliche Material doch wenigstens den vollen Gewinn der Wärmeausstrahlungsfähigkeit der inneren von Flächen unberührt gebliebenen Theile der Flamme erlangen. Dass dies aber nicht geschieht, kann nur dadurch erklärt werden, dass die zu erheizenden Flächen von einer dichten Schicht ausgeschiedener Kohle eingehüllt sind, welche bewirkt, dass die von dem inneren Flammenkörper ausgehenden Wärmestrahlen diese Flächen nicht oder nur unvollkommen treffen. Ohne Zweifel ist die strahlende Wärme von jeher ein vorzügliches Mittel der Wärmeübertragung bei allen Heizoperationen gewesen, wo immer die Gelegenheit dazu sich darbot; aber ich glaube gezeigt

zu haben, dass hinreichende auf richtiger Erkenntniss beruhende Aufmerksamkeit dem Gegenstande nicht zugewendet wurde, weil man sonst die Vortheile einer guten Verbrennung und die so wirksame Wärmeausstrahlungsfähigkeit der Flamme nicht dadurch künstlich zerstört haben würde, dass man annahm, die Flamme müsse eingengt werden und direkt auf den zu erhitzenden Gegenstand aufschlagen.

Da Flamme im Grunde nichts anderes ist, als die Erscheinungsform einer Molekularbewegung der in Vereinigung begriffenen Gasarten, so ergibt sich schon von selbst, dass man, um eine gute Verbrennung zu erzielen, diese Molekularbewegung in keiner Weise hindern darf, während die zahlreichen Moleküle, wenn auch fast unendlich klein, sich aber zugleich entsprechend schnell bewegend, ein gewisses mechanisches Moment darstellen, welches geeignet ist, alle seiner direkten Einwirkung ausgesetzten Flächen allmählich zu zerstören. Möglicherweise besitzt die lebendige Flamme auch noch einen chemischen Einfluss, welcher mit dazu beiträgt, die verhältnissmässig rasche Zerstörung der ihrer Einwirkung ausgesetzten Körper oder Flächen noch zu beschleunigen.

Indem ich die Aufmerksamkeit der Mitglieder auf die hier in Thätigkeit gesetzten Regenerativ-Gasbrenner richte, von denen einer zur Beleuchtung und der andere in Verbindung mit einem kleinen Ofen zur Erwärmung vermittelt Ausstrahlung direkt von der Flamme dient, hebe ich nochmals besonders hervor, dass bei diesen Apparaten die gleichen Bedingungen bezüglich einer praktischen Verbrennung bestehen wie bei anderen Feuerungen und bei Oefen im Allgemeinen.

Man ist daher in der Lage, alle Verbrennungsbedingungen viel besser und bequemer untersuchen und studiren zu können, als an grossen Oefen, bei welchen es mitunter sehr schwierig ist, Feststellungen zu machen, und alle dahin schlagenden Versuche sehr theuer sind.

Diese kleinen Flammen zeigen auch, in welchem Maasse die strahlende Wärme benutzt werden kann, wenn man durch Vorwärmung der Brennluft mittelst der abgehenden heissen Verbrennungsprodukte die Wärme- und Lichtausstrahlungsfähigkeit derselben erhöht, odergewissermassen die abgehende Wärme, welche sonst nur durch direkte Berührung heizen kann, in strahlende Wärme umsetzt. Es ist leicht, auf diese Weise die Lichtausstrahlung eines gleichen verbrannten Gasquantums zu verdreifachen und auch die Wärmeausstrahlung um ein Erhebliches zu erhöhen, nur ist Letzteres nicht ebenso leicht direkt messbar und deshalb will ich mich der Angabe eines bestimmten Verhältnisses der Erhöhung der Wärmeausstrahlung durch Regeneration enthalten. In beiden Fällen ist es nöthig, die Flamme frei brennen zu lassen, die Wärme der abgehenden Verbrennungsprodukte aber durch direkte Berührung zu übertragen. So wie strahlende Wärme nicht direkt die Luft in praktisch brauchbarem Maasse erhitzen kann, ebensowenig können die nicht leuchtenden Verbrennungsprodukte ihre Wärme durch Strahlung abgeben. Die Analogie ist vollständig und darum kann ich nur dringend das Studium dieser kleinen Brenner empfehlen, um so auf sehr bequeme Weise die Grundsätze eines rationellen Heizverfahrens zur Anschauung zu bringen.

Nur durch Strahlung erwärmt uns die Natur und deshalb ist es die strahlende Wärme, welche die wichtigste Quelle der Entwicklung alles organischen und anorganischen Lebens bildet. Die Natur müssen wir nachahmen und deshalb vorzugsweise strahlende Wärme kultiviren, sowohl für gewerbliche Aufgaben, wie für die höheren Zwecke unseres leiblichen Wohlbefindens, um so mehr, als auch ein bedeutender ökonomischer Vortheil damit verbunden ist, richtige Anwendung vorausgesetzt.

---