

Ueber den Verbrennungsprocess.

Von

PROFESSOR DR. ERNST LUDWIG.

Vortrag, gehalten am 12. und 19. Februar 1879.

Alles, was die Chemiker an natürlich vorkommenden und künstlich dargestellten Körpern untersucht haben, theilen sie in einfache und zusammengesetzte Körper ein. Die ersteren, nämlich die einfachen Körper, welche auch Grundstoffe, chemische Elemente oder unzerlegbare Körper genannt werden, vermögen wir unter Anwendung aller uns zu Gebote stehenden Mittel nicht in verschiedenartige Substanzen zu zerlegen, während es dagegen gelingt, durch Anwendung von Licht, Wärme, Elektrizität aus den zusammengesetzten Körpern verschiedenartige Theilproducte abzuscheiden. Schwefel, Kupfer, Gold sind einfache Körper, sie lassen sich nicht weiter zerlegen. — Wasser, Kochsalz sind zusammengesetzte Körper. Durch einen kräftigen elektrischen Strom vermögen wir das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, das Kochsalz in Natrium und Chlor zu zersetzen.

Aus den Elementen bilden sich die zusammengesetzten Körper oder chemischen Verbindungen, indem eine den kleinsten Theilchen der Elemente eigenthümliche Kraft, die wir als chemische Anziehungskraft bezeichnen, zur Wirkung kommt und die Vereinigung der Elemente veranlasst. Wenn zwei oder mehrere Elemente

zu einem neuen Körper, zu einer Verbindung zusammenzutreten, oder wenn zwei oder mehrere zusammengesetzte Körper zu einer complicirteren Verbindung sich vereinigen, so sagen wir, die Körper verbinden sich mit einander und wenn diese Verbindungsvorgänge von Licht- und Wärmeentwicklung begleitet sind, dann nennen wir sie Verbrennungen.

Jeder von uns leitet wohl zu wiederholtenmalen tagtäglich Verbrennungsprocesse ein, indem er ein Zündhölzchen, eine Kerze, eine Lampe oder im Ofen Holz und Kohle anzündet; fast alle Processe, die wir verwenden, um uns künstlich Licht und Wärme herzustellen, sind Verbrennungsprocesse und diese Verbrennungsprocesse des alltäglichen Lebens gehören alle einer bestimmten Kategorie an, sie vollziehen sich durchgehends in der atmosphärischen Luft, für sie alle ist eine unerlässliche Bedingung das Vorhandensein des einen Bestandtheiles der Luft, nämlich des Sauerstoffes. Die Luft ist, wie allgemein bekannt, der Hauptsache nach ein Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, von welchem der Sauerstoff dem Raume nach ein Fünftel, der Stickstoff vier Fünftel beträgt; die übrigen Bestandtheile der atmosphärischen Luft sind bezüglich der Quantität für unsere gegenwärtigen Betrachtungen von untergeordneter Bedeutung. — In unseren Beleuchtungs- und Beheizungs- vorrichtungen werden aus dem Brennmaterial und dem Sauerstoffe der atmosphärischen Luft unter Licht- und Wärmeentwicklung chemische Verbindungen gebildet.

Die Verbrennungserscheinungen erfolgen bei Anwendung von reinem Sauerstoffgase viel lebhafter, als in atmosphärischer Luft, in welcher der Sauerstoff mit dem vierfachen Volumen des für den Verbrennungsprocess ganz belanglosen Stickstoffes verdünnt ist. Ein an der Luft glimmender Holzspahn entflammt sofort, wenn man ihn in ein mit Sauerstoff gefülltes Gefäss hält, dasselbe erfolgt mit glimmendem Feuerschwamm; Wasserstoff verbrennt im Sauerstoff mit wenig leuchtender Flamme unter Entwicklung grosser Hitze, Schwefel verbrennt im Sauerstoff mit blauer, wenig leuchtender Flamme; Phosphor verbrennt im Sauerstoff unter Verbreitung eines höchst intensiven Lichtes; eine Uhrfeder aus Stahl (Eisen) verbrennt im Sauerstoff unter lebhaftem Funken-sprühen; Magnesiummetall verbreitet beim Verbrennen im Sauerstoff ein für das Auge unerträglich intensives Licht.

Auch in anderen gasförmigen Elementen vollziehen sich Verbrennungen, z. B. im Chlorgase; so z. B. verbrennt der Wasserstoff eben so lebhaft im Chlor, wie im Sauerstoff, wenn auch unter etwas geänderten Erscheinungen. Die Metalle Arsen und Antimon verbrennen im Chlor, wenn man sie im gepulverten Zustande in Chlorgas bei gewöhnlicher Temperatur einstreut. Terpentingöl entzündet sich ebenfalls schon bei gewöhnlicher Temperatur im Chlor und verbrennt unter Abscheidung von Kohle.

Nicht nur Elemente verbinden sich unter Verbrennungserscheinungen, sondern auch für zusammen-

gesetzte Körper. ist dies beobachtet, die man schon als Verbrennungsproducte auffassen muss. So z. B. kann man ein zum Glühen erhitztes Stück von Kalk in Chlorwasserstoffgas oder in dem Dampf von Schwefelsäureanhydrid fortglühen sehen; es findet zwischen Kalk und Chlorwasserstoff einerseits, zwischen Kalk und Schwefelsäureanhydrid andererseits chemische Vereinigung statt; der Kalk ist aber als Verbrennungsproduct des Metalles Calcium und des Sauerstoffes, das Chlorwasserstoffgas als Verbrennungsproduct von Chlor und Wasserstoff und endlich das Schwefelsäureanhydrid als Verbrennungsproduct von Schwefel und Sauerstoff anzusehen.

Man pflegt von der Verbrennung eines Körpers in einem zweiten zu sprechen, z. B. von der Verbrennung des Wasserstoffes im Sauerstoffe; aus dieser Redensart könnte leicht die Meinung abgeleitet werden, dass jedem der beiden Körper eine bestimmte Rolle bei der Verbrennung zukomme; thatsächlich theilte man auch in früherer Zeit die Körper ein: in brennbare und in solche, welche die Verbrennung unterhalten; dieser Eintheilungsgrund ist nicht stichhaltig und es lässt sich leicht zeigen, dass man die Rollen der beiden zur Verbrennung kommenden Körper nach Belieben vertauschen kann. Wenn ich aus einer engen Röhre Wasserstoffgas ausströmen lasse und dasselbe, nachdem ich es in ein mit Sauerstoff gefülltes Gefäß getaucht habe, anzünde, so entsteht von der Ausströmungsmündung der engen Röhre aus eine Flamme; man sagt in diesem Falle gewöhnlich, der Wasserstoff verbrennt im Sauerstoff; lasse ich dagegen

in einem zweiten Falle aus einer engen Röhre Sauerstoff ausströmen und zünde denselben an, während ich die Röhre in ein mit Wasserstoff gefülltes Gefäss einführe, so wird wieder von der Ausströmungsöffnung der engen Röhre aus sich eine Flamme erheben und in diesem Falle müsste ich sagen, der Sauerstoff verbrennt im Wasserstoff.

Der Verbrennungsvorgang erfolgt inmitten der beiden verbrennenden, d. h. sich mit einander verbindenden Körper und wenn man dieselben vor dem Einleiten der Verbrennung mit einander mischt und das Gemenge dann anzündet, so erfolgt die Vereinigung häufig unter lebhaften Explosionserscheinungen, dies ist z. B. der Fall bei Gemengen von Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgas genannt), so wie von Wasserstoff und Chlor (Chlorknallgas genannt).

Die für jede Verbrennung erforderlichen Bedingungen sind: das Vorhandensein von Körpern, welche sich mit einander unter Feuererscheinung verbinden und die Anzündungstemperatur (respective die Aufhebung des Verbindungswiderstandes), um die Verbrennung einzuleiten. Was die für die Verbrennungen tauglichen Körper betrifft, so ist ihre Zahl sehr gross, viele Elemente und zahllose chemische Verbindungen gehören hieher, und es sind davon viele aus dem täglichen Leben bekannt, die wir zum Beleuchten und Beheizen verwenden.

Die Verbrennung der Körper erfolgt, wie bereits erwähnt, durch die Wirkung der chemischen Anziehungskraft; diese Kraft kommt erfahrungsgemäss nicht unter

allen Verhältnissen, sondern nur unter bestimmten Bedingungen zur Wirkung. Wir können ein Stück Schwefel an der Luft oder in reinem Sauerstoffgase lange Zeit liegen lassen, ohne dass eine Veränderung erfolgt, wenn wir aber den Schwefel in der Luft oder im Sauerstoff bis zu einer gewissen Temperatur erhitzen, wenn wir ihn anzünden, dann erfolgt, wie wir gesehen haben, sofort Verbrennung, durch welche eine Verbindung des Schwefels mit dem Sauerstoff hervorgebracht wird.

Wir müssen demnach, um eine Verbrennung einzuleiten, die zu verbrennenden Körper unter solche Bedingungen bringen, die für die Wirkung der chemischen Anziehungskraft günstig sind, wir müssen den Widerstand aufheben, welcher die Vereinigung der betreffenden Körper hindert. Die Aufhebung dieses Verbindungswiderstandes erfolgt in der Regel dadurch, dass die zu verbrennenden Körper erhitzt werden und zwar bis zu einer Temperatur, bei welcher sie sich entzünden; man nennt diese Temperatur die Anzündungstemperatur. Werden zwei Körper, die sich überhaupt unter Feuererscheinung mit einander verbinden können, z. B. Schwefel und Sauerstoff, auf die Anzündungstemperatur erhitzt, so ist der Verbindungswiderstand aufgehoben, die chemische Anziehungskraft kommt in beiden Körpern zur Wirkung, es tritt Verbrennung ein und die Bildung der entsprechenden Verbindung.

Die Anzündungstemperatur liegt nicht für alle Körper gleich hoch; sie hängt ab: 1. von der chemischen Natur der Materie und 2. von der Vertheilung derselben.

Was den ersten Punkt betrifft, so ist aus dem täglichen Leben bekannt, dass manche Körper, die gemeinlich als feuergefährlich bezeichnet werden, sich sehr leicht entzünden lassen, d. h. dass dieselben zu brennen beginnen, ohne dass man sie sehr stark erhitzt, z. B. Benzin, Aether, Weingeist; andere Stoffe müssen dagegen auf hohe Temperaturen erhitzt werden, wenn wir sie anzünden wollen, z. B. Steinkohlen, Coaks.

Es gibt Körper, die schon bei gewöhnlicher Zimmer-temperatur, ja selbst bei noch niedereren Temperaturen sich entzünden, wenn sie an die Luft kommen, weshalb dieselben unter Abschluss der Luft aufbewahrt werden müssen; solche Körper sind z. B. das Zinkaethyl und der sogenannte „selbstentzündliche Phosphorwasserstoff“. Oeffnet man das Gefäß, welches diesen Phosphorwasserstoff enthält, an der Luft, oder in einem mit Sauerstoff oder mit Chlor gefüllten Gefäße, so tritt sofort lebhaftere Verbrennung ein. — Gewöhnlicher gelber Phosphor entzündet sich bei einer viel niedereren Temperatur, als Schwefel; wenn man ein Stückchen gelben Phosphors, das von Luft umgeben ist, mit einem Glasröhrchen berührt, in welchem man eben Wasser zum Kochen erhitzte, so tritt sofort Verbrennung ein; erhitzt man mit demselben Röhrchen ein Stück Schwefel, so entzündet sich dieser dagegen nicht.

Die Anordnung, die Vertheilung der kleinsten Theilchen übt auf die Anzündungstemperatur wesentlichen Einfluss; im allgemeinen liegt die Anzündungstemperatur eines Körpers um so höher, je dichter derselbe ist. Während

wir beispielsweise früher gesehen haben, dass sich der gelbe Phosphor an der Luft entzündet, wenn wir ihn mit einem Röhrchen berühren, das kochendes Wasser enthält, entzündet sich der sogenannte rothe Phosphor unter diesen Bedingungen nicht; der rothe Phosphor ist eine dichtere Modification des Phosphors, er muss, um zur Verbrennung zu gelangen, weit über 100 Grad erhitzt werden, er entzündet sich, wenn man ihn mit einem glühenden Metalldraht berührt.

Die Aufhebung des Verbindungswiderstandes, die Einleitung der Verbrennungen muss nicht immer nothwendig dadurch erfolgen, dass wir die zu verbrennenden Körper auf die Anzündungstemperatur erhitzen, wir verfügen noch über andere Mittel; so z. B. erzielen wir in manchen Fällen den erwünschten Erfolg durch die Einwirkung des Lichtes. Wenn man Chlorknallgas, d. i. ein Gemenge von gleichen Raumtheilen Chlorgas und Wasserstoffgas erhitzt, so erfolgt Verbrennung unter lebhaftem Knall; die Verbrennung erfolgt auch schon, wenn man das Chlorknallgas der Wirkung des Sonnenlichtes oder der Wirkung einer geeigneten künstlichen Lichtquelle, z. B. des brennenden Magnesiummetalles, aussetzt. Wenn man dieses Chlorknallgas im Dunklen bereitet und in dünnwandige Glaskugeln gefüllt hat, die dicht verschlossen sind, so kann man sehr deutlich die Wirkungen des Lichtes zeigen, indem man eine solche Kugel an das Tageslicht bringt, oder mit Magnesiumlicht beleuchtet; in beiden Fällen wird nach wenigen Secunden unter lebhaftem Knall die Glaskugel

zertrümmert werden; es wird nämlich durch die Lichtstrahlen der Verbindungswiderstand ebenso aufgehoben, wie durch die Anzündungstemperatur, und es tritt Verbrennung ein.

Bisweilen wird der Verbindungswiderstand geändert, und zwar in manchen Fällen erhöht, in anderen vermindert, durch die sogenannten Contactwirkungen, durch die Gegenwart eines dritten Körpers, dessen Rolle wir uns bisher nicht genügend zu erklären vermögen. Taucht man z. B. in ein Gemenge von Ammoniakgas und Luft einen zum Glühen erhitzten spiralig gewundenen Platindraht, so glüht derselbe lebhaft in dem Gasgemenge fort, an der Oberfläche des Drahtes verbinden sich die Bestandtheile des Ammoniakgases mit dem Sauerstoff der Luft und die dabei auftretende Wärme erhält den Draht im Glühen. Bei diesem Vorgange nimmt das Gewicht des Platindrahtes weder zu, noch ab und die Beschaffenheit des Drahtes ist nach Beendigung des Verbrennungsvorganges unverändert. Der Platindraht hat in diesem Falle demnach den Verbindungswiderstand aufgehoben. Eine der eben besprochenen Contactwirkung entgegengesetzte, d. h. eine den Verbindungswiderstand erhöhende, können wir beobachten, wenn wir eine geringe Menge von Terpentindampf der atmosphärischen Luft beimengen und dann in diesem Gemenge Phosphor anzuzünden versuchen. Wenn man nämlich zwei gleich grosse, mit Luft gefüllte Fläschchen an einem Gestell befestigt, in das eine ein Tröpfchen Terpentinöl, dann in jedes der Fläschchen ein erbsengrosses Stück von gelbem

Phosphor bringt und die ganze Vorrichtung dann in ein Gefäss mit heissem Wasser taucht, so dass die Hälse der Fläschchen aus dem Wasser hervorragen, so beobachtet man, dass in dem Fläschchen, welches reine Luft enthält, der Phosphor viel früher zu brennen beginnt, als in demjenigen, das mit Luft und etwas Terpentinöldampf gefüllt ist. Es vermag also der Terpentinöldampf in diesem Falle den Verbindungswiderstand zwischen Sauerstoff und Phosphor wesentlich zu vergrössern, also die Anzündungstemperatur zu erhöhen.

Nächst den Bedingungen des Verbrennungsprocesses haben wir die Begleiter des bei der Verbrennung stattfindenden chemischen Vorganges in Betracht zu ziehen, nämlich Wärme und Licht.

Die Wärmemenge, welche bei der Verbrennung gleich grosser Quantitäten verschiedener Körper entsteht, ist verschieden gross; wir nennen jene Wärmemenge, welche durch die Verbrennung einer Gewichtseinheit einer Substanz entsteht, die Verbrennungswärme dieser Substanz, und wir benützen zum Messen dieser Verbrennungswärme als Einheit die „Wärmeeinheit“ oder Calorie. Unter Wärmeeinheit verstehen wir aber eine Wärmemenge, durch welche wir im Stande sind, die Temperatur einer Gewichtseinheit Wasser um 1 Grad C. zu erhöhen. Wenn ich daher z. B. sage, die Verbrennungswärme des Schwefels ist 2240, so heisst das: bei der Verbrennung von 1 Kilogramm Schwefel wird so viel Wärme erzeugt, dass ich mit Hilfe derselben im Stande bin, 2240 Kilogramm flüssigen Wassers von 0 Grad

auf 1 Grad C. zu erwärmen. Die Verbrennungswärmen sind für viele Körper ermittelt worden, es mögen einige hier folgen:

Verbrennungswärme des Wasserstoffgases .	34462
„ der Holzkohle	8080
„ des Graphites	7796
„ des Diamantes	7770
„ des Schwefels	2240

Diese Zahlen lehren, dass die Verbrennungswärmen von der chemischen Natur der Materie abhängen, dass sie also für verschiedene Elemente verschieden sind, ferner, dass die Verbrennungswärmen auch für dasselbe Element etwas verschieden sind nach der Anordnung der kleinsten Theilchen, denn Holzkohle, Graphit, Diamant sind nur Modificationen eines und desselben Elementes, nämlich des Kohlenstoffes und haben doch verschiedene Verbrennungswärmen.

Die Kenntniss der Verbrennungswärmen in Hinsicht auf unsere Heizmaterialien ist für das praktische Leben von ganz besonderer Wichtigkeit, insoferne uns die Verbrennungswärmen direct den Heizeffect, somit auch den Werth der Brennmaterialien für Heizzwecke ausdrücken. Unter sonst gleichen Bedingungen würden wir als Heizmaterialie mit dem besten Erfolge den Wasserstoff wegen seiner grossen Verbrennungswärme anwenden, gegen dessen Anwendung sprechen aber die kostspielige Darstellung desselben im grossen Maassstabe, sowie die unbequeme, ja selbst gefährliche Handhabung desselben.

Die Temperatur, der Hitzegrad, welcher bei der Verbrennung eines Körpers entsteht, nennen wir dessen Verbrennungstemperatur; wir messen dieselbe mit Thermometergraden. Die Verbrennungstemperatur ist für verschiedene Körper verschieden gross, sie ist, um zwei Extreme anzuführen, für Knallgas sehr hoch, fast 3000 Grad C., für Schwefel beim Verbrennen im Sauerstoff viel niedriger. Es ist klar, dass die Verbrennungstemperatur mindestens so hoch liegen muss, als die Anzündungstemperatur, wenn eine Verbrennung fortdauern soll. Wenn ich ein Stück Schwefel an einem Ende anzünde, so entsteht durch die Verbrennung der zuerst brennenden Theilchen so viel Wärme, dass die benachbarten Theilchen mindestens zur Anzündungstemperatur gebracht werden und so pflanzt sich die Verbrennung allmählig von einem Ende des Schwefelstückes bis zum andern fort; würde die Verbrennungstemperatur niedriger sein, als die Anzündungstemperatur ist, so könnten nur jene Theilchen des Schwefels verbrennen, welche am Beginne der Verbrennung durch eine Wärmequelle von aussen bis zur Anzündungstemperatur erhitzt wurden.

Die bei den Verbrennungen auftretenden Lichterscheinungen hängen auf das innigste mit der chemischen Natur der verbrennenden Körper und mit dem Acte der chemischen Vereinigung zusammen. Zu den Strahlen, welche die irdischen Körper bei den gewöhnlichen Temperaturen aussenden, die wir aber mit unserem Gesichtsortgane nicht wahrzunehmen vermögen, gesellen sich beim Erhitzen, beim Steigern der Temperatur

immer mehr und mehr solche hinzu, die auf unsere Augen so wirken, dass wir Lichterscheinungen wahrnehmen.

Bei den Verbrennungen verschiedener Körper im Sauerstoffe haben wir beobachtet, dass in einzelnen Fällen Flammerscheinung auftrat, in anderen dagegen nicht; wir sahen beispielsweise beim Verbrennen des Schwefels, sowie des Phosphors Flammen, während Kohle und Eisen angezündet, im Sauerstoffe ohne Flammenbildung verglühten. Die Ursache dieser Verschiedenheit liegt lediglich in der Verschiedenheit des Aggregatzustandes der Körper in dem Augenblicke, wo sie zur Verbrennung gelangen. Sind die verbrennenden Körper gasförmig, dann entsteht eine Flamme, sind die verbrennenden Körper dagegen tropfbar flüssig oder fest, dann erfolgt die Verbrennung ohne Flammenbildung, wir beobachten in diesem Falle nur ein Verglühen. Schwefel und Phosphor schmelzen und verdampfen zuerst, gehen also in den gasförmigen Zustand über, wenn sie zur Anzündungstemperatur erhitzt werden, es brennt also deren Dampf; Eisen, Kohle verdampfen dagegen vor der Verbrennung nicht. Jede Flamme ist demgemäss als eine glühende Gasmassé zu betrachten. Von den Materialien, welche wir in unseren Beleuchtungsapparaten und in unseren Oefen alltäglich verbrennen, um uns Licht und Wärme zu erzeugen, präsentirt sich uns nur das Leuchtgas als gasförmiger Körper, während Unschlitt, Wachs, das Material der Stearinkerzen, fettes Oel, Petroleum, Holz, Kohle u. s. w. fest oder flüssig

sind. Bei der Verbrennung aller dieser Körper beobachten wir Flammen, es müssen daher vor der Verbrennung offenbar aus diesen festen und flüssigen Körpern gasförmige entstehen. In der That lässt sich leicht zeigen, dass die gewöhnlichen Beleuchtungsflammen unserer Lampen und Kerzen durch das Verbrennen gasförmiger Körper erzeugt werden. Construiert man sich nämlich eine Kerze oder eine Lampe mit hohlem Dochte und führt in diesen Docht eine Glasröhre ein, so sieht man, wenn Kerze und Lampe angezündet worden sind, durch das untere Ende der Glasröhre massenhaft gasförmige Producte entweichen, welche, wenn sie zweckentsprechend durch ein gebogenes Rohr seitlich abgeleitet und angezündet werden, eine Flamme von der Beschaffenheit derjenigen liefern, welche vom Dochte der Kerze oder der Lampe aus sich erhebt. Der Verbrennungsvorgang in einer Stearinkerze wird demnach in folgender Weise aufzufassen sein: wir zünden den Docht an; bei dessen Verbrennung wird so viel Wärme entwickelt, dass zunächst die den Docht umgebende Stearinmasse (welche im Wesentlichen ein Gemenge von Stearinsäure und Palmitinsäure ist) schmilzt, die geschmolzene, flüssige Masse wird von dem Dochte aufgesaugt und gelangt in die Nähe der Stelle, an der der Docht brennt, hier wird durch die hohe Temperatur die Stearinmasse zum Theil im unveränderten Zustande in Dampfform verwandelt, zum Theile wird sie zersetzt, wobei sich gasförmige Zersetzungsproducte bilden. Das Gemisch der unverändert verdampften beiden Säuren und deren gasför-

miger Zersetzungsproducte gelangt dann zur Verbrennung und veranlasst die Flammenbildung:

Die Flammen unserer Kerzen haben wir als Gaskegel, die Flammen der Lampen mit hohlen Dochten als Gaszylinder anzusehen, deren Mantel glüht, während im Innern einer solchen Flamme relativ kaltes, also nicht glühendes Gas vorhanden ist. Durch folgende Anordnung kann man sich leicht davon überzeugen, dass kegelförmige und cylindrische Flammen im Innern kalt sind: in einem gewöhnlichen Lampencylinder (ohne Ausbauchung), der vertical aufgestellt ist, lässt man durch ein passend eingefügtes Rohr unten Leuchtgas einströmen, die obere Mündung des Cylinders bedeckt man mit einer entsprechenden Scheibe von Drahtnetz; in die Mitte dieses Drahtnetzes stellt man ein kleines Gefässchen, in welchem sich eine leicht entzündliche Substanz, wie Schiessbaumwolle, Schiesspulver oder Aehnliches befindet. Zündet man nun die ausströmende Gasmasse an, so brennt ein Mantel rings um das mit der leicht entzündbaren Substanz gefüllte Gefässchen, ohne dass dieselbe zu brennen anfängt; es ist eben in der Mitte des glühenden Gaszylinders dafür nicht heiss genug. Wenn man nun durch Regulirung des Gashahnes die Gaszuströmung allmählig verringert, so wird die Flamme niedriger werden, und wenn sie endlich so nieder geworden ist, dass ihre Spitze die in dem Gefässchen vorhandene Schiessbaumwolle berührt, so wird diese sich entzünden und rasch unter sichtbaren Erscheinungen verbrennen.

Ganz nebenbei mag hier daran erinnert werden, dass manche Flammen sich durch eine ganz charakteristische Färbung auszeichnen, so ist z. B. die Flamme des Schwefels blau, die Flamme des brennenden Borsäureäthers prächtig grün gefärbt. Der ungefärbten nicht leuchtenden Flamme eines entsprechend eingerichteten Leuchtgasbrenners lassen sich verschiedene Färbungen ertheilen, wenn man in derselben verschiedene Körper zum Verdampfen bringt; diese Flamme wird durch Natriumverbindungen, z. B. durch Kochsalz, gelb, durch Lithiumchlorid roth, durch Verbindungen des Metalles Thallium prachtvoll grün gefärbt. Diese Flammenfärbungen sind Attribute der chemischen Natur der verbrennenden Körper und spielen in der Spectralanalyse eine wichtige Rolle.

Das Leuchtvermögen einer durch den Verbrennungsprocess erzeugten Lichtquelle hängt wesentlich von dem Aggregatzustande des verbrennenden Körpers und dessen Verbrennungsproducten ab. Feste Körper besitzen erfahrungsgemäss ein bedeutendes Lichtemissionsvermögen, während dasselbe für flüssige und gasförmige Körper unter den gewöhnlichen Verhältnissen gering ist. Die Flammen des Wasserstoffes und des Schwefels leuchten, wie wir gesehen haben, nur sehr wenig, wir würden dieselben nicht als Lichtquellen für Beleuchtungszwecke mit Erfolg benützen können, wir wären beispielsweise nicht im Stande, in einem finsternen Zimmer, das nur durch Wasserstoff- oder Schwefelflammen beleuchtet wird, ohne Anstrengung zu lesen. Im Gegensatze zu brennendem

Wasserstoff und Schwefel entsteht beim Verbrennen von Eisen, Phosphor, Magnesium sehr intensives Licht. Wasserstoff und Schwefel, sowie der Sauerstoff, in welchem die beiden verbrennen, sind beim Verbrennungsacte gasförmig, desgleichen sind die Producte, welche sich bei der Verbrennung des Wasserstoffes und des Schwefels bilden, Gase; wir haben es daher hier durchwegs mit Körpern von geringem Lichtausstrahlungsvermögen zu thun. Dagegen sind die Verbrennungsproducte des Eisens, des Phosphors, des Magnesiums feste Körper; diese kommen durch die bei der Verbrennung entwickelte Wärme zu lebhaftem Glühen und erzeugen vermöge ihres grossen Lichtausstrahlungsvermögens die intensiven Lichterscheinungen.

Wenn uns die Aufgabe zufallen würde, eine Flamme zu construiren, welche intensiv leuchtet, so werden wir dafür zu sorgen haben, dass dieselbe erstens eine hohe Verbrennungstemperatur besitze, und dass zweitens in derselben Körper mit grossem Lichtemissionsvermögen, also feste Körper zum Glühen kommen. Ist uns eine heisse, nicht leuchtende Flamme gegeben, und wir sollen dieselbe leuchtend machen, dann haben wir nur dafür Sorge zu tragen, dass in die Flamme, also in das glühende, nicht oder nur wenig leuchtende Gas feste Körper eingeführt werden, die bei der Hitze der Flamme nicht zum Verdampfen kommen. Diese eingeführten festen Körper werden glühend werden und Licht ausstrahlen. Wird z. B. in die sogenannte nicht leuchtende Leuchtgasflamme eines Bunsen'schen Gasbrenners eine Spirale

aus Platindraht gehalten, so erscheint die Flamme an den Stellen, wo der Platindraht sich befindet, leuchtend, d. h. der Platindraht wird glühend und leuchtet. Würde man in der Flamme gleichförmig Platinstäubchen vertheilen, so würde dieselbe an allen Stelle leuchtend erscheinen.

Ein sehr in die Augen fallendes Beispiel für das Leuchtendmachen einer nicht leuchtenden Flamme durch Einführen von festen Körpern in dieselbe ist uns in dem sogenannten Drummond'schen Licht gegeben, welches auch mit dem Namen Kalklicht bezeichnet wird. Man erhält dieses Kalklicht; indem man gebrannten Kalk in einer Knallgasflamme zum Glühen bringt. Die Knallgasflamme, welche durch Verbrennen von Wasserstoffgas und Sauerstoffgas in dem Daniell'schen Hahne hergestellt wird, ist sehr heiss, aber sie leuchtet fast gar nicht, ihre Temperatur beträgt ungefähr 3000 Grad C., man kann in dieser Flamme, wenn sie einiger Massen gross ist, dicke Stahlstäbe verbrennen, Silber und Platin mit Leichtigkeit schmelzen, ja selbst zum Verdampfen bringen. Sobald man diese Knallgasflamme gegen ein passend eingeklemmtes Stück von gebranntem Kalk dirigirt, wird von der Stelle, wo die Flamme den Kalk berührt und zu lebhafter Gluth bringt, ein sehr intensives, für das Auge in der Nähe unerträglich grelles Licht ausgestrahlt.

Das Leuchtende in unseren gewöhnlichen Beleuchtungsflammen, also in den leuchtenden Gasflammen, in den Flammen der Kerzen, der Oel- und Petroleumlampen ist ein fester Körper, es ist fester Kohlenstoff,

der im Zustande feinsten Vertheilung an allen jenen Theilen der Flamme sich findet, wo dieselbe leuchtet. Man kann sich von der Anwesenheit des fein vertheilten, festen Kohlenstoffes in den genannten Flammen leicht dadurch überzeugen, dass man in eine solche Flamme einen kalten Körper mit glatter Oberfläche hineinhält; alsbald wird sich auf der letzteren der Kohlenstoff als eine Russschichte abscheiden; drückt man z. B. eine leuchtende Flamme der bezeichneten Kategorie durch einen glasierten Porzellangegegenstand zur Hälfte nieder, so wird man, wenn der Porzellangegegenstand nach wenigen Augenblicken von der Flamme entfernt wird, denselben mit einer Russschichte bedeckt sehen.

Wenn wir uns über die Vorgänge in den alltäglich angewendeten Beleuchtungsflammen orientiren wollen, so werden wir zweckmässig die Leuchtgasflamme in Betracht ziehen. Das Leuchtgas, welches in der Regel aus den Steinkohlen in den Gaswerken gewonnen und dem Orte des Verbrauches durch lange Röhrenleitungen zugeführt wird, besteht im Wesentlichen aus Wasserstoffgas, Grubengas, Kohlenoxydgas und ölbildendem Gase; die übrigen Bestandtheile des Leuchtgases, welche nur in geringer Menge darin vorkommen, sind für unsere Betrachtung ohne Belang. Wasserstoff, Grubengas und Kohlenoxydgas verbrennen an der Luft mit sehr wenig leuchtenden Flammen, aber die Flammen aller drei Gase sind sehr heiss; das ölbildende Gas dagegen verbrennt mit lebhaft leuchtender Flamme. Das ölbildende Gas ist reich an Kohlenstoff, dies lässt sich leicht zeigen, indem

man diesem Gase ein gleiches Volumen Chlorgas beimengt und das so erhaltene Gemisch anzündet; die Verbrennung des Gasgemenges erfolgt unter Abscheidung einer dichten, schwarzen Russwolke, in der Massen von feinen Kohlenstoffpartikelchen vertheilt sind. Beim Verbrennen des ölbildenden Gases ereignet sich nun Folgendes: bringt man das Gas durch Erhitzen auf die Anzündungstemperatur, so wird es zunächst zerlegt, es entsteht Grubengas und Kohlenstoff, welcher letztere sich in fein vertheilter Form abscheidet, das Grubengas verbrennt im Sauerstoff der umgebenden Luft, durch die Verbrennung wird eine sehr hohe Temperatur hervorgebracht und die ausgeschiedenen festen Kohlenstofftheilchen kommen zum Glühen. Wir erhalten demnach beim Verbrennen des ölbildenden Gases eine heisse Flamme von verbrennendem Grubengas, in welcher kleine Kohlenstofftheilchen vertheilt sind, welche zum Glühen kommen.

Den Verbrennungsvorgang in einer unserer Leuchtgasflammen, wie sie etwa ein sogenannter Schmetterlingsbrenner liefert, hat man sich so vorzustellen: sobald die aus der Brenneröffnung ausströmende Gassäule, die sich in der Luft erhebt, angezündet wird, verbrennt das Gas am Saume der entstehenden Flamme, wo es mit genügenden Luftmengen in Berührung kommt, vollständig zu Kohlensäure und Wasser, in der Flammenmitte kann wegen Luftmangel keine vollständige Verbrennung stattfinden, dort zerlegt sich das ölbildende Gas, liefert die feinen Kohlentheilchen, welche zum Glühen kommen, und die erst dann vollständig verbrennen, wenn sie bei

ihrem Wege an die äussere Begrenzung der Flamme gelangen, wo sie in der umgebenden Luft den für die Verbrennung erforderlichen Sauerstoff in genügender Menge vorfinden. Nach dieser Auseinandersetzung ist es klar, dass ich eine leuchtende Flamme von Leuchtgas in eine nichtleuchtende verwandeln kann, wenn ich dafür Sorge, dass an allen Stellen der Flamme eine genügende Menge von Luft, respective Sauerstoff, vorhanden ist, um eine vollständige Verbrennung der Kohlenstofftheilchen zu ermöglichen. In der That findet Verbrennung ohne intensive Lichtentwicklung statt, wenn man Leuchtgas mit der erforderlichen Menge von Luft oder Sauerstoff mengt und dieses Gemenge anzündet; die Verbrennung erfolgt in diesem Falle unter den Erscheinungen einer heftigen Explosion. Führt man in das Innere einer Leuchtgasflamme durch eine zweckentsprechende Vorrichtung einen genügend starken Luftstrom ein, so erhält man eine sehr heisse, aber fast nicht leuchtende Flamme, die der des brennenden Wasserstoffgases sehr ähnlich ist. Der von Bunsen construirte, berühmt gewordene Gasbrenner ermöglicht durch seine Einrichtung dem Leuchtgas die zur vollständigen Verbrennung erforderliche Luftmenge zuzuführen. Dieser Bunsen'sche Brenner liefert eine schwach bläuliche, fast gar nicht leuchtende Flamme von sehr intensiver Hitze, und man verbrennt in diesem Brenner das Leuchtgas unter Erzielung des höchsten Heizeffectes. Die Mischung des Leuchtgases mit der erforderlichen Luftmenge wird dadurch erzielt, dass man das Leuchtgas aus einer am Fusse des Brenners befind-

lichen feinen Oeffnung in ein etwa fingerdickes Rohr strömen lässt, an dessen unterem Theile seitlich mehrere grössere Oeffnungen angebracht sind; durch diese seitlichen Oeffnungen strömt Luft ein, mischt sich mit dem Leuchtgase und das Gemenge der beiden Gase brennt dann, am oberen Ende der Brennröhre angezündet, mit nicht leuchtender, sehr heisser Flamme, wenn das Verhältniss des Durchmessers der Gasausströmungsöffnung zu denen der Lufteinströmungsöffnungen richtig gewählt ist. Die Bunsen'schen Brenner sind heute für die Laboratorien der Chemiker höchst wichtige, ja geradezu unentbehrliche Apparate geworden, man kann ruhig behaupten, dass seit der Anwendung derselben viele Arbeiten eine vollständige Umgestaltung, eine wesentliche Vereinfachung erfahren haben. Die meisten sogenannten Gasöfen, Gaskochapparate u. s. w., welche in unseren Haushaltungen als sehr bequeme Heizapparate immer mehr und mehr Verwendung finden, sind im Wesentlichen nach dem Principe des Bunsen'schen Brenners eingerichtet.

Auf eine Eigenschaft der Flamme soll noch aufmerksam gemacht werden, die uns als selbstverständlich erscheint nach dem, was über den Verbrennungsprocess bisher gesagt wurde, nämlich das Erlöschen einer Flamme an einer beliebigen Stelle, wenn man dieselbe dort stark abkühlt. Lässt man z. B. aus der Oeffnung eines Gasbrenners Leuchtgas ausströmen und hält etwa 5 Centimeter über der Ausströmungsöffnung dem Gasstrome ein engmaschiges Drahtnetz entgegen, so kann man über

dem Drahtnetz das Gas anzünden und eine Flamme erhalten, ohne dass die Verbrennung sich unterhalb des Drahtnetzes fortpflanzt; die Flamme wird eben durch den metallenen guten Wärmeleiter so stark abgekühlt, dass deren Temperatur unter die Anzündungstemperatur des Leuchtgases sinkt, so dass also die unter dem Drahtnetze befindlichen Theilchen nicht zur Verbrennung gelangen können. Wird das Drahtnetz nach längerer Zeit so heiss, dass es die Anzündungstemperatur erreicht, so wird sich von oben herab die Verbrennung selbstverständlich auch auf die unter dem Drahtnetze befindlichen Gastheilchen fortpflanzen. Von dieser Eigenschaft der Flammen ist eine wichtige Anwendung gemacht worden bei der Davy'schen Sicherheitslampe, welche ihren Namen von ihrem Erfinder, dem berühmten englischen Chemiker Davy hat. Diese Davy'sche Sicherheitslampe hat folgende wesentliche Einrichtung: das obere Ende einer gewöhnlichen kleinen Oellampe aus dickem Bleche trägt dicht befestigt einen Cylinder aus engmaschigem Drahtnetz, so dass die die Flamme der Lampe umgebende Luft mit der äusseren Luft nur durch die feinen Oeffnungen des Drahtnetzes communicirt. Wenn man diese Sicherheitslampe brennend in ein explodirbares Gasgemenge bringt, so wird sich im Innern des Drahtnetzcyllinders dieses Gasgemenge an der Flamme entzünden, die Flamme wird verlöschen, die Verbrennung wird sich aber nicht nach aussen fortpflanzen können, weil die durch das Drahtnetz bewirkte Abkühlung zu gross ist. In den Kohlenbergwerken treten solche explosive, aus

Grubengas und Luft bestehende Gasgemenge (schlagende Wetter) auf und richten, wenn sie sich an der gewöhnlichen Grubenlampe der arbeitenden Bergleute entzünden, grosses Unglück an. Die Davy'sche Lampe kann solche Unglücksfälle verhindern. Kommt der Bergmann mit dieser brennenden Lampe in eine mit schlagenden Wettern gefüllte Region, so wird das explosive Gasgemenge sich an der Flamme der Lampe im Innern des Drahtnetzcyinders entzünden, die Lampe wird erlöschen, und der Bergmann wird, auf die Gefahr aufmerksam gemacht, den Rückweg antreten können.

Wir hatten gesehen, dass eine Uhrfeder aus Stahl im Sauerstoffgase unter hellem Funkensprühen zu einem braunen Körper verbrannte, wenn wir diese Uhrfeder zuerst an einem Ende durch ein Stückchen glimmenden Feuerschwammes glühend machten. Wenn wir eine ebensolche Uhrfeder bei gewöhnlicher Temperatur an feuchter Luft einfach liegen lassen, so wird sie, wie jeder andere Gegenstand aus Eisen oder Stahl rosten, nach Verlauf eines Jahres wird sie in jene rothbraune Masse verwandelt sein, die wir im gewöhnlichen Leben als Eisenrost bezeichnen. In beiden Fällen entsteht aus dem Eisen und Sauerstoff eine neue Verbindung, und die beiden Prozesse, nämlich das Rosten und das Verbrennen des Eisens, sind in ihrem Wesen gleich; dass wir beim Rosten weder Licht noch Wärme beobachten können, kommt einfach daher, dass der Process des Rostens sehr langsam

vor sich geht und dass die in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge nicht gemessen werden kann, weil sie zu klein ist. Wenn wir den etwa ein Jahr lang dauernden Process des Verrostens auf wenige Secunden zusammendrängen könnten, so würden wir einen Verbrennungsprocess mit allen erforderlichen Attributen haben. Die langsam, ohne Licht- und Wärmeentwicklung vor sich gehenden Prozesse, bei denen sich Sauerstoffverbindungen bilden, pflegt man als langsame oder stille Verbrennungen zu bezeichnen. In die Reihe der stillen Verbrennungen gehören zwei Prozesse, welche für den thierischen Organismus ganz besonders wichtig sind, nämlich der Athmungs- und der Verwesungsprocess. In der eingeathmeten Luft gelangt Sauerstoff in das Blut und dieser Sauerstoff bewirkt die Oxydation, die Verbrennung eines Theiles der Substanzen, die als Nahrungsmittel aufgenommen werden, als eines der Verbrennungsproducte entsteht Kohlensäure, die man in der ausgeathmeten Luft leicht nachweisen kann, indem man diese letztere durch Kalkwasser leitet; das Kalkwasser trübt sich alsbald und setzt nach längerem Stehen einen weissen Bodensatz ab; diese Erscheinung rührt von der Kohlensäure her, welche mit dem Kalk einen im Wasser unlöslichen Körper, den kohlensauren Kalk bildet. Durch den stillen Verbrennungsprocess erlangt der thierische Organismus die unentbehrliche thierische Wärme.

Einem stillen Verbrennungsprocess sind auch die Reste aller belebten Wesen nach Beendigung ihres Lebens unterworfen; wir sehen das Laub der Bäume, die Stoppeln

auf unseren Ackerfeldern, die Leichen von Menschen und Thieren allmählig verschwinden, wir sagen dass dieselben verwesen. Der Verwesungsprocess aller dieser Thier- und Pflanzenreste ist ein Oxydationsvorgang, der sich zu dem Verbrennungsprocess so verhält, wie das Rosten der Stahlfeder zum Verbrennen derselben. Der Kohlenstoff der organischen Wesen wird bei dem Verwesen in Kohlen-säure verwandelt, diese gelangt in die Atmosphäre und wird von den Pflanzen als Nahrung zum Aufbau ihres Leibes verwendet. Dass der Verwesungsprocess für die Existenz alles Lebenden von der grössten Wichtigkeit ist, leuchtet sofort ein, wenn man bedenkt, dass ohne demselben die Erdoberfläche bald mit Miriaden von Leichnamen thierischen und pflanzlichen Ursprungs be-deckt wäre und dass durch eine andere Art der Zer-setzung, durch die Fäulniss, alles verpestet würde.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1879

Band/Volume: [19](#)

Autor(en)/Author(s): Ludwig Ernst

Artikel/Article: [Ueber den Verbrennungsprocess. 607-634](#)