

Gase, je nachdem das eine oder das andere vorwaltet, die Mischungs-Verhältnisse ungleich ausfielen; und dies würde statt finden, wenn sich ein mit Sauerstoff oder Wasserstoff verbundenes Wasser bildete, im Fall jener oder dieser vorherrscht. Allein die Verhältnisse waren dieselben nach dem Versuch; und daraus folgt nothwendig, daß Wasserstoff und Sauerstoff ganz verzehrt wurden. Findet aber auch eine vollkommene Absorption in einigen Fällen statt, so berechtigt dies noch nicht zu dem Schluß, daß es bei jeder beliebigen Menge so sei. Es giebt nicht nur Verhältnisse zwischen Sauerstoff und Wasserstoff, oder zwischen einer Mischung beider mit Stickgas oder irgend einem andern Gase, wo die Entzündung durch den electrischen Funken unmöglich ist; sondern es giebt auch solche, bei denen fogar die bereits angefangene Entzündung aufhört, ehe die Verbrennung vollendet ist. Wir werden Versuche anführen, welche uns in dieser Beziehung sehr überzeugend zu sein scheinen.

Es wurden 100 Theile Wasserstoffs mit 200, 300 . . . 900 Theilen Sauerstoffs gemischt und durch den electrischen Funken entzündet. Die Absorption betrug in diesen verschiedenen Mischungs-Verhältnissen beständig 146 Theile; mit 1000 Th. Sauerstoffs wurde sie aber plötzlich auf 55, mit 1200 und 1400 auf 24 und 14, mit 1600 auf 0 reducirt: d. h. hier fand keine Entzündung statt. Die folgende Tafel liefert eine Uebersicht dieser Resultate:

Wasserstoff	Sauerstoff	Absorption
100	200	146
100	300	146
100	600	146
100	900	146
100	950	68
100	1000	55
100	1200	24
100	1400	14
100	1600	0. ¹

Auffallend an diesen verschiedenen Versuchen ist, zu sehen: 1) daß die in sehr ungleichen Mischungen stets gleichförmige Absorption plötzlich in eine abnehmende übergeht; 2) daß die Verbrennung des Wasserstoffgases vor ihrer Vollendung aufhört; 3) daß es zwischen Sauerstoff und Wasserstoff Mischungs-Verhältnisse giebt, in welchen eine Entzündung unmöglich ist. Die Verschiedenheit dieser Erscheinungen wird in der Folge einige Erklärung finden; inzwischen wolle wir festhalten, daß es Mischungs-Verhältnisse von ziemlich bedeutendem Umfang giebt, in denen die Verbrennung des Wasserstoffs vollständig ist.

Die vorstehenden Erscheinungen sind jedoch dem Gemenge von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas unter den besprochenen Umständen nicht allein eigen, sondern sie treten auch ein, wenn man 100 Theile Sauerstoffs mit 200, 300 . . . 1000 u. s. w. Theilen Wasserstoffs entzündet; nur liegt hier

¹ Die Absorptionen 68, 55, 24 und 14 sind vielleicht auf 0,02 bis 0,03 ungenau. Da unsere Instrumente für die entsprechenden Verhältnisse zu klein waren, so mußten wir mehrere Male messen. Dies hat aber auf die Thatsache im allgemeinen keinen Einfluß.

die Grenze, bei welcher die Absorption constant zu sein aufhört, weiter hinaus. Um den Grund davon einzusehen, genügt die Bemerkung, daß in diesem Fall bei der Entzündung ungefähr 300 Theile verschwinden, in dem vorhergehenden aber nur die Hälfte davon.

Stickgas und Kohlensäure liefern ähnliche Resultate. Wenn man z. B. ein Gemisch von 900 Th. Stickstoff, 100 Th. Wasserstoff und 100 Th. Sauerstoff entzündet, so sollte die Absorption 146 betragen; sie betrug aber in dem hier als Beispiel gewählten Versuch nur 50 Theile, während wir in anderen Fällen eine Kleinigkeit mehr oder weniger beobachteten. Mit geringeren Mengen Stickstoffes erhielten wir stets die nämliche Absorption 146. Obgleich sich der Stickstoff hier wie Sauerstoff zu verhalten scheint, weil uns 100 Wasserstoff und 1000 Sauerstoff ungefähr dasselbe Resultat gaben wie 100 Wasserstoff, 100 Sauerstoff und 900 Stickstoff; so wollen wir daraus doch keinen Schluß weiter ziehen, da unsere Versuche noch nicht zahlreich und mannigfaltig genug sind. Dessenungeachtet liefern die bereits vorhandenen den Beweis, daß, wenn man bestimmte Mischungen von Sauerstoff und Wasserstoff mit verschiedenen Gasen mengt, die Absorption bis zu einem bestimmten Punkt constant ist, über diesen hinaus aber schnell abnimmt.

Da die Absorption des Sauerstoffs und Wasserstoffs in gewissen Verhältnissen vollkommen ist und in anderen nicht; so wird es immer möglich sein ein gegebenes für sich nicht brennbares Gas-Gemisch durch Hinzufügen von Sauerstoff, oder Wasserstoff, oder von beiden zugleich in ein anderes zu verwandeln, welches die gänzliche Absorption des einen der beiden Gase gestattet.

Die Verbrennung der 100 Theile Wasserstoffs, welche in dem letzten Versuch unvollständig war, ließ einen Rückstand, den wir analysirten. Phosphor verminderte 100 Theile desselben in 4 Stunden um 7 Theile: woraus hervorgeht, daß der Rückstand Sauerstoff enthielt. Um zu ermitteln, ob auch Wasserstoff darin sei, entzündeten wir in dem Volta'schen Eudiometer ein Gemenge von 200 Theilen des Rückstands

200	„	Sauerstoffgas
200	„	Wasserstoffgas
600	„	

Nach der Entzündung waren 312 Theile verschwunden. Zu Folge der weiter unten beschriebenen Versuche erfordern 100 Theile reinen Sauerstoffs zu ihrer Sättigung 200 Theile Wasserstoffs. Die Absorption mit dem von uns hier gebrauchten Wasserstoff hätte nur 292 betragen dürfen; da sie aber 312 war, so muß nothwendig der Rückstand so viel Wasserstoff geliefert haben, um sie von 292 auf 312 zu bringen: d. h. es müssen 13,3 darin gewesen sein. Nach der Rechnung enthält er indessen 12; und es ist somit klar erwiesen, daß die Verbrennung nicht vollständig und der gesamte Wasserstoff nicht in Verbindung getreten war: denn wir fanden den nicht absorbirten Theil im Rückstand wieder. Noch bemerken wir, daß in allen Fällen, wo die Verbrennung unvollständig blieb, die Entzündung wenig lebhaft war.

Vergleicht man die Wirkung der Electricität bei der Entzündung eines Gemisches von Wasserstoff und Sauerstoff mit der einer hohen Temperatur; so liegt die Vermuthung nahe, daß auch die Entzündung durch den electricischen Schlag von der Hitze herrührt, welche in Folge der plötzlichen Compression entsteht, die der electricische Funke bei seinem

Durchgang erzeugt. In der That wußten wir aus unsern eigenen Versuchen, daß die Entzündung eines Gemenges von Sauerstoff und Wasserstoff durch Erhitzung lediglich von der Temperatur derselben abhängt; denn läßt man dieses Gas-Gemisch sehr langsam durch ein Rohr gehen, das von seinem Ende bis zur Mitte ganz allmählig erwärmt wird, und gestattet den Gasen freie Ausdehnung: so tritt die Entzündung sofort ein, wenn die Temperatur hinreichend sich erhöht hat. Betrachtet man es nun als Thatsache, daß die Entzündung von Wasserstoff und Sauerstoff nur bei einer gewissen Temperatur vor sich geht, so läßt sich leicht übersehen, was bei ihrer Entzündung durch den electricischen Funken geschieht. Wenn dieser durch das Gas-Gemisch fährt, so drängt er bei seinem schnellen Lauf die Gas-Theilchen so, daß es diesen nicht möglich ist die Bewegung so schnell fortzupflanzen, als sie dieselbe empfangen. Daraus entsteht auf einen Augenblick eine sehr starke Compression, durch welche eine Temperatur-Erhöhung erzeugt wird, welche selbst über die zur Verbindung der Gase erforderliche hinausgeht. Ist die Entzündung einmal eingeleitet, so muß sie sich mit großer Schnelligkeit ausbreiten.

Bei dieser Vorstellung von der Wirkungsweise der Electricität glaubten wir, daß, wenn ein schwacher Funke nur eine unvollständige Verbrennung in einem Gemisch aus Sauerstoff und Wasserstoff hervorbringt, ein stärkerer eine vollständigere bewirken würde. Allein, sei es, daß wir keine hinreichend starke Electricität anwandten, oder daß wir unsere Versuche nicht genug vervielfältigten: wir erhielten keine merklichen Unterschiede, mochten wir den Funken eines Electrophors von drei Decimetern Durchmesser oder den Schlag einer stark geladenen Leidener Flasche nehmen. Indessen erlaubte

die Einrichtung unsres Eudiometers nicht, sehr kräftige Funken anzuwenden; und wir müssen daher mit unserem Urtheil über den Einfluß der Stärke der Electricität auf die Entzündung von Wasserstoff und Sauerstoff zurückhalten, bis wir neue Versuche darüber gemacht haben.

Bei dem besprochenen Versuch mit der Entzündung des Gemisches von 900 Theilen Stickstoff, 100 Sauerstoff und 100 Wasserstoff war die Absorption nicht so stark, als sie hätte sein müssen; und wir bewiesen, daß der Rückstand dasjenige enthielt, was der Verbrennung entgangen war: d. h. daß er in 100 Theilen aus 6 Wasserstoff, 8 Sauerstoff und 86 Stickstoff bestand. Da nun die Verbrennung aufhörte, sobald dies Verhältniß eingetreten war, so folgt, daß ein neuer electricischer Funke das Gemisch nicht mehr entzünden kann. Nun aber sind in der Atmosphäre weit weniger als 6 Procent Wasserstoff: mithin kann der Blitz denselben nicht entzünden; oder wenn er es vermöge seiner großen Kraft an dem Ort seines Durchgangs thut, so wird die Entzündung sich nicht fortpflanzen, sondern gewissermaßen nur an den Punkten statt finden, durch welche der Blitz gerade geht. Mithin lassen sich die Feuer-Meteore nicht durch die Entzündung von Wasserstoff durch den Blitz, und mit noch weniger Grund durch schwächere electricische Entladungen erklären. Wären diese Erscheinungen wirklich das Resultat von der Entzündung des Wasserstoffs, so würde daraus folgen, daß in dem Augenblick ihrer Entstehung sich mehr als 6 Procent Wasserstoff in der Luft befinden. Dies ist aber gegen alle Wahrscheinlichkeit: zumal wenn man sich erinnert, daß die in einer sehr großen Höhe aufgefangene Luft bei dem Vergleich mit der von der Erdoberfläche keinen merklichen Gehalt an Wasserstoff zeigte.

Wenn aber jedesmal, wo ein electriccher Funke durch ein nicht entzündbares Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff, oder von Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff geht, wirklich eine örtliche plögliche Erhizung von der durch den electricchen Funken bewirkten Compression entsteht; so wäre es möglich, daß, sobald man eine Reihe von Funken durch eine der gedachten Mischungen gehen läßt, eine kleine locale Entzündung auf der Bahn des Funkens bei jedem Schlage statt fände, und dadurch eine gewisse Menge des in dem vielen Stickstoff und Sauerstoff oder Sauerstoff allein getränkten Wasserstoffs vernichtet würde. Diese Ansicht findet in der bekannten Erscheinung eine Bestätigung, daß Aether und Ammoniak, welche durch Hitze sich zerlegen lassen, wenn man ihre Dämpfe durch ein rothglühendes Rohr leitet, durch wiederholte electricche Schläge ebenfalls zerlegt werden. Es würde auch sehr interessant sein zu versuchen, ob ein geeignetes Gemisch von Wasserstoff und Sauerstoff sich noch entzünden läßt, wenn es durch die Luftpumpe verdünnt ist. Rührt die Entzündung durch den electricchen Funken wirklich von der aus der Compression hervorgegangenen Hitze her, so wird nothwendig auch, wenn die Gase verdünnt sind, die Compression durch den Funken schwächer und die daraus hervorgehende Erhizung geringer sein müssen; auch muß es dann einen Grad der Verdünnung geben, bei welchem eine Entzündung nicht mehr statt finden kann. Es fehlte uns bis jetzt an Zeit diese verschiedenen Versuche zu machen; doch geben wir die Absicht sie anzustellen nicht auf, hoffen vielmehr dies recht bald thun zu können.

Aus dem Bisherigen folgt also: Es giebt zwischen Sauerstoff und Wasserstoff oder zwischen diesen beiden und

Stickstoff Mischungs-Verhältnisse, in denen eine vollständige Verbrennung statt findet. Es giebt andere, in welchen die Verbrennung aufhört, ehe sie vollendet ist; in noch andern kann sie überhaupt nicht vor sich gehen. Der gesammte nicht verbrannte Wasserstoff findet sich im Rückstand wieder. Läßt sich durch den electricchen Funken eine vollständige Entzündung des Wasserstoffs nicht bewirken oder nicht einmal einleiten, so hat man nur die Menge des Sauerstoffs oder Wasserstoffs zu vermehren. Die Feuer-Meteore können nicht von einer Entzündung des Wasserstoffs herrühren, weil in den Regionen, in welche man die wichtigsten versetzt: wie die heftigen und plöglichen Regengüsse, welche zuweilen auf einen Donnerschlag folgen, sich mehr als 6 Procent Wasserstoff befinden müßten, ohne die keine Entzündung geschieht; und auch dann würde nur der Ueberschuß über diesen Gehalt sich entzünden können.

Die Fälle der unvollständigen Verbrennung könnte man nach den Verwandtschafts-Gesetzen erklären: indem man sagt, daß, sobald eines der Gase sehr vorherrscht, es das andere durch seine Verwandtschaft schützen und zum Theil der Verbrennung entziehen kann. Wäre auch diese Verwandtschaft sehr schwach, so ließe sich doch mit Berthollet annehmen, daß die Menge des Gases jene ersetzen kann; und fände sich bei den verschiedenen Gasen eine besondere Eigenschaft die Verbrennung früher oder später zu hemmen, so könnte man dies durch ihre ungleiche Natur erklären. Betrachtet man aber den Fall, wo der Wasserstoff bloß mit Sauerstoff gemischt ist, und macht die Erscheinungen bei seiner Verbrennung mit verschiedenen Sauerstoff-Mengen von der Verwandtschaft abhängig, wie soll man dann den plöglichen Uebergang aus einer constanten Absorption in eine abnehmende erklären:

wenn man zugiebt, daß der Wasserstoff der Verbindung durch Sauerstoff entzogen werden kann, und die Wirkung des letzteren dabei einem regelmäßigen Gesetze folgen soll? Wie ist es zu begreifen, daß diese beiden Gase, nachdem sie sich in den ihrer Verbindung günstigen Umständen befunden haben, dennoch durch ihre Verwandtschaft in dem elastischen Zustand sich erhalten, da sie doch eine viel dichtere Verbindung, das Wasser, bilden könnten? Wie ist es endlich zu begreifen, daß eine Verwandtschaft eine sehr große Verdichtung und Sättigung bewirkt, und dennoch einer Verwandtschaft nachsteht, welche keine Aenderung der Raumverhältnisse beider Gase und keine Sättigung derselben hervorbringt? In welchem Zustand sich auch Sauerstoff und Wasserstoff befinden mögen, so haben sie doch immer denselben Grad der Verwandtschaft, weil dieser nach ihrer Sättigungs-Capacität gemessen wird; der Zustand, worin sie sich befinden, kann ihre Verbindung nur mehr oder weniger begünstigen. Wollte man aber sagen, es besäßen Sauerstoff und Wasserstoff im gasförmigen Zustand eine größere Verwandtschaft als im flüssigen, so hieße dies behaupten: daß sich ihre Theile mehr anziehen, wenn sie weit von einander abstehen, als wenn sie sich sehr nahe sind. Diese Einwürfe gegen eine lediglich auf die Verwandtschaft gegründete Erklärung schienen uns doch von einigem Gewicht; und wir versuchen deshalb eine andere vorzutragen, die nach unserer Ansicht solchen Schwierigkeiten nicht unterworfen ist.

Alle brennbaren Körper verlangen im allgemeinen eine gewisse Temperatur-Erhöhung, um sich mit Sauerstoff zu verbinden. Die Kohle z. B. verwandelt sich nur in Kohlensäure, wenn sie rothglühend ist; und während sie fortfährt zu brennen bei einer hohen Temperatur, wenn man einen

Strom von Wasserdampf auf sie leitet, erlischt sie, sobald sie in kaltes Wasser getaucht wird. Indem wir den Grundsatz festhalten, daß die Körper zum Brennen einer gewissen Temperatur-Erhöhung bedürfen, wollen wir einmal annehmen, es brenne ein Körper in einem gegebenen Volumen atmosphärischer Luft, und die zu seiner Verbrennung nöthige Temperatur werde allein durch die von der Absorption des Sauerstoffs erzeugte Hitze unterhalten; wir wollen ferner die Wärmemenge = 1 setzen, welche zu Anfang der Verbrennung aus der Verdichtung desjenigen Sauerstoffs entsteht, der in einem Cubik-Centimeter Luft enthalten ist; und wollen diejenige Wärme zu $\frac{1}{2}$ veranschlagen, welche während dieser Verdichtung, theils als strahlende Wärme, theils als auf den Stickstoff und andere Körper fortgeleitete, verloren geht, wobei wir das Gesetz ihrer Abnahme hier außer Acht lassen. Mit diesen Voraussetzungen ist klar, daß nach den ersten Augenblicken der Verbrennung die Temperatur des Körpers sich erhöhen muß; in dem Grade aber, als die Sauerstoff-Menge abnimmt und der Stickstoff-Gehalt sich verhältnißmäßig vergrößert, wird auch die Wärme-Mittheilung sich vermindern. Endlich wird ein Punkt kommen, wo der Wärme-Verlust der Wärme-Mittheilung gleich ist; und über diesen hinaus muß die Verbrennung aufhören, weil die Temperatur zu niedrig ist. Der beste Beweis dafür, daß die Verbrennung nur aufhört, weil die Temperatur zu niedrig wird, liegt darin, daß bei einer künstlichen Unterhaltung der hohen Temperatur der Körper zu brennen fortfährt.

Dieselbe Erklärung gilt auch, wenn statt des Stickstoffs schweflige Säure, Wasserstoff, Kohlensäure oder irgend ein anderes Gas mit Sauerstoff gemengt ist; nur kann die

Verbrennung dann früher oder später aufhören als bei Stickstoff. Denn besäße die schweflige Säure oder die Kohlenensäure eine viel größere Wärme-Capacität als der Stickstoff, und man denkt sie sich in demselben Verhältniß wie diesen mit Sauerstoff gemischt; so wird begreiflicherweise der Wärme-Verlust viel größer sein, und folglich muß die Verbrennung früher aufhören. Hätten die Gase aber alle gleiche Wärme-Capacität, so würden sie sämmtlich in derselben Zeit die Verbrennung hemmen, wie wir das ungefähr beim Stickstoff und Sauerstoff mit Wasserstoff gesehen haben; und es ließe sich vielleicht hierdurch die wichtige Frage lösen, ob die Gase gleiche oder verschiedene Wärme-Capacität haben.

Demnach würde ein brennbarer Körper, z. B. Schwefel, nicht deshalb in einem bestimmten Luft-Volum zu brennen aufhören, weil seine Verwandtschaft zum Sauerstoff geringer ist als die des Stickstoffs oder der erzeugten Gase zu demselben; sondern weil die von diesen Gasen absorbirte Wärme, indem sie sich mit dem brennenden Körper in ein Temperatur-Gleichgewicht zu setzen suchen, größer ist als die durch die Bindung des Sauerstoffs erzeugte. Daraus folgt dann, daß die Temperatur bald unter die zur Verbrennung nöthige Höhe sinkt. Man weiß auch in der That, daß der Schwefel in einer Luft, worin er erloschen ist, zu brennen fortfährt, wenn man die Temperatur hinreichend erhöht.

Was bei der augenblicklichen Verbrennung des Wasserstoffs im Volta'schen Cubimeter vorgeht, ist durchaus dem ähnlich, was bei der Verbrennung desselben oder jedes andern Körpers in einem gegebenen Luft-Volum allmählig geschieht. Bringt man eine Lampe mit Wasserstoff-Flamme unter eine Glocke voll Sauerstoffs, so ist die Flamme klein, lebhaft und

etwas gefärbt; ersetzt man den Sauerstoff durch atmosphärische Luft, so wird die Flamme länger, stärker gefärbt und minder lebhaft. Je mehr überhaupt der Sauerstoff-Gehalt abnimmt, desto mehr wächst die Flamme, weil der Wasserstoff genöthigt ist sich in größerer Ferne den Sauerstoff zu suchen; zuletzt wird die Flamme bläulich grün, und verlöscht dann bald, obgleich in der Luft noch einige Procente Sauerstoffs übrig sind. Nicht anders sind die Vorgänge im Volta'schen Cubimeter. So lange das Verhältniß zwischen Sauerstoff und Wasserstoff sich nicht sehr von dem im Wasser entfernt, ist die Flamme, ungeachtet ihrer Ausdehnung, noch sehr lebhaft; mischt man aber z. B. 1000 Theile Sauerstoffs mit 100 Theilen Wasserstoffs, so ist die Flamme schwach, bläulich grün, und der Wasserstoff verbrennt lange nicht vollständig: denn man findet fast zwei Drittheile desselben im Rückstand. Ein neuer Beweis, daß die Verbrennung nur darum unvollständig blieb, weil die Temperatur nicht hoch genug war, liegt aber darin, daß, als wir den Rückstand durch eine rothglühende Porzellan-Röhre gehen ließen, aller Wasserstoff absorbirt wurde.

Wir bemerken noch, daß sich bei der Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff eine ganz eigenthümliche Erscheinung zeigt, welche seit langer Zeit die Aufmerksamkeit von Monge beschäftigt.

Wie geht es zu, sagt dieser berühmte Physiker, daß, wenn man die Temperatur der beiden Gase erhöht, d. h. das Auflösungsmittel vermehrt, die Adhärenz desselben mit seinen Basen vermindert wird? Wir sind weit entfernt bei dem gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse zu glauben, daß sich eine genügende Auskunft hierüber geben lasse, und wollen vielmehr die Aufmerksamkeit der Physiker darauf hinlenken.