

Die industrielle Verwendung des Wasserstoffs ist bisher nicht sehr erheblich. Man braucht ihn zum Füllen von Luftballons, bisweilen auch als Heizgas (siehe später). Die Industrie liefert jetzt bis auf 125 und noch mehr Atmosphären in Stahlflaschen zusammengedrückten Wasserstoff.

Entdeckt wurde der Wasserstoff 1766 von Cavendish.

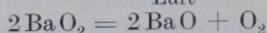
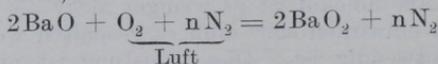
Sauerstoff (Oxygenium) O₂.

Atomgewicht 15,878. Molekulargewicht 31,766 (32).

78. Der Sauerstoff ist das wichtigste der Elemente, die wir auf der Erde antreffen, sowohl seiner Menge wie auch der Rolle nach, die er in einer sehr großen Zahl von Verbindungen spielt. In freiem Zustande findet man ihn in der Luft, von der er $\frac{1}{5}$ des Volumens ausmacht, als Verbindung in den Oxyden (Wasser!) und in den Salzen, deren verbreiteste die Silikate, Sulfate und Karbonate sind.

79. Auf den ersten Blick erscheint es, daß das einfachste Verfahren der Gewinnung dieses Gases darin beruhen wird, ihn aus der Luft abzuscheiden; doch ist man bisher noch nicht so weit gekommen, ein wirklich ökonomisches Trennungsverfahren ausfindig zu machen. Der Zeit nach das erste ist das von Priestley-Lavoisier, das darin besteht, Quecksilber an der Luft auf 350° zu erhitzen. Dabei wird der Sauerstoff vom Quecksilber gebunden; das auf 400° erhitze Quecksilberoxyd zerfällt dann wieder in Quecksilber und Sauerstoff. Dieses Verfahren, das historisch betrachtet von allerhöchster Wichtigkeit ist, ist zu langwierig und kostspielig, um einen praktischen Wert zu besitzen.

Eine industrielle Methode besteht darin, den Sauerstoff durch Baryumoxyd BaO zu binden, das sich dabei in Superoxyd BaO₂ umwandelt, und dann das Bioxyd in Oxyd und Sauerstoff zu zerlegen (Verfahren von Brin).



Das Baryumoxyd wird in eisernen Zylindern auf 500° erhitzt. Man läßt durch die Zylinder komprimierte Luft strömen, die sorgfältig von der darin enthaltenen Kohlensäure befreit ist. Der Sauerstoff wird gebunden, der Stickstoff entweicht. Ist die Umwandlung des Oxyds in Bioxyd genügend weit vorgeschritten, so stellt man den Luftstrom ab, und, ohne die Temperatur zu erhöhen, pumpt man die Zylinder mit Hilfe von Saug- und Druckpumpen aus.

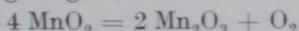
Unter dem Einfluß der Druckverminderung zerfällt das Bioxyd in Baryumoxyd und Sauerstoff. Dieser wird in Gasometern angesammelt, dann in stählernen Flaschen bis auf 120 Atmosphären zusammengedrückst. In dieser Form kommt er in den Handel. Das regenerierte Baryumoxyd kann fast unbeschränkt oft benützt werden.

Diese Darstellung gibt ein neues Beispiel einer reversiblen Reaktion. In Gegenwart von komprimierter Luft bindet das Baryumoxyd den Sauerstoff, den es wieder abgibt, wenn der Druck genügend weit heruntergeht. Also hier bestimmt der Druck des Sauerstoffs den Verlauf der Reaktion.

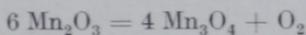
Ein zweites Verfahren, den Sauerstoff der Luft abzuscheiden, beruht auf der Verschiedenheit der Siedepunkte des Sauerstoffs und Stickstoffs (Verfahren von Linde). Verflüssigte Luft (vgl. später) wird einer fraktionierten Destillation unterzogen. Stickstoff, der bei $-194,4^{\circ}$ siedet, verdampft zuerst; Sauerstoff, dessen Siedepunkt 10° höher liegt, bleibt zurück. Man kommt zu einem bis 90 %igen Gase. Auch auf dieses Verfahren wird noch zurückzukommen sein.

80. Man kann den Sauerstoff auch durch Elektrolyse des Wassers darstellen (vgl. 68). Dieses Verfahren wird tatsächlich in der Industrie durchgeführt; der dabei erhaltene Sauerstoff enthält oft kleine Mengen von Wasserstoff.

Gewisse Metalloxyde zerfallen bei dem Erhitzen in Sauerstoff und sauerstoffärmere Oxyde. Das gilt z. B. für das Mangansuperoxyd MnO_2 . Bei Dunkelrotglut gibt es nach der Gleichung

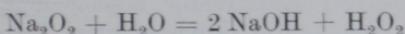


$\frac{1}{4}$ seines Sauerstoffs ab. Bei heller Rotglut zersetzt sich Mn_2O_3 seinerseits weiter

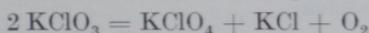


Führt man beide Umsetzungen auf einmal durch, so kann man bis zu $\frac{1}{3}$ des vorhandenen Sauerstoffs abscheiden. Die Methode, die nicht mehr benützt wird, hat die Unannehmlichkeit an sich, ein Mangan-oxyd zurückzulassen, das sich nicht in Bioxyd zurückverwandeln läßt.

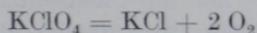
Man kann Sauerstoff durch Einwirkung von Wasser auf Natrium-superoxyd darstellen.



81. In den Laboratorien stellt man den Sauerstoff durch Erhitzen von chlorsaurem Kalium $KClO_3$ her. Bei dem Erhitzen schmilzt dieses Salz bei 334° ; gegen 360° zersetzt es sich gemäß der Gleichung



wobei Kaliumchlorid und Kaliumperchlorat entstehen und der dritte Teil des darin enthaltenen Sauerstoffs frei wird. Bei noch höherer Temperatur wird das Perchlorat seinerseits zersetzt



Demnach erhält man den gesamten Sauerstoff des Salzes. Die Zersetzung des chlorsauren Kaliums ist ein exothermischer Vorgang.

Gewisse Verbindungen bilden sich (v. 17) unter Verbrauch von Energie. Wird ein derartiger Körper zersetzt, so wird die bei der Bildung verbrauchte Energie wieder frei. So verhält es sich auch mit dem Kaliumchlorat. Erhitzt man dieses Salz auf eine geeignete Temperatur, so beginnt die Zersetzung und die freiwerdende Wärme ruft die Umwandlung der benachbarten Teile hervor.

So hat die Geschwindigkeit der Umsetzung das Bestreben immer größer zu werden, und wenn man mit etwas größeren Mengen Chlorats arbeitet, kann die Sauerstoffentwicklung in explosivartiger Form vor sich gehen.

82. Setzt man dem Kaliumchlorat Mangandioxyd, Eisen- oder Kupferoxyd zu, so beobachtet man die Zersetzung des Salzes bei 280°, also bei einer erheblich niedrigeren Temperatur als wenn es für sich allein erhitzt wird. Die Zersetzung ist dann viel gleichmäßiger und die Temperatur, bei der man arbeitet, niedriger, daher ist auch der Verlauf der Umsetzung bei weitem nicht so heftig. Außerdem geht dann das Chlorat auch nicht in Perchlorat über, das nur bei einer Temperatur über 352° entsteht.

Dies Mangandioxyd wird bei dieser Reaktion nicht angegriffen; man findet es am Schluß vollständig wieder. Wir stehen hier also einem chemischen Vorgang gegenüber, der durch einen Körper verursacht wird, der sich selbst nicht verändert, und dessen alleinige Gegenwart genügt, um die Umsetzung eines anderen zu erzielen. Es handelt sich hier nicht um einen seltenen Fall; man kennt zahlreiche Beispiele chemischer Umsetzungen, die durch die bloße Gegenwart eines anderen Körpers hervorgerufen werden, ohne daß dieser etwa daran teilnimmt; im Gegenteil, nach Beendigung der Reaktion ist er unverändert vorhanden. Einen Körper dieser Art bezeichnet man als einen katalytischen oder Katalysator, als Katalyse oder katalytischen Vorgang die durch ihn hervorgerufene Umwandlung. Ebenso hat man Stoffe gefunden, deren Anwesenheit mehr oder minder vollständig eine Reaktion zu lähmen vermag. Das sind negative Katalysatoren, während das Mangandioxyd die Rolle eines positiven Katalysators bei der Zersetzung des chloresauren Kalis spielt.

Die Katalysatoren ändern die Geschwindigkeit einer chemischen Umsetzung; ein positiver Katalysator beschleunigt sie; er gestattet daher, sie bei einer Temperatur durchzuführen, bei der sie ohne seine Beihilfe nicht mit wahrnehmbarer Geschwindigkeit verlaufen würde. Seine Tätigkeit kommt also einer Temperaturerhöhung gleich, hat aber dieser gegenüber den Vorteil, keine sekundäre oder gar störende Umsetzung zu verursachen.

So zerfällt in dem vorliegenden Falle Kaliumchlorat bei 280° in Gegenwart von Mangandioxyd, während ohne dieses die Temperatur zur Zersetzung auf 360° steigen müßte. Aber diese weitere Temperaturerhöhung von 80° hat die Unannehmlichkeit, die Bildung des Perchlorates zu verursachen, ein Vorgang, auf den die Anwesenheit des Mangandioxyd keinen beschleunigenden Einfluß ausübt. In Gegenwart des Katalysators findet also keine nennenswerte Bildung von Perchlorat statt.

Bisweilen könnte das System, dessen Bildung man beschleunigen will, ohne Vernichtung gar nicht die Temperaturerhöhung vertragen, die für eine hinreichend schnelle Umsetzung nötig wäre; in diesem Falle ist die Beihilfe eines positiven Katalysators unumgänglich notwendig. Ein Beispiel dafür werden wir bald bei den Hypochloriten kennen lernen.

Negative Katalysatoren verringern die Geschwindigkeit einer Umsetzung; ihr Einfluß kommt dem einer Temperaturniedrigung gleich.

Im Laufe der letzten Jahre hat das Studium der katalytischen Vorgänge sehr große Fortschritte gemacht und häufig hat man ihren Mechanismus erkennen können; häufig konnte man aber auch keine befriedigende Erklärung geben, so besonders auch in der uns hier beschäftigten Reaktion.

Die Zersetzung des Kaliumchlorats in Gegenwart von Mangandi-oxyd bildet den üblichen Weg der Sauerstoffdarstellung in den Laboratorien. Man arbeitet mit eisernen Röhren, in denen die Mischung ausgebreitet ist, die man fortschreitend erhitzt (Figur 12).

83. Der Sauerstoff ist farb-, geruch- und geschmacklos. Seine Dichte ist 1,1056. In Wasser ist er nur wenig löslich; bei 0° und Atmosphärendruck löst ein Volumen Wasser 0,04 Volumina Gas.

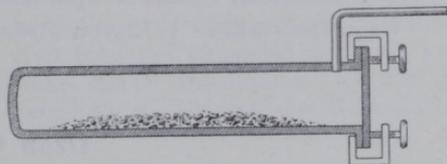


Fig. 12.

Dank dieser Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser vermögen die Wassertiere zu atmen.

Der Sauerstoff läßt sich nur schwierig verflüssigen; seine kritische Temperatur liegt bei $-118,9^{\circ}$. Bei Atmosphärendruck siedet er bei $-182,9^{\circ}$. In flüssigem Zustande ist er hellblau gefärbt; seine Dichte beträgt 1,135 bei -182° . Der Sauerstoff ist für das Leben unentbehrlich. Er ist der wichtigste Bestandteil der Luft, den wir bei der Atmung absorbieren. Er wird vom Hämoglobin (dem Farbstoff des Blutes) in Form einer unbeständigen Verbindung, als Oxyhämoglobin, gebunden. Diese wird im Blutkreislauf zu den Geweben gebracht und gibt den Sauerstoff ab. Dadurch erleiden die Gewebe Oxydationen, die die Hauptquellen der vom Körper in Form von Wärme und Arbeit aufgewendeten Energie sind. Interessanterweise wirkt Sauerstoff unter einem Druck von drei Atmosphären eingatmet giftig.

Der Sauerstoff ist auch das wesentliche Element jeder Verbrennungserscheinung. Daher bildet die im Sauerstoff der Atmosphäre aufgespeicherte chemische Energie die Quelle jeder in unseren Wärmemotoren (Gas oder Dampf) entwickelten kinetischen Energie.

Der reine Sauerstoff unterhält die Verbrennung viel energischer als die Luft, in der er mit dem Vierfachen seines Gewichtes an indifferentem Gas vermischt vorkommt. Wir sahen schon, daß eine glimmende Kohle sich wieder entzündet und mit hellem Glanz im Sauerstoff verbrennt. Phosphor verbrennt darin mit blendender Flamme.

Trotz seiner Verwandtschaft zu den meisten Elementen gibt es doch nur wenige, mit denen der Sauerstoff sich ohne weiteres in der Kälte vereinigt. In der Wärme hingegen vereinigt er sich direkt mit allen, mit Ausnahme der Edelgase, des Goldes, des Chlors, Broms und Fluors. Fluor und die Edelgase sind die einzigen Körper, von denen Verbindungen mit dem Sauerstoff unbekannt sind.

Die Industrie liefert Sauerstoff in Stahlflaschen auf 120 und mehr Atmosphären komprimiert. Das Arbeiten mit diesen Flaschen erfordert eine gewisse Vorsicht. Das Ausflußventil darf nur allmählich, nicht plötzlich geöffnet werden. Es darf nie eingefettet werden, weil Fett in Berührung mit dem stark zusammengepreßten Sauerstoff sich entzünden kann. Diese Verbrennung ruft dann eine Entzündung des Eisens hervor und die Ausdehnung des Sauerstoffs unter dem Einfluß der enormen Temperaturerhöhung verursacht die Explosion der Flasche.

Sauerstoff kommt in der Medizin zur Verwendung; komprimierten Sauerstoff braucht man zur Speisung gewisser Lötapparate. Sauerstoff wurde 1772 von Priestley entdeckt.

Ozon O_3 .

Molekulargewicht 47,63.

84. Das Ozon ist eine zweite Erscheinungsform des Sauerstoffs; es liefert das erste Beispiel für die allotropische Modifikation eines Elementes. Die Eigenschaft, in mehreren verschiedenen Zuständen vorzukommen, beruht darauf, daß die Zahl der Atome, die das Molekül eines einfachen Elementes bilden, wechselt (vgl. 39).

Das Ozon entsteht:

1. Durch den Durchgang des elektrischen Funkens durch Sauerstoff oder Luft. Viel kräftiger wirkt die elektrische stille Entladung oder der dunkle Funken. Es kommt im wesentlichen

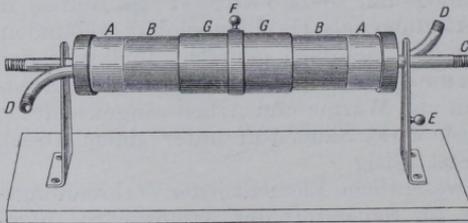


Fig. 13.

darauf an, eine größere Temperaturerhöhung zu vermeiden, die die Zersetzung des Ozons verursacht. Der dazu dienende Apparat ist in Figur 13 dargestellt. Der Sauerstoff tritt durch C in die Röhre A ein, in deren Innern sich ein Metallzylinder B befindet. Auf der Außenseite der Röhre A befindet sich gleichfalls eine metallische Fassung G. Diese beiden Metallstücke B und G sind mit den Polen einer Induktionsrolle verbunden. Die elektrische Entladung strömt durch den Sauerstoff hindurch, der teilweise in Ozon umgewandelt wird. Die höchste Ausbeute kann dann 13⁰/₁₀₀ betragen, wenn man das Gas genügend langsam durch zehn Ozonisatoren hintereinander strömen läßt. Je niedriger die Temperatur ist, desto höher die Ausbeute. Einige Körper wirken hierbei als negative Katalysatoren, vor allem der Wasserdampf.

Die Radiumstrahlen verwandeln auch teilweise den Sauerstoff in Ozon.