

det, wenn man ein Gemenge von Sauerstoff und Schwefelkohlenstoff mit einem brennenden Körper berührt, bringt man in eine mit Sauerstoffgas gefüllte Zweipfund-Flasche einige Tropfen Schwefelkohlenstoff, verschliesst hierauf die Flasche mit dem Kork, schüttelt tüchtig, umwickelt sie hierauf sehr sorgfältig bis zum Halse herauf mit einem starken Tuche, befestigt einen brennenden Spahn an einem Stocke, öffnet den Kork, und führt den brennenden Spahn in die Mündung der Flasche. Die Explosion erfolgt augenblicklich und ist gewöhnlich so heftig, dass das Tuch gewaltsam zerrissen und die Flasche in viele Stücke zertrümmert wird.

Dieser Versuch ist daher nur mit grosser Vorsicht anzustellen.

O z o n.

Eigen-
schaften.

Das Ozon
ist eine allo-
tropische
Modifica-
tion des
Sauerstoffs.

Eigenschaften. Das bei der Elektrolyse des Wassers erhaltene Sauerstoffgas, sowie auch solches, durch welches man zahlreiche elektrische Funken schlagen liess, oder besser noch, durch welches stark gespannte Elektrizität ohne Funkenbildung geht, enthält eine gewisse Menge eines Körpers beigemengt, der sehr merkwürdige Eigenschaften besitzt und nach den bisher darüber angestellten Beobachtungen eine allotropische Modification des Sauerstoffs ist. Derselbe Körper bildet sich auch unter verschiedenen Bedingungen, wenn man die Imponderabilien und einige chemische Agentien auf atmosphärische Luft einwirken lässt, aber auch hier nur in sehr geringer Menge.

und wirkt
bei gewöhn-
licher Tem-
peratur
energisch
oxydierend.

Das Ozon weicht in seinen Eigenschaften von dem gewöhnlichen Sauerstoff in sehr bemerkenswerther Weise ab. Seine bis nun mit Sicherheit festgestellten Eigenschaften sind folgende: Das Ozon besitzt einen charakteristischen und sehr durchdringenden Geruch, es reizt, einathmet, die Respirationsorgane sehr heftig und erregt Husten, es ist überhaupt sehr giftig und tödtet kleinere Thiere rasch, vor Allem aber ist es dadurch ausgezeichnet, dass es das energischste Oxydationsmittel ist, was wir kennen. Während der gewöhnliche Sauerstoff sich meist erst bei höherer Temperatur mit anderen Körpern chemisch vereinigt, wirkt das Ozon schon bei gewöhnlicher Temperatur und bei blosser Berührung energisch oxydierend und führt die meisten Körper dabei in die höchste Oxydationsstufe über, die sie überhaupt bilden können. So wird Silber dadurch in Silbersuperoxyd, Phosphor in Phosphorsäure, Arsen in Arsensäure, Schwefel, Schwefelwasserstoff und schweflige Säure in Schwefelsäure, Blei und Bleioxyd in Bleisuperoxyd, Manganoxydul in Mangan-superoxyd, Schwefelblei in schwefelsaures Bleioxyd, Ammoniak in salpetersaures Ammonium u. s. w. verwandelt. Das Ozon macht ferner aus Jodkalium Jod frei, was am einfachsten daraus erhellt, dass mit Jodkaliumlösung bereiteter Stärkekleister bei Gegenwart von Ozon sich sofort aufs Tiefste bläut. Das durch Ozon aus dem Jodkalium in Freiheit gesetzte Jod vereinigt sich nämlich mit dem Stärkemehl zu einem blauen Körper: der Jodstärke. Mit Jodkaliumkleister bestrichene Papierstreifen

führen den Namen Ozonometer und sind das empfindlichste Reagens auf Ozon, welches aber in allen jenen Fällen unanwendbar ist, wo andere Jod aus Jodkalium abscheidende Substanzen zugegen sind. Auch viele organische Körper werden durch Ozon sehr energisch oxydirt und unter Umständen förmlich verbrannt, d. h. in die einfachsten Verbindungen verwandelt, andere werden dadurch in einer bestimmten, bei einem gewissen Punkte stehenbleibenden Weise verändert. Guajakinctur wird dadurch gebläut, organische Farbstoffe aber, so namentlich Indigolösung, werden sehr rasch gebleicht. Es ist das Ozon ein sehr energisches Bleichmittel, eben in Folge seiner oxydierenden Wirkungen. Alle diejenigen Substanzen, die sich durch Ozon oxydiren, entozonisiren die ozonisirte Luft, d. h. sie nehmen das Ozon auf und die rückständige Luft enthält nun den gewöhnlichen Sauerstoff.

Ozono-
meter.

Ozon ist ein
kräftiges
Bleich-
mittel.

Das Ozon besitzt ferner eine grössere, nach allerdings nur indirecten Beobachtungen eine $1\frac{1}{2}$ mal grössere Dichtigkeit, als gewöhnlicher Sauerstoff und ist demnach als verdichteter Sauerstoff zu betrachten. Wird eine gegebene Volumensmenge gewöhnlichen Sauerstoffs ozonisiert, so nimmt das Volumen desselben ab und zwar ist die Grösse der Contraction proportional der Stärke der Ozonisation. Behandelt man den ozonisirten Sauerstoff mit Jodkalium, so verschwindet das Ozon daraus ohne Volumensverminderung.

Durch Glühhitze wird das Ozon zersetzt, es bleibt gewöhnlicher Sauerstoff zurück. Hierbei findet wieder eine Volumensvergrößerung statt, welche so viel als das Volumen desjenigen Sauerstoffs beträgt, den er ozonisiert, an Jodkalium abgeben kann. Mit anderen Worten: das Volumen des entozonisirten Sauerstoffs ist gleich dem Volumen des Sauerstoffs vor der Ozonisation.

Das Ozon wird endlich auch noch durch gewisse Hyperoxyde, wie Wasserstoffsperoxyd, Blei- und Baryumhyperoxyd zerstört, wobei diese letzteren in einfache Oxyde verwandelt werden, während gewöhnlicher Sauerstoff entweicht.

Vorkommen. Geringe Mengen von Ozon nimmt man in der atmosphärischen Luft an; der Gehalt derselben an Ozon ist übrigens jedenfalls sehr gering, sehr schwankend und wie es scheint, von Jahreszeit, Temperatur, elektrischer Spannung und anderen Momenten abhängig.

Vorkom-
men.

Bildung. Von einer Darstellung reinen Ozons kann nicht die Rede sein, da eine Methode, sich diesen merkwürdigen Körper in erheblicher Menge zu verschaffen, noch fehlt. Man kann gewöhnlichen Sauerstoff oder auch wohl atmosphärische Luft mit den wirksamsten Ozonisationsmitteln behandeln und immer wird nur eine relativ geringe Menge von Sauerstoff in Ozon verwandelt sein. Schafft man das gebildete Ozon immer wieder fort, so kann man allerdings allen Sauerstoff bis auf das letzte Theilchen in Ozon verwandeln, allein das Fortschaffen besteht eben nur in der Entozonisation, in der Verwendung des Ozons und so lässt sich

Bildung.

darauf keine Methode der Darstellung gründen. Wenn Sauerstoff so stark wie möglich ozonisirt ist, enthält er im günstigsten Falle 5 Proc. dieses Körpers. Die Unmöglichkeit, Ozon sich in grösserer Menge zu verschaffen, ist der Grund, warum die Eigenschaften des reinen Ozons eigentlich noch gar nicht bekannt sind und sich alle Angaben nur auf Gemenge von gewöhnlichem Sauerstoff und geringen Mengen Ozon beziehen. Das, was wir von den Eigenschaften derartiger Gemenge kennen, berechtigt uns aber anzunehmen, dass das Ozon im reinen Zustande grossartige Wirkungen hervorbringen müsste.

Ozon bildet sich auf elektrischem, elektrolytischem und chemischem Wege.

Die Bildungsweisen des Ozons sind sehr mannigfach; es kann nämlich das Ozon auf elektrischem, auf elektrolytischem und auf chemischem Wege erzeugt werden. Lässt man durch reines Sauerstoffgas zahlreiche elektrische Funken aus einer kräftigen Elektrirmaschine schlagen, so zeigt das Sauerstoffgas bald den charakteristischen Geruch des Ozons und bläut Jodkaliumstärke merklich. Eine viel kräftigere Wirkung erzielt man aber, wenn man den Inductionsstrom unter starker Spannung, durch Sauerstoff ohne Funkenentladung gehen lässt, um alle starke Licht- und Wärmeentwicklung, welche zerstörend auf das Ozon wirkt, zu vermeiden. Auf elektrolytischem Wege bildet sich Ozon durch Zersetzung von mit Schwefelsäure angesäuertem Wasser, mittelst eines galvanischen Stroms: das am positiven Pole sich ausscheidende Sauerstoffgas zeigt Geruch und Eigenschaften des Ozons. Auf chemischem Wege erhält man Ozon, indem man Phosphor bei Gegenwart von etwas Wasser mit atmosphärischer Luft in Berührung bringt, oder indem man trockenes übermangansaures Kalium oder auch wohl Baryumsuperoxyd mit Schwefelsäure vermischt. Der schon bei gewöhnlicher Temperatur entweichende Sauerstoff ist stark ozonisirt. Ozon bildet sich ferner bei langsamen Verbrennungen verschiedener Körper und vielleicht bei allen Oxydationen, die bei nicht zu hoher Temperatur vor sich gehen. Manche Körper, insbesondere organische, wie Terpentinöl und andere ätherische Oele, haben ferner die merkwürdige Eigenschaft, bei längerer Berührung mit Luft, namentlich unter dem Einflusse des Lichts, sich mit Sauerstoff zu beladen, selben, ohne sich mit ihm chemisch zu verbinden, zu ozonisiren und ihn an andere oxydable Körper wieder abzugeben. Diese Körper wirken also oxydirend und rufen alle charakteristischen Erscheinungen des ozonisirten Sauerstoffs hervor. Man nennt solche Körper Ozonträger. Sie geben zuweilen ihren Sauerstoff ohne Weiteres an oxydirbare Körper ab, zuweilen aber erst unter Mithilfe eines dritten, der ihn von dem einen Körper auf den anderen gewissermaassen überträgt. Solche übertragende Körper sind meist organische, worunter insbesondere die Blutzellen zu erwähnen sind; es gehören dazu aber auch anorganische, wie z. B. Platin, als Platinmohr oder Platinschwamm und Eisenoxydulsalze. Die physiologische Bedeutung dieser höchst merkwürdigen Thatsachen kann erst in der physiologischen Chemie erörtert werden.

Ozonträger

und Ozon übertragende Körper.

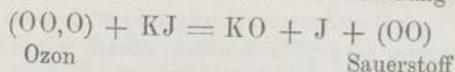
Geschichtliches. Das Ozon wurde von Schönbein 1840 entdeckt, in welchem Jahre er zeigte, dass der sogenannte elektrische Geruch von einer eigenthümlichen gasförmigen Materie herrühre, die auch bei der Elektrolyse des Wassers erzeugt werde. Seit jener Periode hat Schönbein sich unablässig mit diesem Gegenstande beschäftigt und die wichtigsten Thatsachen ermittelt; so hat er namentlich auch die Beziehungen des Ozons zu den Ozonträgern und letzterer zu den übertragenden Körpern entdeckt. Schönbein betrachtet das Ozon als polarisirten Sauerstoff und zwar als die negativ-active Modification desselben. Nach ihm ist der gewöhnliche inactive Sauerstoff: negativer + positiver Sauerstoff, die sich zu inactivem ausgeglichen haben, ebenso wie sich + und — Electricität zu dem sogenannten unelektrischen Zustande ausgleichen. In den Oxyden ist der Sauerstoff theils als negativ-activer enthalten, theils als positiv-activer; der negativ-activen Modification giebt er das Symbol \ominus oder \bar{O} ; der positiven, welche er auch wohl Antozon nennt, das Symbol \oplus oder \bar{O} . Dem entsprechend nennt er die Oxyde Ozonide oder Antozonide, je nachdem sie nach seiner Ansicht den Sauerstoff in der negativ- oder positiv-activen Modification enthalten. So wären nach Schönbein die Uebermangansäure und die Untersalpetersäure Ozonide und er schreibt ihre Formeln $Mn_2O_2\bar{O}_5$ und NO_2, \bar{O}_2 , indem er annimmt, dass von den 7 Aequivalenten Sauerstoff der Uebermangansäure 5 Aeq. und von den 4 Aeq. der Untersalpetersäure 2 Aeq. negativ activ seien, — das Wasserstoff-, Baryum- und Bleisuperoxyd dagegen wären Antozonide, sie enthielten 1 Aeq. Sauerstoff in der positiv activen Modification. Dies erklärt nach Schönbein die Thatsache, dass Ozon, nach ihm negativer Sauerstoff, durch Zusammenbringen mit den oben genannten Superoxyden sofort zerstört wird, indem gewöhnlicher Sauerstoff entweicht (durch Vereinigung des negativen mit dem positiven entstanden), während die Superoxyde in niedrigere Oxyde verwandelt sind. Schönbein und Meissner wollen das Antozon \bar{O} auch im ungebundenen Zustande durch Behandlung von Baryumsuperoxyd mit Schwefelsäure erhalten haben und Meissner wies nach, dass beim Elektrisiren des gewöhnlichen Sauerstoffs neben Ozon eine Materie erzeugt wird, die mit dem chemisch entwickelten Antozon Schönbein's in ihren Eigenschaften übereinstimmt und die besonders dadurch charakterisirt ist, dass sie Wasserdampf zu Nebel zusammenzieht; allein es erscheint vorläufig dieser Gegenstand noch so wenig reif zu einer elementaren Darstellung und ist namentlich die Existenz des Antozons so zweifelhaft geworden, dass ein näheres Eingehen auf denselben hier kaum am Platze wäre. Nach neueren wichtigen Untersuchungen von v. Babo und Claus, Andrews und Tait und Soret ist es nicht mehr länger zu bezweifeln, dass das Ozon wirklich eine allotropische Modification des Sauerstoffs ist und zwar nimmt man auf Grund der bei der Ozonisation und Desozonisation stattfindenden Volumensveränderungen an, das Ozon sei ein aus drei Atomen Sauerstoff

Geschichtliches.

Ozon und Antozon. Ozonide und Antozonide.

bestehendes Sauerstoffmolekül, während ein Molekül gewöhnlichen Sauerstoffs aus zwei Atomen bestände. Die Formel des Sauerstoffmoleküls wäre demnach OO , jene des Ozons OO_3 . Die Thatsache, dass bei der Ozonisation 3 Vol. Sauerstoff zu 2 Vol. Ozon werden, entspricht dieser Hypothese.

Ebenso stimmt mit dieser Voraussetzung, d. h. mit der Voraussetzung, dass im Ozon ein ihm gleiches Volumen gewöhnlichen Sauerstoffs enthalten sei, der Umstand, dass bei der Einwirkung des Jodkaliums, welches das Ozon aufnimmt, keine Volumensveränderung eintritt:



Die nachfolgenden theoretischen Betrachtungen werden das Verständniss dieser Theorie erleichtern.

Chemische Technik und Experimente.

Das zweckmässigste Verfahren, um Luft auf chemischem Wege möglichst stark zu ozonisiren, ist folgendes:

In eine kleine zweihalsige Wulf'sche Flasche bringt man 2 Thle. völlig trockenes übermangansaures Kalium und fügt durch eine Trichterröhre allmählich 3 Thle. reine concentrirte Schwefelsäure hinzu. Das entwickelte stark ozonisirte Sauerstoffgas kann über Wasser aufgefangen, oder wohl auch bis auf den Boden einer leeren Flasche geleitet werden.

Zur Ozonisation von Luft durch Phosphor verfährt man folgendermaassen: In einen Ballon, wie er zur Versendung von Schwefelsäure verwendet wird, von der in Fig. 169 abgebildeten Form und etwa 30 Liter Capacität, bringt man ein paar

Fig. 169.



Stücke Phosphor von reiner Oberfläche und so viel laues Wasser, dass der Phosphor nur zur Hälfte mit Wasser bedeckt ist. Man verschliesst die Mündung der Flasche lose mit einem Stöpsel und überlässt nun das Ganze bei einer Temperatur von 16° bis 20° C. mehrere Stunden sich selbst. Nach Verlauf dieser Zeit ist die Luft des Ballons so stark ozonisirt, dass ein feuchtes Jodkaliumstärkepapier, in den Ballon eingeführt, augenblicklich schwarzblau wird. Für Collegienversuche mit Ozon eignen sich vorzugsweise nachstehende Versuche: Ein mit Bleioxydhydrat bestrichener Papierstreifen wird durch Einwirkung von Ozon braun, ebenso ein mit Manganoxydulauflösung getränkter, ein mit Schwefelblei braungefärbter wird gebleicht, Indigolösung entfärbt und Guajactinctur gebläut, ein feuchtes blankes Silberblech bedeckt sich allmählich mit einer schwarzen Kruste von Silbersuperoxyd (letzterer Versuch verlangt einige Zeit).

Die rasche Uebertragung des Ozons von sogenannten Ozonträgern auf dritte Körper durch Vermittelung von Platinmohr, Eisenvitriollösung oder Blutkörperchen lässt sich durch sehr schlagende Versuche veranschaulichen.

Löst man in einigen Grammen Guajakinctur zwei oder drei Tropfen stark ozonisirten Terpentinöls auf, was man erhält, indem man Terpentinöl namentlich zur Winterszeit unter häufigem Schütteln dem Sonnenlichte aussetzt und daran erkennt, dass solches Oel die Korkstopfen ähnlich dem Chlor bleicht, — so bläut sich die Guajakinctur nicht, beinahe augenblicklich aber, wenn man etwas Platinmohr, Eisenvitriollösung oder Blutkörperchenlösung zufügt. Ozonisirtes Terpentinöl bleicht zwar beim Schütteln Indigolösung, aber ziemlich langsam, nach Zusatz von Blutkörperchen, Eisenvitriollösung oder Platinmohr aber tritt sofort vollständige Entfärbung ein. Aehnlich verhalten sich ozonisirter Aether und Bittermandelöl.