ARCHIV DER PHARMACIE.

CXVII. Bandes drittes Heft.

Erste Abtheilung.

I. Physik, Chemie und praktische Pharmacie.

Ueber das Ozon;

von

Professor C. F. Schoenbein.

Den Wünschen des Hrn. Prof. Wackenroder entsprechend, stelle ich für das Archiv der Pharmacie im Nachstehenden das Thatsächliche zusammen, was bis jetzt über das Ozon bekannt geworden ist.

Physikalische Eigenschaften. Da es noch nicht gelungen ist, das Ozon anders als mit Sauerstoffgas, atmosphärischer Luft oder Knallgas vermengt zu erhalten, so lässt sich auch über dessen Cohäsionsverhältnisse, specif. Gewicht u. s. w. nichts sagen; aus dem Umstande indessen, dass selbst in der stärksten Kälte die genannten ozonhaltigen Gase immer noch riechen und die unten erwähnten chemischen und Volta'schen Reactionen zeigen, lässt sich auf die Luftförmigkeit des Ozons schliessen und vermuthen, dass es eine eben so beständige Gasart, als der Sauerstoff selbst sei.

Volta'sches Verhalten. In elektromotorischer Hinsicht hat das Ozon die grösste Aehnlichkeit mit dem Chlor, Brom, Jod und den Superoxyden des Silbers, Bleies und Mangans: es ist eminent elektronegativ; denn wird ein reiner Platinstreifen nur einige Secunden in ozonhaltige Luft gehalten, so erscheint er negativ polarisirt.

Physiologische Eigenschaften. Das Ozon riecht eigenthümlich, daher sein Name. Stark mit Sauerstoffgas oder atmosphärischer Luft verdünnt, besitzt es ganz und gar den sogenannten elektrischen Geruch; möglichst concentrirt riecht es chlorähnlich. Stark ozonisirte Luft eingeathmet, behellt bald das Athmen, veranlasst eine Art von Enghrüstigkeit und verursacht katarrhalische Affectionen. Kleine Thiere sterben bald in solcher Luft, weshalb es keinem Zweifel unterworfen ist, dass das reine Ozon höchst giftig und zerstörend auf den thierischen Organismus einwirken würde.

Chemische Eigenschaften. Das Ozon ist das kräftigste aller bekannten oxydirenden Agentien, da es bei gewöhnlicher Temperatur die Mehrzahl der der Sauerstoffaufnahme fähigen Körper oxydirt.

Die wichtigeren Reactionen sind folgende:

1) Das Ozon oxydirt schon in der Kälte den Phosphor erst zu phosphoriger Säure und dann zu Phosphorsäure, wobei in der Dunkelheit eine Entwicklung von Licht bemerkt wird; je nach der schwächeren oder stärkeren Concentration des Ozons entbindet sich gleichzeitig auch weniger oder mehr Wärme. Im reinen Ozongas würde sich ohne Zweifel der Phosphor, wie im Chlorgas bei gewöhnlicher Temperatur entzünden, was in der That auch schon in atmosphärischer Luft geschieht, die möglichst stark mit Ozon beladen ist. Wie weiter unten gezeigt werden soll, beruht die schon so lange bekannte langsame Verbrennung, welche der Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur in atmosphärischer Luft erleidet, darauf, dass der Sauerstoff derselben erst in Ozon verwandelt wird, bevor er den Phosphor oxydirt.

2) Mit Chlor, Brom und Jod geht das Ozon Verbindungen ein, die nicht sauer, aber eminent bleichend sind, grosse Aehnlichkeit mit dem Chlorjod, Bromjod u. s. w. haben, übrigens noch genauerer Untersuchung bedürfen. Das Ozonjod ist in der Kälte eine gelblich-weiße krystallinische Substanz, die sich aber schon bei gewöhnlicher Temperatur rasch verflüchtigt, deren Dampf die Augen

stark reizen und wie Chlorjod riechen — Beim Behandeln des festen oder dampfförmigen Ozonjods mit Wasser bildet sich Jodsäure unter Ausscheidung von Jod, woraus erklärlich wird, dass durch Jod gebräuntes Wasser beim Schütteln mit stark ozonisirter Luft sich sofort entfärbt unter Bildung von Jodsäure und Verschwinden des Ozons. Alle Substanzen, welche Ozon aufnehmen, d. h. leicht oxydirbar sind, scheiden aus dem Ozonjod augenblicklich Jod aus, gerade so wie dieselben Substanzen aus dem Chlorjod und Bromjod das Jod frei machen, indem sie sich mit dem Chlor oder Brom der genannten Verbindungen vereinigen.

Durch folgende Versuche lässt sich dieses Verhalten bequem zeigen. Man tränkt Streifen weissen Filtrirpapiers mit Jodtinctur, lässt dieselben nahezu trocken werden und führt sie dann in eine grössere Flasche ein, die möglichst stark ozonisirte Luft enthält. Die braunen Streifen bleichen sich darin rasch aus, und ist dies geschehen, so bestreicht man sie mit Phosphor oder Zink, Cadmium, Eisen, Kupfer u. s. w., oder führt dieselben einen Augenblick in eine Flasche ein, deren Luft mit etwas gasförmiger, schwefliger Säure geschwängert ist. Unter diesen Umständen bräunt sich das Papier wieder weil das Ozon des noch an den Streifen haftenden Ozonjods vom Phosphor, Zink u. s. w. aufgenommen und das Jod frei wird. Sind die so gebleichten Streifen nur kurze Zeit in der freien Luft gelegen, so haben sie ihren widrigen Geruch, wie auch die Fähigkeit verloren, durch Phosphor u. s. w. wieder gebräunt zu werden; das Ozonjod ist nun verflüchtigt.

Schliesst man die gebleichten und noch stark riechenden Streifen in eine Flasche ein, so nimmt diese die Dämpfe des Ozonjods auf und schüttelt man letztere mit etwas Wasser, so färbt sich die Flüssigkeit bräunlich-gelb und wird saner in Folge frei gewordenen Jodes und der Bildung von Jodsäure.

Wegen der grossen Flüchtigkeit des Ozonjods gelingen die erwähnten Reactionsversuche besser bei kaltem, als bei warmem Wetter.

Stellt man dieselben gerade so an, wie angegeben worden, werden aber die mit Jod behafteten Streifen anstatt in stark ozonisirte Luft, in Luft eingeführt, die mit etwas Chlorgas oder Bromdampf geschwängert ist, so treten die gleichen Erscheinungen ein: die Streifen werden gebleicht, entwickeln den widrigen Geruch des Chlor- oder Bromjods, bräunen sich beim Bestreichen mit Phosphor, Zink u. s. w., verlieren diese Eigenschaft, nachdem sie einige Zeit in der Luft gelegen u. s. w. Es besteht somit eine grosse Analogie zwischen Chlorjod, Bromjod und Ozonjod.

3) Selbst der Stickstoff lässt sich unter gegebenen Umständen durch Ozon zu Salpetersäure oxydiren. Wird ozonhaltiger Sauerstoff, dem einiger Stickstoff beigemengt worden, oder ozonisirte atmosphärische Luft mit Kalkwasser längere Zeit geschüttelt, so verschwindet das Ozon und es bildet sich salpetersaurer Kalk. Die hierbei sich bildende Salpetersäure rührt vom Ozon und Stickstoff her, welche unter dem Einfluss der prädisponirenden Verwandtschaft des so stark basischen Kalks zur chemischen Verbindung bestimmt werden.

Die Salpetersäure, welche nach meinen Beobachtungen bei der langsamen Verbrennung des Phosphors in atmosphärischer Luft in kleiner Menge neben phosphoriger Säure und Phosphorsäure, wie auch (nach Cavendish's und Davy's Erfahrungen) beim Elektrisiren der atmosphärischen Luft und Elektrolysiren stickstoffhaltigen Wassers am positiven Pole zum Vorschein kommt, beruht nach meinem Dafürhalten ebenfalls auf der Oxydation des Stickstoffs, bewerkstelligt nicht durch gewöhnlichen Sauerstoff, sondern durch das Ozon, welches unter den angegebenen Umständen erzeugt wird.

4) Mit Ausnahme des Goldes und Platins werden die bekannten Metalle selbst in der Kälte oxydirt, was schon daraus erhellt, dass dieselben im zertheilten Zustande mit ozonhaltiger Luft geschüttelt, letztere beinahe augenblicklich geruchlos machen und ihrer sonstigen Eigenschaften berauben. Diese Metalle oxydiren sich in ozonisirter Luft

bis zum Maximum: das Blei und Silber zu Superoxyd, das Arsen zu Arsensäure u. s. w.

Selbst im compacten Zustande oxydiren sich einige Metalle im Ozon sehr rasch, unter welchen sich das Silber ganz besonders auszeichnet. Hängt man polirtes Blech von chemisch reinem Silber in stark ozonisirter Luft auf, so überzieht sich dasselbe nach und nach mit einer schwarzen, leicht ablösbaren Kruste, unter Verschwinden des Ozons. Befeuchtung des Bleches mit Wasser fördert die Oxydation des Metalles. Die gebildete schwarze Hülle ist Silbersuperoxyd = AgO^2 . Ich habe mir im Laufe einiger Wochen mit Bequemlichkeit 20 Grm. Superoxyd aus Silberblech und Ozon dargestellt.

Da spiegelndes Arsen viel rascher, als gleich beschaffenes Antimon in ozonisirter Luft sich oxydirt, und jenes hierbei in zerfliessliche farblose Arsensäure, dieses aber in Antimonsäurehydrat übergeht, so lassen sich auch Arsenflecken von Antimonflecken mit Hülfe ozonisirter Luft von einander unterscheiden.

Stark spiegelnde Antimonringe, mit Hülfe der Marshschen Methode um eine Glasröhre gelegt, verlieren in stark ozonisirter feuchter Luft erst nach Tagen ihren Metallglanz und lassen weisse Flecken von Antimonsäure zurück, während ähnliche Arsenringe in derselben Luft rasch, d. h. schon nach 45 — 20 Minuten, gänzlich verschwunden sind, unter Zurücklassen von Arsensäure, welche leicht durch ihren Geschmack oder durch Lackmuspapier erkannt wird.

5) Schweflige, phosphorige, salpetrige Säure werden durch Ozon in Schwefelsäure u. s. w. verwandelt; die Wasserstoffsäuren des Jods, Selens u. s. w. werden unter Auscheidung von Jod u. s. w. zerstört.

6) Die beiden Bestandtheile einer grossen Anzahl von Schwefelmetallen werden in ozonisirter Luft rasch oxydirt d. h. in Sulfate u. s. w. übergeführt.

Hängt man Streifen weissen Filtrirpapiers, das man vorher auf geeignete Weise mit Schwefelblei, Schwefelkupfer, Schwefelquecksilber, Schwefelarsen u. s. w. behaftet hat, in feuchter und stark ozonisirter Luft auf, so werden sie vollkommen und rasch gebleicht.

7) Aus den meisten Jodmetallen scheidet das Ozon augenblicklich Jod aus, gerade so, wie dies das Chlor thut, z. B. aus dem Jodkalium, Jodzink u. s. w., und deswegen ist auch das Jodkalium, mit Stärke vermengt, ein so äusserst empfindliches Reagens auf Ozon.

Die bequemste Art, dieses Gemenge als Ozoureagens anzuwenden, ist folgende:

Ein Theil reinen Jodkaliums (d. h. eines solchen, dessen verdünnte, mit etwas Stärkekleister versetzte Lösung bei Zusatz einiger Tropfen reiner Salzsäure oder Schwefelsäure anfänglich wenigstens durchaus farblos bleibt), zehn Theile Stärke und 200 Theile Wasser werden zum dünnen Kleister aufgekocht. Nachdem die Flüssigkeit durch Leinwand geseiht worden, taucht man Viertelbogen weissen Filtrirpapiers in dieselbe ein, hängt diese an ausgespanntem Bindfaden in einem verschlossenen Zimmer zum Trocknen auf, schneidet sie nachher in Streifen von $\frac{1}{4}$ " Länge und $\frac{1}{8}$ " Breite und bewahrt letztere in verschlossenen Flaschen oder Kapseln auf.

Will man solche Streifen als Reagens auf Ozon benutzen, so werden sie erst mit etwas destillirtem Wasser befeuchtet und dann in das Gefäss eingeführt, in welchem man Ozon vermuthet. Aus dem Weissbleiben oder Blauwerden des Streifens wird auf die Ab- oder Anwesenheit von Ozon geschlossen, falls man gewiss ist, dass im Gefäss keine andere, das Reagenspapier ebenfalls bläuhende Luft- oder Dampfart, wie z. B. Chlor, Brom, Untersalpetersäure u. s. w., vorhanden sein kann. Mit Hülfe des feuchten Jodkaliumstärkepapiers lässt sich noch die Anwesenheit von Ozon in einer Luft nachweisen, die vollkommen geruchlos ist, und aus der Langsamkeit oder Raschheit, mit der sich das Probepapier bläuet, schliesst man auch auf das Weniger oder Mehr des vorhandenen Ozons.

8) Die Hydrate des Bleioxyds, Kobaltoxyds, Stickoxyds und Manganoxyduls werden in ozonisirter Luft in Superoxyde verwandelt.

9) Die Oxydulsalze des Eisens, Zinnes und Mangans nehmen rasch Ozon auf, in Folge dessen das Oxydul in

Oxyd oder Superoxyd übergeführt wird. Letzteres ist bei den Manganoxysulfaten der Fall. Aus einer wässrigen Lösung des Mangansulfats z. B. kann alles Oxydul in Form von Mangansuperoxydhydrat (als Wad) ausgeschieden werden, indem man dasselbe mit ozonisirter Luft schüttelt. Und weil das Ozon selbst noch auf das feste Salz wirkt, so lässt sich auch von diesem durchdrungenes weisses Papier als ziemlich empfindliches Reagens auf Ozon gebrauchen. Zu diesem Behufe tauche ich Streifen weissen Filtrirpapiers in eine etwas verdünnte Lösung des krystallisirten Mangansulfats und trockne sie. Solche Streifen in stark ozonisirte Luft eingeführt, zeigen schon nach einer halben Minute eine deutliche Färbung und werden in kurzer Zeit gelbbraun. Eine Schrift oder Zeichnung mit Mangansulfatlösung ausgeführt, wird daher sichtbar, wenn man sie in ozonisirte Luft bringt. Der Einwirkung gasförmiger schwefliger Säure ausgesetzt, verschwindet die braune Schrift oder Zeichnung augenblicklich wieder, weil das Superoxyd unter diesen Umständen wieder in Mangansulfat übergeführt wird. Da Chlor-, Brom- oder Untersalpetersäurehaltige Luft das Mangansulfatpapier nicht bräunen, so ist letzteres als specifisches Reagens auf Ozon zu betrachten.

10) Das basisch essigsaure Bleioxyd wird durch Ozon in neutrales übergeführt, unter Umwandlung eines Theiles des Oxyds in Superoxyd. Benetzt man Streifen weissen Filtrirpapiers mit Bleiessig und hängt sie in stark ozonisirter Luft auf, so färben sich dieselben anfänglich gelb und nach und nach braun, welche Färbung von Bleisuperoxyd herrührt.

11) Kaliumeisencyanür im festen wie im gelösten Zustande wird durch das Ozon in das rothe Cyanid verwandelt unter Bildung von Kali. Schüttelt man ozonisirte Luft mit der Lösung des gelben Blutlaugensalzes, so verschwindet das Ozon augenblicklich, indem die Flüssigkeit tief gelb sich färbt und stark alkalisch reagirt. Ein Krystall des gelben Salzes in stark ozonisirter Luft aufgehängt, färbt sich morgenroth und wird nass in Folge der Bildung des Cyanids und Ausscheidung des Krystallwassers,

in welchem letzteren das gleichzeitig gebildete Kali sich löset.

12) Das Ozon wirkt auf die meisten organischen Materien oxydierend ein. Noch so stark ozonisirte Luft mit gelöstem Leim, Eiweiss, Blut, Sägespänen u. s. w. geschützt, verliert augenblicklich ihren eigenthümlichen Geruch, die Fähigkeit, Jodkaliumstärkepapier zu bläuen u. s. w. Die gefärbten organischen Substanzen werden hierbei wie durch Chlor gebleicht. Mit Indigolösung gefärbte Leinwandstreifen in stark ozonisirter Luft aufgehängt, werden bald völlig weiss, und durch die gleiche Lösung gebläutes Wasser entfärbt sich augenblicklich beim Schütteln mit solcher Luft.

Guajakhaltiger Weingeist wird durch Ozon gerade so wie durch Bleisuperoxyd oder durch Chlor gebläuet.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass das Ozon vom Wasser gar nicht oder doch nur in unmerklich kleiner Menge aufgenommen wird.

Erzeugung des Ozons. Das Ozon kann auf elektrischem, Volta'schem und chemischem Wege erzeugt werden.

1) Elektrischer Weg. Lässt man durch ein kleines Volumen reinsten und trockensten Sauerstoffgases wiederholt elektrische Funken schlagen, so nimmt dasselbe einen eigenthümlichen Geruch an und erhält das Vermögen, alle die oben erwähnten Wirkungen hervorzubringen, z. B. das befeuchtete Jodkaliumstärkepapier zu bläuen, Silber zu oxydiren u. s. w.

Wird atmosphärische Luft anstatt des reinen Sauerstoffes angewendet, so entsteht ebenfalls Ozon, das aber theilweise den Stickstoff zu Salpetersäure oxydirt. Der sogenannte elektrische Geruch, welcher wahrgenommen wird beim Strömen der Elektrizität aus Spitzen in die atmosphärische Luft, beim Entladen elektrischer Batterien, bei Gewittern und namentlich beim Einschlagen des Blitzes, rührt von dem hierbei entstehenden Ozon her.

Am bequemsten zeigt man die elektrische Entstehungsweise des Ozons dadurch, dass man eine etwas stumpfe Metall-

spitze mit dem ersten Conductor einer Elektrisirmaschine verbindet, und während diese getrieben wird, vor jene einen befeuchteten Streifen Jodkaliumstärkepapiers hält. Ist das Ausströmen der Elektricität lebhaft, so bläuet sich das Papier sofort auf das tiefste.

Nicht ohne Aufwand von ziemlich viel Zeit habe ich mit dem um elektrische Ausströmungsspitzen sich erzeugenden Ozon Indigopapier gebleicht, Bleisuperoxyd aus Bleioxydhydrat gebildet, gelbes Blutlaugensalz in rothes verwandelt, Arsenflecken zum Verschwinden gebracht, kurz alle die oben erwähnten Ozonreactionen erhalten. Es ist daher keinem Zweifel unterworfen, dass bei allen in der atmosph. Luft statt findenden elektrischen Entladungen Ozon und als Folge hiervon auch Salpetersäure erzeugt wird.

2) Volta'scher Weg. Lässt man durch ein Gemisch chemisch reiner Schwefelsäure mit 8—12 Theilen destillirten Wassers den Strom einer kräftigen Volta'schen Säule bei möglichst niedriger Temperatur gehen, so entbindet sich an der positiven Elektrode Sauerstoffgas, das ziemlich stark mit Ozon beladen ist, wie aus dessen eigenthümlichem Geruch, Reaction auf Jodkaliumstärkepapier u. s. w. hervorgeht. Enthält das gesäuerte Wasser auch nur Spuren oxydirbarer Materien, wie z. B. schweflige Säure, salpetrige Säure, Eisenvitriol u. s. w., so erhält man kein Ozon, weil dasselbe zur Oxydation besagter Materien verwendet wurde.

3) Chemischer Weg. Phosphor von reiner Oberfläche gleichzeitig mit Wasser und stagnirendem Sauerstoffgas von gewöhnlicher Dichtigkeit in Berührung gesetzt, erzeugt bei gewöhnlicher Temperatur kein Ozon; bei 24° fängt jedoch die Bildung desselben an und wird bei 36° sehr lebhaft. In Sauerstoffgas, das vier bis fünf Mal verdünnt worden, findet die Ozonbildung schon bei gewöhnlicher Temperatur mit Lebhaftigkeit statt. Die Anwesenheit des Wassers begünstigt die Erzeugung des Ozons deshalb, weil jenes die durch das letztere gebildete phosphorige Säure fortwährend vom Phosphor entfernt und dadurch die Oberfläche dieses Körpers rein erhält,

was eine unerlässlich notwendige Bedingung für die Bildung des Ozons ist.

Nach Marchand's Versuchen kann der Phosphor auch mit trockenstem Sauerstoffgas von gewöhnlicher Dichtigkeit und Temperatur Ozon erzeugen, falls nämlich das Gas über jenen Körper strömt. In Folge der hierbei um den Phosphor sich bildenden Säurehülle hört aber in diesem Falle die Ozonbildung bald auf.

Wird Phosphor von reiner Oberfläche in ein Gemenge von einem Raumtheile reinen Sauerstoffgases mit vier bis fünf Raumtheilen reinen Wasserstoffgases gebracht und lässt man etwa nur den dritten Theil eines grössern Stückes Phosphor von Wasser bedeckt sein, so erzeugt sich schon bei gewöhnlicher Temperatur das Ozon so lebhaft, dass es gefährlich ist, dasselbe auf diese Art hervorzubringen, weil nämlich das reichlich auftretende Ozon sofort energisch oxydirend auf den Phosphor einwirkt und ihn deshalb bald entzündet, wodurch natürlich auch der vorhandene Wasserstoff entflammt wird.

Am leichtesten erhält man das Ozon mit Hülfe der atmosphärischen Luft und zwar in folgender Weise: in einen Ballon von 50—60 Liter Inhalt bringt man ein zwei Zoll langes Stück Phosphor von möglichst reiner Oberfläche und so viel Wasser, dass derselbe etwa zur Hälfte über die Flüssigkeit hervorragt. Die Mündung des Gefässes wird locker mit einem Stöpsel bedeckt und das Ganze einer Temperatur von 16—20° ausgesetzt. Bald steigt unter diesen Umständen eine dünne Rauchsäule springbrunnenartig vom Phosphor auf und der Eintritt dieser Erscheinung bezeichnet den Beginn der Ozonbildung. Schon nach wenigen Minuten zeigt sich die Luft des Ballons ozonhaltig, was sich aus dem Geruche und dem noch empfindlichern Reagenspapier erkennen lässt, und nach einigen Stunden ist sie es so sehr, dass ein in dieselbe eingeführter befeuchteter Streifen Jodkaliumstärkepapiers augenblicklich blauschwarz wird.

Hat die Luft diesen Grad von Ozonisation erreicht, so entfernt man aus ihr Phosphor und Säure, schüttelt sie

mit Wasser und nun ist dieselbe geeignet zum Anstellen der meisten Ozonversuche: zum Bleichen von Leinwandstreifen mit Indigolösung gefärbt, zum Oxydiren des Silbers, indem man Bleche dieses Metalles in ihr aufhängt u. s. w.

Hier muss noch bemerkt werden, dass unter sonst gleichen Umständen die Ozonbildung um so lebhafter stattfindet, je rascher der Phosphor verdampft und bei einer gewissen Langsamkeit dieser Verdampfung gar kein Ozon mehr sich erzeugt, woher es eben kommt, dass alle physikalischen Umstände, welche die Verdampfung des Phosphors beschleunigen oder hemmen, auch die Ozonbildung begünstigen oder verhindern.

In erwärmtem oder verdünntem Sauerstoff erfolgt die Phosphorverdampfung schneller als in dem kaltem oder dichtern Gas, ebenso findet auch diese Verdampfung im strömenden Sauerstoff rascher als im stagnirenden, in Wasserstoff oder Stickgas unter sonst gleichen Umständen rascher als in Sauerstoffgas statt. Hat letzteres die gewöhnliche Dichtigkeit und Temperatur und ist es stagnirend, so geht darin die Phosphorverdampfung so langsam vor sich, dass gar kein Ozon erzeugt wird.

Hieraus erklärt sich, warum durch Verdünnung, Temperaturerhöhung, Strömung oder durch Vermischung des gewöhnlichen Sauerstoffgases mit einer hinreichenden Menge Wasserstoff- oder Stickgases die Ozonbildung eingeleitet oder befördert wird. Alle diese Umstände beschleunigen die Verdampfung des Phosphors. Hieraus wird wahrscheinlich, dass eher der dampfförmige als feste Phosphor es ist, unter dessen Einfluss das Ozon gebildet wird.

Die Anwesenheit auch nur kleiner Mengen gewisser Dämpfe und Gase in atmosphärischer Luft oder Sauerstoffgas verhindert die Ozonbildung und das damit in enger Verbindung stehende Leuchten und Oxydiren des Phosphors. Das ölbildende Gas ist in dieser Beziehung ganz ausgezeichnet. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass alle Gase und Dämpfe, welche das schon fertig gebildete Ozon aufnehmen, es auch sind, welche der atmosphärischen Luft

beigemengt, die Erzeugung des Ozons durch Phosphor, wie auch das Leuchten des letztern bei gewöhnlicher Temperatur verhindern.

Da selbst feuchtes stagnirendes Sauerstoffgas von gewöhnlicher Dichtigkeit und Temperatur nach meinen wiederholten Beobachtungen den Phosphor nicht einmal spurenweise oxydirt, das Ozon dagegen schon in der Kälte gierigst mit jenem Körper zu phosphoriger Säure sich verbindet und nie die langsame Verbrennung des Phosphors, weder in Sauerstoffgas noch atmosphärischer Luft statt findet, ohne gleichzeitiges Auftreten von Ozon, überhaupt alle Umstände, welche die Bildung des Ozons hemmen, auch die langsame Oxydation des Phosphors verhindern, so darf hieraus geschlossen werden, dass die langsame Verbrennung, welche dieser Körper bei gewöhnlicher Temperatur im verdünnten Sauerstoffgas oder in der atmosphärischen Luft erleidet, nicht durch gewöhnlichen Sauerstoff, sondern durch Ozon bewerkstelligt wird. Wir dürfen somit auch annehmen, dass die erste vom Phosphor auf den gewöhnlichen Sauerstoff ausgeübte Wirkung in der Umwandlung des letztern in Ozon bestehe und die langsame Verbrennung erst nach statt gefundener Ozonisation des Sauerstoffes beginne.

Zerstörung des Ozons. Wird ozonisirter Sauerstoff oder gleich beschaffene atmosphärische Luft bis auf etwa 250° erhitzt, so verlieren diese Gase ihren eigenthümlichen Geruch und damit auch ihr Vermögen das Jodkaliumstärkepapier zu bläuen und die oben erwähnten Wirkungen hervorzubringen.

Die Zerstörung des Ozons durch Erhitzen wird dadurch am bequemsten gezeigt, dass man möglichst stark (mit Hülfe des Phosphors) ozonisirte atmosphärische Luft durch eine enge Röhre strömen lässt. So lange letztere nicht erhitzt ist, besitzt das ausströmende Gas den sogenannten elektrischen Geruch, bläuet es augenblicklich das feuchte Jodkaliumstärkepapier u. s. w. Stellt man einige brennende Weingeistlampen unter die Röhre, so wird die ausströmende Luft geruchlos, sobald dieselbe den zur Zerstörung des

Ozons erforderlichen Hitzgrad erlangt hat und hören nun auch alle Ozonreactionen auf: es bleibt das Reagenspapier im Luftstrome weiss u. s. w. Lässt man letztern fort dauern, entfernt aber die Weingeistlampen von der Röhre, so tritt, sobald die Temperatur derselben gehörig tief gesunken ist, der Geruch nebst allen übrigen Eigenschaften des Ozons wieder auf. Hiermit hängt die schon längst von mir ermittelte Thatsache zusammen, dass an erhitzten Metallspitzen, aus welchen auch noch so lebhaft Elektrizität in die atmosphärische Luft strömt, nicht der geringste Geruch, wie auch keine Reaction des Ozons bemerkt wird, nach erfolgter Abkühlung solcher Spitzen aber sofort der elektrische Geruch und was damit zusammenhängt, zum Vorschein kommt.

Merkwürdig ist die Wirkung der Kohle auf das Ozon. Lässt man durch eine mit Kohlenpulver gefüllte Glasröhre auch noch so stark ozonisirte Luft strömen, so tritt diese völlig ozonfrei, also geruchlos aus, ohne dass hierbei Kohlensäure entstände. Was unter diesen Umständen aus dem Ozon wird, weiss ich nicht zu sagen.

Natur des Ozons. Trockenstes chemisch reines Sauerstoffgas der Einwirkung elektrischer Funken unterworfen, wird, wie eben bemerkt, ozonhaltig und ebenso liefert gleich beschaffenes Sauerstoffgas beim Strömen über Phosphor einiges Ozon.

Lässt man umgekehrt völlig trockenen und möglichst stark ozonisirten Sauerstoff oder gleich beschaffene atmosphärische Luft durch erhitzte Röhren gehen, so erhält man keine Spur von Wasser. Ich liess 300 Liter vorher sorgfältigst getrockneter und möglichst stark (durch Phosphor) ozonisirter Luft erst durch eine erhitzte Röhre, in welcher das Ozon vollkommen zerstört wurde, und dann durch eine zweite abgewogene mit schwefelsäurehaltigen Bimsteinstücken gefüllte Röhre gehen und fand, dass hierdurch das Gewicht der letztern um nichts Wägbares vermehrt wurde. Aus diesen Thatsachen scheint hervorzugehen, dass das Ozon nicht wasserstoffhaltig, d. h. kein Wasserstoffsuperoxyd ist, wie ich dies einige Zeit zu glau-

ben geneigt war, überhaupt ausser dem Sauerstoff keinen andern gewichtigen Stoff enthält. Deshalb haben De la Rive und Marignac zuerst und dann auch Berzelius und Marchand geglaubt annehmen zu dürfen, dass das Ozon nichts anderes als allotropisirter Sauerstoff sei.

Nach dieser Ansicht würde es somit zwei Arten von Sauerstoff geben: eine geruchlose und eine riechende, eine bei gewöhnlicher Temperatur gegen alle Elementarstoffe gleichgültige und eine solche, die schon in der Kälte die Mehrzahl der Körper oxydirt, die erste Art wäre der gewöhnliche Sauerstoff, die zweite das Ozon. Gemäss dieser Betrachtungsweise bestände die Erzeugung des Ozons in der Ueberführung der ersten in die zweite Art, und die Zerstörung des Ozons im Umgekehrten.

Vorkommen des Ozons So oft atmosphärische Luft durch künstliche Mittel elektrisirt wird, tritt in ihr Ozon auf; hieraus, wie aus der weiteren Thatsache, dass in der Atmosphäre unaufhörlich elektrische Entladungen statt finden, folgt auch, dass daselbst fortwährend Ozon erzeugt oder einiger Sauerstoff allotropisirt wird. Dieses elektrisch gebildete Ozon muss seiner Gasförmigkeit halber in der Atmosphäre sich zerstreuen und einen seltenen oder nie fehlenden Bestandtheil derselben ausmachen.

Die Anwesenheit des Ozons kann übrigens leicht mit Hülfe des Jodkaliumstärkepapiers nachgewiesen werden. Hängt man Streifen desselben in lufthaltigen verstopften Flaschen oder gut verschlossenen Zimmern auf, so bleiben sie weiss; werden sie aber der freien Luft ausgesetzt z. B. vor das Fenster eines freistehenden Hauses gehängt, so bräunen oder bläuen sich dieselben mehr oder minder rasch, gemäss dem jeweiligen Gehalte der Atmosphäre an Ozon. Schon seit Jahren beobachte ich mit einem eigens hiezu verfertigten und graduirten Ozonometer *) die Ver-

*) Buchbinder Bürgy in Basel verfertigt schon seit geraumer Zeit solche Ozonometer, das Stück für 1 fl. 12 kr. Mit einer derartigen Vorrichtung, der eine Anweisung zum Gebrauch beigegeben ist, lassen sich während eines Jahres zwei Beobachtungen täglich machen.

änderungen des Ozongehaltes der Atmosphäre und finde, dass derselbe durchschnittlich am stärksten im Winter und namentlich bei Schneefällen, am schwächsten im Sommer, ein mittlerer, übrigens sehr veränderlicher, in den beiden übrigen Jahreszeiten ist. In der Nähe von Gewitterwolken, wie ich dies auf den Höhen des Jura zu wiederholten Malen zu beobachten die schönste Gelegenheit hatte, ist der Ozongehalt der atmosphärischen Luft verhältnissmässig sehr bedeutend; denn unter solchen Umständen bläuten sich die ausgesetzten feuchten Streifen des Jodkaliumstärkepapiers schon sehr merklich im Laufe weniger Minuten. Ebenso habe ich mich überzeugt, dass überhaupt der Ozongehalt der Atmosphäre mit der Höhe zunimmt.

Vergleiche ich die Verzeichnisse der genaueren Beobachtungen der Lufterlektricität, namentlich diejenigen des Brüsseler Physikers Herrn Quetelet's mit den Angaben meines Ozonometers, so kann ich nicht umhin eine Uebereinstimmung zwischen denselben zu finden und zwar in der Weise, dass das mittlere Maximum und Minimum der Lufterlektricität mit dem mittlern Maximum und Minimum des Ozongehaltes der Atmosphäre in dieselben Jahreszeiten fallen, beide Maxima in den Winter, beide Minima in den Sommer. Eine ähnliche Uebereinstimmung findet auch mit Bezug auf die beiden andern Jahreszeiten statt.

Bei der Abhängigkeit, in welcher die Erzeugung des atmosphärischen Ozons von der atmosphärischen Elektricität steht, darf man sich über die Uebereinstimmung der Angaben des Lufterlektrometers mit denjenigen des Luftozonometers nicht verwundern; letzteres ist ein mittelbares Elektrometer.

Die Thatsache, dass das Ozon trotz der Unaufhörlichkeit seiner Bildung in der Atmosphäre sich nicht im Laufe der Zeit daselbst anhäuft und dass die niedern Luftschichten durchschnittlich weniger als die höhern damit beladen sind, rührt wohl hauptsächlich davon her, dass dasselbe theils von der mit organischer (oxydirbarer) Materie bedeckten Erdoberfläche, theils von manchen bei der Verwesung pflanzlicher und thierischer Substanzen entstehen-

den oxydirbaren Gasarten (Kohlen-, Schwefel-, Phosphorwasserstoff u. s. w.) wieder aufgenommen und zerstört wird. Daher kommt es, dass das Jodkaliumstärkepapier in der freien Luft aufgehängt an Oertlichkeiten, wo derartige luftförmige Verbindungen entstehen, wie z. B. in Abtritten, nicht gebläuet wird, wie auch nicht auf dem Niveau enger belebter Strassen zur Tageszeit, über verwesenden organischen Körpern u. s. w. Ich habe mich durch Versuche überzeugt, dass die stinkenden Miasmen, welche beim Faulen des Fleisches u. s. w. sich erzeugen, durch stark ozonisirte Luft gerade so gut wie durch Chlor zerstört werden, weshalb ich auch geneigt bin anzunehmen, dass das atmosphärische Ozon wesentlich dazu diene, die unaufhörlich in die Atmosphäre aufsteigenden und in Folge der Verwesung organischer Materien entstehenden oxydirbaren Miasmen zu zerstören und hierdurch die Luft in einer den Fortbestand des thierischen Lebens sichernden Beschaffenheit zu erhalten. — Andererseits hege ich aber auch immer noch die schon längst von mir ausgesprochene Vermuthung, dass das atmosphärische Ozon manchmal als krankmachende Substanz wirke, namentlich zur Winterszeit, wo dasselbe bisweilen nach meinen eigenen und Anderer Beobachtungen (*s. Döbereiner's Beiträge zur physik. Chemie, III. H. p. 135.*) so reichlich in der Atmosphäre auftritt, dass es sich sogar dem Geruchssinne bemerklich macht. Da das künstlich erzeugte Ozon, wie das Chlor die Schleimhäute zu reizen und zu entzünden vermag, so muss auch das natürlich gebildete Ozon, wenn in hinreichender Menge eingeathmet, die gleiche Wirkung hervorbringen; und eben deshalb bin ich geneigt zu vermuthen, dass manche katarrhalischen Affectionen durch atmosphärisches Ozon verursacht werden.

Basel, im Juni 1851.