

Über die Industrie
komprimierter und verflüssigter
Gase.

Von

Prof. Dr. M. Bamberger.

Vortrag, gehalten den 27. Januar 1909.

(Mit Experimenten.)

Mit 1 Tafel und 23 Abbildungen im Texte.

In einer aus dem Jahre 1784 stammenden Abhandlung von Lavoisier¹⁾ über die Bildung und Zusammensetzung der Erdatmosphäre findet sich nachfolgende Stelle:

„Man denke einen Moment nach, was mit den verschiedenen Stoffen, aus denen unser Erdglobus besteht, geschehen würde, wenn deren Temperatur sich plötzlich veränderte. Man nehme einmal an, daß die Erde plötzlich in eine sehr kalte Gegend gelange — das Wasser, welches jetzt unsere Flüsse und Meere bildet, und wahrscheinlich die Mehrzahl der uns bekannten Flüssigkeiten würden alsdann sich in feste Gebirge umwandeln. Auch würde zweifellos die Luft oder zum mindesten ein Teil der dieselbe bildenden luftförmigen Bestandteile aus Mangel an hinreichender Wärme aufhören, ein unsichtbares Fluidum zu bilden, sie würde in den flüssigen Zustand zurückkehren und aus dieser Zustandsänderung würden sich neue Flüssigkeiten ergeben, welche wir bisher nicht gekannt haben.“

¹⁾ Vues Générales sur la Formation et la Constitution de l'Atmosphère de la Terre. Oeuvres de Lavoisier, Paris 1862, Tome II, 804.

Inwieweit der prophetische Blick Lavoisiers sich in reale Wirklichkeit umgesetzt hat, mögen Sie aus dem kurzen Referate ersehen, welches ich mir über die komprimierten und verflüssigten Gase zu erstatten erlaube.

Alle Körper sind entweder starr, tropfbarflüssig oder luftförmig. Die starren Körper haben eine bestimmte Gestalt und einen bestimmten Rauminhalt, die flüssigen besitzen keine selbständige Gestalt mehr, da die Schwerkraft der Erde hinreicht, um ihre kleinsten Teilchen gegeneinander zu verschieben, daher hängt die Gestalt einer Flüssigkeit von der Form des Gefäßes ab, in dem sie sich befindet.

Luftförmige Körper oder Gase haben weder eine eigene Gestalt noch einen eigenen Rauminhalt und füllen jedes Gefäß vollständig aus.

Der Aggregatzustand der Körper ist abhängig von der Temperatur und dem Drucke, unter dem sie sich befinden; so kann Temperaturerhöhung die Umwandlung eines starren Körpers in einen flüssigen sowie eines flüssigen in einen gasförmigen bewirken.

Wasser verwandelt sich beim Abkühlen unter 0° in festes Wasser (Eis), beim Erhitzen in gasförmiges Wasser (Wasserdampf). Quecksilber ist z. B. in unseren Gegenden flüssig, in Werchojansk in Sibirien wird man es auch unter den gewöhnlichen Verhältnissen in festem Zustande kennen.

Erniedrigung der Temperatur bewirkt, daß luftförmige Körper in den flüssigen, flüssige in den festen Zustand übergehen.

Außer von der Temperatur ist der Aggregatzustand flüssiger oder gasförmiger Körper auch von dem Drucke abhängig; so können sich durch starken Druck viele luftförmige Körper zu Flüssigkeiten verdichten.

Schwefeldioxyd ist bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig; setzt man es einem Drucke aus, der viermal so groß ist als der der atmosphärischen Luft, so wird es verflüssigt. Um z. B. Kohlensäure bei gewöhnlicher Temperatur zu kondensieren, muß ein Druck angewendet werden, der 55 mal so groß ist als der der atmosphärischen Luft.

Der Einfluß von Temperatur und Druck auf den Aggregatzustand der Gase läßt sich anschaulich mit dem in Fig. 1 abgebildeten Apparate demonstrieren:

Versuch: Die Röhren *a* und *b* enthalten durch Quecksilber abgeschlossen gasförmiges Äthylchlorid¹⁾ (C_2H_5Cl). Hebt man das mit Quecksilber gefüllte Gefäß *n*, so wird bei einer bestimmten Höhe des Gefäßes die Verdichtung des Äthylchlorids eintreten und es werden beide Röhren fast ganz mit Quecksilber gefüllt erscheinen. Der Rest wird durch das flüssige Äthylchlorid eingenommen.²⁾

¹⁾ Äthylchlorid ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit, die bei 12° siedet.

²⁾ Das Volumen des gleichen Gewichtes einer Substanz in den verschiedenen Aggregatzuständen ist ein sehr verschiedenes. So nimmt z. B. 1 kg Wasser als Wasserdampf den Raum von zirka 1240 Litern (bei 0° und 760 mm) ein. 1 kg Kohlensäure nimmt im flüssigen Zustande das Volumen von 1·4 Litern, im gasförmigen den Raum von 500 Litern ein.

Läßt man in das Rohr *r* kaltes Wasser eintreten, so wird in Röhre *b* das Gas bei einer viel tieferen Lage des Gefäßes *n* kondensiert werden.

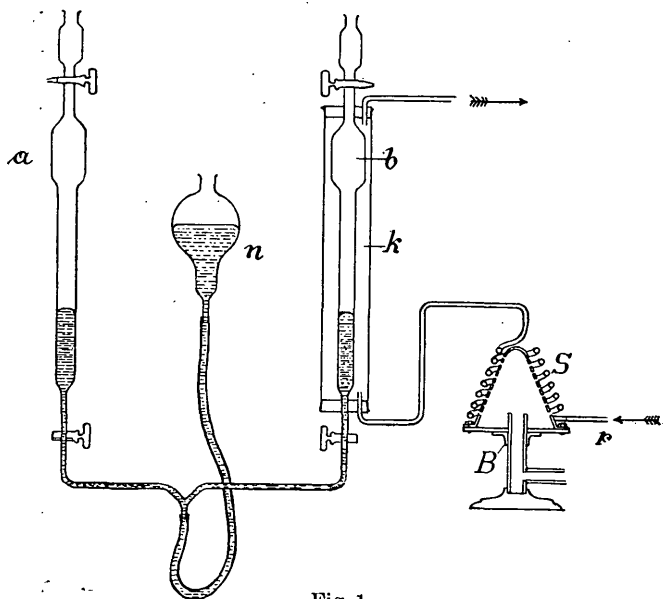


Fig. 1.

Erwärmt man das bei *r* einfließende Wasser, indem man es durch ein erhitztes Schlangenrohr *S* gehen läßt, so wird die Verdichtung des in *b* befindlichen Äthylchlorids um so schwieriger vor sich gehen, je höher die Temperatur der Badflüssigkeit in *k* ist.

Systematische Untersuchungen über die Verflüssigung der Gase wurden von M. Faraday¹⁾ im Jahre 1823 begonnen, welcher zu seinen Arbeiten einen recht einfachen Apparat benutzte (Fig. 2).

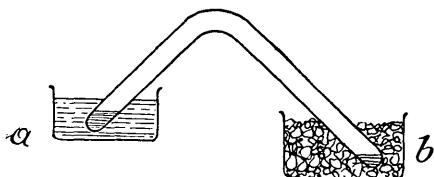


Fig. 2.

Der Körper, aus welchem sich das Gas entwickeln sollte, wurde in dem einen Schenkel (a) des knieförmig gebogenen Rohres untergebracht und hierauf das Rohr zugeschmolzen. Die Verflüssigung des Gases er-

¹⁾ „Auf H. Davys Veranlassung experimentierte Faraday mit dem Chlorhydrat und untersuchte den Einfluß der Wärme bei Erhitzung in einem geschlossenen Glasrohre. Als er das Rohr bei 60° in ein Wasserbad stellte, fand keine Veränderung statt, aber bei 100° wurde ein gelbes Gas in Freiheit gesetzt. Bei alsdann erfolglicher Abkühlung verdichtete sich das Gas zu einer gelben, dem Chlorstickstoff ähnlichen Flüssigkeit.

„Während der Ausführung dieser Versuche trat zufällig Dr. Paris in den Arbeitsraum. Als er die ölige Flüssigkeit bemerkte, wies er den jungen Chemiker auf seine Sorglosigkeit hin, mit der er sich schmutziger Glasgefäße bediene . . .

folgte in dem Schenkel *b*, wenn dieser in einer Kältemischung gekühlt wurde.

Es konnten durch diese Anordnung gleichzeitig Druck und niedere Temperatur auf die Gase einwirken und es gelang Faraday, mit diesem Apparate nachfolgende Gase in den flüssigen Zustand überzuführen:

Chlor (Cl), Schwefeldioxyd (SO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S), Kohlensäure (CO₂), Cyan (C₂N₂), Ammoniak (NH₃), Stickoxydul (N₂O), Chlorwasserstoff (HCl).

Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Stickoxyd, Kohlenoxyd und Grubengas ließen sich jedoch nicht verflüssigen.

Im Jahre 1845 führte Faraday die zweite Reihe seiner Untersuchungen aus und verwendete als Kühlmittel feste Kohlensäure, welche mittels der von Thilorier in Paris und von Adams in London konstruierten Apparate hergestellt wurde.

Die Vorrichtung von Thilorier war nicht gefahrlos und verschuldete tatsächlich durch eine Explosion ein Unglück, dem ein junger talentvoller Chemiker Oskar Hervey zum Opfer fiel, was Liebig zu der Äußerung

„In der Frühe des folgenden Tages empfing jedoch Dr. Paris die folgende kurze Mitteilung:

„Geehrter Herr! Das Öl, welches Sie gestern sahen, erweist sich als flüssiges Chlor. Ihr ergebenster

M. Faraday.

„Das Chlor war durch Druck verflüssigt worden, beim Öffnen des Rohres fand eine Explosion statt.“ (Hardin, Die Verflüssigung der Gase, 1900, p. 17).

veranlaßte, daß spätere Generationen leider das interessante Schauspiel der Verflüssigung von Gasen nicht mehr schauen werden.¹⁾

Im Jahre 1844 konstruierte Johann Natterer, ein gebürtiger Wiener, noch als Studierender der Medizin eine Vorrichtung, die es ermöglichte, Kohlensäure leicht in größerer Menge in flüssiger und fester Form herzustellen und machte seine Versuche zum Gegenstande seiner Inauguraldissertation, die in Wien im Jahre 1847 unter dem Titel „Die coerciblen Gase“ erschien.²⁾ Natterer hat mit seinem Apparate Stickstoff, Sauerstoff, atmosphärische Luft, Wasserstoff, Kohlenoxyd, Leuchtgas einem Drucke von 3600 Atmosphären ausgesetzt, ohne diese Gase verflüssigen zu können. Er schloß aus diesen negativen Versuchsergebnissen, daß „durch bloße Anwendung von mechanischen Kräften es nie gelingen werde, den Aggregatzustand der genannten (permanenten³⁾ Gase zu ändern“.

¹⁾ Festschrift für den I. Internationalen Kongreß für Kälteindustrie. Paris 1908, p. 8.

²⁾ A. Bauer, Johann Natterer 1821—1900. Österr. Chemiker-Zeitung (1901).

³⁾ Man unterschied zu dieser Zeit zwischen permanenten — nicht verflüssigbaren — Gasen und solchen, welche sich verdichten ließen. Dieser Unterschied mußte fallen, als es gelungen war, die erstgenannten zu kondensieren. Als das Helium von W. Ramsay aufgefunden wurde, trat die eingangs erwähnte Einteilung wieder in ihre Rechte, da dasselbe durch keine Hilfsmittel zur Verflüssigung gebracht werden konnte. Erst im Juli vergangenen

Einen großen Einfluß auf die weiteren Forschungsarbeiten über die Verflüssigung der Gase übte die im Jahre 1869 von Andrews veröffentlichte berühmte Arbeit über den kritischen Punkt der Kohlensäure.



Fig. 3.

Für jede Flüssigkeit gibt es eine Temperatur, oberhalb welcher sie nicht mehr im flüssigen Zustande existieren kann, oberhalb welcher aber auch die Verflüssigung ihres Gases oder Dampfes ausgeschlossen ist. Das Glasrohr Fig. 3 sei bis *m* mit einer Flüssigkeit gefüllt, der über dieser befindliche Raum *g* enthalte denselben Stoff in Gasform. Erhöht man die Temperatur der zugeschmolzenen Röhre, so dehnt sich die Flüssigkeit z. B. bis *m' m''* aus, wodurch die Dichte derselben ab- und die des Gases in *g* zunimmt. Bei einer bestimmten Temperatur ist nun die Dichte des in *g* befindlichen Gases dieselbe wie die der Flüssigkeit und es wird die Trennungszone zwischen dieser und Gas nicht mehr sichtbar sein — es ist völlige Homogenität des Röhreninhaltes eingetreten. Die Temperatur, bei der die genannte Erscheinung eintritt, heißt die kritische Temperatur oder der kritische Punkt. Der Druck bei der kritischen Temperatur führt den Namen kritischer Druck, das

Jahres ist es Professor Kamerlingh-Onnes an der Universität Leyden gelungen, das Helium bei einer Temperatur von -268° zu verflüssigen. Diese Temperatur ist die tiefste, die bis jetzt erreicht werden konnte.

Volumen, das von der Gewichtseinheit erfüllt wird, die Bezeichnung kritisches Volumen, die Gewichtsmenge, welche die Raumeinheit erfüllt, heißt kritische Dichte. Sämtliche genannten Konstanten führen die Bezeichnung kritische Daten.

In der Tabelle p. 376 und 377 sind die kritischen Daten sowie einige andere Konstanten wie Siedepunkte, Schmelzpunkte von verflüssigten und festen Gasen übersichtlich zusammengestellt.

Für Wasser haben letztere nachstehende Werte:

Kritische Temperatur $+ 365^{\circ}$
 Kritischer Druck 200 Atmo-
 sphären

Kritisches Volumen 2.33

Kritische Dichte 0.430,

d. h. ein Gramm Wasser nimmt bei 365° das Volumen 2.33 cm^3 ein und das Gewicht von 1 cm^3 Wasser von 365° beträgt nur 0.430 g. ¹⁾

Diese verschiedenen Verhältnisse lassen sich mit dem Apparate²⁾ Fig. 4 sehr anschaulich machen. Die starke kapillare Röhre *S* ist mit gasförmiger Kohlensäure erfüllt und letztere mit Quecksilber abgeschlossen. Durch

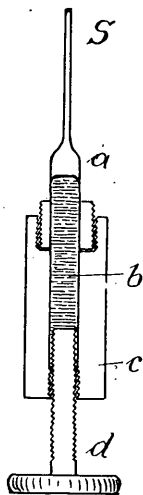


Fig. 4.

¹⁾ Remsen-Seubert, Anorganische Chemie, III. Auflage, p. 21.

²⁾ A. Ladenburg, Naturwissenschaftliche Vorträge, p. 118. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1908.

Tabelle physikalischer Konstanten.

	Gas	Chemische Formel	Krit. Temp. in Graden C.	Krit. Druck in Atm.	Norm. Siedetemperatur in Graden C.	Schmelztemperatur in Graden C.
1	Äther	$C_4H_{10}O$	+195	ca. 36	+35	-118
2	Schweflige Säure	SO_2	+155·4	78·9	-10·1	-73
3	Cyan	C_2N_2	+124	61·7	-21	-34·4
4	Ammoniak	NH_3	+130	115	-38·5	-75
5	Chlor	Cl	+141	84	-36·6	-102
6	Arsenwasserstoff	AsH_3	—	—	-55	-113·5
7	Schwefelwasserstoff	H_2S	+100·2	92	-61·8	-85
8	Kohlensäure . . .	CO_2	+31	75	-78 Sublimationspunkt	-65
9	Acetylen	C_2H_2	+37·05	68	-82·2 Sublimationspunkt	-81 u. 1·25 Atm.
10	Chlorwasserstoff	HCl	+51·25	86	-83	-111

11	Phosphorwasserstoff	PH_3	+ 52.8	64	— 85	— 133
12	Stickoxydul	N_2O	ca. + 36	75	— 89	— 102
13	Äthylen	C_2H_4	+ 10.1	51	— 102.5	— 169
14	Ozon	O_3	—	—	— 119	—
15	Stickoxyd	NO	— 93.5	71.2	— 153.6	— 167
16	Methan	CH_4	ca. — 90	ca. 52	— 164	— 186
17	Sauerstoff	O_2	— 118.8	50.8	— 183	— 227
18	Fluor	F	— 120(?)	40(?)	— 187	— 223
19	Argon	A	— 121	50.6	— 187	— 189.6
20	Kohlenoxyd	CO	— 140	36	— 193	— 207
21	Luft		— 140	39	— 191.4	—
22	Stickstoff	N_2	— 146	35	— 195.6	— 210.5
23	Wasserstoff	H_2	— 240.8	14	— 252	— 259
24	Helium	He	—	—	— 268	—

Die Zahlen der obigen Tabelle sind den Landolt-Börnsteinschen physikalisch-chemischen Tabellen, III. Auflage 1905, entnommen.

Anziehen der Schraube *d* läßt sich nun letzteres in die Röhre pressen, wodurch das Volumen des Gases kleiner und der Druck desselben größer wird, was zur Folge hat, daß die Kohlensäure sich verflüssigt und auf dem Quecksilber schwimmt. Wird jedoch das Kapillarrohr *S* einer Temperatur von $+33-34^{\circ}$ ausgesetzt, so verschwindet die flüssige Kohlensäure und erscheint auch dann nicht mehr, wenn der Druck durch Einpressen von Quecksilber noch weiter erhöht wird. Die kritische Temperatur der Kohlensäure liegt bei 31° und es ist die größte Drucksteigerung nicht mehr imstande, oberhalb dieser Temperatur die Kondensation des Gases zu bewirken. Wird die Temperatur der Kapillare erniedrigt, so erfolgt wieder die Verflüssigung der Kohlensäure und der Inhalt des Rohres ist vollständig mit Flüssigkeit erfüllt.

In den Jahren 1877 und 1882 wurden von L. Cailletet in Paris und 1877 von R. Pictet in Genf wieder Versuche gemacht, einige der sogenannten permanenten Gase zu verflüssigen. Cailletets und Pictets Versuche hatten keinen vollständigen Erfolg, es gelang nur, eine momentane Verflüssigung in Form von Nebel bei Sauerstoff, Stickstoff, Luft, Methan und Kohlenoxyd hervorzurufen.

Die dauernde Verflüssigung der sogenannten permanenten Gase gelang Olszewski¹⁾ und Wróblewski

¹⁾ Ein Teil dieser historischen Daten ist einer sehr interessanten Publikation: Die Verflüssigung der Gase, eine historische Skizze von Professor K. Olszewski in Krakau, entnommen.

im Jahre 1883 im Universitätslaboratorium zu Krakau. Diese Forscher arbeiteten in Glasgefäßen, wodurch die verflüssigten Gase sichtbar wurden.¹⁾

Im Jahre 1895 konstruierten Linde in München und Hampson in London die sogenannten Gegenstromapparate, welche die Verflüssigung großer Luftmengen gestatten.

Zwischen der Erfindung der Kohlensäurepumpe durch Natterer und der Konstruktion der Lindschen Luftverflüssigungsmaschine liegt mehr als ein halbes Jahrhundert — beide Erfindungen haben neue Epochen inaugurirt und sind geradezu als die Kristallisationspunkte anzusehen, um die sich die Bestrebungen bewegen, die Kälte den Bedürfnissen der Wissenschaft und Industrie dienstbar zu machen.

Damit die gasförmigen Körper als Handelsprodukte Verwendung finden können, ist es nötig, dieselben in den komprimierten oder verflüssigten Zustand überzuführen.

Da die Gase zumeist bei der Gewinnung unter atmosphärischem Druck stehen, werden sie mit Luftpumpen, Kompressoren, verdichtet und hierauf erfolgt in den unter die kritische Temperatur abgekühlten Kondensatoren die Verflüssigung.

Als Behälter für die komprimierten und verflüssigten Gase dienen stählerne zylindrische Gefäße von verschiedener Größe (Fig. 5). Diese sind nahtlos nach dem

¹⁾ Olszewski, l. c. p. 378.

Mannesmannschen Verfahren hergestellt und werden amtlich auf einen Druck von zirka 250 Atmosphären geprüft. Der Verschluss der Flaschen wird durch ein Niederschraubventil, das zumeist aus Bronze oder Delta-

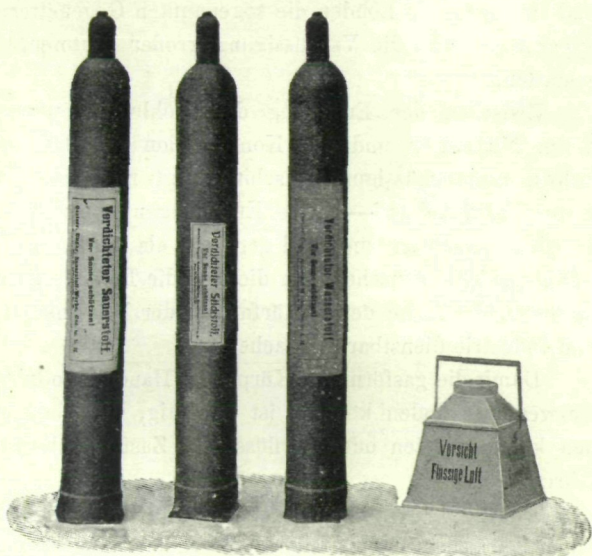


Fig. 5.

metall hergestellt ist, bewirkt. Um den hohen Druck der komprimierten Gase Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff auf einen niedrigeren zu bringen und dadurch ein bequemes Arbeiten mit diesen zu ermöglichen, dienen die sogenannten Druckreduzierventile (Fig. 6). Dieselben besitzen gewöhnlich zwei Manometer, von denen der

Inhaltsmesser *J* über den Druck und den ungefähren Inhalt des Gasbehälters, also über den Verbrauch informiert, während das Arbeitsmanometer *M* die Spannung der ausströmenden Gase angibt.

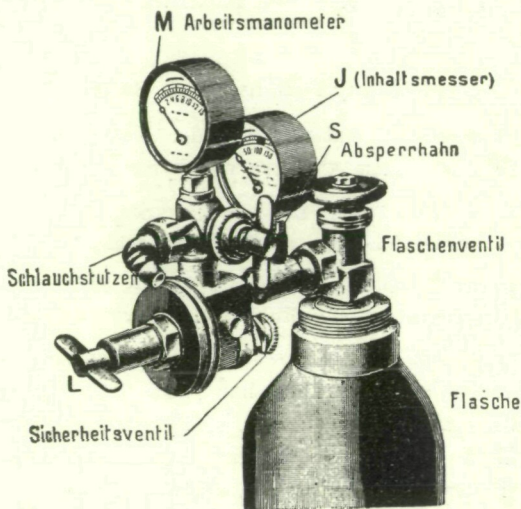


Fig. 6.

Flascheninhalt \times Flaschendruck = Gasvorrat, d. h.

I. 10 Liter \times 120 Atmosphären = 1200 Liter

II. 10 " \times 70 " = 700 "

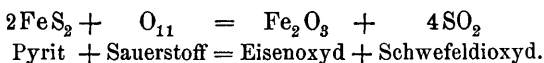
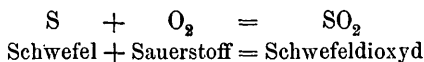
Derzeit werden von der Industrie nachstehende Gase in verflüssigtem Zustande hergestellt: Schweflige Säure (SO_2), Ammoniak (NH_3), Chlor (Cl_2), Kohlensäure (CO_2), Stickoxydul (N_2O), Chloräthyl ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$), Sauerstoff (O_2),

Stickstoff (N₂), Atmosphärische Luft. Die drei zuletzt genannten Gase werden auch komprimiert in den Handel gebracht.

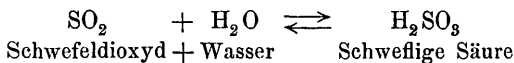
Es soll zunächst in größter Kürze die Darstellung und Verwendung der soeben genannten Gase besprochen werden.

Schwefeldioxyd (Schweflige Säure) SO₂.

Dieses Gas entsteht bei der Verbrennung von Schwefel oder beim Abrösten von Pyrit.



Nachdem die Röstgase, welche bei der Verhüttung der Eisenkiese entstehen, nur zirka 7⁰/₁₀ Schwefeldioxyd enthalten, ist es nötig, erstere zu reinigen, und geschieht dies durch Einleiten derselben in Wasser, wobei schweflige Säure H₂SO₃ entsteht.



Durch Erhitzen desselben wird das reine Schwefeldioxyd erhalten, welches sich dann in wohlgetrocknetem Zustande zur Verflüssigung eignet. Nachdem die kritische Temperatur des in Rede stehenden Gases bei +155·4⁰ liegt, erfolgt dessen Verflüssigung schon bei gelinder Kompression sehr leicht und kann durch Abkühlung auf zirka — 11⁰ bei Atmosphärendruck bewirkt werden.

Nachstehender Versuch Fig. 7 soll die Verflüssigung des Schwefeldioxyds im kleinen zeigen.

Aus einem Stahlbehälter *B*, der mit flüssigem Schwefeldioxyd gefüllt ist, wird durch Aufdrehen des Ventilés *N* das Gas in die Waschflasche *d* geleitet und

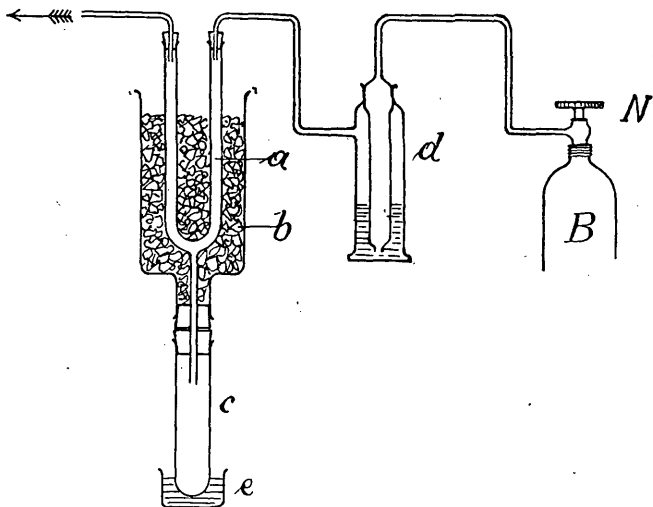


Fig. 7.

gelangt aus dieser in das U-Rohr *a*, das von einer Kältemischung (kristallisiertes Chlorcalcium und Eis) umgeben ist. Das Schwefeldioxyd verdichtet sich nach kurzer Zeit und sammelt sich in der Röhre *c* an. Stellt man unter letztere eine kleine mit Wasser gefüllte Schale, so gefriert dieses, da die zur Vergasung der flüssigen schwefeligen Säure nötige Wärme demselben entzogen wird.

Durch diesen einfachen Versuch ist auch das Prinzip einer Eismaschine erläutert.

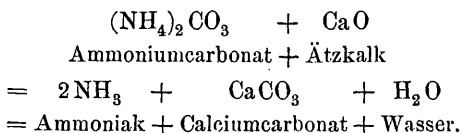
Das verdichtete Schwefeldioxyd ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit, die bei -10.1° siedet. Durch rasches Verdunsten im Vakuum läßt es sich bis auf -76.1° abkühlen und wird bei dieser Temperatur fest. Vollkommen trockenes Schwefeldioxyd rötet nicht blaues Lackmuspapier, hat daher nicht die Eigenschaften einer Säure und es ist deshalb der für diese Verbindung noch heute sehr viel gebrauchte Name „Schweflige Säure“ nicht korrekt. Das flüssige Gas¹⁾ wird in großen Quantitäten für Eismaschinen verwendet und es wird später bei Besprechung dieser Apparate auf dieses Anwendungsgebiet zurückgekommen.

Das gasförmige Schwefeldioxyd dient zum Bleichen von organischen Stoffen wie Wolle, Seide, Stroh, Federn, Badeschwämmen, Hopfen sowie in der Leim- und Gelatinebereitung. Auch in der Zellulosefabrikation und bei der Saturation der Zuckersäfte findet das Gas Verwendung. Weiter ist es ein kräftiges Antiseptikum, verhindert Gärung und Fäulnis und wird deshalb zum Schwefeln des Weines und der Fässer sowie überhaupt zur Konservierung benützt. Das gasförmige Schwefeldioxyd kann auch als Feuerlöschmittel sowie zum Vertilgen von Ratten auf Schiffen in Anwendung kommen.

¹⁾ Von flüssigem Schwefeldioxyd werden jährlich mehr als 4 Millionen Kilogramm in den Handel gebracht. (D. E. Luhmann, Die Industrie der verdichteten und verflüssigten Gase. Wien, Leipzig, Hartleben. 1904.)

Ammoniak NH₃.

Als Ausgangspunkt für Ammoniak kommt hauptsächlich das Gaswasser, das bei der Leuchtgasfabrikation als Nebenprodukt erhalten wird und vorwiegend Ammoniumcarbonat enthält, in Anwendung. Durch Erhitzen desselben mit Ätzkalk wird das Ammoniak freigemacht.



Zur Verflüssigung wird Ammoniakgas auf 7—8 Atmosphären verdichtet, worauf dann im Kondensator die Verflüssigung erfolgt.

Will man Ammoniak ohne Anwendung von Druck verflüssigen, so muß es auf — 40° bis — 50° abgekühlt werden.

Das verdichtete Ammoniak ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit, welche bei — 38·5° siedet und bei — 75° erstarrt. Es findet vorwiegend Verwendung in der Kälte- und Eiserzeugung.

Die verflüssigten Gase wie Schwefeldioxyd, Ammoniak und Kohlensäure haben eine große Anwendung in der Kälteindustrie gefunden. Letztere bedient sich jetzt hauptsächlich der Kompressions-Kältemaschinen und ist in Fig. 8 das Schema einer solchen dargestellt.¹⁾

¹⁾ Dr. H. Teichmann, Komprimierte und verflüssigte Gase, p. 31. Knapp, Halle a. S.

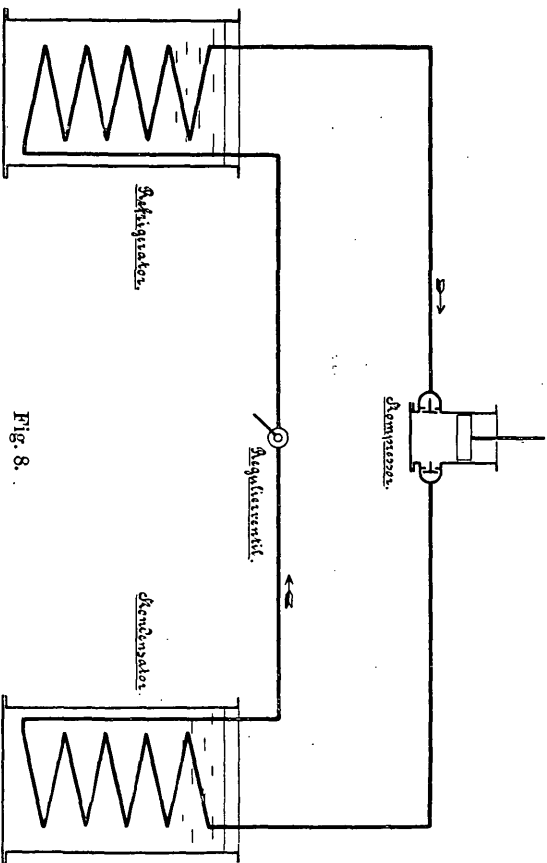


Fig. 8.

Aus dem Buche von Dr. H. Teichmann, „Komprimierte und verflüssigte Gase, industrielle Herstellung und Eigenschaften der im Handel vorkommenden verdichteten Gase“, Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.

Das flüssige Gas, welches sich in einer Rohrschlange des Refrigerators oder Verdampfers befindet, wird durch die saugende Tätigkeit des Kompressors zum raschen Sieden gezwungen, wobei die zur Verdampfung nötige Wärme der die Rohrschlange umgebenden Kochsalzlösung entzogen wird, wodurch sich letztere entsprechend abkühlt.

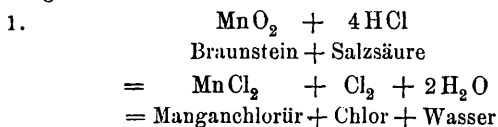
Das abgesaugte komprimierte Gas wird in einem mit Kühlwasser umgebenen Schlangenrohre (Kondensator) wieder verdichtet und kann von hier durch ein Regulierventil wieder in den Refrigerator geleitet werden, worauf das geschilderte Spiel von neuem beginnt.

Um die im Refrigerator befindliche abgekühlte Lösung für Kühlzwecke auszunützen, kann selbe entweder durch Zirkulationspumpen in ein Röhrensystem geleitet werden, das sich an der Decke des zu kühlenden Raumes befindet, oder es werden, falls Gewinnung von Eis beabsichtigt ist, mit Wasser gefüllte Blechkästen in den Refrigerator eingesetzt.

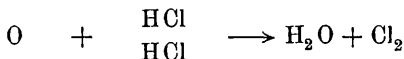
(Zur weiteren Erläuterung dieser Verhältnisse werden am Schlusse des Vortrages zahlreiche Diapositive projiziert.)

Chlor Cl_2 .

Die Gewinnung des Chlors kann auf mannigfache Weise erfolgen. Es seien von den vielen Methoden nur einige erwähnt.



2. Zersetzung des Salzsäuregases mit Luftsauerstoff (Deacon-Verfahren):



Sauerstoff + Salzsäuregas

3. Elektrolyse von Chloralkalien.

Im Jahre 1888 kam flüssiges Chlor durch die chemische Fabrik „Rhenania“ zum ersten Male auf den Markt.¹⁾

Flüssiges Chlor hat eine gelbe Farbe, siedet bei -33.6° und wird bei -102° fest.

Die Verflüssigung und Verfestigung kann leicht mit dem in Fig. 9 dargestellten Apparate demonstriert werden.

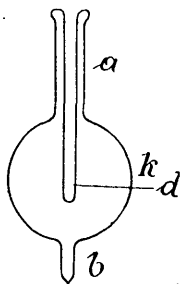


Fig. 9.

Der Kolben *k* ist mit reinem trockenem Chlor gefüllt. Die Abkühlung des Gases erfolgt durch Einfüllen eines Breies von fester Kohlensäure und Äther in das Rohr *d*, wodurch die Temperatur auf zirka -80° erniedrigt wird. Man sieht hierauf das flüssige Chlor an demselben heruntertropfen. Ersetzt man genannte Kältemischung durch flüssige Luft (Temperatur -191.4°), so scheidet sich das Chlor sofort an der Röhre *d* als gelb gefärbte Masse ab.

¹⁾ H. Teichmann, l. c., p. 109.

Das flüssige Chlor, das in Stahlflaschen versendet wird, findet zum Bleichen ausgedehnte Anwendung.

Es wird eine Bombe mit zirka 5 kg flüssigem Chlor vorgezeigt. Nachdem 1 Liter Chlorgas 3·16 g wiegt, ist das Volumen des in der Flasche enthaltenen flüssigen Chlors:

$$\frac{5000}{3\cdot16} = 1582\text{ l} = 1\cdot6\text{ m}^3.$$

Die Dichte des flüssigen Chlors ist bei + 15° 1·4257, daher beträgt das Volumen von 5 kg flüssigen Chlors $\frac{5000}{1\cdot4257} = 3507\text{ cm}^3$.

Einem Volumen flüssigen Chlors entsprechen $\frac{1582000}{3507} = 480$ Volumen gasförmiges Chlor.

Dieses Beispiel zeigt, welche große Volumsmengen der Gase in flüssigem Zustande deponiert werden können.

Kohlensäure CO₂.

Die an vielen Orten dem Boden entströmende Kohlensäure wird natürliche Kohlensäure genannt zum Unterschiede von der durch chemisches Verfahren erzeugten.

Das genannte Gas wird technisch hauptsächlich nach einem Verfahren hergestellt, das darin besteht, daß die beim Brennen von kohlensaurem Kalk oder beim Verbrennen von Koks erhaltenen Gase, welche in ersterem Falle zirka 30% CO₂, in letzterem 18—20% davon

enthalten, mit einer Lösung von Pottasche in Berührung gebracht werden, welche die Kohlensäure aus dem Gasgemische aufnimmt.

Durch Kochen der Lösung wird das reine Gas freigemacht.

Die in Betracht kommenden chemischen Prozesse können durch nachstehende Gleichungen veranschaulicht werden:

1. $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$
Calciumcarbonat = gebrannter Kalk + Kohlensäure
2. $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$
Kohlenstoff + Sauerstoff = Kohlensäure
3. $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
Lösung von Pottasche + Kohlensäure
 $\rightleftharpoons 2\text{KHCO}_3$.
Doppeltkohlensaures Kali.

Auch die bei der alkoholischen Gärung in Brauereien und Brennereien gebildete Kohlensäure (Gärungskohlensäure) dient zur Herstellung des flüssigen Gases.

Wie schon früher erwähnt, verdankt man Natterer die Konstruktion eines bequemen Apparates Fig. 10 ¹⁾ zur Verflüssigung der Kohlensäure. Derselbe besteht aus einer Pumpe, welche das Gas in die mit einem sich nach innen öffnenden Ventile versehene schmiedeeiserne Flasche (Windbüchsenkolben) drückte. Nachdem die

¹⁾ Der ursprüngliche Apparat (Fig. 10) befindet sich heute noch im II. chemischen Universitäts-Laboratorium in Wien.

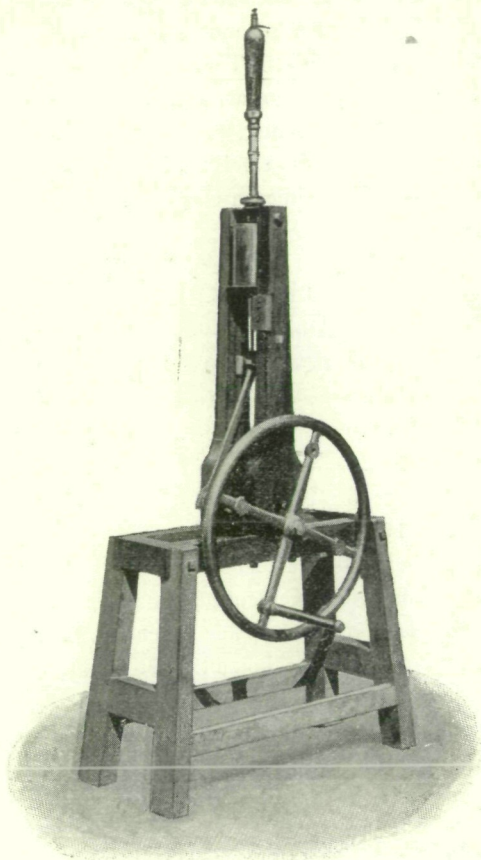


Fig. 10.

Pumpe 1—2 Stunden gearbeitet hatte, verflüssigte sich die Kohlensäure in dem genannten Behälter durch ihren eigenen Druck. Die kritische Temperatur der Kohlensäure ist 31° ; um die Kompressionsarbeit zu verringern, wird die mit einem Mantel umgebene Bombe mit Eiswasser gekühlt.

In der Industrie¹⁾ erfolgt die Verflüssigung des getrockneten und gereinigten Gases durch Kompression und Wasserkühlung.

Die nachstehende Tabelle²⁾ gibt die Dampfdrucke der Kohlendioxyde bei verschiedenen Temperaturen:

— 80°	1.00 Atm.	— 10°	26.76 Atm.
— 70°	2.08 „	± 0°	35.40 „
— 60°	3.90 „	+ 10°	46.05 „
— 50°	6.80 „	+ 20°	58.84 „
— 40°	10.25 „	+ 30°	73.84 „
— 30°	15.15 „	+ 31°	75.56 „
— 20°	19.93 „		

Aus dieser Tabelle ist zu entnehmen, daß bei -80° die Verflüssigung der Kohlensäure unter gewöhnlichem Luftdruck erfolgen kann. Je näher die Temperatur des Gases der kritischen kommt, desto mehr Kompressionsarbeit ist zur Verflüssigung nötig.

Besonders übersichtlich werden die genannten Verhältnisse durch die graphische Darstellung auf Fig. 11.

¹⁾ Ostwald, Grundlinien der anorganischen Chemie. I. Aufl., p. 392. Leipzig, W. Engelmann.

²⁾ Die Kohlensäurefabrikation Deutschlands betrug 1897 11.000 Tonnen. In der Zeit von 1884–1894 wurden in 120 Werken 35 Millionen Kilogramm flüssige Kohlensäure hergestellt.

Auf die Abzissenachse werden die Temperaturen, auf die Ordinatenachse die Drucke aufgetragen und man kann aus der Kurve für jede Temperatur den Druck und für jeden Druck die Temperatur ablesen.

Flüssige Kohlensäure ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit. Unter gewöhnlichem Luftdruck ist

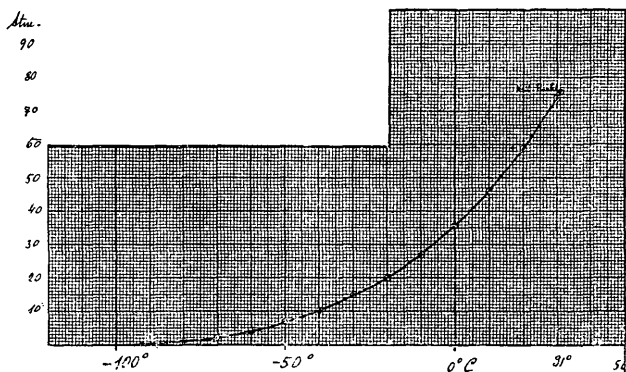


Fig. 11.

sie nicht beständig, da ein Teil verdunstet und der andere Teil durch die dadurch bewirkte Temperaturenniedrigung fest wird. Die Tension des flüssigen Gases bei $+15^{\circ}$ beträgt 39.647 mm entsprechend 52.16 Atmosphären.

1 kg flüssige Kohlensäure liefert 509 Liter Gas von 0° 760 mm, 1 Liter flüssige Kohlensäure 462.4 Liter Gas.

Die flüssige Kohlensäure kommt im Handel in Bomben (Mannesmannröhren) eingefüllt vor. Der Ausdehnungskoeffizient der flüssigen Kohlensäure ist bei

+ 15° fast dreimal so groß wie der des Gases. Es dürfen deshalb die Behälter nicht über den vorgeschriebenen Fassungsraum von 1·34 Liter für 1 kg flüssige Kohlensäure gefüllt werden, da bei einer Über-

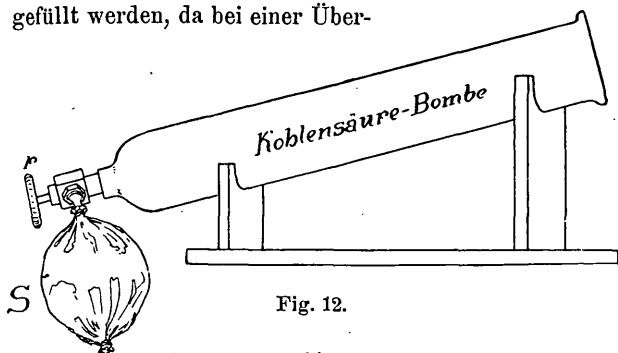


Fig. 12.

füllung von 5⁰/₀ schon bei einer Temperatur von 48·7° der zulässige Druck in der Flasche erreicht ist. ¹⁾

Wird die Flasche normal mit dem Ventile nach oben aufgestellt, so entströmt derselben beim Öffnen nur gasförmige Kohlensäure; hat der Behälter aber eine Lage wie in Fig. 12, so strömt flüssiges Gas aus.

Leitet man dasselbe in einen Tuchbeutel s, so verdampft es sehr rasch und wird so in festem Zustande erhalten. ²⁾

Feste Kohlensäure	gibt mit Äther	die Temperatur	— 80°
"	"	" " Aceton	" " — 86°
"	"	" " Aldehyd	" " — 87°

¹⁾ H. Teichmann, l. c. p. 140.

²⁾ Aus einem Kilogramm flüssiger Kohlensäure erhält man zirka 270—300 g festes Produkt!

Es dient daher die feste Kohlensäure als ausgezeichnetes Kühlmittel und wurden mit derselben einige Versuche angestellt:

- a) Demonstration der niederen Temperatur mit einem Schwefelkohlenstoffthermometer;
- b) Festmachen von Quecksilber;
- c) Pressen der festen Kohlensäure in Pastillen;
- d) Vergasung der festen Kohlensäure in Wasser;
- e) Gefrieren von Trauben, Fleisch.

Mit Hilfe von flüssiger Kohlensäure läßt sich auch im kleinen in kürzester Zeit Eis für häusliche Zwecke gewinnen.

Versuch: Flüssiges Gas wird aus dem Kohlensäurezylinder Fig. 13¹⁾ durch eine Röhre in ein Gefäß geleitet, das Wasser enthält. Durch die rasche Verdampfung des flüssigen Gases wird dem Wasser so viel Wärme entzogen, daß es fest wird.

Eine Hauptanwendung der flüssigen Kohlensäure ist zum Ausschänke von Bier sowie zur Bereitung von kohlensäurehaltigen Getränken (Sodawasser, künstliche Mineralwässer). Weiter dient sie zur Aufbewahrung von feuergefährlichen Flüssigkeiten unter Luftabschluß, ferner zum Feuerlöschen, zum Treiben von Motoren, als Druckmittel bei Feuerspritzen, für medizinische Zwecke zur Herstellung von Kohlensäurebädern.

Am 28. August 1904 feierte die Kohlensäureindustrie das 25jährige Jubiläum der ersten technischen

¹⁾ Die Firma Paalen hatte die besondere Güte, den Gefrierapparat zur Verfügung zu stellen.

Verwendung der flüssigen Kohlensäure und damit eigentlich auch das Jubiläum ihres Bestandes.¹⁾ Natterer hatte an praktische Verwertung der Kohlensäure nicht gedacht. Erst dem deutschen Chemiker Dr. W. Raydt



Fig. 13.

blieb es vorbehalten, die flüssige Kohlensäure der Industrie dienstbar zu machen. Im Jahre 1878 ereignete sich der schwere Unglücksfall vom Untergange des deutschen Kriegsschiffes „Großer Kurfürst“ und vielfach wurde über die Hebung des Wracks verhandelt. Der am Realgymnasium in Hannover tätige Oberlehrer Raydt beschäftigte sich mit der Herstellung von flüssiger Kohlen-

¹⁾ Neumann-Wender, Cöthener Chemikerzeitung (1904) 813.

säure und kam auf den Gedanken, ob sich nicht etwa die flüssige Kohlensäure zur Hebung des „Großen Kurfürsten“ verwenden ließe. Auf der Werft in Kiel wurden 40 kg flüssige Kohlensäure erzeugt und am folgenden Tage zur Hebung eines 316 Zentner schweren, in das Meer versenkten Ankersteines verwendet. Das offizielle Protokoll hierüber lautet:

Kiel, 28. August 1879.

Am heutigen Tage wurde im Ausrüstungsbassin der kaiserlichen Werft von Herrn Dr. Raydt in Gegenwart der Unterzeichneten der Versuch gemacht, das von ihm erfundene Verfahren, „durch flüssig gemachte Kohlensäure Ballons unter Wasser schnell aufzublähen, um mit diesen gesunkene Gegenstände zu heben“, zur Ausführung zu bringen.

Der mit dem Kohlensäurebehälter versehene Ballon wurde an dem zu hebenden, rund 300 Zentner schweren Ankersteine, der 10 m unter Wasser lag, befestigt und sodann das Ventil des Behälters geöffnet. Nach Verlauf von 8 Minuten erschien der vollständig aufgeblähte Ballon an der Wasseroberfläche, den Ankerstein unter sich tragend. Die Hebung war somit vollständig gelungen.

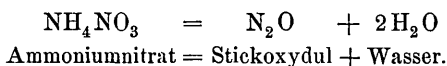
Es ist dies die erste aktenmäßig feststehende Verwendung der flüssigen Kohlensäure zu technischen Zwecken¹⁾. Man darf somit mit voller Berechtigung den

¹⁾ „Im Jahre 1826 erörterte der geniale Direktor des Wiener Polytechnikums J. J. Prechtl die Chancen, welche flüssige Kohlensäure als Betriebskraft darbietet, kam aber

28. August 1879 als den Tag der Begründung der Kohlensäureindustrie bezeichnen.

Stickoxydul $N_2O^1)$

wird durch vorsichtiges Erhitzen von Ammoniumnitrat hergestellt.



Die Verflüssigung des Gases geschieht durch Compression unter gleichzeitiger Abkühlung bis unter 0° .

Das gasförmige Stickstoffoxydul ist farblos und übt eingeatmet eine berausende, erweiternde Wirkung aus, deshalb führt es auch den Namen Lust- oder Lachgas.

Das flüssige Stickoxydul ²⁾ siedet bei -89° , der Schmelzpunkt des festen ist bei -102.3° .

Das flüssige Gas findet sich im Handel in Bomben und dient in gasförmigem Zustande vermischt mit Sauerstoff als Anästhetikum in der Chirurgie und bei Zahnoperationen.

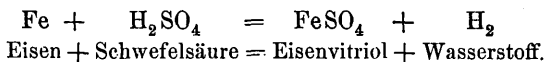
zum Schlusse, daß dieselbe dem Wasserdampf gegenüber keinerlei Vorteile aufweist.“ (A. Bauer, Aus der Werdezeit unserer Kälte-Industrie. Festschrift für den I. Internationalen Congress für Kälte-Industrie, Paris 1908.)

¹⁾ Eine überaus interessante Studie über das Stickoxydul wurde von Prof. Dr. E. Cohen herausgegeben: Das Lachgas, eine Chemisch-Kulturhistorische Studie. Leipzig, W. Engelmann 1907.

²⁾ Es wird eine mit flüssigem Stickoxydul gefüllte Stahlflasche, welche die Firma Ash & Sons so gütig war, beizustellen, vorgezeigt.

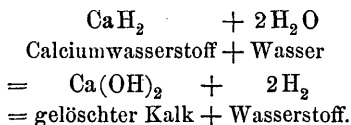
Wasserstoff H₂.

Von den zahlreichen Verfahren, Wasserstoff technisch herzustellen, seien nur einige erwähnt. Eines der gebräuchlichsten besteht in der Einwirkung verdünnter Säure wie Schwefelsäure oder Salzsäure auf Eisen.



Die Zersetzung von Wasser oder verdünnter Alkalilösung durch den elektrischen Strom liefert sehr reinen Wasserstoff nebst Sauerstoff.¹⁾

In jüngster Zeit hat man auch den Calciumwasserstoff (Hydrolith) CaH₂ zur Gewinnung von Wasserstoff verwendet:



Ein Kilogramm dieses Körpers liefert bei der Behandlung mit Wasser zirka 1100 Liter Gas (Versuch).

Wasserstoff ist ein sehr leichtes Gas, 1 Liter wiegt bei 0° und 760 mm Druck 0·0898 g. Es ist schwer zu verflüssigen, da seine kritische Temperatur bei —240·8° liegt. Der flüssige Wasserstoff ist farblos und siedet bei —252·5°. Läßt man letzteren im Vakuum rasch verdampfen, so wird er fest.

Flüssiger Wasserstoff kann wegen seiner so tiefen kritischen Temperatur nicht in geschlossenen Stahl-

¹⁾ V. Engelhardt, Die Elektrolyse des Wassers. Monographie über angewandte Elektrochemie, Bd. I.

behältern aufbewahrt werden, sondern kommt im komprimierten Zustande im Handel vor. Die Flaschen haben gewöhnlich einen Rauminhalt von 10 Litern und enthalten zirka 1200 Liter Gas auf 120 Atmosphären zusammengepreßt. Damit eine Verwechslung mit den Sauerstoffbomben unmöglich wird, ist das Reduzierventil rot angestrichen und mit einem linksgängigen Gewinde versehen.

Komprimierter Wasserstoff findet in neuerer Zeit vielfach Anwendung zum Füllen der Luftballons.¹⁾²⁾

Auf andere Anwendungsgebiete dieses Gases wird nach Besprechung des Sauerstoffes zurückgekommen werden.

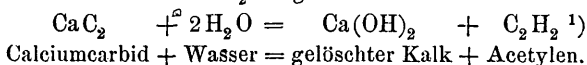
Versuch: Um den großen Druck des auf 120 Atmosphären komprimierten Wasserstoffes zu zeigen, wird dasselbe direkt an der Ausflußspitze des Ventiles entzündet, worauf sich eine etwa $\frac{3}{4}$ m lange Flamme bildet.

¹⁾ Zur Füllung eines Luftschiffes des Grafen Zeppelin wurde Wasserstoff der Luzerner Werke verwendet und war ein Flaschenpark von etwa 1600 Flaschen à 6 m³ nötig. Die Kosten für die Füllung beliefen sich auf nahezu 120.000 Kronen. (Schoop, Industrielle Elektrolyse des Wassers, 1901, p. 42. F. Enke, Stuttgart.)

²⁾ Prof. H. Erdmann hat vorgeschlagen, flüssigen Wasserstoff zur Ergänzung bei Ballonfahrten zu verwenden. Wird z. B. 1 kg Wasserstoff vergast, so wird nicht nur die Belastung um 1 kg geringer, sondern es werden auch 11 m³ gasförmiger Wasserstoff gewonnen, welche im Stande sind, 14 kg Ballast zu tragen. (Deutsche Zeitschrift für Luftschiffahrt, Heft 6, p. 224—228, Heft 8, p. 312—319.)

Acetylen C_2H_2 .

Das Acetylen wird durch Einwirkung von Wasser auf Calciumcarbid CaC_2 hergestellt.



Das Acetylen ist ein farbloses, unangenehm riechendes Gas, das zu einer Flüssigkeit verdichtet werden kann.

Da es die kritische Temperatur $+37.05^\circ$ besitzt und der kritische Druck 68 Atmosphären beträgt, kann das Acetylen bei gewöhnlicher Temperatur in Stahlflaschen aufbewahrt werden. Das kondensierte Gas ist eine farblose Flüssigkeit, die bei -82.2° siedet. Durch rasche Verdampfung kann es auch in den festen Zustand übergeführt werden.

„Eine Stahlflasche mit flüssigem Acetylen repräsentiert eine kleine, überall aufzustellende Gasanstalt.“^{2) 3)}

Leider haben Unglücksfälle mit flüssigem Acetylen Veranlassung gegeben, daß die Verwendung desselben derzeit behördlich untersagt ist.

Das Acetylen löst sich sehr leicht in Aceton (CH_3COCH_3) auf und von dieser Eigenschaft wurde Anwendung zur Herstellung eines Acetylenakkumulators gemacht. Acetylendissous ist Acetylen, das unter Druck in Aceton aufgelöst ist. Diese Lösung ist in Stahl-

¹⁾ 1 kg reines Carbid liefert mit Wasser 349 l Acetylen gas, das technische Präparat soll nicht weniger als 300—270 l Gas geben.

²⁾ Luhmann, l. c. p. 142.

³⁾ 1 kg flüssiges Acetylen liefert zirka 862 Liter Gas.

behältern deponiert, welche vollkommen mit einer porösen Masse ausgefüllt sind.

Es wird später auf ein interessantes Anwendungsgebiet dieses Gases zurückgekommen werden.

Flüssige Luft.

Die Zusammensetzung der trockenen Luft pro 1 m³ ist nachfolgende:

Stickstoff	780·3 Liter
Sauerstoff	209·9 „
Argon	9·4 „
Kohlendioxyd . .	0·3 „

Zur Verflüssigung der Luft wurden verschiedene Vorrichtungen konstruiert, von denen hauptsächlich die von Linde, Hampson und Tripler hervorgehoben sind.

Bei der Lindeschen Maschine wird ausschließlich die Abkühlung benützt, welche entsteht, wenn ein hochkomprimiertes Gas unter vermindertem Druck ausströmt.

Dieser Apparat (Fig. 14) besitzt folgende Hauptteile: Kompressor, Kühler, Gegenstromapparat und Expansionsgefäß mit Reduzierventil.

Der Gegenstromapparat besteht aus zwei ineinandergeschachtelten Schlangenhöhren von zirka 200 m Länge. Das innere Rohr hat etwa 3 cm, das äußere Rohr 6 cm Durchmesser.

Das Reduzierventil *R* wird so gestellt, daß im engeren Schlangenhöhre ein Druck von 200 Atmosphären, im weiteren ein solcher von zirka 20 Atmosphären herrscht.

Infolge der hohen Kompressionsarbeit tritt die Luft bei *H* in stark erhitztem Zustande aus und wird deshalb im Kühler *W* auf die gewöhnliche Temperatur abgekühlt

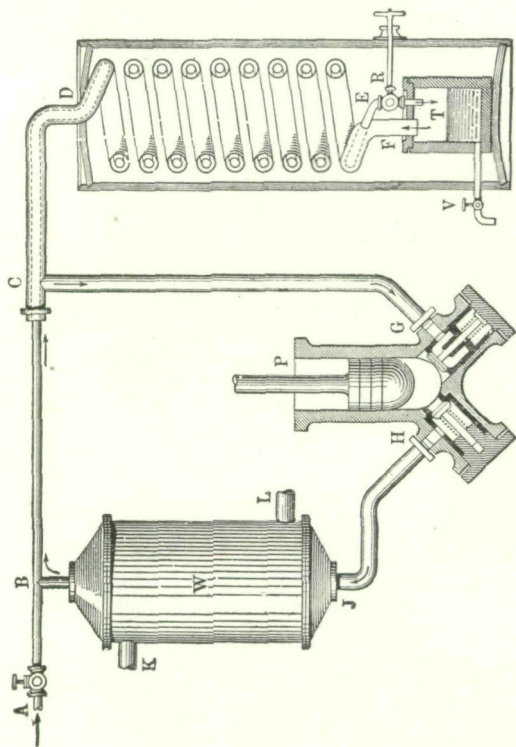


Fig. 14.

Aus dem Lehrbuch der anorganischen Chemie von Prof. Dr. H. Erdmann.
Verlag von F. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

und nimmt dann ihren Weg durch das engere Metallrohr und strömt hierauf in das Gefäß *T*, in welchem nur ein Druck von 20 Atmosphären herrscht. Die so abgekühlte

Luft tritt hierauf in das weitere Schlangenrohr und kann hier nur auf Kosten der in dem engeren Rohre strömenden Luft Wärme aufnehmen, da die Spiralen außen mit einer vorzüglichen Wärmeschutzmasse (Schafwolle) umgeben sind. Durch wiederholte Kompression und Expansion wird endlich die kritische Temperatur der Luft (-140°) erreicht und es kann bei der Expansion ein Teil der Luft in den flüssigen Zustand übergehen. Die so erhaltene flüssige Luft ist durch beigemengtes festes Kohlendioxyd etwas trübe, kann davon durch Filtrieren befreit werden und stellt eine klare bläuliche Flüssigkeit dar, welche aber nicht in Stahlflaschen, welche fest verschlossen sind, aufbewahrt werden kann, da sie schon bei -140° in den gasförmigen Zustand übergeht und dabei einen so hohen Druck entwickelt, daß die Behälter zertrümmert würden. Da 1 Liter flüssige Luft zirka 1000 g wiegt, sind in dieser Gewichtsmenge zirka $\frac{1000}{1.293} = 800$ Volumen Luft enthalten und es müßte durch die Erwärmung auf die gewöhnliche Temperatur ein Druck von 800 Atmosphären entstehen.¹⁾ Die Tafel zeigt die Ansicht der Luftverflüssigungsanlage der Witkowitz Steinkohlengruben in Mährisch-Ostrau.

Zur Aufbewahrung von flüssiger Luft dienen offene doppelwandige Dewar'sche Glasgefäße (Fig. 15, 16), deren Zwischenräume sorgfältig evakuiert sind, damit

¹⁾ Ein Liter Luft wiegt bei 0° 760 mm 1.293 g. — E. Luhmann, l. c. p. 79.

die Wärmeleitung nach dem inneren Behälter möglichst gering wird. Durch Versilberung der im Vakuum liegenden Gefäßwände wird auch die Wärmestrahlung stark heruntersetzt.¹⁾

Im Dewar'schen Gefäße kann die flüssige Luft, die bei -191.4° siedet, längere Zeit aufbewahrt werden

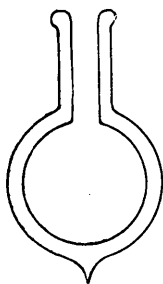


Fig. 15.



Fig. 16.

und, da sie einen so tiefen Siedepunkt besitzt, können sehr bedeutende Kältewirkungen mit derselben erzielt werden.

Um die Eigenschaften der flüssigen Luft näher zu beleuchten, wurden nachfolgende Versuche ausgeführt:

- a) flüssige Luft mit mehr als 50% Sauerstoff ist schwerer als Wasser;
- b) Erstarren von Äther, Alkohol;

¹⁾ Die Dewar'schen Gefäße werden zum weiteren Schutze beim Transport in größere Blechbehälter eingesetzt und der Zwischenraum durch Schafwolle gut ausgefüllt. (Fig. 5.)

- c) Festwerden von Schwefeldioxyd, Leuchtgas;
- d) mit flüssiger Luft imprägnierte organische Substanzen verbrennen sehr brisant;
- e) Änderung des Leitungswiderstandes von durch flüssige Luft abgekühlten Metallen;
- f) Vergrößerung der Elastizität von Metallen beim Abkühlen derselben durch flüssige Luft;
- g) durch flüssige Luft abgekühlte Blumen lassen sich pulverisieren.

Die flüssige Luft findet ausgedehnte Anwendung bei wissenschaftlichen Arbeiten sowie in der Industrie.

Was das erstgenannte Anwendungsgebiet betrifft, so ist es unter Zuhilfenahme dieses ausgezeichneten Kältemittels in den chemischen Laboratorien gelungen, eine größere Anzahl von Stoffen herzustellen, die unter den gewöhnlichen Temperaturverhältnissen nicht existenzfähig sind.

Eine sehr interessante technische Verwendung der flüssigen Luft besteht darin, daß man dieselbe zur Herstellung eines Sprengstoffes verwendet. Linde fand, daß ein Gemisch von sauerstoffreicher flüssiger Luft und einer organischen Substanz wie Holzkohle, Holzstoff, Petroleum sich wie Dynamit verhält. Durch eine Initialzündung, wie z. B. durch ein Knallquecksilberzündhütchen, kann die Mischung zur Explosion gebracht werden. Die Sprengwirkung solcher Patronen ist eine vorzügliche und wurden mit denselben Versuche beim Baue des Simplontunnels gemacht.

O. Suess ¹⁾ hat die flüssige Luft durch einen sinnreich konstruierten Apparat in die Rettungstechnik eingeführt.

Der Hauptwert der flüssigen Luft liegt in ihrem hohen Sauerstoffgehalte. Nachdem der flüssige Stickstoff bei -195.6° , der flüssige Sauerstoff bei -183° siedet, wird aus der flüssigen Luft zuerst der Stickstoff zum größten Teile absieden und es läßt sich durch zweckmäßig konstruierte Apparate die flüssige Luft so gut fraktionieren, daß man fast reinen Sauerstoff und Stickstoff erhält.

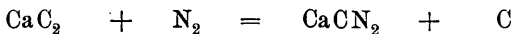
Stickstoff N_2 .

Früher stellte man den reinen Stickstoff durch Überleiten von Luft über glühendes Kupfer her, ²⁾ ist aber jetzt von dieser Methode abgegangen und benützt fast ausschließlich das vorhin erwähnte Verfahren. Das Gas befindet sich in Bomben in komprimiertem Zustande.

Für den Stickstoff eröffnet sich jetzt ein kolossales Anwendungsgebiet zur Herstellung des in der Landwirtschaft in ausgedehntem Maße benützten Kalkstickstoffes. Zur Bereitung dieses Körpers leitet man Stickstoff über hochoverhitztes Calciumcarbid.

¹⁾ Festschrift des I. Internationalen Kongresses für Kälteindustrie. Paris 1908, p. 113.

²⁾ Nutzbarmachung des Luftstickstoffes (Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse 47 [1906/7], 415).



Calciumcarbid + Stickstoff = Kalkstickstoff + Kohlenstoff.

Komprimierter Stickstoff findet auch Anwendung zum Aufblasen der Automobilreifen.

Sauerstoff O₂.

Der Sauerstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, dessen kritische Temperatur bei — 118·0° liegt und welcher im flüssigen Zustande daher in geschlossenen Bomben nicht aufbewahrt werden kann. Es liegen da ganz ähnliche Verhältnisse vor, wie selbe schon bei der flüssigen Luft besprochen wurden.

In den Handel kommt der Sauerstoff in komprimiertem Zustand in Stahlflaschen gefüllt. Für den gewöhnlichen Gebrauch enthalten diese Behälter, die einen Fassungsraum von zirka 10 l besitzen, 1200 l des Gases und es beträgt der Anfangsdruck des letzteren daher 120 Atmosphären.

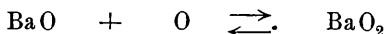
Außer dem früher geschilderten Verfahren zur Herstellung von Sauerstoff aus flüssiger Luft haben noch einige andere technische Methoden Anwendung gefunden.

So kann durch Elektrolyse einer Alkalilösung das Gas neben Wasserstoff gewonnen werden.¹⁾

Das Brin'sche Verfahren beruht auf der Umwandlung von Bariumoxyd mit Luft in Bariumsuperoxyd.

¹⁾ In Luzern ist eine Fabrik, die sich mit der elektrolitischen Herstellung von Sauerstoff und Wasserstoff beschäftigt.

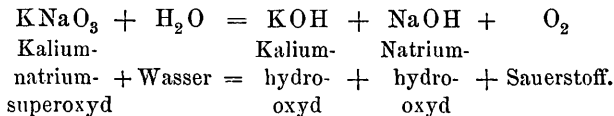
Unter gewissen Verhältnissen kann letztere Verbindung wieder in ihre Komponenten zerfallen:



Bariumoxyd + Sauerstoff = Bariumsuperoxyd.

In neuerer Zeit kann Sauerstoff bequem durch Einwirkung von Wasser auf Superoxyde wie Natriumsuperoxyd Na_2O_2 und Kaliumnatriumsuperoxyd KNaO_3 hergestellt werden. Letztere Verbindung wird auch in Pastillenform hergestellt:

Versuch: Es wird unter einen großen, mit Wasser gefüllten Zylinder, der sich in einer pneumatischen Wanne befindet, eine Pastille KNaO_3 , welche zirka 50 g wiegt, gegeben, worauf eine sehr heftige Gasentwicklung eintritt und sich zirka 8 l Sauerstoff entwickeln.



Die Sauerstofffabrikation im großen hat sich in den letzten Jahren mächtig entwickelt und das komprimierte Gas findet sowohl in der Industrie als in der Hygiene und in der Medizin ausgedehnte Anwendung.

Es ist hier nicht möglich, alle Anwendungsgebiete des technischen Sauerstoffes zu berühren, und es werden nur einige darunter ins Auge gefaßt werden. Es sei hier gestattet, auf das hochinteressante Handbuch der Sauerstofftherapie, herausgegeben von Michaelis, hinzuweisen.

Billiger Sauerstoff bedeutet eine radikale Umgestaltung der Hüttenkunde. Bei den Feuerungsanlagen werden zur Verbrennung von 1 kg Kohle durchschnittlich 8—10 m³ Luft zugeführt und diese Quantität enthält zirka 10 kg Stickstoff, welcher bei der Verbrennung eine ganz indifferente Rolle spielt und dadurch, daß er auf 1000—1200° erwärmt wird, einen kolossalen Wärmeverlust bedingt.

Bei 1200° erreicht die verlorene Wärme nur durch den ungünstigen Einfluß des Stickstoffes die enorme Ziffer von 3100 Cal. und es wird so ein großer Teil der Heizkraft der Kohle von dem Stickstoffe absorbiert.¹⁾

Komprimierter Sauerstoff spielt eine große Rolle in der Beleuchtungsindustrie und es wird später noch auf dieses Anwendungsgebiet zurückgekommen werden.

Weiters findet er in der Hygiene und Medizin ausgedehnte Anwendung:

Nach Explosionen schlagender Wetter in Steinkohlengruben. Es gibt eine große Anzahl von Rettungsapparaten,²⁾ welche mit kleinen, mit komprimiertem Sauerstoff gefüllten Stahlzylindern ausgestattet sind.

Über einen Fall, wo Arbeiter durch die von einem Kesselsteingegenmittel ausgestoßenen Dämpfe verun-

¹⁾ Pictet, Zeitschrift für komprimierte und flüssige Gase 4 (1901), 60.

²⁾ Näheres findet sich in dem Vortrage des Dr. F. Böck: Neuerungen im Rettungsdienste nach Schlagwetterexplosionen (Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse 45 [1904/5], 435.)

glückten, berichtet Bergingenieur Körner¹⁾ wie folgt: „Im Dezember des Jahres 1896 hatten in einem Werke vier Arbeiter einen Kessel mit Anticorrosivum auszusmieren. Durch entstandene Dämpfe verloren diese Arbeiter ihre Besinnung, ohne zuvor noch ein Zeichen nach außen geben zu können. Das gleiche Schicksal erlitt auch noch den Oberkesselwärter und einen anderen Arbeiter, die in dem Kessel nachsehen wollten. Sechs Menschen lagen mithin bewußtlos im Kessel. Als der Betriebsingenieur hinzugeholt wurde, waren schon Stunden vergangen; auf seine Anordnung wurden sogleich zwei Sauerstoffflaschen von je 1000 l Inhalt in den Kessel entleert; alsbald vernahm man das röchelnde Atmen der Verunglückten und kurz darauf krochen vier derselben gerettet aus dem Kessel. Die noch im Kessel befindlichen zwei Arbeiter lagen eingeklemt zwischen Kesselwand und Heizrohr. Um den Sauerstoff auch zu ihnen zu bringen, wurde ein Schlauch bis in ihre unmittelbare Nähe eingehängt und neuerlich eine Flasche Sauerstoff mit 1000 l Inhalt entleert. Der Erfolg blieb gleichfalls nicht aus; beide Leute waren nach einiger Zeit imstande, aus dem Kessel herauszukommen. Trotz des fast vierstündigen Aufenthaltes in der giftigen Atmosphäre erholten auch sie sich in wenigen Tagen.“

In der Medizin findet komprimierter Sauerstoff bei Krankheiten des Blutes, der Lunge, des Herzens sowie bei Intoxikationen Anwendung. Auch wurde er in der

¹⁾ Berg- und Hüttenmännische Zeitung vom 18. Juni 1897.

Narkose benützt. In neuester Zeit benützt man das Gas auch zur Herstellung von Sauerstoffbädern.¹⁾ (Fig. 17.)

Versuch: In dem Glastrog befinden sich am Boden Korkplatten, zwischen welchen der ganzen Länge des

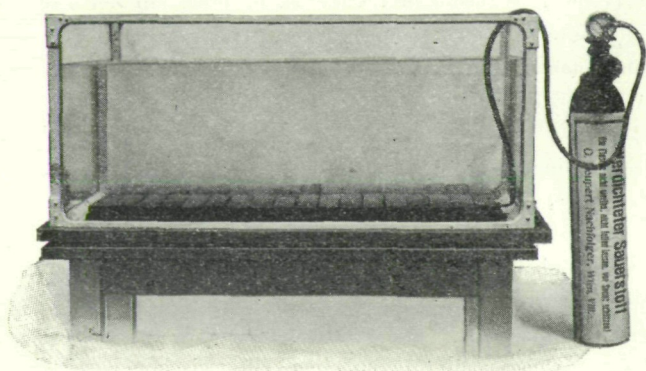


Fig. 17.

Gefäßes nach ein Rohr läuft, das mit vielen feinen Öffnungen versehen ist, durch welche der komprimierte Sauerstoff, der einer Bombe entnommen wird, in ganz feinen Blasen erscheint.

Eine originelle Anwendung hat das komprimierte Gas durch F. Kaltenecker und N. v. Lorenz für den Lebendtransport von Fischen gefunden.²⁾

¹⁾ Die Firma O. Neuperts Nachfolger hat die besondere Güte gehabt, ein Sauerstoffbad aufzustellen.

²⁾ N. v. Lorenz, *Der Hydrobion. Zentralblatt für das gesamte Forstwesen*, Heft 11 ex 1903.

Komprimierter Wasserstoff, Sauerstoff sowie Acetylen haben in jüngster Zeit eine überaus große Anwendung zum Schweißen und Schneiden der Metalle gefunden. Es ist bereits längst bekannt, daß das Knallgas (Gemenge von 2 Vol. Wasserstoff und 1 Vol. Sauerstoff) nur mit einer besonderen Vorrichtung, dem Daniellschen Hahn, gefahrlos verbrannt werden kann.

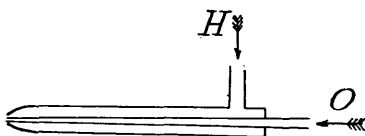
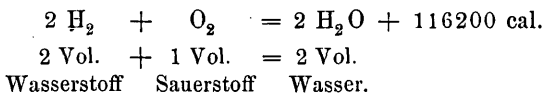


Fig. 18.

Die genannte Vorrichtung (Fig. 18) besteht in ihrer ursprünglichsten Form aus zwei ineinander geschachtelten Röhren, durch die weitere Röhre *a* wird der Wasserstoff, durch die engere *b* der Sauerstoff geleitet. Beide Gase treffen erst an der Spitze *c* zusammen und es ist dadurch jede Explosionsgefahr ausgeschlossen.

Die bei der Verbrennung des Knallgases eintretende Reaktion ist durch nachstehende Gleichung gekennzeichnet:



Der große bei dieser Reaktion entstehende thermische Effekt macht es möglich, mit der Knallgasflamme sehr schwer schmelzbare Metalle wie Platin (Schmelz-

punkt zirka 1800⁰) zu schmelzen. Eisen läßt sich mit Leichtigkeit verbrennen.

Mit Hilfe eines von dem französischen Ingenieur Edmond Fouché konstruierten Apparates, der den Namen „Brenner Fouché“ (Fig. 19) führt, ist es nun leicht möglich, die autogene Schweißung der Metalle durchzuführen.

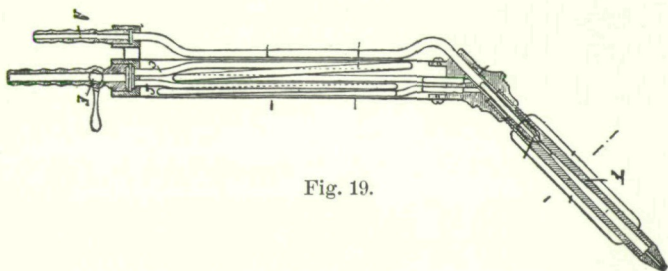


Fig. 19.

Statt Wasserstoff wird bei dem Fouché-Brenner gewöhnlich Acetylen¹⁾ verwendet und dieses Gas im Verhältnis 1 : 1 mit Sauerstoff vermischt. Unter diesen Bedingungen verbrennt das genannte Gasgemenge zu Kohlenoxyd und Wasserstoff. Die Verbrennungsgleichung ist durch nachstehendes Schema gegeben :

¹⁾ Der Heizwert von 1 m³ Wasserstoff beträgt zirka 2600 Calorien, der von 1 m³ Acetylen zirka 14.000 Calorien unter der Voraussetzung, daß gasförmige Endprodukte entstehen. Aus diesen Zahlen ist mit Deutlichkeit zu entnehmen, daß es zur Erreichung hoher Temperaturen viel vorteilhafter ist, statt Wasserstoff Acetylen zu verwenden.

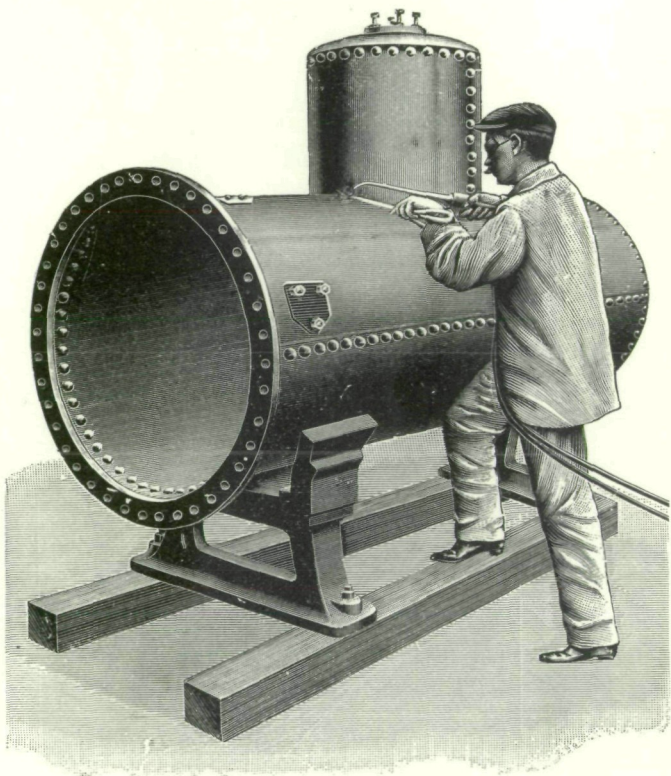
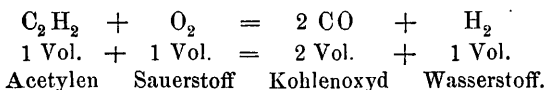


Fig. 20.



Beim Schweißen der Metalle verwendet man also ein reduzierendes Gasgemisch. Mit Hilfe des in Rede stehenden Brenners lassen sich nun mit Leichtigkeit die verschiedensten Schweißungen ausführen.

Fig. 20 zeigt das Aufschweißen eines Domes auf einen Kessel.

Fig. 21 zeigt die Reparatur eines Cornwall-Dampfkessels mit Acetylendissous.

Auf ähnlichen Prinzipien wie der Fouché-Brenner beruht der Schneidebrenner „Pyrokopt“ (Fig. 22), der spielend leicht Eisen- und Stahlbleche schneidet.

Im Gegensatz zum Schweißbrennen, bei dem ein reduzierendes Gasgemisch nötig ist, benötigt man zum Schneiden einen erheblichen Überschuß an Sauerstoff, also eine oxydierende Flamme.

Um das Zerschneiden von Stahl, Schmiedeeisen auszuführen, wird eine kleine Stelle des Materiales auf Schweißtemperatur erhitzt und hierauf Sauerstoff gegen diese Stelle geblasen.

Durch die hohe bei der Verbrennung des Eisens entstehende Temperatur werden die anliegenden kalten Eisenteile so hoch erhitzt, daß sie ebenfalls in Sauerstoff verbrennen.

Der stark komprimierte Sauerstoff wird benützt, das oxydierte Material wegzublasen, so daß ein schmaler Schnitt entsteht.

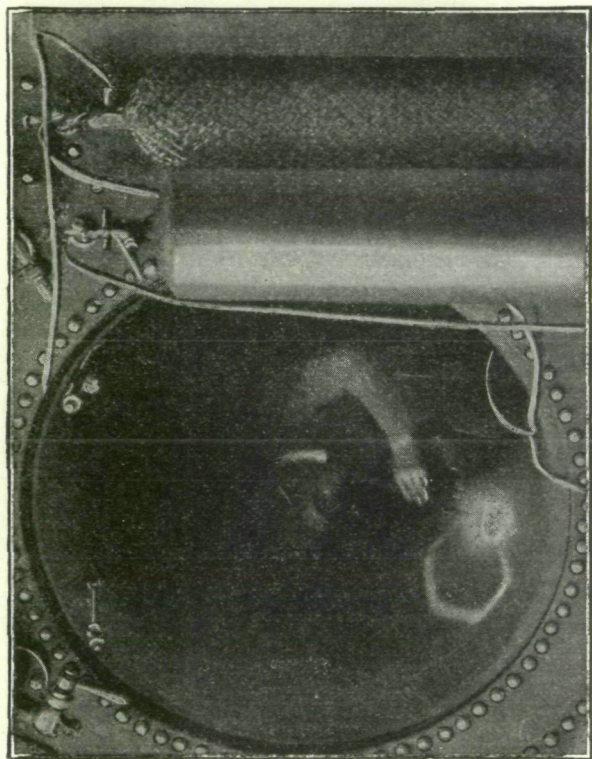


Fig. 21.
Reparatur eines Cornwall-Dampfkessels in einer chemischen Fabrik
mit Acetylendissocks.

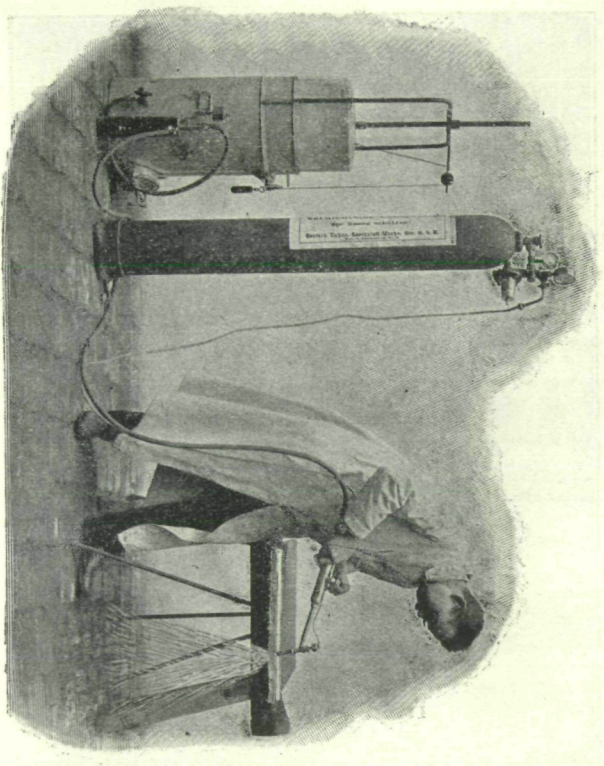


Fig. 22.

Schneidebrenner Pyrokopt mit Sauerstoff und Acetylen.

Zum Betriebe dieses Apparates wird außer komprimiertem Sauerstoff Acetylen, Acetylendissous oder Leuchtgas verwendet.

Versuch: Die österr.-ungar. Sauerstoffwerke hatten die große Güte, mit dem vorhin erörterten Brenner das Durchschneiden einer Metallplatte zu demonstrieren (Fig. 22¹).

Eine ganz eigenartige Verwendung eines Daniellschen Hahnes schlägt der Marineingenieur Dibois vor. Genannter will die Enteisung von Eisflächen mittels Wasserstoffgebläse vornehmen.²)

Läßt man die Flamme eines Knallgasbrenners, der mit komprimiertem Wasserstoff und Sauerstoff gespeist wird, auf einen Kreidezylinder oder auf ein Zirkonplättchen wirken, so werden diese Stoffe auf Weißglut erhitzt und strahlen glänzendes Licht aus. Solche Brenner werden vielfach für Projektionszwecke verwendet. Fig. 23 zeigt eine modere Konstruktion eines solchen Apparates. Die beiden Bomben sind zur schärferen Einstellung des Gasverbrauches mit Quecksilbermanometern versehen.³)

Sie dürften aus meinen Ausführungen wohl den Eindruck gewonnen haben, daß uns in den komprimier-

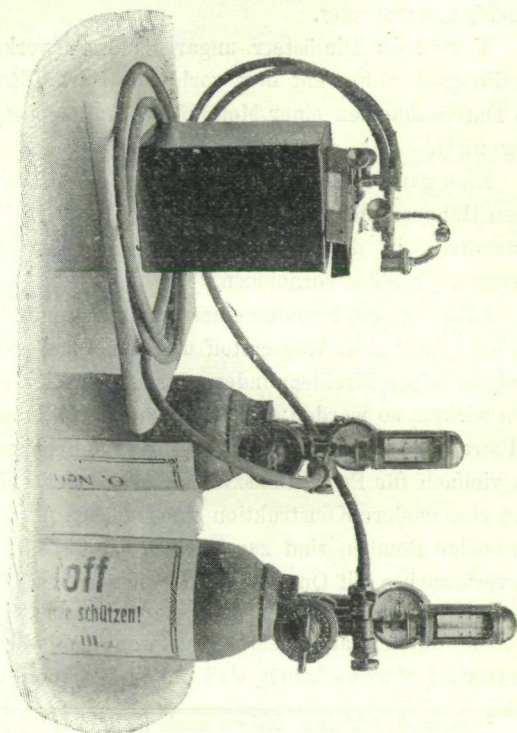
¹) Genannte Werke haben auch in liebenswürdigster Weise einige Klischees sowie einige Diapositive zur Verfügung gestellt.

²) Zeitschrift für Eis- und Kälteindustrie 1 (1909), 162.

³) Der Ingenieur F. Wanz in Firma O. Neuperts Nachfolger hatte die Güte, einen solchen Apparat zur Demonstration beizustellen.

ten und verflüssigten Gasen große Energiequellen zur Verfügung stehen. Ein amerikanischer Physiker¹⁾ tat den

Fig. 23.



Ausspruch, „daß von allen Erfindungen der neuen Zeit einmal diejenige des Regenerativverfahrens zur Her-

¹⁾ H. Giese, Die Verflüssigung der Luft und ihre Zerlegung. Leipzig 1909, L. Degener.

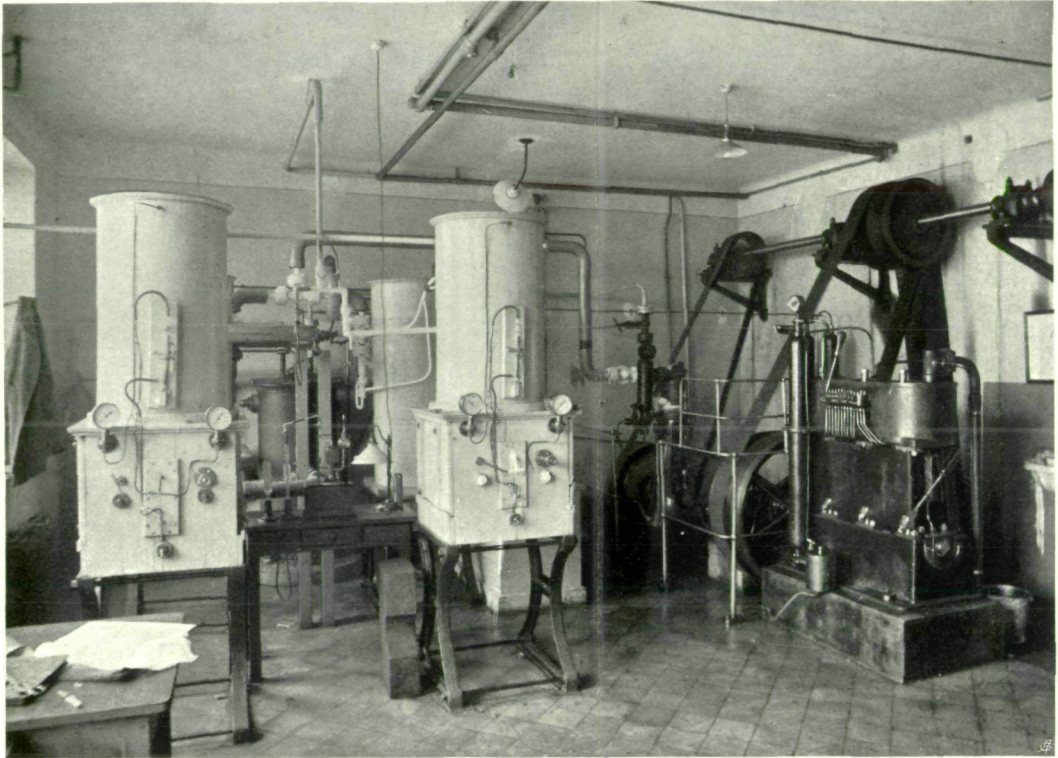
stellung von flüssiger Luft die größte wirtschaftliche Bedeutung gewinne. Um ein einziges Beispiel herauszuheben, läßt sich schon heute mit Sicherheit erkennen, daß keine Seite des zivilisierten Lebens durch einen billigen Sauerstoff unberührt bleiben wird; ja es ist nicht zu viel gesagt, daß dieser im ganzen Wirtschaftsleben der Nationen die tiefgehendsten Umwälzungen hervorrufen und der menschlichen Kultur neue Güter und noch nicht ausdenkbare Entwicklungsmöglichkeiten schaffen wird“.

Ich erinnere Sie an den zweiten Teil der Ausführungen Lavoisiers, welche ich an die Spitze meines Vortrages gestellt habe.

Was damals vor 125 Jahren ein unerfüllbarer Traum erschien, ist bereits längst in den Bereich der Wirklichkeit gerückt; der prophetische Blick des großen Forschers erkannte Möglichkeiten, die sich heute als Wahrheiten erwiesen haben.

Der Vortragende spricht zum Schlusse noch Herrn Privatdozenten Dr. F. Böck sowie den Herren Assistenten A. Panzer und Dr. R. Krulla den verbindlichsten Dank für die überaus mühevollen Vorbereitung und Ausführung der Experimente aus.

M. Bamberger: Über die Industrie komprimierter und verflüssigter Gase.



Ansicht der Luftverflüssigungsanlage der Witkowitz Steinkohlengruben in Mährisch-Ostrau.

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: 1909

Band/Volume: [49](#)

Autor(en)/Author(s): Bamberger Max

Artikel/Article: [Über die Industrie komprimierter und verflüssigter Gase. \(1 Falttafel\). 365-421](#)