

Die flüssige Kohlensäure,

ihre Darstellung, Eigenschaften und Verwendung, namentlich beim Unterrichte.*

Das Wort „Kohlensäure“, mit dem wir eine vom Selterswasser her allgemein bekannte Gasart bezeichnen, ist kaum 100 Jahre alt, obwohl anzunehmen ist, daß diese Gasart schon so lange bekannt ist, als es überhaupt Menschen auf der Erde gegeben hat, weil sie an sehr vielen Stellen, man möchte beinahe sagen überall, mit dem Quellwasser der Erde entströmt. Man hielt sie aber entweder für Luft oder für Schwefeldämpfe, d. h. Schweflige Säure, welche einige Ähnlichkeit mit der Kohlensäure besitzt. Daß Tiere in unserer Gasart ersticken, zeigte von Helmont erst ums Jahr 1600. Er nannte sie „gas sylvestre“. Etwa 100 Jahre später nannte Friedr. Hofmann sie „spiritus mineralis“ und Black etwa 50 Jahre später, 1750, „fixe Luft“, weil sie in diesen Verbindungen in fester Form erscheint. Bergmann nannte sie 1774 „Luftsäure“, und erst der Begründer der wissenschaftlichen Chemie, Lavoisier, gab ihr 1790 den Namen „Kohlensäure“, wobei er zugleich ihre wahre chemische Natur, nämlich ihre Zusammenetzung aus Kohlenstoff und Sauerstoff, nachwies.

Die Gewinnung der Kohlensäure geschah nach folgenden Methoden. Man ließ dieselbe beim Verbrennen von Coaks oder Holzkohle, oder beim Brennen der Kalksteine nicht mehr wie früher entweichen, sondern leitete sie unter hohem Druck in eine Lösung von kohlenstoffsaurem Natron oder Soda. Es bildete sich dann doppeltkohlenstoffsaures Natron, dem man später durch Erhitzen die Hälfte der Kohlensäure oder, richtiger gesagt, die zugeführte Kohlensäure wieder entzog. Die andere Methode der Kohlensäuregewinnung hat eine allgemeinere Verbreitung gefunden, weil sie sich sowohl für den Groß- wie Kleinbetrieb eignet. In bezug auf ihr Alter läßt sich nichts Bestimmtes feststellen; es ist aber anzunehmen, daß sie mindestens ebenso früh, wenn nicht früher bekannt war als die vorige. Sie besteht darin, daß man Kalksteine oder Kreide in einem geschlossenen Gefäße mit verdünnter Salz- oder Schwefelsäure übergießt. Da aber die Kalksteine und namentlich die Kreide niemals ganz rein sind, so hat die aus ihnen dargestellte Kohlensäure einen ganz eigentümlichen Geruch und Geschmack und ist deswegen z. B. zur Herstellung von Selterswasser unbrauchbar. Viele Mineralwasserfabrikanten verwenden Magnesit und behaupten, dadurch die reinste Kohlensäure zu erzeugen. Krupp und viele andere benutzen Kalkspat mit ziemlich gutem Erfolge. Um chemisch reine Kohlensäure zu bekommen, benutzt man fast ausschließlich Marmor. Sogar als auf Anregung Dr. Kaydt's aus Hannover die Firma Kunheim & Co. in Berlin vor etwa 5 Jahren eine Fabrik anlegte zur Herstellung flüssiger Kohlensäure, verwandte man noch immer Marmor. Bei diesem Material ist jene Fabrik bis auf den heutigen Tag geblieben. Eine dritte Methode der Kohlensäuregewinnung ist neueren Datums. Sie wurde zuerst von Dr. Kaydt zur Ausführung gebracht. Es quillt nämlich seit undenklichen Zeiten an vielen Stellen die Kohlensäure in großen Quantitäten aus der Erde. Ich erwähne beispielsweise Neapel, Karlsbad, Trier, Selters, Burgbrohl, Pyrmont u. s. w. Kaydt kam nun auf den glücklichen Gedanken, diese von der Natur produzierte Kohlensäure aufzufangen und zur Darstellung flüssiger Kohlensäure zu verwenden. Angestellte Untersuchungen ergaben, daß die bei Burgbrohl dem Boden entströmende Kohlensäure am reinsten, beinahe chemisch rein sei, weshalb er Ostern 1885 dort Bohrungen vornehmen ließ, um die schon vorher starke Kohlensäureproduktion noch zu vergrößern. Sie war vor der Bohrung schon so stark, daß in 24 Stunden 300 kg = 150 000 l in Freiheit gesetzt wurden; nach derselben aber sind die dortigen Quellen so ergiebig geworden, daß man nicht genug Absatz für sie finden kann.

In flüssiger Form ist die Kohlensäure seit etwa 50 Jahren bekannt. Der erste, dem es gelang, flüssige Kohlensäure darzustellen, war Faraday, welcher von 1791–1861 gelebt hat. Er brachte in eine mehrfach gebogene, an einem Ende zugeschmolzene, dicke Glasröhre, getrennt von einander, kohlenstoffsaures Ammonium und Schwefelsäure, schmolz die Röhre zu und drehte sie nun so, daß die Säure mit dem Salze zusammentraf. Die hierdurch entstehende Kohlensäure wurde zuletzt so sehr verdichtet, daß sie bei Abkühlung

* Nachstehende Abhandlung ist in einem populären Stile abgefaßt, damit sie nicht bloß den Fachgenossen, sondern auch den Laien auf naturwissenschaftlichem Gebiete verständlich sei.

in einen flüssigen Zustand übergang. Beim Öffnen der Röhre trat aber regelmäßig Explosion ein. Deswegen wandte Thilorier bald hernach, 1834, gußeiserne Gefäße an. Daß er auch noch das kohlen-saure Ammonium durch Soda ersetzte, ist nicht wesentlich. (S. Ann. d. Chemie LX, 427.) Da aber Gußeisen oft Fehlstellen hat und von sehr spröder Beschaffenheit ist, so ließ Hare, nachdem schon ein junger Chemiker durch die Explosion solcher gußeiserner Gefäße sein Leben verloren hatte, diese aus Schmiedeeisen herstellen. Mareška und Douay glaubten eine Verbesserung darin zu finden, daß sie bleierne Cylinder mit kupfernen umgaben und außerdem noch dicke eiserne Bänder herum schlugen. Die Art und Weise der Darstellung blieb aber dieselbe. Ratterer in Wien, der auf die schmiedeeisernen Gefäße wieder zurück kam, änderte 1844 das Verfahren dahin ab, daß er aus dem Entwicklungs-Apparate die Kohlen-säure herauspumpfte, durch hohen Druck und Abkühlung sie in den flüssigen Zustand überführte und dann schmiedeeiserne Flaschen mit derselben anfüllte. Erst jetzt war sie zu Versuchen verwendbar. Der Ratterersche Apparat war aber noch unvollkommen, und die Darstellung der flüssigen Kohlen-säure sehr umständlich und zeitraubend. Nach dreistündigem Pumpen hatte man etwa nur 300 g flüssige Kohlen-säure. Eine bedeutende Vervollkommnung erhielt dieser Apparat im Jahre 1879 vom Oberlehrer Dr. W. Kaydt in Hannover, welcher zuerst eine Kompressionspumpe mit Dampftrieb zur Herstellung flüssiger Kohlen-säure konstruierte. Ihm waren hierbei die einige Jahre vorher, 1870, von Andrews gemachten Entdeckungen von ganz unschätzbarem Werte. Derselbe hatte nämlich gefunden, daß die gasförmige Kohlen-säure bei einer höheren Temperatur als $30,92^{\circ}$ auch durch den größten Druck nicht in den flüssigen Zustand übergeht. Andrews nannte diese Temperatur „den kritischen Punkt“ der Kohlen-säure. Er entdeckte bald, daß derselbe für jedes andere Gas auch eine andere Temperatur bedeuete, und dies brachte zwei andere Naturforscher, Pictet und Cailletet, auf den Gedanken, bei der Kondensierung der letzten noch unbezwingbaren Gase, zu denen bekanntlich Sauerstoff und Wasserstoff gehörten, ebenfalls Druck und Kälte zugleich anzuwenden. Ihre Versuche wurden im Jahre 1878, also vor der Konstruktion der Kaydtschen Dampfkompressionspumpe, mit Erfolg gekrönt.

Ehe wir nun auf die vielfache Verwendung der flüssigen Kohlen-säure näher eingehen, wird es nötig sein, uns mit den **Eigenschaften** derselben etwas näher bekannt zu machen. Denn obgleich jene genannte Firma Kunheim in Berlin jeden Tag 800 kg flüssige Kohlen-säure produziert und die Fabrik bei Burgbrohl vielleicht ebensoviele, so ist sie dennoch zu wenig verbreitet, um sie als allgemein bekannt annehmen zu können. In kleinen, zugeschmolzenen, gläsernen Röhren findet man sie bereits in fast allen höheren Schulen. Die flüssige Kohlen-säure ist farblos und sehr dünnflüssig, dünnflüssiger als Wasser. Sie gleicht ihrem Ansehen nach dem Alkohol oder dem Schwefeläther. Ihr spec. Gewicht ist 0,947 bei 0° ; sie schwimmt daher auf dem Wasser. Um sie herzustellen, ist ein Druck von 36 Atmosphären erforderlich, wenn die Temperatur 0° beträgt. Bei höherer Temperatur ist natürlich auch ein größerer Druck nötig, und umgekehrt bei niedrigerer Temperatur auch ein geringerer. Bei mehr als $30,92^{\circ}$ ist es überhaupt unmöglich, sie in einen flüssigen Zustand überzuführen; dagegen eine Temperatur-Erniedrigung auf $-78,2^{\circ}$ wäre allein schon hierzu ausreichend. Bei noch geringerer Temperatur würde sie auch im offenen Gefäße flüssig bleiben; bei allmählicher Steigerung würde sie, wenn $-78,2^{\circ}$ erreicht wären, unter der Erscheinung des Siedens in den gasförmigen Zustand übergehen. Ihr Siedepunkt ist daher $-78,2^{\circ}$. Zum Sieden aber ist Wärme nötig. Wird diese nicht von außen zugeführt, so wird sie der nächsten Umgebung entzogen; man sagt, die Flüssigkeit erzeugt bei ihrem Übergange in den gasförmigen Zustand oder beim Verdunsten Kälte. Die Größe dieser Verdunstungskälte hängt namentlich von der Schnelligkeit des Verdunstens ab. Da nun flüssige Kohlen-säure bei gewöhnlicher Temperatur nur unter großem Druck bestehen kann, also beim Nachlassen des Druckes, d. h. beim Öffnen des Hahns, mit großer Heftigkeit sich in Gasform verwandelt, so wird hierdurch so große Kälte erzeugt, daß ein Teil der flüssigen Kohlen-säure erstarrt oder gefriert, und daher mit dem Ausströmen der Kohlen-säure zugleich ein schneeartiger Niederschlag stattfindet. Merkwürdiger Weise fällt ihr Gefrierpunkt beinahe mit dem Siedepunkte zusammen; er beträgt -79° . Bei Erhöhung der Temperatur geht die starre Kohlen-säure, ohne flüssig zu werden, in den gasförmigen Zustand über. — Über die Hand gleitet sie rasch dahin, ohne große Kälte zu erzeugen, weil sie, getragen von ihrem eignen Gase, die Haut nicht innig berührt. Preßt man sie aber fest auf die Hand, so empfindet man einen stechenden Schmerz, und es entstehen Blasen wie bei Brandwunden.

Indem ich nun auf die **Verwendungen** der flüssigen Kohlen-säure übergehe, will ich vorher bemerken, daß ich eine kurze Zusammenstellung derselben in **historischer Reihenfolge** voranschicken und sodann bei ihnen der Reihe nach, wie sie mir am wichtigsten zu sein scheinen, länger verweilen werde. Die Anwendung der flüssigen Kohlen-säure in der Technik datiert erst vom Jahre 1878. Es muß auffällig erscheinen, daß dieselbe dem scharfen Blick der Industriellen, die heutigen Tages alles auf seine praktische Verwendung zu prüfen pflegen, so lange entgangen ist. Sie wurde in Hörsälen als eine große Merkwürdigkeit gezeigt, vielleicht

auch hin und wieder zur Herstellung von sehr niedrigen Temperaturen benutzt. Da die Flaschen aber häufig zerplakten, so wagte sich nicht jeder an die flüssige Kohlensäure heran. Ein anderer Grund, weshalb die flüssige Kohlensäure bis 1878 keine praktische Verwendung gefunden hatte, lag vielleicht darin, daß der Preis derselben ein zu enorm hoher war. Genaueres ließ sich zwar nicht ermitteln; aber so viel ist sicher, daß der Preis derselben seit der fabrikmäßigen Darstellung bedeutend herabgesunken ist. Jetzt kostet 1 kg derselben nicht ganz 2 *M.* Ein dritter Grund für jene auffällige Thatsache möchte in der Schwierigkeit des Transports zu finden gewesen sein. Die Eisenbahnen weigerten sich, die mit Kohlensäure gefüllten Flaschen anzunehmen, also konnte sie nur auf Schiffen oder zu Wagen weiter befördert werden, was jedenfalls sehr kostspielig und häufig kaum ausführbar gewesen sein mag. Erst nach der fabrikmäßigen Darstellung hat man die Flaschen zum Transport auf Eisenbahnen für zulässig erachtet, weil seitdem alljährlich in Gegenwart eines Beamten die eisernen Flaschen auf einen Druck von 250 Atmosphären probiert werden, während sie doch in Wirklichkeit einen Druck von nur 36 bis 70 Atmosphären auszuhalten haben.

Es ist das Verdienst des Dr. Kaydt, zuerst die großen Vorteile, welche die flüssige Kohlensäure bietet, richtig erkannt, die fabrikmäßige Darstellung derselben bewirkt, den Preis herabgedrückt, die Beförderung auf den Eisenbahnen ermöglicht und die vielfachste Verwendung derselben entdeckt zu haben.

Den ersten Anstoß zu seinen Entdeckungen gab der Untergang des „Großen Kurfürsten“ im Jahre 1878. Er erzählt darüber folgendes: „Ich war gerade mit der Herstellung der flüssigen Kohlensäure beschäftigt, als sich der schwere Unglücksfall vom Untergang des Kriegsschiffs „Großer Kurfürst“ ereignete. Als nun über die Hebung des Wracks vielfach verhandelt wurde, kam ich auf den Gedanken, ob sich nicht etwa die flüssige Kohlensäure zu dieser Hebung verwenden ließe, und zwar leiteten mich dabei die von Wilhelm Bauer angestellten Versuche, durch Hohlräume Gegenstände vom Boden des Meeres zu heben. Auf der Kaiserlichen Werft zu Kiel wurde am 28. August 1879 ein solcher Versuch wirklich ausgeführt. Ein Ankerstein von 316 Ctr. Gewicht war versenkt worden. An diesem wurde ein schlaffer Ballon aus gummiertem Segeltuch in Verbindung mit einem Behälter mit etwa 40 kg flüssiger Kohlensäure befestigt. Letztere war mit einer nach meinen Angaben konstruierten Pumpe mit Dampfbetrieb in einem Tage auf der Werft des Herrn Howaldt hergestellt worden. Ein Taucher drehte das Ventil auf, die Kohlensäure strömte schnell in den Ballon ein und dieser hob, 8 Minuten nachdem das Ventil geöffnet war, den Stein an die Oberfläche des Meeres. Der Hebungsvoruch war also vollkommen gelungen. — Dies ermutigte einige Herren in Hamburg, eine Gesellschaft zu bilden, welche nach dieser Methode Schiffe vom Meeresgrunde zu heben gedachte. Das Unternehmen kam aber vielleicht deswegen nicht zustande, weil es zu großartig geplant war. Auch lag damals noch eine andere Schwierigkeit vor, die jetzt überwunden ist, nämlich die Schwierigkeit, flüssige Kohlensäure in großen Quantitäten auf billige Weise herzustellen oder durch Kauf zu erwerben.“

Dieser erste Versuch Kaydt's basierte auf folgenden Schlußfolgerungen: „Wenn bei 0° ein Druck von 36 Atmosphären nötig ist, um die gasförmige Kohlensäure in den flüssigen Zustand überzuführen, so repräsentiert letztere bei dieser Temperatur auch nahezu eine ebenso große Kraft, d. h. sie wird bei 0° auch mit einer Kraft von etwa 36 Atmosphären als Gas in den Ballon hineinströmen. Um nun den tief unter Wasser angebrachten Ballon aufzublähen, ist eine ziemlich bedeutende Kraft nötig. Diese ist in der flüssigen Kohlensäure in reichlichem Maße aufgespeichert.“ Auch kann sie auf recht bequeme, leichte und rasche Weise, durch bloßes Aufdrehen eines Hahnes, zur Wirkung gebracht werden. Ferner ist es nicht unwesentlich, daß diese Kraft mit der Steigerung der Temperatur ganz bedeutend wächst. So hat Krupp in Essen gefunden, daß sie z. B. bei 165° einem Druck von 1100 Atmosphären gleichkommt. Die flüssige Kohlensäure ist daher zu vergleichen mit den elektrischen Akkumulatoren. — Trotz dieser großen Spannkraft sind seit der Benutzung der schmiedeeisernen Flaschen keine Unglücksfälle vorgekommen, obgleich seit mehreren Jahren schon etwa 5000 Stück in regelmäßigem Betriebe und den Händen der unerfahrenen Arbeiter anvertraut sind. Gegenwärtig ist diese Zahl auf 9000 gestiegen. Man darf daher wohl behaupten, daß die Anwendung der flüssigen Kohlensäure beinahe gefahrlos ist. Bedenkt man außerdem, wie vereinfacht die Darstellung der Kohlensäure durch den Großbetrieb ist, wie leicht sie sich versenden läßt und wie rasch man die in ihr aufgespeicherte Kraft in kritischen Augenblicken zur Arbeitsleistung verwenden kann, so wird man begreifen, wie vielseitig ihre Verwendung sein kann. Dazu erwähne ich noch die bedeutende Kälte-Entwicklung, welche beim Übergange der flüssigen Kohlensäure in den gasförmigen Zustand stattfindet. Die flüssige Kohlensäure ist deswegen ein vorzügliches Mittel, Eis zu erzeugen. Diesen Vorzug würde nun zwar das flüssige Ammoniak mit ihr gemein haben, aus welchem Grunde das letztere auch schon seit Jahren zur Eisbereitung benutzt worden ist. Allein es ist vorauszu sehen, daß es der weit billigeren flüssigen Kohlensäure das Feld wird räumen müssen, zumal diese bei gleichen Arbeitsräumen der Kompressoren mehr als sechsmal so wirksam ist als Ammoniak. (S. S. 10.)

Zunächst verfiel Raydt nach dem Hebungsversuche des schweren Ankersteins 1879 auf den Gedanken, im kleinen Versuche mit der flüssigen Kohlensäure anzustellen, da einstweilen ihre Darstellung und Versendung jedem größeren Unternehmen noch Schwierigkeiten bereiteten. Und so kam sie zunächst zur Anwendung beim Bierauschank und bei der Mineralwasserfabrikation. Etwa zu derselben Zeit versuchte F. A. Krupp in Essen, die großen Festungskanonen, die bekanntlich aus mehreren aufeinander aufgeschraubten Röhren bestehen, durch Abkühlung des inneren Rohres mittelst der flüssigen Kohlensäure wieder auseinander zu nehmen. Die angestellten Versuche gelangen vollkommen, und so wurde es ermöglicht, die durch langjährigen Gebrauch abgenutzten Seelen durch neue zu ersetzen.

Bald hernach machte Krupp eine andere Entdeckung in der Verwendung der flüssigen Kohlensäure zum Pressen geschmolzenen Metalls während des Erkaltes. Nachdem das geschmolzene Metall in die Form gegossen war, schloß man dieselbe und leitete die Kohlensäure hinein. Man erreichte auf diese Weise einen Druck von 75 Atmosphären. Der Guß wurde jetzt äußerst dicht, homogen und blasenfrei. Da auch dieser zweite Versuch vollkommen gelungen war, so fabrizierte Krupp von jetzt an die Kohlensäure sich selbst. Um sie in den flüssigen Zustand überzuführen, baute er sich eine Kompressionspumpe nach dem Raydtschen System (s. S. 4), vervollkommnete sie aber durch Hinzufügung einer Vorpumpe, wodurch die Produktionsfähigkeit derselben bedeutend erhöht wurde. Da er die flüssige Kohlensäure auch in den Handel gab, so war jetzt dem Raydt die Möglichkeit gegeben, beliebige Mengen von ihr zu erhalten, und da auch der Preis niedriger gestellt war als früher, so konnte letzterer sie jetzt reichlicher zu seinen Versuchen verwenden. Die Einführung derselben in weitere Kreise wurde aber erst dadurch bewirkt, daß, wie bereits oben (Seite 3) erwähnt, auf Raydt's Anregung von der Firma Kunheim in Berlin eine Fabrik für flüssige Kohlensäure angelegt wurde. Als sich nun später in Berlin (SW. Lindenstr. 21/23) eine Aktien-Gesellschaft für Kohlensäure-Industrie bildete, schloß sie mit genannter Firma den Kontrakt, nur für sie flüssige Kohlensäure zu fabrizieren. Diese Gesellschaft übernahm nun den Vertrieb der flüssigen Kohlensäure, und gab ihm durch eifriges Bemühen bald eine solche Ausdehnung, daß gegenwärtig täglich 100 Flaschen à 8 kg, also 800 kg oder 16 Ctr. = 400000 l Gas von ihr geliefert werden.

Eine sehr starke Konkurrenz erwuchs dieser Aktien-Gesellschaft vor etwas mehr als 2 Jahren durch die Anlage einer Fabrik für flüssige Kohlensäure von Thyssen & Co. in Tönnisstein bei Brohl am Rhein (s. S. 3), weil diese, die natürlich vorkommende Kohlensäure benutzend, die Darstellungskosten sich ersparen und daher weit billiger arbeiten konnte als jene. Diese Konkurrenz ist nun dadurch beseitigt, daß jene Gesellschaft vor kurzem mit den Fabrikanten zu Burgbrohl einen Kontrakt abgeschlossen hat, dahin lautend, daß diese Fabrik auf Rechnung von Kunheim & Co. nur für jene Aktien-Gesellschaft in Berlin arbeite.

In allerneuester Zeit erst ist es Raydt gelungen, die schon auf Seite 5 erwähnte Kälte-Entwicklung, welche durch den Übergang der flüssigen Kohlensäure in Gasform stattfindet, noch anderweitig wie Krupp, nämlich zur Eisbereitung praktisch zu verwerten. Der erste, welcher nach diesem, dem Raydt patentierten System eine Eismaschine erbaute, war Krupp in Essen. Außer dieser Maschine, welche täglich gegen 400 Ctr. liefert, sind bereits mehrere andere desselben Systems im Betriebe, andere schon bestellt, aber noch in der Herstellung begriffen.

Nach dieser kurzen historischen Zusammenstellung der Entdeckungen bezüglich der Verwendbarkeit der flüssigen Kohlensäure gehe ich jetzt dazu über, die einzelnen Verwendungen selbst näher zu beschreiben. Ich beginne mit derjenigen, welche bis heute die weiteste Verbreitung gefunden hat, nämlich mit der Bierpression mittelst flüssiger Kohlensäure. In nebenstehender Fig. 1 befindet sich die schmiedeeiserne Flasche, welche die flüssige Kohlensäure enthält, rechts. Dieselben

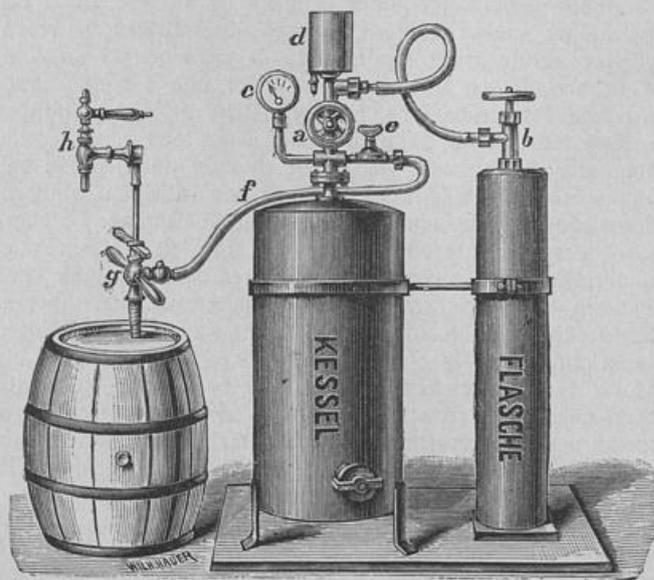


Fig. 1.

werden von den Fabriken gratis geliefert, müssen aber spätestens nach 3 Monaten zurückgeliefert werden; für größere Zeitdauer wird eine kleine Mietsentschädigung entrichtet. Der untere und obere Boden sind eingeschweißt. Der obere ist durchbohrt (Fig. 2), mit Schraubengewinde versehen und durch ein aus Rotguß bestehendes Ventil geschlossen. Der Verschluss wird durch eine stählerne Schraubenspindel hergestellt. Vor dem Füllen wird die Verschlussmutter *g* entfernt, die Schraubenspindel *e* etwas in die Höhe gedreht und nun durch Rohr *f* die flüssige Kohlenensäure hineingeleitet. Nach der Füllung wird die Flasche durch die Schraubenspindel *e* geschlossen, die Verschlussmutter wieder aufgesetzt und das ganze Ventil durch die eiserne Kappe *h* vor Unfällen geschützt. — Ist die Flasche an der Verbrauchsstelle angekommen, so wird zuerst die Kappe und die Verschlussmutter entfernt, die Verbindung mit dem Windkessel durch ein Rohr hergestellt, der Hahn durch Linksdrehen des Handrades (fehlt in Fig. 1) geöffnet und der Kohlenensäure durch Linksdrehen der Schraubenspindel mit dem Vierkant Schlüssel der Zugang zum Windkessel *f* geöffnet. Mit hörbarem Geräusch strömt sie hinein. Zeigt das Manometer *c* einen Druck von $1-1\frac{1}{2}$ Atmosphären an, so wird zuerst die Flasche und hernach der Kessel geschlossen. Letzterer ist auf einen Druck von 5 Atmosphären approbiert. Bei einem Druck von 2 Atmosphären öffnet sich das Sicherheitsventil *d*. Hahn *e* eröffnet der jetzt gasförmigen Kohlenensäure den Eintritt zunächst in einen Bierfang, welcher ebenfalls hier in der Figur fehlt. Derselbe besteht aus einem gläsernen, an beiden Enden geschlossenen Cylinder, der aber unten durch einen Hahn geöffnet werden kann. Diesen Behälter zwischen Kessel und Bierfaß hat man für nötig befunden, weil bei einem neu angesteckten Bierfasse der Druck der Kohlenensäure des Bieres oft größer ist als der Druck im Kessel. Um nun das Überschießen des Bieres in den Kessel zu verhüten, hat man zwar ein Rückschlagventil angebracht; aber da dieses erfahrungsmäßig bald verschleimt und dann etwas Bier durchdringen läßt, so wird dasselbe hier aufgefangen. Der Stechrahnen *g*, der bis zum Boden des Fasses reichen muß, leitet das Bier durch das Steigerrohr zum Zapfhahnen *h*.

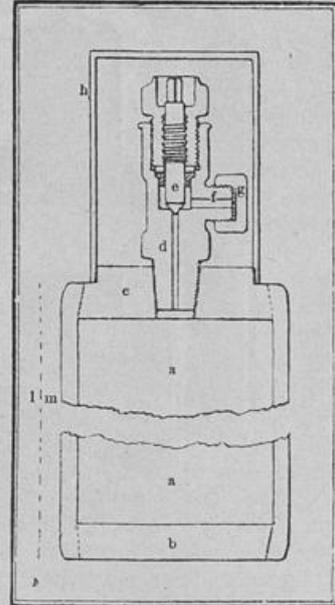


Fig. 2.

Die bisherige Einrichtung, durch Luft das Bier aus dem Kellerraum heraufzupressen, hat viele Nachteile; denn die hierzu benutzte Luft ist fast niemals rein, sondern es ist modrige Kellerluft oder übelriechende Hofluft. Die übelriechenden Gase werden nun bekanntlich alle vom Bier absorbiert; aber auch die Luft bleibt nicht ruhig auf dem Biere stehen, sondern es tritt zwischen ihr und der Kohlenensäure des Bieres Diffusion ein, so daß etwa die Hälfte der Luft vom Bier absorbiert und ebensoviel Kohlenensäure frei wird. Hierdurch ist es erklärlich, daß die Säurebildung im Faß fortschreitet und der Rest des Bieres sauer und schal wird. Wird das Bier direkt vom Faß verzapft, so wird dasselbe bei geringem Konsum noch weit schneller sauer und schal, weil jetzt die Kohlenensäure leichter entweichen kann.

Man hat daher schon vor mehreren Jahren versucht, das Bier mit Kohlenensäure, die man sich selbst bereitet, heraufzupressen; aber die Polizei hat sich genötigt gesehen, diese Einrichtungen zu verbieten, weil diese selbst produzierte Kohlenensäure nicht chemisch rein war, sondern Spuren arsenithaltiger Salzsäure mit sich führte.

Bei der neuen Einrichtung dagegen bleibt das Bier während der ganzen Zeit des Ausschanks der verunreinigenden und verderblichen Einwirkung der atmosphärischen Luft entzogen und befindet sich dauernd unter einem mäßigen Druck desjenigen Gases, welches ihm seinen erfrischenden Wohlgeschmack verleiht.

Die Handhabung des Apparates ist äußerst bequem, einfach und sicher; das bei den gewöhnlichen Apparaten erforderliche lästige Pumpen, sowie die störenden und kostspieligen Reparaturen an der Kompressionspumpe fallen weg.

Die dauernden Betriebskosten sind sehr gering. Eine Flasche flüssiger Kohlenensäure kostet 16 *M* mit doppelter Fracht. Sie enthält 8 kg flüssige Kohlenensäure = 4000 l gasförmige. Unter einem Druck von $1-1\frac{1}{2}$ Atmosphären ist natürlich das Volumen geringer. Da außerdem vom Bier mehr oder weniger Kohlenensäure absorbiert wird, so ist es erklärlich, daß nur 20–30 Hektoliter mit einer Flasche verschenkt werden können. 16 *M* : 24 = $\frac{2}{3}$ *M* oder 60–70 Pf. auf 1 hl, also auf 1 l noch nicht einen Pfennig.

Eine andere Verwendung der flüssigen Kohlenensäure lernte ich im August 1886 in der pharmazeutischen Ausstellung hier kennen. Dort befand sich ein Apparat der Firma Wilh. Bitter aus Bielefeld zur Herstel-

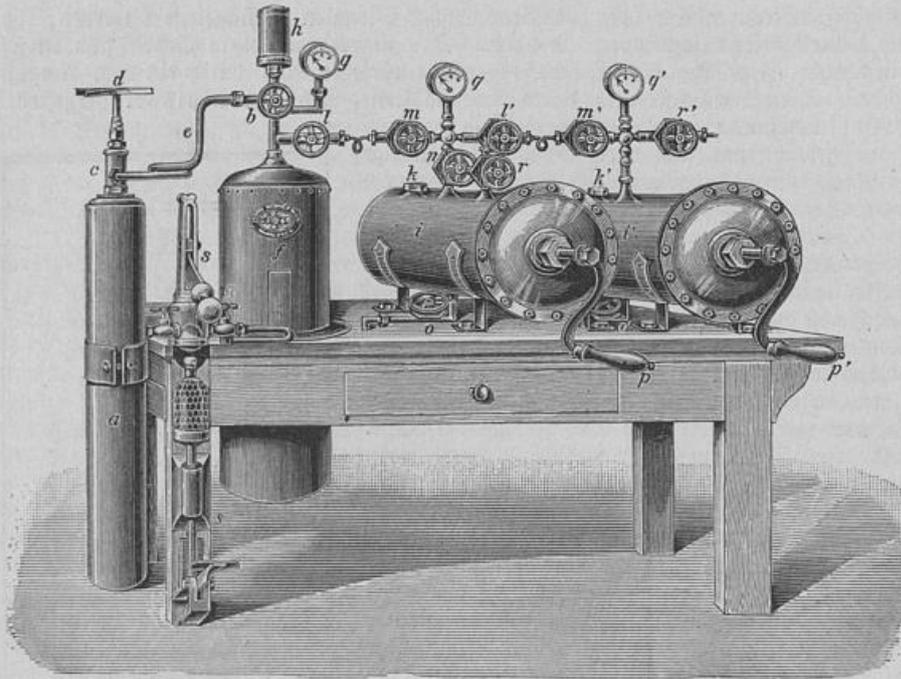


Fig. 3.

lung von Mineralwässern mittels flüssiger Kohlensäure, von welchem die nebenstehende Figur 3 ein getreues Abbild wiedergiebt. Die schmiedeeiserne, mit flüssiger Kohlensäure angefüllte Flasche *a* links ist leicht wieder zu erkennen. Ebenso stellt *f* wieder einen Windkessel vor. Durch Linksdrehen des Handrades *b* und der Schraubenspindel *d* strömt Kohlensäure in Gasform in den Windkessel über. Zeigt das Manometer *g* etwa 4 bis 5 Atm. Druck an, so werden beide Öffnungen geschlossen. Das mit verschiedenen Salzen versetzte Wasser wird in Mischgefäße *i* und *i'* durch die Öffnungen *k* und *k'* mit Hilfe eines

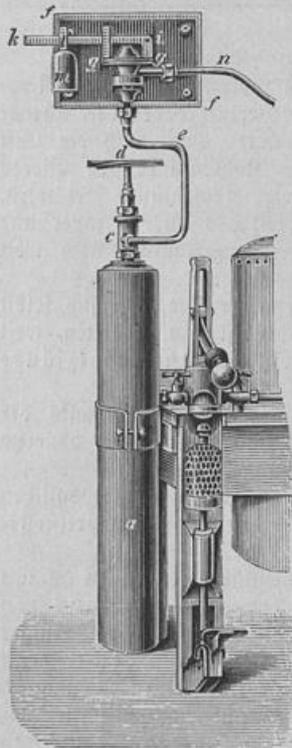


Fig. 4.

Trichters hineingegossen. Sind sie angefüllt, so werden die Öffnungen mit einer Verschlussmutter geschlossen, und man läßt die Kohlensäure durch die Ventile *l*, *m* und *n* in den ersten Mischkessel einströmen. Durch Öffnen des Ventils *o* wird etwa $\frac{1}{10}$ der Flüssigkeit herausgelassen und dann die zurückbleibende durch Drehen der Rührwelle vermittelst der Kurbel *p* mit Kohlensäure imprägniert. Die Sättigung ist erreicht, wenn nach Schließung des Ventils *m* das Manometer *g* trotz Drehens der Rührwelle nicht mehr fällt. Man läßt nun das fertige Getränk durch Ventil *o* zum Abfüll- oder Abzieh-Apparate *s* hinüber in die Flaschen fließen. Während dieser Zeit wird der zweite Mischkessel in gleicher Weise wie der erste fertiggestellt, und die Arbeit des Abzapfens kann also bei zwei Mischkesseln ohne Unterbrechung weitergehen. Die Ventile *l*, *m*, *l'* und *m'* sind nötig, um jeden Teil des Apparats für sich abschließen zu können.

Hervorzuheben wäre noch, daß das Sicherheitsventil *h* auf jeden beliebigen Atmosphärendruck eingestellt und durch Einschaltung eines sogenannten Reduzierventils (Fig. 4) man der Arbeit des Öffnens und Schließens der Ventile entzogen werden kann, letzteres auch bei jedem beliebig eingestellten Atmosphärendruck das Herüberströmen der Kohlensäure reguliert.

Die Vorzüge dieser neuen Darstellungsweise vor der alten bestehen darin, daß sämtliche Apparate, die zur Entwicklung, zum Waschen und zur Kompression der Kohlensäure dienen, in Wegfall kommen, wofür allerdings der neue Apparat an die Stelle tritt. Jedoch die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten des neuen Apparates (ich meine gehört zu haben, der abgebildete Apparat kostete 420 Thlr.) betragen etwa nur $\frac{1}{3}$ der alten von gleicher Produktionsfähigkeit. Aber auch alle Arbeiten, welche mit der Beschickung der alten Apparate, mit ihrer Bedienung, Reinigung und Reparatur zusammenhängen, fallen fort, sowie auch Störungen, Zeitverluste und Kosten; wogegen der neue Apparat ohne Unterbrechung weiter arbeitet, und, was sehr wichtig ist, auch viel schneller, Reparaturkosten fast gar nicht verursacht und nur einen sehr kleinen Raum beansprucht.

Daß im Großbetriebe die Darstellungskosten geringer sind als im Kleinbetriebe, ist schon oben erwähnt. Es kommt nun aber noch hinzu, daß bei fester Abnahme von mehr als 100 Flaschen jährlich die flüssige Kohlensäure von der Aktien-Gesellschaft in Berlin zur Hälfte des Preises, also die Flasche zu 8 *M.*, geliefert wird. Aber auch schon bei einer Abnahme von 50 Flaschen jährlich tritt bedeutende Preisermäßigung ein. Mit einer Flasche flüssiger Kohlensäure, also etwa 8 kg, kann man im Durchschnitt 2000 Drittel-Liter-Flaschen imprägnieren; also beträgt der Preis der Kohlensäure für eine Flasche nur $\frac{2}{5}$ Pfennig.

Als dritte Verwendung der flüssigen Kohlensäure möchte ich die in der historischen Darlegung zuletzt genannte anführen, nämlich die Verwendung derselben in den Kohlensäure-Kältemaschinen, weil diese Maschinen von großem und allgemeinem Interesse sind und ich die Überzeugung habe, daß dieselben sehr bald eine weitere Verbreitung finden werden. Käme es bei der Eisbereitung mit Hilfe flüssiger Kohlensäure durchaus nicht darauf an, mit anderen Eismaschinen in Konkurrenz zu treten, so würde die Einrichtung unserer Maschine eine äußerst einfache sein, dann bedürfte es nur einer Flasche flüssiger Kohlensäure und eines sogenannten „Refrigerators“, zu deutsch „Abkühlers“, um Eis herzustellen. Weil letzterer aus diesem Grunde der wichtigste Teil der Eismaschine ist, so will ich auch mit der Beschreibung desselben beginnen und dann die der übrigen Apparate nachfolgen lassen.

Der Refrigerator ist ein großer, aus Eisen hergestellter Wasserbehälter von etwa 4 m Breite, 8 m Länge und 1 m Höhe. Außen ist er zunächst durch Korkplatten, dann durch dicke Holzbeschläge gegen Erwärmung geschützt. Denselben Zweck haben dicke Holzbohlen, mit welchen er zugedeckt ist. Im Innern liegt ein Röhrensystem von mehr als 1000 m Länge. Ausgefüllt ist der ganze innere Raum mit konzentrierter Kochsalzlösung, die den Erstarrungs- oder Gefrierpunkt erst bei -17° hat. Um zu verhüten, daß das Salzwasser zwischen den eisernen Röhren gefriert, wird es durch die Dampfmaschine, von welcher nachher noch die Rede sein wird, in beständiger Zirkulation erhalten. An verschiedenen Stellen des Behälters sind zurückschlagbare Klappen angebracht, um hier in die Salzlösung auf einmal etwa 1 Dkd. große, mit reinem Wasser gefüllte Blechgefäße versenken zu können. Da in diesen das Eis von außen nach innen und von unten nach oben sich bildet, so ist ein Zerpringen derselben nicht möglich. Ist das Eis fertig, so werden die Blechgefäße in warmes Wasser getaucht, damit das Eis von den Wandungen sich löse. Ist dies geschehen, so werden die Eisbaren ausgeschüttet und die Füllung beginnt von neuem. Ausleerung und Füllung der Blechgefäße geschieht mit Hilfe von Maschinen. Die Temperatur der Salzlösung beträgt gewöhnlich nur -5° . Diese Kälte wird durch die flüssige Kohlensäure hervorgebracht, welche bei ihrem Übergange in den gasförmigen Zustand durch die Wandungen der eisernen Röhren hindurch der Salzlösung Wärme entzieht.

Alle übrigen außer dem Refrigerator noch vorhandenen Apparate dienen bloß dazu, die wertvolle gasförmige Kohlensäure wieder in den flüssigen Zustand überzuführen. Man leitet deshalb die aus dem Refrigerator kommende, noch immer kalte Kohlensäure zunächst durch spiralförmig gewundene Röhren im „Zwischenkühler“ hinauf, um das in demselben befindliche Wasser abzukühlen, sodann in die „Kompressoren“, wo sie komprimiert wird.

Die Zwischenkühler sind große, eiserne Cylinder von etwa $1\frac{1}{2}$ m Durchmesser und 3 m Höhe. Ein Pumpwerk führt diesen Behältern einen mäßigen Strom kalten Brunnenwassers von unten her zu, das oben wieder abfließt. Dieses Wasser dient dazu, die in den Kompressoren komprimierte und hierdurch stark erwärmte Kohlensäure unter den kritischen Punkt und noch tiefer abzukühlen. Deswegen leitet man sie durch spiralförmig gewundene Röhren aus den Kompressoren abermals durch die Zwischenkühler von oben nach unten hindurch. Als flüssige Kohlensäure wird sie in den daruntergestellten eisernen Flaschen aufgefangen, um dann von neuem im Refrigerator verwendet zu werden.

Die Kompressoren bestehen aus 2 hohlwandigen Cylindern von etwa 30 cm Durchmesser und 1 m Länge, und aus 2 hohlen Kolben von 15 cm Durchmesser und 35 cm Länge. Beide Teile werden beständig von kaltem Wasser durchflossen, aber trotzdem hat das Abzugsrohr und also auch die in ihr befindliche Kohlensäure eine Temperatur von etwa 50° . Sie entweicht daher in Gasform und geht erst in den Zwischenkühlern in den flüssigen Zustand über. Die Komprimierung geschah mit Hilfe einer Dampfmaschine.

Nebensächlich ist ein unter gewöhnlichem Luftdruck stehendes Gasometer zur Aufnahme der zwischen der Stopfbüchse und dem Kolben entweichenden Kohlensäure, welche durch eine kleine Saugpumpe von Zeit zu Zeit wieder in den Saugraum zurückgepumpt wird. Durch diese Vorrichtung werden Gasverluste gänzlich vermieden.

Das in der Düsseldorfer Fabrik von Wackermann hergestellte Eis ist sehr billig; der Zentner kostet nur 80 Pf., also das Pfund noch nicht 1 Pf. Wie Raydt mir brieflich mitgeteilt hat, beträgt bei Krupp in Essen der Herstellungspreis von einem Centner Eis, abgesehen von Verzinsung und Amortisation der Anlage, etwa 9 Pf.

Dieser geringe Preis könnte uns schon Beweis genug dafür sein, daß unsere Eismaschine unter weit günstigeren Umständen arbeitet als die früheren, welche als Verdunstungsflüssigkeit Ammoniak, Methyläther, Chlormethyl, schweflige Säure oder Äther anwandten. Aber folgende Betrachtung zeigt uns noch deutlicher, daß die Kohlen säure-Eismaschine alle anderen weit übertrifft. Angenommen, die mit diesen verschiedenen Flüssigkeiten arbeitenden Eismaschinen seien von gleicher Stärke und machten gleich rasche Umdrehungen, so müßten die inneren Räume der Kompressoren, wenn alle Maschinen gleich viel Kälte erzeugen sollten und für Ammoniak die Zahl 1 angenommen würde, betragen für Äther 15,1, für schweflige Säure 2,6, für Methyläther und Chlormethyl 1,8, für Kohlen säure nur 0,16. Von der geringeren Reibung, welche bei kleineren Kompressoren stattfindet, will ich gar nicht einmal reden. Die zweitbeste Eismaschine wäre dann die Ammoniak-Eismaschine, welche deswegen auch schon längst alle anderen verdrängt hatte. Ein Vergleich dieser Maschine mit der Kohlen säure-Eismaschine lehrt uns noch folgenden Vorzug der letzteren vor der ersteren. Das Ammoniak wird bei 10° schon durch einen Druck von 6½ Atmosphären flüchtig, die Kohlen säure dagegen bei derselben Temperatur erst durch einen Druck von 47 Atmosphären; folglich entsteht auch beim Übergange des kohlen sauren Gases in den flüssigen Zustand weit mehr Wärme als bei dem des Ammoniak's. Größere Wärme kann aber durch Kühlwasser weit leichter entfernt werden als geringere. Ein weiterer Vorzug liegt in der Unschädlichkeit der Kohlen säure selbst. Bei der Ammoniak-Eismaschine wird es bei ihrer bisherigen Einrichtung nicht vermieden werden, daß Gas entweicht und den Arbeitsraum anfüllt. Mag nun die Giftigkeit des Gases nicht gerade sehr gefährlich sein, so wird doch das Ammoniak vom Wasser begierig absorbiert und hierdurch das Eis zu verschiedenen Verwendungen geradezu unbrauchbar gemacht. Bei den Kohlen säure-Eismaschinen dagegen entweicht kein Gas, und sollte es aus Versehen geschehen, so absorbiert das Wasser es 500 mal schwächer als jenes Gas. Auch ist kohlen säurehaltiges Eis durchaus unschädlich.

Ich gehe jetzt zu einer vierten Verwendung der flüssigen Kohlen säure über, die bisher nur eine geringe Verbreitung gefunden hat und voraussichtlich auch in nächster Zeit keine größere finden wird, nämlich zur Anwendung derselben für Feuerlöschzwecke. Der Grund dieser geringen Verbreitung liegt darin, daß fast alle größeren Städte Wasserleitungen haben und also bei Feuergefähr in kürzester Zeit Hilfe leisten können, kleine Ortschaften aber aus verschiedenen Gründen neuen Erfindungen nur wenig oder langsam zugänglich sind. Und doch würde nachfolgender Apparat sich grade für kleinere Ortschaften und für recht große Städte, die Dampffeuersprizen besitzen, empfehlen. — In der Mitte des Apparats befindet sich ein großer Kessel zur Aufnahme von Wasser. An demselben sind 2 Flaschen mit flüssiger Kohlen säure befestigt. Es würde genügen, eine derselben zu öffnen, um sofort einen kräftigen Strahl zu bekommen. Die zweite wird erst dann benutzt, wenn die erste leer ist. Diese kann nun sofort durch eine neue gefüllte ersetzt werden. Um einen kontinuierlichen Strahl zu bekommen, würde auch ein zweiter Wasserkessel sich empfehlen, und in der That sind derartige Sprizen mit 2 Kesseln schon konstruiert. Obgleich nun ein großer Teil der Kohlen säure vom Wasser absorbiert und die übrigbleibende wegen des Druckes ein geringeres Volumen einnehmen wird, so würde 1 Flasche flüssiger Kohlen säure doch mindestens 1 cbm Wasser fortschleudern können. Dieses Wasser würde aber von größter Wirksamkeit sein, einmal weil es durch die Kohlen säure bedeutend abgekühlt ist, sodann auch deswegen, weil die absorbierte Kohlen säure durch die Hitze wieder frei wird und zum Löschen des Feuers ebenfalls beiträgt. Die Wirksamkeit dieser Feuerspritze ist so groß, daß sie bei einem Konkurrenzversuche am 7. März 1885 ihre Überlegenheit über fünf „Extinkteure“ früherer Konstruktion aufs glänzendste bewiesen hat.

In Berlin hat Major Witte die Dampffeuersprizen mit Kohlen säureflaschen versehen, um an Ort und Stelle angekommen, da wo keine Wasserleitung in der Nähe ist, sofort über einen kräftigen Strahl verfügen zu können, ohne daß man nötig hätte, auf das Kochen des Wassers im Dampfkessel zu warten.

Die übrigen Verwendungen der flüssigen Kohlen säure sind weniger von allgemeinem Interesse, sind auch zum Teil noch wenig ausprobiert. Sie mögen daher mit wenigen Worten hier Erwähnung finden.

Es ist schon oben gesagt worden, daß Krupp in Essen die flüssige Kohlen säure beim Gießen von Eisen oder Stahl anwendet. Durch den Druck derselben, den er allerdings durch Erwärmung der Flasche auf 200° bis zu 1200 Atmosphären erhöhen kann, für gewöhnlich aber durch Erwärmung auf 30° bis zu 72 Atmosphären steigert, erhält er eine blasenfreie, dichte und überhaupt fehlerfreie Masse. Sein Vetter F. A. Krupp in Berndorf bei Wien verwendet sie allgemein bei jedem Metallgusse. — Vor kurzem (Januar 1888) wurde mir noch mitgeteilt, daß man sie auch beim Gießen von Glaslinsen für optische Instrumente verwende, um durch den hohen Druck derselben auf den Glaskörper ebenfalls die Bildung von Blasen zu verhüten.

Daß Krupp in Essen sie auch noch zum Ablösen der Ringe von Festungs-Kanonen verwendet, ist ebenfalls schon oben gesagt worden.

Über die Verwendung der flüssigen Kohlenäure zum Betriebe von Maschinen äußert sich Raydt selbst mit folgenden Worten: „Die Kosten dieser sehr bequemen Betriebskraft im Vergleich mit Dampf- und Gastrastmaschinen sind leider so außerordentlich hoch, daß ihre Anwendung wohl nur in Fällen, bei welchen die Höhe der Kosten nebensächlich ist, wie etwa beim Fortbewegen von Torpedos und Luftballons, in Frage kommen kann. Es ist hierbei einmal zu bedenken, daß bei der Kompression des Gases große Wärmemengen durch das Kühlwasser beseitigt und bei der nachherigen Expansion des Gases wieder beansprucht werden. Da nun in der Mechanik Wärme gleich Arbeit ist, so folgt hieraus, daß ein großer Teil der bei der Kompression aufgewandten Arbeit ungenützt verloren geht. Auch hält es ferner sehr schwer, den hohen Druck von etwa 50 Atmosphären maschinell völlig auszunützen und die störenden Wirkungen der durch die Expansion entstehenden großen Kälte zu beseitigen.“

Daß auch bei der Dynamitfabrikation flüssige Kohlenäure schon seit Jahren angewandt wird, dürfte vielleicht noch wenig bekannt sein. Es hat sich nämlich als notwendig herausgestellt, durch das Nitroglycerin längere Zeit Luft hindurch zu pressen. Im Falle der Gefahr oder bei Stockungen haben nun einige Fabrikanten statt der Luft Kohlenäure angewandt. Allgemeine Verbreitung hat aber diese Verwendung trotz der großen Bequemlichkeit und Betriebsicherheit noch nicht gefunden.

Ebensowenig möchte es bekannt sein, daß die Kohlenäure zur Klärung des Bieres verwandt werden kann. Schon in früherer Zeit haben Bierbrauer versucht, die hierzu nötige Kohlenäure ebenso wie zum Bierauschank sich selbst zu bereiten. Aus denselben Gründen wie dort mußte auch diese Verwendung polizeilich verboten werden. Neuerdings hat nun Prof. Dr. Lindner, Direktor einer Brauakademie, zu gleichem Zwecke flüssige Kohlenäure mit dem besten Erfolge angewandt. Der Druck, welcher von der Kohlenäure auf das Bier ausgeübt wird, macht dasselbe in kurzer Zeit klar und zum Ausschank fertig.

Es erübrigt jetzt noch, einige Worte über den ersten Versuch, den Raydt mit flüssiger Kohlenäure angestellt hat, nämlich über den Versuch, mit ihrer Hilfe Schiffe zu heben, hinzuzufügen. Ich erwähne diesen Versuch zuletzt, weil er bis heute noch nicht wiederholt worden ist, und also die Erfahrung ihr endgültiges Urteil über ihn noch nicht ausgesprochen hat. Raydt spricht mit der größten Zuversicht über diese praktische Verwertung der flüssigen Kohlenäure, und ich citiere ihn deswegen hier fast wörtlich: „Soll ein Schiff, welches am Boden liegt, gehoben werden, so werden unter dem Kiel Ketten hindurch gezogen; an diesen werden die Ballons in schlaffem Zustande nebst Kohlenäureflaschen befestigt. Sobald dies geschehen, gehen die Taucher hinunter, drehen die Ventile auf, die Ballons füllen sich, bringen das Schiff an die Oberfläche und halten es hier fest. Bei der Bauerschen Methode wurden das eine Mal hölzerne Fässer, das andere Mal eiserne Kasten mit Luft gefüllt. Die Hebungen gelangen wohl, aber in mehreren Fällen wurden durch plötzlich eingetretene Sturmwinde die Fässer und Kasten dermaßen gegeneinander geschleudert, daß sie zerschellten, infolgedessen die Schiffe wieder zu Boden sanken. Ganz anders würde sich dies gestalten, wenn zur Hebung schlaffe Säcke, die mittels flüssiger Kohlenäure zu beliebig gewählter, passender Zeit aufgebläht werden, verwendet würden, so daß auf solche Weise die Hebungen wertvoller Wracks mit Sicherheit ausgeführt werden könnten.“ Soweit sich die Sache übersehen läßt, ist an der Ausführbarkeit des Projekts nicht zu zweifeln, nur muß es uns auffällig erscheinen, daß man diese Versuche nicht später wieder aufgenommen hat.

Von größerer Bedeutung ist wohl der Gedanke, nach demselben Princip Schiffe, welche leck geworden oder sonstwie gefährdet sind, vor dem Untergange zu bewahren. Zu diesem Zwecke werden Kasten mit leicht zu öffnenden Deckeln am Schiffsraum draußen befestigt, die schlaffen Säcke hineingethan und mit dem Kohlenäurebehälter verbunden. Im Falle des Zusammenstoßes mit einem andern Schiffe, oder wenn auf andere Weise ein Leck entsteht, werden die Ventile an den Flaschen geöffnet; die Ballons blähen sich in wenigen Minuten auf und halten das gefährdete Schiff über Wasser. Auf diese Weise könnten viele schwere Schiffsunfälle und große Verluste an Menschenleben verhütet werden, da nach dem Entstehen des Lecks in fast allen Fällen das Schiff sich noch erheblich längere Zeit über Wasser hält, als erforderlich sein würde, die Rettungssäcke aufzublähen und ihre Tragkraft zur Wirkung zu bringen. Dieselbe ist so groß, daß ein Ballon von 3 m Radius im Wasser 113000 kg ($= \frac{4}{3} r^3 \pi \cdot 1000^*$) tragen könnte. Nach demselben Princip könnten auch aufgelaufene Schiffe schnell und sicher etwas gehoben und abgebracht werden, bevor die Meereswellen sie zerzhlugen. Es unterliegt auch hier keinem Zweifel, daß die Praxis die Theorie bestätigen wird und also Schiffe vor dem Versinken bewahrt werden können. Leider ist aber in dieser Beziehung bisher noch nichts geschehen. Die Ballons werden aus Segeltuch angefertigt und auf der Innenseite mit einer Gummi-

* Ein Kubikmeter = 1000 l hat eine Tragkraft von 1000 kg.

lösung imprägniert. Wenn nun auch das Gummi nach etlichen Jahren spröde, brüchig und rissig wird, so ist doch das nasse Segeltuch allein schon ziemlich gasdicht. Auch sind die Kosten der etwa von Zeit zu Zeit erforderlichen Erneuerung des inneren Gummi-Austrichs den kolossalen Werten gegenüber, um welche es sich handelt, von wegfallender Bedeutung.

In den letzten beiden Jahren hat die Verwendung der flüssigen Kohlensäure in der Technik keine Fortschritte mehr gemacht. Für die Wissenschaft aber und den Unterricht haben wir in der flüssigen Kohlensäure ein Material bekommen, an welchem sich eine Reihe wichtiger Gesetze zur Anschauung bringen läßt. Die Versuche mit ihr zeigen uns die mannigfaltigen Eigenschaften derselben und hätten schon oben bei den Eigenschaften derselben (Seite 4) ihre Stelle finden müssen, wenn ich nicht befürchtet hätte, durch Einschaltung von Versuchen den Zusammenhang zu sehr auseinander zu reißen; sodann aber auch sollen sie hauptsächlich uns zeigen, in welcher Weise die flüssige Kohlensäure beim Unterrichte Verwendung finden könne.

Über diese Art der Verwendung hat Prof. Dr. Schwalbe am 1. März 1886 in Berlin einen Vortrag gehalten, welcher im Februarhefte des 3. Jahrgangs (1886) der „Zeitschrift zur Förderung des physikalischen Unterrichts“ veröffentlicht ist, auf welchen ich hiermit verweise.

Da die flüssige wie auch feste Kohlensäure sehr leicht in den gasförmigen Zustand übergeht, so lassen sich mit ihrer Hilfe sehr leicht alle Versuche, die man mit der gasförmigen Kohlensäure anzustellen pflegt, wiederholen, und zwar in weit bequemerer Weise als früher. Man schraubt die eiserne Flasche, die zu Schulversuchen in kleineren Größen von 4 oder 2 kg Inhalt hergestellt ist, in einen eisernen Ring (s. Fig. 5), welcher auf einem besonders dazu konstruierten Gestelle ruht und um eine horizontale Achse drehbar ist, so daß man der Flasche jede beliebige Stellung geben kann. Sodann entfernt man die eiserne Kappe, und das aus Rotguß bestehende Ventil kommt zum Vorschein. Schraubt man nun noch von dem seitlichen Rohr die Verschlußmutter und setzt den Vierkant-schlüssel auf die Schraubenspindel, so ist die Flasche zu den Versuchen fertig.

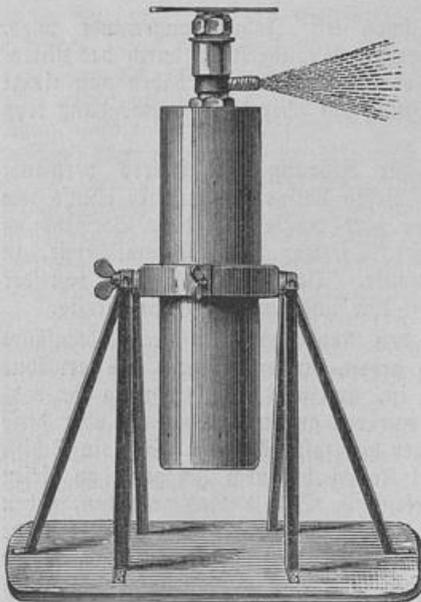


Fig. 5.

I. Versuche mit gasförmiger Kohlensäure.*

1. In eine Kugel- oder Verbrennungsröhre bringe man einige Stückchen Kalium oder Natrium und leite während des Erwärmens einen langsamen Strom von Kohlensäure hindurch, dessen Stärke man leicht dadurch feststellen kann, daß man den Rest der Kohlensäure durch Wasser aufsteigen läßt.

Die Kohlensäure wird durch die genannten Metalle reduziert, so daß neben den Oxyden genannter Metalle schwarzer Kohlenstoff zurückbleibt.

2. In einen Cylinder, welcher mit Kohlensäure gefüllt ist, halte man brennenden Magnesiumdraht.

Der Magnesiumdraht brennt in Kohlensäure weiter unter Bildung von weißer Asche. Schwarzer Kohlenstaub sät später an verschiedenen Stellen des Cylinders.

3. In einen weiten Cylinder hänge man mehrere brennende Kerzen in verschiedenen Höhen auf und leite einen schwachen Strom von Kohlensäure auf den Grund des Cylinders.

Die Lichter werden verlöschen und zwar der Reihe nach, von unten nach oben. Nach einiger Zeit läßt sich das oberste wieder anzünden, später der Reihe nach die folgenden, weil die Kohlensäure mit der Luft diffundiert. Auch beweist dieser Versuch, daß die Kohlensäure schwerer ist als Luft, letztere also auf ihr schwimmt und von ihr in die Höhe gehoben wird.

4. Man fülle einen ziemlich großen Cylinder mit Kohlensäure und gieße den Inhalt über eine brennende Kerze.

Die Flamme der Kerze wird heruntergedrückt und verlöscht sehr bald.

* Die flüssige Kohlensäure ist zu diesen Versuchen erst dann verwendbar, wenn ein Windkessel oder ein approbiertes, mit einem Manometer versehenes Gasometer eingeschaltet wird.

5. Einen Cylinder (oder eine Flasche) fülle man mit Kohlensäure und gieße langsam den Inhalt in ein gleich großes Gefäß. Dann prüfe man die Gefäße mit einer brennenden Kerze.
Letzteres Gefäß ist gefüllt, ersteres leer. Die Füllung geschah von unten her, wie man mit einer brennenden Kerze leicht beweisen kann. Die Kohlensäure ist also schwerer als Luft.
6. In einen weiten, mit Kohlensäure gefüllten Cylinder lege man einen Collobiumballon, der mit Luft gefüllt ist.
Der Ballon schwimmt auf der Kohlensäure, falls er dünn und leicht genug ist.
7. Man setze auf die eine Schale einer empfindlichen Wage ein großes, dünnwandiges Becherglas, tariere und leite mit Hilfe eines Gummischlauches und einer Glasröhre einen schwachen Strom Kohlensäure in das Becherglas.
Die Wage sinkt wegen der größeren Schwere der Kohlensäure als Luft herunter.
8. Man nehme 2 gleich große Flaschen, klebe in die eine einen feuchten Streifen blauen Lackmuspapiers, fülle die andere mit Kohlensäure, verschließe beide mit einfach durchbohrten Stöpfeln und stelle die erstere über die andere, so daß ein kurzes weites Glasröhrchen beide verbindet.
Es tritt nach einigen Tagen Diffusion ein, wie das Rotwerden des Lackmustrreifens beweist.
9. Man setze in einen Cylinder ein lebendes Tier (Maus) und leite Kohlensäure hinein.
Das Tier wird ängstlich, sucht zu entweichen und stirbt nach kurzer Zeit.
10. In eine aufrecht stehende Flasche, welche etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist, leite man Kohlensäure bis zum Uberschießen (Prüfung mit Licht, s. Vers. 4), verschließe luftdicht, schüttele und öffne unter Wasser.
Das Wasser steigt in die Höhe und füllt die Flasche fast vollständig an. Es reagiert schwach sauer. Die Kohlensäure ist vom Wasser absorbiert.
11. Eine mit Wasser gefüllte Flasche drehe man herum, stelle sie in ein größeres Gefäß mit Wasser und leite mit Hilfe eines Gummischlauches und einer Glasröhre in die Flasche Kohlensäure.
Auch hier wird die Kohlensäure vom Wasser anfangs gänzlich absorbiert, wie auch eine Prüfung mit Lackmus und der Geschmack beweisen.
12. Kann man über einen Druck von 2—3 Atmosphären verfügen und über eine Füllmaschine, so macht die Darstellung von Selterswasser, Mineralwasser überhaupt und Champagner weiter keine Schwierigkeiten. Aber auch schon ohne höheren Druck und Füllmaschine läßt sich ein ganz genießbares Getränk darstellen.
13. Man leite einen Strom von Kohlensäure in Kalk- oder Barytwasser.
Es tritt sofort Trübung ein, und nach einiger Zeit setzt sich bei ruhigem Stande des Wassers eine weiße Masse an den Boden, die nichts anders sein kann als kohlen-saurer Kalk oder Baryt. Auf Zusatz von Salzsäure tritt Aufbrausen und Lösung der Masse ein, weil Kohlensäure entweicht und die entsprechende, lösliche Chlorverbindung entstanden ist.
14. Man leite Kohlensäure in Kalk- oder Natronlauge.
Auch hier wird die Kohlensäure absorbiert und zwar noch stärker als bei Versuch 13 und ohne daß Trübung eintritt, daher diese Flüssigkeiten bei quantitativen Versuchen in dem bekannten Liebig'schen Apparate Verwendung finden. Es bildet sich Pottasche und Soda, wie eine Prüfung mit Salzsäure beweist.

II. Versuche mit flüssiger Kohlensäure.

1. Es giebt kleine, käufliche Glasröhren, welche mit flüssiger Kohlensäure etwa zur Hälfte gefüllt sind. Nimmt man eine solche Röhre in die Hand, so verschwindet unter der Erscheinung des Siedens die flüssige Kohlensäure gänzlich.
Diese Erscheinung wird dadurch erklärt, daß die Wärme der Hand eine Temperatur von mehr als 30,9° hervorbringt und dann die Kohlensäure in flüssiger Form nicht mehr bestehen kann. (Siehe S. 4.)
2. Man leite sehr langsam und vorsichtig flüssige Kohlensäure auf den Grund einer dickwandigen, mit Wasser gefüllten Glastonne, welche geschlossen ist und durch eine auf den Grund reichende Glasröhre oder Stechröhre (s. Fig. 1) das Wasser ausströmen läßt.
Wir haben hier das Modell eines Extintors, mit welchem wir die große Extensivkraft der flüssigen Kohlensäure und die feuerlöschende Wirkung des kalten, kohlen-sauren Wassers an einem kleinen Feuer leicht zur Anschauung bringen können.
3. In ein größeres, mit Wasser gefülltes Gefäß versenke man ein Gewicht, an welchem eine Schweinsblase oder ein Collobiumballon so befestigt ist, daß sich mit Hilfe eines Gummischlauches und einer Glasröhre Kohlensäure hineinleiten läßt.
Ist das Gewicht nicht zu schwer, so wird es von der straff angeschwellten Blase zum Schwimmen gebracht. Ähnlich würde es bei der Hebung von Schiffen hergehen.
4. Ein spiralförmig gewundenes, eisernes Rohr (oder auch einen Gummischlauch) stelle man in ein größeres Gefäß mit konzentrierter Kochsalzlösung und lasse einige Zeit Kohlensäure hindurch strömen, bis die Lösung mehrere Grad unter Null abgekühlt ist. Dann stelle man einige Reagensgläschen mit gewöhnlichem Wasser in die Lösung, bis das Wasser gefroren ist. Taucht man nun die Reagensgläschen in erwärmtes Wasser, so kann man das Eis heraus-schütten.
Man hat auf diese Weise den Schülern die künstliche Eisbildung ad oculos demonstriert und so dieselbe ihrem Gedächtnisse tiefer eingepreßt als durch Zeichnungen und Abbildungen.

III. Versuche mit fester Kohlensäure.

1. Die Darstellung der festen Kohlensäure nach Ratterer durch Ausströmung derselben in ein siebartiges Metallgefäß, das in freisender Bewegung verjagt wird, dürfte allgemein bekannt sein, da sie in den meisten chemischen Büchern erwähnt wird. Leichter gelangt man zum Ziele, wenn man sie in einen wollenen Beutel oder Sack einströmen läßt.

Das Ausströmen geschieht mit lautem Geziße und unter Bildung weißer Nebel. Letztere rühren teils daher, daß in der Luft kleine Schnee- oder Eisteilchen von Kohlensäure umher schwirren, teils erfolgt wegen der bedeutenden Abkühlung der Luft Kondensation der Wasserdämpfe. Öffnet man den Beutel, so sieht man eine lockere, weiße, schneeartige Masse. Dies ist die feste Kohlensäure, welche dadurch entstanden ist, daß ein Teil der flüssigen Kohlensäure beim Übergang in den gasförmigen Zustand einem andern Teile derselben soviel Wärme entzog, daß diese erstarrte. Mit dieser festen Kohlensäure lassen sich nun eine Menge neuer Versuche anstellen.

2. Man berühre die feste Kohlensäure mit der Hand oder mit der Zunge. Sodann lasse man ein Stückchen auf der Hand verdunsten.

Die Berührungen wie auch das Schmelzen auf der Hand sind ganz gefahrlos. Man bekommt noch nicht einmal das Gefühl von Kälte. Diese auffallende Erscheinung erklärt man dadurch, daß wegen der starken Verdunstung der Kohlensäure eine innige Berührung mit der Haut nicht stattfinden kann.

3. Man drücke mit einem Glasstäbchen ein wenig der schneeartigen Kohlensäure fest auf die Hand.

Sofort empfindet man einen stechenden Schmerz und Gefühl von Kälte; zugleich entstehen Blasen ähnlich wie beim Verbrennen. Bei diesen beiden letzten Versuchen wird man an die Feuerproben erinnert, welche man mit Personen anstellte, die im Verdachte standen, Hexen zu sein. Auch der folgende Versuch gehört noch hierher.

4. Man trage etwas feste Kohlensäure in einen glühenden Platintiegel.

Die feste Kohlensäure verdunstet, ohne zu schmelzen.

5. Um kompakte oder komprimierte Kohlensäure zu bekommen, füllt man (nach Landolt) einen kleinen Diamantmörser mit fester Kohlensäure und schlägt den Stempel mit einem Hammer rasch hinunter.

Solche komprimierte Kohlensäure kann man mehrere Stunden lang aufbewahren, weil jetzt die Verdunstung nur an der Oberfläche stattfinden kann. Ihr spec. Gewicht ist 1,2 bis 1,53, sie müßte daher in Wasser untersinken.

6. Auf Wasser lege man etwas feste, wie auch komprimierte Kohlensäure.

Beide Arten schwimmen auf dem Wasser, weil sie von kleinen Bläschen gasförmiger Kohlensäure getragen werden. Zugleich zeigt uns dieser Versuch, daß feste Kohlensäure im Wasser unlöslich ist.

7. Man lege etwas feste Kohlensäure in einen größeren Glasballon.

Es zeigen sich auch hier Nebel, wie bei ihrer Darstellung. Die Erklärung hierfür ist dieselbe wie oben.

8. In ein flaches Blech- oder Porzellengefäß lege man etwas Hobel- oder Sägespäne, gieße einige Tropfen Petroleum auf dieselben, zünde die Späne an, und wenn ein tüchtiger Brand entstanden ist, so streue man feste Kohlensäure in das Feuer.

Das Feuer verlöscht sehr rasch, weil das Petroleum durch das Verdunsten der festen Kohlensäure unter die Verbrennungstemperatur abgekühlt wird. Es erinnert dieser Versuch an das Verlöschen einer brennenden Kerze, wenn man über die Flamme einen dicken, spiralförmig gewundenen Kupferdraht hält.

9. Man lege etwas feste Kohlensäure auf ein grobmäsiges Drahtnetz (durch welches die Gasflamme hindurchschlägt) und halte dieses mit Hilfe einer Zange über die Gasflamme.

Es verlöscht die Gasflamme aus demselben Grunde wie vorher.

10. In ein Becherglas stelle man ein Alkohol- und ein Quecksilberthermometer sowie ein Reagensgläschen mit Quecksilber und fülle dasselbe mit fester Kohlensäure.

Nach kurzer Zeit wird das Quecksilberthermometer auf -39° , das Alkoholthermometer aber auf -58° herunter gesunken sein. Untersucht man das Reagensgläschen, so findet man das Quecksilber gefroren. Hierin liegt die Erklärung dafür, daß das Quecksilberthermometer auf -39° stehen geblieben ist, weil sein Gefrierpunkt -39° beträgt. Zerbricht man das Reagensgläschen, so läßt sich das feste Quecksilber hämmern. Auch läßt sich zeigen, daß es in flüssigem Quecksilber unter sinkt. Sein spec. Gewicht beträgt 14,192; sein Volumen muß also durch das Erstarren nicht größer, sondern kleiner geworden sein; daher auch die Gefäße, in denen es erstarrte, nicht gesprungen sind. Bemerkte sei noch, daß das Becherglas äußerlich anfangs beschlägt, dann aber mit einer dicken Eisschicht äußerlich bedeckt wird. Stand es auf einem nassen Brette, so ist es festgefroren.

11. In ein flaches Porzellangefäß schütte man Quecksilber und auf dieses etwas feste Kohlensäure. Dann halte man rasch ein Quecksilberthermometer in das Quecksilber. Ist dieses auf -39° gesunken, so hebe man es heraus und halte es mit der daranhängenden starren Quecksilberschicht über ein Becherglas mit Wasser.

Das Quecksilber gefriert von oben her, hängt daher am Thermometer fest und läßt sich abheben. Wegen seiner geringen latenten Schmelzwärme von 2,82 schmilzt es sehr bald. Die Tropfen erzeugen aber, da sie eine Temperatur von -39° haben, im Wasser Eisröhren.

Die letzten Versuche gelingen noch besser, wenn man einige Tropfen Äther auf die feste Kohlensäure gießt, weil dann eine weit größere Verdunstungskälte eintritt. Das Gefrieren von Quecksilber gelingt dann sogar über der Flamme. Man muß aber in diesem Falle den Versuch dahin abändern, daß man in einen Platintiegel etwas Quecksilber schüttet und diesen in feste Kohlensäure bettet, welche in einer Platinschale sich befindet.

12. Das eine Ende eines kurzen, weiten, an beiden Enden offenen Cylinders verbinde man mit einem weitmaschigen Drahtnetz, schütte feste Kohlensäure hinein und leite einen Strom von Wasserdampf hindurch.

Der Wasserdampf gefriert und wir haben im warmen Zimmer das interessante Schauspiel des Schneieis.

Es bleiben jetzt nur noch einige Versuche übrig, welche uns die Spannung des Gases zeigen sollen.

13. Zwei etwa gleich große Kochflaschen verschließe man mit Gummistopfen, die erste mit einem einmal durchbohrten, die andere mit einem zweimal durchbohrten, und verbinde sie durch Glasröhren und einen Gummischlauch miteinander. Durch die zweite Öffnung des Gummistopfels führe man ein recht langes Glasrohr bis auf den Boden der Flasche. Jetzt schütte man in die zweite Wasser, in die erste feste Kohlensäure und verschließe.

Das Wasser steigt gleich nach dem Verschlusse ziemlich rasch in die Höhe, bis bald hernach der Gummistopfen heraus geworfen wird. Sind die Gefäße von Kupfer und wendet man ein Manometer an, so läßt sich zeigen, daß die Spannung der Dämpfe nur bis 5,3 Atmosphären steigt, weil die feste Kohlensäure ihre niedrige Temperatur während der Vergasung beibehält. Durch Erwärmung wird die Spannung gesteigert.

14. In eine Kochflasche schütte man Wasser, werfe ein wenig feste Kohlensäure hinein und verschließe mit einem einmal durchbohrten Gummistopfen, durch dessen Öffnung man eine lange, an einem Ende in eine Spitze auslaufende Glasröhre gesteckt hat.

Man hat einen kleinen Springbrunnen. Derselbe läßt sich bekanntlich auch herstellen, wenn man statt der festen Kohlensäure Äther verwendet.

15. In ein Reagensgläschen werfe man etwas feste Kohlensäure und verschließe rasch, mit abgewandtem Gesichte.

Die Spannung der Dämpfe ist so groß, daß das dünnwandige Gefäß sehr rasch unter Explosion zerspringt. Deshalb stelle man das Gläschen lieber unter einen größeren Glaskasten.

Ob alle oder wie viele von der großen Zahl der angeführten Versuche der Lehrer den Schülern vorführen soll, muß natürlich dem Ermessen desselben überlassen bleiben. Es lag mir nur daran, etwas möglichst Vollständiges zu bringen.

Dr. Buckendahl, Oberlehrer.

