

Zeitschrift für angewandte Chemie

und

Zentralblatt für technische Chemie.

XXIV. Jahrgang.

Heft 5.

3. Februar 1911.

Die Darstellung der Ballongase¹⁾.

Von Dr.-Ing. A. SANDER.

(Eingeg. 15./12. 1910.)

M. H.! Die technische Chemie hat an der erfolgreichen Entwicklung der Luftschiffahrt in den letzten Jahren einen ganz erheblichen Anteil; sind doch zahlreiche Erzeugnisse der chemischen Industrie wichtige Hilfsmittel bei dem Bau und dem Betrieb von Luftschiffen und Flugmaschinen. Ich erinnere nur an die verschiedenen Spezialstahlarten und die leichten Aluminium- und Magnesiumlegierungen, die als Konstruktionsmaterial in der Luftschiffahrt von großer Bedeutung sind, an die Verwendung des Kautschuks zum Imprägnieren der leichten, aber dennoch widerstandsfähigen und gasdichten Ballonstoffe, ich erinnere weiter an die Verwendung des Benzins und des Öles, von deren Reinheit die Betriebssicherheit der Motoren stark beeinflusst wird, und ich möchte schließlich Ihre Aufmerksamkeit auf die Gasfrage lenken, die dem technischen Chemiker eine Reihe neuer, schwieriger Aufgaben gestellt hat. Ebenso wie die Motorenfrage für die Flugschiffahrt, so ist die Gasfrage für die Ballonluftschiffahrt von grundlegender Bedeutung. Gestatten Sie mir daher, m. H., daß ich Ihnen heute in Kürze über dieses interessante und wichtige Gebiet einiges berichte.

Ehe wir uns der technischen Gewinnung der Ballongase zuwenden, müssen wir zunächst kurz auf ihren Zweck und auf die Anforderungen, die wir an sie stellen, eingehen. Der Zweck des Ballongases ist, wie Sie wissen, eine Gondel, die mit Passagieren, Ballast und Apparaten ein erhebliches

Gewicht hat, in die Höhe zu heben. Um dies zu erreichen, verbinden wir den Flugkörper mit einem zweiten geeigneten Körper, der mit einem leichten Gas gefüllt ist. Die Größe dieses zweiten Körpers müssen wir so wählen, daß das Gewicht des ganzen Systems (Gondel + Ballon) kleiner ist als das Gewicht der von ihm verdrängten Luft. Dann erhalten wir einen Zug nach oben, einen Auftrieb, vermöge dessen sich das System in die Lüfte erhebt. Hiermit ist die Grundbedingung gegeben, die wir an ein Ballongas stellen müssen, nämlich es muß leichter sein als die uns umgebende atmosphärische Luft. Je größer dieser Gewichtsunterschied ist, um so besser eignet sich das Gas für unsere Zwecke. Aber wir verlangen noch mehr als ein möglichst geringes Gewicht. Das ideale Gas für die Zwecke der Luftschiffahrt, das indessen leider noch nicht gefunden ist, müßte noch folgende andere Eigenschaften haben: es darf die Ballonhülle nicht angreifen und darf nicht brennbar sein, mit anderen Worten: es muß chemisch indifferent sein, weiter soll es gegen Temperaturschwankungen möglichst unempfindlich sein, es soll leicht zu verflüssigen, nicht giftig und schließlich auch noch billig sein. Sie sehen, m. H., das ideale Gas müßte von einer Vielseitigkeit sein, wie man sie selten trifft, und daher ist auch wenig Hoffnung, daß wir je in den Besitz eines solchen Gases gelangen werden. Wenn es dagegen nur darauf ankäme, daß das zu verwendende Gas leichter als Luft ist, dann stünde uns allerdings eine ganze Reihe von Gasen zur Verfügung, deren spez. Gew. und Auftrieb in der Tabelle I verzeichnet ist. Bei näherer Betrachtung dieser Tabelle vermissen wir zunächst zwei Gase, die in großen Mengen industriell hergestellt und ver-

Tabelle I.

Gase, die gegenüber atmosphärischer Luft einen Auftrieb haben:

Gas	Formel	Spez. Gew. (Luft = 1)	Gewicht kg pro cbm	Auftrieb
Wasserstoff	H ₂	0,07	0,09	1,20
Helium	He	0,14	0,18	1,11
Borwasserstoff	BH ₃	0,45	0,58	0,71
Methan	CH ₄	0,56	0,72	0,57
Ammoniak	NH ₃	0,59	0,77	0,52
Fluorwasserstoff	HF	0,69	0,89	0,40
Neon	Ne	0,69	0,89	0,40
Acetylen	C ₂ H ₂	0,90	1,16	0,13
Äthylen	C ₂ H ₄	0,97	1,25	0,04
Stickstoff	N ₂	0,97	1,25	0,04
Kohlenoxyd	CO	0,97	1,25	0,04
Luft von 0°	—	1,00	1,29	0,00
Luft von 100°	—	0,74	0,95	0,34
Leuchtgas	—	0,36—0,5	0,46—0,65	0,83—0,64
Wasserdampf von 100°	H ₂ O	0,46	0,59	0,70

¹⁾ Vortrag im Württembergischen Bezirksverein des Vereins deutscher Chemiker am 9. Dezember 1910.

wertet werden: die Kohlensäure und der Sauerstoff. Sie kommen beide für unseren Zweck nicht in Betracht, da sie schwerer als Luft sind. Auch von den in der Tabelle genannten Gasen sind mehrere noch zu schwer, um in der Praxis Anwendung finden zu können, andere sind ätzend und giftig, wieder andere lassen sich nicht wirtschaftlich im Großen herstellen. Zu diesen gehört auch das Helium, das erst im Jahre 1895 von W. Ramsay aufgefunden wurde. Es kommt dem von uns besprochenen Idealgas sehr nahe, denn es ist nicht nur sehr leicht, sondern auch chemisch vollständig indifferent — also auch nicht brennbar. Leider kommt es auf der Erde aber nur in so kleinen Mengen vor, daß an eine technische Verwertung nicht zu denken ist. Auch das Ammoniak besitzt Eigenschaften, die es als Füllgas wertvoll machten, wenn nicht andere unangenehme Eigenschaften dem im Wege stünden. Es ist nämlich sehr leicht in den flüssigen Zustand überzuführen und könnte daher bequem an Bord mitgenommen werden und zu Nachfüllungen während der Fahrt dienen. Diese Verwendung des Ammoniaks wurde schon vor mehr als 30 Jahren angeregt, zumal da es billig herzustellen ist, allein seine Anwendung verbietet sich wegen seines unerträglichen, scharfen Geruches, wegen seiner Einwirkung auf die Ballonhülle und vor allem wegen seiner überaus großen Löslichkeit in Wasser. So kommt es denn, daß nur drei Gase bisher zum Füllen von Ballons Anwendung fanden, nämlich erwärmte Luft, Leuchtgas und Wasserstoff. Mit diesen drei Gasen wollen wir uns nun etwas näher beschäftigen.

I. Heiße Luft.

Der erste erfolgreiche Aufstieg eines Heißluftballons fand am 5./6. 1783 statt; an diesem Tage ließen bekanntlich die Brüder Montgolfier in ihrer Heimat Annonay in der Bretagne einen mit Leinwand beklebten Papierballon von 34 m Umfang öffentlich aufsteigen. Wenn es auch nicht der erste Heißluftballon war, der sich damals in die Lüfte erhob, so war es doch sicherlich der erste erfolgreiche Aufstieg, und von jenem Tage an datiert die Entwicklung der Luftschiffahrt. Es ist bekannt, daß die Brüder Montgolfier, angeregt durch die in den Lüften dahinziehenden Wolken, zuerst mit Wasserdampf Versuche anstellten. Wasserdampf hat bei 100°, wie aus der Tabelle ersichtlich, einen dem Leuchtgas nahe kommenden Auftrieb, er wäre daher zur Füllung von Freiballons gut brauchbar, wenn nicht die leichte Kondensierbarkeit des Dampfes seiner praktischen Verwendung im Wege stünde. Als zweites Gas versuchten sie, den Rauch zu verwenden, jedoch er entwich sehr bald durch die Poren des Papierbehälters. In noch höherem Maße war dies bei dem Wasserstoff der Fall. Erst die Verwendung der heißen Luft führte sie zu dem ersehnten Ziele. Anfangs wurde der Ballon, der unten eine weite Öffnung hatte, zwischen zwei Masten über einer Feuerstätte aufgehängt, wo er sich rasch aufblähte und emporstieg. Um ein längeres Verweilen in der Luft zu ermöglichen, war es jedoch erforderlich, die Wärmequelle an dem Ballon selbst anzubringen und mit in die Luft zu nehmen. So befestigten denn die Montgolfiers an der unteren Öffnung ihres Ballons einen Korb aus

Drahtgeflecht, in dem sie feuchtes Stroh und Wollabfälle verbrannten. So waren zwar die Aufstiege von längerer Dauer, zugleich aber hatte auch die Feuersgefahr erheblich zugenommen. Der Heißluftballon hat auch noch andere Nachteile, so kann er nicht höher als bis zu 2500 m steigen, weil er in dieser Höhe bereits seine Gleichgewichtszone erreicht. Will man größere Höhen erreichen, so müßte man die Luft höher als auf 100° erhitzen, wodurch jedoch die Ballonstoffe zerstört würden. So kommt es, daß die Montgolfieren heute trotz mancher Verbesserungsvorschläge keinerlei praktische Bedeutung mehr haben und höchstens noch bei Schaustellungen zu sehen sind.

II. Leuchtgas.

Weit größere Bedeutung als die heiße Luft hat für die Luftschiffahrt das Leuchtgas. Seine Einführung als Ballongas wird gewöhnlich dem Engländer Green (1818) zugeschrieben, die holländischen Chemiker haben jedoch dokumentarisch nachgewiesen, daß einer ihrer Landsleute das Leuchtgas schon im Jahre 1783, im gleichen Jahre also, in dem auch die heiße Luft und der Wasserstoff ihre erste Anwendung fanden, zum Füllen eines Ballons benutzt hat.

Heute sind die in jedem größeren Orte vorhandenen Gasanstalten die Hauptausgangspunkte für Freiballonfahrten, und die Menge des zu diesem Zwecke abgegebenen Gases ist in rascher Zunahme begriffen.

Auf die Gewinnung des Leuchtgases kann ich nur ganz kurz eingehen, obwohl auch auf diesem Gebiete in den letzten Jahren wesentliche Fortschritte zu verzeichnen sind. Das Leuchtgas entsteht bekanntlich bei der „trockenen Destillation“ der Steinkohle. Man nimmt diesen Prozeß gewöhnlich in Retorten aus feuerfestem Ton vor, die in größerer Anzahl (6–12) in einem Ofen vereinigt sind. Je nach der Lage der Retorten im Ofen spricht man von Horizontal-, Schräg- oder Vertikalretorten. Die Anwendung der Vertikalretorten, die vor nicht allzu langer Zeit erst eingeführt wurden, hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Ein großes Gaswerk besitzt eine ganze Anzahl solcher Öfen, die in langer Reihe einer neben dem anderen aufgebaut sind. So enthält z. B. das neue Ofenhaus des Stuttgarter Gaswerkes 32 Öfen mit je 9 Horizontalretorten von 6 m Länge. Das aus den Retorten entweichende heiße Gas durchwandert nun eine lange Reihe der verschiedensten Apparate, in denen es gekühlt und von seinen Verunreinigungen befreit wird. Dies geschieht einmal aus hygienischen Gründen, weil das rohe Gas Stoffe enthält, die bei ihrer Verbrennung gesundheitsschädliche Verbindungen liefern, dann aber auch, weil das Gas verschiedene technisch wichtige Verbindungen enthält, die bei der Reinigung als Nebenprodukte abfallen. Ihre Abscheidung ist für den Gaswerksbetrieb von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Das fertig gereinigte Gas wird in großen eisernen Behältern (fälschlich Gasometer genannt) gesammelt und von hier an die Verbrauchsstellen geleitet. (Der Stuttgarter Gasbehälter war bis vor kurzem der höchste des ganzen Kontingents: er hat eine Höhe von 65 m und faßt 100 000 cbm.) Das Leuchtgas ist farblos wie der Wasserstoff, an seinem

Bezüglich des Anbackens der Masse im Ofen muß allerdings der Fe-Gehalt der Rohstoffe wohl berücksichtigt werden.

Bei einem hohen Gehalt an Fe der Rohstoffe findet ein viel leichteres Schmelzen und Zusammenbacken der Masse im Ofen statt, als wie bei Fe-armen Rohmaterialien.

Das sich bildende Calciumferrit ist leichter schmelzbar wie die beiden anderen Komponenten, Calciumaluminat und Calciumsilicat.

Da jedoch in Fällen, in denen ev. durch einen außergewöhnlichen hohen Fe-Gehalt Schwierigkeiten durch Anbacken der Masse im Ofen entstehen, dieses Fe nicht aus den Rohstoffen entfernt werden kann, so kann im allgemeinen praktisch der Prozentsatz an Fe nur dadurch heruntergedrückt werden, daß der Gehalt des Rohmehles an SiO_2 erhöht wird, indem man bis zur äußersten Grenze des zulässigen Kieselsäuregehaltes geht.

Infolgedessen soll im folgenden nicht weiter auf diese selten vorkommenden Spezialverhältnisse eingegangen werden und wird auch weiterhin SiO_2 immer dem gemeinsamen $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ oder R_2O_3 gegenübergestellt, und zwar unter Annahme des am häufigsten vorkommenden Verhältnisses von $1\text{Fe}_2\text{O}_3$ zu $2\text{Al}_2\text{O}_3$.

Die Vorzerkleinerung und die Feinung der Rohstoffe spielt des weiteren auch eine nicht zu unterschätzende Rolle in der ganzen Frage.

Die Arbeiten, welche Vf. zusammen mit F. Winter in einem Zementwerk in der letzten Zeit ausführte, dürften diesbezüglich als gutes Lehrbeispiel dienen.

Die Verhältnisse in diesem Werk lagen derart, daß sich in den Drehöfen starke, ringförmige Ansätze bildeten, welche den Ofenbetrieb sehr erschwerten.

Durchschnittsmuster der zur Verwendung gelangenden Rohstoffe zeigten folgende analytische Zusammensetzung:

	Kalkstein %	Mergel %	Ton %
SiO_2	4,10	13,60	57,02
R_2O_3	3,13	6,88	25,30
CaO	51,38	42,84	2,50
Glühverlust	41,15	35,94	14,13
Nicht bestimmter Rest .	0,24	0,74	1,05

Der aus diesem Material erbrannte Zement hatte die Zusammensetzung:

SiO_2	21,60%
R_2O_3	10,75%
CaO	65,65%
Glühverlust	1,10%
Nicht bestimmter Rest	0,90%

Bei einer Schlümpfprobe des Rohmehles stellte sich heraus, daß die analytisch gefundene Kieselsäure teilweise als Grobsand in den Rohstoffen vorhanden war und bei der Zerkleinerung und Feinung der Rohstoffe nicht den erforderlichen Grad der Feinheit erreichte, um in die gewünschte Reaktion treten zu können.

Die Schlümpfprobe und Feststellung des Grobsandes wurde derart ausgeführt, daß das Rohmehl durch ein Sieb mit 4900 Maschen pro Quadratcentimeter mit Wasser durchgewaschen wurde.

Der Rückstand wurde mit HCl behandelt, mit

Wasser ausgewaschen, und der nunmehr auf dem 4900-Maschensieb zurückbleibende Rest war als fast reiner Quarzsand anzusprechen.

Es zeigte sich demnach, daß nicht alle analytisch gefundene SiO_2 in Reaktion treten konnte, da die als Quarzsand vorhandene Kieselsäure nicht durchweg die Feinheit erreichte, welche nötig ist, um einen Aufschluß derselben im Ofen zu gewährleisten.

Andererseits wurde dadurch das hier besonders starke Anbacken der sinternden Masse im Ofen erklärlich, indem das wirkliche Feinmehl, welches im Ofen hauptsächlich in Reaktion tritt, noch ärmer an SiO_2 war, als die Analyse erkennen ließ.

Es wurde nun versucht, durch noch weiteren Zusatz von Quarzsand zu den Rohmaterialien eine Wirkung zu beobachten, in der Hoffnung, daß immerhin ein größerer Prozentsatz des zugesetzten Quarzes fein vermahlen würde.

Da aber nur ganz geringe Mengen SiO_2 ins Feinmehl übergingen, so war irgendeine Veränderung im Ofen kaum zu beobachten, während die Güte des erbrannten Zementes durch die große Menge der reaktionsunfähigen Kieselsäure offenbar stark vermindert worden war. Daß der Quarzsand in den dort vorhandenen Mühlen im Gegensatz zu Versuchen und Erfolgen an anderen Stellen sich gegen die Vermahlung vollständig passiv verhalten hatte, fand hauptsächlich seinen Grund darin, daß die übrigen Rohstoffe verhältnismäßig viel leichter zu zerkleinern waren als der Sand. Infolgedessen spielten die harten Sandkörner in der Mühle selbst eher die Rolle von Mahlkörpern als von Mahlgut.

Es war daraufhin naheliegend, den Quarzsand für sich zu zerkleinern und in dieser Form dem Rohmaterial zuzumischen. Der Sand wurde auf eine Feinheit von etwa 18–20% Rückstand auf dem 4900-Maschensieb gebracht und in dieser Form vor der Vermahlung der anderen Rohstoffe diesen zugesetzt.

Die Wirkung war jetzt, trotzdem immer noch ein kleiner Teil der Gesamtkieselsäure als reaktionsunfähig zu beobachten war, eine offenkundige.

Das Gesamtbild in den Öfen veränderte sich in kürzester Zeit. Die Ansätze fielen ab und bildeten sich nicht wieder in der alten Form.

Was noch im Ofen anklebte, besaß nicht mehr die Härte, wie das früher der Fall war, sondern war eine weiche, leicht entfernbare Masse.

Der erbrannte Zement zeigte folgende Zusammensetzung:

SiO_2	23,06%
R_2O_3	9,25%
CaO	66,30%
Glühverlust	0,42%
Nicht bestimmter Rest	0,97%

Daß der SiO_2 -reiche Portlandzement in der praktischen Verwendung dem SiO_2 -ärmeren Portlandzement unter allen Umständen überlegen ist, gilt wohl heute bereits überall als bekannte Tatsache.

Aus vorstehenden Ausführungen dürfte hervorgehen, daß auch im Betrieb der Portlandzementfabrik mit Drehöfen der aus kieselsäurereichen Roh-

III. Wasserstoff.

Der Wasserstoff wurde im Jahre 1766 von dem englischen Chemiker Cavendish zum erstenmal als ein von der Luft ganz verschiedenes Gas beschrieben und charakterisiert. In reinem Zustande ist er farb- und geruchlos und verbrennt an der Luft mit schwach bläulicher, sehr heißer Flamme zu Wasser. Ein Gemisch von zwei Volumteilen Wasserstoff und einem Volumteil Sauerstoff ist explosiv und unter dem Namen „Knallgas“ bekannt. Daß er das leichteste Gas ist, das wir kennen, wurde bereits erwähnt; sein spez. Gew. ist nach Thomsen 0,069561 (bezogen auf Luft = 1). Im Zusammenhang hiermit steht auch seine große Unempfindlichkeit gegen Temperaturschwankungen. Er ist sehr schwer zu verflüssigen, er löst sich kaum in Wasser und diffundiert sehr leicht auch durch die feinsten Öffnungen. Dies war auch der Grund, weshalb die Versuche der Brüder Montgolfier, Papierbehälter mit Wasserstoff zu füllen, keinen Erfolg hatten. Erst dem Physiker Charles gelang es im Jahre 1783 in Paris, einen mit Wasserstoff gefüllten Ballon zum Aufsteigen zu bringen. Zur Darstellung des Gases bediente sich Charles derselben Methode, die auch zu seiner Entdeckung geführt hatte, nämlich der Einwirkung verd. Säure auf Eisen. Die Füllung seines Ballons, der aus gummiertem Seidentaffet hergestellt war und nicht einmal 40 cbm faßte, dauerte 3 Tage und 3 Nächte, und es wurden dazu nicht weniger als 500 kg Eisenspäne und 250 kg Säure verbraucht. Die Gasentwicklung wurde dabei in aufrecht stehenden Fässern vorgenommen, weshalb das Verfahren den Namen Tonnenverfahren erhielt. Wie aus den oben angegebenen Zahlen ersichtlich ist, war dieses Verfahren nicht sehr leistungsfähig. Anfangs zwar ging die Gasentwicklung recht flott vonstatten, bald aber ließ sie nach, obwohl noch genügend unangegriffenes Material vorhanden war. Um diesen Übelständen abzu- helfen, versuchte man es zunächst mit einer größeren Batterie von Fässern, die derart in Betrieb gesetzt wurden, daß immer die eine Hälfte Gas lieferte, während gerade die andere Hälfte frisch beschickt wurde. So verlief die Füllung eines Ballons zwar rascher, das Verfahren war aber sehr unrationell, da das Material nur schlecht ausgenutzt wurde. Trotzdem blieb dieses Verfahren lange Jahre hindurch als einziges in Anwendung, denn auch das Verfahren von Coutelle, der durch Überleiten von Wasserdampf über glühendes Eisen Wasserstoff gewinnen wollte, erwies sich als wenig brauchbar für den Großbetrieb. Es war daher ein großer Fortschritt, als in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts das sog. Zirkulationsverfahren aufkam, um dessen Ausgestaltung sich besonders Renard und Giffard verdient gemacht haben. Hierbei wurde ebenfalls der Wasserstoff aus Eisenspänen und Schwefelsäure hergestellt; um jedoch das Eisen ganz auszunutzen, wurde die dabei entstehende Lösung von schwefelsaurem Eisen ständig abgelassen und durch frische Säure ersetzt. Es gelang auf diese Weise Giffard, aus denselben Stoffmengen 30 mal mehr Wasserstoff zu gewinnen. Trotz dieses beträchtlichen Fortschrittes war der Wasserstoff noch recht teuer, denn 1 cbm stellte

sich auf 50—80 Pf je nach dem Erlös für die als Nebenprodukt entstehende Lösung von Eisenvitriol. Erst gegen Ende der neunziger Jahre kam eine neue Wasserstoffquelle hinzu, die in der Folge sehr ergiebig floß und das alte Verfahren fast verdrängte. Es war dies der elektrolytische Wasserstoff, der von der chemischen Fabrik Griesheim-Elektron in Griesheim a. M. von 1898 an für Luftschiffahrtzwecke abgegeben wurde. Der Wasserstoff entsteht in der genannten Fabrik als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Ätznatron und Ätzkali. Diese Industrie hat heute einen solchen Umfang erreicht, daß allein die chemische Fabrik Griesheim-Elektron in ihren drei Werken täglich die riesige Menge von 20 000 cbm Wasserstoff produziert. Trotzdem der Bedarf an diesem Gase in den letzten Jahren stark zugenommen hat, wird nur ein kleiner Teil des Gases aufgefangen und in Stahlflaschen auf 120—150 Atmosphären komprimiert, während der größere Teil ungenutzt in die Luft entweicht. Durch die Abgabe dieses Gases zum Selbstkostenpreis hat die chemische Fabrik Griesheim-Elektron wesentlich zur Förderung der Luftschiffahrt beigetragen. Denn mit den bis zum Jahre 1898 bekannten Verfahren zur Wasserstoffgewinnung wäre es fast unmöglich gewesen, in kurzer Zeit solche große Gasmengen herzustellen, wie sie vom Grafen Zeppelin zu jener Zeit für die Versuche mit seinem ersten Luftschiff benötigt wurden. Ebenso lieferte die genannte Fabrik lange Jahre hindurch das Füllgas an die Militärluftschifferabteilung in Berlin, und auch das dritte System unserer deutschen Motorluftschiffe, der Parsevalballon, erhält seine Füllung durch den elektrolytischen Wasserstoff derselben Firma. Wie bekannt, hat ja die Motorluftschiffstudien-gesellschaft ihre Halle in Bitterfeld errichtet, und zwar unmittelbar neben dem Werk Elektron II der Griesheimer Fabrik. Auch zahlreiche Freiballonfahrten haben in den letzten Jahren ihren Ausgang von Bitterfeld oder Griesheim genommen, wo für diesen Zweck ein besonderer Gasbehälter mit einem Fassungsvermögen von 1500 cbm, entsprechend dem Normalvolumen der Freiballons, errichtet wurde. Die Vorzüge des elektrolytischen Wasserstoffes vor dem aus Eisen und Säure gewonnenen, seine Reinheit und vor allem die Abwesenheit von Arsen, waren die Veranlassung, daß nun auch solche Anlagen gebaut wurden, bei denen der Wasserstoff das Hauptprodukt war. Man verwendet dabei als Elektrolyten keine Kochsalzlösung wie bei dem vorher besprochenen Verfahren, sondern Wasser, dessen Leitfähigkeit durch Zusatz von geringen Mengen Säure oder Alkali erhöht wird. Die sauren Verfahren sind in der letzten Zeit von den alkalischen ziemlich verdrängt worden, denn diese gestatten die Anwendung von eisernen und damit billigeren Gefäßen und zeichnen sich durch geringere Abnutzung der Elektroden aus. Der erste Wasserzersetzer für Luftschiffahrtzwecke wurde von dem Kommandeur der französischen Luftschiffertruppe Renard, der sich auch um die Ausbildung des schon erwähnten Zirkulationsverfahrens sehr verdient gemacht hat, schon im Jahre 1890 konstruiert. Bei dem damaligen Stande der Elektrotechnik war es jedoch noch nicht möglich, mit diesem Apparat auf wirtschaftliche Weise größere Gasmengen herzustellen. Heute sind

wir im Besitze einer ganzen Reihe brauchbarer Wasserzersetzungapparate, von denen für Luftschiffahrtzwecke bisher besonders zwei Konstruktionen Anwendung fanden, nämlich die Apparate der Elektrizitäts-A.-G. vormals Schuckert & Co. in Nürnberg und der von Dr. Schmidt erfundene Apparat der Maschinenfabrik Oerlikon bei Zürich. Diese beiden Apparate sind zugleich die Vertreter zweier verschiedener Systeme. Der Schmidt'sche Apparat hat eine Anzahl doppelpoliger Elektroden aus Eisenblech, die hintereinander geschaltet und durch Asbesttücher voneinander getrennt sind. Der ganze Apparat hat das Aussehen einer Filterpresse und nimmt nur sehr wenig Raum ein. Es sind bis zum Jahre 1909 schon 11 solcher Apparate für Luftschiffahrtzwecke geliefert worden, darunter sind auch zwei Anlagen für die schwedische und russische Marine, die dazu bestimmt sind, in einem Seekriege einen Drachenfesselballon von einem Kriegsschiffe aus aufsteigen zu lassen. Das Schuckert'sche Verfahren ist bereits seit 1898 in Anwendung; die Trennung der an den beiden Elektroden entstehenden Gase erfolgt hier nicht durch poröse Diaphragmen, sondern durch Metallglocken, die die Elektroden umgeben. Durch diese Anordnung wird zwar ein größerer Raum beansprucht als bei dem vorhergehenden Verfahren, zugleich aber bietet dieses größere Sicherheit in bezug auf die Trennung der Gase. Nach diesem Verfahren arbeiten zwei große Anlagen der deutschen Militärbehörde, die bis zu 50 cbm Wasserstoff und 25 cbm Sauerstoff stündlich liefern. Die so erzeugten Gase werden, um mitgerissene Lauge zu entfernen, durch Wäscher geleitet und dann in Gasbehältern gesammelt, von wo aus sie entweder direkt in den Ballon geleitet oder in einem Hochdruckkompressor verdichtet werden. Der Gasbehälter ist notwendig, weil die Elektrolyse zweckmäßig kontinuierlich betrieben wird, während die Kompressoren nur am Tage arbeiten. Die Behälter müssen daher so groß sein, daß sie die ganze während der Nacht erzeugte Gasmenge aufnehmen können. Die Kompressoren arbeiten in der Regel dreistufig und mit einem Enddruck von 150 Atmosphären. Früher ging man mit dem Druck bis auf 200 Atm., doch ist man davon abgegangen, seitdem bei dem Luftschifferbataillon in Berlin durch Explosion einer solchen Stahlflasche sich ein schwerer Unfall ereignete. Der Transport verdichteten Wasserstoffes in Stahlflaschen wurde zuerst durch den Engländer Lane eingeführt und ist seitdem allgemein üblich geworden. Für Luftschiffahrtzwecke verwendet man meist Flaschen von 36—40 l Wasserinhalt, die bei 150 Atm. etwa 5—6 cbm Gas fassen. Das Gewicht dieser Flaschen ist sehr hoch, es beträgt 65—75 kg, so daß also ein Mann gerade eine solche Flasche tragen kann. Zum bequemerem Transport der Flaschen, besonders für militärische Zwecke, wurde von der Neuen Automobilgesellschaft in Berlin ein Lastautomobil erbaut, das bei 6000 kg Tragfähigkeit 80 Flaschen aufnehmen kann, die in vier Schichten übereinandergelagert sind. Durch Zugabe eines ähnlichen Anhängewagens können auf diese Weise 800—1000 cbm Wasserstoff zu einer Nachfüllung ziemlich rasch an die Landungsstelle eines Luftschiffes befördert werden. Ähnliche Wagen für den Eisenbahntransport wurden von

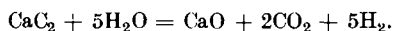
der chemischen Fabrik Griesheim-Elektron konstruiert, die sich im vorigen Jahre gelegentlich der Frankfurter Luftschiffahrtsausstellung bestens bewährt haben. Ein solcher Wagen trägt 500 Flaschen, die zusammen 2750 cbm Gas enthalten.

Den Vorteilen der elektrolytischen Wasserstoffherzeugung, die, wie bereits erwähnt, in der großen Reinheit des Gases und der einfachen Bedienung der Zersetzungszellen liegen, stehen nun aber auch recht schwerwiegende Nachteile gegenüber. So sind für eine große Anlage sehr viele Flaschen nötig, die nicht gerade billig sind, weiter kommen zu den Darstellungskosten, die bei niedrigen Strompreisen allerdings nicht hoch sind, noch die Kompressionskosten hinzu, ferner entsteht immer das halbe Volumen Sauerstoff, der ebenfalls komprimiert und dann auch abgesetzt werden muß, und schließlich fallen die Frachtkosten sehr ins Gewicht, vor allem deshalb, weil die leeren Flaschen bei dem Rücktransport fast ebensoviel wiegen wie in gefülltem Zustande. Bei dem großen Gasbedarf unserer modernen Luftschiffe, besonders derjenigen des Zeppelintyps mit 15000 cbm Gasinhalt, mußte man daher nach anderen Gasgewinnungsverfahren suchen, die gestatten, in kurzer Zeit große Gas Mengen zu einem angemessenen Preise zu liefern, und die den Bezug des komprimierten Gases in den schweren Stahlflaschen entbehrlich machen. So sehen wir denn, daß sich in Friedrichshafen direkt neben der Luftschiffwerft eine Fabrik niedergelassen hat, die dem Zeppelinunternehmen den Wasserstoff liefern will. Das Verfahren dieser Carbonium-Ges. m. b. H. beruht auf der Spaltung von Acetylen und anderen Kohlenwasserstoffen in ihre Komponenten. Die Gase werden in komprimiertem Zustande in besonderen Zylindern mit Rührvorrichtung durch den elektrischen Funken in Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegt. Der in Form von Ruß abgeschiedene Kohlenstoff ist dabei das Hauptprodukt, und seine Qualität soll den auf anderem Wege hergestellten Ruß, der zur Herstellung von Druckerschwärze, Anstrichfarben und anderen Zwecken dient, übertreffen. Der Wasserstoff wird direkt in den 20 000 cbm fassenden Gasbehälter der Zeppelin-Luftschiffbaugesellschaft abgeleitet. Über die Betriebsergebnisse dieses Verfahrens ist bisher nichts näheres bekannt geworden, da durch eine Explosion im Juli dieses Jahres ein Teil der Fabrik zerstört wurde. Die Fabrik will täglich 2000 cbm Wasserstoff herstellen und liefert den Kubikmeter zu 15 Pf. Wenn man bedenkt, daß die Zeppelingsgesellschaft im Jahre 1909 ungefähr 800 000 cbm Wasserstoff in Stahlflaschen bezog, und daß sich dabei der Kubikmeter einschl. Hin- und Rückfracht auf 45 Pf stellte, so ersieht man die große Bedeutung, die dieses Werk in Zukunft für das Zeppelinunternehmen haben wird.

Ein anderes Verfahren, das von der Internationalen Wasserstoffgesellschaft in Frankfurt a. M. ausgearbeitet wurde, greift auf die Beobachtung Lavoisiers aus dem Jahre 1783 zurück, wonach Wasserdampf beim Überleiten über rotglühendes Eisen in seine Bestandteile zerlegt wird. Diese Reaktion fand für technische Zwecke zuerst durch Couteille Anwendung und wurde später von Giffard verbessert, sie hat sich aber nicht recht einführen können, weil die Reduktion des dabei ent-

stehenden Eisenoxyduloxydes mittels Gasen Schwierigkeiten bereitete. Erst in neuester Zeit wurde gefunden, daß sich zur glatten Durchführung des Verfahrens sehr gut die Abbrände von Schwefelkies eignen. Diese sind sehr porös und lassen sich daher leicht beim Überleiten von Generatorgas zu metallischem Eisen reduzieren, das dann beim Überleiten von Dampf ein sehr reines, 98%iges Wasserstoffgas liefert. Der Auftrieb beträgt demgemäß 1,188 kg für den Kubikmeter, und der Preis beläuft sich, je nach der Größe der Anlage, auf 10—20 Pf. Auch dieses Verfahren hat bei den preußischen Luftschifftruppen bereits Anwendung gefunden.

Ebenfalls recht aussichtsreich ist ein Verfahren der Siemens & Halske A.-G., das vom Calciumcarbid ausgeht. Dieses Produkt dient, wie bekannt, zur Darstellung des Acetylgases, indem man es einfach mit Wasser zusammenbringt. Die genannte Gesellschaft hat nun gefunden, daß die Reaktion wesentlich anders verläuft, wenn man das Calciumcarbid nicht bei gewöhnlicher Temperatur, sondern bei Rotglut mit Wasserdampf behandelt. Die Bildung von Acetylen oder anderen Kohlenwasserstoffen wird dabei fast vollkommen vermieden, und die Reaktion verläuft nach folgender Gleichung:

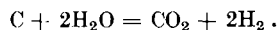


Aus diesem Gasgemisch kann die Kohlensäure leicht entfernt werden, indem man es über Kalk leitet, und zwar kann dabei der Kalk Verwendung finden, der bei einer vorhergehenden Beschickung des Apparates aus dem Carbid gewonnen wurde. Da die notwendige Apparatur sehr einfach, und das Rohmaterial billig ist, wird das Verfahren sicher bald weite Verbreitung finden.

Wir kommen nun noch zu einer Gruppe von Verfahren, die alle das gleiche Ausgangsmaterial haben, nämlich das Wassergas. Dieses Gas entsteht bekanntlich bei dem Überleiten von Dampf über glühenden Koks. Hierbei tritt oberhalb 1000° eine Zersetzung des Wassers ein gemäß der Gleichung: $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$. Man erhält also ein Gasgemisch, bestehend aus 50 Vol.-% Kohlenoxyd und 50 Vol.-% Wasserstoff. In der Praxis wird dieser Wert allerdings nicht erreicht, da dem Gas noch Stickstoff und Kohlensäure beigemengt sind. Das Wassergas wird in großen Mengen dargestellt und findet wegen seines hohen Heizwertes (2800—3000 Cal.), seiner hohen Verbrennungstemperatur und seines billigen Preises (3—5 Pf der Kubikmeter) Anwendung zum Schweißen von Blechen, zum Schmelzen von Glas und Platin, überhaupt überall, wo man hohe Temperaturen benötigt. Auch kann es nach vorhergegangener Carburatation mit Benzol als Leuchtgas dienen; dieser Verwendung stand lange Zeit sein hoher Gehalt an dem giftigen Kohlenoxyd im Wege, und erst in neuerer Zeit verwendet man es in vielen Gasanstalten als Zusatz zum gewöhnlichen Steinkohlengas. In Amerika, wo man in dieser Beziehung nicht so gewissenhaft ist, findet es schon seit langen Jahren (1878) als Leuchtgas Anwendung. Zur Darstellung des Wassergases bedient man sich eines Generators, d. i. ein Schachtlofen, der bis zu einer bestimmten Höhe mit Koks gefüllt ist. Der Koks wird entzündet und durch von unten eingeblasene Luft zur Weißglut gebracht. Dann wird sowohl die Luft-

zuführung wie der Kamin abgesperrt und durch die glühende Koksmaße Wasserdampf hindurchgeleitet. Bei der hohen, zwischen 1000 und 1200° liegenden Temperatur wird das Wasser vollständig zersetzt, und es entsteht das Wassergas. Da hierbei viel Wärme verbraucht wird, muß der Prozeß nach Verlauf einiger Minuten unterbrochen, und der Generator durch Einblasen von Luft wieder zum Glühen gebracht werden. Diese beiden Vorgänge, die man „Heißblasen“ und „Gasmachen“ nennt, wechseln ständig ab. Die Umschaltung der verschiedenen Leitungen erfolgt von einer Stelle aus, so daß zur Bedienung des Generators nur ein Mann nötig ist. Durch eine Verbesserung von Dellwik-Fleischer, die in Deutschland fast allgemein Anwendung findet, ist der Wassergasprozeß sehr vereinfacht worden. Hierbei wird die Luft unter starkem Druck eingeblasen, wodurch das Heißblasen rascher und mit viel geringerem Kohleverbrauch vor sich geht. Das Heißblasen dauert so nur noch eine Minute und das Gasmachen 5—6 Minuten. Aus 1 kg Koks erhält man auf diese Weise fast 2 cbm, nach dem alten Verfahren dagegen nur 1 cbm Wassergas. Dieses wird zur Abkühlung durch einen Skrubber, einen mit Koks gefüllten Blechzylinder mit Wasserberieselung, geleitet und dann entweder in einem Gasbehälter gesammelt oder direkt verwendet. Da das Wassergas das spez. Gew. 0,52—0,54 hat, wäre es an sich schon als Füllgas für Freiballons verwendbar, doch ist infolge des hohen CO-Gehaltes die Gefahr einer Vergiftung sehr groß.

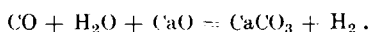
Die Versuche, aus diesem Gasgemisch reinen Wasserstoff herzustellen, reichen viele Jahre zurück. Anfangs war man bemüht, den Prozeß so zu leiten, daß nur sehr wenig Kohlenoxyd gebildet wird. Gillard fand, daß bei Anwendung von überschüssigem Wasserdampf das Kohlenoxyd zu Kohlen-säure oxydiert wird, die dann leicht von dem Wasserstoff getrennt werden kann. Die Reaktion verläuft folgendermaßen:



Die Reaktion so zu leiten, ist jedoch bei einem Betriebe im Großen recht schwierig; so kommt es, daß das Verfahren von F a y e s, das auf dieser Umsetzung beruhte, ebenso wie eine Abänderung desselben durch die Firma Fr. Krupp heute keine Anwendung mehr findet. Man ist heute nicht mehr bestrebt, die Bildung von Kohlenoxyd zu verhindern, sondern man geht von dem fertigen Wassergas aus und entfernt entweder das Kohlenoxyd aus ihm durch Absorptionsmittel, oder aber man ersetzt es durch das gleiche Volumen Wasserstoff. Als Absorptionsmittel für Kohlenoxyd verwendet man in der Gasanalyse eine Lösung von Kupferchlorür; diese Lösung benutzten ebenfalls F r i t s c h i und B e a u f i l s, die im Jahre 1887 ein Verfahren angaben, wobei Wassergas durch eine Lösung von Kupferchlorür geleitet werden sollte. Man erhält jedoch auf diese Weise einen Wasserstoff von höchstens 80%. Ein wesentlich reineres Gas läßt sich erzielen nach einer Erfindung von F r a n k und C a r o, die darin besteht, daß man das Wassergas durch Retorten leitet, die gepulvertes, mäßig erhitztes Calciumcarbid enthalten. Dieses nimmt sowohl das Kohlenoxyd, wie auch die Kohlensäure

und den Stickstoff auf, und man erhält so nicht nur ein sehr reines Gas, sondern auch noch zwei gut verwertbare Nebenprodukte, nämlich Graphit und Kalkstickstoff. Auf noch einfacherem Wege läßt sich das Kohlenoxyd aus verflüssigtem Wassergas entfernen. Auch dieses Verfahren wurde von Frank und Caro in Gemeinschaft mit Linde ausgearbeitet und vor kurzem von der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-A.-G. in die Praxis eingeführt. Das Wassergas wird dabei in einem Linde'schen Luftverflüssigungsapparat auf etwa -195° abgekühlt, bei welcher Temperatur der Stickstoff und das Kohlenoxyd in den flüssigen Zustand übergehen, während der Wasserstoff, dessen Siedepunkt ja bei -253° liegt, bei dieser Temperatur unverändert bleibt. Der so gewonnene Wasserstoff wird durch eine weitere Reinigung von 97,5 auf 99,5% gebracht. Das verflüssigte Kohlenoxyd wird ebenfalls nutzbringend verwendet, indem es zum Antrieb eines Gasmotors dient und so die zur Kompression des Wassergases notwendige Kraft liefert.

Während bei diesem Verfahren die Beseitigung des Kohlenoxyds aus dem Wassergas auf kaltem Wege erfolgt, bedient sich die Chemische Fabrik Griesheim-Elektron bei ihrem neuen Verfahren der Erhitzung, um das Kohlenoxyd durch das gleiche Volumen Wasserstoff zu ersetzen. Wenn man feuchtes Wassergas über Kalk leitet, der auf 500° erhitzt ist, so entsteht kohlenaurer Kalk, und Wasserstoff wird frei:



Um hierbei einen möglichst hochprozentigen Wasserstoff zu erhalten, ist es wichtig, daß das Wassergas fast frei von Stickstoff ist, was durch eine besondere Konstruktion der Generatoren erreicht werden soll. Da hierbei nur Wassergas und Kalk Anwendung finden, dürfte der so gewonnene Wasserstoff sehr billig sein.

Dem Wassergasprozeß sehr ähnlich ist die Darstellung des Ölgases; in einen glühenden Generator wird hier statt Wasserdampf Öl eingeblasen. Auch dieser Prozeß hat zur Gewinnung von Wasserstoff Anwendung gefunden. Das Verfahren wurde von zwei Holländern Rinker und Wolter ausgearbeitet und für Deutschland von der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau A.-G. erworben. Von dieser Gesellschaft wurde eine fahrbare Anlage gebaut, die zurzeit von der Versuchsabteilung der Verkehrstruppen in Berlin erprobt wird. Sie besteht aus zwei Eisenbahnwagen, von denen der eine zwei Generatoren, das Gebläse und eine Ölpumpe trägt, während auf dem zweiten die Apparate zur Reinigung des Gases montiert sind. Auch bei diesem Verfahren sind zwei Perioden zu unterscheiden, das Heißblasen und das Gasmachen, die miteinander abwechseln. Das Öl wird oben eingespritzt und das Gas unten abgesaugt. Zweckmäßig verwendet man zwei Generatoren, die zu $\frac{7}{8}$ mit Koks gefüllt sind. Das zu vergasende Material besteht aus rohem Erdöl, Petroleumdestillationsrückständen, Teer oder auch aus Benzol und Benzin, lauter Stoffe, die fast überall zu billigem Preise zu beschaffen sind. Bei der hohen Temperatur in den beiden Generatoren werden diese Stoffe weitgehend zersetzt, und man erhält ein Gas mit 90–96% Wasserstoff. Nach etwa 20 Minuten ist

die Temperatur so weit gesunken, daß von neuem heißgeblasen werden muß. Das aus dem zweiten Generator entweichende Gas wird durch einen Wascher und einen Trockenreiniger geleitet und enthält dann 96% H, 2,7% CO und 1,3% N; sein spez. Gewicht beträgt 0,1. In dieser Form ist es für viele technische Zwecke rein genug, wenn jedoch noch größere Reinheit verlangt wird, kann man mit Hilfe eines besonderen Ofens das Kohlenoxyd fast ganz entfernen, so daß man ein Gas mit 0,087–0,092 spez. Gew. erhält. Zur Bedienung dieser Anlage sind nur zwei Mann erforderlich, die Herstellungskosten betragen 10,5–14 Pf für den Kubikmeter. Die ganze Anlage ist leicht beweglich und kann daher einem Luftschiff folgen, um bei seiner Landung rasch das zur Nachfüllung erforderliche Gas zu liefern.

Dieses Verfahren bildet den Übergang von den stationären zu den fahrbaren Anlagen, wie sie von der militärischen Luftschiffahrt benutzt werden. Die Anforderungen, die an die Gaserzeuger für strategische Zwecke gestellt werden, sind natürlich sehr verschieden von denen, die etwa eine Luftschiffverkehrsgesellschaft stellt. Während hier vor allem ein wirtschaftlicher Betrieb verlangt wird, der gar keine oder gut verwertbare Nebenprodukte liefert, tritt bei der Gaserzeugung für militärische Zwecke die Kostenfrage in den Hintergrund. Hier kommt es vor allem auf ein möglichst geringes Gewicht der Apparatur und der mitzuführenden

Tabelle II.

Gewicht der zur Erzeugung von
1 cbm Wasserstoff erforderlichen
Reagenzien.

bei Verwendung von	kg
I. Eisen und Schwefelsäure (konz.). . . .	7–8
II. Aluminium und Natronlauge	5,5
III. Silicium und Natronlauge	2,0
IV. Calciumhydrid	1,0

Bemerkung: Das zum Lösen, Verdünnen usw. nötige Wasser ist in den angegebenen Gewichten nicht inbegriffen.

Materialien, also auf leichte Beweglichkeit (vgl. Tabelle II) und rasche Betriebsfertigkeit an. Apparate, die diesen Forderungen genügen, wurden erst in den letzten Jahren erbaut. Von dem Jahre 1794 an, in dem die Luftschiffahrt in der Schlacht von Fleurus zum ersten Male eine entscheidende Rolle spielte, bis in die neunziger Jahre des 19. Jahrhunderts, bediente man sich ausschließlich des alten Verfahrens der Einwirkung von Schwefelsäure auf Eisenspäne. Trotz der Nachteile dieser Methode wurden verschiedene fahrbare Gaserzeuger erbaut, von denen der von Yon in vielen Armeen Anwendung fand. Das Verfahren von Couette, bei dem Wasserdampf über glühende Eisenspäne geleitet wird, eignet sich für eine fahrbare Anlage noch weniger, weil dazu ein Dampfkessel nötig ist. Aber auch der Apparat von Yon hatte ein recht hohes Gewicht, nämlich 2600 kg bei einer Leistungsfähigkeit von 250–300 cbm in der Stunde. Dazu kam ein großer Train für das mitzuführende Material und ein sehr großer Wasserverbrauch. Erst die Einführung des komprimierten Wasserstoffes änderte diese Verhältnisse. Die Stahlflaschen wur-

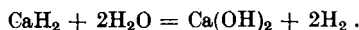
den zuerst von den Engländern eingeführt, und im afrikanischen Feldzuge beluden sie je ein Kamel mit zwei Flaschen von je 4 cbm Inhalt. Zur Füllung ihres 400 cbm-Ballons hatten sie also einen Train von 50 Tieren nötig. Die Füllung erfolgte zwar sehr rasch und unabhängig von etwa vorhandenem Wasser, was für afrikanische Verhältnisse besonders wesentlich ist, aber das hohe Gewicht der Flaschen hatte doch große Unbequemlichkeiten im Gefolge.

Eine andere Methode der Gaserzeugung fand im Jahre 1904 im russisch-japanischen Kriege bei dem russischen Heere Anwendung. In dem gebirgigen Terrain mit seinen schlechten Wegverhältnissen und der weiten Entfernung bis zur nächsten Bahnstation konnte man nicht an die Mitnahme von komprimiertem Gas denken. Es wurde deshalb von den Russen die Einwirkung von Natronlauge auf Aluminium zur Gasgewinnung verwendet, eine Methode, die zwar schon lange Zeit bekannt war, wegen des hohen Preises des Gases aber keine Verbreitung gefunden hatte. Die Gasentwicklung verläuft hierbei sehr rasch und unter starker Erwärmung, es muß daher für ausreichende Kühlung gesorgt werden. Zur Erzeugung von 1 cbm Wasserstoff sind 5,5 kg Material (theoretisch nur 4,3 kg) erforderlich. Das ostsibirische Feldluftschiffbataillon war mit zwei verschiedenen Apparaten ausgerüstet, einem größeren für die Ebene, der auf zweirädrigen Karren montiert war, und einem kleineren für das Gebirge, der so leicht war, daß zwei solcher Apparate von einem Pferde getragen werden konnten. Die Gaserzeugung mit diesem Apparat geht in Gegenden, wo viel Wasser vorhanden ist, gut vonstatten, das Gas ist aber recht teuer.

Das neueste Verfahren für militärische Zwecke ist von der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co. ausgearbeitet worden und dem soeben besprochenen ziemlich ähnlich. Als Ausgangsmaterialien finden hier Silicium und Natronlauge Anwendung, die sehr lebhaft miteinander reagieren: $\text{H}_2\text{O} + \text{Si} + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2$. Hierbei sind zur Erzeugung von 1 cbm Wasserstoff nur 2,0 kg Material erforderlich, also viel weniger als bei Anwendung von Aluminium. Es wurden bisher stationäre Anlagen für eine stündliche Leistung von 300 cbm gebaut und fahrbare für eine stündliche Leistung von 60 und von 120 cbm. Bei jenen sind der Gaserzeuger, der Wascher und eine Pumpe auf einem Wagen, bei diesen ist der Wäscher auf einem besonderen Wagen montiert. Die größere dieser Typen wurde von den Spaniern im Marokkofeldzug mit Erfolg verwendet; die Apparate haben inzwischen bei fast allen Armeen und in vielen Festungen Anwendung gefunden. Die Kosten für 1 cbm Gas betragen hier etwa 75 Pf.

Wir müssen an dieser Stelle noch eine weitere chemische Verbindung nennen, die ebenfalls für die militärische Gasgewinnung Bedeutung erlangen dürfte. Es ist dies das Calciumhydrid, eine Verbindung von Calcium mit Wasserstoff, eine graue Masse, die durch Einleiten von Wasserstoff in geschmolzenes Calcium dargestellt wird. Das Calciumhydrid ist gewissermaßen ein Wasserstoffakkumulator, denn Calcium nimmt den bei irgend einem chemischen Prozeß, wie etwa bei der Elektrolyse der Chloralkalien, auftretenden Wasserstoff

leicht auf, und das Hydrid gibt ihn ebenso leicht wieder ab, wenn man es mit Wasser zusammenbringt. Die Reaktion verläuft folgendermaßen:



Es werden also bei dieser Reaktion 2 Mol. Wasserstoff aus 1 Mol. Hydrid erhalten. Infolgedessen sind auch die Gewichtsverhältnisse in diesem Falle sehr günstig, denn zur Darstellung von 1 cbm Wasserstoff ist nur etwa 1 kg Calciumhydrid erforderlich. Das Verfahren, das bisher nur zur Füllung von kleinen Pilotballons Anwendung gefunden hat, dürfte aber auch für militärische Zwecke brauchbar sein.

Ich bin mit meinem Bericht zu Ende. Auf Vollständigkeit kann er keinen Anspruch machen, denn sonst müßte ich Ihnen noch über die sehr interessanten Versuche, die der erst vor einigen Monaten verstorbene Prof. Hugo Erdmann mit flüssigem Wasserstoff anstellte, berichten und ferner über eine ganze Reihe neuer Verfahren, die in den letzten Monaten erst patentiert wurden. Ich habe mich jedoch nur auf diejenigen Methoden beschränkt, die bisher praktische Anwendung fanden und die sich in der Praxis auch bewährt haben. Wenn man nun auch heute noch nicht sagen kann, welches der genannten Verfahren das beste und aussichtsreichste ist, so können wir die Frage der Gasbeschaffung für die Luftschiffahrt dennoch als gelöst betrachten. Der scharfe Wettbewerb unter den einzelnen Verfahren wird uns in der nächsten Zeit zweifellos weitere Verbesserungen bringen, so daß wir bald ein oder gar mehrere Verfahren zur Wasserstoffgewinnung besitzen werden, die den höchsten Anforderungen entsprechen. [A. 263.]

Die Bewegung der Gase in Schwefelsäurekammern.

Von K. J. BESKOW, Helsingborg.

(Autoreferat von einem Vortrage auf dem III. schwedischen Chemikerkongreß zu Helsingborg, Juni 1910.)

(Eingeg. 17./12. 1910.)

Vor zwei Jahren veröffentlichte ich eine Untersuchung über die Bewegung der Gase in Tangentialkammern¹⁾, welche in der Schwefelsäurefabrik zu Limhamn ausgeführt war. Die beschriebene Methode, welche darin besteht, Glasschiffchen mit Spirale in der Bleikammer in verschiedenen Richtungen aufzuhängen und das in der Zeiteinheit in den denselben kondensierte Schwefelsäurequantum vergleichsweise zu bestimmen, bewährte sich für diesen Zweck vollkommen und zeigte in zylindrischen Tangentialkammern von 9,6 m Durchmesser bis an die zentrale Zone von etwa 1 m Durchmesser heran eine deutlich erkennbare Spiralbewegung, während in gleich großen Zylinderkammern mit axialer Gaseinleitung keine bestimmte Bewegungsrichtung nachweisbar war. Auf Kammern von anderer Form, speziell auf Oblongkammern, erstreckte sich meine damalige Untersuchung nicht. Die Frage der Bewegungsweise

¹⁾ Diese Z. 21, 2312 (1908).