Das Gesetz von Avogadro

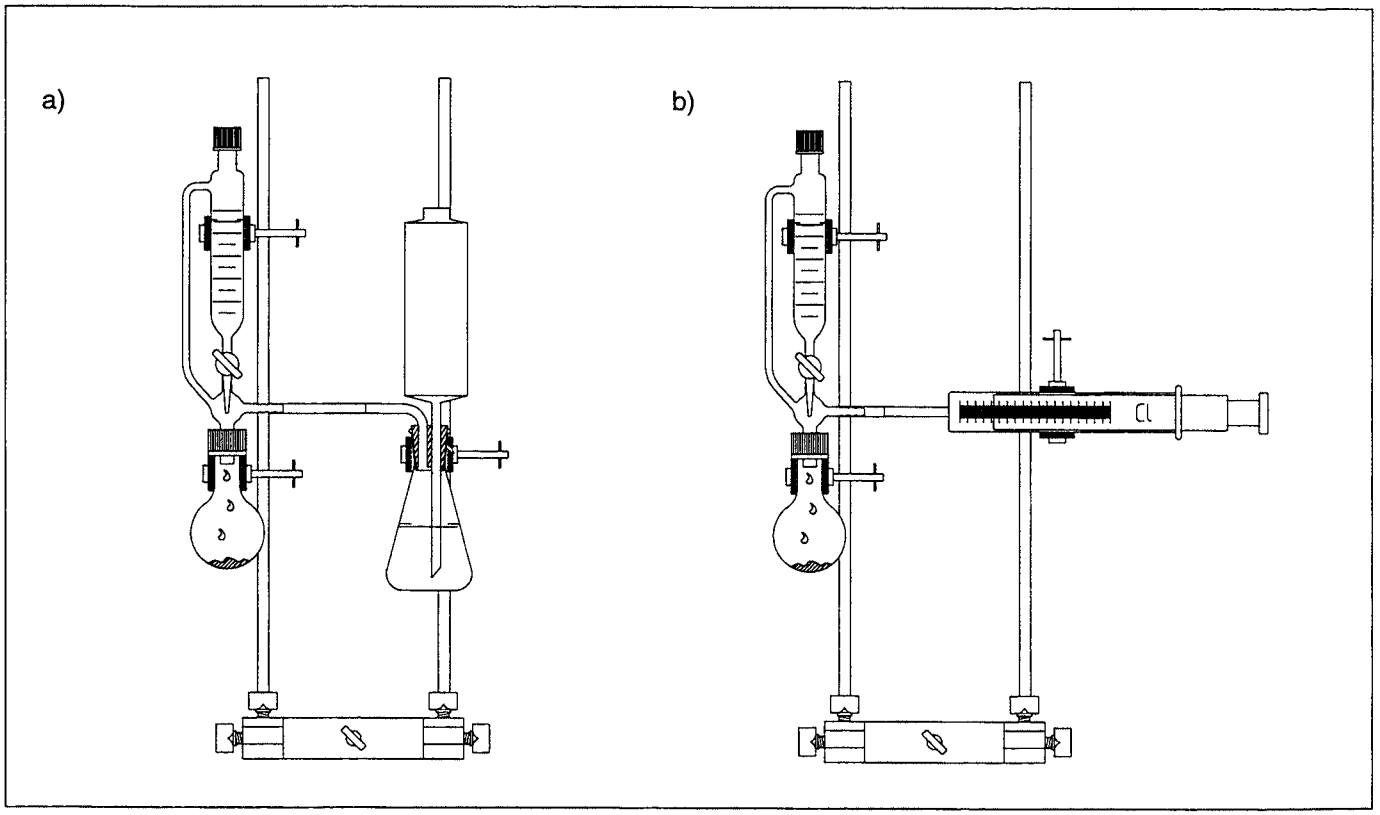
Material

H-Fuß "PASS"	02009.55	1
Stativstange, l = 250 mm	02031.00	2
Stativstange, l = 600 mm	02037.00	2
Bunsenstativ, h = 750 mm	37694.00	1
Doppelmuffe	37697.00	3
Universalklemme	37715.00	3
Rundkolben, 100 ml, GL 25/12	35841.15	1
Trichter für Gleichdruckgasentwickler, GL 18	35854.15	1
Gas-Bar	40466.00	2
Gasspritze, 100 ml	02614.00	1
Kolbeneudiometer	02611.00	1
Spritze,10 ml, 1 aus	02590.03	1
Kanülen, 0,45/13 mm, 1 aus	02598.04	1
Zündfunkengeber	11155.00	1
Verbindungsleitung, 50 kV, 1000 mm	07367.00	2
Glasmantel	02615.00	1
Laborthermometer, -10...+150°C	38058.00	2
Heizgerät	32246.93	1
Leistungssteller	32247.93	1
Stahlflasche Sauerstoff, 2 l, gef.	41778.00	1
Stahlflasche Wasserstoff, 2 l, gef.	41775.00	1
Druckminderventil für Sauerstoff	33482.00	1
Druckminderventil für Wassserstoff	33484.00	1
Tischständer für 2 l Stahlflaschen	41774.00	2
Maulschlüssel für Stahlflaschen	40322.00	1
Teclu-Brenner, Erdgas	32171.05	1
Sicherheitsgasschlauch	39281.10	1
Schlauchschelle, d = 12...20 mm	40995.00	2
Anzünder für Erd- und Flüssiggas	38874.00	1
Laborwaage mit Datenausgang, 620 g	45023.93	1
Gummischlauch, d_i = 6 mm	39282.00	2
Trichter, d = 80 mm	34459.00	1
Becherglas, 250 ml, hohe Form	36004.00	1
Becherglas, 1000 ml, hohe Form	36008.00	1
Löffel mit Spatelstiel, Edelstahl	33398.00	1
Glasstäbe, l = 300 mm, 1 aus	64869.03	1
Siedesteinchen, 200 g	36937.20	1
Ameisensäure 98...100%, 250 ml	30021.25	1
Schwefelsäure 95...98%, 500 ml	30219.50	1
Salzsäure 37%, 1000 ml	30214.70	1
Kaliumpermanganat, 250 g	30108.25	1
Natriumchlorid, 500 g	30155.50	1
Wasser, dest., 5 l	31246.81	1
Plastiktüte, durchsichtig (Frischhaltebeutel)		

Sicherheitshinweis

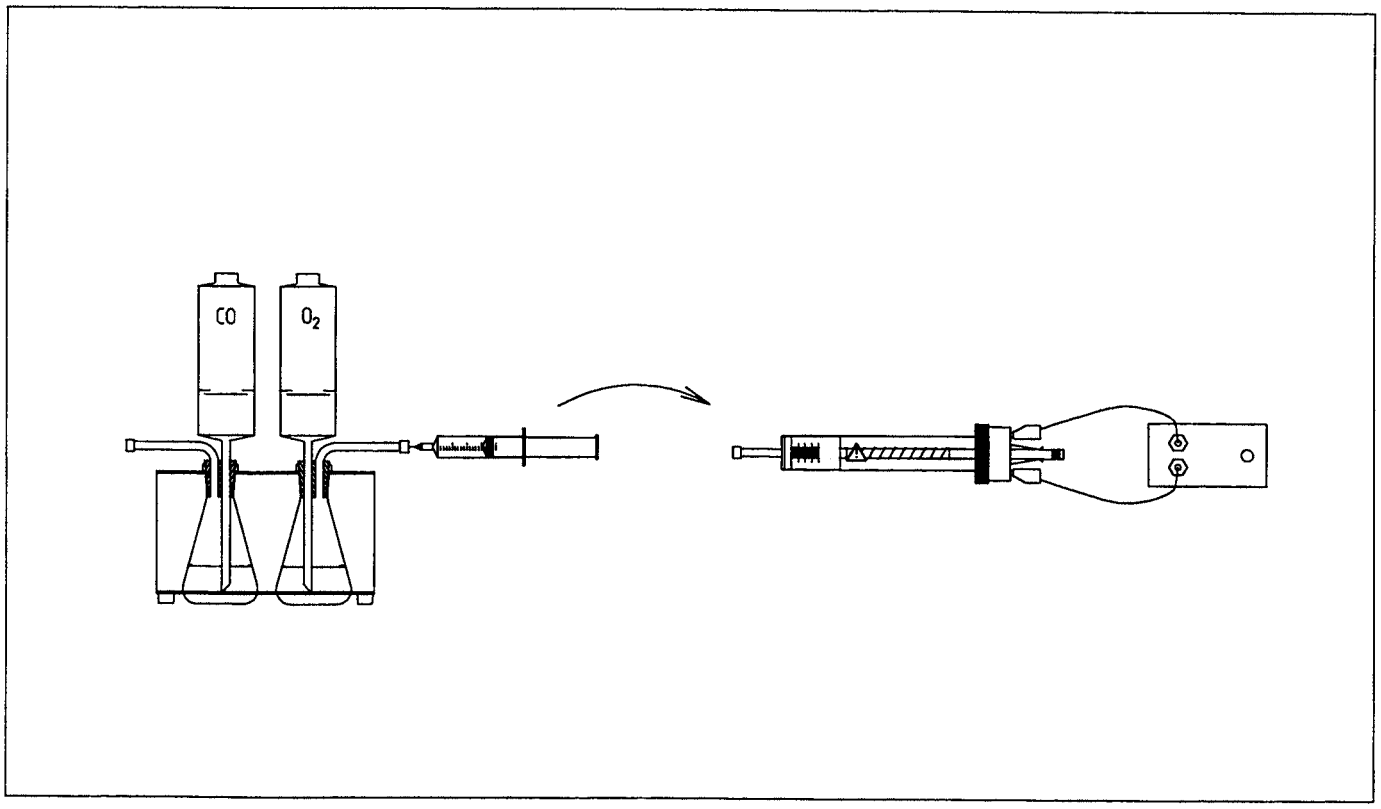
Bei Arbeiten mit dem Kolbeneudiometer ist die Bedienungsanleitung für dieses Gerät unbedingt zu beachten. Das Gerät darf nicht verschmutzt sein, so daß der Kolben sich immer leicht verschieben läßt. Er darf unter keinen Umständen klemmen (Splittergefahr!).

Abb. 1



Unbedingt geeignete Schutzkleidung tragen (Schutzbrille etc.).
Bei Wasserstoff/SauerstoffReaktionen im kalten Eudiometer ist das Gasgemisch immer so zu wählen, daß eins der Gase im Überschuß vorhanden ist. Das nach der Reaktion vorliegende Restgas muß den vorschnellenden Kolben abfangen, damit er nicht hart gegen die Stirnwand des Gerätes schlägt und so Glasbruch entsteht. Am besten arbeitet man mit einem Überschuß an Sauerstoff.
Alternativ kann man auch zuvor ein wenig Luft im Eudiometer einschließen, die dann den zurückschnellen Kolben abpuffert. In diesem Fall kann man mit stöchiometrischen Gemischen arbeiten.
Bei Gasreaktionen, die zu einem ebenfalls gasförmigen Reaktionsprodukt führen (wie z.B. die Kohlenmonoxid/Sauerstoff-Reaktion) kann man dagegen auch mit stöchiometrischen Gemischen arbeiten, da die Reaktionsprodukte dann die Funktion des Puffers übernehmen.
Benutzt man das Eudiometer alleine, ohne es in einen Glasmantel einzusetzen, so steckt man es vor der Zündung in eine nicht zu dünnwandige durchsichtige Plastiktüte und strafft diese. Diese Tüte bildet dann einerseits einen gewissen Splitterschutz, anderseits sichert man mit ihr die Blindtülle gegen den Explosionsdruck, so daß diese nicht von dem Glasrohr abspringen kann.
Die zur Reaktion gebrachten Gasgemische sollten möglichst klein gehalten werden. Mit den zu diesen Versuchen angegebenen Volumina erzielt man gute Ergebnisse.
Beim Einsetzen des Kolbeneudiometers in den Glasmantel achte man auf guten Sitz der Dichtringe. Das Eudiometer sollte sich durch die Explosionen nicht im Glasmantel verschieben können. Daher sind die Schraubkappen ausreichend fest anzuziehen.
Kohlenstoffmonoxid ist ein farbloses, geruchloses, brennbares, giftiges Gas. Versuche mit diesem Gas werden daher nur in einem gut ziehenden Abzug durchgeführt.
Chlor ist ein giftiges, ätzendes, stark korrosives Gas, das schwerer als Luft ist, sich gut in Wasser löst und stechend riecht. Es reizt die Atemwege, Augen und die Haut. Chlor bildet dabei in Gegenwart von Feuchtigkeit (Schleimhäute) "aktiven" Sauerstoff und Salzsäure, die beide das Gewebe stark angreifen. Versuche, in denen mit Chlor gearbeitet wird, müssen daher in einem gut ziehenden Abzug durchgeführt werden.
Konzentrierte Säuren sind stark ätzend. Sie zerstören Haut und Textilien. Beim Verdünnen erst das

Abb. 2



Wasser, dann die Säure (Schutzbrille, Laborkittel, Handschuhe).
Erste Hilfe: Betroffene Haut (Augen etc.) mit viel Wasser gründlich spülen. Bei Augenverletzungen unverzüglich den Arzt aufsuchen. Nach dem Einatmen: Frischluft. Atemwege freihalten. Bei Atemnot Transport zum Arzt in halbliegender Stellung.
Entsorgung: Lösungen mit Wasser verdünnen, neutralisieren (pH 6 - 8) und wegspülen.
Lösungen, die Schwermetallionen enthalten in einem Behälter für Schwermetallsalzlösungen sammeln.

Einführung

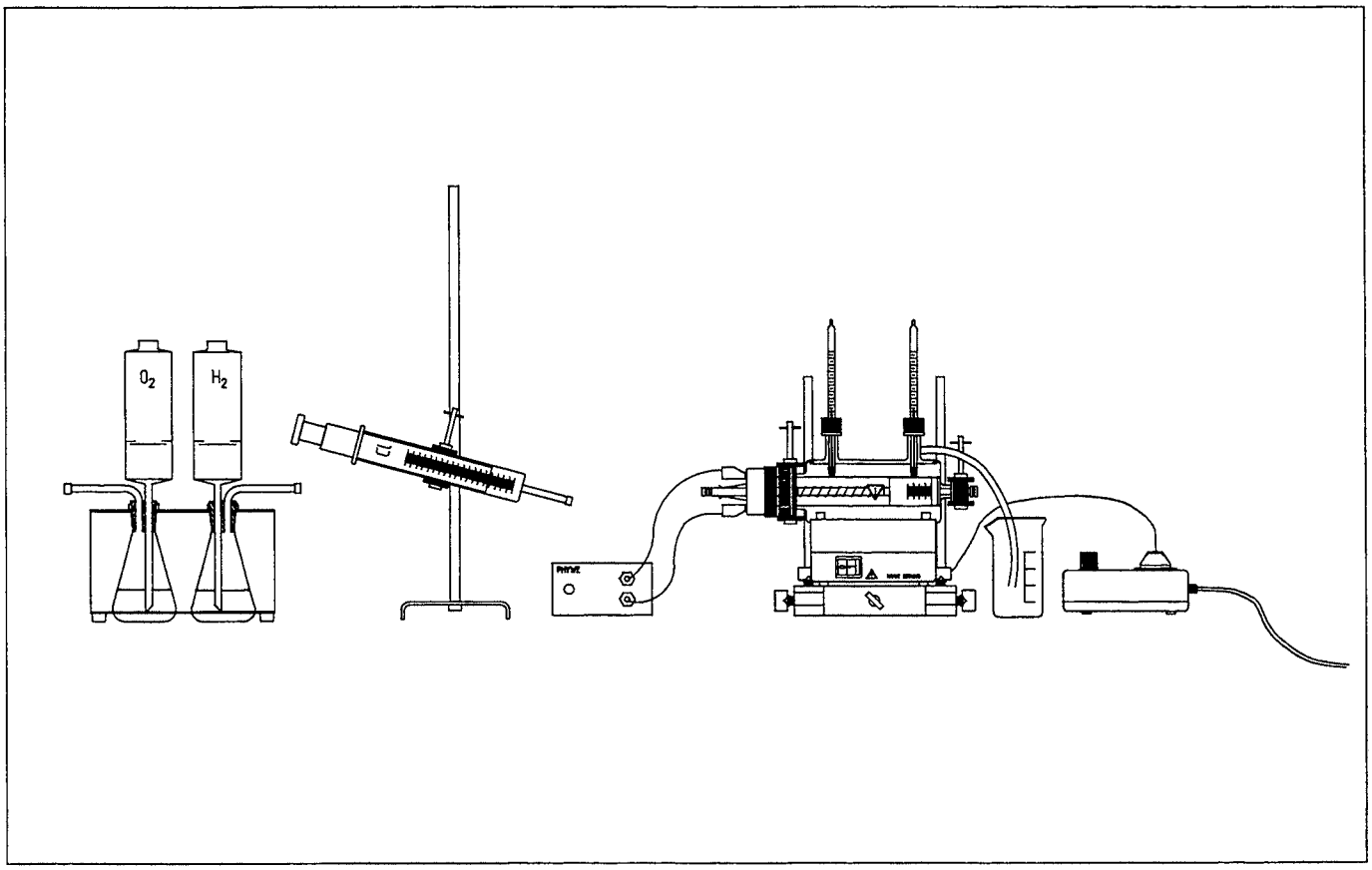
Avogadro stellte 1811, aufgrund des Gleichverhaltens der (idealen) Gase bei Temperatur- und Druckerhöhungen (siehe Gasgesetze) sowie des Volumengesetzes, die Hypothese auf, daß sich unter gleichen Bedingungen von Druck und Temperatur im gleichen Volumen die gleiche Anzahl von Gasteilchen (Molekülen, Atomen) befinden müssen. Wenn diese Vermutung des Avogadro stimmt, muß ein Gemenge aus 6 Raumteilen CO und 3 Raumteilen O_2 zur Bildung von 6 Raumteilen CO_2 führen, wenn Druck und Temperatur vor und nach der Reaktion gleich sind.
Auch ein auf etwas über 100°C erhitztes Gasgemisch aus 6 Raumteilen H_2 und 3 Raumteilen O_2 muß dann 6 Raumteile Wasserdampf ergeben, und ein Gemisch aus 5 Raumteilen H_2 und 5 Raumteilen Cl_2 muß zu 10 Raumteilen HCl-Gas führen.
In den folgenden Versuchen wird die Richtigkeit dieser Hypothese anhand der genannten Reaktionen untersucht.

1. DARSTELLUNG VON KOHLENSTOFFMONOXID UND CHLOR

Durchführung

Der Aufbau zur Darstellung von Kohlenstoffmonoxid erfolgt gemäß Abbildung 1a), jedoch wird der Gummischlauch zu Anfang nicht auf die Olive des Tropftrichters aufgezogen. Der 100-ml-Rundkolben wird etwa zu einem Viertel mit Ameisensäure und der Tropftrichter zur Hälfte mit konzentrierter Schwefelsäure beschickt. Unter gelindem Erwärmen tropft man im Abzug Schwefelsäure zur Ameisensäure. Nachdem die Gasentwicklung eingesetzt hat, wartet man solange, bis die Luft aus der Apparatur verdrängt ist, bevor man den Schlauch auf die Olive des

Abb. 3



Tropftrichters schiebt und das Gas im Kleingasometer (aus der Gasbar) auffängt. Ist der Gasometer gefüllt, so unterbricht man das Zutropfen der Schwefelsäure, zieht den Schlauch von dem rechtwinkligen Glasröhrchen des Kleingasometers (vorher einen Stopfen in die Öffnung des zylindrischen Trichters einsetzen) und verschließt es mit einer Blindtülle. Das Zerlegen und Reinigen der Apparatur erfolgt unter dem Abzug.
Der Aufbau zur Darstellung von Chlor erfolgt gemäß Abbildung 1b). Auch hier wird der Gummischlauch zu Anfang nicht auf die Olive des Tropftrichters aufgezogen. Der trockene 100-ml-Rundkolben wird mit etwa 5 bis 6 Spatellöffeln Kaliumpermanganat und der Tropftrichter zur Hälfte mit konzentrierter Salzsäure gefüllt. Im Abzug tropft man langsam Salzsäure zum Kaliumpermanganat. Nachdem die Gasentwicklung eingesetzt hat, wartet man solange, bis die Luft aus der Apparatur verdrängt ist, bevor man den Schlauch auf die Olive des Tropftrichters schiebt und das Gas in der Gasspritze auffängt. Ist diese zu etwa 60-70% gefüllt, unterbricht man das Zutropfen der Salzsäure, zieht den Schlauch von der Gasspritze und verschließt sie mit einer Blindtülle. Das Zerlegen und Reinigen der Apparatur erfolgt ebenfalls unter dem Abzug.

2. KOHLENSTOFFMONOXID/SAUERSTOFF - REAKTION

Durchführung

In einer Gasbar werden Sauerstoff (aus der Stahlflasche) und Kohlenstoffmonoxid (siehe 1.) bereitgestellt (Abb. 2). Mit einer Injektionsspritze (10 ml) mit dünner Kanüle (d = 0,45 mm, l = 13 mm) zieht man 3 ml Sauerstoff und 6 ml Kohlenstoffmonoxid aus den entsprechenden Gasometern auf. Dieses stöchiometrische Gemisch wird anschließend in das Kolbeneudiommeter (Abb. 2) injiziert, das ebenfalls mit einer dichten und festen Blindtülle verschlossen und dessen Kolben exakt auf die Nullmarke der Skala eingestellt ist.
Das so geladene Eudiometer verbindet man elektrisch mit einem Zündfunkengeber, steckt es dann zur Sicherheit in eine durchsichtige (nicht zu dünnwandige) Plastiktüte und faßt es dann mit einer Hand (zusammen mit der Plastiktüte) im Bereich der schwarzen Verschraubung. Man hält das Eudiometer möglichst waagerecht und etwas vom Körper entfernt. Dann zündet man es durch Betätigung des Zündfunkengebers.

Achtung! Die Kolbenstange muß dabei ungehindert nach hinten aus dem Kolbeneudiometer herausschießen können.

Beobachtung

Es erfolgt eine kleine Explosion, die den Kolben zunächst einige Zentimeter zurückschleudert, dann aber sofort wieder vorschnellen läßt. Im Eudiometer verbleibt ein Gasvolumen von 6 ml Kohlenstoffdioxid.

Ergebnis

Nach der Gleichung

$$2\,CO + O_2 \rightarrow 2\,CO_2$$

entsteht aus jedem CO-Molekül ein CO_2-Molekül. Demnach müssen in 6 ml CO_2 die gleiche Anzahl an Molekülen enthalten sein, wie in 6 ml CO. Damit bestätigt der Versuch die Hypothese des Avogadro.

3. WASSERSTOFF/SAUERSTOFF - REAKTION BEI ÜBER 100°C

Durchführung

Der Versuch wird in einem beheizten Eudiometer durchgeführt. Der Aufbau dieses Eudiometers erfolgt gemäß Abb. 3. Man setzt dazu das Kolbeneudiometer nach der Bedienungsanleitung in einen Glasmantel ein. Dabei achtet man auf guten Sitz der Dichtringe. Das Eudiometer sollte sich durch die Explosionen nicht im Glasmantel verschieben können. Daher sind die Schraubkappen ausreichend fest anzuziehen. Weiterhin achte man darauf, daß auch der Kapillarrohrstutzen des Eudiometers in voller Länge mit aufgeheizt wird. Das erreicht man, indem man darauf achtet, daß die voll aufgesetzte Blindtülle an die Verbindungskappe des Glasmantels gerade anstößt (siehe Abb. 3), so daß hier keine Abkühlungsfläche verbleibt, an der sonst der Wasserdampf kondensieren könnte.
Diese Kombination haltert man waagerecht an den Stativstangen. Dann füllt man den Glasmantel mit einer 3 bis 4-molaren Kochsalzlösung (100 bis 120 g Natriumchlorid in 500 ml Wasser lösen) und fügt einige Siedesteinchen hinzu. In den senkrechten Glasrohrstutzen werden zwei Thermometer eingesetzt. Unter den Glasmantel bringt man ein elektrisches Heizgerät, das zur Regelung an einen Leistungssteller angeschlossen wird. Das Eudiometer verbindet man über 2 Verbindungsleitungen mit einem Zündfunkengeber. Von der Schlaucholive des

Glasmantels führt man einen Gummischlauch in ein Becherglas. Letzterer soll der Dampfableitung dienen.
Die Gase Wasserstoff und Sauerstoff (aus den Stahlflaschen) werden in einer Gasbar bereitgestellt (Abb.3).
Nach Beendigung des Aufbaus heizt man die Apparatur mit dem elektrischen Heizgerät bis auf Siedetemperatur (ca. 103°C) auf. Etwa 5 Minuten nach Siedebeginn ist das Eudiometer gleichmäßig durchgeheizt. Dann stellt man den Kolben auf die Nullmarke der Skala ein, verschließt das Kapillarrohr des Eudiometers mit einer möglichst fest sitzenden Blindtülle (Gummikappe) und injiziert durch diese hindurch soviel stöchiometrisches Wasserstoff/Sauerstoff-Gemisch (= Volumenverhältnis 2:1), daß das Eudiometer bei 103°C mit genau 9 ml gefüllt ist. 9 ml bei 103°C entsprechen einem Volumen von 7 ml bei 20°C. Das Gemisch wird mit dem Zündfunkengeber gezündet.

Beobachtung
Nach der Reaktion zeigt der Kolben ein Restgasvolumen von 6 ml. Es besteht aus dampfförmigem Wasser.

Ergebnis
Aus der Mischung 6 ml H_2 und 3 ml O_2 entsteht nach der Gleichung

$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O$$

aus jedem Wasserstoffmolekül durch Einbau von Sauerstoff ein Wassermolekül, also aus 6 ml Wasserstoff durch Einbau von 3 ml Sauerstoff 6 ml gasförmiges Wasser. Die Hypothese des Avogadro wird also auch durch diesen Versuch bestätigt.

4. WASSERSTOFF/CHLOR - REAKTION BEI ÜBER 100°C

Durchführung
Bei dieser Reaktion entsteht das gasförmige Reaktionsprodukt HCl. Somit könnte man theoretisch die Reaktion in einem kalten Eudiometer durchführen, wie die CO/CO_2-Reaktion. Ein solcher Versuch führt in der Praxis jedoch zu keinem quantitativ auswertbaren Ergebnis, denn die erste Voraussetzung für ein gutes Meßergebnis wären absolut trockene Ausgangsgase und ein absolut trockener Reaktionsraum nach der Reaktion. Da sich im Eudiometer wie auch in den Injektionsspritzen immer noch geringe Mengen Luft bzw. Sauerstoff befinden, bilden sich bei der Reaktion meist noch Spuren von Wasser. Infolge der großen Löslichkeit von HCl-Gas in Wasser führt diese Tatsache zu Meßfehlern. Diese Schwierigkeiten ergeben sich bei der Durchführung der Wasserstoff/Chlor-Reaktion im, auf über 100°C aufgeheizten, Eudiometer nicht, da in diesem Falle die sich bildenden Spuren Wasser im Gaszustand verbleiben und somit nicht das Meßergebnis beeinträchtigen.
Chlor wird in einer Gasspritze (siehe 1.), die man leicht schräg an einem Stativ haltert (Abb. 3), und Wasserstoff (aus der Stahlflasche) in einer Gasbar bereitgestellt.
Das, wie unter 3. beschrieben, auf 103°C aufgeheizte Eudiometer wird mit einem stöchiometrischen Gemenge Wasserstoff und Chlor (= Volumenverhältnis 1:1) beschickt. Aus Gründen der Sicherheit sollte das Gemischvolumen im Eudiometer nicht mehr als 10 ml betragen. Auch sollte man diesen Versuch nicht bei direkter Sonnenbestrahlung oder im direkten Schweinwerferlicht durchführen, da sich hierbei die Chlor-Knallgasmischung von selbst entzünden könnte. Im normalen Streulicht kann sie jedoch gefahrlos durchgeführt werden.
Nach der Durchführug der Chlor/Wasserstoff-Reaktion drücke man das entstandene HCl-Gas möglichst rasch und vollständig aus dem Eudiometer wieder heraus. Es könnten sonst Korrosionen an den Elektrodenspitzen der Funkenstrecke erfolgen.

Beobachtung
Nach Zündung und Reaktion verbleiben im Eudiometer genausoviele Milliliter Gas, wie vorher injiziert wurden.

Ergebnis
Dieses Ergebnis entspricht genau der Reaktionsgleichung

$$Cl_2 + H_2 \rightarrow 2\,HCl$$

Nach Beendigung der Reaktion liegen demnach genausoviele zweiatomige Moleküle vor, wie auch das eingespritzte Gemisch enthielt. Da sie den gleichen Raum einnehmen, bestätigt auch dieser Versuch die Hypothese des Avogadro.
Die Hypothese des Avogadro hat sich bis heute bei allen hinlänglich idealen Gasen als richtig erwiesen. Man spricht daher auch vom "Gesetz des Avogadro".

Das Gesetz von Avogadro

Es hat große Bedeutung in der analytischen Chemie bei der Bestimmung molarer Massen von Gasen und Dämpfen sowie zur Berechnung von stöchiometrischen Gasportionen.

Hinweis

Die Lichtempfindlichkeit des Chlorknallgasgemisches kann auch als Showeffekt eingesetzt werden. Das Gemisch kann im Eudiometer auch mit einem Photoblitzlicht gezündet werden.