

Chemie Protokoll

Versuch 2-4 (GMS)

Gasgesetz, Molmassenbestimmung und Stöchiometrie

Stuttgart, Sommersemester 2012

GRUPPE 10

Jan Schnabel

Maximilian Möckel

Henri Menke

Assistent: Spörl

6. Juni 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie 3

2 Versuchsdurchführung 5

2.1 Erster Teil: Elektrolyse von Wasser/Synthese von Wasser in der Brennstoffzelle 5

2.2 Zweiter Teil: Bestimmung der molaren Masse von Calcium 9

2.3 Dritter Teil: Molmassenbestimmung nach VICTOR-MEYER 11

Literatur 14

1 Theorie

Grundlagen der Stöchiometrie

Das Wichtigste in der Stöchiometrie ist, dass die Gesamtmasse aller an einer chemischen Reaktion beteiligten Stoffe stets erhalten bleibt. Allerdings sollte man zusätzlich noch Aussagen über die Massen- und Teilchenverhältnisse machen können, die zum Verständnis helfen.

Deswegen formulierte JOSEPH LOUIS PROUST 1799 das *Gesetz der konstanten Proportionen*, welches besagt:

»Das Massenverhältnis zweier sich zu einer Verbindung vereinigender Elemente ist konstant«

1803 formulierte dann JOHN DALTON sein *Gesetz der multiplen Proportionen* welches besagt:

»Die Massenverhältnisse zweier sich zu verschiedenen chemischen Verbindungen vereinigenden Elemente stehen im Verhältnis einfacher ganzer Zahlen zueinander«

Schon 1791 bewies JEREMIAS BENJAMIN RICHTER das *Gesetz der äquivalenten Proportionen*, das lautet:

»Elemente vereinigen sich stets im Verhältnis bestimmter Verbindungsmassen (Äquivalentmassen) oder ganzzahliger Vielfacher dieser Massen zu chemischen Verbindungen«

Und als letztes kam JOSEPH LOUIS GAY-LUSSAC 1808 mit dem *Chemisches Volumengesetz*, womit er zeigte:

»Das Volumenverhältnis gasförmiger, an einer chemischen Reaktion beteiligter Stoffe lässt sich bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck durch einfache ganze Zahlen wiedergeben.«

Das ideale Gas

Als ideales Gas bezeichnet man in der Physik und der Chemie ein Modell eines Gases, welches nur bestimmte Wechselwirkungen zulässt. So betrachtet man die einzelnen Gasteilchen als Massenpunkte, die ihre komplette Masse in einem unausgedehnten Punkt versammeln. Außerdem können die Teilchen nur untereinander und mit der Wand wechselwirken.

Außerdem nimmt man an das die Stöße untereinander vollkommen elastische Wechselwirkungen darstellen. Das heißt Impuls und Energie werden verlustfrei auf den Stoßpartner übertragen.

Zudem nimmt man an, dass es durch die Erhöhung der Temperatur zu einer Erhöhung der kinetischen Energie unter den Gasteilchen kommt. Diese Vorstellung scheint auf den ersten Blick erst einmal sehr komisch zu sein, da ausdehnungslose Gasteilchen eigentlich keine Wechselwirkung mit anderen Gasteilchen eingehen können, diese Vereinfachung lässt uns aber nachher ein sehr einfaches Gesetz aufstellen, das oft mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

Ideales Gasgesetz

Durch Versuche hat man festgestellt, dass bei konstanter Temperatur durch eine Erhöhung des Drucks das Volumen kleiner wird.

$$p \propto \frac{1}{V}$$

Des Weiteren haben Experimente gezeigt, dass wenn man das Volumen bei einer Erhöhung des Drucks konstant hält die Temperatur proportional dazu ansteigt.

$$T \propto p$$

Beides zusammengefasst führt auf das *Ideale Gasgesetz*:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \tag{1.1}$$

Wobei

$$R = 8.314441 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$$

die Allgemeine Gaskonstante ist und n die Teilchenzahl. Außerdem gilt für die Teilchenanzahl n

$$n = \frac{m}{M} \tag{1.2}$$

wobei M die Molmasse und m die Masse des idealen Gases ist.

Aus Gleichung (1.1) und (1.2) ergibt sich dann nach einsetzen und Umstellen folgende Beziehung für die Molmasse M :

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V} \tag{1.3}$$

Über diese Formel (1.3) kann nun einfach die Molmasse bestimmt werden, da T, V, m und p relativ einfach zu messen sind, was folgende Experimente jetzt zeigen werden.

2 Versuchsdurchführung

Es gilt für alle folgenden Versuchsteile und deren enthaltene Berechnungen:

$$\text{Raumtemperatur } T_R = 20,5^\circ\text{C} = 293,65\text{ K} \quad (2.1a)$$

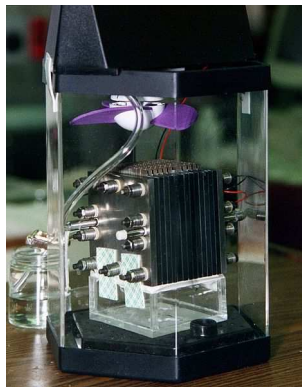
$$\text{Umgebungsdruck } P_U = 996\text{ hPa} = 99600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (2.1b)$$

2.1 Erster Teil: Elektrolyse von Wasser/Synthese von Wasser in der Brennstoffzelle

Aufgabenstellung

Bei diesem ersten Versuchsteil sollte zum Einen die Zusammensetzung von Wasser durch Elektrolyse bestimmt werden. Zum Anderen sollte diese Zusammensetzung durch Synthese mit Hilfe einer Brennstoffzelle überprüft werden.

Versuchsaufbau



1 links: Brennstoffzelle [Wik12] — rechts: Elektrolyseur [PHY12]

Am Arbeitsplatz befand sich ein Elektrolyseur und eine Brennstoffzelle, die das Kernstück dieses Versuches bildeten. Die obigen Abbildungen geben eine Vorstellung vom Aufbau des Versuches. Allerdings sind dies nicht die gleichen Modelle, die tatsächlich am Arbeitsplatz vorlagen. Der Umgang mit den Geräten und deren Bedeutung für den Versuch ergab sich bei der Versuchsdurchführung.

Durchführung

Zunächst wurden Vorbereitungen zur Elektrolyse getroffen. Dazu wurde der Elektrolyseur an ein Netzteil angeschlossen um diesen mit Strom zu versorgen. Am Netzteil mussten noch vor Inbetriebnahme die Spannung und die Stromstärke entsprechend eingestellt werden (beide Regler ungefähr auf die Hälfte gestellt). Nachdem noch am Elektrolyseur selbst festgestellt wurde, ob alle

Öffnungen hinreichend abgedichtet waren, wurde das Netzteil eingeschaltet. Danach wurde ungefähr drei Minuten elektrolysiert und in Zeitintervallen von $\Delta t = 30 \text{ s}$ der aktuelle Gasstand notiert. Anschließend wurde das Netzteil ausgeschaltet. Nun öffnete man die Schläuche, die am Plus- und Minus-Pol angebracht waren und leitete die entstandenen Gase jeweils in ein Reagenzglas. Das Gas, das vom Plus-Pol entnommen wurde, wurde einer Glimmspanprobe unterzogen. Bei dem am Minus-Pol entnommenen Gas wurde hingegen eine Knallgasprobe durchgeführt.

Nach Beendigung der beiden Proben konnte der Elektrolyseur mit der Brennstoffzelle verbunden werden, indem man dessen Ablassschläuche an die Brennstoffzelle anschloss. Die Brennstoffzelle wurde außerdem noch mit einem kleinen Verbraucher in Form eines Ventilators verbunden. Danach wurden die Gasstände an beiden Polen des Elektrolyseurs durch gezieltes Ablassen von Gas zunächst auf das gleiche Niveau ($V_{\text{Gas}} = 20 \text{ ml}$) gebracht, sodass die Zuleitungen zur Brennstoffzelle geöffnet werden konnten, um die Synthese zu starten. Dabei wurde in Zeitintervallen von $\Delta t = 2 \text{ min.}$ der verbleibende Stand an Gasvolumina an beiden Polen durch Ablesen bestimmt. Dies musste solange durchgeführt werden, bis ein Gasfüllstand das Nullniveau erreichte.

Dieser Versuch wurde im Anschluss daran noch bei unterschiedlichen Gasfüllständen wiederholt. Dafür musste zunächst erneut elektrolysiert werden, um neues Gas zu erhalten. Anschließend wurde wieder durch gezieltes Ablassen vom jeweiligen Gas der Gasfüllstand auf das entsprechende Niveau gebracht. Die dann folgenden Durchführungen verliefen gleich wie zuvor.

Die insgesamt gemachten Beobachtungen wurden während der Durchführung notiert und sahen wie folgt aus.

Beobachtungen

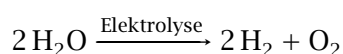
Bei der Elektrolyse war zu sehen, dass das Gasvolumen von H_2 deutlich schneller anstieg als das von O_2 . Dies spiegelte sich auch in den abgelesenen Daten wieder. Außerdem konnte man beobachten, dass der Glimmspan bei der Glimmspanprobe aufleuchtete als man ihn ins Reagenzglas mit dem entsprechenden Gas steckte. Des Weiteren war bei der Knallgasprobe ein deutliches »ploppen« hörbar.

Daneben zeigte der Versuch mit der Brennstoffzelle ähnliche Ergebnisse. Die abgelesenen Daten für das zurückbleibende Gasvolumen zeigten in allen drei Versuchsreihen, dass Wasserstoff zu größeren Anteilen verbraucht wurde als Sauerstoff. Ein genaueres Betrachten der dokumentierten Daten ließ auf ein Volumenverhältnis von Wasserstoff zu Sauerstoff von 2 : 1 schließen.

Die Erklärung hierfür liefert die Versuchsauswertung

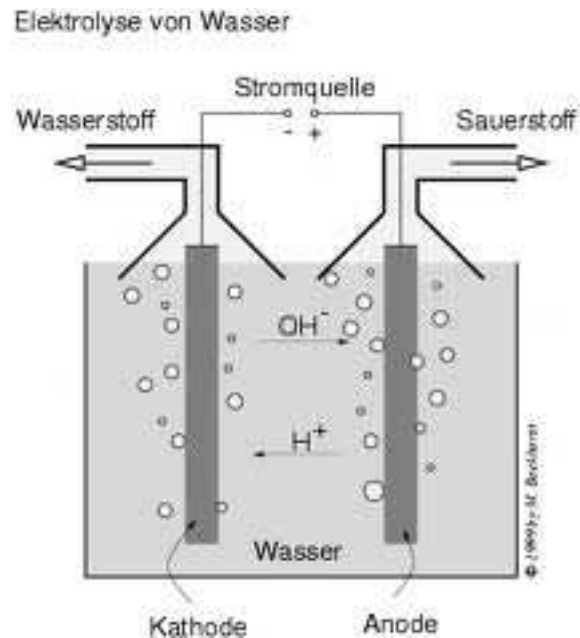
Auswertung

Die oben beschriebenen Beobachtungen, dass Sauerstoff und Wasserstoff bei der Elektrolyse im Volumenverhältnis 1 : 2 entstehen beruht auf dem von Joseph Louis Gay-Lussac postulierten stöchiometrischen Volumengesetz, in dem Beobachtungen wie solche begründet werden. Andererseits lässt sich diese Beobachtung auch vollkommen trivial mit dem Reaktionsschema der Elektrolyse begründen:



Hieraus wird ersichtlich, dass 2 mol H_2 und 1 mol O_2 entstehen, was genau dieses Volumenverhältnis widerspiegelt.

- Um sich klar zu machen welche Teilreaktionen während der Elektrolyse am Minus- bzw. Plus-Pol stattfinden, kann folgende schematische Darstellung herangezogen werden:



2 Schematische Darstellung der Wasserelektrolyse [ene12]

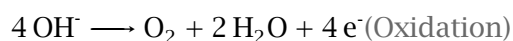
Um nun die Reaktionsgleichungen für die beiden Teilreaktionen an den jeweiligen Polen aufzustellen, kann wieder das obige Schema benutzt werden.

Dadurch, dass die positiv geladenen Hydronium-Ionen im elektrischen Feld, das durch die anliegende Spannung erzeugt wird, zum negativ geladenen Pol wandern, findet am *Minus-Pol* folgende Teilreaktion statt:



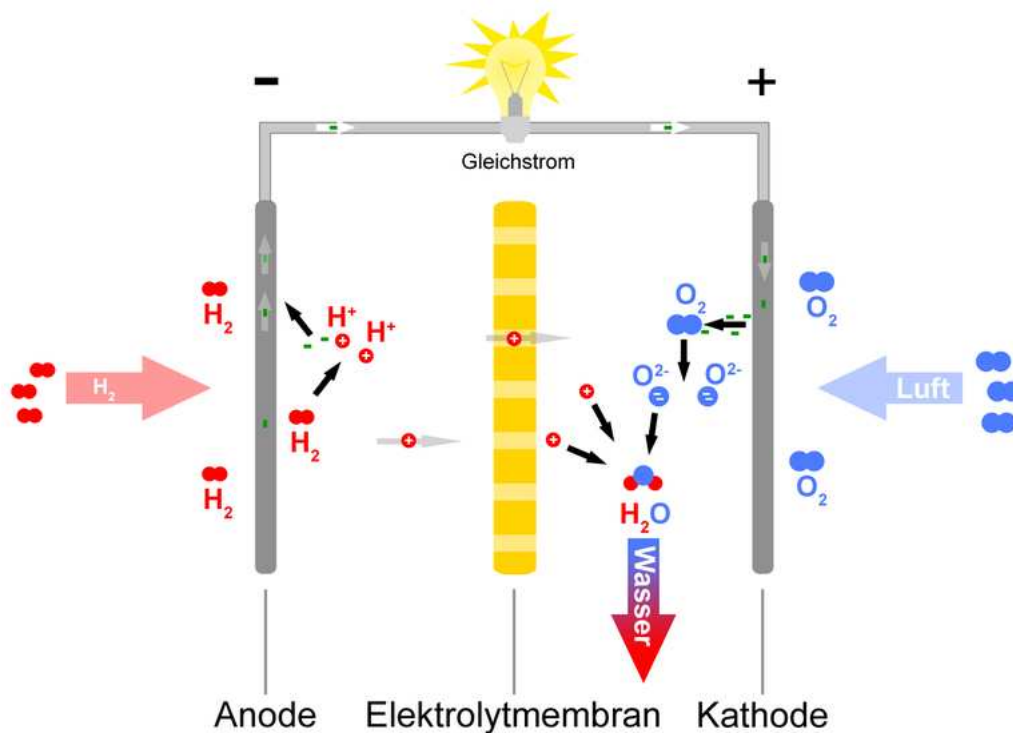
Somit erfolgt dort eine Reduktion.

Die negativ geladenen Hydroxid-Ionen bewegen sich zum positiv geladenen Pol hin, wo sie sich entweder mit Protonen zu Wasser neutralisieren, oder sich unter Elektronenabgabe zu Sauerstoff umwandeln. Somit kann für den *Plus-Pol* diese Reaktionsgleichung geschrieben werden:



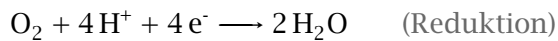
Hier findet somit also eine Oxidation statt.

- Auch bei der Brennstoffzelle ist es sinnvoll sich beim Identifizieren der Teilreaktionen am jeweiligen Pol zunächst den Ablauf der verschiedenen Vorgänge schematisch zu veranschaulichen. Dabei wird folgende Grafik herangezogen:

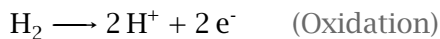


3 Schematische Darstellung der Vorgänge in einer Brennstoffzelle [hh.12]

Aus diesem Schaubild wird ersichtlich, dass die Reaktionen bei der Brennstoffzelle im Vergleich zur Elektrolyse genau umgekehrt verlaufen. Am *Plus-Pol* läuft somit die folgende Reaktion ab:



Am *Minus-Pol* läuft dementsprechend diese Reaktion ab:



► Bei der Elektrolyse gilt folgende Zuordnung der Begriffe Kathode und Anode:

- Plus-Pol \triangleq Anode
- Minus-Pol \triangleq Kathode

Bei der Brennstoffzelle hingegen gilt folgende Zuordnung:

- Plus-Pol \triangleq Kathode
- Minus-Pol \triangleq Anode

Man kann sich im Allgemeinen merken, dass sich die Anode dort befindet wo die Oxidation stattfindet.

- Da eine Elektrolyse von vier Minuten nicht möglich war, wird hier die Anzahl der Moleküle bei 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 und 3.0 Minuten berechnet. (Die Messwerte für die Volumina zu den verschiedenen Zeiten befinden sich in Tabelle 1).

Die Formel zur Berechnung der Stoffmenge zu den verschiedenen Zeiten leitet sich aus der idealen Gasgleichung her:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

woraus für n folgt:

$$n(t) = \frac{p \cdot V(t)}{R \cdot T_R}$$

Für den Zeitpunkt $t = 30$ s und H_2 soll eine Beispielrechnung gezeigt werden. Setze somit Werte für diesen Zeitpunkt in obige Formel ein und erhalte:

$$\begin{aligned} n(H_2) &= \frac{99600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{8,314 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{mol}}} \\ &= 1.2239 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

Für die restlichen Werte ergibt sich:

t in Sekunden	$n(H_2)$ in mol	$n(O_2)$ in mol
30	$1.2239 \cdot 10^{-4}$	$6.1194 \cdot 10^{-5}$
60	$4.0796 \cdot 10^{-4}$	$1.6318 \cdot 10^{-4}$
90	$8.1592 \cdot 10^{-4}$	$3.6717 \cdot 10^{-4}$
120	$1.1015 \cdot 10^{-3}$	$5.3035 \cdot 10^{-4}$
180	$1.3463 \cdot 10^{-3}$	$6.1194 \cdot 10^{-4}$

1 Messwerte

Aus den Berechnungen wird ersichtlich, was bereits beobachtet wurde. Sieht man von entsprechenden Messungenauigkeiten ab, so wird deutlich, dass stets ungefähr doppelt so viel H_2 vorliegt als O_2 .

2.2 Zweiter Teil: Bestimmung der molaren Masse von Calcium

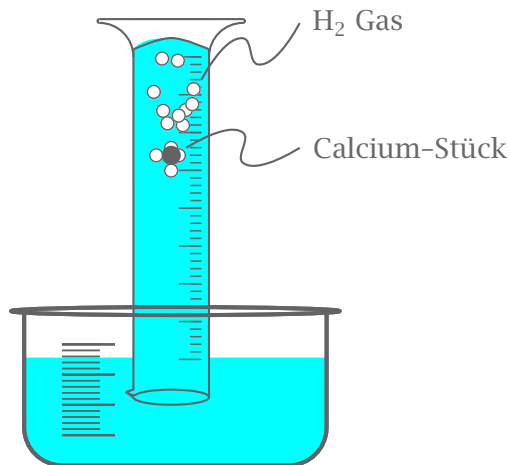
Aufgabenstellung

Durch Zugabe von Calcium in demineralisiertes Wasser sollte dessen Molmasse bestimmt werden.

Durchführung

Ein Standzylinder wurde komplett mit demineralisiertem Wasser gefüllt, mit einem Uhrglas verschlossen und mit der Öffnung nach unten in eine Wanne mit demineralisiertem Wasser gestellt (Siehe Abbildung 4). Anschließend wurde ein Stück Calcium unter den Zylinder gegeben. Aufgrund der Bildung von Wasserstoff, nach (2.2), um das Calcium-Stück herum erhielt das Calcium-Stück Auftrieb und stieg nach oben. Der sich bildende Wasserstoff verdrängte das Wasser im Zylinder. Das entstandene Volumen an H_2 wurde vom Zylinder abgelesen und mit (1.3) die molare Masse des Calcium bestimmt.

Bei der Reaktion wird Calcium oxidiert. Elementares Calcium und Wasserstoff stehen im Verhältnis 1 : 1.



4 Calcium in Wasser — Versuchsaufbau

Beobachtungen und Auswertung

Der Versuch wurde zweimal durchgeführt. Die Masse der Calcium Stücke betragen 35 mg und 27 mg. Die entsprechenden abgelesenen Volumina betragen 20 ml und 17 ml. Umgebungsdruck und Raumtemperatur stammen aus (2.1a) und (2.1b). Die Stoffmengen erhält man durch einsetzen in (1.1):

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$n_1 = \frac{99600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{8.314441 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293,65 \text{ K}}$$

$$= 8.159 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$n_2 = \frac{99600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{8.314441 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293,65 \text{ K}}$$

$$= 6.935 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Durch Einsetzen in (1.3) erhält man hingegen die molaren Massen:

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V}$$

$$M_1 = \frac{0.035 \text{ g} \cdot 8.314441 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293,65 \text{ K}}{99600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$= 42.898 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$M_2 = \frac{0.027 \text{ g} \cdot 8.314441 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293,65 \text{ K}}{99600 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}$$

$$= 38.933 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Bildet man den Mittelwert ergibt sich

$$\bar{M} = \frac{M_1 + M_2}{2} = 40.916 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

Literaturwert: 40.078 aus [MMo7, Hinterer Einband].

Alternativ hätte man M auch über $n = \frac{m}{M}$ berechnen können, was aber natürlich auf die gleichen Werte führt.

2.3 Dritter Teil: Molmassenbestimmung nach VICTOR-MEYER

Aufgabenstellung

In diesem Versuch wurde die Molmasse eines unbekanntes Stoffes bestimmt (hier: Nummer 69 (n-Pentan)).

Durchführung

Zunächst einmal wurde die Phiole für den unbekanntes Stoff genau abgewogen, danach wurde dieser Stoff per Spritze in die Phiole gegeben und nochmals gewogen, nun sollten sich zwischen 50 und 80 mg des unbekanntes Stoffes in der Phiole befinden. Nach dem Einbringen wurde die Kapillare durch abschnitzen verschlossen. Vor dem Versuch wurde der Wasserstand in der Glasbürette durch Öffnen der Verbindung zum VICTOR-MEYER Fallrohr und heben des Niveaugefäßes welches mit der Glasbürette verbunden war, ungefähr auf die Mitte ausgerichtet (sodass nach dem Verdampfen das Volumen problemlos abgelesen werden konnte). Wichtig: Vor Beginn musste der Füllstand in der Glasbürette abgelesen werden, hierzu und für alle folgenden Volumenmessungen musste das Niveaugefäß immer auf die Höhe des Wasserstandes in der Glasbürette angehoben werden.

Nun wurde die Phiole in das VICTOR-MEYER Fallrohr eingebracht, der Glasstutzen verhinderte das Herabfallen der Phiole bis zum Versuchsbeginn. Wichtig war auch, dass möglichst alle Verbindungsteile der Apparatur, aus denen Luft aus- beziehungsweise eintreten konnte vor Beginn gut gefettet wurden, um Falschmessungen zu verhindern. Um Undichtigkeiten zu vermeiden wurde vor

Beginn das Niveaugefäß angehoben und wieder abgesenkt, nachdem sich die Wassersäulen wieder ausgerichtet hatten, musste das Niveau wieder auf gleichem Stand wie vor dem Heben sein.

Nun wurde durch Herausziehen des Glasstutzens der Versuch gestartet, Die Phirole fiel herab und zerbrach, da sich das VICTOR-MEYER Rohr in einem erwärmten Wasserbad befand, verdampfte die Flüssigkeit sofort und führte zu einer Verdrängung der Luft in der Apparatur. Das veränderte Volumen konnte dann auf der Glasbürette abgelesen werden. Dieser Wert musste notiert werden. Insgesamt sollte der Versuch noch 2 mal wiederholt werden.

Beobachtungen

Folgende Volumenänderungen wurden bei den drei Versuchen beobachtet:

Nr.	Gewicht in mg	Volumendifferenz in ml
1	70	23
2	73	24
3	80	35

Auswertung

Über das Ideale Gasgesetz

$$pV = nRT$$

und

$$n = \frac{m}{M}$$

ergibt sich folgende Formel zur Berechnung der Molmasse:

$$M = \frac{m \cdot R \cdot T}{p \cdot V}$$

Explizite Berechnung der Molmassen für den ersten Versuch:

$$M_1 = \frac{m_1 \cdot R \cdot T}{p \cdot V_1} = \frac{0.070 \cdot 8.314441 \cdot 293.65}{99600 \cdot 0.000023} = 74.606 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Für die zweite und dritte Messung erhalten wir nach gleicher Berechnung:

$$M_2 = 73.540 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M_3 = 56.030 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \tag{2.3}$$

Der Literaturwert für die Molmasse von n-Pentan beträgt $M = 72,15 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$ [IFA12]. Man sieht, dass die ersten beiden Messungen fast genau den exakt bestimmten Wert ergeben. Nur der dritte Wert ist wohl eine Fehlmessung, die wohl auf eine kleine Undichtigkeit des Systems zurückzuführen ist.

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit die Molmasse nach Victor-Meyer gemessen werden kann?

Die Voraussetzungen sind zum Einem, dass das System absolut dicht ist und die Temperatur und der Druck für den Versuch genau bestimmt sind und zum Anderen muss sichergestellt sein, dass auch die komplette Substanz verdampft und nicht ein Teil im VICTOR-MEYER-Versuchsaufbau flüssig verbleibt.

Was ist eine kolligative Eigenschaft?

Eine kolligative Eigenschaft ist ein Kriterium in der Chemie wenn etwas nur von der Teilchenanzahl also nur von der Stoffmenge anhängig ist und sonst von keinen anderen Eigenschaften, wie zum Beispiel der chemischen Zusammensetzung.

Literatur

- [ene12] energieinfo: *Elektrolyse*, 5. Mai 2012.
http://www.energieinfo.de/eglossar/pictures/elektrolyse_wasser.gif.
- [Har12] Hartenbach, I.: *Praktische Einführung in die Chemie für Studierende der Fachrichtungen Technische Biologie und Physik*. Universität Stuttgart, 2012.
- [hh.12] hh.shuttle: *Brennstoffzelle*, 5. Mai 2012.
<http://www.hh.shuttle.de/hh/g15/seiten/1Wiki-Treibstoffe/Brennstoffzelle.html>.
- [IFA12] IFA: *Eintrag zu CAS-Nr. 109-66-0*, 5. Mai 2012.
[http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/010040.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/010040.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0).
- [MM07] Mortimer, C. und Müller, U.: *Chemie - Das Basiswissen der Chemie*. Thieme Verlag, 9. Auflage, 2007.
- [PHY12] PHYWE: *Elektrolyseur*, 5. Mai 2012.
http://www.phywe.de/images/06748_00.jpg.
- [Wik12] Wikipedia: *Brennstoffzelle*, 5. Mai 2012.
https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Fuel_cell_NASA_p48600ac.jpg.