

Bestimmung der relativen Atommasse von Metallen

Versuchsziele

- Das Lösen von unedlen Metallen in Salzsäure beobachten.
- Aus dem entstehenden Gasvolumen die relative Atommasse bestimmen.
- Erkennen, dass die Masse eines Stoffes für die quantitative Chemie nicht ausreichend ist.
- Die Proportionalität zwischen Volumen und Stoffmenge herleiten (Stichwort Stöchiometrie).
- Die Molmassen der Metalle bestimmen.

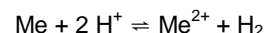
Grundlagen

Jede Sorte von Atomen hat eine definierte Masse, die sogenannte Atommasse. Wegen ihrer geringen Größe können einzelne Atome jedoch nicht abgewogen werden. Einfacher ist es daher, die relativen Massen der Atome untereinander zu bestimmen. Nachdem lange Wasserstoff als Bezugselement diente, wird dafür heute das Kohlenstoff-Isotop $^{12}_6\text{C}$ verwendet. Die relative Atommasse besitzt naturgemäß keine Einheit. Die Atommasseneinheit u für die absolute Atommasse dagegen schon. Sie ist als $1/12$ der Masse von $^{12}_6\text{C}$ definiert.

Die relative Atommasse ermöglicht es, gleichviele Teilchen verschiedener Atome abzuwiegen. Die relative Atommasse von Wasserstoff ist ca. 1, die von Kohlenstoff ca. 12. Also enthalten 1 g Wasserstoff und 12 g Kohlenstoff die gleiche Teilchenanzahl. 12 g des Kohlenstoff-Isotops $^{12}_6\text{C}$ enthalten $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen. Diese Zahl wird als Avogadro-Zahl N_A

bezeichnet und definiert die Stoffmenge von 1 Mol. 1 Mol ist daher die Stoffmenge aus so vielen Teilchen, wie die Anzahl der Atome in 12 g $^{12}_6\text{C}$. Der Begriff Teilchen bezieht sich nicht nur auf Atome, sondern auch auf z.B. Ionen oder Moleküle. Die molare Masse bezeichnet die Masse von einem Mol, also von $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen eines Elementes oder einer Verbindung. Die molare Masse von $^{12}_6\text{C}$ ist damit 12 g/mol, die von Wasserstoff 1 g/mol.

Die Bestimmung von Atommassen auf chemischem Weg ist im Falle von unedlen Metallen leicht durchzuführen. Metalle (Me) lösen sich in Säure auf. Dabei entsteht nach der folgenden allgemeinen Formel Wasserstoff.



Pro Mol Metall wird bei zweiwertigen Metallen ein Mol Wasserstoff gebildet. Das Volumen des Wasserstoffs wird mit einem Kolbenprober gemessen. Verschiedene Metalle gleichen Gewichts produzieren unterschiedliche Volumina Wasserstoff. Ist das Gewicht des eingesetzten Metallstücks be-



Abb. 1: Versuchsaufbau.





kannt, können somit die molare Masse und damit auch die relative Atommasse des Metalls bestimmt werden.

Gefährdungsbeurteilung

Magnesium ist brennbar. Daher von Zündquellen wie offenem Feuer fernhalten. Calcium nicht mit der Hand anfassen, da es auch mit der Feuchtigkeit der Haut reagiert und es dabei zu einer Hitzeentwicklung kommen kann. Schutzbrille tragen.

Die verwendete Salzsäure ist ätzend! Zum Umfüllen Handschuhe und Schutzbrille tragen.

Das entstehende Wasserstoffgas ist extrem entzündbar. Von Zündquellen fernhalten.

Magnesium, Band	
 Signalwort: Achtung	Gefahrenhinweise H228 Entzündbarer Feststoff. Sicherheitshinweise P370+P378 Bei Brand: Metallbrandlöscher / Sand zum Löschen verwenden.
Calcium, gekörnt	
 Signalwort: Gefahr	Gefahrenhinweise H261 In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase. Sicherheitshinweise P402+P404 In einem geschlossenen Behälter an einem trockenen Ort aufbewahren.
Salzsäure, 10 %	
  Signalwort: Achtung	Gefahrenhinweise H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. H315 Verursacht Hautreizungen. H319 Verursacht schwere Augenreizung. H335 Kann die Atemwege reizen. Sicherheitshinweise P280 Schutzhandschuhe tragen. P261 Einatmen von Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden. P304+P340 BEI EINATMEN: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert. P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P312 Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen. P403+P233 Behälter dicht verschlossen an einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Wasserstoff	
 Signalwort: Gefahr	Gefahrenhinweise H220 Extrem entzündbares Gas. Sicherheitshinweise P210 Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen. P377 Brand bei Gasleckage: Nicht löschen, bis Leckage ohne Gefahr gestoppt werden kann. P381 Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich.

Geräte und Chemikalien

1 Reaktionsgefäß zur Stöchiometrie	664 097
1 Kolbenprober 100 ml, mit Dreivegehahn	665 914
1 Tauchrohrmanometer nach Schiele	665 936
1 Niveaugefäß, 250 ml	664 352
1 Silikonschlauch 7 mm Ø, 1 m	667 194
1 Rührthermometer, -30...+110 °C/1 K	382 21
1 Glasverbinder, 2 x GL 18	667 312
1 Schere, 125 mm	667 017
1 Pinzette stumpf, 130 mm	667 027
1 Becherglas Boro, 400 ml, nF	664 131
1 Messzylinder 50 ml, Kunststofffuß	665 753
2 Magnet-Hafttafel, 500 mm	666 4659
1 Halter, magnetisch, Gr. 2, 11...14 mm	666 4662
3 Halter, magnetisch, Gr. 5, 30...32 mm	666 4665
1 Profilrahmen C50, zweizeilig, für CPS	666 425
1 Analysenwaage 220 : 0,0001 g	667 7990
1 Salzsäure, 10 %, 1 l	674 6810
1 Magnesium, Band, 25 g	673 1000
1 Aluminium, Folie, 1 Rolle	661 081
1 Calcium, Späne, 25 g	671 2000

Versuchsaufbau und -vorbereitung

Aufbau der Apparatur

Zunächst die Magnet-Hafttafeln in den Profilrahmen einsetzen. Wie in Abbildung 1 gezeigt, Reaktionsgefäß zur Stöchiometrie, Kolbenprober und Niveaugefäß mit magnetischen Haltern auf den Tafeln fixieren. Den Dreivegehahn am Kolbenprober nach allen Seiten öffnen.

Hinweis: Die Komponenten werden mit Glasverbindern verbunden, die GL-Verschraubungen enthalten. Sind diese locker zugeschraubt, so können eingefügte Glasrohre bewegt werden. Erst beim festen Zuschrauben ergibt sich eine gasdichte Verbindung.

Das Niveaugefäß über den Silikonschlauch mit dem Reaktionsgefäß zur Stöchiometrie verbinden.

Das Tauchrohrmanometer ca. zur Hälfte mit Wasser füllen. Es dient dazu, den Druck des entstehenden Wasserstoffes mit dem Umgebungsdruck abzugleichen. Das gefüllte Manometer mit einem magnetischen Halter auf der Magnet-Hafttafel fixieren und mit einem Glasverbinder mit der Apparatur verbinden (siehe Abb. 1).

Versuchsdurchführung

1. Den Dreivegehahn am Reaktionsgefäß schließen. Salzsäure in das Niveaugefäß füllen.
2. Den Dreivegehahn am Reaktionsgefäß so öffnen, dass nur eine Verbindung vom Niveaugefäß zum Reaktionsraum besteht.

3. Vorsichtig Salzsäure in den Reaktionsraum aus dem Niveaugefäß fließen lassen, bis der Flüssigkeitsspiegel ca. 1 cm unterhalb des Stempels vom Reaktionsgefäß endet. Den Hahn am Reaktionsgefäß absperren.

4. Zunächst maximal 0,08 g Magnesium-Band abwägen.

5. Aus dem Reaktionsgefäß zur Stöchiometrie den Stempel mit dem Deckel zusammen heraus-schrauben. Darauf das Magnesium-Band legen.

6. Den Deckel auf das Reaktionsgefäß schrauben. Im fast festgeschraubten Zustand den Stempel in die Salzsäure drücken. Den Deckel vollständig zuschrauben. Die Reaktion beginnt.

7. Abwarten, bis die Reaktion beendet ist und das Gasvolumen, das im Kolbenprober aufgefangen wird, konstant bleibt und etwas abgekühlt ist. Die Raumtemperatur (auf dem Thermometer) notieren.

8. Mit Hilfe des Tauchrohrmanometers überprüfen, ob der Druck in der Apparatur dem Außendruck entspricht. Dies ist der Fall, wenn der Flüssigkeitsspiegel in dem Glasrohr gleich dem der Umgebung ist. Den Dreiwegehahn am Kolbenprober vollständig öffnen und notfalls über den Kolbenprober nachregulieren. Erst dann das entstehende Volumen von Wasserstoff notieren (siehe Tab.1).

9. Die verbrauchte Salzsäure durch die Ablassöffnung am Reaktionsgefäß in ein Becherglas abfließen lassen. Der Dreiwegehahn hat dann nur eine Verbindung zwischen Reaktionsraum und Ablass.

Den Versuch mit je maximal 0,08 g Calcium und maximal 0,05 g Aluminium wiederholen. Dabei die Aluminium-Folie möglichst offen, also nicht als Knäuel platzieren.

Hinweis: Wird mehr Aluminiumfolie verwendet, reicht das Volumen des Kolbenprobers nicht aus.

Beobachtung

Sobald die Metalle in Kontakt mit der Säure kommen, reagieren sie heftig unter Bläschenbildung. Das entstehende Gas (Wasserstoff) wird im Kolbenprober aufgefangen. Die Reaktionen dauern ca. 2 bis 5 Minuten. Dabei wird das Gefäß warm.

Die Reaktion mit Aluminiumfolie beginnt erst nach einer Anlaufzeit. Zusätzlich entsteht ein grauer Niederschlag.

Die entstehenden Gasvolumina unterscheiden sich. Wird die etwa gleiche Masse von Magnesium und Calcium eingesetzt, so entsteht deutlich mehr Wasserstoff bei der Reaktion von Magnesium als bei der Reaktion von Calcium (siehe Tab. 1).

Auswertung

Auswertung der Beobachtungen

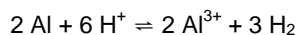
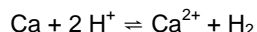
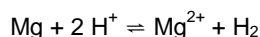
Die Reaktionen mit Calcium und Magnesium beginnen sofort, während bei der Reaktion mit Aluminium eine Anlaufzeit sichtbar ist. Daher sollte sie möglichst als Blatt und nicht als Knäuel eingesetzt werden. Außerdem setzt sich hier ein grauer Niederschlag aus Aluminiumoxid ab. Beide Beobachtungen verdeutlichen die Rolle der Oxidschicht auf Aluminium, die dieses reaktive Metall schützt und damit für den Alltagsgebrauch erst anwendbar macht.

Calcium und Magnesium reagieren unterschiedlich schnell. Dies kann zunächst auf die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften der Metalle zurückgeführt werden. Zusätzlich spielt auch die Darreichungsform eine große Rolle. Magnesium liegt als Band und Calcium als Späne vor, so dass es ein größeres Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis hat.

Bestimmung der Atommasse

Um die relative Atommasse der untersuchten Metalle zu bestimmen, werden sie in Salzsäure aufgelöst und das ent-

stehende Volumen von Wasserstoff wird gemessen. Die Reaktionsgleichungen lauten wie folgt:



Zunächst kann das Wasserstoffvolumen V mit Hilfe des idealen Gasgesetzes und der Gaskonstante in die Stoffmenge n umgerechnet werden. Dafür wird die ideale Gaskonstante $R = 8,3145 \text{ (kPa} \cdot \text{l)/(mol} \cdot \text{K)}$ verwendet. Die zusätzlich benötigte Raumtemperatur T wird vom Thermometer abgelesen, der Luftdruck p anhand aktueller Wetterdaten ermittelt (siehe Tab. 1). Das gemessene Wasserstoffvolumen V wird in l angegeben.

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

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

Am Beispiel Magnesium bedeutet das:

$$\begin{aligned} n(\text{Mg}) &= \frac{102,7 \text{ kPa} \cdot 0,0715 \text{ l}}{8,3145 \frac{\text{kPa} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 294 \text{ K}} \\ &= 0,0030 \text{ mol} \end{aligned}$$

0,073 g Magnesium produzierten damit 0,003 mol Wasserstoff. Laut der Reaktionsgleichung ist die Stoffmenge von Wasserstoff gleich der Stoffmenge des eingesetzten Metalls. Somit wiegen $n = 0,003 \text{ mol}$ Magnesium $m = 0,073 \text{ g}$. Die molare Masse M bzw. Atommasse kann über die folgende Gleichung berechnet werden.

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

Für Magnesium gilt dann:

$$M(\text{Mg}) = \frac{0,073 \text{ g}}{0,0030 \text{ mol}} = 24,33 \text{ g/mol}$$

Tab. 1: Gemessene und berechnete Werte.

Luftdruck p	1027 hPa = 102,7kPa		
Temperatur T	21 °C = 294 K		
Metall (Me)	Magnesium	Calcium	Aluminium
eingesetzte Masse m(Me)	0,073 g	0,074 g	0,044 g
Wasserstoffvolumen V(H₂)	71,5 ml = 0,0715 l	47 ml = 0,047 l	61 ml = 0,061 l
Stoffmenge Wasserstoff n(H₂)	0,0030 mol = 3,0 mmol	0,0020 mol = 2,0 mmol	0,0026 mol = 2,6 mmol
Stoffmenge Metall n(Me)	3,0 mmol	2,0 mmol	1,7 mmol
Molare Masse Metall M(Me)	24,33 g/mol	37,48 g/mol	25,75 g/mol
Literaturwert Molare Masse	24,31 g/mol	40,08 g/mol	26,98 g/mol

Calcium kann analog berechnet werden, da die Reaktionsgleichungen übereinstimmen. Für die Berechnung der Molmasse von Aluminium muss jedoch berücksichtigt werden,

dass aus 2 Äquivalenten Aluminium 3 Äquivalente Wasserstoff gebildet werden. Die Stoffmenge von Wasserstoff entspricht damit nur 2/3 der Stoffmenge von Aluminium. Es gilt:

$$n(\text{H}_2) = 2/3 n(\text{Al})$$

Alle Berechnungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Ergebnis

Das beim Auflösen der Metalle entstehende Wasserstoffgasvolumen ist proportional zur Stoffmenge des eingesetzten Metalls, nicht aber zum Gewicht des Metalls. Etwa gleich schwere Metallstücke produzieren daher unterschiedliche Gasvolumina.

Mit dem Experiment kann die relative Atommasse bzw. die molare Masse der Metalle bestimmt werden. Die molare

Masse von Magnesium wird zu 24,3 g/mol bestimmt (Literatur: 23,31 g/mol). Auch die Werte der anderen Metalle weichen kaum von den Literaturwerten aus dem Periodensystem ab (siehe Tabelle 1). Die relativen Atommassen haben den gleichen Zahlenwert, jedoch keine Einheit.

Reinigung und Entsorgung

Verwendete Salzsäure mit Natronlauge neutralisieren und im Kanister mit anorganischen Abfällen entsorgen. Nicht verwendete Salzsäure kann für weitere Versuche verwendet werden.

Bei längerer Lagerung die Küken aus den Dreiwegehähnen entfernen, den Dreiwegehahn entfetten und mit einem Papier als Abstandhalter aufbewahren.