

Analyse von Kupfer(I)-oxid und Kupfer(II)-oxid

Versuchsziele

- Das Gesetz der multiplen Proportionen nachvollziehen.
- Erkennen, dass Elemente in Verbindungen in unterschiedlichen Verhältnissen vorliegen können.
- Stöchiometrie kennenlernen und verstehen.
- Das Molmassenverhältnis von Kupfer und Sauerstoff und daraus die Molmasse von Kupfer bestimmen.
- Die Redox-Reaktion von Kupferoxid und Wasserstoff kennenlernen.

Grundlagen

Wenn zwei Elemente miteinander reagieren, können dabei Verbindungen mit unterschiedlichen Verhältnissen entstehen. Dabei kommen die Massen beider Elemente immer in ganzzahligen Vielfachen vor. So kann Kupferoxid als rotes Kupfer(I)- oder schwarzes Kupfer(II)-oxid auftreten. In Kupfer(I)-oxid (Cu_2O) haben 2 Teile Kupfer mit 1 Teil Sauerstoff reagiert, in Kupfer(II)-oxid (CuO) 1 Teil Kupfer mit 1 Teil Sauerstoff.

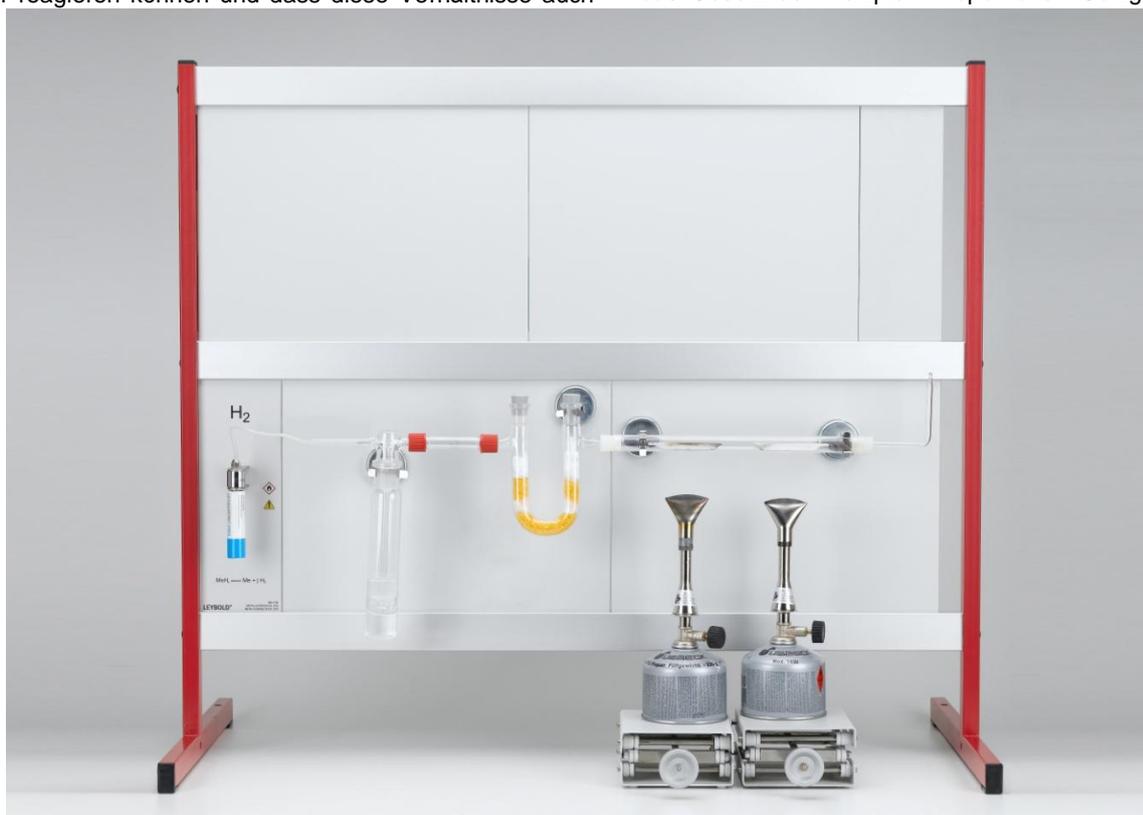
Diese heute selbstverständliche Gesetzmäßigkeit ist für die Chemiegeschichte ein Meilenstein. Sie wurde im Jahre 1808 von John Dalton im Gesetz der multiplen Proportionen beschrieben. Dieses ist eine Erweiterung des Gesetzes der konstanten Proportionen. Das Gesetz der konstanten Proportionen besagt, dass das Massenverhältnis der in einer chemischen Verbindung vorkommenden Elemente immer gleich ist. Die durch Dalton formulierte Erweiterung drückt aus, dass Elemente in verschiedenen (= multiplen) Verhältnissen miteinander reagieren können und dass diese Verhältnisse auch

immer ganzzahlig sind.

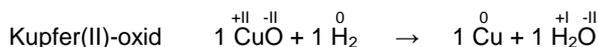
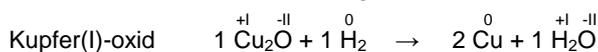
Die beiden Gesetze sind die Grundlage für die Aufstellung von Reaktionsgleichungen. Sie werden von Chemikern täglich angewandt – meist ohne ihr Wissen. Auch die quantitative Berechnung chemischer Reaktionen, die sogenannte Stöchiometrie, fußt auf diesen Gesetzen. Mit stöchiometrischen Berechnungen kann aus den qualitativen Kenntnissen über Edukte und Produkte einer Reaktion eine quantitative Berechnung abgeleitet werden.

Konkret werden dafür die eingesetzten Massen der Edukte in Molmengen umgerechnet. Die Molmengen wiederum reagieren wie in der Reaktionsgleichung beschrieben in ganzzahligen Verhältnissen miteinander. Aus der Reaktionsgleichung kann die Molmenge des entstandenen Produkts berechnet werden. Diese kann dann wiederum in die Masse des Produkts umgerechnet werden. Auf diese Weise wird z.B. die Ausbeute einer Reaktion bestimmt.

In diesem Versuch soll der Nachweis erbracht werden, dass das Gesetz der multiplen Proportionen Gültigkeit hat. Dafür



werden zwei verschiedene Kupferoxide mit Wasserstoff reduziert. Die unterschiedlichen Massenverhältnisse in den Kupferoxiden lassen sich durch diese quantitative Reduktion experimentell bestimmen. Die Reaktionsgleichungen der Redox-Reaktionen lauten wie folgt:



Vergleicht man dann in der Auswertung die eingewogene Masse der Kupferoxide mit der entstandenen Masse des Kupfers, so fallen einerseits die ganzzahligen Vielfachen auf, andererseits die multiplen Proportionen der beiden Kupferoxide. Des Weiteren kann die relative Molmasse von Kupfer im Vergleich zu Sauerstoff berechnet werden. Wird die Molmasse von Sauerstoff als bekannt vorausgesetzt, so kann daraus die Molmasse von Kupfer bestimmt werden.

Gefährdungsbeurteilung

Die Arbeit mit Wasserstoff birgt immer das Risiko von Knallgasreaktionen. Daher Wasserstoff nur abbrennen, wenn sicher ist, dass sich in der Apparatur keine Luft befindet, sondern sie komplett mit Wasserstoff gefüllt ist.

Unter keinen Umständen sollte bei dem Versuch ein Reaktionsrohr verwendet werden, das nicht aus Quarzglas besteht. Diese schmelzen beim längeren Erhitzen und werden undicht. Es könnte dann Sauerstoff in die Apparatur gelangen und zu einer Knallgasreaktion kommen.

| Wasserstoff | |
|---------------------------------------|---|
| Signalwort: Gefahr | Gefahrenhinweise H220 Extrem entzündbares Gas. H280 Enthält Gas unter Druck; kann bei Erwärmung explodieren. |
| | 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. P403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren |
| Kupfer(I)-oxid | |
| Signalwort: Achtung | Gefahrenhinweise H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken. H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung. |
| | Sicherheitshinweise P261 Einatmen von Staub vermeiden. P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden. P301+P312 BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen. |

Kupfer(I)-oxid



Signalwort:
Achtung

Gefahrenhinweise

H302 Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

H410 Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.

Sicherheitshinweise

P261 Einatmen von Staub vermeiden.

P273 Freisetzung in die Umwelt vermeiden.

Geräte und Chemikalien

| | | |
|---|--|-------------|
| 1 | Profilrahmen C100, zweizeilig für CPS..... | 666 428 |
| 4 | Magnet-Hafttafel, 300 mm..... | 666 4660 |
| 1 | Magnet-Hafttafel, 500 mm..... | 666 4659 |
| 1 | HydroFill PRO | 666 4798 |
| 1 | HydroStik PRO, CPS..... | 666 4795 |
| 1 | Gaswaschflaschen-Unterteil..... | 664 800 |
| 1 | Glasrohreinsetz mit Fritte | 664 806 |
| 1 | Silikonschlauch 4 mm Ø, 1 m..... | 667 197 |
| 1 | Silikonschlauch 2 mm Ø, 1 m..... | 667 198 |
| 1 | Glasverbinder..... | 667 312 |
| 1 | Federklemme, magnetisch, 27-29 mm..... | 666 4664 |
| 1 | U-Rohr, 160 x 22mm, 2 seitl. Ansätze..... | 666 086 |
| 3 | Federklemme, magnetisch, 11-14 mm..... | 666 4662 |
| 2 | Gummistopfen voll, 16-21 mm Ø..... | 667 255 |
| 1 | Reaktionsrohr, Quarz, 300 x 20 mm Ø..... | 666 077 |
| 2 | Silikonstopfen 1 Loch 7 mm | 667 286 |
| 1 | Glasdüse, gewinkelt 90° | 665 238 |
| 2 | Kartuschenbrenner DIN Ausführung | 666 714 |
| 2 | Brenneraufsatz, breit..... | 666 724 |
| 2 | Laborboy II (Laborhebestativ) | 300 76 |
| 1 | Trockenschrank UNB, 32 l, mit Timer..... | 666 8032 |
| 1 | Vakuum-Exsikkator, 200 mm | 664 925 |
| 1 | Porzellanschiffchen, 80 x 12 mm..... | 666 988 |
| 1 | Tiegelzange, 200 mm..... | 667 035 |
| 1 | Analysenwaage, 83 : 0,0001g | 667 7988 |
| 1 | Löffelspatel Edelstahl, 180 mm | 666 968 |
| 1 | Mikro-Doppelspatel Stahl, 130 mm | 604 5671 |
| 1 | Schere, 200 mm, spitz..... | 667 016 |
| 1 | Pinzette, stumpf, 200 mm..... | 667 034 |
| 1 | Glasrührstab 200 mm x 8 mm Ø, aus..... | 665 212ET10 |
| 1 | Kupfer(I)-oxid, 25 g..... | 672 9300 |
| 1 | Kupfer(II)-oxid, Pulver, 100 g | 672 9510 |
| 1 | Kieselgel mit Indikator, 500g | 672 7781 |
| 1 | Eisen, Wolle, 50 g | 671 8400 |
| 1 | Glaswolle, 10 g..... | 672 1000 |

Versuchsaufbau und -vorbereitung

Vorbereitung der Kupferoxide

1. Kupfer(I)- und Kupfer(II)-oxid im Trockenschrank bei 150°C circa 6 bis 8 Stunden trocknen. So wird eventuell vorhandenes Wasser entfernt, damit dieses die Einwaage nicht verfälscht. Auch das Trockenmittel Kieselgel trocknen.

2. Nach Abschluss des Trockenvorganges Substanzen in einem Exsikkator über einem Trockenmittel (z.B. Kieselgel) lagern.

Vorbereitung der Wasserstoffquelle

Der Wasserstoff wird aus dem Metallhydridspeicher HydroStik PRO zur Verfügung gestellt. Dieser wird mit Wasserstoff gefüllt, der zuvor durch Elektrolyse hergestellt wurde. Die

Elektrolyse findet im HydroFill PRO statt, mit dem der HydroStik PRO auch gleich gefüllt wird.

1. Deckel des Wassertanks öffnen und vorsichtig destilliertes oder entionisiertes Wasser bis zur inneren Kante einfüllen. Deckel schließen.
2. AC-DC-Adapter anschließen und in die Steckdose stecken. Die Statusanzeige blinkt nun grün.
3. Den HydroStik PRO in den HydroFill PRO einschrauben. Die Statusanzeige wechselt dabei von grün nach rot und zeigt damit eine Verbindung an. Den HydroStik PRO festschrauben.
4. Die Beladung vom HydroStik PRO erfolgt automatisch und zeigt sich durch die rot leuchtende Statusanzeige. Die Beladung dauert 4 bis 6 Stunden. Ein Spülen des Systems äußert sich in einem gelegentlichen Zischen. Der produzierte Sauerstoff ist in Form von Blasen sichtbar.
5. Wenn die Statusanzeige zu grün wechselt, ist der HydroStik PRO vollständig geladen und kann abgeschraubt werden. Dabei kommt es zu einem kurzen Zischen.
6. Nun kann ein weiterer HydroStik PRO geladen werden. Dafür die Anleitung ab Schritt 3 wiederholen.
7. Nach dem Beladen den HydroFill PRO vom Strom trennen und den Wassertank leeren.

Aufbau der Apparatur

1. Der Aufbau erfolgt im CPS-Profilrahmen an Magnethafttafeln. Alle Glasgeräte werden mit magnetischen Federklappen auf der Tafel positioniert
2. Das Regulierventil am CPS-Modul „HydroStik PRO“ wird über einen Silikonschlauch mit einer Gaswaschflasche verbunden. Die Gaswaschflasche mit etwas Wasser füllen. Sie wird mit einer Federklemme an der Magnetwand befestigt und dient als Blasenähler.
3. Mit einem Glasverbinder wird die Gaswaschflasche mit einem U-Rohr am seitlichen Ansatz verbunden.
4. Dieses U-Rohr wird von einer Federklemme gehalten und zur Trocknung des Wasserstoffes abwechselnd mit Glaswolle und Kieselgel (mit Indikator) gefüllt. Nach dem Füllen wird es mit zwei Gummistopfen verschlossen.
5. Das U-Rohr wird mit dem Reaktionsrohr aus Quarzglas verbunden. Dieses wird an beiden Enden durch je eine Federklemme an der Magnetwand befestigt. In dieses Reaktionsrohr werden später die beiden Porzellanschiffchen gestellt.
6. Abgeschlossen wird der Aufbau der Apparatur durch eine gewinkelte Glasdüse, welche mit Eisenwolle als Rückschlag-sicherung gefüllt wurde.
7. Unter das Reaktionsrohr werden zwei Bunsenbrenner mit Breitbrenneraufsatz auf je einem Laborboy positioniert.

Versuchsdurchführung

1. Die beiden Porzellanschiffchen über der Brennerflamme gut ausglühen. Nach dem Abkühlen die exakte Masse beider Porzellanschiffchen bestimmen und notieren.
2. Anschließend exakt je 1 g Kupfer(I)- und Kupfer(II)-oxid einwiegen in je ein Porzellanschiffchen. Beide Porzellanschiffchen in das Quarzglasrohr in der Apparatur geben (siehe Aufbaufoto).
3. Der HydroStik PRO wird so weit in das Regulierventil des CPS-Moduls eingeschraubt, dass Blasen in der Gaswaschflasche sichtbar werden. Die Apparatur mit Wasserstoff gut durchspülen.
4. Um sicherzustellen, dass die Apparatur kein explosionsfähiges Gemisch enthält, sondern nur mit Wasserstoff gefüllt

ist, muss die Knallgasprobe durchgeführt werden. Die Durchführung der Knallgasprobe läuft folgendermaßen ab:

- a. Mit einem Reagenzglas, welches verkehrt herum über die Glasdüse am Ende der Apparatur gehalten wird, wird das herausströmende Gas aufgefangen.
 - b. Man hält den Daumen über die Öffnung des Reagenzglases und nähert sich einer offenen Brennerflamme. Gleichzeitig wird der Daumen von der Öffnung entfernt.
 - c. Ist nur ein kurzes „Plopp“ zu hören, so handelt es sich um reinen Wasserstoff. Hört man hingegen ein Pfeifen oder einen Knall, so befindet sich noch Sauerstoff in der Apparatur.
8. Nach mehrmaligem negativem Ergebnis der Knallgasprobe kann der Wasserstoff an der gewinkelten Glasdüse entzündet werden.

Achtung!

Die Knallgasprobe muss unbedingt negativ ausfallen, da es sonst zu einer Explosion der Apparatur kommt!

9. Nun die Porzellanschiffchen im Reaktionsrohr mit den beiden Brennern vorsichtig bis zum Glühen erhitzen. Dabei nicht zu heiß erhitzen, da sich sonst ein Kupferspiegel an der Glaswand bildet.

Achtung!

Sollten in der Zeit, in der das Kupferoxid erhitzt wird, keine Bläschen mehr in der Gaswaschflasche zu sehen sein, also die Wasserstoffzufuhr zu niedrig sein, oder die Flamme an der Glasdüse erlöschen, so muss die Brennerflamme sofort gelöscht werden. Am besten überdeckt man die Apparatur in diesem Fall mit einem zuvor bereitgelegten feuchten Handtuch. Dies dient dem schnellen Abkühlen der Apparatur, damit keine Energie zum Zünden eines möglichen Knallgasgemisches vorhanden ist.

10. Nach einer Reaktionszeit von circa 10 min die Brenner löschen.

Achtung!

Die Wasserstoffzufuhr wird erst ausgedreht, nachdem die komplette Apparatur abgekühlt ist. Stellt man die Wasserstoffzufuhr vorher ab, so kann in die heiße Apparatur Luftsauerstoff gesogen werden. Dies führt dann zur Bildung von Knallgas, welches sich entzünden würde.

11. Nach dem Erkalten hat sich am Rand des Reaktionsrohrs Wasser gebildet. Dieses mit einem watteumwickelten Glasstab entfernen. Erst dann die Porzellanschiffchen mit einer Tiegelfange herausziehen.

12. Die Masse der beiden Porzellanschiffchen nach der Reaktion bestimmen und die Masse des gebildeten Kupfers berechnen.

Beobachtung

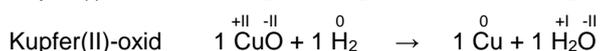
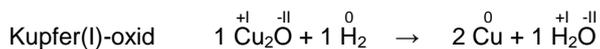
In beiden Porzellanschiffchen wird elementares Kupfer gebildet. Dieses ist gut an seiner rötlichen, glänzenden Farbe zu erkennen. Neben dem elementaren Kupfer entsteht Wasser als Reaktionsprodukt. Dieses ist in Form kleiner Wassertröpfchen im Reaktionsrohr zu sehen.

Für die Auswertung zunächst für beide Kupferoxide die Massendifferenz der Ein- und Auswaage bestimmen. Diese Differenz, also der Unterschied der Masse der Kupferoxide zur Masse des reinen Kupfers, ist der Masse von Sauerstoff m_{O} in den Kupferoxiden.

Mit der Masse des reinen Kupfers m_{Cu} und der Masse des Sauerstoffs m_O , der aus dem reinen Kupfer entweicht ist, lässt sich das Verhältnis beider in den Kupferoxiden berechnen.

Versuchsergebnis

Beim Erhitzen im Wasserstoffstrom werden sowohl Kupfer(I)- als auch Kupfer(II)-oxid reduziert. Dabei entsteht auch Wasser, welches mit wasserfreiem Kupfer(I)-sulfat nachgewiesen werden kann (Blaufärbung).



Durch Vergleich der Ein- und Auswaagen beider Proben lässt sich die am Kupfer gebundene Sauerstoffmasse sowie die entsprechenden Massenverhältnisse ermitteln.

| | Kupfer(I)-oxid | Kupfer(II)-oxid |
|---|----------------|-----------------|
| Einwaage: | | |
| Masse des Kupferoxids [g] | 1,000 | 1,000 |
| Auswaage: | | |
| Masse des Kupferanteils m_{Cu} [g] | 0,888 | 0,799 |
| Einwaage - Auswaage: | | |
| Masse des Sauerstoffanteils m_O [g] | 0,112 | 0,201 |
| Verhältnis von Kupfer zu Sauerstoff | 7,929 : 1 | 3,975 : 1 |
| $m_{Cu}:m_O$ | ≈ 8 : 1 | ≈ 4 : 1 |

Im roten Kupfer(I)-oxid ist das Massenverhältnis von Kupfer und Sauerstoff 8 zu 1. Im schwarzen Kupfer(II)-oxid nur 4 zu 1. Daraus können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

1. Kupfer kann mit Sauerstoff in zwei verschiedenen Verhältnissen reagieren.
2. Kupfer ist ca. 4-mal so schwer wie Sauerstoff.
3. Im roten Kupferoxid sind 1 Teil Kupfer und 2 Teile Sauerstoff verbunden. Die Formel lautet also CuO_2 . Im schwarzen Kupferoxid sind 1 Teil Kupfer und 1 Teil Sauerstoff verbunden. Die Formel lautet CuO .

Kupfer kann also in verschiedenen Verhältnissen (multiplen Proportionen) mit Sauerstoff reagieren. Damit ist dieses Gesetz bestätigt.

Auch das Gesetz der konstanten Proportionen kann hier überprüft werden. Berechnet man die Verhältnisse der Kupfermassen der beiden Oxide, so erhält man:

$$m_{Cu(I)} : m_{Cu(II)} \approx 8 : 4 \approx 2 : 1.$$

Daraus resultiert, dass Kupfer mit Sauerstoff im Verhältnis 2:1 oder 1:1 reagiert, also im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen. Für eine Bestätigung des Gesetzes ist eine Wiederholung des Versuchs sinnvoll.

Man kann mit diesem Versuch zusätzlich die relative molare Masse von Kupfer bestimmen. Gibt man die molare Masse von Sauerstoff als bekannt vor ($m_O = 15,999 \text{ g/mol}$), so kann aus diesen Erkenntnissen die molare Masse von Kupfer berechnet werden.

$$m_{Cu} = 3,975 \cdot m_O = 3,975 \cdot 15,999 \text{ g/mol} = 63,596 \text{ g/mol}$$

Der theoretische Wert die Atommasse des Kupfers beträgt 63,546 u.

Entsorgung

Das durch Reduktion gewonnene Kupfer in entsprechend gekennzeichneten Gefäßen für weitere Versuche aufbewahren.

Bemerkung

Zur Anwendung und Vertiefung kann der Versuch mit anderen Einwaagen, z.B. 1,50 g oder 2,00 g wiederholt werden. Dann können die Mittelwerte aus den Massenverhältnissen bestimmt werden.