



Lab in a drop

Experimente im Mikromaßstab – Teil 2

STEPHAN MATUSSEK

Für die Durchführung chemischer Schülerversuche im Anfangsunterricht steht eine Reihe von Experimenten im Reagenzglas zur Verfügung. In den »Lab in a drop«-Versuchen wird der Raum eines Reagenzglases in den Reaktionsraum eines Wassertropfens verlagert. Der Wassertropfen dient als Reaktionsgefäß. (MATUSSEK, 2013).

Im ersten Teil (MATUSSEK, 2015) wurde eine Einführung in den Anfangsunterricht Chemie mit 40 Experimenten im Mikromaßstab gegeben. Sie umfasst didaktische und methodische Überlegungen zu diesem Unterrichtskonzept. Es sind Erfahrungen der Lernenden mit den »Lab in a drop«-Experimenten sowie die Anforderungen und Erkennbarkeit der Versuche dargestellt und diskutiert worden. Schließlich ist der Umgang mit den Geräten, Tropfenobjektträger, Mikrobrenner und Kapillarröhrchen beschrieben. Ein Schülerexperimentierkasten erleichtert das Durchführen von Schülerversuchen in Klassenstärke. Der nun vorliegende zweite Teil dieses Konzeptes kann mit dem Titel »Von der Wasser- und Luft-Analyse zur Synthese von Salzen und zu Reaktionen von Säuren und chemischen Elementen« umschrieben werden.

1 Einführung

Im ersten Teil (MATUSSEK, 2015) wurden Experimente eines Unterrichtsgangs präsentiert:

- Reaktion von Eisen und Schwefel
- Aggregatzustände, Sublimation, Gefrieren, Sieden und Destillation
- Brennbarkeit von Schwefel
- Brennbarkeit von Phosphor
- Brennbarkeit weiterer Stoffe
- Werden Stoffe beim Verbrennen schwerer?
- Welcher Stoff ist für die Verbrennung eines Brennstoffes verantwortlich?
- Umkehrbarkeit einer Oxidation
- Kupferbriefversuch

Dieser zweite Teil mit dem Titel »Von der Wasser- und Luft-Analyse zur Synthese von Salzen und zu Reaktionen von Säuren und chemischen Elementen« umfasst folgende Versuche:

- Verbrennungen in reinem Sauerstoff
- Analyse der Luft
- Analyse von Wasser
- Elektrolyse von Wasser
- Herstellen von Salzsäure
- Reaktion von Salzsäure mit Metallen
- Reaktion von Salzsäure mit Metalloxiden
- Nachweis von Salzsäure und ihren Salzen
- Verbrennen von Lithium/Natrium
- Lithium/Natrium und Wasser
- Reaktion einer Säure mit einer Base
- Salzbildung, Metalloxid und Säure
- Elementarsynthese von Lithiumchlorid/Kochsalz
- Salzbildung, Metall und Säure
- Salzbildung, Säure und Base
- Reaktion von verdünnter Schwefelsäure mit Metallen und Metalloxiden
- Nachweis von Schwefelsäure und ihren Salzen
- Konzentrierte Schwefelsäure

- Konzentrierte Schwefelsäure und das Halbedelmetall Kupfer
- Kristallwasser
- Eigenschaften von Ammoniak
- Stabilität von Ammoniumsalzen

4 Fortsetzung der Beschreibung ausgewählter Versuche (vergl. MATUSSEK, 2015, Kapitel 4)¹

4.11.1 Analyse der Luft, Rosten von Eisenpulver

Die Luft, die untersucht wird, befindet sich in einem Kapillarröhrchen (MATUSSEK, 2015, 207, 208). Das Kapillarröhrchen wird mit Eisenpulver (F) auf etwa 1 cm Länge gefüllt und angefeuchtet. Hierzu wird das Kapillarröhrchen zusammen mit dem Eisenpulver in einen Tropfen Wasser auf dem Tropfenobjektträger (T-OT) getaucht. Aufgrund der Kapillarkräfte wird das Wasser in die Kapillare gezogen und feuchtet dabei das Eisenpulver an. Die Öffnung wird mit Wachs verschlossen. Das gegenüberliegende offene Ende des Kapillarröhrchens wird wieder in einen Tropfen Wasser, das als eine Art »Pneumatische Wanne« dient, gehalten und mit der »dritten Hand« fixiert (Abb. 13). Die dritte Hand ist ein Stativ, an dem zwei Krokodilklemmen befestigt sind. Auch hier steigt das Wasser etwa 1 cm in das Kapillarröhrchen und schließt die zu untersuchende Luft ein. Da die Länge der eingeschlossenen Luft proportional zum Volumen ist, reicht es aus, die Länge der eingeschlossenen Luftsäule zu messen. Das angefeuchtete Eisenpulver oxidiert und entzieht der eingeschlossenen Luft den Sauerstoff. Im gleichen Maße verringert sich die Länge der Luftsäule. Nach einem Tag verringern sich die Länge und somit auch das Volumen der eingeschlossenen Luft um 16 % bis 20 %. Diese Differenz veranschaulicht näherungsweise den Sauerstoffgehalt der Luft.

Als Blindprobe wird eine zweite Kapillare mit trockenem Eisenpulver gefüllt und ohne anzufeuchten in gleicher Weise wie in 4.11.1 beschrieben behandelt. Bei diesem Versuch bleibt die



Abb. 13. Versuch zur Zusammensetzung der Luft

Luftsäule unverändert erhalten. Offensichtlich reagiert das angefeuchtete Eisenpulver im Gegensatz zum trockenen Eisenpulver mit dem Luftsauerstoff wesentlich schneller.

Um eine Aussage über verschiedene Bedingungen des Rostens zu machen, füllt man im Vergleich zu den zwei oben beschriebenen Kapillarröhrchen ein drittes mit Eisenpulver und vollständig mit Wasser. Dazu wird das Kapillarröhrchen auf eine Einweg-Pasteurpipette gesteckt (Abb. 14). Kapillarröhrchen lassen sich auf diese Weise zu einer Mikro-Pipette zusammensetzen. So lassen sich die Kapillarröhrchen vollständig mit Wasser füllen. Die drei vorbereiteten Röhrchen lässt man im Langzeitversuch über eine Woche stehen. An Hand der Ausbreitung der Färbung des Eisenoxides lässt sich die Geschwindigkeit der Oxidbildung abschätzen.

Hinweis: Das Kapillarröhrchen als Mikropipette
Mit dieser in 4.11.1 beschriebenen Mikropipette (Gesamtvolumen: 0,085 ml = 85 µl) können in Lab in a drop-Versuchen bei Bedarf definierte Mikromengen an Flüssigkeiten zu einem Tropfen dazugegeben oder abgesaugt werden (Abb. 14).

Hinweis: Die Einweg Pasteurpipette als Tropfflasche: Die abgebildete Pipette (Abb. 31) kann als Tropfflasche im Unterricht eingesetzt werden. Die lange dünne Spitze wird verstreckt. Dazu zieht man sie kräftig auseinander. Nun schneidet man die Spitze in die gewünschte Länge. Man erhält eine sehr dünne Öffnung. Füllt man die Pipette mit Lösungen und dreht diese mit der Spitze nach oben, erhält man eine preisgünstige »Tropfflasche«, die für weitere Versuche aufbewahrt werden kann.

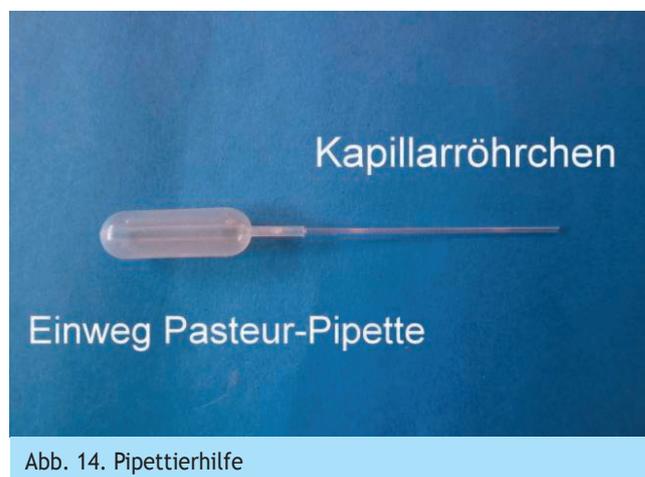


Abb. 14. Pipettierhilfe

4.11.2 Analyse der Luft mit Magnesium

Ein Kapillarröhrchen, das die zu untersuchende Luft enthält, wird anstelle des Eisenpulvers (F) wie im Abschnitt 4.11.1 mit etwa 1 cm Magnesiumpulver (F) gefüllt. Mit der offenen Seite wird das gefüllte Kapillarröhrchen in einen Wassertropfen auf einem T-OT gehalten und in eine dritte Hand eingespannt.

¹ Die Zählung der Kapitel und Abbildungen bezieht sich als Fortsetzung auf MATUSSEK (2015).

Beim Entzünden mit dem Mikrobrenner wird der eingeschlossene Luft in wenigen Sekunden der Sauerstoff entzogen und das Volumen der Luftsäule verringert sich. Bei diesem Versuch schwanken die Werte im Schülerversuch um einige Prozentpunkte im Vergleich zum Versuch 4.11.1. Allerdings ist dieses Experiment im Gegensatz zu Versuch 4.11.1 in wenigen Minuten durchgeführt und das Ergebnis reicht aus, um die Zusammensetzung der Luft, das Verhältnis von Sauerstoff und Stickstoff, abzuschätzen (Abb. 15).

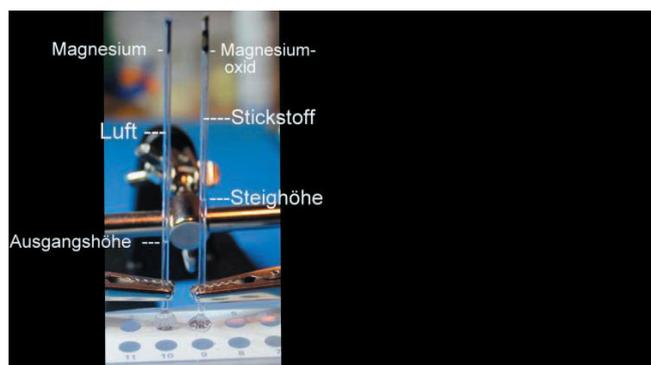


Abb. 15. Analyse der Luft mit Magnesium

4.12.1 Verbrennungen in reinem Sauerstoff

Ein kleines Stück Schwefel (Xi) bzw. roter Phosphor (F) wird auf einer Magnesiumrinne neben wenige Kristalle Kaliumnitrat (O) gelegt und unterhalb der Magnesiumrinne mit dem Mikrobrenner erhitzt. Der bei der Thermolyse des Kaliumnitrats freiwerdende Sauerstoff in der Nachbarschaft zum Brennstoff reicht aus, um die Verbrennungsreaktion unter dem Einfluss des freiwerdenden Sauerstoffs deutlich sichtbar zu verstärken.

Sicherheitshinweis: Die Reaktion ist im Abzug durchzuführen.

4.12.2 Verbrennungen in reinem Sauerstoff im Kapillarröhrchenversuch

Wenige Kristalle Kaliumnitrat (O) werden zusammen mit Schwefel-Pulver (Xi) bzw. rotem Phosphor-Pulver (F) in ein Mikrokapillarröhrchen gegeben und mit dem Mikrobrenner erhitzt. Der bei der Thermolyse des Kaliumnitrats freiwerdende Sauerstoff in der Nachbarschaft zum Brennstoff reicht aus, um die Verbrennungsreaktion unter dem Einfluss des freiwerdenden Sauerstoffs deutlich sichtbar zu verstärken (Abb. 16).

Sicherheitshinweis: Hinweis zur Gasentwicklung siehe Matussek, 2015, S. 209.

Die Reaktion ist im Abzug durchzuführen.

4.13.1 Qualitative Analyse von Wasser

Ein Kapillarröhrchen wird etwa 1 cm mit Magnesiumpulver (F) gefüllt. Ein praller Tropfen Aqua dem. wird auf den T-OT gegeben. Die Flamme eines Stabfeuerzeugs wird in der Nähe des Wassertropfens bereitgehalten. Das Magnesiumpulver im Kapillarröhrchen wird mit dem Mikrobrenner zum Glühen gebracht

und die Öffnung in den Wassertropfen getaucht. Das Wasser wird aufgrund der Kapillarkräfte in das glühende Magnesium gezogen. Der dabei entstehende Wasserstoff entweicht als größere Gasblasen und kann mit dem Stabfeuerzeug entzündet werden. Neben einer qualitativen Analyse von Wasser veranschaulicht der Versuch sehr gut die Gefahr, einen Metallbrand mit Wasser löschen zu wollen.

4.13.2 Elektrolyse von Wasser

Die Gestaltung der Mikro-Elektrolyse im Schülerversuch und der Nachweis der entstehenden Gase Wasserstoff und Sauerstoff im Wassertropfen soll hier etwas ausführlicher dargestellt werden.

Der Reaktionsraum der Mikro-Elektrolyse im Wassertropfen ist im Gegensatz zu einem Hoffmannschen Wasserersetzer um einen mehrstelligen Faktor verkleinert. Bei diesem Versuch wird auf ein spezielles Wasserersatzungs-Gefäß verzichtet. Die physikalischen Eigenschaften des Wassertropfens werden für den Reaktionsablauf der Elektrolyse bewusst genutzt und eingesetzt. (MATUSSEK, 2013, 344)

Als Elektroden werden feine Metalldrähte eingesetzt. Unter den getesteten Elektroden für die Elektrolyse erwiesen sich Platin- oder preiswerte Nickeldraht-Elektroden als geeignet. Bei den folgenden Versuchen wurde ein 0,32 mm starker und etwa 5 cm langer Nickeldraht (T) verwendet (Abb. 18).

Die Elektrolyse in einem Wassertropfen mit Draht-Elektroden führt zu sehr kleinen Gasblasen, wie sie auch im Hofmann'schen Wasserersatzungsapparat zu beobachten sind (Abb. 17). Es gelingt kaum, die aus dem Tropfen austretenden Gasblasen zu entzünden oder sie in Kapillarröhrchen oder Spritzen u. ä. aufzufangen. Auch Zusätze zum Wassertropfen wie Klebstoff oder Tenside ändern nichts an der Größe der Gasblasen.

Größere Gasblasen lassen sich mit zu einer Öse (Durchmesser ca. 1 mm) gebogenen Nickel- (bzw. Platin-) Draht-Elektrode erzeugen. Gasblasen besitzen eine innere Oberflächenspannung. Durch die Öse wird eine Gasblase in einem Wassertropfen stabilisiert. Mit diesen Gasblasen lässt sich die Knallgasprobe durchführen.



Abb. 16. Verbrennungen in reinem Sauerstoff im Kapillarröhrchenversuch



Abb. 17. Mikro-Elektrolyse von Wasser

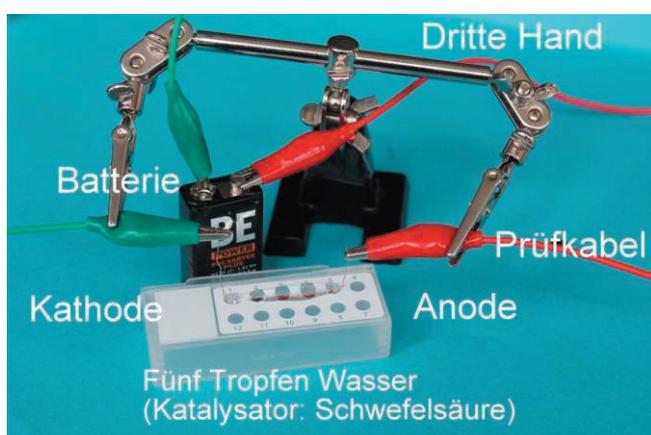


Abb. 18. Versuchsaufbau zur Elektrolyse

Um den Anoden- und Kathodenraum besser zu trennen, wurden fünf bis sechs Tropfen Elektrolysewasser auf den T-OT nebeneinander aufgetragen und mithilfe eines Mikrospatels verbunden. In dieser Tropfen-Reihe kann man den Abstand der Elektroden, die hierbei in der Hand gehalten werden, nach Bedarf variieren. Sind die Elektroden genügend weit voneinander entfernt, erhält man getrennte mit Sauerstoff bzw. mit Wasserstoff gefüllte Blasen im Verhältnis zwei zu eins (Abb. 19).

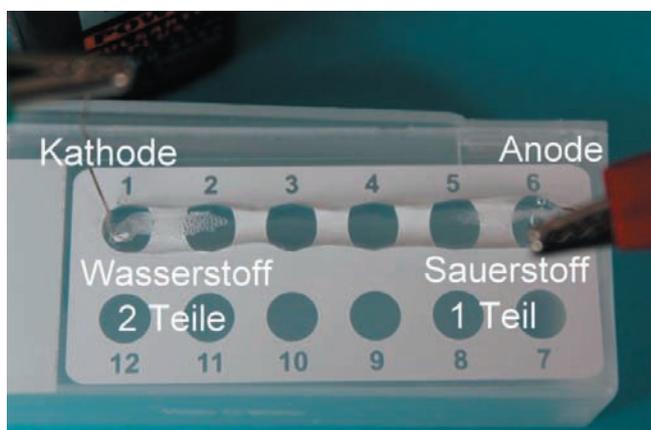


Abb. 19. Wasser-Elektrolyse quantitativ (2:1)

Nähert man die Elektroden einander an, vereinigen sich die Gasblasen. Einige werden bis zu 1 cm im Durchmesser groß. Sie enthalten jetzt ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch. Dieses Knallgasgemisch lässt sich mit einem Stabfeuerzeug zünden.

Die physikalischen Eigenschaften des Wassertropfens ermöglichen es also auf Gefäße zu verzichten (»Lab in a drop«) und die Versuche innerhalb weniger Minuten im Schülerversuch durchzuführen.

Durchführung: Das zu elektrolysierende Wasser wird, wie in den Elektrolyseversuchen üblich, mit Schwefelsäure (C) als Katalysator versetzt. Die beschriebenen Versuche wurden mit einer zwei prozentigen Schwefelsäurelösung durchgeführt. Die Nickeldraht-Elektroden (T), werden am Ende zu einer Öse ($d < 1$ mm) gebogen. Dazu verwendet man beispielsweise eine Schnabelzange. Fünf bis sechs Tropfen des mit Schwefelsäure angesäuerten Wassers werden nebeneinander auf den T-OT getropft und mit dem Mikrospatel verbunden. Die Nickel Elektroden werden mit Hilfe von Prüfkabeln an eine 9-V-Blockbatterie angeschlossen (Abb. 18). Im inneren Bereich der Elektroden-Ösen entstehen deutlich sichtbare Gasbläschen. Die Stärke der Wasserstoff- und Sauerstoff-Entwicklung im Verhältnis von zwei zu eins kann so abgeschätzt werden (Abb. 19). An der Kathode kann man die Wasserstoffbläschen (F+) mit einem Stabfeuerzeug anzünden. Die Verbrennung des Wasserstoffgases mit dem Luftsauerstoff ist deutlich hörbar.

Der Sauerstoffnachweis erfolgt als Knallgasprobe: Nähert man die Elektroden-Ösen einander an, so vereinigen sich die Wasserstoffblasen mit den Sauerstoffblasen. Die nun mit einem Knallgas (F+) gefüllten bis 1 cm große Gasblasen reagieren beim Entzünden mit einem deutlich schärferen Knall (Abb. 20).



Abb. 20. Gasblase bei der Wasser-Elektrolyse

Sicherheitshinweis: Schwefelsäure verursacht schwere Verätzungen. Sinnvoll ist es, den Schüler/inne/n die entsprechende 2 %ige wässrige Lösung von Schwefelsäure für das Experiment bereitzustellen. Es ist unbedingt Augenschutz und Handschutz zu tragen. Die Versuche werden hinter einem Schutzschirm durchgeführt.

Fazit: Es hat sich gezeigt, dass »Lab in a drop«-Experimente zur Elektrochemie für die Schulpraxis sehr gut geeignet sind. Versuche zu einem Unterrichtsgang sollen in einem eigenen Artikel vorgestellt werden.

4.14 Die Salzbildungsregeln

4.14.1.1 Elementarsynthese von Lithiumchlorid aus Lithium und Chlorgas

Die T-OT-Box dient bei dieser Elementarsynthese als geschlossener Reaktionsraum. Die Box hat ein Raum-Volumen von etwa $V = 36 \text{ cm}^3$. Um dieses Volumen mit Chlorgas (T, N) zu füllen, werden hinter dem Schutzschirm wenige Kristalle Kaliumpermanganat (O, Xn, N) und ein Tropfen konzentrierte Salzsäure (C) auf ein kleines Stück Filterpapier gegeben und dieser »Chlorgasentwickler« auf den T-OT gelegt (Abb. 21). Ein Span Lithium (F, C) wird mit etwas Abstand zum »Chlorgasentwickler« auf den T-OT gelegt und in die T-OT Box geschoben. Jetzt wird die T-OT-Box verschlossen und in den Abzug gestellt. Nach einigen Minuten kann das Wachstum der Lithiumkristalle auf dem Lithiumspan mit der Käfiglupe beobachtet werden. Nach etwa zwei Stunden ist die Reaktion des Lithiums mit Chlorgas zu weißem Lithiumchlorid abgeschlossen (Abb. 22). Der »Chlorgasentwickler« wird zusammen mit dem Filterpapier am Ende des Versuches neutralisiert und entsorgt. Lithiumreste werden in Brennspritus gegeben und das Reaktionsprodukt neutralisiert und entsorgt.

Reaktion mit Natrium: Die Elementarsynthese von Kochsalz aus den Elementen, Natrium und Chlor, kann sehr anschaulich in der oben geschilderten Weise als Lehrerversuch durchgeführt werden. Die kubischen Natriumchlorid-Kristalle lassen sich unter der Lupe nach etwa einer Schulstunde deutlich erkennen.

Sicherheitshinweis für alle Versuche mit Lithium und Natrium: Natrium darf nur im Lehrerversuch verwendet werden. In Berührung mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können. Natrium verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere

Augenschäden. In Berührung von Lithium mit Wasser entstehen entzündbare Gase, die sich spontan entzünden können. Lithium verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Bemerkung zur Sicherheit der Kapillarröhrchenversuche

Die eingesetzte Probenmenge an Lithium (F, C) im Kapillarröhrchenversuch beträgt bei einem Kapillardurchmesser von 1,2 mm und einer Höhe von 1 mm etwa $1,13 \text{ mm}^3$ Lithium. Aus einem Lithium Würfel mit dem Rauminhalt 1 cm^3 können rechnerisch über 800 Kapillarröhrchen-Experimente im Schülerversuch durchgeführt werden.

$1,13 \text{ mm}^3$ wiegen bei einer Dichte von $0,534 \text{ g/cm}^3$ ungefähr $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ oder entsprechen $0,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$. Pro Kapillarröhrchenversuch wird ungefähr 1 ml Wasserstoffgas (F+) im Wassertropfen freigesetzt.

Das Lithium in den Kapillarröhrchen oxidiert nur an den kleinen Öffnungen ($d = 1,2 \text{ mm}$). Durch die geringe Menge an Lithium und das Hantieren in einem Kapillarröhrchen ist das Gefahrenpotential in diesem Versuch signifikant gesunken.

Da die Kapillare beim Ausstanzen brechen könnte, greift man die Kapillare mit einem Tuch, ähnlich wie beim Brechen von Glasstäben.

4.14.1.2 Elementarsynthese von Lithiumchlorid aus Lithium und Chlorgas im Kapillarröhrchenversuch

Eine Probe Lithium (F, C) wird aus der Schnittfläche einer Lithium-Stange heraus gestanzt (Abb. 23). Das glänzende Lithiummetall lässt sich in der Kapillare sehr schön beobachten. Auf der gegenüberliegenden Seite des mit Lithium versehenen Kapillarröhrchens werden wenige Kristalle Kaliumpermanganat (O, Xn, N) eingebracht. Dieses mit Kaliumpermanganat versehene Ende wird kurz in einen Tropfen konzentrierte Salzsäure (C) getaucht. Aufgrund der Kapillarkräfte werden die Kaliumpermanganat-Kristalle mit der Salzsäure benetzt. Die Chlorgasent-



Abb. 21. Versuchsaufbau zur Elementarsynthese von Lithiumchlorid aus Lithium und Chlorgas



Abb. 22. Reaktionsprodukt Lithiumchlorid

wicklung beginnt. Nun drückt man das noch offene Röhrchen in ein Stück Kerzenwachs und verschließt es auf diese Weise. Die Kapillare wird waagrecht in eine dritte Hand gespannt. Am Ende etwa einer Schulstunde sind die ersten Lithiumchlorid-Kristalle zu beobachten. Nach weiteren 90 Minuten ist die Reaktion abgeschlossen. Die sehr geringe Menge an Chlorgas (T, N) reagiert mit dem Lithium in dem geschlossenen Reaktionsraum des Kapillarröhrchens ($V = 85 \text{ mm}^3$) zu weißem kristallinem Lithiumchlorid. In diesem Versuch ist die Belastung mit Chlorgas signifikant verringert (Abb. 22).

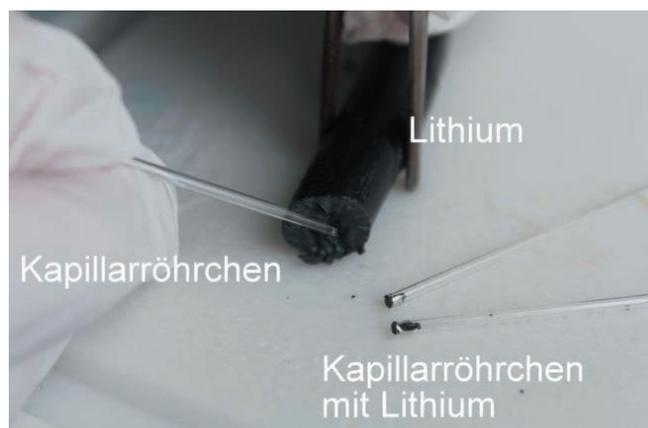


Abb. 23. Ausstanzen von Lithium

Reaktion mit Natrium: Die Kochsalzsynthese aus Natrium (F, C) und Chlorgas (T, N) im Kapillarversuch kann sehr anschaulich als Lehrerversuch durchgeführt werden. Man erhält schöne Kochsalzkristalle.

Sicherheitshinweis: siehe 4.14.1.1

4.14.2 Lithiumchlorid-Herstellung aus Chlorwasserstoffgas und Lithium

Anstelle von Chlorgas im Versuch 4.14.1.1 (Abb. 22) reagiert in diesem Versuch Chlorwasserstoffgas (T, C) als Säure mit dem Metall Lithium (F, C). Zunächst werden einige Kristalle Natriumchlorid auf ein Filterpapier gegeben. Hinter dem Schutzschirm wird ein Tropfen konzentrierte Schwefelsäure (C) auf das Kochsalz gegeben. Dieser »Chlorwasserstoffentwickler« wird auf den T-OT gelegt. Mit etwas Abstand wird ein Span Lithium (F, C) auf den T-OT gelegt und in die T-OT Box geschoben. Die verschlossene T-OT-Box wird in den Abzug gestellt. Am Ende etwa einer Schulstunde kann das Wachstum der Lithiumchlorid Kristalle auf dem Lithiumspan beobachtet werden. Das Chlorwasserstoffgas reagiert mit einem Lithiumspan in der geschlossenen T-OT Box zu kristallinem, weißem Lithiumchlorid und Wasserstoffgas.

Reaktion mit Natrium: Im Lehrerversuch lässt sich wie oben beschrieben sehr anschaulich Natriumchlorid aus dem Metall Natrium und Chlorwasserstoff herstellen.

Sicherheitshinweis: siehe 4.14.1.1

4.14.3 Lithiumchlorid-Herstellung aus Chlorwasserstoffgas und Lithium im Kapillarröhrchenversuch

Analog zum Versuch 4.14.2.1 (Abb. 22) werden einige Kristalle Natriumchlorid in ein mit Lithium (F, C) bestücktes Kapillarröhrchen eingebracht. Das Kapillarröhrchen mit dem Natriumchlorid wird kurz in einen Tropfen konzentriertere Schwefelsäure (C) getaucht und mit Wachs verschlossen. Das entstehende Chlorwasserstoff-Gas (C) diffundiert im Kapillarröhrchen zur gegenüberliegenden Seite. Hier reagiert es im Verlauf von etwa einer Schulstunde mit dem Lithium zu Lithiumchlorid und Wasserstoff.

Reaktion mit Natrium: Im Lehrerversuch lässt sich aus Natrium und Chlorwasserstoff sehr anschaulich Kochsalz herstellen.

Sicherheitshinweis: siehe 4.14.1.1

4.14.4 Reaktion von Salzsäure mit Metallen

Auf dem T-OT werden verschiedene Metalle wie Magnesium (F), Eisen (F), Blei (T, N), Kupfer (F) und Silber nebeneinander als Pulver oder in fester Form in einen Tropfen verdünnter Salzsäure (C) hineingeschoben. Aufgrund einer unterschiedlichen starken Gasentwicklung kann die Reaktionsaktivität beschrieben und verglichen werden.

Anschließend können die Salze durch das Verdampfen der Flüssigkeit auf einer Heizplatte (mittlere Stufe) dargestellt werden. Der Säurerest der Salze, das Chlorid, lässt sich im Anschluss des Versuchs mit einem Tropfen Silbernitrat (C) in einer Fällungsreaktion (MATUSSEK, 2013, 350) nachweisen (Abb. 24).



Abb. 24. Reaktion von Salzsäure mit Metallen

Sicherheitshinweis: Blei darf nicht in Schülerversuchen eingesetzt werden.

4.14.5 Reaktionen von Salzsäure mit Metalloxiden

Kupfer(II)-oxid (Xi, N), Eisen(III)-oxid und Blei(IV)-oxid (O, T, N) werden jeweils in einen Tropfen verdünnter Salzsäure geschoben. Sollte die Reaktion nicht von alleine eintreten, wird vorsichtig auf der Heizplatte (mittlere Stufe) hinter dem Schutzschirm erhitzt (Abb. 25).

Sicherheitshinweis: Bleioxid darf nicht in Schülerversuchen eingesetzt werden.



Abb. 25. Reaktion von Salzsäure mit Metalloxiden

4.14.6 Salzbildungsreaktion einer Säure und einer Base

Auf dem T-OT neutralisiert man einen Tropfen Salzsäure (C), $c = 0,1 \text{ mol/l}$, mit einem Tropfen Natronlauge (C), $c = 0,1 \text{ mol/l}$. Anschließend lässt man die Flüssigkeit auf einer Heizplatte vorsichtig verdunsten. (MATUSSEK 2013, 348)

Sicherheitshinweis: Beim schnellen Erhitzen besteht die Gefahr eines Siedeverzugs.

4.14.7 Nachweise von Salzsäure, Chlorid, in ihren Salzen

Nachdem die Salzbildungsreaktionen zu Chloriden abgeschlossen sind, kann man aus dem Salz die Chloride jeweils mit Silbernitrat (C) nachweisen. (MATUSSEK, 2013, 348)

Hinweis: In einem anschließenden Versuch kann man mit dem Nachweismittel Silbernitrat (C) die Reaktion verschiedenwertiger Chloride vergleichen. Beispielsweise die Stoffe Natriumchlorid, Calciumdichlorid (Xi) und Aluminiumtrichlorid (Xi).

4.15 Nachweis von Lithium und Natrium

Zum Nachweis von Lithium und Natrium in ihren Salzen werden wenige Kristalle in einer Flammenprobe nachgewiesen. Dazu erhitzt man das Magnesiastäbchen mit dem Mikrobrenner. Die Temperatur des Mikrobrenners von 1300 °C reicht für Flammenproben aus. Es entfällt dabei die Nutzung eines Bunsenbrenners.

Sicherheitshinweis: Siehe 4.14.1.1

4.16.1 Verbrennen von Lithium und Natrium auf der Magnesianrinne

Im geschlossenen Abzug wird ein Lithiumspan (F, C) auf der Magnesianrinne mit Hilfe des Mikrobrenners entzündet (Abb. 26).

Reaktion mit Natrium: Im Lehrerversuch kann ein Natriumspan auf der Magnesianrinne entzündet werden.

Sicherheitshinweis: Bei diesem Versuch neben der Schutzbrille Schutzhandschuhe tragen (siehe 4.14.1.1)!

4.16.2 Verbrennung von Lithium und Natrium im Kapillarröhrchen

Eine sehr kleine Menge Lithium (F, C) wird mit einem Kapillarröhrchen ausgestanzt (vergl. Versuch 4.14.1.2 und MATUSSEK 2015, 211) und in die dritte Hand eingespannt. Im Abzug wird das Lithium mit dem Mikrobrenner entzündet. Der Verbrennungsvorgang geschieht sekundenschnell und wird durch die kleine Öffnung der Kapillare ($d = 1,2 \text{ mm}$) kontrolliert. Die Flammenfärbung ist deutlich zu beobachten.

Reaktion mit Natrium: Die Verbrennung des Natriums erfolgt im Kapillarröhrchen als Lehrerversuch.

Sicherheitshinweis: Siehe 4.14.1.1



Abb. 26. Verhalten von Lithium beim Verbrennen

4.17 Reaktion von Lithium und Natrium mit Wasser

Hierbei wird ein Lithiumspan (F, C) auf dem T-OT in einen Klebstoff-Tropfen auf Wasserbasis getaucht. Die Polymere des Klebstoffes verlangsamen offensichtlich die Reaktion mit dem Wasser und begünstigen große, für eine Knallgasprobe geeignete, Wasserstoffbläschen.

Reaktion mit Natrium: Im Lehrerversuch wird ein Natriumspan in die Mitte des Klebstofftropfens geschoben. (MATUSSEK, 2013, 351)

Sicherheitshinweis: siehe 4.14.1.1

4.18 Reaktion von Lithium und Natrium mit Wasser im Kapillarröhrchen-Versuch

Aus der Schnittfläche einer Lithiumstange wird mit Hilfe eines Kapillarröhrchens eine sehr geringe Menge Lithium (F, C) ausgestanzt (Abb. 23). Da die Kapillare beim Ausstanzen brechen könnte, legt man über die Kapillare ein Tuch ähnlich wie beim Brechen von Glasstäben. Die Höhe des Metalls in der Kapillare beträgt etwa 1 mm .

Auf einem T-OT wir ein Tropfen Wasser und auf einem zweiten Feld ein Tropfen Universalindikator gegeben.

Die Kapillare mit dem Lithium (F, C) wird in den Wassertropfen getaucht. Dabei entstehen für eine sehr kurze Zeit mit Wasserstoff (F+) gefüllte Gasblasen. Mit einem bereit gehaltenen Stabfeuerzeug führt man die Knallgasprobe der gefüllten Gasblasen durch.

Das Kapillarröhrchen bietet die Möglichkeit, die sehr geringe Menge Lithium unter Wasser zu halten. Damit wird ein Entzünden des Lithiums an der Luft verhindert. Die kreisförmige Form und Größe der Kapillaröffnung begünstigt ähnlich wie bei einer Öse die Bildung größerer Gasblasen im Wassertropfen. Dies ermöglicht eine deutliche Knallgasprobe (Abb. 27).



Abb. 27. Reaktion von Lithium und Natrium mit Wasser im Kapillarröhrchen-Versuch

Anschließend wird die alkalische Reaktion von Lithium in Wasser mit Hilfe eines Universalindikators nachgewiesen. Dazu taucht man die Kapillare in den Universalindikator-Tropfen auf dem T-OT. Der Indikator färbt den Inhalt des Kapillarröhrchens gut sichtbar blau.

Reaktion mit Natrium: Die klassische Reaktion von Natrium (F, C) mit Wasser kann im Kapillarröhrchen im Lehrerversuch sehr gut beobachtet werden.

Sicherheitshinweis: Siehe 4.14.1.1

4.19 Die Oxide des Schwefels und des Phosphors

Siehe Versuch 4.6.1 (MATUSSEK 2015, 211)

4.20 Reaktionen von verdünnter Schwefelsäure mit Metallen und Metalloxiden

Magnesiumpulver (F), Aluminiumpulver (F), Kupfer(II)-oxid (Xi, N) und Eisen(III)-oxid werden auf dem T-OT nacheinander mit einem Tropfen verdünnter Schwefelsäure versetzt und vorsichtig hinter dem Schutzschirm auf einer Heizplatte erhitzt, bis die Flüssigkeit verdampft ist.

Anschließend gibt man zum Rückstand einen Tropfen Nachweismittel Calciumchlorid (T) und prüft auf Sulfat.

4.21 Nachweis von Schwefelsäure und ihren Salzen

Ein Tropfen verdünnter Schwefelsäure (C) und ein Kristall Natriumsulfat, Eisensulfat (Xn) werden auf den T-OT gegeben. Die

Probe wird mit einem Tropfen Calciumchlorid-Lösung versetzt. Ein weißer feinkörniger Niederschlag zeigt Sulfat an.

4.22 Konzentrierte Schwefelsäure

4.22.1 Die Hydratations-Energie

Hinter dem Schutzschirm wird ein Tropfen Wasser und ein Tropfen konzentrierte Schwefelsäure (C) auf den T-OT gegeben. Nacheinander werden zuerst Wasser und dann konzentrierte Schwefelsäure mit einem Kapillarröhrchen aufgenommen. Mit einem Infrarot-Thermometer misst man die Erwärmung. Diese nimmt um einige Grad Celsius zu.

Sicherheitshinweis: Konzentrierte Schwefelsäure verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. Die Versuche werden hinter dem Sicherheitsschirm mit Schutzhandschuhen durchgeführt:

4.23 Reaktionen der konzentrierten Schwefelsäure

In eine Mikrokapillare werden wenige Mikro-Liter (vergl. 4.11.1) konzentrierte Schwefelsäure (C) aufgenommen und ein Bruchteil davon auf die Fasern eines Papiertaschentuches gebracht (Abb. 28).

Eine Mikrokapillare wird mit einigen Zuckerkrystallen gefüllt. Zusammen mit dem Zucker wird sie in einen kleinen Tropfen konzentrierte Schwefelsäure (C) getaucht. Durch die Kapillarkräfte wird die Schwefelsäure in die Kapillare gezogen und reagiert dort mit den Zuckerkrystallen (Abb. 29).

Sicherheitshinweis: Siehe 4.22.1

4.24 Konzentrierte Säuren und das Halbedelmetall Kupfer

Ein Kupferblechspan wird hinter dem Schutzschirm mit Schutzhandschuhen nacheinander in einen Tropfen konzentrierter Salzsäure (C) und konzentrierter Schwefelsäure (C) geschoben. Im Kapillarversuch taucht man zwei mit ca. 1 cm Kupferpulver gefüllte Kapillarröhrchen in einen Tropfen konzentrierter Salzsäure (C) und konzentrierter Schwefelsäure (C).

Sicherheitshinweis: siehe 4.22.1



Abb. 28. Zellulosefäden und konzentrierte Schwefelsäure.



Abb. 29. Zuckerkohle in der Mikrokapillare

4.25 Das Kristallwasser

Wenige Kristalle Kupfersulfat (X_n, N) werden in eine Kapillarröhre gebracht und mit dem Mikrobrenner erhitzt. Durch die Wärmezufuhr trennt sich Kupfersulfat-Hydrat. Das freiwerdende chemisch gebundene Wasser kondensiert gut sichtbar an der Kapillarwand neben dem Kupfersulfat. Zurück bleibt das Kupfersulfat-Anhydrid (X_n, N). Nach dem Abkühlen wird das Kapillarende mit dem Kupfersulfat-Anhydrid (X_n, N) mit einem Wassertropfen in Berührung gebracht. Das Wasser reagiert mit dem Anhydrid. Mit einem Infrarot-Thermometer, welches mit einem Laserpunkt fokussiert werden kann (Abb. 30), wird die Erwärmung des Kapillarröhrchens um einige $^{\circ}\text{C}$ an der Reaktionsstelle gemessen.

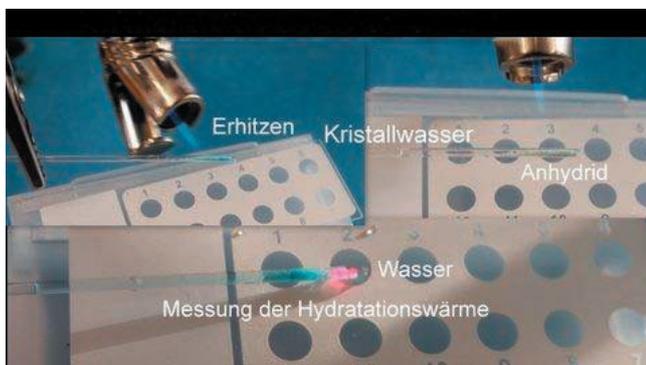


Abb. 30. Kristallwasser im Kupfersulfat.

Sicherheitshinweis: Kupfersulfat wasserfrei ist gesundheitsschädlich bei Verschlucken. Es verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen

4.26 Eigenschaften von Ammoniak (Springbrunnenversuch)

Eine Flasche mit konzentriertem Ammoniak (T, N) wird im Abzug geöffnet. In den Gasraum der Flasche oberhalb des flüssigen Ammoniaks wird eine Kunststoff-Einmal-Pasteurpipette gehalten und dort mehrmals mit Ammoniakgas gespült. Anschließend wird die Pipette in die mit Wasser gefüllte Waschbox gestellt.

Beobachtung: Innerhalb von 15 Minuten füllt sich die Pipette mit Wasser. (Abb. 31)



Abb. 31. Ammoniak-Springbrunnen-Versuch

Sicherheitshinweis: Ammoniakgas verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. Es kann die Atemwege reizen.

4.27 Die Stabilität von Ammoniumsalzen

Auf der Magnesiarinne werden kleine Kristallproben eines Ammonium- und Acetatsalzes von unten mit der Mikrobrenner erhitzt. Die austretenden Gase werden mit einem angefeuchteten Indikatorpapier geprüft. Nach dem Abkühlen, wird der Geruch der Salzschmelze auf Ammoniak (T, N) oder Essig (C) durch Zufächeln vorsichtig geprüft.

5 Fazit

In der mehrjährigen Erprobung im Unterricht haben sich die Experimente als für die Schüler lehrreich und motivierend herausgestellt. Das »Vertrauen« in die Übernahme von Verantwortung für die chemischen Versuche sowie in die Beobachtungs- Handlungs- und Erkenntnisfähigkeit der Schüler/innen befördert nach meiner mehrjährigen Erfahrung und Erprobung nicht nur die aktuelle Motivation der Schüler/innen, sondern auch das Fachwissen, es erhöht die Sicherheit und fördert zudem das Interesse der Schüler/innen an naturwissenschaftlichen Fragen. Die Kerngedanken des Konzeptes seien hier abschließend noch einmal zusammengefasst:

- In den »Lab in a drop« Versuchen wird auf Gefäße im üblichen Sinne verzichtet. Daraus ergeben sich bemerkenswerte Konsequenzen für die Experimentiertechnik. Statt in einem Gefäß findet die Reaktion auf einer Oberfläche, dem T-OT statt. Diese Oberfläche wird nicht als »Gefäß« gedacht, sondern soll die natürliche physikalische Tropfenform des Lösungsmittels gewährleisten, in der die Reaktionen beobachtbar werden.
- Die Verringerung der Stoffmengen um einen Faktor einhundert bis eintausend, eingebunden in das hier vorgeschlagene oder ein anderes geeignetes didaktisch-,

methodisches Unterrichtskonzept, verringert das Gefahrenpotential, die Kosten für die Chemikalien und ihre Entsorgung signifikant. Dies spricht für die Sicherheit, die Nachhaltigkeit und Effizienz dieser Versuche.

- Hilfsmittel in den »Lab in a drop« Versuchen wie die Kapillarröhrchen werden nicht als »Gefäße« gedacht, sondern sollen die natürlichen physikalischen Eigenschaften des Tropfens, die Kapillarkräfte des Lösungsmittels, experimentell nutzbar machen. Kapillarröhrchen werden bei den Syntheseversuchen nicht als ein Glasrohr-Gefäß gedacht, sondern dienen dazu, die natürliche Ausbreitung der Gase in eine Richtung zu bringen um weitere Experimente anzuschließen.
- In diesem Sinne dienen die Ösen dazu, die natürliche Gestalt der im Wassertropfen entstehenden Gase durch die Ausnutzung der inneren Oberflächenspannung zu stabilisieren. So werden im Wassertropfen Gasblasen fixiert, die man entzünden kann.
- Die Versuchsgestaltung eröffnet eine interessante Blick- und Denkweise auf die Experimentiergestaltung im schulischen Unterricht. Dies gilt sicher nicht nur für Wassertropfenexperimente, sondern stellt einen Gewinn für die Experimentiertechnik im Allgemeinen dar.

6 Bezugsquellen

Einzelgeräte:

Tropfenobjektträger: Thermo Fisher Scientific,

T-OT Box: Firma Neolab,

Mikrobrenner: Voelkner, Conrad

Mikrokapillaren: Firma Carl Roth

Teflon unterlagen: handelsübliches Teflon Backpapier
Tropfflaschen: Thermo Fisher Scientific, Analytics shop,

Schutzschirm: beim Autor

IR-Thermometer: Conrad, Voelkner

Dritte Hand: Conrad

Käfiglupen: Lehrmittelfirmen

Alle Geräte, ein Katalog, sowie fertige Experimentierkästen für den Schulbetrieb können handelsüblich beim Autor bezogen werden.

Zu dem obigen Artikel ist ein Skript »Bewährter Anfangsunterricht Chemie mit 40 Lab in a drop Versuchen, 120 Seiten, beim Autor erhältlich.

Literatur

MATUSSEK, S. (2013). Lab in a drop – blue drop experience. *MNU*, 66(6), 352–356.

MATUSSEK, S. (2015). Lab in a drop – Experimente im Mikromaßstab – Teil 1. *MNU*, 68(4), 206–212.

MATUSSEK, S. (2015). 146, Lab in a drop – Elektrochemische Experimente. *Unterricht Chemie*, 146, 24–27.

STEPHAN MATUSSEK, stephan.matussek@online.de, ist Lehrer an der Katholischen Schule Harburg, Bogenstraße 10, 21220 Seevetal. Seine Schule hat mit »Lab in a drop« kürzlich den Hamburger Bildungspreis gewonnen. ■