

# Lab in a drop



## Experimente im Mikromaßstab – Teil 1

STEPHAN MATUSSEK

Für die Durchführung chemischer Schülerversuche im Anfangsunterricht steht eine Reihe von Experimenten im Reagenzglas zur Verfügung. Bei den »Lab in a drop«-Versuchen wird der Raum eines Reagenzglases in den Reaktionsraum eines Wassertropfens verlagert. Der Wassertropfen dient als Reaktionsgefäß. Die physikalischen Eigenschaften des Wassertropfens definieren die Experimentiermethoden. Mit geringen Mengen – Kristall und Tropfen – lassen sich in wenigen Minuten der Reaktionsablauf, die Edukte, die Reaktionszonen und die Produkte beobachten (MATUSSEK, 2013). Um die Eigenschaften von Stoffen im Anfangsunterricht Chemie zu untersuchen, werden ausgewählte Stoffe in der Bunsenbrenner-Flamme erwärmt oder erhitzt. Um kleinste Stoffmengen – etwa in der Größe eines Streichholzkopfes – zu erhitzen, werden die Versuche mit einem Mikrobrenner durchgeführt.

Als weitere Erweiterung der »Lab in a drop«-Versuche werden hier erstmals »Kapillarröhrchenversuche« vorgestellt. Standardversuche, wie zum Beispiel der »Kupferbriefversuch« oder das Verbrennen von Schwefel, werden mit kleinsten Mengen in »Mikrokapillarversuchen« durchgeführt.

Dem folgenden Beitrag liegt ein bewährter Unterrichtsgang im Anfangsunterricht Chemie Klassenstufe 9 und 10 zugrunde. Insgesamt wurden 40 »Lab in a drop«-Wassertropfen-, Mikrobrenner- und Kapillarröhrchen-Versuche im Unterricht in der Klassenstufe 9 und 10 erprobt. Aus diesen Versuchen wird eine Auswahl beschrieben.<sup>1</sup>

### 1 Wassertropfenexperimente »Lab in a drop«

Das Unterrichtskonzept und die Unterrichtsversuche »Lab in a drop« ermöglichen es, mit ganzen Klassen innerhalb einer Unterrichtsstunde zu experimentieren und die Experimente auszuwerten. Die Schüler machen die Erfahrung, dass sie durch Minimierung der Stoffmengen auf einen Kristall und einen Wassertropfen den Reaktionsablauf, die Edukte und Produkte genau beobachten können (MATUSSEK, 2013). Die Versuche geben Anlass zum genauen Beobachten und Protokollieren. Die Unterrichtserfahrung zeigt, dass das Interesse an Fachbegriffen und Sachverhalten geweckt wird.

Zudem führen die Erfahrungen im erfolgreichen Umgang mit kleinsten Stoffmengen die Schüler an naturwissenschaftliche Fragen der Nachhaltigkeit und Effizienz heran.

#### 1.1 Eine didaktische und methodische Überlegung

Bei den »Lab in a drop«-Versuchen führt jede/r Schüler/in den Versuch durch (Abb. 1). Die Handlungs- und Erkenntniskompetenz der Schüler/innen wird zum Ausgangspunkt des Unterrichts gemacht.

Durch die Methode der nummerierten Köpfe (MATUSSEK, 2013, 344, 345) können die Versuche von den Schülern »streng« im Sinne einer Selbstregulation und Eigenverantwortlichkeit durchgeführt und von der Lehrkraft beaufsichtigt werden.

Jeweils vier Lernende arbeiten zusammen (Abb. 1). Jeder einzelne Schüler führt das Experiment durch. Der/die Gruppensprecher/in leitet und vertritt die Gruppe. Der/die Materialwart/in ist für das Material verantwortlich. Der/die Laborant/in bestimmt den Ablauf der Experimente und betreut die Chemikalien. Der/die Protokollant/in legt von allen Gruppenteilnehmern ein einheitliches Protokoll vor.

Auf diese Weise werden die Lernenden mit in die Verantwortung eingebunden. Die Versuche können von der Lehrperson durch die Ausgabe von Chemikalien kontinuierlich im Unterricht kontrolliert und gesteuert werden. Auf diese Weise wurden die Versuche bereits in Klassenverbänden mit bis zu 32 Lernenden durchgeführt.

Der Versuchsaufbau zu Beginn eines Versuches ist in Abbildung 2 dargestellt. Am Ende des Artikels werden die Bezugsquellen der Geräte genannt.

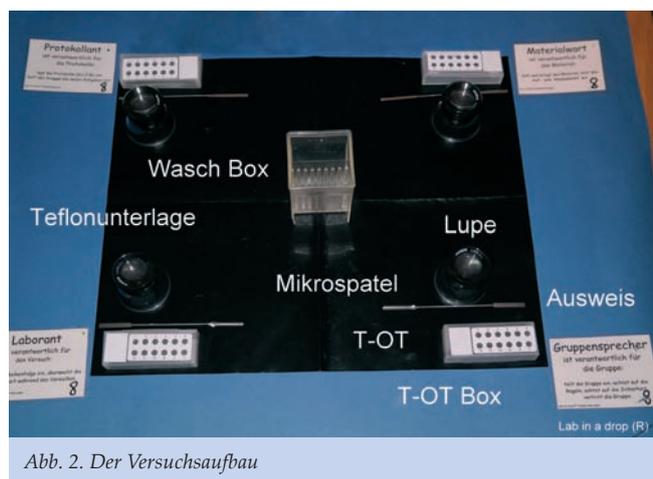
#### 1.2 Aufmerksamkeit und Konzentration der Lernenden während der Experimente

Die Erfahrungen zeigen, dass sich die Konzentration der Lernenden in Schülerversuchen nachvollziehbar erhöht. Verschiedene Elemente tragen zum Gelingen dieser Versuche bei:



Abb. 1. Schüler beim Experimentieren

<sup>1</sup> Die »Lab in a drop«-Versuche wurden in MNU-Workshops auf Bundes- und Länderebene in Hamburg, Berlin, Bremerhaven, Mainz, Saarbrücken und Rostock vorgestellt sowie in Chemie-Studienseminaren in Berlin und Hamburg und auf der Norddeutschen Fachdidaktiker- und Fachleitertagung.



Jeweils vier Schüler sitzen beim Experimentieren an einem Tisch. Die festgelegten Aufgaben und Funktionen regeln die Durchführung der Versuche.

Wenn die Lernenden nacheinander experimentieren, erfahren sie die Aufmerksamkeit ihrer zuschauenden Mitschüler. Die Fokussierung auf einen Kristall und Tropfen »zwingt« zum genauen Beobachten. Das Verfassen eines gemeinsamen Protokolls führt zu einer reflektierten Beschreibung der Beobachtung.

### 1.3 Anforderungen der Experimentiertechnik an die Motorik

Bei der Durchführung der Experimente muss der Umgang mit dem Mikrospatel, der Tropfflasche und der Käfiglupe beherrscht und daher zum Teil geübt werden. Die Arbeitsschritte entsprechen in etwa einer gewohnten Schreibbewegung. Im Allgemeinen können alle Schüler der Klassenstufen fünf bis dreizehn die Versuche ohne Probleme durchführen.

### 1.4 Erkennbarkeit der Versuchsabläufe

Die Versuche sind ohne Lupe mit bloßem Auge beobachtbar. Die Beobachtungen unter der Käfiglupe (Vergrößerung 8x bis 10x) ergänzen die Beobachtungen sinnvoll, da beispielsweise Kristallstrukturen, Gasbläschenentwicklung genauer beobachtbar werden.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Geräte

Die Wassertropfen-Versuche werden auf einem Tropfenobjektträger – kurz T-OT – (MATUSSEK, 2013, 346) durchgeführt. Hier können bis zu zwölf gleich große Tropfen mit Hilfe einer Tropfflasche aufgebracht werden. Schließlich werden die T-OT Box, der Mikrospatel und die Abwaschbox benötigt.

### 2.2 Mikrobrenner

Anstelle eines Bunsenbrenners wird ein handelsüblicher Mikrobrenner eingesetzt (Abb. 3). Der Mikrobrenner entspricht in der Größe, dem Aufbau, der Befüllung und der Bedienung einem Gasfeuerzeug mit Piezo-Zündung. Er wird mit Feuer-

zeuggas (Butan) betrieben. Die Flamme hat einen spitzen äußeren und inneren Flammenkegel und entspricht der rauschenden Flamme eines Bunsenbrenners. Deswegen gelten dieselben Grundregeln wie im Umgang mit einem Bunsenbrenner. Die Temperatur liegt mit 1300°C etwas unterhalb der einer Bunsenbrennerflamme.

Die Temperatur reicht aus, um ein Magnesiumband oder Magnesiumpulver innerhalb eines Reagenzglases zu zünden. Glas kann geschmolzen und bearbeitet werden.

In den Mikroexperimenten wird mit Hilfe des Mikrobrenners die Brennbarkeit von Stoffen und Stoffgemischen untersucht.

**Sicherheitshinweis:** Der Mikrobrenner ist nicht für Kinder geeignet. Der Mikrobrenner enthält Butangas. Er muss von Wärmequellen (> 40°C) ferngehalten werden. Er darf nicht betrieben, befüllt oder gelagert werden, wo explosive, leicht entzündliche Stoffe vorhanden sind oder sein könnten (Explosions- oder Brandgefahr). Der Mikrobrenner sollte deswegen nur im Beisein der Lehrperson betätigt werden.

Die Versuche mit dem Mikrobrenner werden mit minimalen Mengen gestaltet. Beispielsweise soll die Menge an Phosphor oder Schwefel nicht größer sein als die Menge in einem Streichholzkopf. Die Mengen der emittierten Gase werden auf diese Weise gering gehalten und entsprechen in etwa der Menge, die beim Anzünden eines Streichholzes entsteht.

Sicherheitshalber werden alle Versuche, in denen Gase oder Rauch etc. freigesetzt werden, unter einem Abzug durchgeführt.

### 2.3 Kapillarröhrchenversuche

#### 2.3.1 Kapillarexperimente mit Flüssigkeiten

Um mit kleinsten Mengen flüssiger Stoffe wie zum Beispiel mit konzentrierter Schwefelsäure zu experimentieren, werden Kapillarröhrchen benutzt. Es handelt sich um handelsübliche medizinische Röhrchen (Abb. 4). Die verwendeten Kapillarröhrchen haben einen inneren Durchmesser von etwa 1,2 mm. Aufgrund des Kapillar-Effektes werden kleinste Mengen flüssiger Stoffe oder Lösungen aus einem Tropfen auf dem T-OT mit der Kapillare aufgenommen. So können Reagenzien wie mit einer Mikropipette aufgenommen oder übertragen werden.



Abb. 3. Der Mikrobrenner



Abb. 4. Füllen einer Kapillare mit Schwefelpulver

Durch das Einsaugen von mehreren Stoffen können »Lab in a drop«-Wassertropfen-Reaktionen innerhalb der Kapillare beobachtet werden (vergl. Untersuchung auf Zucker). Kapillarröhrchenversuche werden in verschiedenen Themenfeldern bei den »Lab in a drop«-Versuchen im Unterricht eingesetzt.

In Lebensmitteluntersuchungen (MATUSSEK, 2013, 352) wird eine Probe Nahrungsmittel wie Kartoffel, Brot oder Mehl mit der Kapillare ausgestanzt und in einen Tropfen Iod-Kaliumiodid-Lösung auf dem T-OT gehalten. Die Kapillarkräfte reichen aus, um das Nachweismittel in die Kapillare zu ziehen und dort die Stärke nachzuweisen. In gleicher Weise wird eine Nahrungsmittelprobe bei der Untersuchung auf Zucker mit Fehlingscher Lösung (Xn, N, C) in die Kapillare eingebracht und anschließend über einem Wasserbad erhitzt. Der Zuckernachweis mit Fehlingscher Lösung ist sehr empfindlich, sodass er auch mit fermentierter Stärke (gekautes Brot) im Kapillarsversuch in wenigen Minuten gelingt.

Ein zweites Feld für Kapillarröhrchenversuche betreffen die Säure-Base-Reaktionen (MATUSSEK, 2013, 347), bei denen die Probenentnahme mit der Kapillare erfolgt. Der Nachweis erfolgt durch das Eintauchen der Kapillare in einen Indikator-tropfen auf einem T-OT. Auf diese Weise lassen sich Fruchtsäuren aufnehmen, feste Säuren untersuchen oder Proben aus laufenden Reaktionen ziehen.

Ein drittes Feld sind Fällungsreaktionen (MATUSSEK, 2013, 346), indem die zu untersuchende feste, flüssige oder gasförmige Probe in die Kapillare eingebracht und in ein Tropfen Nachweismittel auf dem T-OT getaucht wird. So kann man beispielsweise mit einem mit Silbernitrat (O, C, N) gefüllten Kapillarröhrchen austretendes Chlorwasserstoffgas nachweisen. Kapillarröhrchen-Versuche zur Organischen Chemie sind in Vorbereitung.

Eine Kapillare kostet unter zwei Cent. Sie lässt sich bei einigen Versuchen auswaschen und kann dann mehrmals verwendet werden.

### 2.3.2 Experimente mit der Öse

Eine Besonderheit in den »Lab in a drop«-Versuchen stellt auch der Umgang mit der Öse dar. Aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers hält sich ein Tropfen in einer Öse. In gleicher Weise stabilisiert eine Öse auch Gasblasen im Inneren des Flüssigkeitstropfens. Neben den T-OT als Tropfenträger, der Kapillarröhrchen als Tropfenaufnehmer zählt die Öse daher als Tropfen- und Gasblasenhalter in den »Lab in a drop«-Versuchen. Sie wird bei der Elektrolyse von Wasser im Tropfen

und bei der Lithium-Kupferbatterie verwendet (MATUSSEK, 2013, 350).

### 2.3.3 Experimente mit Feststoffen

Wie bei der Schmelzpunktanalyse stopft man den zu untersuchenden Stoff in eine Kapillarröhre. Dazu kann man den Stoff aus z. B. Springdeckelfläschchen entnehmen. (Abb. 4)

**Sicherheitshinweis:** Da Kapillarröhrchen aus Glas bestehen, können sie brechen und Schnittwunden verursachen. Beim Stopfen der Kapillarröhrchen sollte man das Kapillarröhrchen sicherheitshalber mit einem Tuch anfassen.

Die festen Stoffe werden mit Hilfe eines Mikrobrenners erhitzt. Auf diese Weise können im Falle von Schwefel (Xi) die Modifikationen des Schwefels oder die Verbrennung von Schwefel beobachtet werden.

Die Kapillarröhrchen sind stabil und hitzebeständig genug, um sie mit Feststoffen (Metallpulver) oder Flüssigkeiten (Wasser) zu befüllen oder sie mit dem Mikrobrenner gefüllt oder ungefüllt zu erhitzen. Das Kapillarröhrchen kann an den Enden verschmolzen, gebogen, oder zu einer feinen Kapillare ausgezogen werden.

**Sicherheitshinweis:** Die Kapillare kann sich beim Erhitzen verbiegen. Die Abkühlungszeit beträgt in etwa eine Minute.

## 2.4 Der Schülerexperimentierkasten

Werden die Tropfenexperimente im Klassenverband durchgeführt, ist es sinnvoll einige Geräte in einem Schülerexperimentierkasten zusammen zu stellen. Ein solcher Schülerexperimentierkasten, die »Laborbox (Labo)« enthält für vier Lernende eine Grundausstattung an Geräten (Abb. 5), die für den Aufbau, die Durchführung, den Abwasch und den Abbau der Experimente benötigt werden. Sie enthält also keine Chemikalien. Die Laborbox enthält außerdem eine Teflonunterlage, Schutzbrillen und einen Sicherheitsschirm. So können viele Experimente auch in fachfremden Räumen durchgeführt werden. Der Schutzschirm ist eine selbststehende etwa 20 x 30 cm große Akrylglasplatte, und bietet zusätzlichen Schutz beim Handtieren mit gefährlichen Chemikalien, beispielweise konzentrierter Salzsäure (MATUSSEK 2013, 349). Der Schutzschirm

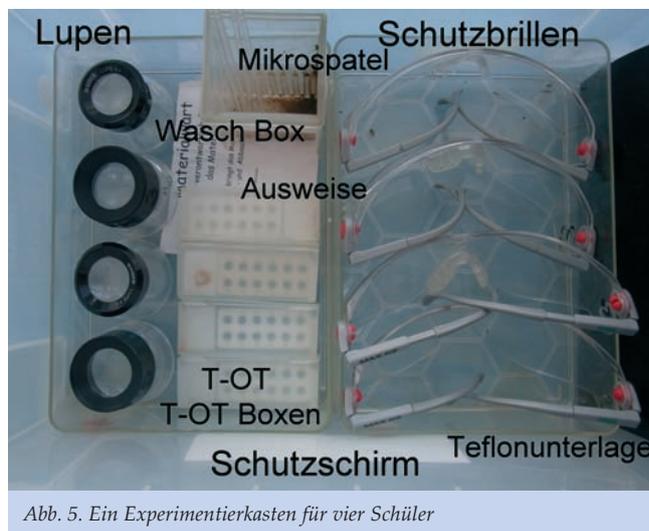


Abb. 5. Ein Experimentierkasten für vier Schüler

wurde für die Versuche vom Autor entworfen und angefertigt. (Er kann selber hergestellt oder auch beim Autor bezogen werden.) Die Laborbox ist mehrere Jahre erprobt worden und hat sich im Unterricht bewährt.

Die Schülerexperimentierkästen können selber zusammengestellt werden oder fertig beim Autor zu üblichen Handelspreisen bezogen werden. Eine Bezugsliste ist am Ende des Artikels aufgeführt.

## 2.5 Ergänzungen zur Sicherheit

Die »Lab in a drop«-Versuche zeichnen sich durch eine Verringerung der eingesetzten Chemikalien um den Faktor einhundert bis eintausend aus. In diesen Versuchen wird die Wirksamkeit kleiner Stoffmengen, etwa eines Kristalles, erfahrbar. Damit kann auf die Wirksamkeit größerer Mengen, etwa eines ätzenden Stoffes, geschlossen werden. Der Umgang mit den eingesetzten Chemikalien wird dadurch signifikant erhöht. Auf diese Weise kann das Experimentieren auf kleinstem Raum zu einer modernen Arbeitsweise im Chemieunterricht führen, wie sie etwa in einem Chemischen oder Medizinischen Labor üblich ist. Die Handgriffe der Versuche lassen sich, wie in einem Laborbetrieb gefordert, klar beschreiben und schrittweise einüben. Durch die gute Verfügbarkeit von Sensoren können die Schüler während der Experimente Messungen durchführen. Beispielweise lässt sich in wenigen Minuten eine Temperaturmesskurve der Hydratationskurve von wasserfreiem Kupfersulfat (Xn, N) erstellen (z. B. mit Texas Instruments TI-nspire CX CAS mit Temperatursensor).

Denkt man in dieser Hinsicht weiter, wäre auch eine optische Aufzeichnung der Versuche mit Hilfe verfügbarer Handykameras und anschließender mathematischer Auswertung der Bilder (MATUSSEK, 2013, 351) eine interessante Aufgabe für Schüler der Oberstufe.

## 2.6 Nachhaltigkeit und Effizienz

Die Nachhaltigkeit dieser Versuche soll am Beispiel der Erwärmung und Verbrennung von Schwefel im Kapillarröhrchen dargestellt werden.

Füllt man eine Kapillare etwa 5 mm hoch mit Schwefel, so ergibt sich bei einem Kapillardurchmesser von 1,1 mm ein Volumen von etwas über 5 mm<sup>3</sup>. Bei einer Dichte von 2 g pro cm<sup>3</sup> könnte man mit einem Kubikzentimeter oder 2 g Schwefel, etwa 2000 Schülerversuche durchführen. Dies spricht für die Effizienz und Nachhaltigkeit dieser Versuche. Die Versuche sind damit auch »low cost«-Experimente; sie reduzieren merkbar die einzusetzenden Mengen an Chemikalien und somit auch den Kostenaufwand.

Eine Kapillare gefüllt mit 5 mm Schwefel (Xi) erzeugt bei vollständiger Verbrennung des Schwefels etwa 20 mg Schwefeldioxid (T). Bei einem MAK Wert für Schwefeldioxid von 5 mg pro Kubikmeter Raumluft könnte man in kleineren Klassenräumen mit beispielsweise 120 m<sup>3</sup> Rauminhalt etwa 30 Kapillarversuche mit der Verbrennung von Schwefel ohne Probleme durchführen.

**Sicherheitshinweis:** Sicherheitshalber sollten die Versuche in der Schule dennoch unter dem Abzug durchgeführt werden.

**Entsorgung:** Die eingesetzten Chemikalienmengen sind um den Faktor einhundert bis eintausend verringert, was sich kostengünstig auf die Entsorgung auswirkt. Dies ist ein weiterer Hinweis auf die Nachhaltigkeit dieser Versuche.

## 3 Ausgewählte Versuche

Für die Auswahl der Versuche wurde ein in Hamburg bewährter Unterrichtsgang der Klassenstufen 8 bis 9 an Gymnasien ausgewählt. Die Versuche sind chronologisch, entsprechend dem Unterrichtsgang, angeordnet. Aufgrund des Umfangs der Versuche werden die Versuche in zwei Teilen veröffentlicht.

### 3.1 Die Übersicht der »Lab in a drop«-Versuche

Erster Teil (dieser Beitrag)

- Löslichkeit von Schwefel
- Erwärmen von Schwefel
- Trennung von Eisen- und Schwefelpulver – 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

Zweiter Teil (folgt)

- Verbrennungen in 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 Natrium
- Natrium/Lithium und Wasser
- Reaktion einer Säure mit einer Base
- Salzbildung, Metalloxid und Säure
- Elementarsynthese von Kochsalz, Natrium und Chlor
- Salzbildung, Metall und Säure
- Salzbildung, Säure und Base
- Reaktion der verdünnten Schwefelsäure mit Metallen und Metalloxiden
- Nachweis von Schwefelsäure und ihren Salzen
- Konzentrierte Schwefelsäure
- Konzentrierte Schwefelsäure und das Halbedelmetall Kupfer
- Kristallwasser
- Verbrennung von Magnesium unter Luftabschluss
- Eigenschaften von Ammoniak
- Stabilität von Ammoniumsalzen (Acetatsalzen)

## 4 Die Beschreibung der ausgewählten Versuche

### 4.1 Löslichkeit von Schwefel

Jeweils eine Mikrospatel Spitze Schwefel (Xi) wird auf dem T-OT mit einem Tropfen des jeweiligen Lösemittels Wasser, Essig, verd. Salzsäure, Brennsprit (F) und Toluol (F, Xn) versetzt.

**Sicherheitshinweis:** Toluol ist leicht entzündbar, verursacht Hautreizungen, kann zur Benommenheit führen und vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen. Deswegen sollte die Probe mit Toluol als Lehrerversuch unter dem Abzug durchgeführt werden.

## 4.2 Erwärmen von Schwefel (Modifikationen)

### 4.2.1 Erwärmen von Schwefel auf der Magnesiumrinne

Eine Mikrospatelspitze Schwefel (Xi) wird auf einer Magnesiumrinne von unten her mit dem Mikrobrenner vorsichtig erhitzt. Die Modifikationen werden beobachtet. Die rotbraune Schmelze wird im Wasserbad der Waschbox abgeschreckt und der gummiartige Schwefel kann mit dem Mikrospatel abgekratzt und weiter untersucht werden.

### 4.2.2 Erwärmen von Schwefel in einer Mikrokapillare

Eine Mikrokapillare (1,2 mm Innendurchmesser) wird wie unter 2.3.3 mehrmals in ein Gefäß mit Schwefel (Xi) gesteckt. Auf diese Weise wird die Kapillare ein bis zwei Zentimeter mit Schwefel gefüllt. Schließlich wird der Schwefel in der Kapillare mit dem Mikrobrenner langsam erhitzt. Dabei durchläuft der Schwefel seine Modifikationen (Abb. 6). Schreckt man die Kapillare in Wasser ab, kann man an der entstehenden Bruchstelle die Eigenschaften des gummiartigen Schwefels untersuchen.



## 4.3 Die Trennung eines Eisen-Schwefel-Gemisches

(MATUSSEK, 2013, 347)

## 4.4 Reaktionen von Eisen und Schwefel

Eine Mikrokapillare wird mit einem Eisen-Schwefel-Gemisch (F, Xi) gefüllt und mit dem Mikrobrenner erhitzt. Die Sulfidbildung (N) ist in der Kapillare deutlich beobachtbar. Anschließend wird die Kapillare mit dem Reaktionsprodukt in einen Tropfen Salzsäure (Xi) getaucht.

Am Ende der Kapillare kann ein leichter Geruch von Schwefelwasserstoff (F+, T+, N) wahrgenommen werden. Durch die geringe Menge Eisensulfid, die an der engen Öffnung der Kapillare mit der Salzsäure reagiert, entsteht eine vernachlässigbare Menge an Schwefelwasserstoff. Sie ist so gering, dass sie im Raum nicht wahrnehmbar ist. Die Reaktion kann anschließend und während des Versuches durch Eintauchen in das Wasser der Waschbox gestoppt werden.

Sicherheitshinweis: Aufgrund der Giftigkeit von Schwefelwasserstoff werden die Versuche trotz der geringfügigen Emissionen unter dem Abzug durchgeführt.

## 4.5 Die Aggregatzustände

### 4.5.1 Fest, flüssig, gasförmig

Ein Tropfen Wasser auf einem T-OT wird auf ein im Gefrierfach eines Kühlschranks gekühltes Kühlkissen gelegt (Abb. 7). Der Erstarrungsprozess des Wassers kann unter der Käfiglupe beobachtet werden.



Abb. 7. Erstarren von Wasser

Anschließend wird der T-OT vom Kühlkissen genommen und der Auftauprozess des Tropfens beobachtet. Auf einer Heizplatte, mittlere Stufe, wird der Wassertropfen zum Sieden erhitzt. Der Wasserdampf kondensiert an einem Uhrglas. Das Kondensat kann für weitere Versuche genutzt werden. In ähnlicher Weise können Spiritus (F) und Alkohol-Wassergemische (F) untersucht und verglichen werden.

### 4.5.2 Sublimation

Iod sublimiert – resublimiert durch mehrere Papierschichten hindurch (Abb. 8). Mit dem Mikrospatel wird ein kleiner Iodkristall (Xn, N) auf die Rückseite des T-OTs gelegt und in ein Stück Papier eng gewickelt. Nach etwa 5 Minuten wird das



Abb. 8. Sublimation von Iod

Papier aufgewickelt. Flüssiges Iod ist nicht zu beobachten. Das Iod sublimiert und resublimiert schrittweise durch mehrere Schichten des Papiers.

**Sicherheitshinweis:** Iod ist gesundheitsschädlich bei Hautkontakt und beim Einatmen. Schutzhandschuhe tragen und unter dem Abzug arbeiten.

#### 4.6 Brennbarkeit von Schwefel und Phosphor

##### 4.6.1 Brennbarkeit von Schwefel und rotem Phosphor auf der Magnesiumrinne

Eine Mikrospatelspitze Schwefel (Xi) bzw. roter Phosphor (F) wird auf die Magnesiumrinne gelegt und mit dem Mikrobrenner angezündet (Abb. 9). Neben dem Reaktionsort wird ein angefeuchtetes Indikatorpapier gelegt.

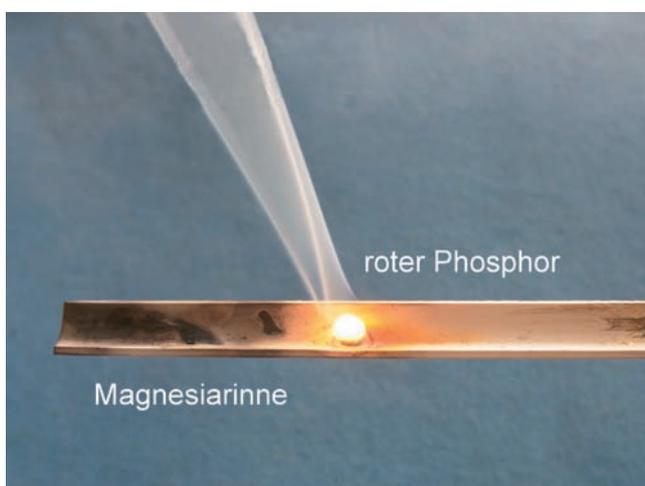


Abb. 9. Verbrennung von Phosphor auf der Magnesiumrinne

**Sicherheitshinweis:** Schwefeldioxid (T) und Phosphorpentoxid (C) verursachen schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. Den Rauch nicht einatmen, unter dem Abzug arbeiten.

##### 4.6.2 Brennbarkeit von Schwefel und Phosphor mit Hilfe der Mikrokapillare

Eine Kapillarröhre wird mit Schwefelpulver (Xi) etwa fünf Millimeter hoch aufgefüllt und mit dem Mikrobrenner an der Öffnung angezündet. Der Schwefel an der Öffnung der Kapillare wird flüssig und tritt gasförmig aus der Öffnung in eine Richtung heraus. In Verbindung mit dem Luftsauerstoff verbrennt der Schwefel in einer deutlich erkennbaren blauen Flamme (Abb. 10). Die Flamme erlischt nach etwa einer Sekunde von alleine. Da innerhalb der Kapillare aufgrund des Sauerstoffmangels keine Verbrennung stattfindet, sinkt die Temperatur innerhalb der Kapillare unterhalb der Entzündungstemperatur ab und es wird kein gasförmiger Schwefel mehr nachgeliefert. Durch Zufuhr von Wärme mittels Mikrobrenner kann man die Verbrennung bis zu 5 Sekunden aufrechterhalten. Da die Flamme von brennendem Schwefel manchmal schwer zu erkennen ist, wird sicherheitshalber die Kapillare in die mit Wasser gefüllte Waschbox getaucht. In gleicher Weise verfährt man beim roten Phosphor (F).

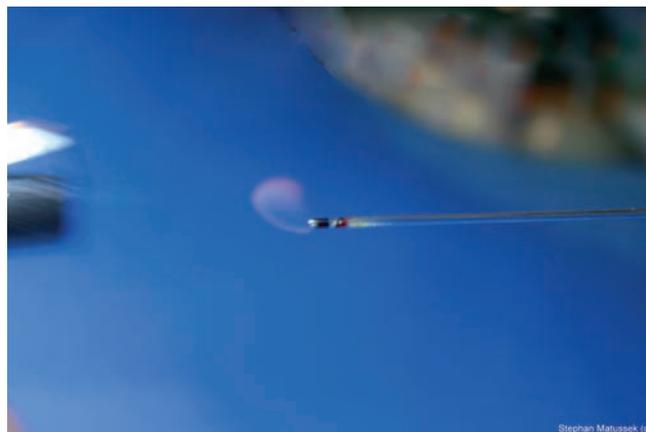


Abb. 10. Verbrennung von Schwefel im Kapillarröhrchen

**Sicherheitshinweis:** Schwefeldioxid und Phosphorpentoxid verursachen schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. Den Rauch nicht einatmen und unter dem Abzug arbeiten.

#### 4.7 Brennbarkeit weiterer Stoffe auf der Magnesiumrinne

Mit dem Mikrobrenner wird die Brennbarkeit weiterer Stoffe wie Platindraht, Magnesium (F), Kupfer (F), Eisen (F), Phosphor (F) und Butan (Feuerzeuggas, F+) untersucht. Dafür wird der jeweilige Stoff auf die Magnesiumrinne gelegt und mit Hilfe der Mikrogasflamme erhitzt. Das austretende Butangas eines Feuerzeugs wird mit einem zweiten Feuerzeug entzündet.

Die Metalle, die in Pulverform vorliegen, können als Kapillarsversuch entzündet werden. Hierbei wird die Kapillare mit 1 bis 2 mm Metallpulver (beispielsweise Magnesiumpulver) gefüllt und mit dem Mikrobrenner entzündet.

Das Reaktionsprodukt, welches sich an der Kapillarspitze befindet, kann abgebrochen und mit Klebeband zur Demonstration auf Pappe aufgeklebt werden. Die Kapillarröhrchen kühlen schnell innerhalb einer Minute ab. Die Reaktionen, beispielsweise das Verbrennen von Magnesium mit Hilfe der Kapillare, kann durch das Eintauchen der Kapillare in ein Gefäß mit Sand gestoppt werden.

**Sicherheitshinweis:** Phosphorpentoxid verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. Den Rauch nicht einatmen, deswegen unter dem Abzug arbeiten.

#### 4.8 Umkehrbarkeit einer Oxidation

##### 4.8.1 Umkehrbarkeit einer Oxidation auf der Magnesiumrinne

Auf der Magnesiumrinne werden von unten her wenige Krümel Silberoxid (O, C) zum Glühen erhitzt (Abb. 11). Nach dem Abkühlen wird der metallene Rückstand auf elementares Silber hin untersucht. Das Silber kann mit einem Spatel abgekratzt werden und mit einem Hammer auf Duktilität geprüft werden.

Der entstehende Sauerstoff wird während des Versuchs mit der Glimmspanprobe nachgewiesen. Der Glimmspan kann auch durch einen Docht aus Toilettenpapier ersetzt werden, der wie ein Glimmspan benutzt wird.



Abb. 11. Reduktion, Thermolyse von Silberoxid

#### 4.8.2 Umkehrbarkeit einer Oxidation im Kapillarröhrchen

Ein Kapillarröhrchen wird 1 cm mit Silberoxid gefüllt und mit dem Mikrobrenner erhitzt. Der entstehende Sauerstoff kann ungehindert durch die ausreichend großen Öffnungen der Kapillare austreten und erhellt die Mikrobrennerflamme. Im Kapillarröhrchen verbleibt gut sichtbar das Element Silber.

**Sicherheitshinweis:** Silberoxid (O, C) verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden; Silberoxid kann als Oxidationsmittel einen Brand verstärken. Es besteht Explosionsgefahr bei Erhitzen unter Einschluss. Deswegen besteht die Gefahr bei Einschlüssen, dass Stoffe aus dem Kapillarröhrchen herausschießen oder das Röhrchen zerbricht. Den Versuch hinter dem Schutzschirm durchführen.

#### 4.9 Ist ein Oxid leichter oder schwerer als sein Ausgangsstoff?

Zunächst wird eine Glaskapillarwaage hergestellt. Dazu wird ein Glasrohr in der Mikrobrennerflamme zu einer ca. 20 cm langen Glaskapillare ausgezogen. Die Glaskapillare wird an einer Stellwand befestigt. Sie wird nun ähnlich einer Blattfeder als Waage benutzt. Am Ende der dünnen Glaskapillare wird ein kleiner Eisenwollbausch (F) gehängt und der Grad der Auslenkung markiert (Abb. 12). Die Eisenwolle wird angezündet



Abb. 12. Verbrennen von Eisenwolle an der Kapillarwaage

und anschließend erneut an die Waage gehängt und der Grad der Auslenkung mit der ersten Markierung verglichen. Die Eisenwolle kann mit Hilfe einer 9 V-Batterie und Kupferelektroden auf dem T-OT mit Hilfe des elektrischen Stroms entzündet werden.

#### 4.10 Der »Kupferbriefversuch« als Kapillarversuch

**Welcher Stoff ist für die Verbrennung eines Brennstoffes verantwortlich?**

Um die Abhängigkeit der Verbrennung vom Luftsauerstoff deutlich zu machen, wird üblicherweise der »Kupferbriefversuch« durchgeführt. Der Kupferbriefversuch wird als Kapillarversuch mit geringen Mengen Kupferpulver (F) ausgeführt. Dazu stopft man eine kleine Menge Kupferpulver (1 bis 2 cm) in eine Kapillare. Nun erhitzt man das Kupferpulver in der Kapillare von außen her mit dem Mikrobrenner. Während sich das Kupferpulver an den Enden der Kapillarröhre im Kontakt mit dem Luftsauerstoff schwarz färbt, bleibt es im Inneren des anaeroben Raums der Kapillare unverändert kupferfarben. An den Stellen an denen das Kupfer mit dem Luftsauerstoff in Berührung kommt oxidiert das Kupfer zu Kupferoxid (Xi, N).

## 5 Bezugsquellen

### 5.1 Einzelgeräte

- Tropfenobjektträger: in medizinischen Fachgeschäften wie Heinz Herenz, Hamburg, Medishop oder Thermo Fisher Scientific
- T-OT Box: Neolab
- Mikrobrenner: Voelkner, Conrad
- Mikrokapillaren: Firma Carl Roth
- Teflonunterlage: handelsübliches Teflon-Backpapier
- Tropfflaschen: Analytics shop, Thermo Fisher Scientific
- Schutzschirm: beim Autor

Alle Geräte und Informationen können auch auf Rechnung beim Autor bezogen werden.

### 5.2 Fertige Experimentierkästen für den Schulbetrieb

Ein Katalog der Geräte, sowie ein Skript »Bewährter Anfangsunterricht Chemie mit 40 Lab in a drop Versuchen«, 120 Seiten, können beim Autor bezogen werden.

## Literatur

MATUSSEK, S. (2013). Lab in a drop – blue drop experience. *MNU*, 66(6), 344–351.

STEPHAN MATUSSEK, [stephan.matussek@online.de](mailto:stephan.matussek@online.de), ist Lehrer an der Katholischen Schule Harburg, Bogenstraße 10, 21220 Seevetal. ■