

Lab in a drop – Blue drop experience

Erfahrungen mit Wassertropfenexperimenten in effizienten Schülerversuchen

STEPHAN MATUSSEK

Für die Durchführung chemischer Schülerversuche steht eine Reihe von Experimenten im Reagenzglas zur Verfügung. Um die Schüler stärker für das Fach Chemie zu interessieren, wurde der Raum eines Reagenzglasversuchs in den Raum eines Wassertropfens verlagert: »Lab in a drop«. Die Eigenschaften des Wassertropfens, die offene Oberfläche, die Oberflächenspannung und die unter den Wasserteilchen wirksamen Kräfte lassen sich beim Experimentieren nutzen. Mit geringen Mengen – Kristall und Tropfen – lassen sich in wenigen Minuten der Reaktionsverlauf, die Edukte, die Reaktionszone und die Produkte beobachten. Die Experimente wurden auf dem 104. MNU-Bundeskongress in Hamburg im Rahmen eines Workshops vorgestellt.

1 Wassertropfenexperimente »Lab in a drop«

Die Erfahrungen, die Schüler in chemischen Experimenten im Fach Chemie, Biologie oder im Lernbereich Natur und Technik der Primarstufe sowie Sekundarstufe I und II machen, sind eine Grundlage für die Erwerbung von Kompetenzen und die Aneignung von Fachbegriffen in den naturwissenschaftlichen Fächern.

Reagenzglasversuche in Klassenstärke benötigen für die Vorbereitung, Auswertung und Auf- und Abbau und die Entsorgung Zeit und eine entsprechende Menge an Chemikalien. Im Unterricht sind die zur Verfügung stehende Chemikalienmenge und der zeitliche Rahmen oft begrenzt.

Die moderne Analytik wird heute häufig im Mikromaßstab durchgeführt. Ein Zucker- oder Eiweißtest wird mit einem Tropfen Probe durchgeführt. Auch die Methoden der Lebensmittelanalytik, der Medizin, der Pharmazie oder der DNA-Spurenicherung der Polizei werden im Mikromaßstab durchgeführt.

Um die Schüler stärker für das Fach Chemie und den Lernbereich Natur und Technik zu interessieren und ihnen die Erfahrung des Experimentierens zu ermöglichen, wurde der Raum eines Reagenzglasversuchs in den Raum eines Wassertropfens verlagert: »Lab in a drop«. (Abb. 1)



Abb. 1. Die Geräte für die Tropfenexperimente im Überblick

Das klassische Glasgefäß wird durch einen Tropfen auf einem Objektträger ersetzt, die Mengen der Chemikalien reduziert. Dabei werden die natürlichen Eigenschaften des Tropfens, die offene Oberfläche, die Oberflächenspannung und die unter den Wasserteilchen wirksamen Kräfte beim Experimentieren im Schülerversuch genutzt.

Je weniger Reagenzien in diesen Versuchen eingesetzt wurden, umso deutlicher wird dabei die charakteristische Wirksamkeit der Chemikalien. Die natürlichen kleinen Einheiten, Tropfen und Kristall, definieren schließlich die Menge der eingesetzten Chemikalien. Damit ist ein erster Hinweis auf die Nachhaltigkeit der Lab in a drop-Versuche gegeben. Als Versuchsergebnis sind im Wassertropfen der Reaktionsverlauf, die Edukte, die Reaktionszone und die Produkte zu beobachten. Die Experimentierzeit verkürzt sich auf wenige Minuten und lässt sich in eine Unterrichtsstunde einfügen. Dadurch werden diese Versuche effizient.

1.1 Einige Fragen

- Nehmen die Schüler die angebotenen Versuche an?
- Können die Schüler die Versuche handhaben?
- Verlaufen die chemischen Reaktionen wie gewohnt?
- Welche Beobachtungen machen die Schüler?
- Bewährt sich der Auf-, Abbau und die Auswertung im Unterricht?
- Welche neuen Methoden ergeben sich? Wo liegen ihre Grenzen?
- Sind neben qualitativen Aussagen auch (halb-) quantitative Aussagen möglich?
- Können die Methoden didaktisch und methodisch begründet werden?
- Wie effizient und nachhaltig sind die Experimente im Unterricht?

1.2 Eine didaktische Überlegung

In Schülerversuchen werden den Schülern Geräte und Chemikalien anvertraut. Damit rückt der zentrale pädagogische Begriff »Vertrauen« in den Mittelpunkt des Unterrichts. Das Vertrauen des Lehrers in die Handlungs- und Erkenntnisfähigkeit der Schüler wird zum Ausgangspunkt des

Unterrichts gemacht. Der Schüler vertraut seinerseits auf die Sicherheit der Experimente. Damit wird die Grundlage eines handlungsorientierten Unterrichts gelegt. Womöglich ist dies mit ein Grund, warum Schüler mit Schülerversuchen an naturwissenschaftliche Phänomene herangeführt werden können. Die Anwendbarkeit und Handhabbarkeit der Versuche im Unterricht ist somit eine unterrichtsrelevante Frage.

1.3 Eine methodische Überlegung

Für eine verantwortliche Durchführung dieser Schülerexperimente in Klassenstärke wurden die Versuche nach der Methode der nummerierten Köpfe gestaltet (Abb. 2). Durch vier unterschiedliche Funktionen innerhalb einer Gruppe lassen sich die Versuche, streng im Sinne von »Verantwortung übernehmen«, durchführen. Die Sicherheit wird von den Schülern untereinander kontrolliert. Der Versuchsaufbau ist auf einem Blick überprüfbar. Durch die Ausgabe geringer Mengen Chemikalien lässt sich der Ablauf der Versuche steuern.

<p>Gruppensprecher ist verantwortlich für die Gruppe:</p> <p>teilt die Gruppe ein, achtet auf die Regeln, achtet auf die Sicherheit, vertritt die Gruppe.</p> <p>Lab in a drop © Stephan Matussek</p>
<p>Laborant ist verantwortlich für den Versuch:</p> <p>teilt die Reihenfolge ein, überwacht die Sicherheit während des Versuches.</p> <p>Lab in a drop © Stephan Matussek</p>
<p>Protokollant ist verantwortlich für die Protokolle:</p> <p>legt die Protokolle vor, teilt der Gruppe die neuen Aufgaben mit.</p> <p>Lab in a drop © Stephan Matussek</p>
<p>Materialwart ist verantwortlich für das Material:</p> <p>holt und bringt das Material, teilt den Auf- und Abbaudienst ein.</p> <p>Lab in a drop © Stephan Matussek</p>

Abb. 2. Die Ausweise der nummerierten Köpfe

1.3.1 Methode der nummerierten Köpfe

Die Schüler werden in Vierergruppen nach der Methode der »nummerierten Köpfe« eingeteilt. Sie erhalten einen Ausweis (Abb. 2), auf dem ihre Aufgaben zusammengefasst sind. Die Aufgaben der Gruppenleiter, Materialwarte, Laboranten und

Protokollanten werden vor dem Versuch abgesprochen. In der Erprobung der Lab in a drop-Versuche haben bis zu 32 Schüler gleichzeitig experimentiert. Auf der 104. MNU-Tagung in Hamburg haben 32 Teilnehmer in einem Workshop ausgewählte Experimente ausprobiert. (Abb. 3).



Abb. 3. MNU-Teilnehmer bei der Durchführung von Tropfenexperimenten.

1.4 Überlegungen zur Sicherheit:

Die Chemikalien werden an die Schüler ausgegeben, wenn im Vorwege die allgemeinen Sicherheitsbestimmungen, die in der Schule gelten, eingehalten sind. Der Sicherheitsaspekt wird in den Versuchen angesprochen und veranschaulicht. Wenn beispielsweise ein Silbernitratkristall ca. 6 cm Kupferdraht versilbert, kann so die ätzende Wirkung dieses Kristalls auf die Haut abgeschätzt werden. Die Schüler lernen auf diese Weise die Wirksamkeit und die Handhabung kleinster Stoffmengen kennen.

Die Experimente werden auf der Tropfenobjektträger Box, abgekürzt T-OT-Box (Abb. 4) durchgeführt. Der scharfkantige Glas-Objektträger kann so gefahrlos in die Hand genommen und betrachtet werden. Dabei wird eine Schutzbrille getragen und die Reaktionen mit einer geschlossenen Käfiglupe näher betrachtet.



Abb. 4. Der Tropfenobjektträger T-OT auf der T-OT-Box

Versuche mit Gefahrenpotential, etwa mit konzentrierten Säuren, werden hinter einen selbst gefertigten Sicherheitsschirm aus Acrylglas durchgeführt. Hinter dem Schutzschirm kann von beiden Seiten, vergleichbar einer Sicherheitsbank, gearbei-

tet werden. Vom Öffnen der Tropfflaschen bis zur Entsorgung werden alle Handgriffe hinter dem Sicherheitsschirm (Abb. 5) ausgeführt.



Abb. 5. Arbeiten hinter dem Schutzschirm auf dem MNU-Workshop

1.5 Erste Erfahrungen

Die Wassertropfen-Experimente fordern das Interesse der Schüler heraus. Beispielsweise wurden die Reagenzien immer weiter reduziert, am Ende mit der Erfahrung, weniger ist oft mehr. Die Chemikalienmenge wurde schließlich auf einen Tropfen und die Menge eines Kochsalzkristalls reduziert. Gleichzeitig lässt sich der Reaktionsablauf genauer beobachten.

Die zwölf Felder des Tropfenobjektträgers, hier abgekürzt mit T-OT fordern zum Wiederholen, Vergleichen, Variieren oder neu zu kombinieren heraus. Insgesamt benötigen die *Lab in a drop*-Versuche vom Aufbau, Abwasch und Abbau einschließlich der Auswertung kaum eine Schulstunde. Die Versuche haben sich auch in der Situation von Klassenarbeiten bewährt.

2 Die Grundlagen

2.1 Die Geräte

Es werden für die *Lab in a drop*-Versuche im Wesentlichen nur drei Geräte, Tropfenobjektträger (T-OT), Tropfflaschen und (Mikro-)Spatel benötigt. Damit ergibt sich ein Hinweis auf die Effizienz der Versuche.

Die Tropfen-Objektträger (T-OT) sind mit einer hydrophoben Kunststoffschicht überzogen, auf der zwölf Felder ausgespart sind. So erhalten die Tropfen eine einheitliche Größe. Die Oberflächenspannung des Wassers zwingt ihre Oberfläche in eine etwa halbkugelige Form. Aus der Sicht der Optik wirken die Tropfen wie eine optische Lupe. In ihnen wird das Licht gebrochen. Die festen Teile oder Gasbläschen im Wassertropfen erscheinen deshalb größer. Der T-OT kann auch auf den Kopf gedreht werden. So kann mit einem »hängenden Tropfen« gearbeitet werden.

Diese Objektträger finden normalerweise in medizinischen Untersuchungen Verwendung. Die paarweise Anordnung der Felder entspricht den »Bornschen Zahlenbildern« der Mathematik. Lernpsychologisch gesehen erleichtert diese Anordnung der Felder eine Strukturierung, die Auffassung und den Vergleich von mehreren Experimenten gleichzeitig, etwa bei einem pH-Werte-Vergleich.

Mit einer qualitativ höherwertigen Tropfflasche werden die Tropfen aufgebracht. Schließlich ist das Einbringen von Flüssigkeiten, Feststoffen oder Gasen in den Miniatur-Experimentier-

raum möglich. Diese Versuchsanordnung hat sich über mehrere Jahre in der Schule bewährt. Die Tropfen-Objektträger, wie auch die Tropfflaschen, können unter den Namen »diagnostische Objektträger« und »Tropfflaschen« im Handel bezogen werden. Die im Unterricht bewährten Geräte hat der Autor in einem kleinen Katalog für den Schulbetrieb zusammengestellt. Der kleine Katalog kann beim Autor bestellt werden.

Der T-OT wird auf die T-OT Box (Abb. 4) gelegt. So kann er in die Hand genommen werden und von allen Seiten betrachtet werden. Bis zu fünf Objektträger können auf verschiedenen Höhen in die Box eingesteckt werden.

Zum Abwaschen werden die benutzten TOT's am Beschriftungsfeld angefasst und in eine mit Seifenlösung gefüllte Waschbox (Abb. 1) getaucht. Schließlich werden sie trocken gerieben und bis zum nächsten Versuch in der T-OT Box sicher verwahrt. Hartnäckige Rückstände können mit einem handelsüblichen Ultraschallgerät gereinigt werden.



Abb. 6. Die T-OT Box mit verschiedenen Höheneinstellungen.

2.2 Die grundlegenden Methoden

Es ergeben sich für die *Lab in a drop*-Versuche drei wesentliche Methoden. Die Methoden werden hier mit Akronymen bezeichnet:

- Die **F e t r o - M e t h o d e**: Ein Feststoff wird in den Wassertropfen geschoben.
- Die **F l ü t r o - M e t h o d e**: Eine Flüssigkeit wird in den Wassertropfen geleitet.
- Die **G a t r o - M e t h o d e**: Ein Gas wird über den Tropfen geleitet.

Die Findung und Benennung der Methoden mit Akronymen haben sich im Unterricht bewährt. Akronyme können eine Gedächtnisstütze sein für die dahinter stehenden Fachausdrücke.

2.3 Ausgewählte Versuche

Im Folgenden werden Versuche zu den Themen

- Aggregatzustände,
- Trennverfahren,
- Fällungsreaktionen,
- Säure-Base,
- Elektrochemie,
- Hauptgruppe,
- Lebensmittelchemie und
- Biologie

vorgestellt.

3 Erste Auseinandersetzung mit den Versuchen

In einer ersten Übungseinheit setzten sich die Schüler mit den optischen Eigenschaften der Wassertropfen auseinander. Sie erlernen den Umgang mit dem *T-OT* und der Tropfflasche. Es wird Gelegenheit gegeben, die Aggregatzustände wie das Gefrieren und anschließende Auftauen und Erhitzen der Wassertropfen zu beobachten. Dazu wird der *T-OT* auf ein Kühlpack gelegt. Auf einer Heizplatte werden Tropfen zum Sieden gebracht. An einem Uhrglas über den *T-OT* kondensieren kleine Wassertropfchen. Ein Kristall Iod sublimiert durch mehrere Schichten Papier, wenn der Kristall zusammen mit dem *T-OT* in Papier eingewickelt wird. Das Lösen und die Diffusion von Stoffen im Wassertropfen veranschaulicht ein kaum zu sehender Kristall Kaliumpermanganat, der in den Wassertropfen geschoben wird (Abb. 7).



Abb. 7. Ein Kristall Kaliumpermanganat in Wasser.

3.1 Trennverfahren

3.1.1 Trennung von Eisen und Schwefel

Hierbei wird eine Mikrospatelspitze Schwefelpulver und Eisenpulver eingesetzt. Aufgrund der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften wird das Gemisch mit einem Magneten getrennt. In weiteren Trennversuchen wurde versucht, das Eisen-Schwefelgemisch auf dem *T-OT* als schiefe Ebene zu trennen, das Schwefelpulver mit Seifenschaum aufzuschwemmen, das Schwefelpulver mit einem Strohhalm als »Gebläse« vom Eisenpulver abzutrennen und versucht das Schwefel-Eisengemisch auf dem *T-OT* mit Ultraschall zu trennen. Dazu wurde der *T-OT* von der Unterseite mit einer Ultraschallzahnbürste in Schwingungen versetzt. Die Trennung mit den Magneten erwies sich als die effektivste Methode und wird beispielsweise in der Abfallverwertung eingesetzt (Abb. 8).

3.1.2 Die Löslichkeit von Eisen und Schwefel

Auf einem *T-OT* werden ein Tropfen Wasser, Spiritus, verdünnte Salzsäure und Toluol gegeben und jeweils ein Körnchen Schwefel und Eisen in die vorbereiteten Tropfen geschoben.

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

3.1.3 Die Trennung von Kochsalz und Seesand, die Filtration-Methode

Die Trennung von Kochsalz und Seesand erfolgt üblicherweise durch das Auflösen des Kochsalzes in Wasser und die anschließende Filtration. Die im Tropfen eingesetzten Mengen, etwa ein bis drei Kristalle Kochsalz und wenige Körnchen Seesand lassen sich nicht filtrieren. Bei einer quantitativen Filtration wird die im Filter festgehaltene Lösung herausgewaschen. Diese Technik wird für eine verkürzte Filtration der »Filtration-Methode« genutzt. Zu dem oben beschriebenen Gemisch wird ein Tropfen Wasser gegeben. Die Kochsalzlösung wird mit einem Streifen Filterpapier aufgesaugt und vom Sand abgetrennt. Das »Filtrat« im Filterpapier wird schließlich in einem zweiten Wassertropfen ausgewaschen (Abb. 9). In einem anschließenden Versuch kann im zweiten Tropfen Chlorid in einer Fällungsreaktion mit Silbernitrat und Natrium mit der Flammenprobe nachgewiesen werden.

Hinweis: Silbernitrat verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen. Der Versuch sollte hinter dem Schutzhelm mit Handschuhen durchgeführt werden.

3.2 Fällungsreaktionen

3.2.1 Die Methode der »ineinanderfließenden Tropfen«, die Flütro-Methode.

Die folgende Flütro-Methode beschreibt die Annäherung und Berührung eines Agens- und Reagenztropfens. Die Tropfen



Abb. 8. Die Trennung von Eisen (Feld 3) und Schwefel (Feld 1).

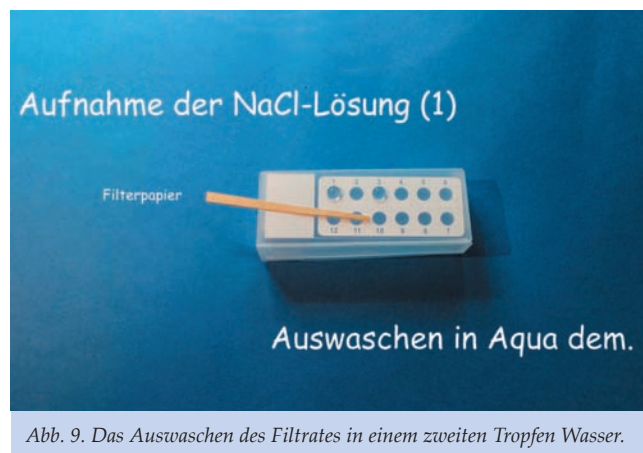


Abb. 9. Das Auswaschen des Filtrates in einem zweiten Tropfen Wasser.

werden in der Flütro Methode etwa mit einem Glasstab oder Spatel zum Zusammenfließen gebracht. Durch die Vereinigung der Oberflächen, der Eigenbewegung und Diffusion der Teilchen wandern die Agens- und die Reagenz-Teile in den jeweils gegenüberliegenden Tropfen. An der Vereinigungsstelle reagieren beispielsweise Silber-Kationen und Chlorid-Anionen miteinander und Silberchlorid fällt aus. Das Fortschreiten der Reaktion ist beobachtbar.

Hinweis: Silbernitrat verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen. Der Versuch sollte hinter dem Schutzschirm mit Handschuhen durchgeführt werden.

3.2.2 Die Methode der »ineinander-fließenden Tropfen mit Detergenzien, die Flüdetro-Methode.

In der Flüdetro-Methode wird ein Detergentropfen zwischen Agens und Reagenz eingebracht. Der Verlust der Oberflächenspannung führt dazu, dass die Tropfen gleichmäßiger ineinander fließen. Der zwischen dem Seifentropfen und Wassertropfen auftretende Konzentrationsgradient bewirkt, dass Agens und Reagenz mit einer größeren Geschwindigkeit aufeinander treffen. Der Reaktionsablauf, etwa bei einer Fällungsreaktion, verdeutlicht sich dadurch (Abb. 10).

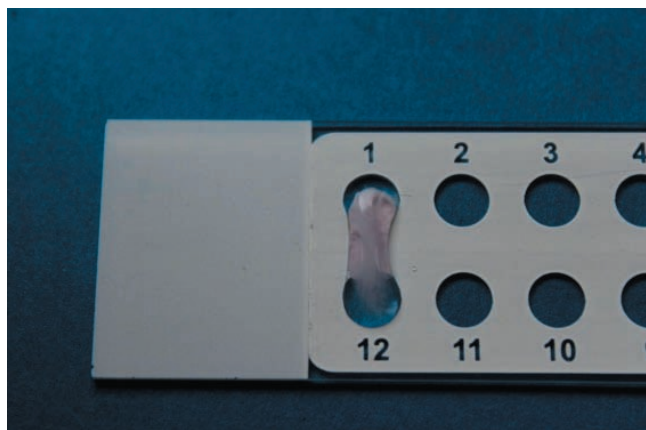


Abb. 10. Die Methode der ineinander fließenden Tropfen.

3.2.3 Die Methode der »aufeinander-zu-diffundierenden« Fest-Stoffe, die Fetro-Methode

Auf das Ansetzen von Lösungen kann in den Lab in a drop-Versuchen oft verzichtet werden. Dies ist ein Hinweis für die Effizienz der Versuche.

Im ersten Schritt wird auf eine Kochsalzlösung verzichtet und ein Kristall Kochsalz direkt in eine Silbernitratlösung geschoben. Im letzten Schritt wird auf fertige Lösungen gänzlich verzichtet und ein Kristall Kochsalz und ein Kristall Silbernitrat in einen Wassertropfen geschoben. Das Auflösen, die Diffusion und Fällung der Stoffe im Wassertropfen ist hier beobachtbar. Mit der Fetro-Methode wurden die Anionen-Nachweise beispielsweise für Chlorid-, Iodid- und Sulfationen im Unterricht eingeführt.

Hinweis: Silbernitrat verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen. Der Versuch sollte hinter dem Schutzschirm mit Handschuhen durchgeführt werden.

3.2.4 Die Methode der Gas-Absorption in einem Wassertropfen, die Gatro-Methode

3.2.4.1 Kohlenstoffdioxidnachweis im Kalkwassertropfen

Atemluft (Abb. 11) wird mit Hilfe eines Strohhalmes über den Tropfen geleitet. Die Kohlenstoffdioxidkonzentration reicht bei den Bedingungen von Druck und Temperatur aus, um in ausreichender Menge in den Tropfen hinein zu diffundieren. Bereits nach kurzer Zeit färbt sich der Tropfen durch ausfallendes Calciumcarbonat weiß. Die Aufnahme von Gasen wird auch im Versuch 3.3.4. behandelt.



Abb. 11. Nachweis von Kohlenstoffdioxid in einem Calciumhydroxid-tropfen.

3.3 Ausgewählte Säure-Base-Experimente

3.3.1 Indikatoren

Mit einem Indikatortropfen werden die in der Chemie und im Haushalt gängige Säuren und Basen unterschieden. Bis zu sechs verschiedene Proben können gleichzeitig untersucht und verglichen werden (Abb. 12). Dazu wird eine zu untersuchende feste oder flüssige Substanz in den gegenüberliegenden Indikatortropfen, beispielsweise Lackmus oder Universalindikator, geschoben (vergl. Fetro-Methode, Flütro/Flüdetro-Methode).



Abb. 12. Nachweis der Säure mit Lackmus nach der Indetro Methode.

3.3.2 pH-Wert

Der Säuretropfen aus Feld 2 (Abb. 13) fließt mit Hilfe eines Glasstabes langsam in ein kleines Stück pH-Universal-Papier (Flütro- Methode). Der einsetzende Farbumschlag lässt sich gut verfolgen. Die Schüler ermittelten so den pH-Wert verdünnter Säuren, Pufferlösungen und Lebensmitteln wie beispielsweise Zitronensäure oder Essig.



Abb. 13. Bestimmung des pH-Wertes.

3.3.3 Neutralisation

3.3.3.1 Neutralisation mit der Flütro/Flüdetro-Methode

Um den Prozess der Neutralisation zu untersuchen, lässt man einen Tropfen Salzsäure ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) und ein Tropfen Natronlauge ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) ineinander fließen. (Flütro/Flüdetro-Methode). Dabei werden die Tropfen vor dem Zusammenfließen mit einem Universalindikator versehen. An der Stelle, an der die chemisch wirksamen Teilchen aufeinander treffen, findet der Farbumschlag statt. Die Neutralisation vollzieht sich demnach auf einen kaum ein Millimeter schmalen Streifen. Die Versuche mit ätzenden Säuren oder Laugen werden hinter dem Schutzschirm durchgeführt.

3.3.3.2 Neutralisation mit Hilfe eines Universalindikatorstreifens (Flütro-Methode)

Ein Streifen Indikatorpapier wird zwischen einen Säure- und Basetropfen auf den T-OT geschoben. Die gegenüberliegenden Säure- und Basetropfen werden durch die Kapillarkräfte des Indikatorpapiers zur Mitte hin angesaugt. In einem schmalen Streifen, dem Ort der Neutralisation, färbt sich das Indikatorpapier gelb-orange, entsprechend dem neutralen pH Wert von 7 (Abb. 14).

Hinweis: Die Versuche mit ätzenden Säuren oder Laugen werden hinter dem Schutzschirm durchgeführt.

3.3.3.3 Auflösen einer Muschelschale in verdünnter Salzsäure.

3.3.3.3.1 Kohlenstoffdioxidnachweis mit der »Methode des hängenden Tropfens« (Hängtro-Methode)

Auf ein Körnchen zerstoßener Muschelschale wird ein Tropfen verdünnte Salzsäure gegeben. Das austretende farblose

Gas wird gleichzeitig mit einem hängenden Calciumhydroxidotropfen, der Hängtro-Methode (»Methode des hängenden Tropfens«) untersucht. Schon nach kurzer Zeit färbt sich die Calciumhydroxid-Lösung weiß. Die kleinen Mengen Muschelschale und verd. Salzsäure reichen aus, um eine nachweisbare Kohlenstoffdioxidmenge zu erzeugen.

Hinweis: Die Versuche mit ätzenden Säuren oder Laugen werden hinter dem Schutzschirm durchgeführt.

3.3.3.3.2 Die Aufnahme von Gasen durch den Wassertropfen

Die freiliegende Oberfläche eines Wassertropfens kann diesen Versuchen zufolge wasserlösliche Gase schnell aufnehmen. Auf diese Weise kann man die Aufnahme kleinster Mengen von Chlorwasserstoffgas oder Ammoniakgas nachweisen. Die *Lab in a drop*-Versuche können so als Regentropfen-Modell eingesetzt werden, um die Aufnahme von Umweltgasen, beispielsweise Schwefeloxide und Stickoxide, durch die Regentropfen zu untersuchen. Auf diese Weise kann man künstlichen sauren Regen erzeugen und untersuchen.

3.3.3.4 Neutralisation von konz. Chlorwasserstoffgas und konz. Ammoniakgas, Arbeiten hinter einem Schutzschirm

Hinter einem Schutzschirm und mit Schutzhandschuhen werden die konzentrierten Reagenzien Salzsäure und Ammoniak auf den T-OT gegeben (Abb. 15). Durch das Drehen und das Einschieben der T-OTs in die T-OT-Box werden die Tropfen zur Deckung gebracht. Die Gase der Reagenzien treffen aufeinander und reagieren zu Ammoniumchlorid. Die konzentrierte Ammoniak- und Salzsäurelösung werden anschließend in die mit Wasser gefüllte Waschbox getaucht. Auf diese Weise werden die Lösungen hinter dem Schutzschirm verdünnt und können entsorgt werden.

3.3.4 Einwirkung von Salzsäure auf verschiedene Metalle

Entsprechend ihrer Stellung zum Wasserstoff in der Spannungsreihe verlaufen die Reaktionen der Metalle mit Salzsäure unterschiedlich heftig. So können Metalle verglichen und geordnet werden (Abb. 16).

Die Versuche mit ätzenden Säuren oder Laugen werden hinter dem Schutzschirm durchgeführt.



Abb. 14. Neutralisation von NaOH ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) mit HCl ($c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$) – (Flütro-Methode)

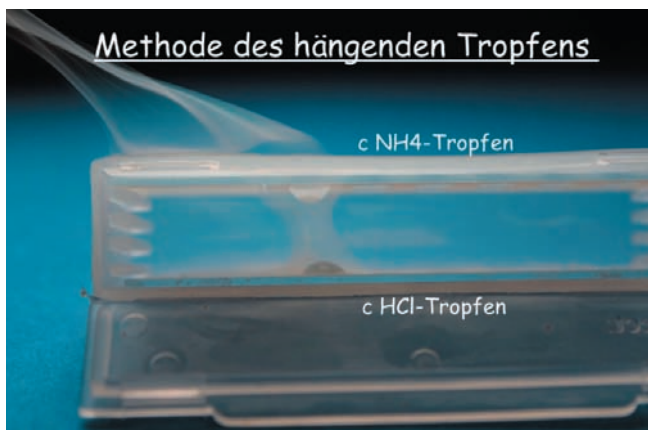


Abb. 15. Ein Salzsäuretropfen, darüber ein hängender Ammoniaktropfen in der offenen TOT Box.



Abb. 16. Edle und unedle Metalle (Cu 1, Fe 3, Mg 5).

3.4 Ausgewählte Versuche zur Elektrochemie

In den Experimentierraum Lab in a drop werden zwei Kupferelektroden eingeführt, die an einer Blockbatterie 9 V angeschlossen sind. Die Elektrolyse verläuft schnell und ist schwer beobachtbar. Bei der üblichen Elektrolyse in einen U-Rohr werden die Kathoden- und Anodenräume durch eine Fritte getrennt. Zwei Elektrolyttropfen, der Anoden- und Kathodenraum werden mit Hilfe eines Tropfens Gummi Arabicum, oder eines Papierklebers auf Wasserbasis getrennt. Dieser durch Po-



Abb. 17. Die Elektrolyse von Zinkiodid bei 9 V Gleichstrom.

lymere »klebrig«, viskos gewordene »Wassertropfen« hält die Anoden- und Kathodenräume auf Distanz und leitet gleichzeitig den elektrischen Strom. So können in kurzer Experimentierzeit auswertbare Ergebnisse erzielt werden.

3.4.1 Die Elektrolyse von Zinkiodid

Als Elektroden können normale Kupferleitungsreste verwendet werden. Sie werden abisoliert, blank geschliffen und um einen Bananenstecker gewickelt. So können sie mit einer 9 Volt Blockbatterie, oder einem Stromversorgungsgerät (6 bis 10 V-) oder Solarzelle verbunden werden. Der Versuch wird nun mit einem Kristall Zinkiodid und einem Tropfen Wasser, wie unter 3.4 beschrieben, durchgeführt.

Hinweis: Zinkiodid verursacht Hautreizungen, schwere Augenreizungen und kann die Atemwege reizen. Der Versuch wird hinter dem Schutzschirm durchgeführt.

3.4.2 Versilbern von Kupferdraht

Ein Kristall Silbernitrat wird in einen Tropfen Wasser geschoben und so eine Silbernitrat-Lösung hergestellt (Fetro-Methode). Mit dieser Menge wird ein etwa 6 cm langer, blank geschliffener Kupferdraht mit einem voluminösen Silberniederschlag überzogen (Abb. 18). Mit einem Tropfen Ammoniak werden die aus dem Metall in Lösung gegangenen Kupfer-Ionen nachgewiesen. Durch die Verwendung geeigneter Metalle und deren Salze wird das unterschiedliche Bestreben verschiedener Metalle, in den Ionenzustand überzugehen, nachgewiesen.

Hinweis: Silbernitrat verursacht Hautreizungen und schwere Augenreizungen. Der Versuch sollte hinter dem Schutzschirm mit Handschuhen durchgeführt werden.



Abb. 18. Ein Kupferdraht reagiert mit einem Kristall gelösten Silbernitrat.

3.4.3 Bau einer Lithium-Kupferbatterie

Ein Kupferdrahtende wird zu einer Öse gedreht. In diese wird ein Tropfen Elektrolyt Kupfersulfatlösung gegeben. Die Öse ist so gebogen, dass sich der Tropfen aufgrund seiner Oberflächenspannung hält. Darauf wird ein mit Kupfersulfat getränktes Filterpapier gelegt. Auf das Filterpapier wird ein wenige Quadratmillimeter großer Lithiumspan gelegt. Eine umfunktionierte Bleistiftmine führt die Elektronen vom Lithium ab (Abb. 19). Die erreichte Spannung liegt aufgrund des einfachen Aufbaues etwas unter dem zu erwartenden Wert.

Hinweis: Lithium reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Wasserstoffgase. Auf der Haut und im Auge verursacht es Verätzungen. Der Versuch sollte hinter dem Schutzschirm mit Handschuhen durchgeführt werden. Anschließend werden die Reste auf den T-OT in Brennspirituss getaucht.



Abb. 19. Die Lithiumionenbatterie auf dem T-OT.

3.5 Die erste Hauptgruppe

3.5.1 Reaktion von Natrium und Wasser im Tropfenversuch

Natrium reagiert mit Wasser unter Bildung hochentzündlicher Wasserstoffgase. Auf der Haut und im Auge verursacht es Verätzungen. Deswegen dürfen Schüler mit Natrium nicht arbeiten. Um die Gefahren der Reaktion von Natrium und Wasser zu entschärfen, wurde die Menge des Natriums auf einen dünnen Natriumspan reduziert. Dazu teilt man einen abgespannten dünnen Natriumspan wiederum in kleinere Stücke auf und bewahrt diese zwischen zwei mit Petroleum getränkten Filterpapieren bis zum Versuch auf. Statt eines Wassertropfens lässt man das Natrium mit einem Klebstofftropfen auf Wasserbasis reagieren. Das Natrium wird mit dem Mikrospatel in den Klebstoff-Tropfen geschoben. Die Polymere des Klebstofftropfens mit ihren Adhäsions- und Kohäsionskräften verlangsamen die Reaktion auf mehrere Minuten. Vermutlich wird die Beweglichkeit der Wasserteilchen eingeschränkt. Gleichzeitig sorgt der Zusammenhalt der Polymerteilchen dafür, dass die entstehenden Gasblasen nicht verpuffen, den Klebstofftropfen nicht verlassen und anwachsen können. Es kann nun probiert werden, die Wasserstoffgase mit dem Streichholz oder Piezozünder zu entzünden. In den Tropfen werden vor der Reaktion wenige Körnchen Thymolphthalein geschoben. Eine fortschreitende Blaufärbung weist bei diesem Versuch auf die entstehenden Hydroxid-Teilchen hin. Anschließend werden die Reste auf den T-OT in Brennspirituss getaucht und entsorgt. Der Versuchsablauf wurde mit einem Handy gefilmt. Mithilfe einer Linse aus einem ausgebauten Lasergerät¹ lassen sich Aufnahmen im Wassertropfen anfertigen. Die so gemachten Aufnahmen können an einem Bildschirm ausgewertet werden.

3.6 Ausgewählte Versuche zur Lebensmittelchemie

3.6.1 Der Stärkenachweis im Wassertropfen

Die Schüler einer fünften bis siebten Klasse untersuchten auf dem T-OT auch eine Reihe von im Schulgarten gezogene Gemü-

sesorten, Pflanzensamen und Lebensmittel mit einer Iodlösung auf Stärke. Aus den vermeintlichen Abfällen wie Kartoffelschalen wurden beispielsweise Miniaturkartoffeln geschnitten und anschließend auf einer Heizplatte im Wassertropfen gekocht (Abb. 20). Sowohl in den Kartoffelstücken wie auch im Kochwassertropfen wurde anschließend Stärke nachgewiesen.



Abb. 20. Kochen von Kartoffeln im Wassertropfen

3.6.2 Der Zuckernachweis

Der Zuckernachweis mit den Fehlingschen Lösungen I und II ist bekanntlich sehr empfindlich. So wurde beispielsweise aus einem Tropfen fermentierten (gekauten) Brotes der Zuckernachweis auf dem T-OT durchgeführt. Mit einem Wattestäbchen wird der Tropfen aufgebracht, mit einem Tropfen Fehling I und Fehling II versetzt und auf der Heizplatte kurz erhitzt (Abb. 21).

Hinweis: Fehling II enthält Natriumhydroxid und verursacht Verätzungen. Die Versuche werden hinter dem Schutzschirm durchgeführt.



Abb. 21. Der Zuckernachweis mit Fehlingscher Lösung I und II.

3.6.3 Die alkoholische Gärung

Mit den Grundstoffen Wasser, Zucker und Hefe wurde der Gärprozess im Mikromaßstab untersucht (Abb. 22) Um die Bläschenbildung zu beschleunigen, kann man den T-OT in der Hand leicht erwärmen.

¹ <http://www.spiegel.de/fotostrecke/makro-handykamera-selbstgemacht-nahaufnahmen-mit-dvd-linse-fotostrecke-74542-2.html>

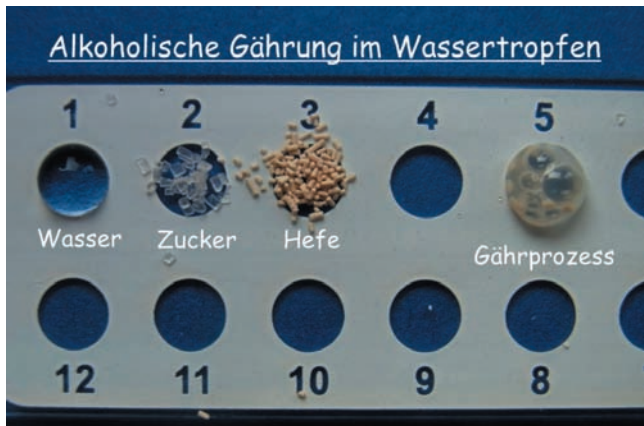


Abb. 22. Wasser, Zucker und Trockenhefe leiten den Gärprozess im Wassertropfen (5) ein.

3.6.4 Die Isolierung und Fusion pflanzlicher Protoplasten im Wassertropfen

Die Protoplastenkultur ist eine Methode der Pflanzenzüchtung. Die üblichen Labormethoden der Isolierung und Anreicherung von Protoplasten ist sehr arbeitsaufwendig. Erst die Entdeckung, dass man Protoplasten in einen Wassertropfen auf dem Objektträger durch einfaches Ausschütteln des »angedauten« Gewebes in hoher Konzentration anreichern und fusionieren kann machte einen *Lab in a drop* Schulversuch möglich. (NELLEN, U. R. & MATUSSEK, S. (1990))

4 Fazit

Die gewohnten und für den Chemiker unersetzlichen Handgriffe der Reagenzglasversuche können diese *T-OT* Versuche nicht ersetzen.

Wohl aber lassen sich die chemischen Reaktionen im *Lab in a drop*-Versuch in der oben beschriebenen Weise oft deutlicher und weniger zeitaufwendig durchführen. Die wenigen Geräte, der schnelle Zugriff auf die Versuche, die Kürze der Durchführung und der schnelle Abbau sprechen für die Tropfenversuche. Die Reduzierung der eingesetzten Chemikalien um einen mehrstelligen Faktor gegenüber den Reagenzglasversuchen lassen diese Versuche sicher, effektiver und nachhaltiger werden. Die Schüler sammeln Erfahrungen über die chemische Wirksamkeiten von Stoffen und zogen den Schluss: »Je geringer meine eingesetzten Stoffmengen sind, umso detaillierter fallen meine Beobachtungen aus, umso effizienter sind meine Versuche.«

In der mehrjährigen Erprobung der Versuche im Unterricht haben sich die *Lab in a drop*-Versuche im Wassertropfen in didaktischer und methodischer Hinsicht als lehrreich und effizient herausgestellt.

Ein kleiner Geräte Katalog sowie eine Liste von Versuchen können beim Autor bezogen werden.

Literatur

NELLEN, U. R. & MATUSSEK, S. (1990). Isolierung und Fusion pflanzlicher Protoplasten. *Unterricht Biologie, Biotechnik*, UB 151/14, 45–47.

STEPHAN MATUSSEK ist Lehrer an der Katholischen Schule Harburg Bogenstraße 10, 21220 Seevetal, Stephan.matussek@online.de ■ □