
Low-Cost- Experimentiertechniken für den naturwissenschaftlichen Unterricht

- Ein Handbuch für die Lehrerinnen und Lehrer der
naturwissenschaftlichen Fächer -

Entwickelt im Rahmen des Projektes
SALiS – Student Active Learning in Science

von

Nicole Poppe

Silvija Markic

Ingo Eilks



European Commission
TEMPUS

##511275-TEMPUS-1-2010-1-GE-TEMPUS-JCPR (Agreement ,2010-33821/001-001)

© Nicole Poppe, Silvija Markic, Ingo Eilks
Universität Bremen – Institut für Didaktik der Naturwissenschaften

Gefördert im TEMPUS-Programm der EU: *SALiS - Student Active Learning in Science*
##511275-TEMPUS-1-2010-1-GE-TEMPUS-JCPR (Agreement ,2010-33821/001-001)

Vorwort

Von 2010 bis 2012 fördert die EU im Rahmen des Programms TEMPUS zehn Partnerinstitutionen aus sechs Ländern mit dem Projekt SALiS. Beteiligt sind Partner aus Georgien, Deutschland, Irland, Bulgarien, Moldawien und Israel.

SALiS steht für *Student Active Learning in Science*. Gegenstand des Projekts ist die Förderung schüleraktiven, experimentellen und forschenden Unterrichts in den naturwissenschaftlichen Fächern. Hierzu werden im Rahmen von SALiS Aus- und Fortbildungsmodule für Lehrkräfte in den Naturwissenschaften entwickelt und implementiert. Es werden aber auch Lehr- und Ausbildungsmaterialien entwickelt, die helfen sollen, Unterricht im oben beschriebenen Sinne zu unterstützen.

Das vorliegende Handbuch ist eine Anleitung zur Nutzung verschiedener Low-Cost-Experimentiertechniken für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Beim Low-Cost-Experimentieren werden Geräte und Chemikalien aus Alltagszusammenhängen benutzt. Diese können aus dem Supermarkt, dem Baumarkt, der Medizintechnik oder Aquaristik stammen. Sie sind dadurch überall und zu sehr geringen Kosten verfügbar. Sie nehmen aber auch Rücksicht auf abfallarmes und sicheres Experimentieren.

Low-Cost-Experimentiertechniken können helfen, dass Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht unter geringeren Kosten, mit reduziertem Gefahrenpotenzial und mit weniger Entsorgungsaufwand durchgeführt werden. Dies erlaubt eine häufigere Einbindung von Experimenten in den Unterricht, und insbesondere auch eine Stärkung von Schülerversuchen.

In diesem Sinne wünschen wir viel Spaß und Erfolg beim Einsatz der Low-Cost-Experimentiertechniken in Lehrerbildung und Unterricht.

Marika Kapanadze und Ingo Eilks
(Koordinatoren des Projekts SALiS)



Inhaltsverzeichnis

Begriffsbestimmung	1
Reduzierung der Kosten und Umweltbelastungen durch Microscale-Ansätze	6
Experimente mit Materialien aus Medizintechnik und Aquaristik	9
Experimente in Petrischalen und Tüpfelplatten	17
Experimente in Haushaltsverpackungen	21
Experimente mit Plastikflaschen	24
Der Baumarkt als Quelle Experimentiergerät	28
Experimentiergerät aus dem Elektronik-Fachhandel	33
Kostengünstige Alternativen für quantitative Untersuchungen	36
Experimentieren mit Stoffen aus dem Haushalt	40
Low-Cost-Ansätze für biologische Versuche	47
Literaturverzeichnis	51

1. Begriffsbestimmung

Experimente gehören zu den fundamentalen Denk- und Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften (Eilks et al., 2004). Naturwissenschaftliche und technische Forschung ist ohne Experimente nicht denkbar. Dies betrifft gleichermaßen das Arbeiten in den Naturwissenschaften an sich, als auch in deren späteren Anwendungen in Technik und Industrie. Nicht zuletzt aus diesem Grund gehören Experimente auch zum naturwissenschaftlichen Unterricht (Ferdinand, 2007).

Experimente erlauben, das Arbeiten in den Naturwissenschaften nachzuvollziehen und zu verstehen. Die Schülerinnen und Schüler erfahren das Besondere der Naturwissenschaften, nämlich Fragen und Hypothesen aufzustellen und die Natur über Experimente und Beobachtungen darauf antworten zu lassen (Eilks et al., 2004). Experimente helfen aber auch, manuelle Fertigkeiten zu entwickeln, können abstrakte Theorie veranschaulichen und das problemlösende Denken schulen (Bradley, Durbach, Bell & Mungarulire, 1998). Experimente in den Naturwissenschaften können aber auch an sich schon einen Wert haben, da sie den Unterricht auflockern und motivierend sind (Kranz, 2008).

Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht ist aber immer auch mit Kosten verbunden. In Klassen mit über 30 Schülerinnen und Schülern entsteht schnell ein hoher finanzieller Aufwand, will man neben der Demonstration auch Schülerexperimente machen lassen. Die Anschaffung ganzer Klassensätze klassischer Laborgeräte und Apparaturen ist mit erheblichen Kosten verbunden. Geräte, die zu Bruch gegangen sind, müssen regelmäßig ersetzt werden. Der finanzielle Mehraufwand bezieht sich allerdings nicht nur auf die benötigten Geräte, sondern auch auf die Chemikalien und Verbrauchsmaterialien. Bei Schülerexperimenten müssen Chemikalien und Verbrauchsmaterialien für jede Gruppe bereit gestellt und anschließend fachgerecht entsorgt werden. Auch dieses zieht Kosten nach sich. Es geht aber nicht nur um die Kosten. Auch die Erzeugung von Abfällen ist, unabhängig von der Kostenfrage, eine unangenehme Begleiterscheinung des Experimentierens etwa im Chemieunterricht.

So stößt das traditionelle Experimentieren schnell an Grenzen. Dies gilt nicht nur für weniger entwickelte Länder, sondern zunehmend auch für das Experimentieren in den industrialisierten Gesellschaften. Auch hier werden die Budgets für den naturwissenschaftlichen Unterricht kleiner und parallel nehmen die Einschränkungen durch Risiko- und Gefahrstoffverordnungen zu. Klassische Laborausstattungen, wie

früher oftmals noch üblich, stehen in den Schulen immer seltener zur Verfügung, sodass der naturwissenschaftliche Unterricht in herkömmlichen Unterrichtsräumen durchgeführt werden muss (Bradley et al., 1998). Dies erzeugt weitere Einschränkung in der Nutzung klassischer Experimente und traditioneller Experimentiertechniken.

So muss man sich bewusst sein, dass jedes Experiment immer auch mit Risiken verbunden ist. Das gilt für traditionelle chemische Experimentiere in besonderem Maße, da mit großen Mengen gearbeitet wird. Auch weist Obendrauf (2006) darauf hin, dass selbst einfache Glasgeräte, wie Reagenz- und Bechergläser, im Falle eines Glasbruchs zu einer potenziellen Gefahrenquelle werden können. Solche Risiken verstärken sich, je weiter sich die räumlichen Gegebenheiten von üblichen Laborausstattungen unterscheiden.

In all dieser Hinsicht will das *Low-Cost-Experimentieren* Alternativen bereit stellen. Beim *Low-Cost-Experimentieren* werden teure Gerätschaften durch billigere, leicht erhältliche Geräte ersetzt. Geräte und Chemikalien aus dem Alltag machen die Versuche preiswert und überall verfügbar. Hierbei stellen aber auch die Schlichtheit und gute Übersichtlichkeit der verwendeten Apparaturen einen zentralen Aspekt dieses Prinzips dar (Schwan, 2005). Einsparungen in den Kosten kommen durch die Nutzung von alternativem Experimentierequipment, aber auch in der Art und Menge der eingesetzten Chemikalien zustande (Bradley et al., 1998). Gleichzeitig werden gefährliche Geräte und Chemikalien durch ungefährlichere Alternativen ersetzt.

Synonym zum *Low-Cost-Experimentieren* wird im deutschsprachigen Gebrauch häufig auch der Begriff der Freihandexperimente benutzt. Ein Freihandversuch wird definiert als

„... ein Versuch, der mit Gegenständen des täglichen Gebrauchs, oder mit Vorrichtungen die leicht selbst herzustellen sind, durchgeführt werden kann.“ (Eckert, Stetzenbach & Jodl, 2000).

Weitere Definitionen stellen eher die verwendeten Experimente in den Vordergrund, anstatt das verwendete Equipment genauer zu definieren:

„Verblüffende Effekte, pfiffig und einprägsam vorgestellt, ohne großen apparativen Aufwand und ohne Geräte, die den Blick auf das wesentliche verdecken – das ist das Ideal des Freihandversuchs.“ (Kircher, Girwidz & Häußler, 2001, Seite 283).

Dabei verfolgt das *Low-Cost-* bzw. *Freihand-Experimentieren* ganz unterschiedliche Strategien. Eine insbesondere für die Chemie wichtige Technik ist das Minimieren

eingesetzter Chemikalien. So überträgt etwa Bader (2003) die Ideen einer nachhaltigen Chemie auf die Praxis des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht. Nachhaltigkeit wird hier in dem Sinne verstanden, dass naturwissenschaftlicher Unterricht einen umweltschonenden Umgang mit Chemikalien und deren angemessene Entsorgung praktizieren sollte. Die beste Möglichkeit, Ressourcen zu schonen und Abfall- und Entsorgungsprobleme zu umgehen, ist mit geringeren Mengen, weniger gefährlichen und ungiftigen Chemikalien zu arbeiten. So wurde bereits in den 1980er Jahren die Idee der „*Microscale-Chemistry*“ entwickelt (Singh & Szafran, 2000):

„Microscale Chemistry is a laboratory-based, environmentally safe, pollution-prevention approach accomplished by using miniature glassware and significantly reduced amounts of chemicals.“ (Singh, Szafran & Pike, 1999, 1684)

Microscale-Experimente sollen Probleme in der Abfallentsorgung entschärfen. Sie sollten aber auch das Gefährdungspotenzial beim Umgang mit den Stoffen verringern, da hier mit deutlich kleineren Chemikalienmengen gearbeitet wird (Wood, 1990). Die Apparaturen und Substanzen werden so weit reduziert, wie dies ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit möglich ist (Schwarz & Lutz, 2004). So weist dieser Ansatz eine ganze Reihe von Vorteilen auf (Pike, 2006):

- Reduzierung der Kosten für Chemikalien.
- Verringerung des Entsorgungsaufwands und der Entsorgungskosten.
- Verminderung des potenziellen Kontakts mit toxischen Stoffen.
- Geringeres Gefährdungspotenzial bei Unfällen.
- Kürzere Reaktionszeiten.
- Verkürzung von Zeiten beim Erhitzen und Abkühlen.
- Reduzierung des Raumbedarfs für die Lagerung von Chemikalien.
- Verbesserung der Luftqualität in den Laboren.
- ...

Methode	Verwendete Menge an Chemikalien	
	Fest	Flüssig
Makrotechnik	> 0,1 g	> 5 mL
Halbmikrotechnik	0,01 – 0,1 g	0,5 – 5 mL
Mikrotechnik	0,001 – 0,01 g	0,05 – 0,5 mL
Ultramikrotechnik	< 0,001 g	< 0,05 mL

Tab. 1.1: Klassifizierung von Experimentieransätzen anhand der Chemikalienmengen
(Pfeifer et al., 2002)

So kann der Chemikalienaufwand bei chemischen Experimenten von traditionell mehreren Millilitern auf wenige Mikroliter bei Flüssigkeiten bzw. und von mehreren Gramm auf einige Milligramm bei Feststoffen gesenkt werden (Singh & Szafran, 2000). Man spricht in diesem Fall vom Übergang von der Makrotechnik zur Halbmikro-, Mikro- oder Ultramikrotechnik (Pfeifer et al., 2002; Tab. 1.1).

Gut geeignet für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule und die Lehrerbildung sind vor allem die Mikro- oder Halbmikrotechnik. Insgesamt reduziert sich die Menge der eingesetzten Chemikalien bei einer konsequenten Durchführung von Experimenten nach dem *Microscale*-Prinzip schnell um das 10-fache, wobei eine Reduzierung um einen Faktor bis zu 100 möglich ist (Singh & Szafran, 2000). Die angesprochene Reduzierung bezieht sich sowohl auf die Menge der aufzuwendenden als auch auf die der zu entsorgenden Substanzen, wodurch das Experimentieren in den Laboratorien der Universitäten und Industrie, wie ursprünglich gefordert, ungefährlicher, umweltschonender und preisgünstiger wird. So wird mit dem *Low-Cost*-Prinzip nach Latzel (1989) erreicht, dass Versuche im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht an zu hohen Kosten scheitern sollten.

Unabhängig von der Chemikalienmenge kommt es beim Prinzip des *Low-Cost*-Experimentierens zu einem Austausch der klassischen Experimentier- und Laborgeräte. Hier werden Materialien aus dem Haushalt für das naturwissenschaftliche Experimentieren im schulischen Kontext genutzt. Beispiele sind Behälter aus dem Haushalt, etwa Töpfe, Gläser, Schüsseln oder alte Plastikflaschen. Aber auch Materialien wie Einwegartikel aus der Medizintechnik, dem Baumarkt, Aquarienhandel oder Elektronikfachgeschäft kommen zum Einsatz. Nach Obendrauf (2004) ermöglicht die Minimierung der Apparaturen in Kombination mit dem Gebrauch von kostengünstigen Materialien ein doppeltes Einsparpotenzial und erhöht damit die

Möglichkeiten eines häufigeren und flexibleren Einsatzes. Die Vorteile der Verwendung von alternativen Geräten werden von Schwarz und Lutz (2004) und Wood (1990) wie folgt beschrieben:

- Niedrige Kosten durch den Einsatz von Materialien aus der Medizintechnik, Baumarkt, Elektronikhandel oder dem alltäglichen Gebrauch.
- Verfügbarkeit der Materialien in großer Zahl durch den geringeren Anschaffungspreis. Dadurch ist es möglich, dass nahezu alle Experimente in kleinen Gruppen von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden.
- Geringere Gefahren im Vergleich zu klassischen Glasapparaturen, da das Bruchrisiko geringer ist.
- Geringerer Zeitbedarf bei der Vor- und Nachbearbeitung für die Lehrkräfte.
- Erhöhung der Mobilität, da die Geräte ohne Einschränkungen transportiert und genutzt werden können, speziell ausgestattete Labore sind nicht nötig.
- Experimente können auch als Hausaufgabe durchgeführt werden.

Analog zum Ersatz von klassischen Laborgeräten können auch die verwendeten Stoffe ersetzt werden. Versuche mit Lebensmitteln, Reinigern, Haushaltschemikalien oder Feststoffen aus Küche und Werkstatt ergänzen die oben dargestellten Techniken. Diese Stoffe lassen sich in Supermarkt, Baumarkt oder Apotheke nicht nur viel kostengünstiger erwerben, auch ist der Umgang mit ihnen und ihr Transport weniger reglementiert. Zudem ist der Umgang mit diesen Stoffen motivierender, da hier mit bekannten Stoffen gearbeitet wird, die für die Schülerinnen und Schüler Bedeutung haben.

Insgesamt sind die dargestellten Prinzipien demnach ideal, schüleraktives Experimentieren und Lernen in den Naturwissenschaften zu fördern (Joling, 2006).

2. Reduzierung von Kosten und Umweltbelastung durch Microscale-Experimentiersets

In den 1980er und 1990er Jahren verbreitete sich der Ansatz des *Microscale-Experimentierens* zunächst an den Universitäten. *Microscale-Kits* sollen das Experimentieren nach dem *Microscale-Prinzip* erleichtern (du Toit & du Toit, 2006), indem ein ganzer Satz aufeinander abgestimmter Glasapparaturen angeboten wurde. Mit diesen Kits können Reaktionen in kleinen Mengen und entsprechenden Reaktionsräumen durchgeführt werden.

Schnell wurden aber auch entsprechende Schulexperimente beschrieben, so dass zunehmend auch *Microscale-Kits* für Schulen angeboten wurden. Beispiele sind das *Williamson Kit*, das *ACE Microscale-Glasware-Kit*, das *Chem-Pro-System*, der *Mikro-Glasbaukasten nach Baumbach* oder das *Minilabor* (Schallies, 1991).

Beispielhaft soll an dieser Stelle das Minilabor (Zinsser-Analytic, 2011) vorgestellt werden. Das Minilabor enthält diverse zylindrische Reaktionsgefäße mit einem flachen Boden (Abb. 2.1). Die Reaktionsgefäße haben ein Fassungsvermögen von 24 mL. Aufgrund des flachen Bodens ist es möglich, dass die Chemikalien direkt eingefüllt werden, besondere Ständer und Stative sind nicht notwendig. Verbindungen verschiedener Behältnisse werden über Schraubkupplungen hergestellt, deren Gebrauch sehr einfach gestaltet wurde. Hinzu kommen etwa Metallblöcke zum Beheizen oder passende Thermometer (Schallies, 1991).



Abb. 2.1: Destillationsapparatur aus dem Minilabor und mit klassischen Laborgeräten

Ein Beispiel mag den Einsatz des Minilabors erläutern. In Abb. 2.1 findet sich eine konventionelle Destillationsapparatur und eine aus dem Minilabor. Die Destillationsapparatur des Minilabors verwendet ein Destillationsgefäß mit einem Fassungsvermögen von 24 mL. Schallies und Schilling (1991) schlagen vor, eine Flüssigkeitsmenge von 10 mL zu destillieren. Hieraus kann etwa bei Wein bis zu 1mL Alkohol destilliert werden. Ein Gefährdungspotenzial besteht bei diesen Mengen ebenso wenig, wie man kaum nennenswerte Chemikalien- oder Entsorgungskosten zu erwarten hat. Bei herkömmlichen Destillationsapparaturen werden zumeist bis zu 200 mL Flüssigkeit in den Destillationskolben gegeben. So verringern sich also die Menge der eingesetzten Chemikalien und ggf. entstehenden Abfälle um das 20-fache.

Die Verwendung von *Microscale-Kits* birgt allerdings nicht nur Vorteile. So beschreiben Singh und Szafran (2000), dass bei starken Reduktionen etwaige Verluste durch Benetzung der Gefäßwände berücksichtigt werden müssen. Weiterhin ist für die Umstellung der Labormaterialien ein bestimmtes Startkapital unabdingbar. So betragen die Anschaffungskosten für Laborausstattungen nach dem Prinzip der *Microscale-Chemistry* etwa 120 € pro Ausführung (Sigma-Aldrich, 2011). Zwar können die Anschaffungskosten langfristig durch die reduzierten Kosten für Chemikalien, Versicherungen und Entsorgung ausgeglichen werden. So geben Singh und Szafran (2000) an, dass die erforderlichen Investitionskosten im universitären Bereich je nach Größenordnung des Praktikums innerhalb von 6 Monaten bis 2 Jahren kompensiert werden können. Allerdings ist der Investitionsaufwand am Anfang nicht unerheblich und verloren gegangene sowie defekte Teile müssen regelmäßig nachbeschafft werden. So begann in den letzten Jahren die Suche nach billigeren Alternativen zu kommerziellen *Microscale-Kits*. Diese kombinieren die Idee der *Microscale*-Ansätze mit dem Prinzip der *Low-Cost*-Experimentiergeräte. Hier werden die konventionellen Laborglasgeräte bzw. *Microscale*-Glasgeräte durch kostengünstige Alternativen ersetzt. Diese bestehen häufig aus Plastik. Dies ist billiger und die Gefahren durch Glasbruch werden verringert.

Ein Beispiel ist das „RADMASTE Kit“ nach Bradley (2006), das seinen Einsatz zunächst im südlichen Afrika gefunden hat. Dieses Kit wird in verschiedenen Ausführungen angeboten, z.B. als „RADMASTE primary microscience kit“, „RADMASTE basic microchemistry kit“, „RADMASTE microscale biology learner’s kit“ und viele weitere (Abb. 2.2; The-Radmaste-Microscience-System, 2010).



Abb. 2.2: RADMASTE-Kit zum Wasser (Bild: www.radmaste.org.za)

Analog zu den käuflichen Angeboten können Lehrkräfte sich solche Zusammenstellungen aber auch selber herstellen. So bieten sich etwa als *Microscale*-Reaktionsräume Eppendorf-Cups, Schnappdeckel-Gläser, Kunststofftupfplatten und vieles weitere an. Verbindungen und Übergänge können aus der Medizintechnik oder Aquaristik stammen, mit diesen sich auch komplexere Apparaturen zusammensetzen lassen. Beispiele hierfür werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

3. Experimente mit Materialien aus der Medizin- und Aquarientechnik

Ein häufiges Problem beim Experimentieren im Chemieunterricht sind Versuchsaufbauten mit einem hohen apparativen und zeitlichen Aufwand. Solche Apparaturen sind häufig aus Glas gefertigt. Diese Glasgeräte sind teuer und können leicht zu Bruch gehen. Damit stellen sie eine potenzielle Gefahrenquelle für die Schülerinnen und Schüler dar und müssen bei Beschädigung kostenintensiv ersetzt werden (von Borstel & Böhm, 2004).

Eine Alternative zu konventionellen Laborgeräten bieten unterschiedlichste Gerätschaften aus der Medizintechnik oder dem Aquarienhandel. Spritzen, Kanülen, Absperrhähne, Infusionsschläuche und Infusionsbeutel werden in großen Mengen für die Medizin produziert. Sie sind dementsprechend preisgünstig. Aber auch Schläuche, Pumpen und Verteiler aus dem Aquarienhandel bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten für das naturwissenschaftliche Experimentieren.

Auch sie sind häufig aus Plastik und Gummi und damit widerstandsfähig. Sie sind aufgrund ihrer Größe häufig für das *Microscale*-Experimentieren geeignet.



Abb. 3.1: Luer-Lock-Verbindung

Medizintechnik eignet sich in besonderem Maße für das Experimentieren mit Flüssigkeiten und Gasen, sind doch diese Geräte häufig für das Verabreichen und Dosieren von Flüssigkeiten entwickelt worden. So gibt es spezielle Kupplungssysteme, insbesondere das Luer- bzw. Luer-Lock-System (Abb.2.1). Diese Systeme haben sich als Verbindungssystem einzelner medizintechnischer Elemente durchgesetzt.



Abb. 3.2: Adapter

Oben: „weiblich“ – „weiblich“

Unten: „männlich“ – „männlich“

Die beiden Kupplungselemente werden üblicherweise mit „männlich – weiblich“ bezeichnet. Beim Luer-Prinzip werden die Verbindungsstücke ineinander gesteckt, beim Luer-Lock-Prinzip ist noch ein zusätzliches Schraubsystem zur Arretierung vorhanden (Brand, 2010; Abb. 3.1). So lassen sich Verbindungen einfach, sicher

und gasdicht herstellen, ohne dass sie während eines Experiments auseinanderrutschen. Da normalerweise nur „männlich“ – „weiblich“ Verbindungen möglich sind, gibt es zusätzliche Adapter, die „weiblich“ - „weiblich“ sowie „männlich“ – „männlich“ Verbindungen zulassen (Abb. 3.2).

Eine weitere vielfältig einsetzbare Gerätegruppe aus der Medizintechnik sind Einwegspritzen. Diese verfügen über einen transparenten Zylinder mit gut ablesbarer Graduierung, welche wischfest ist.

Einwegspritzen gibt es in unterschiedlicher Form und Beschaffenheit. Die Größen variieren zwischen 1 mL Insulinspritzen bis hin zu Varianten, die ein Fassungsvermögen von 50 mL aufweisen. Vor allem

Insulinspritzen eignen sich zum Dosieren kleinerer Mengen. Insbesondere das langsame Aufziehen und Auslassen ist mit diesen Spritzen möglich. So schlägt El-

Marsafy (2004) medizinische Einwegspritzen als Pipetten- und Bürettensatz in einer *Microscale*-Titration vor (Abb. 3.3). Beim Einsatz von Einwegspritzen als Bürettensatz müssen die Flüssigkeiten luftblasenfrei in die Spritze gefüllt werden. Dazu wird zunächst etwas Flüssigkeit mit der Spritze aufgenommen und anschließend ruckartig wieder herausgedrückt. Durch mehrmaliges Wiederholen dieses Vorganges gelingt das luftblasenfreie Befüllen der Einwegspritze.

Der Kolbenstopp, über den alle Einwegspritzen verfügen, ist ein großer Vorteil im Vergleich zu einem Kolbenprober. Auf diese Weise ist das problemlose Aufziehen bis zum Maximalvolumen gesichert. Andererseits ist zu beachten, dass nach quantitativem Gebrauch der Spritzen i.d.R. ein minimales Restvolumen in der Spritze bleibt.



Abb. 3.4: Spritzen mit einfachem, doppeltem und ohne Dichtring

doppelten Dichtringen unterschieden (Abb. 3.4).

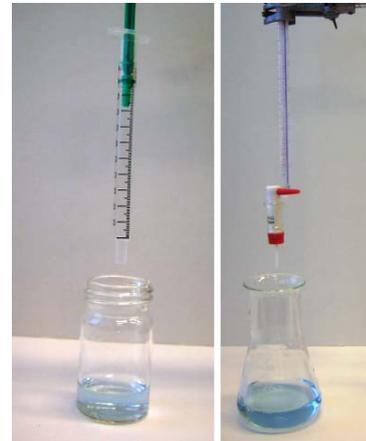


Abb. 3.3. Einwegspritze als Bürettensatz

Die Verwendungsmöglichkeiten der Spritzen hängen maßgeblich von der Beschaffenheit des Stempels ab. Die Stempel der Spritzen sind entweder mit oder ohne Dichtring ausgestattet. Bei Einwegspritzen mit Dichtring wird zusätzlich zwischen einfachen und

Spritzen, die einen Stempel mit doppeltem Dichtring besitzen, sind sehr dicht und können in gasdichten Apparaturen verbaut werden. Kommen allerdings Gase zum Einsatz, welche die Gummidichtung aufquellen lassen (z.B. Chlorgas), sollten lediglich Spritzen mit einer einfachen Gummidichtung genutzt werden. Spritzen ohne Dichtung eignen sich gut für die Dosierung von Flüssigkeiten.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Einwegspritzen sind breit gefächert. So schlagen von Borstel und Böhm (2006) etwa einen Hoffmann'schen Zersetzungsapparat aus Spritzen vor (Abb. 3.5). In der *Low-Cost*-Variante des abgebildeten Experiments werden die Gehäuse zweier medizinischer Einwegspritzen zu einem Hoffmann'schen Zersetzungsapparat umgebaut. Dabei werden die zu den Einwegspritzen gehörigen Kanülen als Elektroden genutzt. Weiterhin dienen zwei medizintechnische Dreiwegehähne sowie zwei kurze Schlauchstücke (zum Beispiel aus einem Aquarienhandel) dazu, die entstehenden Gase zu entnehmen. Die Kanülen-Elektroden werden über Lüsterklemmen mit Kupferdrähten verbunden, welche wiederum mit einer Flachbatterie in Kontakt gebracht werden, um die Elektrolysereaktion zu starten. Die Kosten für das eingesetzte Material liegen bei der *Low-Cost*-Variante bei etwa 3 € während der Hoffmann'sche Zersetzungsapparat nach NeubertGlas (2011) etwa 70 € kostet.



Abb. 3.5: Gegenüberstellung eines Hoffmann-Apparats aus Medizintechnikteilen und als Glasgerät

Aber auch die Synthese und das Auffangen von Gasen nach Obendrauf (2006) haben sich gut etabliert (Abb. 3.6). Für die konventionellen Glasgeräte für einen Gasentwickler müssen ca. 80 € pro Versuchsanlage bezahlt werden (Mercateo, 2011; NeubertGlas, 2011; Omikron, 2004). In der *Low-Cost*-Variante des Experiments nach Obendrauf (2004; 2006) wird lediglich ein *Low-Cost*-Gasentwickler benötigt, der aus einem Reagenzglas, einer 2 mL Einwegspritze ohne Dichtring, mehreren 20 mL Einwegspritzen mit doppeltem Dichtring, zwei Kanülen und einem Weichgummistopfen gebaut werden kann. Die Materialien können für etwa 1,50 € pro Versuchsanlage erworben werden (Mercateo, 2011). Der mit zwei Kanülen durchbohrte Weichgummistopfen wird auf ein herkömmliches Reagenzglas gesetzt und eine 2 mL sowie eine 20 mL Einwegspritze werden auf die Kanülen gesetzt. Die 2 mL Einwegspritze dient dazu, Flüssigkeiten in das Reagenzglas tropfen zu lassen, während das entstehende Gas in der 20 mL Einwegspritze aufgefangen wird. Im *Low-Cost*-Gasentwickler können viele Gase synthetisiert werden. Tab. 3.1 zeigt einige Beispiele zur Nutzung auf.

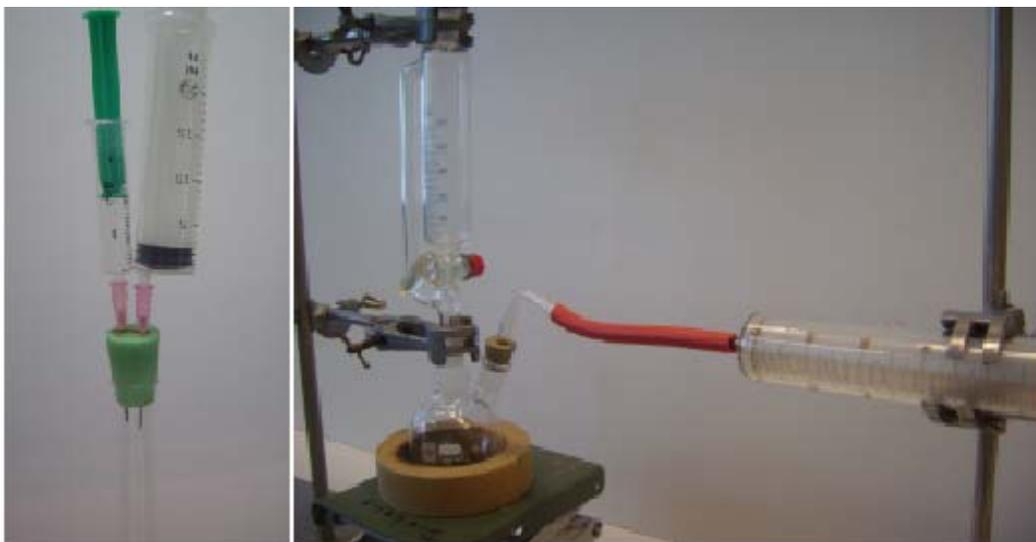


Abb. 3.6: Low-Cost-Apparatur zur Gasentwicklung und Apparatur mit konventionellen Laborgeräten

Aber nicht nur Einwegspritzen, sondern auch die dazugehörigen Kanülen können zum Experimentieren genutzt werden. Wie die Einwegspritzen sind auch die Kanülen in verschiedenen Größen verfügbar. Der Unterschied liegt in der Länge und im Durchmesser der Injektionsnadel. Kanülen können über den Luer-Anschluss mit den

Einwegspritzen unterschiedlicher Größe verbunden werden. Die Spitze der Kanüle stellt dabei eine potenzielle Verletzungsgefahr für die Schülerinnen und Schüler dar und sollte deshalb vor dem Experimentieren mit einem Seitenschneider gekappt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Kanal der Kanüle nicht zerdrückt wird.

<i>Synthetisiertes Gas</i>	<i>Chemikalien im Reagenzglas</i>	<i>hinzugegebene Flüssigkeit</i>	<i>Anmerkung</i>
Chlorgas	Kaliumpermanganat-pulver	konzentrierte Salzsäure	Spritze mit einfachem Dichtring verwenden
Ammoniak	Ammoniumchlorid, Natriumhydroxid-Plätzchen, destilliertes Wasser	-	das Reagenzglas muss erhitzt werden, um die Reaktion zu starten
Wasserstoff	granuliertes Zink, verdünnte Kupfersulfat-Lösung	konzentrierte Salzsäure	-

Tab. 3.1: Anwendungsmöglichkeiten des Low-Cost-Gasentwicklers

Nach Brand (2010) können die Kanülen für ein noch exakteres Zutropfen sorgen. Aber auch die Nutzung von Kanülen als Elektrodenersatz ist nach von Borstel und Böhm (2006) denkbar. Am wichtigsten ist aber, dass die Kanülen durch Gummistopfen getrieben werden können und so ein Flüssigkeits- oder Gasaustausch mit einem geschlossenen Reaktionsraum möglich wird.

Es gibt aber auch viele andere Medizintechnikteile, die genutzt werden können. So können Urinbeutel (Abb. 3.7) als Gas- oder Flüssigkeitssammelbehälter dienen, die über



Abb. 3.8: Medizintechnik Dreivegehaahn

Schläuche und Mehrwegehähne (Abb. 3.8) verbunden werden.

Sowohl Brand (2010) als auch von Borstel und Böhm (2006)

zeigen Vorschläge für die Nutzung dieser Hähne auf. Demnach können sie als Alternativen zur Entnahme von Gasen aus Versuchsaapparaturen genutzt werden. In diesem Zusammenhang können auch Infusionsschläuche und -



Abb. 4.7: Urinbeutel

beutel benutzt werden. Infusionsschläuche dienen als Ersatz für herkömmliche

Silikonschläuche, während Infusions- und Urinbeutel (vgl. Abb. 3.7) vorzugsweise zum Auffangen oder Lagern von Gasen genutzt werden können. So lassen sich unterschiedliche Systeme für den Umgang mit Flüssigkeiten und Gasen erstellen. Teure Laborgeräte können so leicht durch medizintechnische Alternativen ersetzt werden.



Abb. 3.9: ChemZ Schülerkoffer

Artikel	Volumen	Anzahl	Preis
Einwegspritze ohne Dichtring	2 mL	100	2,09 €
	10 mL	100	4,54 €
Insulin-Einwegspritze	1 mL	100	12,18 €
Einwegspritze mit Dichtring	10 mL	100	9,86 €
	20 mL	100	13,64 €
	60 mL	60	26,03 €
Kanülen	-	100	1,36 €
Medizinischer Dreiwegehahn	-	1	0,95 €
Infusionsschlauch (0,75 m)	-	1	0,75 €

Tab. 3.2: Kosten der medizinischen Einwegartikel

Dass medizintechnische Einwegartikel sich in besonderem Maße zur Durchführung von *Microscale*-Experimenten eignen, zeigt das Beispiel eines ganzen *Microscale-Kits*, des ChemZ-Koffers, der ausschließlich aus diesen Materialien besteht (von Borstel, 2009; Abb. 3.9). Der ChemZ-Schülerkoffer enthält eine Hahnenbank mit mehreren

Anschlüssen, diverse Einwegspritzen von unterschiedlicher Größe und Beschaffenheit, acht Dreiwegehähne, zwei Verlängerungsschläuche, zwei Sonden zum Abfüllen und Umfüllen der Flüssigkeiten, zehn Verschlussstopfen und diverse Luer-Lock-Adapter sowie Verbindungsstücke.

Erhältlich sind die diversen Gerätschaften aus der Medizintechnik in Apotheken oder Online-Shops, wie z.B. der Online-Apotheke am Wolfsanger (2006) oder bei dem Versandhandel Mercateo (2011). Tab. 3.2 gibt einen Überblick über die ungefähren Kosten der benötigten Materialien aus der Medizintechnik.

Aber auch der Aquarienhandel bietet vielfältige Alternativen für das Experimentieren in den Naturwissenschaften. Besonders geeignet sind hier Pumpen, Filter und Schläuche.



Abb. 3.10:

Aquariumpumpe

Pumpen (Abb. 3.10) sind in der Aquaristik unabdingbar. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausführungen, wobei sie immer aus einer Pumpe und einem Filter bestehen. Die Pumpen werden dazu benötigt, das Wasser in einem Aquarium von Schmutzpartikeln, wie z.B. Futterresten, zu reinigen. Dazu wird das Wasser eingesogen, mit Sauerstoff versetzt und wieder in das Aquarium gepumpt. Diese Funktionsweise eignet sich auch für das naturwissenschaftliche Experimentieren im schulischen Kontext. So können Aquariumpumpen genutzt werden, um einen regelmäßigen Luftfluss zu erzeugen, etwa bei der Vergärung von Alkohol zu Essig oder dem Vergleich der Kohlenstoffdioxidbildung von Hefe unter anaeroben und aeroben Bedingungen.

Es gibt aber auch vielfältige Schläuche, Klemmen und Verteiler, die dazu dienen können, Gas- und Flüssigkeitsströme zu kanalisieren und zu regeln. Diese Schläuche (Abb. 3.11) können als kostengünstiger Ersatz für Silikon- und Vakuumschläuche aus dem Labor genutzt werden.



Abb. 3.11: Schläuche aus einem Aquarienhandel

Eine sehr umfassende Nutzung schlägt Kappenberg (2011) mit dem Bau eines Gaschromatographen unter

Verwendung einer Aquarienpumpe und von entsprechenden Schläuchen und Verbindungen vor. Dabei pumpt die Aquarienpumpe gleichmäßig Luft als Trägergas durch die Säule, die sich in einem Plastikschlauch befindet.

Die Materialien aus der Aquaristik sind in Zoo- oder speziellen Aquarienhandlungen sowie bei Online-Versandhandeln erhältlich. Hier kosten eine Aquarienpumpe ca. 10-15 € und 2,5 m Schlauch ca. 3 €

4. Experimente in Petrischalen und Tüpfelplatten

Viele Experimente aus den Naturwissenschaften, die in Glasapparaturen, Bechergläsern oder Kristallisierschalen durchgeführt werden, lassen sich problemlos auch in Petrischalen mit ein, zwei oder drei Kammern (vgl. Abb. 4.1) oder auf Tüpfelplatten aus Kunststoff (vgl. Abb. 4.2) durchführen.



Abb. 4.1: Petrischalen

So eignen sich nach Schwarz und Lutz (2004) und Köhler-Krützfeld und Gruvberg (2000) sogenannte *Wellplates* oder

Multiwellplates als kleine Reaktionsplatten für Versuche mit Flüssigkeiten und in



Abb. 4.2: Tüpfelplatten aus Kunststoff

Lösung. Dabei handelt es sich um Kunststofftüpfelplatten mit mehreren Vertiefungen, die ein unterschiedliches Fassungsvermögen aufweisen können.

Ursprünglich wurden Multiwellplatten für die medizinische Diagnostik oder biochemische Zwecke entwickelt. Dann wurden die Kunststoffplatten erstmals an der Peking-Universität für naturwissenschaftliches Experimentieren im *Microscale*-Maßstab

genutzt. Auch das „RADMASTE *Advanced Microchemistry kit*“ (siehe S. 8) enthält eine solche Tüpfelplatte mit 60 Vertiefungen.

Nach Zhou (2004) liegt der Vorteil von Versuchen mit einer Multiwellplatte darin, dass alle wichtigen Experimente in den Mikromaßstab übertragen werden können. Schwarz und Lutz (2004) haben weitere Vorteile dieser Platten aufgelistet. Demnach können in den Kunststofftüpfelplatten mehrere Versuche parallel durchgeführt und unmittelbar miteinander verglichen werden. Dies eignet sich vor allem für Fällungs-, Farbumschlags- und Katalysereaktionen, oder für Versuche zur elektrochemischen Spannungsreihe. Aber auch Experimente zur Salzverträglichkeit von Pflanzen lassen sich so leicht und kostengünstig realisieren.

Je nach Größe der Vertiefung können 0,5 bis 5 mL eingefüllt werden. Der Einsatz von Kunststoff-Reaktionsräumen anstelle von Glasgeräten verringert die Verletzungsgefahr

im Falle eines Bruchs. Die Kosten für die Anschaffung von Multiwellplatten hängen von der jeweiligen Größe ab. So belaufen sich die Kosten für eine Multiwellplatte mit 96 Vertiefungen auf etwa 6 € pro Stück, während für die Anschaffung einer 6-well Tüpfelplatte weniger als 2 € aufgewandt werden muss (Mercateo, 2011). Vorsichtig muss man allerdings mit organischen Lösungsmitteln sein, da diese den Kunststoff evtl. angreifen können.

Ähnlich wie die Tüpfelplatten können auch Petrischalen aus Polystyrol ein interessanter und günstiger Reaktionsraum für Experimente sein. 500 Petrischalen mit einer Kammer sind für etwa 30 € und 500 Petrischalen mit mehreren Kammern für etwa 60 € zu kaufen. Der Preis für eine einzelne Petrischale liegt also bei 5 bzw. 12 ct. Petrischalen sind also günstig, leicht zu lagern und aufgrund ihres Materials robuster als vergleichbare Glasgeräte. Oxidationen, Niederschlagsreaktionen, radikalische Substitutionen und galvanische Zellen sind nur einige Beispiele, die man mit geringen Mengen in ihnen durchführen kann (Full, 1996). Seilnacht (2002) schlägt zudem vor, Petrischalen für Experimente zu temperaturabhängigen Lösungsvorgängen und Reaktionen zu verwenden, während Choi (2002) Beispiele zur Synthese von Gasen vorschlägt.

Viele Experimente, die in einer Petrischale durchführbar sind, sind aber auch bereits in Multiwellplatten durchführbar. Petrischalen mit einer Kammer haben ein Fassungsvermögen von 12 mL, während unterteilte Petrischalen ein entsprechend kleineres Fassungsvermögen haben. Tüpfelplatten können je nach Größe der Vertiefung mit maximal 5 mL befüllt werden. Die Menge der eingesetzten Chemikalien ist also in Multiwellplatten kleiner.

Allerdings eröffnen Petrischalen auch zusätzliche Möglichkeiten. So kann mit dem Deckel der Petrischale ein geschlossener Raum erzeugt werden. Dabei kann ein Gasaustausch zwischen den Kammern der Petrischale stattfinden, nicht aber mit der Umgebung. Ein Beispiel ist die Synthese und der Nachweis von Kohlenstoffdioxid (Full, 1996). Dabei wird eine Kammer der Petrischale mit Kalkwasser befüllt. In die zweite Kammer wird ein Stück Marmor gegeben, das mit Salzsäure in Kontakt steht (Abb. 4.3).

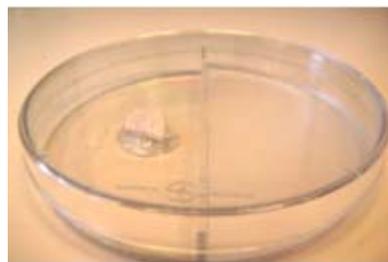


Abb.4.3: Synthese und Nachweis von Kohlenstoffdioxid

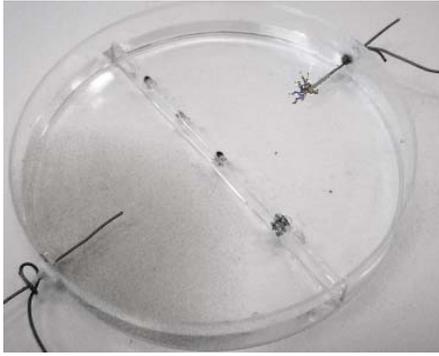


Abb. 4.4: Elektrolyse von
Zinkiodid

Weiterhin können Petrischalen für die Bedingungen der unterschiedlichen Versuche speziell bearbeitet werden. So ist es beispielsweise möglich, Elektroden in die Außen- bzw. Trennwände einzulassen, indem diese einfach erhitzt und durch das Plastik getrieben werden. Ein Beispiel ist die Elektrolyse von Zinkiodid (Abb. 4.4). Für das Experiment wird eine Zwei-Kammer-Petrischale genutzt. Durch die Außenwände beider Kammern wird je eine Bleistiftmine als Kohleelektrodenersatz eingelassen. Sind die Elektroden brüchig, kann mit einem erhitzten Nagel zunächst ein Loch in die Außenwand der Petrischale gestochen werden, durch welches die Elektrode geschoben und mit einer Heißklebepistole fixiert wird. Die Trennwand der Zwei-Kammer-Petrischale muss ebenfalls an mehreren Stellen mit einem heißen Nagel durchtrennt werden, will man eine Membran simulieren. Natürlich kann auch mit einem Stück Filterpapier eine Salzbrücke über den Steg in der Mitte der Petrischale hergestellt werden. Solche Manipulationen, wie sie anhand des Beispiels der Zinkiodid-Elektrolyse beschrieben wurden, sind nur bei Petrischalen möglich. Kunststofftütflplatten können auf diese Weise nur selten präpariert werden.

Letztendlich soll ein weiteres Potenzial, das durch den Einsatz von Petrischalen entsteht, verdeutlicht werden. Die Durchführung von Demonstrationsexperimenten gestaltet sich durch die Bestrebungen zur Minimierung der Chemikalienmengen zunehmend schwierig. Kleine Mengen sind aus großer Entfernung schwer zu erkennen.

Die Projektion von Reaktionen kann dieses Problem umgehen, wofür sich Petrischalen in besonderem Maße eignen (Full, 1996).

Petrischalen bieten sich für die Overheadprojektion aufgrund ihrer Standfestigkeit und Durchsichtigkeit gut an. Die Reaktionsabläufe in der Petrischale können durch die Projektion auf einen Durchmesser von 2 m vergrößert werden.

Die Demonstration eines Experiments in Form einer Projektion eignet sich bei allen Reaktionen, bei denen es zu einem



Abb. 4.5: Bildung von Silberhalogenid

Farbumschlag oder einer Trübung der Lösung kommt. Aber auch Gasentwicklungen und Niederschlagsbildungen können gut projiziert werden (Full, 1996). Ein Beispiel ist die Fällung von Silberhalogeniden. Dazu wird eine Petrischale mit destilliertem Wasser gefüllt, bevor auf eine Seite der Petrischale etwas Kochsalz und auf die andere Seite einige Körner Silbernitrat gegeben wird. Durch die Diffusion kommt es zur Bildung des Silberchlorids, das sich niederschlägt (Abb. 4.5).

Insgesamt eignen sich Tüpfelplatten und Petrischalen als Reaktionsraum für viele chemische Reaktionen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Dabei bestehen sowohl Petrischalen als auch Tüpfelplatten aus Kunststoff, sodass die potenzielle Gefahrenquelle für die Schülerinnen und Schüler, die durch Glasbruch entsteht, vollständig umgangen wird. Tüpfelplatten haben zwei entscheidende Vorteile gegenüber den Petrischalen. Zum einen können wesentlich mehr Experimente nebeneinander durchgeführt werden. Weiterhin überzeugen sie durch ihr geringes Fassungsvermögen. Petrischalen ohne Trennwand haben dahingegen ein Volumen von etwa 12 mL. Dies ist zwar größer als das der Tüpfelplatten, allerdings immer noch geringer als bei üblichen Glasapparaturen. Außerdem ist das Volumen der einzelnen Kammern von unterteilten Petrischalen entsprechend kleiner. Petrischalen bieten überzeugende Vorteile gegenüber den Kunststoffplatten bei der Veränderbarkeit und der Möglichkeit, Reaktionsabläufe zu projizieren.

5. Experimente in Haushaltsverpackungen



*Abbildung 4.1: leere
Arzneiverpackung*

Die Materialien, die in den bisherigen Kapiteln für die Durchführung von Low-Cost-Experimenten vorgestellt wurden, mussten – wenn auch zu geringen Kosten - ohne Ausnahme käuflich erworben werden. Als Reaktionsräume für chemische und physikalische Experimente ist allerdings auch leeres Verpackungsmaterial nutzbar, das in vielen Haushalten als Abfallprodukt anfällt. Geeignet ist etwa der Einsatz von leeren Tablettenverpackungen, Gläschen, Blechdosen, Plastikbechern oder Behältern von Kosmetikprodukten.

So ähnelt der Aufbau von Tablettenverpackungen (Abb. 5.1) auffällig den zuvor vorgestellten Kunststofftüpfelplatten. Analog bieten diese leeren Tablettenverpackungen auch dieselben Vorteile wie Multiwellplatten. Sobald die Arzneiverpackungen von der Aluminiumfolie befreit ist, können alle Experimente, deren Durchführung sich für Tüpfelplatten eignet, auch in leeren Tablettenverpackungen ausgeführt werden. Die einzelnen Arzneiverpackungen unterscheiden sich in ihrer Größe und Form, sodass Experimentiergefäße mit unterschiedlich großer Anzahl an Vertiefungen und unterschiedlichem Fassungsvermögen genutzt werden können. Wie bei den Kunststofftüpfelplatten ist das Volumen der einzelnen Vertiefungen einer Tablettenverpackung sehr gering, sodass nur ein minimaler Chemikalien- und Substanzeinsatz notwendig ist.

Ein Beispiel für den Einsatz ist die Erstellung von Verdünnungsreihen. So schlagen Kruse-Özcelik und Schwarz (2004) vor, die Schülerinnen und Schüler das Abmessen von Volumina durch das Ansetzen einer Verdünnungsreihe von Milch erproben zu lassen. Das Experiment kann durch die Frage eingeleitet werden: „Wie stark kann ein Betrüger Milch mit Wasser verdünnen, ohne dass man den Betrug erkennt?“. 2 mL Milch aus der ersten Kammer wurden dabei schrittweise um den Faktor 10 verdünnt. Die Transparenz der Flüssigkeit wird dadurch immer größer, bis letztendlich ein Kreuz auf dem Boden einer Kammer durchscheint (Abb. 5.2).



Abb. 5.2: Verdünnungsreihe von Milch in einer Arzneiverpackung

Wird bei einem bestimmten Experiment ein größeres Fassungsvermögen benötigt als es durch die leeren Arzneiverpackungen gegeben ist, können alternativ auch Gläschen (z.B. ausgewaschene Marmeladen- oder Honiggläser; Abb.



Abb. 5.3: Leere Marmeladengläser



Abb. 5.4: Konservendosen

Abb. 5.3), Blechdosen (z.B. gesäuberte Konservendosen; Abb. 5.4), oder die Hülle eines Teelichts oder Plastikbecher als Reaktionsgefäß genutzt werden.

Die unterschiedlichen Materialien der Behältnisse machen es möglich, eine Auswahl zu treffen, die sich an den Ansprüchen des entsprechenden Experiments orientiert. Zudem gibt es die genannten Behältnisse in unterschiedlichen Größen, sodass auch an dieser Stelle je nach Anforderungsbereich gewählt werden kann.

Dabei können die Reaktionsgefäße selber Teil der Versuchsdurchführung werden. Dosen aus Metall eignen sich etwa für den Bau von Batterien, da die Dosenwand als Elektrode genutzt werden kann. Der obere Teil der Dose



Abb. 5.5: Die Cola-Dosen-Batterie

wird entfernt und der gesäuberte Behälter wird mit einer Natriumchlorid-Lösung befüllt. Die Hülle der Dose dient als Elektrode und wird mit Kabelmaterial an einen Verbraucher oder ein Voltmeter angeschlossen. Um den Stromkreis zu schließen, wird eine Graphitelektrode oder Bleistiftmine über einen Verbraucher oder ein Voltmeter in die Lösung getaucht (Schmittinger, 2011; Abb. 5.5).

Es soll auch noch ein Beispiel präsentiert werden, wie sich Gläser zur Durchführung eines Experiments eignen. Mit Hilfe eines Teelichtes (oder einer anderen Kerze), eines leeren Marmeladenglases und einer Schale kann gezeigt werden, dass Luft ein Gemisch aus unterschiedlichen Gasen ist (Ardley, 1997). Dazu wird die Schale mit Wasser gefüllt, das Teelicht (oder eine beliebige andere Kerze in einem Kerzenständer) in die Schale gesetzt und angezündet. Anschließend wird das leere Marmeladenglas vorsichtig über die brennende Kerze gestülpt (Abb. 5.6). Man erkennt, dass der Wasserpegel in dem Marmeladenglas zunächst ansteigt, bevor die Flamme schließlich erlischt.



*Abb. 5.6:
Brennende Kerze
in einem
Marmeladenglas*

Aber auch Behälter von Kosmetikprodukten können ebenfalls als Gefäße in naturwissenschaftlichen Experimenten genutzt werden. Leere Cremegläschen können analog zu den übrigen Gläsern aus dem Haushalt verwendet werden, während leere Make-up Behälter für Lidschatten vielfach wie Kunststofftöpfelplatten oder Arzneiverpackungen genutzt werden können. Weitere kosmetische Materialien, die sich gut zum Experimentieren eignen, sind Zerstäuber (z.B. für Parfum oder Nasenspray) oder leere Duschgelbeutel, die zur Bevorratung von Gasen genutzt werden können.

Nahezu alle diese Materialien fallen in Haushalten als Müll an und können dementsprechend kostenlos in ausreichend großen Mengen besorgt werden. Allerdings fällt die für ein schüleraktives Experimentieren benötigte Anzahl nicht augenblicklich an, sodass die Sammlung kontinuierlich über einen längeren Zeitraum erfolgen sollte. Hier bietet es sich auch an, die Schülerinnen und Schüler sowie das Kollegium an der Beschaffung der Materialien aus dem Haushalt zu beteiligen.

6. Versuche mit Plastikflaschen

In dem vorangegangenen Kapitel wurde auf die Nutzung von Haushaltsverpackungen bei chemischen und physikalischen Experimenten eingegangen. Aber auch Plastikflaschen (Abb. 6.1) eignen sich für unterschiedlichste Experimente.

Wilke (1998a) beschreibt, dass die Nutzung sowie Präparation von Kunststoffflaschen eine gute Möglichkeit bieten, die Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren zu fördern. Diese Flaschen fallen in jedem Haushalt als Abfallprodukt an und können dementsprechend leicht in ausreichend großer Stückzahl für das schüleraktive Experimentieren gesammelt werden. Wilke hebt hervor, dass sich diese Artikel aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften als experimentelles Hilfsmittel, insbesondere für den Physikunterricht, eignen. Er beschreibt folgende Vorteile:



*Abb. 6.1:
Plastikflasche*

- Kunststoffflaschen existieren in unterschiedlichen Formen, Größen und Ausführungen. Aus diesem Grund kann die Auswahl des geeigneten Experimentierequipments anhand der jeweiligen Erfordernisse erfolgen.
- Kunststoffflaschen mit einem großen Volumen garantieren eine gute Sichtbarkeit. Vor allem die Tatsache, dass die Flaschen durchsichtig sind, garantiert eine gute Sichtbarkeit der Prozesse, die während eines Experiments im Inneren der Kunststoffflasche ablaufen.
- Kunststoffflaschen besitzen eine geringe Masse und Wandstärke. Dies ermöglicht eine leichte Handhabung.
- Kunststoffflaschen sind sehr robust und nahezu unzerbrechlich. Weiterhin splintern die Flaschen im Falle eines Defektes nicht. Dies ermöglicht es, eine Gefährdung der Schülerinnen und Schüler auszuschließen, sodass die Kunststoffflaschen sogar für Fall- und Wurfexperimente genutzt werden können.
- Kunststoffflaschen besitzen eine hohe Druckfestigkeit. Diese Tatsache ermöglicht es, pneumatische und hydraulische Experimente durchzuführen. Bei Experimenten dieser Art ermöglicht die Druckfestigkeit trotz der geringen Wandstärke eine hohe Standfestigkeit. Auf der anderen Seite können Kunststoffflaschen durch leichten Druck von außen leicht verformt werden.

- Maßgeblich für die gute Eignung von Kunststoffflaschen beim Experimentieren ist die Tatsache, dass das genannte Material leicht präpariert und bearbeitet werden kann. Die Flaschen können für die Bedürfnisse des jeweiligen Experiments leicht zersägt, durchbohrt oder zerschnitten werden. Außerdem ist es möglich, mit heißen Gegenständen Löcher in die Pfandflaschen zu schmelzen und diese ggf. mit Heißkleber wieder zu verschließen.

Im Allgemeinen wird zwischen dünnwandigen und dickwandigen Kunststoffflaschen unterschieden. Die Präparation von dünnwandigen Flaschen ist wesentlich einfacher, weshalb der Einsatz von Flaschen, die über eine dickere Außenwand verfügen, möglichst umgangen wird. Die Nutzung von dickwandigen Flaschen bietet sich dahingegen an, wenn stabilere Aufbauten angestrebt werden und die Verformbarkeit nicht notwendig ist (Wilke, 1998a).

Insgesamt können die verschiedenen Plastikflaschen auf unterschiedliche Art und Weise zum Experimentieren eingesetzt werden. Tab. 6.1 soll einen Überblick die vielfältige Einsetzbarkeit von Kunststoffflaschen im physikalischen Experimentalunterricht geben (Wilke, 1998a 1998b; 1998c).

Die Tabelle stellt nur einen kleinen Ausschnitt der experimentellen Möglichkeiten dar, die durch Kunststoffflaschen realisiert werden können. Um einen besseren Eindruck zur Anwendbarkeit der Plastikflaschen beim physikalischen Experimentieren zu erhalten, sollen zwei Beispiele genauer erläutert werden: das Segnersche Wasserrad und der Bau eines Motorbootes.

Nach Wilke (1998) kann durch eine geeignete Präparation einer Kunststoffflasche ein Experiment zur Demonstration des 3. Newtonschen Gesetzes durchgeführt werden. Wie bereits in Tab. 6.1 dargestellt, werden hierzu abwinkelbare Trinkhalme, Klebstoff, ein dünner Faden zum Aufhängen und eine Kunststoffschale benötigt. Für das Experiment wird die Kunststoffflasche dicht über dem Boden an drei um 120° versetzte Stellen mit Bohrungen von 4 mm versehen. In jede dieser Bohrungen wird ein abwinkelbarer Trinkhalm gesteckt, dessen eine Schenkellänge verkürzt wurde (vgl. Abb. 6.2). Die Halme müssen mit Hilfe eines Klebers an der Kunststoffflasche befestigt und um 90° abgelenkt werden.



Abb. 6.2: Halme in Kunststoffflasche

Benötigte Materialien	Physikalisches Experiment
Kunststoffflasche, abwinkelbare Trinkhalme, Klebstoff, dünner Faden zum Aufhängen, Kunststoffschale	Segnersches Wasserrad zur Demonstration des 3. Newtonschen Gesetzes
Kunststoffflasche mit durchbohrtem Stopfen, Schlauchstück, zwei Glasröhrchen	Rückstoßboot, das zur Demonstration von „ <i>actio</i> “ gleich „ <i>reactio</i> “
Große Kunststoffflasche mit Sand oder Wasser gefüllt, möglichst langer Faden (an der Decke befestigt)	Experiment zur wechselseitigen Umwandlung von potentieller und kinetischer Energie oder zur Demonstration des Magnus-Effekts
Große, dünne Plastikflasche mit Schraubverschluss (mit Wasser gefüllt), zylindrisches Stück Styropor, Schraube	Kartesianischer Taucher zur Demonstration des allseitigen Druckausgleiches in Flüssigkeiten
Kunststoffflasche mit Schraubdeckel, Gummifaden, Perlen, kleiner Propeller, Briefklammer	Modell eines Motorbootes
Kunststoffflasche, Nadel, Trichter	Experiment zur Abhängigkeit des Schweredruckes von der Höhe der Wassersäule
Kunststoffflasche mit durchbohrtem Schraubverschluss, durchbohrter Stopfen, U-förmiges Glasrohr	Goethe-Barometer zur Messung des atmosphärischen Luftdrucks
Dickwandige Kunststoffflasche, Fahrraddynamo, Kabelmaterial, Glühbirne	Windturbine mit horizontaler Welle

Tabelle 6.1: Diverse Experimente mit Plastikflaschen



Abb. 6.3:
Flaschengewinde
(mit einem Faden
durchzogen)

Die Enden der Trinkhalme müssen zusammengedrückt werden, sodass nur ein etwa 2 mm breiter Schlitz erhalten bleibt. Dazu taucht man die Enden in siedendes Wasser und drückt die erhitzten Endstücke fest mit einer Flachzange zusammen, bis das Röhrchen hinreichend abgekühlt ist. Zur Durchführung des Experiments wird die Flasche an einem Faden aufgehängt. Dies ist am einfachsten, wenn die Flasche im Bereich des Gewindes horizontal durchbohrt und mit einem Faden durchzogen wird (vgl. Abb. 6.3). Anschließend wird die Flasche vollständig mit Wasser gefüllt und losgelassen, um das Experiment zu starten. Der Rückstoß, der durch die austretenden Wasserstrahlen verursacht wird, verursacht eine Drehbewegung der Flasche.

Ein anderes Beispiel ist das Modell eines Motorboots (Wilke, 1998). Wie in Tab. 6.1 beschrieben, werden hierzu eine Kunststoffflasche mit Schraubdeckel, ein Gummifaden, Perlen, Schiffsschraube aus Kunststoff sowie eine Briefklammer benötigt. Für den Bau dieses Modells wird zunächst der Boden der Kunststoffflasche mit einem Loch von einem Durchmesser von etwa 4 mm versehen. Auch der Schraubdeckel sollte anschließend mit einem Loch von etwa 2 mm Durchmesser versehen werden. Für den Gummimotor muss ein Gummifaden von etwa 5m Länge an den Enden miteinander verknüpft werden. Der dadurch entstandene Ring wird zu einer Schleife zusammengelegt, deren Länge nur wenig kürzer ist als die Länge der Kunststoffflasche. Zur Befestigung des gefalteten Gummifadens wird eine Briefklammer auseinandergebogen, an deren Ende eine Schiffsschraube befestigt wird. Damit die Schraube des Motorbootmodells unter Wasser bleibt, können Perlen auf die gebogene Briefklammer aufgezogen werden. Anschließend wird die Briefklammer in die Öffnung des Schraubdeckels aufgefädelt und so gebogen, dass die Gummischleife daran aufgefädelt werden kann. Der präparierte Schraubdeckel wird auf das Gewinde der Kunststoffflasche gedreht. Mit Hilfe einer zweiten Briefklammer wird der gefaltete Gummifaden durch die Öffnung im Boden der Flasche gefädelt und befestigt (Abb. 6.4).



Abb. 6.4: Modell eines Motorbootes

Durch ein zusätzliches Holzstück kann gewährleistet werden, dass das Modellboot beschwert wird und sich der Schiffskörper bei laufendem Motor nicht um die eigene Längsachse dreht. Durch Drehen an der Schiffsschraube kann der Motor letztendlich aufgezogen werden.

7. Der Baumarkt als Quelle für Experimentiergerät

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Nützlichkeit von Haushaltsartikeln beim naturwissenschaftlichen Experimentieren aufgezeigt. Allerdings bieten sich nicht ausschließlich alltägliche Gegenstände aus dem Haushalt an. Auch Artikel aus dem Baumarkt sind preisgünstig, in ausreichend großen Stückzahlen zu erwerben und eignen sich gut für das Experimentieren.



Abb. 7.1: Metallrohr

Beispiele für Materialien aus dem Baumarkt sind Kunststoff- und Metallrohre (Abb. 7.1), Silicone, Styropor, Drähte (Abb. 7.2), Nägel, Lampen (Abb. 7.3), Fliesenspiegel, große und durchsichtige Wannen oder Glasscheiben. Diese unterschiedlichen Materialien bieten vielfältige Möglichkeiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Artikel aus dem Baumarkt eignen sich vor allem für Experimente zur Mechanik,



Abb. 7.2: Drähte

Elektronik oder Elektrochemie. Hier sind Versuche zur Masse, dem Schwimmen und Sinken, Druck, Steifigkeit und Elastizität oder Hebelgesetzen ebenso zu nennen, wie Versuche zu Licht, Strom, Leitfähigkeit, der elektrochemischen Zellen, bis hin zum Selbstbau eines Elektromagneten und dem Bau eines piezo-elektrischen Zündgerätes. Aber auch andere Themengebiete können durch diese Art von Material experimentell abgedeckt werden.

Beispielhaft sollen hier ein Experiment zum Reflexionsgesetz und zur Impulsweitergabe genannt werden (Menzel, 1990, Kuhn & Rech 2003, Mellert et al. 2001, Köthe, 2008).

Zur Illustration sollen zwei Beispiele genauer erläutert werden, in denen Baumarktartikel zum Einsatz kommen: ein Experiment zum Reflexionsgesetz und der Bau eines Elektromagnetes.

Für das Experiment zum Reflexionsgesetz werden nach



Abb. 7.3: Lampen

Kuhn und Rech (2003) zwei Röhren aus Pappe oder Kunststoff, ein Spiegel und eine Taschenlampe benötigt. Die Materialien werden wie in Abb. 7.4 angeordnet. Indem mit der Taschenlampe durch eine der Röhren geleuchtet wird, kann das Reflexionsgesetz abgeleitet werden.



Abb. 7.4: Experiment zum Reflexionsgesetz

Als anderes Beispiel ist der Bau eines Elektromagnetes nach Mellert et al. (2001). Dazu wird eine Schraube aus Eisen, etwa 2m Klingeldraht, eine 1,5V Batterie und kleine Metallteile zum Testen der magnetischen Eigenschaften des gebauten Elektromagneten benötigt.



Abb. 7.5: Mit Klingeldraht umwickelte Schraube

Für den Bau wird der Klingeldraht an den Enden von der Kunststoffisolierung befreit, sodass der blanke Draht freiliegt. Anschließend wird der Draht um die Schraube gewickelt (vgl. Abb. 7.5), sodass die blanken Enden des Drahtes an den Enden der Schraube herabhängen. Es ist darauf zu achten, dass der Draht nicht geknickt wird. Gegebenenfalls muss der Draht zusätzlich mit Klebeband fixiert werden. Letztendlich werden die blanken Drahtenden an den Plus- bzw. Minuspol der Batterie angeschlossen. Bei der Nutzung des Elektromagneten ist darauf zu achten, dass der Draht nicht zu lange an der Batterie angeschlossen ist. Nach etwa 1 Minute werden die Drahtenden heiß.

Bei Experimenten nach dem *Low-Cost*-Prinzip spielt der preisliche Faktor immer eine sehr zentrale Rolle. Tab. 7.1 gibt einen Überblick über die Anschaffungskosten einiger der angesprochenen Materialien (Mercateo, 2011).

Alternatives Equipment	Kosten
Kunststoff- oder Metallrohre,	0,20 € bzw. 1,10 € pro Meter
Drähte	1,50 € für 25 Meter
Nägel	Ca. 5 € für 100 Stück
Glühlampen	0,30 €
Fliesenspiegel	1 € für 4 Stück

Tab. 7.1: Kosten von Experimentierequipment aus dem Baumarkt

Es bietet sich aber nicht nur an, alternative Gerätschaften aus dem Baumarkt zu nutzen. Vielmehr können auch Chemikalien im Baumarkt sehr kostengünstig erworben werden. So gibt es verschiedene Säuren, Natronlauge, Ammoniak, Kalk, Aceton, Brennspritus, verschiedene Kunststoffe oder destilliertes Wasser etc.. Diese sind in der Regel deutlich billiger als im Chemikalienhandel, aber von hinreichender Qualität und Reinheit für Versuche im naturwissenschaftlichen Unterricht. Tab. 7.2 verdeutlicht, welche Artikel auch noch aus dem Baumarkt Chemikalien ersetzen können, bei denen der Bezug nicht so naheliegend ist. Dabei ist anzumerken, dass die Liste nicht vollständig ist und nur einen Überblick über die Möglichkeiten geben soll.

Produkt	Alternative
Löschkalk, Blitzzement	Calciumhydroxid
Gips	Calciumsulfat
Raumentfeuchter	Calciumchlorid
"pH-Minus" (Schwimmbadzubehör)	Natriumhydrogensulfat
Lötstein	Ammoniumchlorid
Holzkohle	Kohlenstoff
Rico Graffiti- Killer	1-Methoxy-2-Propanol, enthält zwischen 20 und 50%

Tab. 7.2: Alternative Chemikalien aus dem Baumarkt

Die Einsatzmöglichkeiten dieser Produkte sind sehr vielfältig. So ist Brennspritus eine 96%ige-Ethanollösung und kann beispielsweise bei der Verwendung eines Low-Cost-Spiritusbrenners genutzt werden, sodass ein Gasanschluss überflüssig wird. Aceton, diverse Säuren und die angesprochenen, alternativen Chemikalien können vielfach analog zu den konventionellen Chemikalien genutzt werden. So ist es denkbar, Kohlenstoffdioxid aus Kalk und einer Säure zu synthetisieren (Seilacht, 2002). Das Kalkwasser für den Kohlenstoffdioxid-Nachweis kann dann aus Zement hergestellt werden. Dazu wird nach Schwedt (2001) und Köthe (2008) Blitzzement aus dem Baumarkt, das Calciumhydroxid enthält, Wasser und eine Flasche benötigt. 20 g Zement werden in 50 mL Wasser gegeben und geschüttelt bzw. gerührt. Anschließend lässt man den ungelösten Feststoff sich absetzen (Abb. 7.6) und dekantiert die Flüssigkeit ab. Das Filtrat kann letztendlich zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid genutzt werden.



*Abb. 7.6:
Kalkwasser aus
Blitzzement*

Die Nutzung dieser alternativen Chemikalien aus dem Baumarkt eignet sich besonders für chemische Experimente. Die Anschaffung ist sehr einfach, da ein freier Erwerb gegeben ist. Weiterhin sind diese Artikel sehr günstig, sodass eine Kosteneinsparung gewährleistet werden kann. Zudem gibt es noch einen weiteren Vorteil bei der Nutzung von alternativen Chemikalien aus dem Baumarkt. Den Schülerinnen und Schülern kann auf diese Weise vermittelt werden, dass chemische Lerninhalte nicht ausschließlich im Chemieunterricht relevant sind, sondern auch im Alltag und in täglichen Produkten eine große Rolle spielen (Schwedt, 2001).

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Verwendung von Baumarktartikeln sehr geeignet für naturwissenschaftliche Experimente ist. Die hier vorgestellten Beispiele stellen nur einen Überblick über die Möglichkeiten dar. Mit etwas Kreativität lassen sich mit Hilfe von Artikeln aus dem Baumarkt vielfältige Experimentiermöglichkeiten schaffen.

8. Experimentiergerät aus dem Elektronik-Fachhandel

Im vorangegangenen Kapitel wurden alternative Materialien und Chemikalien aus dem Baumarkt vorgestellt, die sich für naturwissenschaftliche Experimente eignen. Weitere denkbare Materialien können in einem Elektronik-Fachhandel erworben werden.

Wie bei Artikeln aus dem Baumarkt sind auch die Materialien aus einem Elektronik-Fachgeschäft leicht und kostengünstig zu erwerben.

Insgesamt eignen sich viele unterschiedliche Produkte für Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht. Beispielhaft sollen hier Netzgeräte und Messgeräte für Gleich- und Wechselspannungen (Abb. 8.1), Experimentierkabel



Abb. 8.1: Einfaches
Multimeter

und Messgeräte für Gleich- und Wechselspannungen (Abb. 8.1), Experimentierkabel



Abb. 8.2:
Experimentierkabel und
Krokodilklemmen



Abb. 8.3: Magnete

(Abb. 8.2), Krokodilklemmen, Magnete (Abb. 8.3), Taschenlampen, Laser-Pointer, einzelne Kochplatten, Kartuschenbrenner, Stopp-Uhren sowie bestimmte Konsolen und Gefäße

genannt werden.

Durch die Materialien aus einem Elektronik-Fachgeschäft sind viele Versuche aus den Themengebieten der Elektronik und Elektrochemie durchführbar. Zu nennen sind hier beispielhaft der Bau eines Elektromotors, der Bau eines Stromkreises und der Bau von Galvanischen Zellen sowie Elektrolysezellen. Vor allem Leuchtdioden zum Anzeigen eines Stromflusses (Abb. 8.4) und/oder Multimeter sind hier hervorzuheben, da sie um ein Vielfaches preiswerter sind als spezielle Labormessgeräte (Abb. 8.1). Dennoch sind sie hinreichend genau für fast alle relevanten Versuche im naturwissenschaftlichen Unterricht in der Schule. Es lassen sich allerdings auch viele andere naturwissenschaftliche Themengebiete experimentell mit



Abb. 8.4:
Leuchtdiode

diesen Materialien erschließen, etwa der Bau eines Korkkompasses, Experimente zu Schwingungen oder Experimente zum Brechungs- und Reflexionsgesetz (Schlichting & Ucke, 2004; Mellert, et al., 2001; Tillmann, 2011; Kieninger, 2008).

Beispiele mögen auch dies erläutern. Hierzu werden beispielhaft der Bau eines Elektromotors, ein Experiment zum Reflexionsgesetz und die Nutzung von Leuchtdioden zur Spannungsmessung vorgestellt.



*Abb. 8.5:
Selbstgebauter
Elektromotor*

Für den Bau eines Elektromotors werden nach Schlichting und Ucke (2004) eine 1,5V Batterie, eine Schraube, ein kleiner Stabmagnet und ein Stück Draht benötigt. Werden der Zylindermagnet und die Schraube an einen Pol der Batterie gehängt und mit Hilfe eines Drahtes mit dem anderen Pol verbunden (vgl. Abb. 8.5), geraten der Magnet und die Schraube in eine schnelle Rotation.

Schlichting und Ucke bezeichnen diesen Weg als die einfachste und schnellste Möglichkeit einen Elektromotor herzustellen. Im Allgemeinen werden Elektromotoren als kompliziertes System aus einer Drahtspule und einem Magneten angesehen. Mit Hilfe der beschriebenen Materialien kann für ein paar Euro eine Konstruktion erbaut werden, deren Wirkungsgrad zwar gering und deren Konstruktion instabil ist, aber dem Prinzip des ältesten Elektromotor nach Michael Faraday entspricht

(Schlichting & Ucke, 2004).

Das zweite Beispiel ist ein Versuch zum Reflexionsgesetz. Hierzu werden ein Spiegel, kariertes Papier, ein Stift, ein Geodreieck und ein Laserpointer benötigt. Laserpointer gibt es vielfach schon für 1,50 € (Mercateo, 2011), Spiegelkacheln sind im Baumarkt für weniger als 1 € zu erwerben. Die Versuchsausführung zum Reflexionsgesetz ist also für etwa 2 € zu erwerben.

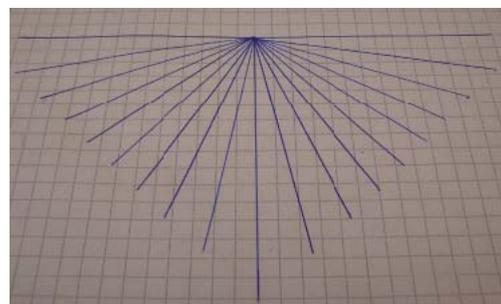


Abb. 8.6: Winkeleinteilung

Mit Hilfe eines Geodreiecks wird zunächst eine Winkeleinteilung sauber auf ein Stück kariertes

Papier aufgetragen werden (Abb. 8.6). Der Spiegel muss anschließend, wie in Abb. 8.7 dargestellt, auf die selbsterstellte Winkeleinteilung gestellt werden.

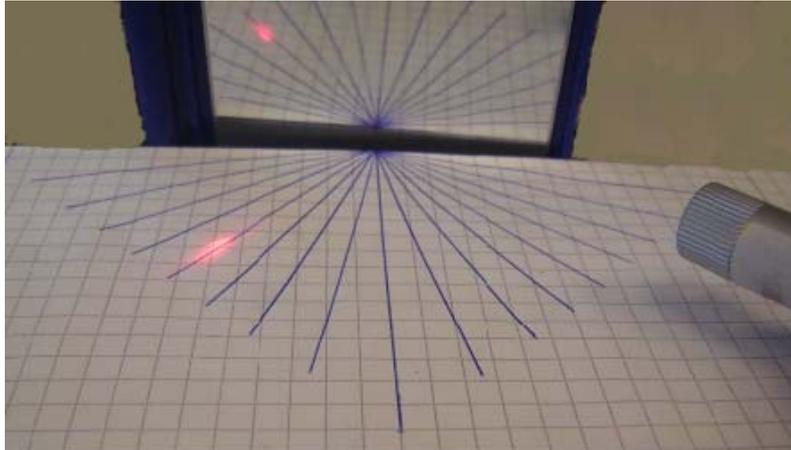


Abb. 8.7: Experiment zum Reflexionsgesetz

Der Raum sollte möglichst abgedunkelt werden, wenn der Lotfußpunkt mit dem Laserpointer längs der Bleistiftstriche bestrahlt wird. Auf dem Papier sieht man anschließend den reflektierten Laserstrahl, anhand dessen auf das Reflexionsgesetz geschlossen werden kann.

Letztendlich soll mit Hilfe eines Daniell-Elements demonstriert werden, wie eine Leuchtdiode als Strom- und Spannungsmesser eingesetzt werden kann. Hierzu werden eine Zwei-Kammer-Petrischale, ein Stück Zinkdraht, ein Stück Kupferdraht, Kabelmaterial, eine Leuchtdiode, Zinksulfat- und Kupfersulfat-Lösung benötigt. Die Materialien ordnet man, wie in Abb. 8.8 gezeigt, an.

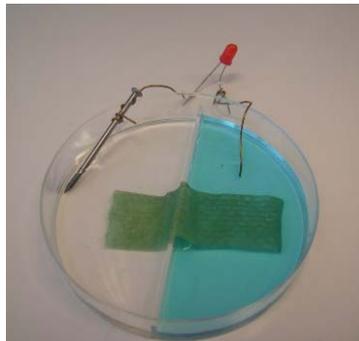


Abb. 8.8: Daniell-Element mit Leuchtdiode zur Spannungsüberprüfung

Das Leuchten der Leuchtdiode zeigt letztendlich die durch die Potenzialdifferenz entstehende Spannung an. Der Vorteil der Dioden im Vergleich zu anderen Lämpchen oder Motoren ist, dass sie bereits auf sehr geringe Spannungen reagieren, sodass ein für die Schülerinnen und Schüler sichtbarer Effekt auftritt.

Zum Abschluss dieses Kapitels sollen die Preise des alternativen Equipments, das in diesem Kapitel vorgestellt wurde, thematisiert werden. Tab. 8.1 listet dazu die

wichtigsten Materialien aus einem Elektronik-Fachhandel auf (Mercateo, 2011; Conrad Elektronik, 2011).

Alternatives Equipment	Kosten
Experimentierkabel	3 € pro Stück
Krokodilklemmen	0,50 € pro Stück
Magnete	Ab 0,15 € pro Stück (je nach Ausführung)
Taschenlampe	Kleine Ausführung ab 1,20 €
Leuchtdiode	0,04 €
Laserpointer	1,50 €
Kochplatte	10 €
Stoppuhr	2 €

Tab. 8.1: Kosten des alternativen Experimentierequipments aus dem Elektrofachhandel

9. Kostengünstige Alternativen für quantitative Untersuchungen

Im naturwissenschaftlichen Unterricht werden häufig quantitative Messungen durchgeführt. Diese reichen von Zeit-, Entfernungs-, Temperatur- oder Strom- und Spannungsmessungen bis hin zu photometrischen Messungen, der Bestimmung von Ladungen oder Reaktionsenthalpien. Die Anschaffung der unterschiedlichen Analysegeräte erfordert einen großen finanziellen Aufwand, sodass dies im schulischen Kontext vielfach unterlassen werden muss. Der Verzicht auf schüleraktive Experimente zu quantitativen Messungen ist allerdings nicht in allen Fällen notwendig, da viele Messgeräte günstig in Baumärkten oder dem Elektronikhandel erworben werden oder aus leicht zu beschaffenen Materialien selbst gebaut werden können.



Abb. 9.1: Wasserwaage

In Baumärkten oder ähnlichen Fachmärkten sind viele kostengünstige Alternativen zu herkömmlichen quantitativen Messgeräten zu finden, die bei naturwissenschaftlichen Experimenten zum Einsatz kommen können. Beispielfhaft sollen hier

Multimeter, digitale Thermometer, Wasserwaagen (Abb. 9.1), Laser-Entfernungsmesser oder Digitalwaagen (Abb. 9.2) aus dem Küchenhandel genannt werden. Viele dieser Geräte können analog zu den konventionellen Laborgeräten beim Experimentieren genutzt werden. Sie sind für schulische Ansprüche hinreichend genau und i.d.R. einfach zu bedienen.

Besonders gut geeignet sind kostengünstige Multimeter. Einfache Modelle dieser Multimeter zur Messung von Spannungen, Strom und Widerständen können häufig schon für weniger als 10 € erworben werden (Mercateo, 2011).



Abb. 9.2: Küchenwaage

Manche Geräte besitzen sogar einen digitalen Ausgang und lassen sich direkt mit einem Computer zur Messwerterfassung verbinden. Ein Beispiel ist das Digital-Multimeter „Digitek DT 4000 ZC“. Dieses Modell zeichnet sich durch besonders vielfältige Messmöglichkeiten aus. Es ermöglicht die Messung von Gleich- und Wechselspannung,

Gleich- und Wechselstrom, Widerständen, Kapazitäten, Frequenzen bis 10 Mhz sowie Temperaturen bis 750°C und ist für etwa 40 € erhältlich (ELV-Elektronik, 2011). Dieser Preis erscheint auf den ersten Blick relativ hoch, relativiert sich aber an der Anzahl der Einsatzmöglichkeiten.

Auch in Fachgeschäften der Aquaristik gibt es Zubehör für quantitative Untersuchungen. Dort kann man Multimeter erwerben, die die Messung von pH-Werten ermöglichen. Diese sind allerdings mit etwa 150 € pro Modell verhältnismäßig teuer in der Anschaffung (Schneiderbanger, 2011). Es gibt aber auch Schnelltests, die günstiger und einfach einzusetzen sind, um den pH-Wert oder etwa die Nitrat-Konzentration in Gewässern zu untersuchen.

Weitere Geräte können durch den Eigenbau mit Hilfe von einfachen, preisgünstigen Alternativen ersetzt werden. Vorstellbar sind hier Bau eines Gerätes zur Leitfähigkeitsmessung nach Kappenberg (2011), eines Low-Cost-Kalorimeters, eines Low-Cost-Fotometers nach Just (1990) und eines Low-Cost-Gaschromatographen. Letztgenanntes Analysegerät kann sowohl käuflich erworben als auch selbst gebaut werden. Kappenberg (2011) bietet verschiedene Varianten zum Kauf und diverse Selbstbauanleitungen an. Der Kauf eines solchen Analysegerätes kann für etwa 350 € erfolgen. Konventionelle Gaschromatographen, wie sie in Laboren verwendet werden, kosten dahingegen mehrere Tausend Euro (Neubert, 2011). Durch den Kauf eines Low-Cost-Gaschromatographen, anstelle eines konventionellen Analysegerätes, kann dementsprechend viel Geld eingespart werden. Kappenberg (2011) stellt ebenfalls eine Bauanleitung für dieses Gerät bereit, um durch den Selbstbau zusätzliche Kosten einzusparen. Hier wird auf der Basis von medizintechnischem Zubehör eine günstige Variante für einen Gaschromatographen erstellt. Insgesamt kostet ein Gaschromatograph mit Artikeln aus der Medizintechnik weniger als 50 €. Dies stellt im Vergleich zu den Kosten eines konventionellen Gerätes eine sehr starke Kosteneinsparung dar. Weiterhin beschreibt Kappenberg (1998), dass selbstgebaute Gaschromatographen für unterschiedliche analytische Anwendungen geeignet sind. Nach Kappenberg wurden bei folgenden Schulversuchen gute Ergebnisse erzielt:

- Analyse von Feuerzeug-Gas.
- Katalytische Hydrierung von Alkenen bzw. Alkinen.
- Photochlorierung von Erdgas (Methan).
- Pyrolyse von Kunststoffen (PE-Folie)

Es ist allerdings zu beachten, dass leichtflüchtige Komponenten schnell entweichen und dementsprechend die Zusammensetzung des Gases und des Chromatogramms verändern. Trotz dieses Nachteils ermöglicht das vorgestellte Analyseinstrument den Schülerinnen und Schülern eine leichte Handhabung und das Verstehen der Funktionsweise eines derartigen Gerätes.

Beispielhaft für die Verwendung von selbstgebaute Messgeräten im Unterricht sollen an dieser Stelle die Bestimmung von Mischungswärmen oder Schmelzwärmen beschrieben werden. Dazu wird ein Plastikbecher in ein geeignetes Becherglas geklemmt (Abb. 9.3). Der Vorteil dieses Kalorimeters ist, dass es sehr leicht ist. Aus diesem Grund können Flüssigkeiten direkt eingewogen und müssen nicht umgefüllt werden. Gegenüber den üblicherweise verwendeten Dewar-Gefäßen bieten sie außerdem

den Vorteil, dass keine Implosionsgefahr besteht (Maisenbacher, 2011). Auch der geringe Preis von wenigen Cent pro Plastikbecher und etwa 1,50 € pro Becherglas (Mercateo, 2011)



Abb. 9.3: *Low-Cost-Kalorimeter*

ist hier zu erwähnen. Dewar-Gefäße können dahingegen mehrere hundert Euro kosten. Zur Bestimmung einer Reaktionsenthalpie werden neben dem Low-Cost-Kalorimeter lediglich eine Waage, eine Stoppuhr und ein Thermometer benötigt. Es empfiehlt sich, das Gefäß nach außen mit Styropor zu isolieren. Um mit diesem Messinstrument den Wasserwert zu bestimmen, müssen 50 g Wasser in das Gefäß eingemessen und die Temperatur beobachtet werden, bis sich diese nicht mehr verändert. Anschließend wird in einem zweiten *Low-Cost*-Kalorimeter die gleiche Menge an 40°C warmen Wasser eingewogen. Auch hier muss die Temperatur beobachtet und notiert werden. Nach 3 – 4 Minuten wird das kalte Wasser hinzugegeben, wobei die Temperatur weiterhin regelmäßig notiert werden muss. Während der Bestimmung des Wasserwertes muss eine gute Durchmischung gewährleistet werden. Dies kann entweder durch einen Magnetrührer oder einen Holz- bzw. Plastikstab gewährleistet werden.

Insgesamt ist bei dem Eigenbau diverser analytischer Geräte immer zu bedenken, dass ein zusätzlicher Zeitaufwand anfällt. Bei einem Kauf wäre dies nicht notwendig. Die hohen Kosten der konventionellen Messinstrumente machen einen Kauf aber vielfach unmöglich, sodass hier eine gute Alternative bereit steht.

10. Experimentieren mit Materialien aus dem Haushalt

Es wurde bereits ausführlich auf die Anwendbarkeit von Gefäßen aus dem Haushalt beim naturwissenschaftlichen Experimentieren eingegangen. Daneben sind aber auch viele weitere Gegenstände aus dem Haushalt gut zu gebrauchen. Trichter aus der Küche, Gartenschläuche, Murmeln, Perlen, Luftballons, Aluminiumfolie, Kaffeefilter, Filzstifte, flache Glasschalen (z.B. Auflaufform) und Spiegel sind hier nur wenige Beispiele. Ein großer Vorteil bei der Nutzung von alltäglichen Gegenständen als Experimentierequipment ist, dass die verwendeten Gegenstände in nahezu jedem Haushalt vorhanden sind. Diese Tatsache ermöglicht es, dass die Schülerinnen und Schüler Versuche auch zuhause durchführen können. Für die Schule können die benötigten Gegenstände ebenfalls leicht beschafft werden, da sie kostengünstig in Supermärkten zu haben sind.

So existieren auch viele Bücher, die das naturwissenschaftliche Experimentieren mit Haushaltsartikeln thematisieren. Als Beispiele sollen hier Press (1995), Heuer (2010), Ardley (1997), Köthe (2008) und Rüter (2009) genannt werden. Diese richten sich häufig an Eltern, um mit den Kindern Naturphänomene spielerisch zu Hause zu entdecken. Dennoch können diese Versuche ebenso gut in Biologie-, Physik- und Chemiestunden eingesetzt werden und dort den Unterricht bereichern. Auch im Internet gibt es zunehmend solche Angebote. Tillmann (2011) beschreibt etwa diverse Experimente, die mit alltäglichen Gegenständen durchführbar sind. Um die Vielseitigkeit der unterschiedlichen Materialien aufzuzeigen, sollen an dieser Stelle einige Beispiele aus den drei Bereichen vorgestellt werden.



Abb. 10.1: Konstruktion zur veränderten Schallwahrnehmung

Zur Physik wurde je ein Versuch zur Schallwahrnehmung und zur Optik ausgewählt. Für die Durchführung des ersten Experiments werden zwei Plastiktrichter aus der

Küche, Klebeband, zwei Plastikschräuche aus dem Garten und ein Holzstab benötigt. Auf jeden der beiden Trichter wird ein Plastikschräuch gesteckt, der wiederum an dem Holzstab befestigt wird (Abb. 10.1). Die Schallwellen, die von links kommen, können durch diese Konstruktion in das rechte Ohr der Lernenden geführt werden und umgekehrt.

Das zweite Beispiel aus der Physik entstammt der Optik. Dazu wird mit Hilfe einer Auflaufform, einer Taschenlampe, etwas Knetgummi, einem weißen Karton und einem Spiegel ein Regenbogen erzeugt, indem das Licht der Taschenlampe in die Spektralfarben aufgespalten wird (Ardley, 1997). Für die Durchführung des Experiments sollte zunächst der Raum abgedunkelt werden, bevor ein Spiegel schräg in eine mit Wasser gefüllte Glasschale gestellt und mit der Knetmasse befestigt wird. Anschließend wird der untere Teil des Spiegels, der unter Wasser liegt mit der Taschenlampe beleuchtet. Der Regenbogen wird sichtbar, wenn der weiße Karton über die Schale gehalten wird (Abb. 10.2).



Abb. 10.2: Erzeugung eines Regenbogens

Aus der Chemie wird ein einfacher Versuch zur Chromatographie vorgestellt. Die Farbe von Filzstiften kann durch eine Chromatographie in ihre Bestandteile zerlegt werden. Dazu werden ein Filzstift, ein Glas und ein Kaffeefilter benötigt. Zunächst muss ein dicker Strich auf das Filterpapier gemalt werden. Der bemalte Kaffeefilter wird anschließend, wie in Abb. 10.3 dargestellt, gefaltet und über die Kante eines Glases ins Wasser gehängt (Tillmann, 2011). Beim Ausbreiten des Wassers werden die Bestandteile des Filzstiftes unterschiedlich weit getragen, wodurch unterschiedliche

Chromatogramme (Abb. 10.4) entstehen. Nach dem Trocknen des Kaffeefilters kann anhand dieser Chromatogramme auf die Bestandteile der Filzstiftfarbe geschlossen werden.



Abb. 10.3: *Low_Cost-Chromatographie*



Abb. 10.4: *Chromatogramm eines braunen Filzstiftes*

Auch Wärme- und Kältekissen sowie selbst heizende Espressodosen können zu interessanten Untersuchungen anregen. Wärmekissen sind zumeist mit einer Natriumacetat-Trihydratlösung gefüllt (Fischer, 2011). Wird das in dem Kissen befindliche Metallplättchen geknickt, wird eine Kristallisation ausgelöst, durch die es zur Freisetzung von Wärme kommt. Insgesamt kann es durch die Kristallisation nach dem genannten Autor zu einem Temperaturanstieg von bis zu 35°C kommen. Ist die Kristallisation abgeschlossen und das Kissen wieder abgekühlt, können die Kristalle durch Energiezufuhr in Form von heißem Wasser wieder aufgelöst und die Kristallisation rückgängig gemacht werden. Kältekissen sind dahingegen nicht mehrmals verwendbar. Weitere Möglichkeiten bieten Warm-Kalt-Kompressen, die in einer Mikrowelle aufgeheizt bzw. in einer Tiefkühltruhe herabgekühlt werden und anschließend zur Wärmung bzw. Kühlung genutzt werden, und selbstheizende Becher, in denen Flüssigkeiten erwärmt werden können. Wärme- und



Abb. 10.6: *Versuch zum Verhalten von Gasen bei einer Temperaturänderung*

Kältekissen sowie Kompressen und selbstheizende Becher sind für wenig Geld erhältlich (vgl. Mercateo, 2011) oder stehen in zahlreichen Haushalten zur Verfügung. Diese Gegenstände können qualitativ analysiert, ihr Effekt quantitativ untersucht oder es können in einem Wettbewerb möglichst gute Kopien nachgebaut werden. Die Anwendungsmöglichkeiten sind zahlreich. Zur besseren Anschauung soll an dieser Stelle ein zusätzlicher Versuch vorgestellt werden, in dem ein Wärmekissen dazu genutzt wird, das Verhalten von Gasen bei einer Temperaturänderung zu ergründen. Dazu werden eine Flasche, ein Trinkhalm, Knetmasse und ein Wärmekissen benötigt. Die Flasche wird zur Hälfte mit eingefärbtem Wasser gefüllt und der Strohhalm wird durch die Öffnung geführt bis er in das Wasser taucht. Anschließend wird die Öffnung der Flasche mit der Knetmasse luftdicht verschlossen (Köthe, 2008). Abb. 10.6 bildet den beschriebenen Versuchsaufbau ab. Mit Hilfe des Wärmekissens kann die Luft in der Flasche erwärmt werden, indem das Kissen an die Außenwand der Flasche gehalten wird. Die Ausdehnung der Luft in der Flasche zeigt sich über die Veränderung des Wasserstandes im Strohhalm.

Letztendlich soll darauf hingewiesen werden, dass nicht nur Geräte für Experimente aus dem Haushalt stammen können. Wie schon bei dem Kapiteln über Baumarktartikel, eignen sich auch diverse Haushalts- und Supermarktprodukte auch als Chemikalienersatz. Ein Beispiel sind die vielen Alternativen, die in der Säure-Base-Chemie genutzt werden können. So kann man etwa Indikatoren aus Rotkohl, Auberginen, Radieschen, Rosen oder Tee herstellen. Rotkohllindikator kann zuhause einfach mit Hilfe von Rotkohl, Brennspiritus und einem Kochtopf hergestellt werden. Dazu wird der Rotkohl klein geschnitten und zusammen mit dem Brennspiritus in einen Kochtopf gegeben, in dem er etwa 5 – 10 Minuten geköchelt wird. Die im Anschluss rot gefärbte Brennspirituslösung kann abgefüllt und als Indikator verwendet werden. Mit Hilfe dieses selbst hergestellten Indikators können Haushaltssubstanzen, wie Seifenlösung, Kochsalzlösung, Essigessenz oder ein Rohrreiniger bezüglich ihres pH-Wertes geprüft werden (Press, 1995; Schwedt, 2003). Abb. 10.5 zeigt die Farbskala, die der Rotkohllindikator in einer Seifenlösung, in einer Kochsalzlösung, in Brennspiritus, in Essigessenz, in einer Kernseifenlösung und in einem Schimmelreiniger annimmt.

Neben den bereits genannten Anwendungsbereichen existieren noch zahlreiche weitere. So schlägt Schwedt (2001; 2003) unter anderem vor, Chlor-, Stickstoff- oder Wasserstoffgas zu synthetisieren. Aber auch die Synthese von Kohlenstoffdioxid aus Natron und Essigessenz sowie der Bau eines Vulkans nach Ardley (1997) oder die

Erzeugung von Strom mit Hilfe von Kartoffeln (Press, 1995) bieten sich an. Letztgenannter Autor schlägt außerdem vor, mit Hilfe von Soda eine Tropfsteinhöhle nachzuahmen.



Abb. 10.5: Farbskala des Rotkohllindikators in verschiedenen Lösungen aus dem Haushalt

Wie bereits erwähnt, ist die Anschaffung der alternativen Chemikalien einfach, da ausschließlich frei erwerbliche und günstige Produkte aus dem Supermarkt verwendet werden. Weiterhin kann den Lernenden durch die Verwendung von Supermarktprodukten aufgezeigt werden, dass Chemie nicht ausschließlich im Chemieunterricht stattfindet, sondern auch im täglichen Leben und in alltäglichen Produkten zu finden ist. Es muss allerdings auch auf die Nachteile dieses Ansatzes eingegangen werden. So sind die Ausbeuten bei Experimenten mit alltäglichen Substanzen als Chemikalienersatz wegen der geringeren Reinheit manchmal schlechter als bei Versuchen, die mit Laborchemikalien durchgeführt werden.

An dieser Stelle soll auch noch darauf verwiesen werden, dass alltägliche Gegenstände nicht nur für Experimente in

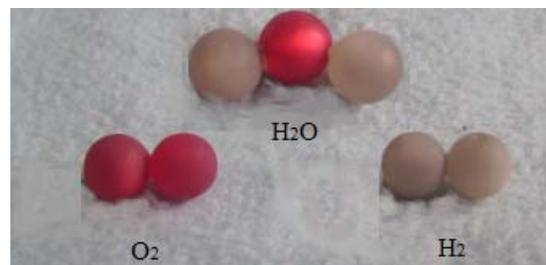


Abb. 10.7: Molekülmodelle aus Perlen

den naturwissenschaftlichen Fächern genutzt werden können. Vielmehr können auch hilfreiche Modelle gebaut und genutzt werden. So bieten sich beispielsweise verschiedenfarbige Perlen aus einer Kette oder Zellstoffkugeln an, um Molekülmodelle anzufertigen (Abb. 10.7).

Auch Modelle für die Biologie lassen sich so erstellen, etwa ein Modell vom Auge. Durch dieses kann den Schülerinnen und Schülern die Funktionsweise des Auges verdeutlicht werden. Hierzu werden ein Karton, Klebeband, eine Lupe, Knetgummi, ein Papiertaschentuch, eine Taschenlampe und eine Kugelvase (oder eine gläserne Teekanne) benötigt (Ardley, 1997). Das Papiertaschentuch wird von außen auf die Vase geklebt und in den Karton wird eine Figur geschnitten. Anschließend werden die Vase, die Lupe und der Karton, wie in Abb. 10.8 gezeigt, aufgebaut und mit Hilfe der Knetmasse stabilisiert.



Abb. 10.8: Modell eines Auges

Wenn der Strahl der Taschenlampe auf die Figur in dem Karton gerichtet wird, erscheint auf dem Taschentuch dieselbe Figur um 180° gedreht. Die Lupe wirkt bei diesem Modell wie die Linse im Auge. Durch das Verschieben des Vergrößerungsglases kann das Abbild auf dem Taschentuch letztendlich scharf gestellt werden (Ardley, 1997).

11. Low-Cost-Ansätze für biologische Versuche

In den vergangenen Kapiteln wurden zahlreiche Techniken vorgestellt, mit denen ein kostengünstiges Experimentieren gewährleistet werden kann. Im Zuge dessen wurden auch experimentelle Beispiele präsentiert. Auf biologische Experimente wurde dabei zumeist nur nebensächlich eingegangen. In diesem Kapitel soll dies nachgeholt werden. Die einzelnen Techniken sind auch bei Experimenten im Biologieunterricht umsetzbar, sodass die Materialien vieler konventioneller Experimente durch Geräte der diversen *Low-Cost*-Techniken ersetzt werden können. Beispielhaft soll hier auf ein Modell zur Atmung nach Sapper und Widhalm (2001) verwiesen werden.

Im Gegensatz zu chemischen und physikalischen Experimenten existieren zahlreiche biologische Experimente, die mit Hilfe von Pflanzen, Blättern, Stängeln oder Früchten durchgeführt werden können. Beispielhaft sollen hier der sensorische Nachweis von ätherischen Ölen, ein Experiment zu Carotinoiden in Paprika, Experimente zum Nachweis des Turgors und der Transpiration in Pflanzen sowie der Nachweis des bei der Fotosynthese gebildeten Sauerstoffs nach Schwedt (2007), Sapper und Widhalm (2001) sowie Wild (1999) genannt werden.

Die für diese Versuche benötigten Pflanzenteile können leicht vor dem Unterricht in Grünanlagen oder auf dem Schulhof gesammelt werden. Alternativ können in den Klassenräumen Topfpflanzen aufgestellt werden, sodass möglichst frische Blätter zur Verfügung stehen. Viele Früchte oder Blüten können in Supermärkten einfach und kostengünstig erworben werden.

Vielfach ist es allerdings auch notwendig, den Schülerinnen und Schülern ganze Pflanzensprosslinge zur Verfügung zu stellen. Diese können nach Keil und Kremer (2004) selbst gezüchtet werden. Dazu lässt man die gewünschten Samen einen halben Tag lang bzw. über Nacht in Leitungswasser bei Zimmertemperatur vorquellen (Abb. 11.1). Danach werden diese in einer Petrischale auf feuchtem Fließpapier ausgebreitet und bei etwa 25°C zum Keimen gebracht. Nach etwa 1 bis 2 Stunden sollten die Wurzeln etwa 2 cm lang sein,

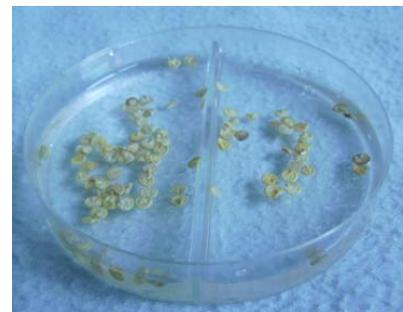


Abb. 11.1: Samen einer Paprikapflanze während des Vorquellens

sodass die Keimlinge in eine Nährlösung gegeben werden können. Dort sollten sie etwa 5 bis 8 Tage wachsen können, bevor sie für die Experimente eingesetzt werden können.



Abb. 11.2: Teelicht mit Zahnstocher

Zur besseren Anschauung der Versuche mit Pflanzen bzw. Pflanzenteilen, soll ein Experiment zum Nachweis des bei der Fotosynthese gebildeten Sauerstoffes und die Extraktion von Carotinoiden aus Paprika genauer dargestellt werden.

Für das erstgenannte Experiment werden eine Pflanzensprosse, welche nicht zu schnell welkt, drei Einmachgläser mit Deckel, drei Teelichter, drei Zahnstocher, ein Strohhalm, Alufolie, eine Stoppuhr und Leitungswasser benötigt.

Vorbereitend werden die Zahnstocher zwischen den Aluminiumbecher des Teelichts und die Kerze gesteckt (Abb. 11.2). Dieser Zahnstocher-Griff dient dem schnellen Transport der Kerze. Insgesamt darf der Zahnstocher nur so lang sein, dass die Kerze mit dem Holz- oder Kunststoffstäbchen in dem geschlossenen Einmachglas Platz findet. Anschließend werden die Einmachgläser mit Alufolie umhüllt (der Deckel sollte ausgespart werden) und mit Leitungswasser gefüllt. Eines der Gläser dient dem Vergleich und wird sofort verschlossen. In das zweite Glas wird eine Pflanzensprosse platziert (Abb. 11.3) und ebenfalls verschlossen. In das letzte Glas wird mit Hilfe eines Strohhalmes hinein geatmet und anschließend verschlossen.



Abb. 11.3: Pflanzenspross in abgedunkeltem Einmachglas

Die drei Gläser sollten für mehrere Tage am Fenster aufgestellt werden. In der nächsten Unterrichtsstunde kann mit Hilfe der Teelichter der Sauerstoffgehalt in den Gläsern miteinander verglichen werden.

Für die Extraktion von Carotinoiden aus Paprika werden nach (Schwedt, 2007) lediglich verschiedenfarbige Paprika, Brennspiritus, Eppendorf-Cups und ein Schneidemesser benötigt. Mit dem Messer werden die Paprika in sehr feine Stückchen geschnitten, wovon wenige in eine Eppendorf-Cup gegeben werden. Anschließend wird mit Brennspiritus aufgefüllt und kräftig geschüttelt. Abb. 11.4 zeigt welches Ergebnis bei dem Versuch zu erwarten ist. Die Carotine sammeln sich in der Benzolphase, während Xanthophylle in der wässrig-ethanolischen Phase zurückbleiben.



Abb. 11.4: Extraktion einer roten Paprika (links) und einer grünen Paprika (rechts)

Im Biologieunterricht werden aber nicht ausschließlich Pflanzen thematisiert. So werden auch Lebewesen behandelt. Vor allem das Themengebiet der menschlichen Sinnesorgane ermöglicht kleine „Selbstexperimente“ im Sinne des *Low-Cost-Prinzips*.

Versuche zur visuellen Wahrnehmung bieten sich hier besonders an, was durch ein



Abb. 11.5: Experiment zum räumlichen Sehen

Beispiel zum räumlichen Sehen gezeigt werden soll. Hierzu werden nach Sapper und Widhalm (2001) ein Vorhangring, eine Schnur und ein Bleistift benötigt. Der Vorhangring wird an der Schnur so aufgehängt, dass er von der „Versuchsperson“ gut zu sehen ist (Abb. 11.5). Die Versuchsperson bedeckt sich anschließend ein Auge und versucht den Bleistift mit der zweiten Hand durch den Vorhangring zu stecken.

Als weitere Beispiele schlagen die Autoren vor, Experimente zur Akkommodation, zum Richtungshören, zur Bewegungskoordination oder

zur Abstumpfung der Geruchsempfindung einer Schülerin oder eines Schülers zu machen.

Insgesamt soll hervorgehoben werden, dass die in diesem Kapitel vorgestellten Experimentiermöglichkeiten ausnahmslos ein kostengünstiges Experimentieren ermöglichen. Die Nutzung von Pflanzenteilen und Sprösslingen sowie der Einbezug der

Schülerinnen und Schüler bringen keine Kosten mit sich. Die Kosten der übrigen, verwendeten Materialien sind ebenfalls sehr günstig, wie in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich erläutert wurde.

Letztendlich soll auf einen zentralen Aspekt des Biologieunterrichtes eingegangen werden. So spielt das Mikroskopieren eine wichtige Rolle in der Biologie. Es existieren zahlreiche Experimentiervorschriften, die den Einsatz von Mikroskopen unabdingbar machen (vgl. Wild, 1999 und Sapper & Widhalm, 2001). Die Anschaffung dieser Geräte stellt einen großen Kostenaufwand dar. So kann ein einzelnes Mikroskop in Fachgeschäften bis zu 200 € kosten (Henkel, 2003).

Vielfach ist es allerdings möglich, einen kostenintensiven Erwerb zu umgehen. So sind einfachere Ausführungen mit einer geringeren Vergrößerung schon zu deutlich reduzierten erhältlich (Tillmann, 2011). So gibt es einfache Mikroskope bereits für etwa 20 € an, was einer Kostenreduzierung um den Faktor 10 entspricht. Henkel (2003) weist allerdings auch ausführlich darauf hin, dass viele kostengünstige Mikroskope von minderwertiger Qualität seien, die den Bedürfnissen eines fortgeschrittenen Biologieunterrichtes nicht genügen. Dies macht sich zum einen in einer verringerten Vergrößerung, einer schlechteren Verarbeitung sowie einer schlechteren Optik bemerkbar. Beim Kauf ist also verstärkt darauf zu achten, welche Kriterien das Produkt zur Erfüllung der jeweiligen Ansprüche zu erfüllen hat.

Henkel (2003) schlägt außerdem vor, Mikroskope vor allem bei jüngeren Altersstufen durch Lupen (Abb. 11.6) zu ersetzen. Diese können eine 10fache Vergrößerung aufweisen und sind in guter Qualität für unter 10 € erhältlich (Henkel, 2003).



Abb. 11.6: Lupe

Ein zusätzlicher Vorteil bei der Verwendung von Lupen anstelle von kostenintensiven Mikroskopen ergibt sich daraus, dass Lupen wesentlich robuster sind. Vor allem jüngere Schülerinnen und Schüler verfügen oftmals noch nicht über das nötige manuelle Geschick, um einen angemessenen und schonenden Umgang

mit den teuren Vergrößerungsgeräten gewährleisten zu können.

Literatur

- Apotheke am Wolfsanger. (2006). *Online-Apotheke*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.medizinwiesel24.com/>.
- Ardley, N. (1997). *101 spannende Experimente aus Wissenschaft und Technik*. Bindlach: Loewe-Verlag.
- Bader, H. J. (2003). Nachhaltigkeit und nachhaltiges Arbeiten. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie*, 52 (3), 16 - 20.
- Bradley, J. D., Durbach, S., Bell, B., & Mungarulire, J. (1998). Hands-On Practical Chemistry for All - Why and How. *Journal of Chemical Education*, 75 (11), 1406 - 1409.
- Bradley, J. (2006). The Microscience Project and its Impact on Pre-service and In-service Teacher Education . In M. Hugerat, P. Schwarz, & P. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 26 - 39). Haifa: Tha Academic Arab College for Education.
- Brand, B. H. (2010). *BRANDs CHEMIE*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.bhbrand.de/index.php>.
- Choi, M. M. (2002). Microscale Chemistry in a Plastic Petri Dish: Preparation and Chemical Properties of Chlorine Gas. *Journal of Chemical Education*, 79 (8), 992 - 993.
- ConradElektrik. (2011). *Conrad. Voller Ideen*. Abgerufen am 27. August 2011 von http://www.conrad.de/ce/de/?insert_kz=NA&hk=SEM&WT.srch=1&gclid=CLu1jMak76oCFYIXzQodfyE7PA.
- du Toit, M., & du Toit, C. (2006). Microscale Experiments using a STUDENT LAB. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 103 - 108). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Eckert, B., Stetzenbach, W., & Jodl, H.-J. (2000). *Low Cost - hightech. Freihandversuche Physik. Anregungen für einen zeitgemäßen Unterricht*. Köln: Aulis-Verlag.
- Eilks, I., Fischer, H., Hammann, M., Neuhaus, B., Petri, J., Ralle, B., et al. (2004). Forschungsergebnisse zur Neugestaltung des Unterrichts in den Naturwissenschaften. In H. Bayrhuber, *Konsequenzen aus Pisa. Perspektiven der Fachdidaktiken* (S. 197 - 216). Wien: Studienverlag.
- El-Marsafy, M. K. (2004). Mikrochemische Maßanalyse. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 16 - 19.
- ELV-Elektronik. (2011). *ELV - Kompetent in Elektronik*. Abgerufen am 28. August 2011 von <http://www.elv.de/output/controller.aspx>.
- Ferdinand, P. (2007). *Selbstgesteuertes Lernen in den Naturwissenschaften. Eine Interventionsstudie zu den kognitiven und motivationalen Effekten eines Blended Learning Ansatzes*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Fischer, O. (2011). *Wissenschaft in die Schulen*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.wissenschaft-schulen.de/>.
- Full, R. (1996). Lichtblicke - Petrischalenexperimente in der Overhead-Projektion. *Chemie in unserer Zeit*, 30 (6), 286 - 294.

- Häusler, K., Rampf, H., & Reichelt, R. (1995). *Experimente für den Chemieunterricht - mit einer Einführung in die Labortechnik*. München, Düsseldorf und Stuttgart: Oldenbourg (2. Auflage).
- Henkel, K. (14. Juni 2003). *Die Mikrofibel*. Abgerufen am 28. August 2011 von <http://www.mikroskopie-muenchen.de/mikrofibel.pdf>.
- Heuer, (2010). *Spectacular Experiments & Mad Science Kids Love: Science That Dazzles at Home, School or on the Go*. Bloomington: Authorhouse.
- Joling, E. (2006). Introduction of Microscale Chemistry in the Netherlands. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 183 - 197). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Just, N. (1990). Low-Cost-Experimente - Teil 4: Das Photometer in der Zigarrenkiste - eine Anleitung zum Selbstbau eines Photometers durch die Schüler. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 39 (1), 30 - 31.
- Kappenberg, F. (2011). *Arbeitskreis Kappenberg*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.kappenberg.com/pages/start/start.htm>.
- Keil, M., & Kremer, B. P. (2004). *Wenn Monster munter werden - Einfache Experimente aus der Biologie*. Weinheim: Wiley.
- Kieninger, M. (2008). *Physik mit 4- bis 6-Jährigen*. Berlin: Cornelsen.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2001). *Physikdidaktik: Eine Einführung*. Berlin: Springer.
- Köhler-Krützfeld, A., & Gruvberg, C. (2000). Microscale Chemistry: Eine europäische Idee kehrt zurück nach Europa. *Praxis der Naturwissenschaften*, 49 (5), 18 - 21.
- Köthe, R. (2008). *Was ist Was - Experimentierbuch. 175 Experimente aus Physik, Biologie und Chemie*. Nürnberg: Tessloff.
- Kranz, J. (2008). *Schulentwicklung konkret: Baustein "Schülermotivation"*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Kruse-Özcelik, R., & Schwarz, P. (2004). Experimente für kleine Hände. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 10 - 15.
- Kuhn, J., & Rech, A. (2003). *Freihandexperimente und Naturphänomene aus den Naturwissenschaften*. Abgerufen am 27. August 2011 von <http://www.uni-landau.de/physik/fan/index.html>.
- Latzel, G. (1989). Low-Cost-Experimente- Teil 1: Das einfache Experiment. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie*, 38 (6), 34 - 35.
- Maisenbacher, P. (2011). *Landesbildungsserver Baden Württemberg*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.schule-bw.de/>.
- Maurer. (2011). *Maurer - Lehr- und Forschungsmittel*. Abgerufen am 28. August 2011 von <http://www.mauer-gmbh.com/index2.htm>.
- Mellert, V., Grahl, S., Rehtien, P., Weusting, P., Poppinga, D., & Poppinga, T. (2001). *Physik für Kids*. Abgerufen am 27. August 2011 von <http://www.physikfuerkids.de/>.
- Menzel, P. (1990). Low-Cost-Experimente: Teil 10: Eigenbau eines piezo-elektrischen Zündgerätes. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 39 (7), 34.

- Mercateo. (2011). *Die Beschaffungsplattform für Geschäftskunden*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.mercateo.at/>.
- Neubert, M. (2011). *Dynatech - Ihr Taschenrechner Spezialist*. Abgerufen am 28. August 2011 von <http://www.dynatech.de/index.php?prod=5379>.
- NeubertGlas. (2011). *Der Laborfachhandel*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.neubert-glas.de/>.
- Obendrauf, V. (2004). Toxisches Chlor vernünftig dosiert. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 22 - 27.
- Obendrauf, V. (2006). Fundamental Microscale Experiments from Austria, Presented Worldwide. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 300 - 321). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Omikron. (2004). *Chemikalien und Laborgeräte*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.omikron-online.de/cyberchem/>.
- Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Pike, R. M. (2006). Through the Years with Microscale Chemistry. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 13 - 25). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Press, H. J. (1995). *The Little Giant Book of Science Experiments*. New York: Ravensburger Buchverlag Otto Maier GmbH.
- Rüter, M. (2009). *111 spannende Experimente für Kinder. Faszinierend. Verblüffend. Völlig ungefährlich*. München: Compact.
- Sapper, N., & Widhalm, H. (2001). *Einfache biologische Experimente*. Wien: Klett.
- Schallies, M. (1991). Mikrochemische Methoden im Schulexperiment - gestern, heute und morgen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie*, 40 (1), 2 - 5.
- Schlichting, H. J., & Ucke, C. (2004). Der einfachste Elektromotor der Welt. *Physik unserer Zeit*, 35 (6), 272 - 273.
- Schmittingerm, T. (2011). *Katharineum. Städtisches Gymnasium für Jungen und Mädchen mit altsprachlichem Zweig*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://kath.mrstec.de:9673/>.
- Schneiderbanger, M. (2011). *Aquaristik - Margit Schneiderbanger*. Abgerufen am 28. August 2011 von <http://www.aquarium-laden.de/Start>.
- Schwan, T. (2005). Elektrochemie im Low-Cost Maßstab: Elektrolyse, Schmelzelektrolyse und galvanische Elemente im Kontext der Unterrichtsreihe „Atombau und chemische Bindung“. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 58 (3), 169 - 175.
- Schwarz, P., & Lutz, B. (2004). Kreativer Chemieunterricht: Mikrochemische Experimente in der Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 81, 4 - 9.
- Schwedt, G. (2001). *Experimente mit Supermarktprodukten: eine chemische Warenkunde*. Weinheim: Wiley-VCH.

- Schwedt, G. (2003). *Noch mehr Experimente mit Supermarktprodukten: das Periodensystem als Wegweiser*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Schwedt, G. (2007). *Chemie für alle Jahreszeiten - Einfache Experimente mit pflanzlichen Naturstoffen*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Seilnacht, T. (2002). *Naturwissenschaftliches Arbeiten*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.seilnacht.com/>.
- Sigma-Aldrich, C.-O. (2011). Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.sigmaaldrich.com/germany.html>.
- Singh, M. M., Szafran, Z., & Pike, R. M. (1999). Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies. *Journal of Chemical Education* 76 (12), 1684 - 1686.
- Singh, M. M., & Szafran, Z. (2000). Chemie im Mikromaßstab: Labortechnik mit Zukunft. *Praxis der Naturwissenschaften*, 49 (5), 7 - 11.
- The-radmaste-microscience-System. (2010). *The UNESCO-Associated Centre for Microscience Experiments*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.microsci.org.za/RADMASTEBrochure.pdf>.
- Tillmann, A. (2011). *Kids Science*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.kids-and-science.de/kids-and-science/startseite.html>.
- von Borstel, A. (2009). *ChemZ. Chemieunterricht mit medizinischem Zubehör*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.chemz.de/index.php/chemz-allgemeine-infos.html>.
- von Borstel, G., & Böhm, A. (2004). ChemZ - Chemieunterricht mit medizintechnischem Zubehör. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, 81, 48 - 49.
- von Borstel, G., & Böhm, A. (2006). Ein preiswerter Hoffmann'scher Zersetzungsapparat für Schülerübungen - Medizintechnik als kostengünstiger Ersatz für Glasgeräte. *Der Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterricht*, 59 (6), 262 - 264.
- Wild, A. (1999). *Pflanzenphysiologische Versuche in der Schule*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Wilke, H.-J. (1998b). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen Teil 2. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 51 (2), 106 - 109.
- Wilke, H.-J. (1998c). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen Teil 5. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 51 (6), 359 - 363.
- Wilke, H.-J. (1998a). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen: Eine Einführung in die Beitragsreihe. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 51 (1), 20 - 25.
- Wood, C. G. (1990). Microchemistry. *Journal of Chemical Education*, 67 (7), 596 - 597.
- Zhou, N. H. (2004). Experimente mit der wellplate 6. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 21 - 22.
- Zinsser-Analytic (2011). *Zinsser Analytic*. Abgerufen am 24. Juli 2011 von <http://www.zinsser-analytic.com/>.