



**MNI-Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung
S 5 „Teambezogenes und selbstständiges Lernen“**

MICROSCALE SCHÜLER- EXPERIMENTE MIT LOW COST EQUIPMENT IM CHEMIEUNTERRICHT

Dipl.Ing. Dr. Albrecht Sottriffer

Dipl. Ing. Andreas Reindl



Schule der Technik

Wien, Juli 2005

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACT	4
1 EINLEITUNG	5
1.1 Ausgangspunkt	5
1.2 Ziele	5
1.2.1 Erleichterung der Durchführbarkeit von Schülerexperimenten.....	5
1.2.2 Verbesserung der Schülermotivation	5
1.2.3 Verbesserung der Leistung der Schüler.....	6
2 IN DER LITERATUR VORHANDENE ANSÄTZE	6
2.1 Übersicht.....	6
2.2 Bewertung der Ansätze.....	7
3 EXPERIMENTIERSET	8
3.1 Zusammenstellung des Experimentiersets	8
3.1.1 Geräte	9
3.1.2 Messgeräte	11
3.2 Preise und Bezugsquellen	12
4 DURCHFÜHRUNG	13
4.1 Ablauf der experimentellen Unterrichtseinheiten.....	13
4.2 Durchgeführte Experimente	14
4.2.1 Einführung in die Arbeitstechniken.....	14
4.2.2 Einfache Reaktionen	14
4.2.3 Stöchiometrie	15
4.2.4 Flammenfärbung	15
4.2.5 Reaktionskinetik	15
4.2.6 Säure Basen Reaktionen	15
4.2.7 Elektrochemische Spannungsreihe.....	15
4.2.8 Elektrolyse und Faradaysche Gesetze.....	15
4.2.9 Wasser.....	15
4.2.10 Luft.....	16

5	ERFAHRUNGEN, REFLEXION, EVALUATION	16
5.1	Praxistauglichkeit des Ansatzes.....	16
5.1.1	Vorteile.....	16
5.1.2	Probleme.....	17
5.2	Einfluss auf die Unterrichtsgestaltung	18
5.2.1	Einfluss auf Unterrichtsstil und Schüler Lehrer Verhältnis.....	18
5.2.2	Leistungsbeurteilung	19
5.3	Feedback und Motivation der Schüler.....	20
5.4	Schülerbefragung.....	20
6	ABSCHLIEßENDE ÜBERLEGUNGEN	22
7	LITERATUR.....	23

ABSTRACT

Wie kaum ein anderes Fach lebt der Chemieunterricht von der Anschauung. Das Experiment ist daher von entscheidender Bedeutung. Das Problem liegt in der praktischen Durchführung, die durch räumliche, personelle, finanzielle und sicherheitstechnische Gegebenheiten behindert werden.

Dieses Projekt soll den Großteil dieser Probleme durch intelligenten Einsatz von Microscale Techniken lösen oder entschärfen. Kernstück ist dabei der Einsatz von Mikrotiterplatten als Reaktionsbehältern und von Einweg Pasteurpipetten. Diese Kunststoffplatten sind mit Behältern in verschiedenen Größen verfügbar (z.B. 96 x 0,3ml oder 24 x 3ml) und können dabei vielfältig eingesetzt werden. Die Einwegpipetten aus PE können einerseits zur erstaunlich exakten Dosierung von Lösungen, aber auch zum Mischen oder als Vorratsbehälter eingesetzt werden.

Die Vorteile dieses Systems sind folgende:

Die Verwendung billiger Einmalartikel aus dem Bereich der Biochemie spart Kosten.

Die Verlagerung der Chemikalienmenge in Richtung einzelner Tropfen erhöht die Sicherheit, spart Kosten und verringert die Umweltbelastung.

Der laufende Aufwand reduziert sich durch die universelle Einsetzbarkeit des Materials erheblich. Bei den meisten durchgeführten Experimenten konnte nach ca. 10-20 Minuten Arbeit das Programm in einer Parallelklasse wiederholt werden.

Schulstufe: 9

Fächer: Angewandte Chemie und Ökologie

Kontaktperson: Dipl.Ing. Dr. Albrecht Sotriffer (Albrecht.Sotriffer@tgm.ac.at)

Kontaktadresse: TGM Schule der Technik Wexstr. 19-23

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangspunkt

Wie kaum ein anderes Fach lebt der Chemieunterricht von der Anschauung. Das Experiment ist daher von entscheidender Bedeutung. Dabei ist eigenständige Erfahrung wo immer möglich dem Demonstrationsexperiment vorzuziehen.

Das Problem liegt in der praktischen Durchführung, die durch räumliche, personelle, finanzielle und sicherheitstechnische Gegebenheiten behindert werden.

Schülerexperimente erfordern üblicherweise sehr großen Arbeitsaufwand, die Kosten für Geräte und Material sind erheblich, Chemiesäle sind – so überhaupt vorhanden – meist auf das Demonstrationsexperiment ausgelegt, die hohen Klassenschülerzahlen führen bei nur einem Lehrer in der Klasse zu erheblichen Sicherheitsproblemen.

1.2 Ziele

Dieses Projekt verfolgt eine ganze Reihe von Zielen, die in mehrere Teilbereiche zu gliedern sind.

1.2.1 Erleichterung der Durchführbarkeit von Schülerexperimenten

Es sollte ein Experimentierset entwickelt werden, das alle grundlegenden Schwierigkeiten bei der Durchführung von Schülerexperimenten löst, oder entschärft. Dafür sind eine Reihe von Voraussetzungen zu erfüllen:

- Niedrige Investitions- und laufende Kosten
- Vertretbarer Arbeitsaufwand im laufenden Betrieb
- Keine besonderen Ansprüche an die räumliche Ausstattung
- Hohe intrinsische Sicherheit der durchgeführten Experimente, um eine Durchführung auch bei hohen Schülerzahlen zu ermöglichen.

Bereits zu Beginn der Arbeiten war klar, dass diese Ziele durch die Anwendung von billigen Kunststoffartikeln und Experimenten im Microscale Maßstab erreichbar sind.

1.2.2 Verbesserung der Schülermotivation

Ein weiterer wesentlicher Punkt bei diesem Projekt war das Bestreben, Schüler zu einer konstruktiven Mitarbeit heranzuführen, die von vornherein nur wenig – bis gar kein Interesse am Fach aufbringen. Es sollte also erreicht werden, dass nicht nur für 10% unterrichtet wird, und der Rest mehr schlecht als recht mitgeschleppt wird. Es sollte ihnen also Freude an der Chemie vermittelt werden. Es soll ihnen also die Chemie im wahrsten Sinne des Wortes "begreifbar" gemacht werden. Für viele Schüler ist der gerade im Bereich der Chemie notwendige hohe Abstraktionsgrad ein Problem dar. Hier können aber andere Fähigkeiten – wie z.B. genaues Arbeiten, Verstehen und Befolgen einer Arbeitsvorschrift usw. – erlernt und geübt werden.

1.2.3 Verbesserung der Leistung der Schüler

Eine verbesserte Motivation der Schüler sollte auch zu einem besseren Ergebnis des Unterrichts führen. Das ist vor allem nach jüngsten Ergebnissen im Hinblick auf internationale Leistungsvergleiche von Interesse. Dagegen steht allerdings, dass der Zeitbedarf für die Schülerexperimente hoch ist und aus diesem Grund das Zeitbudget stark belastet ist.

Ein Problem bei der Beurteilung dieses Punkts stellt die große Streuung von Leistungen beim Vergleich unterschiedlicher Klassen dar. Teilweise werden auch andere Fähigkeiten gelernt und geübt, als im "konventionellen" Unterricht. Daher kann auch ein Leistungsvergleich mit Kontrollgruppen nicht unmittelbar erfolgen.

2 IN DER LITERATUR VORHANDENE ANSÄTZE

Die Probleme bei der Durchführung von Experimenten in der Chemieausbildung sind nicht neu, es existiert daher bereits eine Reihe von Ansätzen, die ihre Motivation in erster Linie aus der Reduktion von Kosten schöpfen und vor allem auf den universitären Bereich zugeschnitten sind.

Sucht man bei amazon nach Büchern mit den Begriffen microscale chemistry so stößt man auf eine Unmenge an Literatur

2.1 Übersicht

So existiert z.B. eine Sammlung von Arbeitsvorschriften bei D.W. Brooks¹ der auf der University of Nebraska Lincoln tätig ist.

Auf die Situation in Entwicklungsländern zugeschnitten ist die Arbeit von J.D. Bradley²

Ein vollständiges Laborprogramm auf der Basis von Microscale Techniken findet sich bei Stephen Thomson³, der an der Colorado State University entsprechende Arbeitsmethoden entwickelt.

Allen diesen Publikationen ist gemeinsam, dass die Zielgruppen im universitären Bereich liegen, während der Schulbereich so gut wie nicht behandelt wird.

Die Arbeiten von Viktor Obendrauf⁴ stellen hervorragende Anregungen für Demonstrationsexperimente dar, sind aber im Bereich der Schülerexperimente nicht immer einsetzbar.

Arbeiten im kleinsten Maßstab mit günstigsten Mitteln propagiert auch M.K. El Marsafy zusammen mit Peter Schwarz, die im Internet eine Große Sammlung gut dokumentierter Experimente mit Schülerversuchen für alle Altersstufen publiziert haben⁵.

¹ dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale00.html

² J.D. Bradley; Pure Appl.Chem., Vol.71, No. 5, pp. 817-823, 1999
Hermes.wits.ac.za/radical

³ Stephen Thompson: Chemtrek: small scale experiments for general chemistry, prentice hall 1990

⁴ z.B. Viktor Obendrauf; Chemie und Schule; in zahlreichen Ausgaben

⁵ www.microchem.de

2.2 Bewertung der Ansätze

Zahlreiche Autoren verstehen unter Microscale Technik den nicht besonders innovativen Ansatz, klassische Experimente und Synthesen mit halt etwas kleineren Apparaturen durchzuführen. Auf diese Art werden klassische Einführungslabors für allgemeine oder präparative organische oder anorganische Chemie beschrieben⁶. Dieser Weg ist weder besonders originell noch Kosten sparend (auch kleine Schliffapparaturen sind teuer) und kommt daher im Rahmen dieses Projekts kaum zum Tragen.

Die Ansätze von Thomson, Brooks und Bradley gehen einen völlig anderen Weg. Im weitestgehend möglichen Ausmaß wird auf die Verwendung von herkömmlichen Laborartikeln verzichtet. Glasgeräte werden nur in Ausnahmefällen eingesetzt und durch kostengünstige Einweg - Kunststoffartikel ersetzt. Auf Geräte wird weitestgehend verzichtet, sie werden nur soweit verwendet, als sie durch die Studenten selbst herstellbar und somit verstehbar sind. Es kommen also keine Black Boxes zum Einsatz. Besonders hervorzuheben ist dabei die Arbeit von Thompson, der für viele alltägliche billige Materialien überraschende Einsatzmöglichkeiten findet. Vor allem sein Buch Chemtrek bildet zusammen mit der Sammlung von Brook eine wichtige Anregung und Grundlage dieses Projekts.

Viktor Obendraufs Methodik zielt sehr oft auf das Demonstrationsexperiment. Die Verwendung von Epruvetten und oft auch von gefährlichen Chemikalien in ml Mengen sind im Schülerexperiment beim zur Diskussion stehenden Lehrer/Schüler Verhältnis ein nicht vertretbares Risiko. Manche der von Ihm ausgearbeiteten Experimente sind aber in diesem Bereich eine unverzichtbare Anregung (z.B. die Wasserelektrolyse, die ungleich eleganter gelöst ist, als in vergleichbaren Ansätzen).

El Marsafy bietet eine Reihe von sehr interessanten Ansätzen. Sein Bestreben Kosten zu sparen führt zwar meist zu praktikablen Ansätzen, diese sind aber häufig reichlich improvisiert. So ist die Verwendung von Tablettenblistern als Reaktionsgefäß auf den ersten Blick eine reizvolle Variante, spätestens bei dem Versuch einen Klassensatz mit einigermaßen gleichen „Geräten“ auszustatten zeigen sich jedoch Probleme, die nur für einen chronisch Kranken leicht lösbar erscheinen (nur bei einem laufenden Medikamentenbedarf kann ich mir eine ausreichende Versorgung mit gleichartigen Tablettenblistern vorstellen).

⁶ z.B. Zvi Szafran; Ronald M.Pike; Judith C. Foster; Microscale general chemistry laboratory, second edition; John Wiley 2003

3 EXPERIMENTIERSET

3.1 Zusammenstellung des Experimentiersets



Kernstück des Projektes ist ein Experimentierset, das für jeden Schüler zur Verfügung steht.

Inhalt Microchembox

Mikrotiterplatte 96 (klein)	1	Filmdose schwarz	1
Mikrotiterplatte 24 m.D. (groß)	1	<i>Inhalt:</i>	
Pasteurpipetten PE	4	LED rot	1
Schutzbrille	1	Temperatursensor	1
Wäschekluppe Holz	1	Photowiderstand	1
Schere 13,5cm	1	Kunststoffdose	1
Trinkhalm Ø 7mm	5	<i>Inhalt:</i>	
Kunststoffglas V = 2cl	1	Multimeter	1
Filmdose weiß	1	Krokokabel	5
Edelstahldrahtöse	1	Batterie 9V	1
Petrischale Kunststoff m.D.	1	Batterieclip 9V	1
Zahnstocher Kunststoff	1		

Der Inhalt wurde in Richtung maximaler Flexibilität zusammengestellt. Im Folgenden soll erläutert werden, welche Funktionen die einzelnen Komponenten beispielhaft übernehmen können. Dazu Bezugsquellen und Preise:

3.1.1 Geräte

3.1.1.1 Mikrotiterplatte 96

In dieser Mikrotiterplatte gibt es 96 Gefäße mit ca. 0,3ml Inhalt. Sie haben einen geraden transparenten Boden, der – wenn über einer weißen Fläche stehend – die Beurteilung von Farben erleichtert. Es stehen also 96 Reaktionsgefäße zur Verfügung, welche die Durchführung einer großen Zahl von Reaktionen erlaubt. Versuche lassen sich dadurch auch ohne zeitraubende Reinigungsvorgänge wiederholen, die Ergebnisse von vielen Versuchen können unmittelbar miteinander verglichen werden. Die Platten sind in Reihen und Spalten mit Buchstaben und Zahlen beschriftet, es kann daher jedes Gefäß eindeutig beschrieben werden (analog zu Positionen am Schachbrett).



Sicherheitstechnisch ergibt sich eine Reihe von Vorteilen:

- Keine Bruchgefahr und keine Gefahr von Schnittverletzungen durch Scherben.
- Geringe Chemikalienmengen reduzieren das Gefährdungspotential
- Kein Verschütten durch Umkippen, da die Standfestigkeit sehr hoch ist und auch ein Umkippen nicht zum Ausfließen des Inhalts führt. (Die Platten können ohne Verschütten auf den Kopf gestellt werden)

Die Platte ist weiters als Basis für Stativkonstruktionen auf der Basis von → Trinkhalmen geeignet.

3.1.1.2 Mikrotiterplatte 24

Diese Platte kann als Sammlung von Reaktionsgefäßen zum Einsatz kommen, wenn das Volumen der kleineren Platten nicht ausreicht. Im Gegensatz zu der Mikrotiterplatte 96, deren Behälter ein Volumen von ca. 0,3ml haben steht hier ein Volumen von ca. 3ml – also das zehnfache – zur Verfügung.

Außer als Reaktionsgefäß lassen sich diese Platten vielfältig einsetzen.

Zum Beispiel:

Chemikalienlogistik:



Die verwendeten Chemikalien werden in den → Pasteurpipetten ausgegeben. Diese können in diesen Platten abgestellt, gelagert und transportiert werden.

Weitere Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig. (Fraktionssammler, Lösebehälter, modifizierter Gasentwickler nach Obendrauf ...)



Elektrolyseapparatur (Chlor Alkali Elektrolyse) auf Basis der Mikrotiterplatte 24 und Trinkhalmen

3.1.1.3 Pasteurpipette PE

Die Pasteurpipetten aus Polyethylen sind extrem vielseitige Werkzeuge. Mit wenigen Handgriffen sind sie so weit modifizierbar, dass einerseits die Tropfengröße kleiner, andererseits auch reproduzierbarer wird. Bei sorgfältigem Arbeiten ist die Tropfengröße von etwa 0,013ml auf ca. 3-5% konstant. Dies ist ausreichend genau, um auch quantitative Fragestellungen zu bearbeiten.

Denkbar ist weiters der Einsatz als Reaktions- oder Mischbehälter. Einsatz als Probenahmebehälter für Wasserproben (sind durch Verschweißen einfach verschließbar) etc.

Eine ganz zentrale Rolle nehmen die Pipetten bei der Chemikalienlogistik ein.

Da die eingesetzten Lösungen üblicherweise nur in Tropfenmengen verbraucht werden, ist das Fassungsvermögen von ca. 4 ml für mehrere Versuchsreihen ausreichend. Mit einem – mit wenigen Handgriffen herstellbaren – Deckel eignen sich die Pipetten daher auch zur Ausgabe und Vorratshaltung der Chemikalien. Sie müssen zu diesem Zweck nur noch etikettiert werden. Die Mikrotiterplatte 24 eignet sich dabei hervorragend als Ständer bzw. Tablett zur Aufbewahrung und zum Transport.

3.1.1.4 Schutzbrille

Keine Kompromisse bei der Sicherheit!!!!

3.1.1.5 Wäscheklammer Holz

Haltefunktionen z.B. Edelstahldraht bei Flammenfärbung

3.1.1.6 Schere

Zuschneiden von Filterpapieren, Trinkhalmen

3.1.1.7 Trinkhalm 7mmØ

Stativmaterial, Reaktionsgefäß, Chromatographiesäule, Elektrolyseapparatur....

Optimal einsetzbar in Verbindung mit einer Handmotivstanze Kreis 1/4"

3.1.1.8 Kunststoffglas, Filmdosen

z.B. Behälter für Deionat, Abfälle etc.

Filmdosen gratis beim Fotohändler erschnorrbar

Kunststoffgläser: z.B. Einweg – Schnapsgläser

3.1.1.9 Edelstahldrahtöse

Zur Flammenfärbung als kostengünstige Alternative zum Platindraht oder Magnesiastäbchen

3.1.1.10 Petrischale Kunststoff mit Deckel

Ablage für Arbeitsgeräte, aber auch geschlossener Raum zur Beobachtung von Gasphasenreaktionen. (z.B. Schadstoffe in der Atmosphäre)

3.1.1.11 Zahnstocher Kunststoff

Mikrorührer

3.1.2 Messgeräte

Im Rahmen dieser Arbeit wird konsequent auf den Einsatz von Black Boxes verzichtet. Es sollen also keine Geräte zum Einsatz kommen, die nicht selbst gebaut werden können und daher verständlich sind. Die Einzige Ausnahme bildet dabei ein Digitalmultimeter. Diese Geräte sind erstens erstaunlich günstig verfügbar und können zweitens durch den Einsatz billiger Sensoren für verschiedenste Aufgaben eingesetzt werden.

3.1.2.1 Digitalmultimeter

Universelles Messgerät für Elektrochemie, Temperaturmessung etc.

Zur Kontaktierung: Kabel mit integrierten Krokoklemmen

3.1.2.2 Temperatursensor

Halbleitertemperatursensor (Widerstand) lässt die Messung auch kleiner Temperaturänderungen zu. Anwendungsbereich: Thermochemie, Reaktionskinetik ...

3.1.2.3 Photowiderstand

Ermöglicht ein improvisiertes Photometer. Illustriert so die Funktionsweise einer ganzen Reihe von Messgeräten

3.1.2.4 Leuchtdiode

Für qualitative Leitfähigkeitsuntersuchungen

3.1.2.5 Batterie 9V + Batterieclip

Universelle Stromversorgung

3.1.2.6 Handspektroskop

Die Verwendung eines transparenten holographischen Gitters mit 500 Linien/mm ermöglicht die Konstruktion eines Handspektroskops mit Wellenlängenskala

3.2 Preise und Bezugsquellen

Inhalt	St	Quelle	Best. Nr.	Preis	Summe
Mikrotiterplatte 96 (klein)	1	vwr	391-1925	0,69	0,69
Mikrotiterplatte 24 m.D. (groß)	1	vwr	391-3370	1,69	1,69
Pasteurpipetten PE	4	vwr	612-1755	0,03	0,12
Schutzbrille	1	bauhaus		4,90	4,90
Wäscheklampe Holz	1	Jako-o	045788	0,11	0,11
Schere 13,5cm	1	Papier		0,69	0,69
Trinkhalm Ø 7mm	5	Metro		0,004	0,02
Kunststoffglas V = 2cl	1	Metro		0,04	0,04
Filmdose weiß	1	Foto		0	0
Edelstahldrahtöse	1	Bauhaus		0,04	0,04
Petrischale Kunststoff m.D.	1	vwr	391-0877	0,07	0,07
Zahnstocher Kunststoff	1	Merkur		0,01	0,01
Filmdose schwarz	1	Foto		0	0
LED rot	1	conrad	184543-62	0,09	0,09
Temperatursensor	1	conrad	181064-13	1,73	1,73
Photowiderstand	1	conrad	183563-13	1,45	1,45
Kunststoffdose	1	Merkur		1,00	1,00

Multimeter	1	conrad	120142-13	4,90	4,90
Krokokabel	5	conrad	730408-62	0,36	1,80
Batterie 9V	1			1,00	1,00
Batterieclip 9V	1	conrad	490660-62	0,09	0,09
Summe					20,44

Die hier angeführten Preise sind Listenpreise. Die tatsächlich gezahlten waren - aufgrund verschiedener schulüblicher Rabatte – deutlich (bis zu 30%) niedriger. Der Preis für ein Experimentierset kann also unter 20€ gehalten werden.

Fiskars Handmotivstanze Kreis (UDIG) : Preis:7,95€/Stk

Gitter 500 Linien /mm Bezugsquelle: Edmund Industrie Optik

Preis 6“x12“ (reicht für ca. 100 Spektroskope) 12€/2Stk.

Internetadressen der wichtigsten Bezugsquellen:

www.vwr.at; www.conrad.at; www.jako-o.at; www.udig.de; www.edmundoptics.de

In dieser Zusammensetzung hat sich das Set bis jetzt weitgehend bewährt. Einschränkungen gibt es bei der Qualität der Krokokabel, die nicht immer eine sichere Kontaktierung ermöglichen, sowie beim verwendeten Temperatursensor, der mechanisch etwas zu filigran für diesen Einsatzzweck ist.

4 DURCHFÜHRUNG

4.1 Ablauf der experimentellen Unterrichtseinheiten

Zunächst wurden sie Schüler in Vierergruppen zusammengesetzt. Dies sollte einerseits die Kommunikation unter den Schülern verbessern, andererseits die Ausgabe von Chemikalien erleichtern bzw. auch nicht laufend benutzte oder teurere Geräte wie z.B. Brenner, Deionatflaschen ... gemeinsam zu nutzen. Interessant ist dabei, dass bereits diese Maßnahme dazu führte, dass die Aufgabenstellung von den Schülern als Gruppenbezogen erlebt wurde.

Die durchzuführenden Aufgaben wurden als Arbeitsblätter ausgegeben, in denen einerseits die durchzuführenden Arbeiten detailliert beschrieben wurden, andererseits auch die Beobachtungen festgehalten und interpretiert werden sollten. Während der ersten Einheiten wurden die Aufgaben noch mündlich erläutert, während in weiterer Folge Wert darauf gelegt wurde, dass vor dem Beginn der Arbeiten alles sorgfältig durchgelesen wurde.

Die Ausgabe von Experimentiersets, Chemikalien und ev. weiterem Material nahm in etwa 10 -15 min. in Anspruch. Die Sets enthalten eine Checkliste, auf deren Rückseite jeder Schüler die Vollständigkeit der Übernahme mit Name, Klasse und Unterschrift bestätigt. Diese Maßnahme hat sich bewährt, da so der Schwund des Materials auf ein absolutes Minimum reduziert werden und ein sorgfältiger Umgang mit dem Material weitgehend gewährleistet werden konnte.

Die durchzuführenden Aufgaben wurden als Arbeitsblätter ausgegeben, in denen einerseits die durchzuführenden Arbeiten detailliert beschrieben wurden, andererseits auch die Beobachtungen festgehalten und interpretiert werden sollten. Während der ersten Einheiten wurden die Aufgaben noch mündlich erläutert, während in weiterer Folge Wert darauf gelegt wurde, dass vor dem Beginn der Arbeiten alles sorgfältig durchgelesen wurde.

Während der Durchführung der Arbeiten ergab sich die Gelegenheit für den Lehrer jede einzelne der Gruppen wiederholt aufzusuchen, den Fortgang der Arbeiten zu beobachten, bei Unklarheiten zu erklären und den theoretischen Hintergrund zu erläutern.

Während der Aufräumungs- und Reinigungsarbeiten, die in etwa 10-20 min in Anspruch nahmen, konnten Chemikalien nachgefüllt werden und so der Einsatz des Materials für die nächste Stunde vorbereitet werden.

Es ergibt sich daher folgender zeitlicher Ablauf für die Unterrichtseinheit:

- 5 min. Umräumen der Tische und Sessel
- 5-10 min. Ausgabe von Chemikalien und Geräten
- 5-10 min. Erklärungen
- 50-70 min. Arbeit an den Experimenten
- 10-20 min. Reinigen und Aufräumen
- 10-20min. Nachbesprechung, theoretischer Hintergrund

Aus diesem Ablauf ergibt sich nahezu zwangsläufig die Notwendigkeit von Doppelstunden (100 min.). Bei Einzelstunden würde bereits die notwendige Logistik zu einer drastischen Einschränkung der zur Verfügung stehenden Experimentierzeit führen.

Die Arbeitsvorschriften wurden bei auftauchenden Problemen regelmäßig überarbeitet. Das Hauptproblem war hier die Verständlichkeit für die Schüler.

4.2 Durchgeführte Experimente

Die Experimente sollen hier nur zur Übersicht beschrieben werden. Nicht alle Einheiten konnten bereits in diesem Jahr durchgeführt werden, da aufgrund verschiedener Faktoren – wie z.B. Stundenkürzung – nicht ausreichend Arbeitszeit zur Verfügung stand. Bis auf die Punkte Wasser und Luft konnten aber alle Einheiten in der Zwischenzeit im Klassenzimmer erprobt werden, was allerdings nicht heißt, dass alle vollständig ausgereift sind

4.2.1 Einführung in die Arbeitstechniken

In dieser Einheit wird der Umgang mit Pipetten und Microtiterplatten geübt. Es werden Techniken wie Spülen, Verdünnen, Reinigen anhand einfacher Reaktionen erlernt und die Bedeutung der Genauigkeit des Arbeitens verdeutlicht.

4.2.2 Einfache Reaktionen

Vier unbekannte weiße Pulver (Salz, Zucker, Speisesoda, Zitronensäure) werden gelöst. Es wird untersucht, welche Lösungen wie miteinander reagieren, wie die Lösun-

gen einen Universalindikator verändern, ob die Lösungen elektrischen Strom leiten. Anschließend kann eine unbekannte Probe identifiziert werden.

4.2.3 Stöchiometrie

Anhand der Reaktion $\text{CoCl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Co(OH)}_2 + 2 \text{NaCl}$ soll erfahren werden, wie man zur Formel einer Verbindung kommt, bzw. wie man feststellen kann, in welchem Molverhältnis zwei Stoffe reagieren. Man lässt dabei Lösungen von CoCl_2 und NaOH mit bekannter Konzentration (0,1 mol/l) in unterschiedlichen Verhältnissen reagieren. Beobachtet wird dabei einerseits die Menge an gebildetem Feststoff, andererseits lässt sich ein Überschuss von CoCl_2 durch Ammoniumrhodanid nachweisen, ein Überschuss von NaOH durch Phenolphthalein.

4.2.4 Flammenfärbung

Neben der klassischen Flammenfärbung lassen sich mithilfe des Handspektroskops die Spektrallinien beobachten und nach einer Kalibrierung z.B. mit den bekannten Wellenlängen einer Leuchtstoffröhre auch die Wellenlängen abschätzen.

4.2.5 Reaktionskinetik

Anhand der Thiosulfat Salzsäure Reaktion lässt sich die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von Konzentration und Temperatur gut demonstrieren.

4.2.6 Säure Basen Reaktionen

Der Begriff pH Wert wird anhand einer Reihe von alltäglich vorkommenden Stoffen eingeführt und auf Basis von Universalindikator und Blaukrautsaft eine pH Skala erarbeitet. Durch Verdünnungsversuche soll der logarithmische Charakter des pH Wertes verdeutlicht werden. In einer vereinfachten Titration wird der pH Verlauf beobachtet.

4.2.7 Elektrochemische Spannungsreihe

In den einzelnen Reaktionskammern werden Halbelemente aufgebaut. Ein mit KNO_3 Lösung getränktes, zugeschnittenes Filterpapier dient als Stromschlüssel. Mit dem Multimeter werden Spannungen gemessen. Anhand der Messergebnisse soll eine Reihung entstehen.

4.2.8 Elektrolyse und Faradaysche Gesetze

Die Wasserelektrolyse nach Obendrauf

Chlor Alkali Elektrolyse in einer Trinkhalmapparatur

4.2.9 Wasser

Analyse von Wasserinhaltsstoffen durch Farbreaktionen (z.B. Nitrit/Nitrat)

4.2.10 Luft

Modellversuche zur Atmosphärenchemie (Reaktion von SO_2 bzw. NO_x mit Wassertropfen bzw. H_2O_2) in einer geschlossenen Petrischale (Saurer Regen)

5 ERFAHRUNGEN, REFLEXION, EVALUATION

5.1 Praxistauglichkeit des Ansatzes

Der Ansatz der Durchführung von Experimenten mit den beschriebenen Hilfsmitteln erwies sich – vor allem in seinem Kernbereich – als überaus brauchbar. Es konnten zu einer großen Zahl von Themen Experimente adaptiert und in der Praxis durchgeführt werden.

Dabei wurde eine Reihe von Vorteilen festgestellt, aber auch Probleme konnten beobachtet werden.

5.1.1 Vorteile

5.1.1.1 Zeitbedarf

Der wahrscheinlich gravierendste Vorteil der Methodik liegt in ihrer Effizienz. Dadurch dass jedes Mal dasselbe Experimentierset zum Einsatz kommt ist die Vor- und Nachbereitungszeit – wenn die Methodik einmal etabliert ist - minimal. Ca. Zehn Minuten reichen, um Bänke umzustellen, Geräte und Chemikalien zu verteilen, in weiteren 15 Minuten sind die Geräte gereinigt und verstaut. Während die Schüler damit beschäftigt sind, können die Chemikalien nachgefüllt werden. Von einer – meist noch notwendigen – Doppelstunde bleiben also ca. 75 min. für das Experimentieren und nach der Pause ist man wieder für eine Parallelklasse einsatzbereit. Auch im Experiment selbst ist die Reduktion auf geringe Mengen ein Geschwindigkeitsvorteil. Durch die hohe Zahl von Reaktionskammern kann eine Große Zahl von Reaktionen ohne Reinigung zwischendurch durchgeführt werden.

5.1.1.2 Sicherheit

Auch aggressive Chemikalien wie Säuren etc. können im Tropfenmaßstab nur sehr wenig Unheil anrichten. Einzig die Augen können noch ernsthaft geschädigt werden. Ein tragen von Schutzbrillen ist daher unbedingt erforderlich. Dennoch ist es notwendig von vornherein in Sicherheitsrelevanten Fragen (Tragen der Schutzbrille, eigenständiges Experimentieren, herumspielen) keinerlei Toleranz zu zeigen. Dies vor allem, weil ein echtes Beaufsichtigen der Arbeit des Einzelnen bei den vorhandenen Klassenschülerzahlen nicht möglich ist.

5.1.1.3 Chemikalienverbrauch, Umweltbelastung, Abfälle

Es ist meistens möglich mit den Chemikalienmengen, die für ein Demonstrationsexperiment nötig sind, Schülerexperimente für mehrere Klassen durchzuführen. Dies ist vor allem auch von der Form abhängig, in der Chemikalien ausgegeben werden. Die Erfahrung zeigt, dass Chemikalien, die Ausgegeben werden, oft auch verbraucht werden, das heißt, je kleiner die ausgegebenen Mengen, umso geringer der

Verbrauch. Weiters sinkt mit dem Verbrauch an Chemikalien auch die Umwelt- und Kostenbelastung.

5.1.1.4 Kosten

Die Kosten für Chemikalien sind im Bereich von Demonstrationsexperimenten, die Kosten für die Schülersausstattung außerordentlich niedrig. Ein Schülerset kommt auf etwa 20,-€ und ist – nach derzeitiger Erfahrung – mehrere Jahre verwendbar.

5.1.2 Probleme

5.1.2.1 Überforderung der Schüler

Eine Reihe von Faktoren kann die Schüler bei der Durchführung der Experimente überfordern. An erster Stelle steht hier die Fähigkeit Arbeitsanweisungen zu lesen, zu verstehen und entsprechend zu handeln. Eine Reihe von Schülern sind damit heillos überfordert und reagieren entweder mit wildem drauf los experimentieren oder mit Demotivation („Wofür brauch ich das?“). Als Gegenmaßnahme kann eine besonders sorgfältige Formulierung der Texte und persönliche Unterstützung hilfreich sein. Auch der Hinweis, dass genau diese Fähigkeiten immer wieder benötigt werden, kann die Demotivation bekämpfen.

Weitere Fallen liegen in der Überschätzung von Vorkenntnissen und Fähigkeiten der Schüler. Ein konkretes Beispiel dafür liefert die Verwendung eines Halbleitertempertursensors in Kombination mit einem Multimeter als Thermometer. Es ist nicht einmal bei Schülern einer Elektronikabteilung einer HTL im ersten Jahrgang durchgehend vorauszusetzen, dass ein Schüler einen Widerstand mit einem Multimeter korrekt misst, das Ergebnis in eine Formel einsetzt und so die Temperatur erhält.

Die Eigenständige Interpretation von Ergebnissen um sich so entdeckend Inhalte selbst zu erarbeiten ist in diesem Zusammenhang ebenfalls problematisch. Alle eingesetzten Experimente beinhalten eine mehrere Jahrhunderte umfassende Geschichte des Erkenntnisgewinns. Es ist nicht vorstellbar, dass ein(e) Jugendliche(r) dies in wenigen Stunden eigenständig nachvollzieht. Hier ist in jedem Fall eine Führung und Begleitung erforderlich – sowohl durch entsprechend aufbereitete Unterlagen, als auch durch den Lehrer während der Unterrichtseinheiten.

Dennoch muss gesagt werden, dass die Problemfälle mehr als deutlich in der Minderheit sind und diese Probleme allesamt lösbar sind.

5.1.2.2 Zeitbedarf

Im Zeitalter der Stundenkürzungen sind Unterrichtsstunden knappes Gut. Ein Programm mit 10 Einheiten benötigt ca. 20 Unterrichtsstunden. Bei nur zwei Wochenstunden fehlt diese Zeit im Theorieunterricht. Diese fehlende Zeit muss durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden. Als besonders problematisch erwies sich in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass an ein Experimentieren erst zu denken ist, wenn Doppelstunden zur Verfügung stehen, die nicht durch andere Unterrichtselemente (Prüfungen, Tests etc.) beansprucht werden. Anders als beim Demonstrationsexperiment muss man für die Logistik ca. 25 min. veranschlagen. Wenn also zum Beispiel am Jahresende zahlreiche Unterrichtseinheiten teilweise für Prüfungen beansprucht werden, dann ist experimentelles Arbeiten kaum mehr möglich.

Im konkreten Fall führte dies bei diesem Projekt dazu, dass einzelne Einheiten in manchen Klassen nicht mehr durchgeführt werden konnten. Hier wirken sich die unlängst erfolgten Stundenkürzungen dramatisch aus. Diese Erfahrungen müssen bei der Verteilung des Lehrstoffs auf das Jahr berücksichtigt werden. Sinnvoll erscheint in diesem Zusammenhang, den Stoff des ersten Jahrgangs teilweise in den zweiten zu verlegen.

5.2 Einfluss auf die Unterrichtsgestaltung

5.2.1 Einfluss auf Unterrichtsstil und Schüler Lehrer Verhältnis

5.2.1.1 Änderung der Art der Wissensvermittlung

Bemerkenswert ist eine Chance, die sich aus dem Experimentieren der Schüler ergibt:

Die Schüler experimentierten zwar eigenständig, waren aber in Vierergruppen platziert. Dies hat nicht nur logistische Vorteile sondern ermöglicht ihnen auch, Probleme zunächst untereinander zu besprechen und zu lösen.

Es ist nun nicht zu erwarten, dass sich die Schüler in dem kurzen zur Verfügung stehenden Zeitraum alles das selbständig aneignen, was das Experiment vermitteln kann. Die in den meisten Fällen beobachtbare Motivation und erhöhte Aufmerksamkeit führt jedoch zu anderen Möglichkeiten der Wissensvermittlung.

Der wesentlichste Vorteil ist aber die Chance für den Lehrer, bei einem - im Frontalunterricht unmöglich erreichbaren Aufmerksamkeitsniveau – in den Kleingruppen Beobachtungen zu erklären und die theoretischen Hintergründe zu erläutern und so den Anstoß zu eigenen Überlegungen in die richtige Richtung zu geben. Der Lehrer ist nicht mehr derjenige, der versucht Wissen in den Schüler hineinzutrichern, sondern jemand der das, was gerade beobachtet wird zu verstehen hilft.

Nach meinem Dafürhalten stellt diese Möglichkeit den größten Vorteil des Schülerexperiments dar.

5.2.1.2 Sicherheitsaspekte

Die große Schülerzahl erfordert eine überaus strikte Vorgangsweise bei allem was Sicherheitsfragen betrifft.

Eine Studie über die Häufigkeit und Schwere von Unfällen im Chemieunterricht zeigt überdeutlich die Problematik großer Klassen⁷.

Schülerzahl	Zahl der Unfälle	% Anteil	% leichte Unfälle	% mittlere Unfälle	% schwere Unfälle
<10	1	0.7	100	0.0	0.0
11 - 20	5	6.4	77.8	22.2	0.0
21– 30	95	67.9	60.0	37.9	2.1
>30	35	25.0	42.9	40.0	17.1

⁷ Macomber, R.D. (1961). Chemistry accidents in high school. Journal of Chemical Education, 38(7), 367-368.

Sowohl die Häufigkeit als auch die Schwere der Unfälle nimmt mit der Schülerzahl dramatisch zu.

Neben den Maßnahmen in der „Hardware“, die eine gewisse intrinsische Sicherheit gewährleisten soll, ist eine entsprechende „Software“ – das heißt eine Politik der Null Toleranz in Sicherheitsfragen – unumgänglich. Das heißt, dass zum Beispiel das Befolgen der Arbeitsanweisungen, das Tragen der Schutzbrille ... konsequent durchgesetzt werden muss.

Der dabei manchmal notwendige autoritäre Stil steht etwas im Widerspruch zu den sonstigen Zielen dieses Projekts, kann aber – wenn die Regeln einmal etabliert sind – zurückgefahren werden. Wesentlich ist hier natürlich die Vorbildwirkung des Lehrers.

Im Rahmen dieses Projekts konnte die erwartete Unfallfreiheit auch errichtet werden. Auch das Auftreten gefährlicher Situationen konnte verhindert werden.

5.2.2 Leistungsbeurteilung

Ein besonderes Problem stellt die Beurteilung experimenteller Arbeiten dar. Vor allem in der Anfangsphase ist es nicht wirklich fair, die Ergebnisse der Experimente zu beurteilen, da die Schüler noch zu ungeübt im Umgang mit dem Gerät sind. Außerdem wurde sehr bald die Erfahrung gemacht, dass sobald Protokolle abgesammelt werden, nur mehr wenige Schüler sich auf das experimentelle Arbeiten, Beobachten und Protokollieren beschränken, sondern viele damit beschäftigt sind, herauszufinden, wer es vielleicht richtiger macht als sie und von wem man Ergebnisse abschreiben kann. Eine Tendenz, die also der ursprünglichen Intention zuwider läuft. Es soll ja das eigenständige Beobachten und das gefördert werden.

Der Ansatz die Schüler beim Arbeiten zu beobachten und diese Beobachtungen zu protokollieren⁸ hat zwar erhebliche Vorteile, ist aber praktisch auf Dauer kaum durchzuhalten.

In den Extremen zeigte sich eine deutliche Korrelation zwischen dem Verhalten im Regelunterricht und dem Verhalten beim Experimentieren. Schüler, die sonst durch hohe Motivation aufgefallen waren liefen zur Höchstform auf, während Schüler, die sonst durch geistige Abwesenheit glänzten sich manchmal überfordert fühlten und lustlos die geforderten Arbeiten nachvollzogen, ohne sich weiter Gedanken zu machen.

Es zeigte sich, dass eine Bewertung des experimentellen Arbeitens – sei es durch Beurteilung der Protokolle, der Ergebnisse oder durch Beobachtung das Notenbild kaum veränderte. Aus diesem Grund wurde in diesem Zusammenhang in weiterer Folge auf die separate Beurteilung der experimentellen Arbeiten verzichtet – vor allem um die damit oben beschriebenen negativen Begleiterscheinungen hintan zu halten.

In diesem Zusammenhang wurden keine quantitativen Daten erhoben, welche die oben beschriebene Korrelation erhärten könnten, die Beobachtungen im Unterricht waren jedoch relativ eindeutig. Die Frage ist leider so komplex, dass es wert wäre, sie in einem eigenen Projekt zu erörtern.

⁸ E. Klemm Imst2 Projekt „Leistungsbeurteilung im „schüleraktiven“ Chemieunterricht der Oberstufe“ Graz 2003

5.3 Feedback und Motivation der Schüler

Mehr als die Bewertung durch Fragebögen oder Interviews der Schüler sagt die Beobachtung der Schüler während dem experimentellen Arbeiten aus. In nahezu allen Fällen wurde mit einer Konzentration und Aufmerksamkeit gearbeitet, die sonst im Unterricht niemals zu beobachten war. Dies ist beispielsweise im folgenden Bild sichtbar:



Man konnte die sprichwörtliche Stecknadel fallen hören.

Die häufig gestellte Frage „wann machen wir wieder Experimente“ und Aussagen wie „Das war die tollste Chemiestunde bis jetzt“ zeugen von der positiven Grundstimmung die im Rahmen dieses Projekts geschaffen werden konnte.

Rückmeldungen von Eltern, die von der Begeisterung der Kinder berichteten sowie von Kollegen, die anmerkten, dass von ihnen ähnliche Unterrichtselemente von Seiten der Schüler eingefordert wurden, zeigen, dass die Bemühungen im Rahmen dieses Projektes auf fruchtbaren Boden gestoßen sind.

5.4 Schülerbefragung

Zur Evaluation des MNI Fonds wurde ein Fragebogen eingesetzt, der auch wesentliche Aspekte der Schülermotivation abfragt. Auf die Entwicklung eines eigenen Fragebogens wurde daher verzichtet und die Ergebnisse vor dem Zurücksenden der Fragebögen separat ausgewertet.

Die Ergebnisse (34 Schüler) sind folgender Tabelle zu entnehmen

	Mittelwert	Konfidenzintervall
	1 stimmt völlig	4 stimmt überhaupt nicht
1a) Ich Interessiere mich für Dinge, die wir in diesem Fach lernen.	2,35	0,20
1b) Ich Interessiere mich für Dinge, die wir im MNI Projekt gelernt haben.	1,82	0,22
2) Ich beschäftige mich in meiner Freizeit mit Dingen, die wir in diesem Fach lernen.	3,32	0,29
3a) Ich finde den Unterricht, so wie er normalerweise stattfindet, gut.	2,03	0,24
3b) Ich fand den Unterricht während des MNI Projekts gut.	1,41	0,18
4a) Ich mache mir oft Sorgen, dass es für mich im Unterricht dieses Faches schwierig wird.	2,65	0,34

4b) Beim MNI Projekt habe ich mir Sorgen gemacht, dass es für mich schwierig sein wird.	3,26	0,25
5) Mir fällt dieses Fach leicht.	2,62	0,29
6) Ich lerne in diesem Fach etwas, das für mich sehr wichtig ist.	2,74	0,23
7a) Mir macht der Unterricht in diesem Fach Spaß.	2,19	0,26
7b) Der Unterricht während des MNI Projekts hat mir Spaß gemacht.	1,65	0,23
8) Ich fühle mich beim Lösen von Aufgaben in diesem Fach hilflos.	2,91	0,30
9) Ich bin für dieses Fach begabt.	2,85	0,27
10a) Beim Lösen von Aufgaben in diesem Fach werde ich ganz nervös.	3,00	0,28
10b) Beim Lösen von Aufgaben im MNI Projekt werde ich ganz nervös.	3,56	0,20
11) Ich bringe in diesem Fach gute Leistungen.	2,50	0,30

Diese Ergebnisse verdienen eine genauere Betrachtung:

Die Interessenslage ist nicht optimal.

Die Einschätzung des Interesses (1a) liegt mit einem Schnitt von 2,35 fast genau in der Mitte der Skala. Beschäftigung in der Freizeit (2) ist nicht gegeben (3,32) und auch die Einschätzung der Wichtigkeit (6) ist eher neutral bis leicht negativ (2,74).

Die Fragen nach der Begabung und Leistungsfähigkeit zeigen Ergebnisse im unteren Mittelfeld (5 fällt mir leicht 2,62; 9 bin begabt 2,85; 11 gute Leistungen 2,5).

Im Gegensatz dazu stehen die Fragen nach Gefallen, Spaß und Stress.

(3a finde ich gut 2,03, 7a macht mir Spaß 2,19 werden eher positiv beurteilt)

(4a mache ich mir Sorgen..2,65 10a werde ich nervös 3,00 werden eher negativ beurteilt)

Es gelingt also zu motivieren und den Unterricht stressarm zu gestalten.

Vergleicht man jetzt die Ergebnisse der Fragen, in denen ein Vergleich zwischen Regelunterricht und Projektunterricht möglich ist, so zeigt sich überall eine statistisch signifikante Verbesserung.

Interesse 1,82 statt 2,35 (1b/1a)

Finde ich gut 1,41 statt 2,03 (3b/3a)

Mache ich mir Sorgen 3,26 statt 2,65 (4b/4a)

Macht mir Spaß 1,65 statt 2,19 (7b/7a)

Werde ich nervös 3,56 statt 3,00 (10b/10a)

Es konnte also das Interesse, die Beurteilung des Unterrichts und der Spaß am Unterricht verbessert werden, während gleichzeitig die Stressbelastung zurückging.

Der hier eingeschlagene Weg zur Erhöhung der Qualität des Unterrichts dürfte also nicht ganz falsch sein.

6 ABSCHLIEßENDE ÜBERLEGUNGEN

Das wesentliche Ziel dieses Projekts – ein preisgünstiges, praxistaugliches Experimentierset für den Chemieunterricht zu entwickeln wurde in der hier vorgestellten Arbeit erricht. Durch die konsequente Verwendung von billigen Kunststoffartikeln konnten die Kosten auf unter 20€/Schüler gesenkt werden. Die ersten Erfahrungen zeigen die vielseitige Einsetzbarkeit und ermutigende Ergebnisse bei der Akzeptanz durch die Schüler.

Dennoch kann dies erst als Anfang einer Entwicklung gesehen werden. Mit zunehmender Erfahrung kann die Auswahl und Ausarbeitung der Experimente in Richtung einer didaktischen Optimierung verfeinert werden.

Ebenso ist für das weite Feld der organischen Chemie – das bisher völlig unberücksichtigt blieb – eine Erweiterung und Überarbeitung notwendig.

Die Chancen, die in einer derartigen Unterrichtsgestaltung stecken sind allerdings so groß, dass niemand auf die Vorteile eines praxisorientierten Chemieunterrichts verzichten sollte.

7 LITERATUR

dwb.unl.edu/chemistry/MicroScale/MScale00.html

J.D.Bradley; Pure Appl.Chem.,Vol.71,No. 5, pp. 817-823,1999

Hermes.wits.ac.za/radical

Stephen Thompson; Chemtrek: small scale experiments for general chemistry; prentice hall 1990

Viktor Obendrauf; Chemie und Schule; in zahlreichen Ausgaben

www.microchem.de

Zvi Szafran; Ronald M.Pike; Judith C. Foster; Microscale general chemistry laboratory, second edition; John Wiley 2003

Macomber, R.D. (1961); Chemistry accidents in high school; Journal of Chemical Education, 38(7), 367-368

E. Klemm Imst2 Projekt: Leistungsbeurteilung im „schüleraktiven“ Chemieunterricht der Oberstufe; Graz 2003