

Studienseminar für das Lehramt für die Sekundarstufe I
- Mönchengladbach -

**Möglichkeiten und Grenzen eines ökonomischen und
ökologischen Einsatzes der Halbmikrotechnik nach Dr.
Häusler im Chemieunterricht
– dargestellt an ausgewählten Experimenten in
verschiedenen Jahrgangsstufen einer Hauptschule**

Schriftliche Hausarbeit

im Rahmen der Zweiten Staatsprüfung gemäß § 33 OVP für das Lehramt für die
Sekundarstufe I, dem staatlichen Prüfungsamt für Zweite Staatsprüfungen für
Lehrämter an Schulen

vorgelegt von

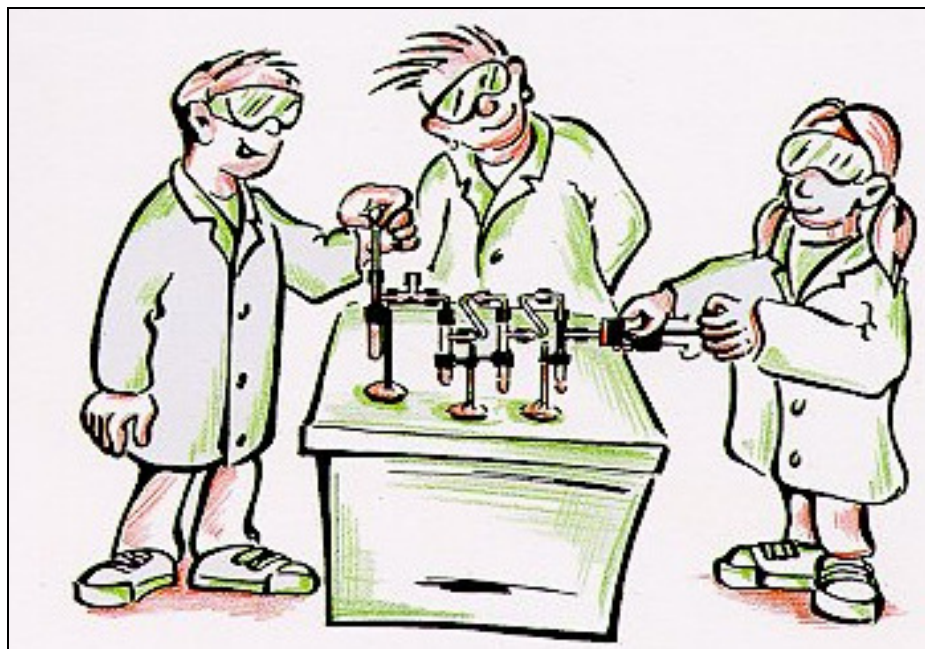
Daniela Krebsbach-Hadad

Ludwigsallee 13
52062 Aachen

Aachen, 02.01.2006

Erstleserin: Frau S. Schnittker
Fachseminar Chemie

**Möglichkeiten und Grenzen eines
ökonomischen und ökologischen
Einsatzes der Halbmikrotechnik nach
Dr. Häusler im Chemieunterricht
– dargestellt an ausgewählten
Experimenten in verschiedenen
Jahrgangsstufen einer Hauptschule**



Copyright by GUVV-WL

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	2
1.1	Anforderungen an den Chemieunterricht.....	2
1.1.1	Forderungen der Richtlinien und Lehrpläne.....	2
1.1.2	Forderungen an Sicherheit und Umweltschutz.....	4
1.2	Begründung der Themenwahl.....	5
1.3	Lehrerfunktionen.....	6
2.	Halbmikrotechnik.....	8
2.1	Zweck und Ziel.....	8
2.2	Historie.....	8
2.3	Was ist die Halbmikrotechnik?.....	9
2.4	Vor- und Nachteile der Halbmikrotechnik.....	11
2.5	Ausstattung der Halbmikrotechnik.....	12
3.	Planung.....	13
3.1	Allgemeine Kriterien zur Planung der Experimente.....	13
3.2	Beurteilungskriterien.....	14
3.3	Planung der Apparaturen.....	15
3.4	Themen in Anbetracht der Lernausgangslage.....	15
3.5	Planung der Unterrichtsreihen.....	16
4.	Reflexion.....	18
4.1	Auswertung der einzelnen Experimente.....	18
4.2	Schülerbewertung.....	28
4.3	Reflexion bezüglich Ökonomie und Ökologie.....	29
4.4	Zusammenfassende Abschlussreflexion.....	30
5.	Literatur- und Internetquellenverzeichnis.....	32
6.	Anhang.....	34
6.1	Erklärung der Verfasserin zur vorliegenden Arbeit.....	34
6.2	Dokumentationsverzeichnis.....	34

1. Einleitung

In der vorliegenden Arbeit wird erläutert, wie die Schüler¹ verschiedener Jahrgangsstufen der Ganztags Hauptschule Hochneukirch in den Experimentierphasen des Chemieunterrichts das Laborsystem der Halbmikrotechnik nach Dr. Häusler erprobten. Das System wurde mit der bislang eingesetzten MakrolaboraAusstattung verglichen, um Vor- und Nachteile zu verdeutlichen.

Der Aufbau der Arbeit gliedert sich in vier Teile. Der Einstieg legt die Anforderungen, die an den Chemieunterricht gestellt werden, dar und erklärt die Themenfindung. Im zweiten Teil wird das System der Halbmikrotechnik vorgestellt und näher erläutert. Auf die Planung der chemischen Experimente, sowie die zur Beurteilung des Systems notwendigen Kriterien wird im dritten Kapitel eingegangen. Den Abschluss im vierten Teil bildet die Reflexion. Dort wird anhand diverser Beurteilungskriterien illustriert, welche Möglichkeiten und Grenzen der Einsatz des Halbmikrotechniksystems aufzeigte.

Im Anhang sind nach Versuchen geordnet Arbeitsblätter, Schülerheftauszüge und Fotografien der Experimente, eine Liste der verwendeten Apparaturen sowie einige Schülerfragebögen als Beispiel aufgeführt.

1.1. Anforderungen an den Chemieunterricht

1.1.1. Forderungen der Richtlinien und Lehrpläne

Laut Richtlinien und Lehrplänen für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen ist es Aufgabe des Chemieunterrichts, einen Teil der naturwissenschaftlichen Bildung zu vermitteln. Er soll Einblick in stoffliche Zusammenhänge und in Vorgänge der Natur geben. „Dazu müssen Schülerinnen und Schüler naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen kennen lernen und Kenntnisse über Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge erwerben“ (vgl. 1989, S.35). Es gilt, Möglichkeiten und Grenzen naturwissenschaftlicher Problemlösungen darzustellen. Dadurch kommen die Schüler zu einem Bewusstsein für ihre Umwelt und der Nutzen aber auch die Schädigung der Natur durch chemische Produkte wird sichtbar (vgl. 1989, S.35).

Im Sinne einer Umwelt- und Sicherheitserziehung werden im Chemieunterricht Kenntnisse über Eigenschaften von Schadstoffen vermittelt und der Umgang mit Gefahrstoffen sowie die sachgerechte Entsorgung eingeübt. Die erworbenen

¹ Im Folgenden wird an Stelle der Formulierung „Schülerinnen und Schüler bzw. Lehrerinnen und Lehrer“ die Kurzschreibweise „Schüler bzw. Lehrer“ verwendet. Dies dient ausschließlich der besseren Lesbarkeit und stellt keinerlei Wertung dar.

Kompetenzen können dann auf Alltagssituationen übertragen werden und fördern so ein umweltbewusstes Verhalten.

Der Unterricht orientiert sich an den folgenden vier Lehrprinzipien: Erfahrungsorientierung, Wissenschaftsorientierung, Gegenwarts- und Zukunftsorientierung sowie Handlungsorientierung. Das heißt, der Chemieunterricht sollte an die Lebenswirklichkeit und die Erfahrungen der Schüler anknüpfen. Er dient dazu, Phänomene aus der eigenen Erfahrungswelt erklären sowie deuten zu können und ermöglicht so ein besseres Verständnis für die Umwelt des Lernenden (vgl. 1989, S.35). Die Wissenschaftsorientierung fordert das Vermitteln naturwissenschaftlicher Denkweisen und Begriffe zum Erlangen kognitiver Kompetenzen. Die Schüler „...lernen, Hypothesen durch Experimente zu überprüfen, Modellvorstellungen zu entwickeln und damit zu arbeiten sowie Naturvorgänge zu quantifizieren“ (vgl. 1989, S.36). Dazu gehört ferner ein Bewußtsein dafür zu schaffen, dass der Fortschritt der naturwissenschaftlichen Forschung, der heute als positiv angesehen, morgen jedoch seine negativen Auswirkungen für Natur und Umwelt zeigen kann. Die Schüler sollten also lernen vorausschauend zu denken und zu arbeiten.

Für die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik sind experimentelle Untersuchungen von zentraler Bedeutung. In der Regel werden Probleme im Experiment und soweit möglich im Schülerversuch gelöst. Wo immer es vertretbar ist, sollen Schülerübungen Demonstrationsvorführungen vorgezogen werden, weil durch selbsttätiges Handeln erworbene Kenntnisse tiefer verankert werden. Laut Volker Huwendiek entwickeln sich Denkstrukturen aus Handlungsprozessen (vgl. Bovet/Huwendiek 2004, S.48). In den Richtlinien und Lehrplänen ist dies folgendermaßen formuliert: „Der naturwissenschaftliche Unterricht unterstützt durch Schülerexperimente die handlungsorientierte Auseinandersetzung mit Naturphänomenen“ (vgl. 1989, S.36).

In Anbetracht neurobiologischer Kenntnisse über verschiedene Lerntypen (visuell, auditiv, haptisch, verbal-abstrakt und Gesprächstyp), kommt das Schülerexperiment insbesondere dem haptischen Lerntyp entgegen. Laut Frederic Vester, der sich mit Gehirnforschung befasst, behält der Schüler wesentlich mehr, wenn mehrere Sinneskanäle zum Gehirn benutzt werden. Das heißt, der Lernstoff wird besser verinnerlicht, wenn man ihn sehen, hören und fühlen kann. (vgl. Vester 1978, S.65).

Hilbert Meyer hält in seinem Buch „Unterrichtsmethoden“ ein Plädoyer für den handlungsorientierten Unterricht. Er fordert die Lehrer auf, der „Verkopfung“ des Unterrichts entgegenzuwirken. Handlungsorientierter Unterricht hat eine motivierende Wirkung und fördert das Interesse, da er wesentlich spannender ist. Laut Meyer erhöht

sich die Lerneffektivität und die Schüler gelangen durch Selbsttätigkeit zur Selbstständigkeit. Er hilft den Lernenden auch, ihre eigenen Interessen herauszufinden (vgl. Meyer 1987, S.402 ff.).

Eine weitere Anforderung an den Unterricht im Allgemeinen ist der Zuwachs von sozialen und kooperativen Kompetenzen. Diese Qualifikationen werden in erhöhtem Maße beim Schülerexperiment gefördert, da es sich dabei meistens um arbeitsteilige Gruppenarbeiten handelt.

Der handlungsorientierte Unterricht ermöglicht den Erwerb von Kompetenzen, die hilfreich für das zukünftige Arbeitsleben sind. Denn in der heutigen Arbeitswelt sind die Einhaltung sozialer Regeln, Selbstständigkeit, Beobachtungsgabe und Teamfähigkeit von großer Bedeutung. In diesem Bezug ist die Förderung praktischer Fähigkeiten gerade an der Hauptschule wichtig, da die Schüler zukünftig vorwiegend praktische Tätigkeiten im Berufsleben übernehmen werden.

1.1.2 Forderungen an Sicherheit und Umweltschutz

Die Themen Unfallverhütung und Umweltschutz stellen an Lehrer im naturwissenschaftlichen Unterricht besondere Anforderungen. Um diese Anforderungen generell zu koordinieren, wurden 2003 erstmals die „Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht“ (RISU) herausgegeben. Sie sollen die Kolleginnen und Kollegen bei der Bewältigung dieser Anforderungen unterstützen. Ziel ist es, sowohl den Lernenden vor arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren beim Umgang mit Chemikalien zu schützen, als auch der Umwelt keine stoffbedingten Schädigungen beizuführen.

Die Richtlinien beinhalten die Anforderungen verschiedener Gesetze wie z. B. die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), die Unfallverhütungsvorschriften der Unfallversicherungsträger einschließlich DIN- und VDE-Vorschriften als auch die "Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz beim Umgang mit Gefahrstoffen im Unterricht - GUV 19.16". Die Regelungen umfassen insbesondere den Umgang mit Gefahrstoffen einschließlich ihrer Aufbewahrung, Lagerung und Entsorgung. Des Weiteren geben sie Hinweise und Sicherheitsratschläge zum Umgang mit Materialien, Stoffen und Geräten, sowohl für Lehrer als auch für Schüler und erleichtern ein sicherheitsgerechtes Verhalten im täglichen Schulalltag.

Das Landesinstitut für Schule in Soest hat erstmals 1999 eine weitere Hilfe für Lehrer zur Einstufung von Chemikalien gemäß der Gefahrstoffverordnung herausgegeben. Es handelt sich dabei um die „Liste zur Einstufung von Chemikalien in der Schule gemäß der

Gefahrstoffverordnung“. Die so genannte Soester-Liste (vgl. 10. Auflage, Juli 2003) beinhaltet alle Chemikalien mit genauer Gefahrenbeschreibung, Gefahreneinstufung, Einsatzmöglichkeiten und –verbote, Lagerungsbedingungen und Entsorgungshinweisen. Sie erlaubt damit auch unerfahrenen Kollegen die korrekte Handhabung von Gefahrstoffen.

Nicht mehr verwendbare gefährliche Stoffe oder Zubereitungen gelten nach dem Abfallgesetz als Sonderabfälle und sind ordnungsgemäß zu entsorgen. Dies gilt also auch für Chemikalienreste und –rückstände. Die pädagogischen Entscheidungen der Lehrer über den Einsatz gefährlicher Stoffe im Unterricht haben neben den Sicherheitsaspekten auch Kostengesichtspunkte der Entsorgung zu berücksichtigen (vgl. Häusler 1997-2005, URL).

1.2. Begründung der Themenwahl

Moderne Lerntheorien stellen hohe Anforderungen an Lehrer. Der Unterricht soll interessant und motivierend sein. Aus lernpsychologischer Sicht fördert dies sowohl die Lernbereitschaft als auch die Wissensaufnahme. Es sollten möglichst viele Lerntypen angesprochen werden, um allen Schülern die gleiche Chance zu geben den Lernstoff aufnehmen zu können. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Handlungs- und Problemorientierung des Unterrichts. Lerninhalte, welche die Kinder selbstständig und durch eigenes Handeln herausfinden, behalten sie auch besser. Gerade in naturwissenschaftlichen Fächern kann man diesen Forderungen nachkommen. Folglich bietet es sich an, die naturwissenschaftlichen Phänomene anhand von Experimenten darzulegen und zu untermauern.

Im Laufe meiner einjährigen Berufspraxis an der Ganztags Hauptschule Hochneukirch machte ich die Erfahrung, dass die Motivation der Schüler zunahm, wenn sie selbstständig Experimente durchführten. Bei Wiederholungen des Lernstoffs oder bei der Überprüfung in Form eines Tests stellt sich heraus, dass gerade die Lerninhalte, die mit Hilfe eines Experimentes erarbeitet worden waren, verstanden und behalten wurden. Als Konsequenz arrangierte ich so oft wie möglich Versuche in Gruppenarbeit.

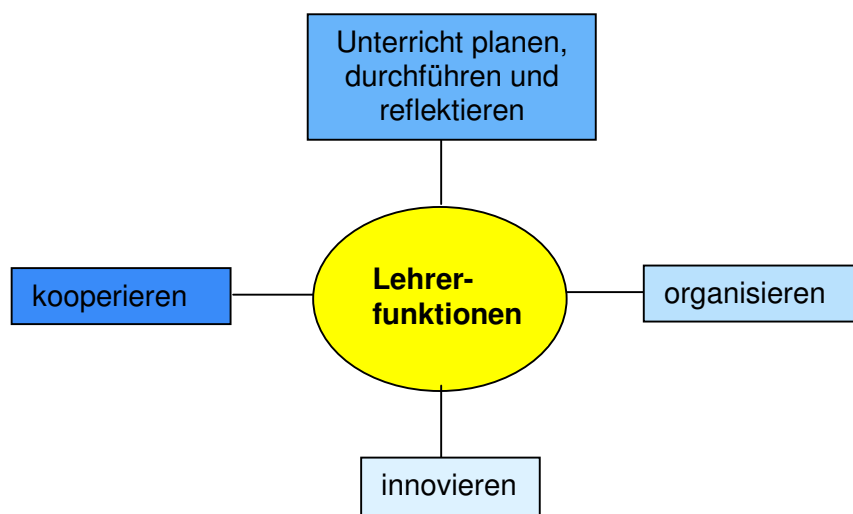
Leider war die Ausrüstung der Schule nicht ganz vollständig. Es waren nicht genügend Laborgeräte vorhanden um möglichst kleine Gruppen zu bilden. Einige Gerätschaften fehlten ganz, so dass nicht alle Experimente durchgeführt werden konnten. Das Chemikalienlager war fast komplett entsorgt worden, da die Etiketten der Stoffe wegen langer Lagerung unlesbar geworden waren. Man hatte die Sammlung vor längerer Zeit aus den Restbeständen dreier Schulen zusammengetragen. Im Schuljahr 2004/2005 war

noch kein Abzug nach den neuesten DIN-Anforderungen zur Schau gefährlicher Demonstrationsexperimente bzw. zum Umfüllen von Chemikalien vorhanden. Er wurde auf meine Anregung hin allerdings in den Sommerferien installiert, so dass er seit dem Schuljahr 2005/2006 zur Verfügung steht.

Auf Grund eingeschränkter Handlungsfreiheit und hoher Sicherheits- und Umweltschutzanforderungen suchte ich, nachdem ich einen Grundbedarf an Chemikalien angelegt hatte, nach Ersatzstoffen und Ersatzversuchen, um meinen Unterricht handlungsorientiert durchführen zu können. Dabei stieß ich auf das System der Halbmikrotechnik nach Dr. Häusler, das einige der Fachkollegen bereits auf Weiterbildungen kennen gelernt hatten. Diese innovative Laborausstattung verspricht diverse Vorteile bezüglich des Umweltschutzes, der Sicherheit des Experimentierenden, der Bedienerfreundlichkeit und der Wirtschaftlichkeit.

Da die Schule ihren Bestand an Laborgeräten und Chemikalien aufrüsten wollte, stellte sich die Frage, ob wieder die altbewährte Schullaborausrüstung oder das neue System der Halbmikrotechnik angeschafft werden sollte. Auf Grund von Vorinformationen über die Halbmikrotechnik entschied sich die Fachschaft Chemie dann, vier Basis-Sets zu kaufen und diese versuchsweise im Unterricht einzusetzen. Ich erklärte mich bereit, den Einsatz zu erproben. Deshalb wird in dieser Hausarbeit das Thema Halbmikrotechnik nach Dr. Häusler behandelt. Ihr Einsatz soll im Chemieunterricht anhand ausgewählter Experimente in verschiedenen Jahrgangsstufen getestet werden. Ziel ist es, die Möglichkeiten und Grenzen des Systems der Halbmikrotechnik zu ermitteln.

1.3. Lehrerfunktionen



Bezüglich der Lehrerfunktionen lag der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit in der Planung, Durchführung und Reflexion der Experimente, die zur Beurteilung des neuen Systems herangezogen wurden.

Vor Beginn der Unterrichtsreihe musste eine Entscheidung für eine der auf dem Markt befindlichen Halbmikrotechnikausrüstungen getroffen werden. Daraus resultierte die Kontaktaufnahme zu Herrn Dr. Häusler sowie die Bestellung des Systems.

Nach der Einarbeitung in das neue System erfolgte die Unterrichtsvorbereitung. Dazu mussten aussagekräftige Experimente geplant werden, die kompatibel zum Lehrplan sind. Es sollten möglichst alle Bauteile der Halbmikrotechnik zum Einsatz kommen, um ihre Funktionalität zu überprüfen. Versuchsaufbauten wurden in Form von Graphiken fixiert, um sie später als Arbeitsblätter an die Schüler und auch an Kollegen ausgeben zu können. Ferner war die Lernausgangslage der Schüler zu berücksichtigen, um eine Über- bzw. Unterforderung auszuschließen. Dies führte dann zu einer didaktisch-methodischen Entscheidung in Bezug auf die Gestaltung der einzelnen Stunden sowie den Einsatz geeigneter Medien.

Weiterhin war die Organisation zweier Laborausrüstungen sowie die Koordination der parallel stattfindenden Versuche unter Einbezug aller Sicherheits- und Umweltforderungen nötig. Dazu mussten die Schüler erst in das neue System eingewiesen werden und den Umgang mit diesem erlernen.

Der Unterricht in dieser Zeit verfolgte vor allem das Ziel der Handlungsorientierung und der Förderung der Selbständigkeit der Experimentierenden. Folglich war eine genaue Beobachtung der Schüler maßgeblich, um die „Handlungsfreundlichkeit“ des Systems zu erfassen.

Die Reflexion erfolgte anhand diverser Faktoren, die im Kapitel „Beurteilungskriterien“ festgehalten sind. Sie beruht dabei auf Beobachtungen des Schülerverhaltens sowie auf einer statistischen Auswertung der Schülermeinungen. Bei den meisten Versuchen wurden die beiden eingesetzten Laborsysteme anhand einer Gegenüberstellung verglichen und anschließend beurteilt. Ferner wurden externe Informationsquellen (Laborgerätehersteller, Entsorgungsunternehmen etc.) bezüglich ökonomischer und ökologischer Fragenstellungen zu Rate gezogen.

Da das neue System eine Innovation an der Schule darstellt, sollten die geplanten Versuche nebst Beschreibungen den Kollegen zur Verfügung gestellt sowie Erfahrungen weitergegeben werden. Darum erfolgte nach Beendigung der Arbeit in der Fachkonferenz Chemie eine Einweisung der Kollegen. Ferner wurde eine Apparatur- und Versuchsliste als Handreichung ausgearbeitet.

2. Halbmikrotechnik

2.1 Zweck und Ziel:

Die Halbmikrotechnik ist ein Experimentiersystem aus Glasgeräten mit dem auf einfache und umweltschonende Weise gearbeitet werden kann. Sie verfolgt den gleichen Zweck, wie die kommerzielle Schulchemie, nämlich chemische Stoffeigenschaften und Naturgesetze zu vermitteln. Dies geschieht auf einem sehr sicheren Weg, da durch minimale Stoffportionen Gefahrenmomente reduziert werden können.

Die Halbmikrotechnik verfolgt das Ziel, möglichst viele chemische Phänomene auf experimentellem Wege zu erarbeiten. Idealerweise geschieht dies im Schülerversuch. „Ziel ist es, Schülerinnen und Schüler durch eigenes Handeln den verantwortlichen Umgang mit Stoffen und besonders mit Gefahrstoffen erlernen zu lassen“ (vgl. Häusler 2005, URL).

2.2 Historie:

Es gibt verschiedene Herausgeber der Halbmikrotechnik mit ähnlichen Ansätzen. Im Jahr 1987 brachte Herr Professor Dr. Michael Schallies von der pädagogischen Hochschule Heidelberg das Minilabor heraus. Hersteller dieses Minilabors ist die Firma Zinsser Analytic Frankfurt (vgl. Zinsser-Analytic 2005, URL). Etwa zur gleichen Zeit entwickelte Eckhard Baumbach seinen „Mikroglasbaukasten“, der bei der Firma Heding erhältlich ist (vgl. Baumbach 2002, URL).

Ein weiteres System wurde von Herrn Dr. Klaus-Günter Häusler entwickelt. Seine Forschungen auf diesem Gebiet begannen 1976 während seiner Referendarzeit, als er als Vorlesungsassistent an der Universität Münster arbeitete. Während der Vorlesungen in Chemie sollten Versuche auf einem Projektor ohne Abzug gezeigt werden. Voraussetzung dafür war die absolute Sicherheit der Studenten und der Einsatz möglichst kleiner Stoffportionen.

1988 wurde nun die Gefahrstoffverordnung auf Forschung, Lehre und Schulen ausgedehnt. Dies hatte einen Rückgang der Schülerexperimente zur Folge. Herr Dr. Häusler konnte zu dieser Zeit die Arbeitsgruppe für Lehrerfortbildung am Soester Landesinstitut von seinem Konzept überzeugen, so dass die Halbmikrotechnik in die Lehrerfortbildung aufgenommen wurde.

Seit 1994 vertreibt Herr Dr. Häusler das Laborsystem in seiner eigenen Firma, der Halbmikrotechnik Chemie GmbH Drensteinfurt.

Im Oktober 2005 erhielt Herr Dr. Häusler eine Auszeichnung zum 6. Gefahrstoffpreis vom Bundesministerium für Wirtschaft- und Arbeit für „die Entwicklung spezieller Halbmikrotechnik für sicheres und sachgerechtes Experimentieren und die Entwicklung einer umfassenden Didaktik, die mit Engagement umgesetzt, vertrieben und vermittelt wird“ (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft 2005, URL).

Da Herr Dr. Häusler im Kreis Düsseldorf auch für Lehrerfortbildungen zuständig ist, konnten sich bereits einige Kolleginnen und Kollegen mit seinem System auseinandersetzen. Aus diesem Grunde wurden die im Folgenden aufgeführten Experimente mit seiner Entwicklung der Halbmikrotechnik durchgeführt.

2.3 Was ist die Halbmikrotechnik?

Die Halbmikrotechnik stellt eine Verkleinerung der üblichen Schullaborausrüstung mit gleichen Bauteileformen dar. Sie ist ein Experimentiersystem, das mit Kleinstmengen arbeitet. Ziel ist es, möglichst viele Versuche als Schülerexperiment durchführen zu können. Natürlich kann sie auch für Lehrerdemonstrationen eingesetzt werden und eignet sich besonders zur Versuchspräsentation auf dem Overheadprojektor oder mittels Videotechnik und Beamerprojektion.

Vergleicht man die Halbmikrotechnik mit der normalen Schullaborausrüstung, so fällt direkt auf, dass die Laborgeräte viel kleiner sind. Es ist ein Hauptaugenmerk der Halbmikrotechnik, dass nur sehr kleine Stoffportionen eingesetzt werden. Dies birgt zwei Vorteile: Zum einen werden Gefährdungen der Schülerinnen und Schüler durch die geringe Eduktmenge vermindert, und zum anderen entstehen auch geringere Produktmengen. Da die im Schulbetrieb entstandenen Chemikalienprodukte meistens nicht mehr verwendet werden und somit entsorgt werden müssen, minimiert sich auch die Entsorgungsmenge.

Die verwendeten Stoffportionen sind auf 1/10 bis 1/20 der im Schullabor üblichen Stoffportionen reduziert.

Die Größenordnung von...

- ⇒ 1 Tropfen bis 2 ml für Flüssigkeiten
- ⇒ 2 bis 250 ml für Gasvolumina
- ⇒ 15 bis 1500 mg für Feststoff

... reichen vollkommen aus.

In gleicher Weise vermindern sich auch Aufwand und Kosten für Anschaffung und Lagerung der Chemikalien (vgl. Häusler 1996, S.3 ff. & Häusler 2005, URL).

Es ist mit der Halbmikrotechnik ebenfalls möglich, eine Entsorgung in das natürliche Gleichgewicht vorzunehmen. Das heißt, die Entsorgung der Produkte findet bereits im System statt. Dazu wird an die Versuchseinheit eine Entsorgungseinheit angehängt, in der gefährliche Reaktionsprodukte derart weiterverarbeitet werden, dass von ihnen keine Gefährdung mehr ausgeht (vgl. Häusler 1995-2004, S1ff.).

Die Apparaturen der Halbmikrotechnik eignen sich ansonsten für die gleichen Experimente, die auch üblicherweise im Unterricht an allgemeinbildenden Schulen durchgeführt werden. Es können sogar einige Versuche, die normalerweise wegen ihrer Gefährlichkeit als Demonstrationsexperiment vom Lehrer vorgeführt werden, in die Hände der Schülerinnen und Schüler gegeben werden. Denn mit der Halbmikrotechnik ist es möglich, in einem geschlossenen (dichten) System zu arbeiten. Das heißt, Gefahrstoffe, die in der Apparatur hergestellt und umgesetzt werden, können das System nicht mehr verlassen. (vgl. Häusler 1995-2004, S4 ff.)

Besondere Sicherheit erhält man durch den Einbau von „Puffervolumen“, die das versehentliche Berühren der Stoffe verhindern. Durch Bereithalten von „Reservevolumen“ ist es möglich, in einer solchen Apparatur mit giftigen Gasen zu arbeiten, ohne dass diese freigesetzt werden. Der Abzug ist damit nicht mehr notwendiger Teil des eigentlichen Experiments. Er dient lediglich dem Befüllen und Entleeren der Apparaturen (vgl. Häusler 2005, URL).

Die Halbmikrotechnik erfüllt demnach die Vorgaben des Chemikaliengesetzes (ChemG), der Gefahrstoffverordnung (GefStoffVO) und der Richtlinien für die Sicherheit im Unterricht (RiSU) (vgl. Häusler 2005, URL).

Die Handhabung der Apparatur ist im Gegensatz zu gebräuchlichen Laborausrüstungen sehr einfach, da alle Teile aufeinander abgestimmt sind, und durch Außengewinde und Schraubkupplungen einfach montiert werden können. Dies erleichtert den Schülern das schnelle Auf- und Abbauen der Versuchsaufbauten, so dass auch ungeübte Schülerinnen und Schüler direkt mit der Halbmikrotechnik arbeiten können. Somit ist ein Experimentieren im Sinne von „Eben schnell mal Ausprobieren“ möglich. Wo normalerweise aufwendige Apparaturen nötig wären, kann der Schüler mit Hilfe der Halbmikrotechnik schneller Erfahrungen sammeln (vgl. Häusler 1996, S.5).

2.4 Vor- und Nachteile der Halbmikrotechnik (vgl. Häusler 1996, S.11)

Das Arbeiten im Halbmikromaßstab bringt eine Vielzahl von Vorteilen mit sich.

Vorteile:

1. Erhöhte Sicherheit durch Arbeiten im geschlossenen System.
2. Chemikalieneinsparung.
3. Keine Veränderung der Experimente oder Laboroperationen nötig.
4. Reduktion der Entsorgungskosten.
5. Verkürzte Experimentierzeiten durch vereinfachten Auf- und Abbau.
6. Vermehrte Möglichkeit der Schülerübungen durch Konstruktion sicherer Apparaturen.
7. Verminderte Bruchgefahr durch starkwandiges Glas und flexible, vakuumdichte Schraubdichtungen.
8. Vermeiden von Schnittverletzungen durch das Einführen von Glasrohren in Stopfen.
9. Erhöhte Sicherheit durch minimierte Stoffmengen.
10. Möglichkeit der Projektion ganzer Apparaturen auf dem Overheadprojektor oder mittels Videotechnik.

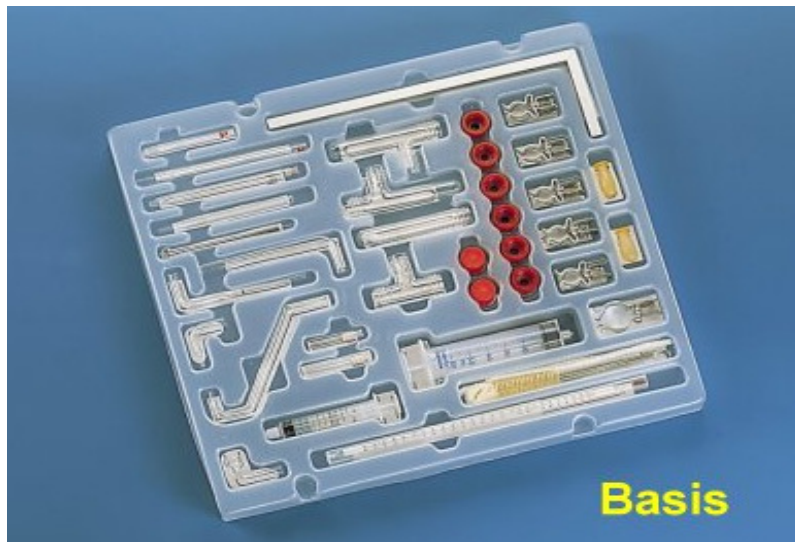
Nachteile:

1. Chemikalien könne wegen des geschlossenen Systems nicht berührt werden.
2. Da mit relativ kleinen Stoffportionen gearbeitet wird, sehen die Phänomene nicht so eindrucksvoll aus wie bei Einsatz größerer Stoffmengen.
3. Schüler und Lehrer sind es nicht gewohnt mit geschlossenen Systemen und kleinen Stoffmengen zu arbeiten.
4. Bedingt durch die geringe Größe der Laborgeräte, gehen den Experimentierenden leichter Materialien wie Dichtungen, Schraubverschlüsse und besonders kleine Glasteile verloren.

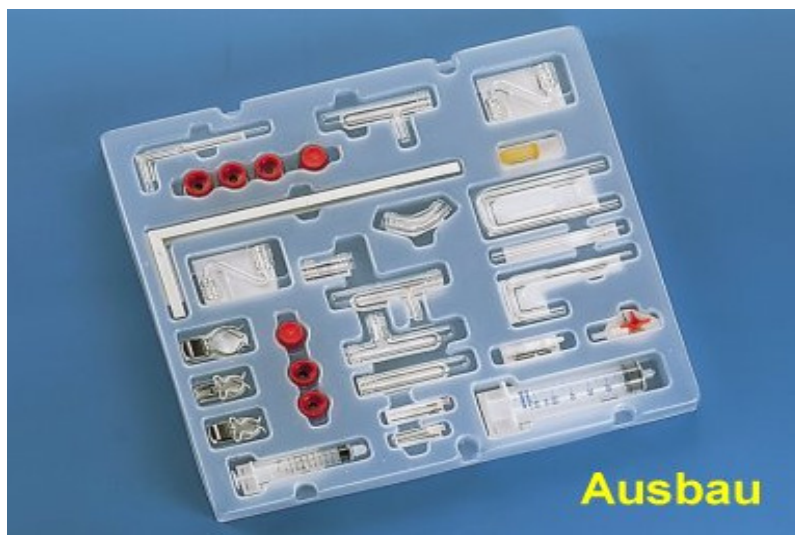
Die aufgelisteten Nachteile sind jedoch nur bedingt wirklich von Nachteil, denn:

- Zu 1. Chemikalien sollen wegen eventueller Gefährdungspotenziale nicht angefasst werden. Es sollten Prozesse „begriffen“ und nicht Chemikalien „ergriffen“ werden.
- Zu 2. Dem ist gegenzuhalten, dass bei Einsatz größerer Stoffportionen auch die Umwelt vermehrt belastet wird.
- Zu 3. Innovationen können sehr fortschrittlich sein.

2.5 Ausstattungen in der Halbmikrotechnik (vgl. Häusler 1996, S.14 & 16)



Basisset



Ausbauset



Magnetrührer



Röhrenofen

Nicht in der Halbmikrotechnik enthalten sind Teile, die bereits in einem Schullabor existieren wie z. B. die persönliche Schutzausrüstung, Stativmaterial, Bunsenbrenner und Wasserstrahlpumpe.

3. Planung

3.1 Allgemeine Kriterien zur Planung der Experimente

Die Auswahl des Lehrstoffes orientiert sich an den Richtlinien Chemie für Hauptschulen in Nordrhein-Westfalen und den schulinternen Lehrplänen.

Der Inhalt des Unterrichts soll durch das neue System nicht beeinflusst werden. Es wird vorausgesetzt, dass die gleichen Lernziele erreicht werden und der Kompetenzzuwachs, den die Schüler erfahren, nicht beeinträchtigt wird. Im Gegenteil, Schülerkompetenzen sollen durch vermehrte Selbsttätigkeit eher gesteigert werden. Bei der Planung der Experimente wurde deshalb auf die Förderung prozessbezogener Kompetenzen wie beobachten, beschreiben, planen, untersuchen, reflektieren, kooperieren, kommunizieren, präsentieren etc. sowohl bei der Anwendung der Halbmikrotechnik, als auch bei der Makrotechnik geachtet.

Der Einsatz der Halbmikrotechnik sollte in allen Klassen und Stufen möglich sein, da das neue System auf lange Sicht die alte Schullaborausrüstung zumindest teilweise ersetzen kann. Darum findet die Erprobung in drei verschiedenen Klassen statt, so dass eine repräsentative Aussage für verschiedene Jahrgangsstufen getroffen werden kann. Die Untersuchung erfolgt in den Klassen 7, 9 und 10.

Es sollen so viele Experimente wie möglich als Schülerexperimente durchgeführt werden. Ist dies trotz aller Sicherheitsaspekte der Halbmikrotechnik nicht möglich, werden die Versuche als Lehrerdemonstration gezeigt.

Es ist wichtig, bekannte Versuche einfach auf das neue System übertragen zu können, da sonst die Gefahr besteht, dass manche fachfremde Kollegen nicht gewillt sind, sich in das neue System einzuarbeiten, da sie den Aufwand scheuen.

Der Schwierigkeitsgrad der Lösung der chemischen Probleme variiert wie gewöhnlich je nach Klasse und Leistungsstand der Schüler. Sie sollen sowohl in der Lage sein, die Versuche nach Anleitung aufzubauen, als auch selber zu planen und zugehörige Apparaturen zu entwickeln. Aus diesem Grund erfolgt die Erarbeitung teilweise mit Hilfe ausgehändigter Arbeitsblätter bzw. mittels Folien für den Overheadprojektor oder als selbstständige Planung im Heft der Schüler.

Damit ein Vergleich zur bisher eingesetzten Schullaboraausstattung gewährleistet ist, werden die meisten Experimente als Parallelversuche Halbmikrotechnik – Makrotechnik durchgeführt. Das heißt, wechselnde Schülergruppen erarbeiten die Experimente mit Hilfe der gewöhnlichen Laborgeräte, während die anderen Gruppen das System der Halbmikrotechnik einsetzen.

Ausnahmen hierfür sind:

- Das Experiment ist in der Makrotechnik, wegen der relativ großen Stoffmengen, zu gefährlich um es in die Hände der Schüler zugeben.
- Das Experiment ist generell zu gefährlich und kann nur als Lehrerdemonstration vorgeführt werden.
- Das nötige Material zur Durchführung des Experiments in der Makrotechnik ist an der Schule nicht vorhanden.

Damit genügend Zeit zur Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente zur Verfügung steht, wird in Doppelstunden gearbeitet. Dies ist meines Erachtens nach der angemessene Zeitrahmen, da es unmöglich ist, Versuche nebst selbstständiger Vorbereitung und korrekter Auswertung in einer Einzelstunde durchzuführen.

3.2 Beurteilungskriterien

Zur Beurteilung der Gebrauchs- und Leistungsfähigkeit der Halbmikrotechnik nach Dr. Häusler in einer Hauptschule werden folgende Kriterien herangezogen:

- Schülerumfrage
- Sicherheitskriterien
- Umfang der Experimente, die, im Gegensatz zur Makrotechnik, mit der Halbmikrotechnik als Schülerversuche durchgeführt werden können.
- Stoffmengenvergleich
- repräsentative Versuchsverläufe und –ergebnisse
- Bedienerfreundlichkeit
- Ökonomische und ökologische Aspekte

Dabei soll der Einsatz der Halbmikrotechnik die Struktur des Unterrichts nicht beeinflussen. Es sollen die gleichen Lernziele erreicht werden, wie beim Einsatz der altbekannten Makrotechnikausstattung. Es darf keine Reduktion der Schülerkompetenzen stattfinden. Schwerpunkt dieser Arbeit ist allerdings nicht die Ermittlung des Zuwachses an Schülerkompetenzen, sondern der Vergleich der dazu eingesetzten Werkzeuge. Gemeint sind die verwendeten Laborausrüstungen. Eine Ausweitung der Arbeit bezüglich der Kompetenzvermehrung würde den Rahmen sprengen.

3.3 Planung der Apparaturen

Die zur Planung der Experimente notwendigen Abbildungen der Versuchsapparaturen habe ich entweder mit Hilfe einer mitgelieferten CD selber zusammengesetzt, oder dem Experimentierset beigelegten Handbuch entnommen. Alle Apparaturen, die Dr. Häusler entwickelt und bereits eingesetzt hat, sind ebenfalls auf seinen Internetseiten http://www.halbmikrotechnik.de/web/index_i.htm und http://www.muenster.org/uiw/fach/chemie/exp/index_i.htm zu finden. Auf weiterführenden Seiten dieser Internetadressen sind auch Versuchsdurchführungen, die nach verschiedenen Kriterien wie z.B. eingesetzten Edukten geordnet sind, beschrieben.

Dr. Häusler dokumentiert in seinem Handbuch ein Ordnungssystem der Experimente, das auch unerfahrenen Kolleginnen und Kollegen die einfache Handhabung des Sets möglich macht. Die Versuche sind dort anhand ihrer Reaktionsbedingungen geordnet. Kennt man also die Aggregatzustände der Edukte und Produkte beliebiger Reaktionen, kann man die nötige Apparatur wie abgebildet übernehmen.

3.4 Themenauswahl in Anbetracht der Lernausgangslage:

Klasse 7b:

Die Klasse 7b unterrichte ich seit Februar 2005 im Fach Chemie, so dass mir der Leistungsstand der Schüler bekannt ist. Sie haben im vergangenen Schulhalbjahr bereits einige Schülerexperimente durchgeführt und sind geübt im Umgang mit der Schullaborausrüstung. Geforderte Unterrichtsinhalte der Klasse 6 sind im letzten Schuljahr erfolgreich bearbeitet worden, so dass es in diesem Schuljahr möglich ist die laut Richtlinien und Lehrplänen geforderte Unterrichtseinheit „Luft, Verbrennung und Gase“ zu behandeln.

Klasse 9c:

Die Klasse 9c unterrichte ich erst seit August 2005, so dass ich den Leistungsstand der Schüler erst ermitteln musste.

Das Fach Chemie wird an der Ganztags Hauptschule Hochneukirch in Kombination mit dem Fach Physik unterrichtet. Bedingt durch innerschulische Veranstaltungen wie Projektwochen und Praktika und dem daraus resultierenden Zeitmangel kommt es gelegentlich zu einer unbeabsichtigten Verschiebung der Unterrichtsquantität in Richtung eines der Fächer. Dies führt zu unterschiedlichen Leistungsständen der

Klassen, je nachdem ob der Schwerpunkt vermehrt auf dem Fach Physik oder dem Fach Chemie liegt.

Es stellte sich heraus, dass in dieser Klasse nicht alle laut Richtlinien Chemie geforderten Themen der Jahrgangsstufe 8 behandelt worden waren. Die Themeneinheit „Säuren, Basen und Salze“ wurde in der 8. Klasse ausgelassen. Da diese Einheit wichtige chemische Grundsätze behandelt, auf die der Chemieunterricht in Klasse 9 und 10 aufbaut, wurde sie nun in Klasse 9 nachgeholt.

Die Schüler der Klasse 9c hatten auch noch nicht soviel Experimentiererfahrung sammeln können, wie normalerweise in dieser Jahrgangsstufe zu erwarten ist. Deshalb wurden die meisten Versuche mit Hilfe von Arbeitsblättern durchgeführt, da eine eigenständige Versuchsplanung erst eingeübt werden musste.

Klasse 10A1:

Die Schüler der Klasse 10A1 unterrichtete ich größtenteils bereits in der Klasse 9 seit Februar 2005. Der Leistungsstand ist also bekannt und befindet sich im Fach Chemie auf dem geforderten Niveau. Aus diesem Grund konnte mit der Unterrichtseinheit „organische Chemie“, die laut Richtlinien und Lehrplänen für das 10. Schuljahr angedacht ist, fortgefahren werden.

Es stand allerdings in dieser Klasse weniger Zeit zur Verfügung, da sich die 10. Klasse zwischenzeitlich für 3 Wochen im Betriebspraktikum befand.

3.5 Planung der Unterrichtsreihen:

Alle für die Auswertung relevanten Stunden, bei denen die Halbmikrotechnik (HMT) eingesetzt wurde, sind als Schülerversuche HMT bzw. Lehrerdemonstrationen HMT gekennzeichnet.

Luft, Verbrennung und Gase (Klasse 7)

1. Die Eigenschaften der Luft (Stationenlernen)
2. Die Kerze – Was brennt da eigentlich? (Schülerversuch)
3. Woraus besteht Luft? (Schülerversuch)
4. Was atmen Fische? – Kann Luft in Wasser gelöst sein? (Schülerversuch HMT)
5. Wer baut den besten Feuerlöscher? (Schülerversuch HMT)
6. Eigenschaften verschiedener Gase (Gruppenpuzzle)

7. Nachweis von Kohlenstoffdioxid in der Atemluft (Schülerversuch HMT)
8. Die Knallgasprobe - der Nachweis von Wasserstoff (Schülerversuch HMT)
9. Die Glühspanprobe - der Nachweis von Sauerstoff (Schülerversuch HMT)

Säuren, Basen und Salze (Klasse 9)

1. Rotkohl - ein natürlicher Indikator (Stationenlernen)
2. Ätzen Säuren auch Metalle? (Schülerversuch HMT)
3. Wie entkalkt man eine Kaffeemaschine? (Schülerversuch)
Welches Gas entsteht bei der Reaktion von Kalk mit Säure? (Schülerversuch HMT)
4. Was hat die schweflige Säure mit saurem Regen zu tun?
Herstellung schwefliger Säure (Schülerversuch HMT)
5. Eigenschaften von Lauge (Stationenlernen)
6. Vorsicht! Natrium reagiert mit Wasser (Lehrerdemonstration HMT)
7. Der Ammoniakspringbrunnen (Schülerversuch HMT)
8. Sauer plus alkalisch gibt...? – Neutralisation (Schülerversuch)
9. Die Kochsalzsynthese (Lehrerdemonstration HMT)

Organische Chemie (Klasse 10)

1. Einführung in die organische Chemie (Schülerversuch)
2. Aus welchen Elementen bestehen organische Verbindungen? (Schülerversuch HMT)
3. Fossile Brennstoffe – Kohle, Erdöl und Erdgas (Internetrecherche, Gruppenpuzzle)
4. Wir stellen Obstwein her – die alkoholische Gärung (Schülerversuch)
5. Vom Wein zum Branntwein – Destillation von Obstwein (Schülerversuch HMT)
6. Unterscheidung von Alkoholen anhand der Siedetemperatur (Schülerversuch HMT)

4. Reflexion

4.1 Auswertung der einzelnen Experimente

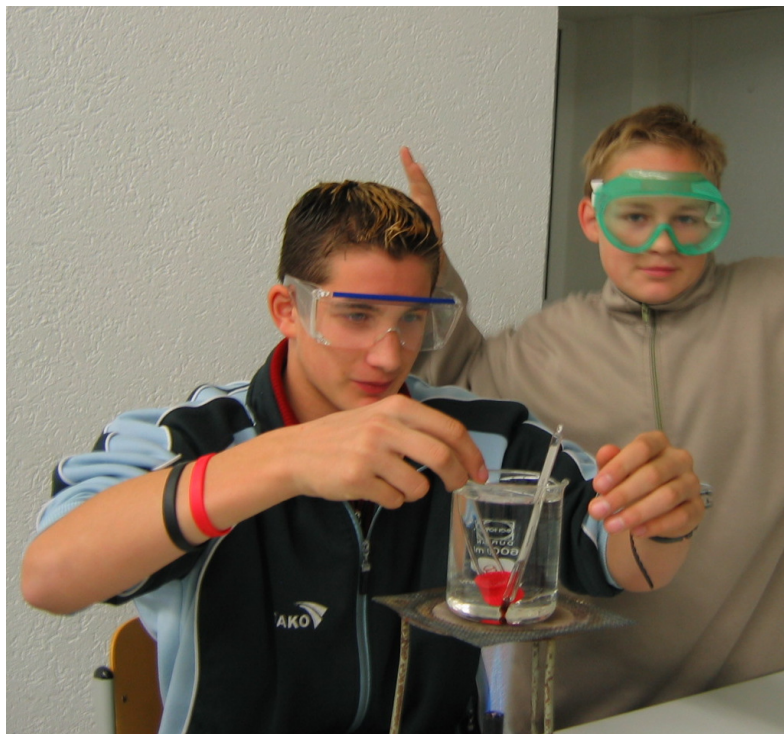
Bei der Auswertung der einzelnen Experimente werden die spezifischen Beobachtungen zu jedem Versuch aufgeführt. Die diversen Auffälligkeiten werden dann am Schluss unter Einbezug weiterer Auswertungskriterien in einer abschließenden Reflexion zusammengefasst.

Im Anhang sind zu jedem Experiment entweder Arbeitsblätter oder Schülerheftauszüge sowie diverse Fotografien zu finden.

Was atmen Fische? – Kann Luft in Wasser gelöst sein? (Versuch 1)

Dieses Experiment wurde als Parallelversuch Halbmikrotechnik – Makrotechnik durchgeführt. Es fiel auf, dass die Gruppen, die mit der Halbmikrotechnik arbeiteten, die Apparatur schneller und problemloser aufbauen konnten, als die anderen. Allerdings war das Ergebnis der Makrotechnik repräsentativer. In der großen Apparatur sammelte sich relativ viel Luft im Reagenzglas an, so dass die Schüler direkt auf das Vorhandensein von Luft in Wasser schließen konnten. Bei der Halbmikrotechnikapparatur war nur sehr wenig Luftansammlung zu erkennen, bei einer Gruppe sogar keine. Dies lag an zwei Dingen: 1. Es ist ein großer Trichter nötig, welcher bei der Halbmikrotechnik nicht zur Verfügung steht. 2. Das Reagenzglas musste gerade festgehalten werden um ein sichtbares Ergebnis zu erzielen. Dies hatte die Gruppe ohne Ergebnis versäumt.

Schüleräußerungen verrieten bei diesem Experiment eine gewisse Enttäuschung gegenüber dem neuen System. Darum empfehle ich für diesen Versuch den Einsatz der Makrotechnik.



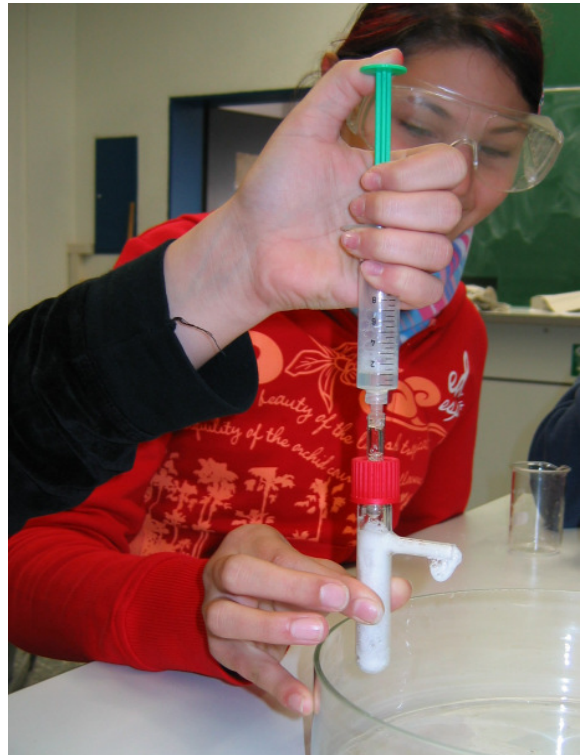
Wer baut den besten Feuerlöscher? (Versuch 2)

Die Herstellung des Feuerlöschers wurde in einer Art Wettbewerb (Egg Race) durchgeführt. Demzufolge wurde lediglich mit der Halbmikrotechnik experimentiert, um gleiche Wettbewerbsbedingungen zu schaffen. Dabei planten die Schüler die Ausrüstung anhand vorgegebener Einzelteile selbstständig und ermittelten auch die geeignete Chemikalienmischung. Der Aufbau gelang schnell und problemlos.

Die Ergebnisse konnten sich sehen lassen. Es entstand selbst in der kleinen Apparatur bei Einsatz geringer Stoffmengen soviel Schaum, dass eine Kerze damit gelöscht werden konnte.

Die Halbmikrotechnik eignet sich sehr gut für diesen Versuch und ist zu empfehlen. Führt man ihn in der Makrotechnik durch, so neigen die Experimentierenden dazu, viel zu große Stoffmengen einzusetzen. Das hat zur Folge, dass zuviel Schaum produziert wird und sich im Klassenraum verteilt.

Als Nachteil stellt sich bei der Halbmikrotechnik allerdings die geringe Größe der Bauteile heraus, denn es ging bei diesem Versuch ein kleiner Spritzenaufsatz verloren. Er konnte trotz gemeinsamer intensiver Suche nicht mehr gefunden werden.



Ansonsten bereitete das Experiment den Schülern viel Spaß.

Nachweis von Kohlenstoffdioxid in der Atemluft (Versuch 3)

Der Aufbau der Halbmikrotechnikapparatur war bei diesem Versuch komplizierter als der Aufbau der Makrotechnik. Trotzdem gelang er der 7.Klasse problemlos und nahm nicht viel Zeit in Anspruch. Die Einzelteile der Halbmikrotechnikapparaturen sind so genau aufeinander abgestimmt, dass dieses System selbst für die jüngeren Jahrgangsstufen einfach zu verstehen ist.

Besonders auffällig war, dass der Makrotechnikversuch eigentlich viel zu gefährlich ist, ihn auf diese einfache Art und Weise durchzuführen. Hätten die Schüler versehentlich anstatt

auszuatmen eingeatmet, hätten sie das alkalische Kalkwasser mit dem Mund durch den Strohhalm angesaugt. Mit dem System der Halbmikrotechnik ist dies nicht möglich, da zwei Reagenzgläser als Sicherheitsflasche und Wasserfalle vorgeschaltet waren. Dies fiel sogar den Experimentierenden auf, denn ich wurde mehrfach zum Gefahrenpotenzial des Kalkwassers befragt. Die Schüler wollten von sich aus lieber mit der sichereren Apparatur arbeiten und hatten teilweise Angst, in den Strohhalm zu pusten. Ich werde für dieses Experiment in Zukunft nur noch die Halbmikrotechnik einsetzen.

Das Ergebnis (getrübtes Kalkwasser) war bei allen klar erkennbar.

Die Knallgasprobe – der Nachweis von Wasserstoff (Versuch 4)

Dieses Experiment wurde lediglich mit der Halbmikrotechnik durchgeführt. Der Aufbau des Systems gelang in der 7. Klasse genauso problemlos wie in der 9. Klasse. Die Reaktion war trotz sehr geringer Stoffmengen in der kleinen Apparatur gut erkennbar. Es sammelte sich genügend Wasserstoff im Reagenzglas an, so dass eine positive Knallgasprobe zustande kam.

Da die 9. Klasse diesen Versuch bereits durchgeführt hatte, und es dabei zu Schwierigkeiten beim Aufbau der Makrotechnikapparatur gekommen war, stellte sich die Entscheidung ihn in der 7. Klasse nur mit den Geräten der Halbmikrotechnik durchzuführen, als richtig heraus. Das System erlaubt auch ungeübten, motorisch noch nicht so weit entwickelten Experimentierenden, eine Apparatur problemlos zusammenzufügen.

Es fiel auf, dass die Kinder sehr motiviert bei der Arbeit waren, da das Versuchsergebnis eine kleine Explosion sein sollte, die sie selber durchführen durften. Bei einer späteren Leistungsüberprüfung war allen Schülern die Knallgasprobe und der damit verbundene Wasserstoffnachweis bekannt.

Der ausschließliche Einsatz der Halbmikrotechnik ist für diesen Versuch zu empfehlen.

Die Glimmspanprobe – der Nachweis von Sauerstoff (Versuch 5)

Das Experiment wurde ebenfalls nur mit der Halbmikrotechnik durchgeführt. Diesmal sollten die Schüler den Versuch nebst Aufbau selber planen. Auf Grund dessen, dass der Versuch "Knallgasprobe" so erfolgreich durchgeführt wurde, hatten die Experimentierenden kein Problem damit, die nun nötige Apparatur abzuleiten. Ich druckte die Einzelteile der Halbmikrotechnikausrüstung auf Folien aus, und ließ die Schüler die

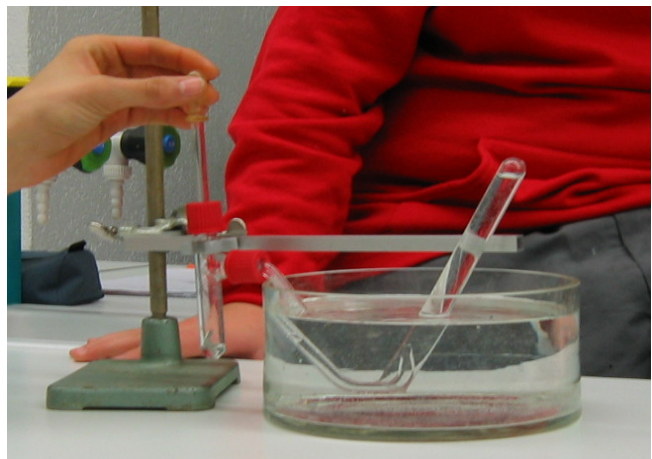
gesamte Apparatur auf dem Overheadprojektor zusammensetzen. Die Konstruktion gelang problemlos und konnte so ins Heft übertragen werden.

Es traten trotzdem zwei Probleme bei der Versuchsdurchführung auf. Die Bunsenbrenner, die eigentlich der Makrotechnik zugehören, erwiesen sich als zu groß für das kleinere System. Eine Gruppe verbrannte versehentlich eine Schraubdichtung. Darum ist es anzuraten, Brenner mit Sparflamme für den Einsatz im Halbmikrobereich anzuschaffen. Ein weiteres Problem war das kleine Reagenzglas zum Auffangen des Sauerstoffs. Es war zu wenig Sauerstoff vorhanden um die Glimmspannprobe (Sauerstoff-Nachweis) repräsentativ sehen zu können. Deshalb schlug ich den Einsatz eines großen Reagenzglases vor, denn es bildet sich aus einer sehr geringen Menge Kaliumpermanganat genug Sauerstoff, um ein größeres Behältnis zu füllen. Der Versuch wurde darum noch einmal wiederholt, und der Sauerstoffnachweis war dann auch sehr gut sichtbar.

Aus Sicherheitsgründen würde ich dieses Experiment von ungeübten Gruppen nicht im Makromaßstab durchführen lassen. Schüler neigen zum Einsatz zu großer Stoffmengen. Dies könnte hier gefährlich sein. Wegen der ausreichenden Repräsentativität des Ergebnisses und geringerer Gefahren für die Schüler halte ich die Halbmikrotechnik für besser einsetzbar als die Makrotechnik.

Ätzen Säuren auch Metalle? (Versuch 6)

Bei diesem Experiment fiel direkt auf, dass die Gruppe, die mit dem System der Halbmikrotechnik arbeitete, den Apparaturaufbau wesentlich schneller bewerkstelligen konnte als die anderen Gruppen. Beim Aufbau der Makrotechnik kam es öfter zu Rückfragen und auch zu Problemen. Es fiel den Schülern schwer, die Glasrohre durch Stopfen und Gummiverbindung zu schieben, obwohl Glycerin als Schmierstoff zur Verfügung stand. Zum Aufbau der Halbmikrotechnik war dies nicht nötig. Die Geräte sind mit komfortablen Schraubdichtungen versehen, und brauchen nur noch zusammengeschraubt zu werden. Auch die Befestigung des Systems am Stativmaterial gelang besser, da



die weniger sperrige Halbmikrotechnikapparatur einfach durch Federklammern, die an einer Aluminiumleiste befestigt werden, gehalten werden konnte. Dies erleichterte auch die Entnahme des Reagenzglases zwecks Knallgasprobe. Beim Makrosystem waren im Gegensatz dazu aufwendigere Schraubverbindungen zur Befestigung und zwei Stative nötig.

Die Reduktion der Stoffmengen beim Einsatz der Halbmikrotechnik konnte hier sehr gut beobachtet werden. Die Experimentierenden füllten den Tropftrichter der Makrotechnik mit einem unnötig großen Volumen an Säure. Bei der Halbmikrotechnik stand den Schülern nur die Tropfpipette zur Verfügung, so dass ein „Überladen“ wie bei der Makrotechnik nicht möglich war.

Die Knallgasprobe gelang bei beiden Gruppen gut, so dass ich den Versuch in Zukunft nur noch mit der Halbmikrotechnik durchführen werde.

Wie entkalkt man eine Kaffeemaschine?

Welches Gas entsteht bei der Reaktion von Kalk mit Säure? (Versuch 7)

Vergleicht man die Apparaturen der beiden Systeme, so ist leicht zu erkennen, dass die Halbmikrotechnikapparatur zwar komplizierter aussieht, aber wesentlich sicherer konstruiert ist. Beim Makrotechnikversuch wurden Kalkstein und Säure in das Reagenzglas gegeben und dann erst der Stopfen aufgesetzt. Dies bereitete den Experimentierenden dahin gehend Probleme, dass sie zum einen zuviel Säure verwendeten und zum anderen die Reaktion bereits einsetzte, bevor der Stopfen auf das Reagenzglas gesteckt werden konnte. Außerdem wurde ein Teil des entstandenen Kohlenstoffdioxids frei, welches beim Halbmikrotechniksystem durch das Puffervolumen des Kolbenprobers aufgefangen werden konnte.

Das kleinere System ist auch dahingehend sicherer, dass es ein zusammenhängendes System ist. So konnte auch das Kalkwasser im Gegensatz zur herkömmlichen Laborausrüstung nicht durch unsachgemäße Handhabung des Reagenzglases verschüttet werden. Ferner konnte mit geringeren Stoffmengen gearbeitet werden. Der etwas komplizierte Aufbau des Halbmikrotechniksystems bereitete den Schülern hingegen keine Probleme.

Die Versuchsergebnisse waren bei beiden Systemen repräsentativ. Auch hier ist der Einsatz der Halbmikrotechnik zu bevorzugen.

Was hat die schweflige Säure mit dem sauren Regen zu tun?

Herstellung schwefliger Säure (Versuch 8)

Dieses Experiment zeigte, dass die Reaktion im Marmeladenglas wenig repräsentativ und auch nicht sicher genau ist. Es tauchten diverse Probleme auf: Die Löcher im Deckel waren meistens zu groß gebohrt worden, so dass Gas austreten konnte. Die Schüler mussten den Schwefel zuerst entzünden und konnten dann erst das Glas verschließen, wobei ebenfalls Gas frei wurde. Der Faden brannte durch und der Schwefel fiel einfach ins Wasser. So kam es zu keinem sichtbaren Ergebnis. Die Färbung der Indikatorlösung war nur schwach rosa, da das Volumen des Marmeladenglases im Vergleich zum Gasvolumen zu groß war. Es wäre also nötig gewesen ein größeres Stück Schwefel zu entzünden um mehr Schwefeldioxid herzustellen. Dies halte ich aus sicherheitstechnischen Gründen jedoch nicht für tragbar.

Im Gegensatz dazu erschien das Ergebnis, das mit der Halbmikrotechnikapparatur erzielt wurde wesentlich repräsentativer. Es war nur eine sehr geringe Menge Schwefel zur Verbrennung nötig. Man konnte deutlich erkennen wie er schmolz und in die Gasphase übergang. Das gelbliche Schwefeldioxidgas „kroch“ daraufhin sichtbar durch die Apparatur und löste sich unter intensiver Färbung in der Indikatorlösung. Die Schüler konnten klar erkennen, dass es sich hierbei um eine Gasbildung mit anschließendem Lösungsvorgang handelte. Dies war im Marmeladenglas nicht zu erkennen. Dadurch, dass das Gas mit Hilfe des Kolbenprobers angesaugt wurde, konnte es nicht freiwerden und stellte kein Sicherheitsrisiko für die Experimentierenden dar.

Der Aufbau des Systems gelang wie bei den anderen Versuchen problemlos. Er war sogar schneller möglich als das Präparieren des Marmeladenglases.

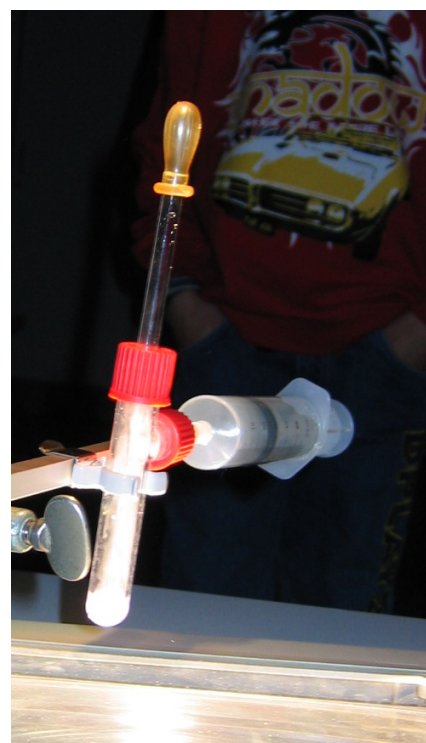
Folglich ist das System der Halbmikrotechnik für diesen Versuch wesentlich besser geeignet.



Vorsicht! Natrium reagiert mit Wasser (Versuch 9)

Der Versuch wurde zwar als Lehrerdemonstration auf dem Overheadprojektor durchgeführt, die Planung und den Aufbau der Apparatur übernahmen aber die Schüler. Da eine ähnliche Versuchsanordnung bereits bei der Reaktion von Kalkstein mit Säure verwendet wurde, fiel es ihnen leicht die geeignete Apparatur für diesen Versuch zu entwickeln. Auch der Aufbau gelang sehr schnell.

Da in einem geschlossenen System gearbeitet wurde, traten keine Sicherheitsrisiken auf. Der Einsatz eines linsengroßen Stückes Natrium reichte völlig aus, um genügend Wasserstoffgas für die Knallgasprobe im Kolbenprober zu sammeln. Dadurch, dass der Stempel des Kolbenprobers durch die Gasentwicklung herausgedrückt wurde, wurde diese für die Schüler sehr gut sichtbar. Auch der Farbumschlag des Indikators war klar zu erkennen.



Allerdings konnte man die Reaktion besser durch Betrachten der eigentlichen Apparatur als in der Projektion auf dem Overheadprojektor verfolgen. Ich würde in Zukunft der Videotechnik mit Beamer den Vorzug geben. Das System der Halbmikrotechnik eignet sich aber auch ohne jegliche Projektion hervorragend für dieses Experiment.

Der Ammoniakspringbrunnen (Versuch 10)

Der Ammoniakspringbrunnen wurde zum Vergleich wieder als Parallelexperiment durchgeführt. Da man bei Einsatz der Makrotechnik einen Abzug benötigt, ist der Versuch normalerweise nur als Lehrerdemonstration möglich. Aus diesem Grund arbeitete eine Gruppe mit den großen Laborgeräten im Abzug, während der Rest der Klasse die Halbmikrotechnik einsetzte.

Die Schüler erhielten als Hilfestellung ein Arbeitsblatt, so dass der Aufbau der Apparaturen kein Problem darstellte. Allerdings war zu beobachten, dass das System der Makrotechnik im Gegensatz zur Halbmikrotechnik sehr unhandlich war und mit diversem Stativmaterial befestigt werden musste. Der Aufbau der Makroapparatur dauerte wesentlich länger. Das kleine System war hingegen schnell und problemlos aufgebaut.

Dieser Versuch bewies, dass der Einsatz der Halbmikrotechnik hier sinnvoll ist. Das Experiment konnte, anstatt als Lehrerdemonstration gezeigt, in die Hände der Schüler

gegeben werden. Man muss allerdings bemerken, dass das Phänomen in der großen Apparatur spektakulärer aussah und die Schülersaufmerksamkeit auf sich zog. Das Ergebnis war aber auch in der Halbmikrotechnikapparatur klar ersichtlich und repräsentativ.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der für die Halbmikrotechnik spricht, ist der Sicherheitsaspekt. Ammoniakgas ist sehr gefährlich beim Einatmen. Die Schüler neigen in einer Makrotechnikapparatur dazu große Stoffmengen einzusetzen. Dies ist auf Grund der Größe der Gefäße bei der Halbmikrotechnik fast unmöglich. Außerdem ist das geschlossene System dicht, so dass kein Gas austreten kann.

Die Kochsalzsynthese (Versuch 11)

Die Kochsalzsynthese wurde als Lehrerexperiment mit der Halbmikrotechnik vorgeführt. Ich zeigte den Versuch, nachdem die Klasse einen Test geschrieben hatte, zur Stimmungsaufheiterung. Darum liegt weder ein Arbeitsblatt noch eine Schülersdokumentation vor. Es war mir lediglich wichtig herauszustellen, dass aus zwei gefährlichen Elementen (Natrium und Chlor) ein absolut Ungefährliches (Kochsalz) resultierte kann.

Das Ergebnis war etwas enttäuschend. Das erwartete intensive Aufleuchten bei der Reaktion war nicht allzu spektakulär. Zur Erkennung des entstandenen Kochsalzes war eine Lupe nötig.

Als weiteres Problem stellte sich hier die kleine Apparatur heraus. Es war schwierig die ganze Klasse so um den Abzug zu gruppieren, dass jeder etwas sehen konnte.

Für solche Lehrerexperimente halte ich die Makrotechnik für besser, da dabei auch Schüler in der letzten Reihe etwas sehen können. Bei Einsatz größerer Stoffmengen ist natürlich auch die Reaktion spektakulärer.

Aus welchen Elementen bestehen organische Verbindungen? (Versuch 12)

Zur Ermittlung der Elemente in organischen Verbindungen sind zwei Experimente nötig.

Beide wurden lediglich mit dem System der Halbmikrotechnik durchgeführt. Grund dafür ist das Fehlen einer Wasserstrahlpumpe für den ersten Versuch und die Notwendigkeit eines Abzugs für den zweiten Versuch, da die Gase Schwefelwasserstoff und Ammoniak freigesetzt werden.

Bereits hier erkennt man die Vorteile der Halbmikrotechnik: Manche recht teuren Gerätschaften der Makrotechnik wie z.B. die Wasserstrahlpumpe waren nicht mehr nötig. Versuche, die aus Sicherheitsgründen als Lehrerdemonstration im Abzug gezeigt werden müssten, konnten die Schüler mit dem System der Halbmikrotechnik selbst durchführen.

Die Experimentierenden planten anhand einer Liste, die alle notwendigen Nachweisverfahren beinhaltete, die Experimente selbstständig. Die Konstruktion und der Aufbau der Apparaturen gelang mit Hilfe der auf Folie gedruckten Einzelteile ebenfalls problemlos. Selbst die Sicherheitsaspekte wie Puffervolumen wurden verstanden.

Die Reaktionsverläufe und die Ergebnisse waren gut erkennbar und alle Nachweise gelangen. Im vergangenen Jahr habe ich diese Experiment in vereinfachter Form und als Lehrerdemonstration in einer 10. Klasse vorgeführt. Die Ergebnisse waren weniger deutlich zu erkennen als beim diesjährigen Einsatz der Halbmikrotechnik.

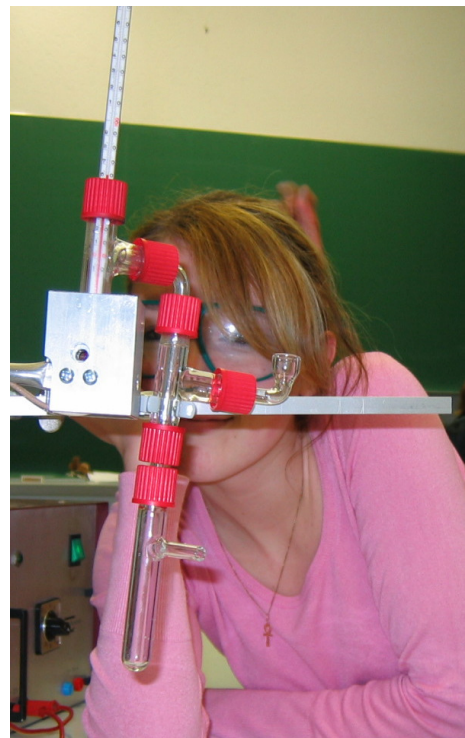
Allerdings kam es auch bei diesem Versuch zu dem Verlust eines Einzelteils der Apparatur, welches nicht mehr auffindbar war.

Vom Wein zum Branntwein – Destillation von Obstwein (Versuch 13)

Alkohol ist ein zentrales Thema dieser Alterstufe. Darum ist dieses Experiment bei den Schülern sehr beliebt.

Da die Experimentierenden zur Orientierung ein Arbeitsblatt erhielten, bereitete der Aufbau des Versuchs keine Probleme. Auch der Ablauf der Reaktion war bei der Halbmikrotechnik gut zu erkennen. Die Ausbeute war allerdings, bedingt durch den Einsatz kleiner Eduktmengen, so gering, dass die Schüler etwas enttäuscht waren. Die Gruppen, die die Makrotechnik verwendeten, erhielten nämlich soviel Branntwein, dass jeder Schüler einmal einen Finger zur Geschmacksprobe hineinstecken konnte.

Zur Überprüfung des Alkoholgehalts wurde eine kleine Menge des Destillats angezündet. Bei der Halbmikrotechnikapparatur war nicht genug Destillat dafür vorhanden.



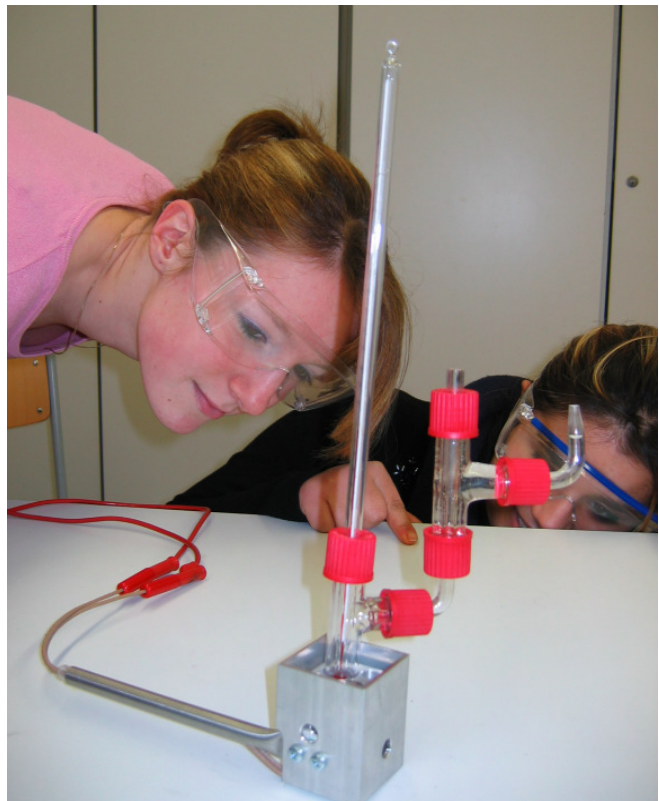
Der Einsatz eines Bunsenbrenners ist bei der kleinen Laborausrüstung nicht möglich. Die Flamme ist einfach zu groß. Abhilfe schaffte eine Kerze als Wärmequelle bzw. der Röhrenofen für die Halbmikrotechnik. Der Röhrenofen besitzt allerdings keine Temperaturregelung, so dass es schwer fiel, den Ofen auf der gewünschten Destillationstemperatur zu halten.

Da das Experiment kein großes Sicherheitsrisiko darstellt, halte ich den Einsatz der Makrotechnik aus oben genannten Gründen als geeigneter.

Unterscheidung von Alkoholen anhand der Siedetemperatur (Versuch 14)

Auf Grund des ähnlichen Versuchsaufbaus wie bei der Destillationsapparatur gab es keine Probleme bei der Planung und Durchführung dieses Experiments. Die Schüler, die die Halbmikrotechnik einsetzten, verwendeten als Heizquelle den Röhrenofen, während die anderen im Wasserbad erhitzten.

Es stellte sich heraus, dass die mit der Halbmikrotechnik ermittelten Temperaturen exakter waren. Der Siedepunkt konnte durch die Blickfenster im Röhrenofen sehr gut erkannt werden. Mit Hilfe des Ofens konnten auch höhere Siedetemperaturen ermittelt werden als im Wasserbad. Das Handling der Halbmikrotechnikapparatur war hierbei einfacher und auch sicherer als die Makrotechnik. Man benötigt bei der Halbmikrotechnik weniger Geräte, eine geringere Stoffmenge Alkohol und auch keine offene Wärmequelle.



Der Einsatz der Halbmikrotechnik ist auch bei diesem Versuch zweckmäßiger.

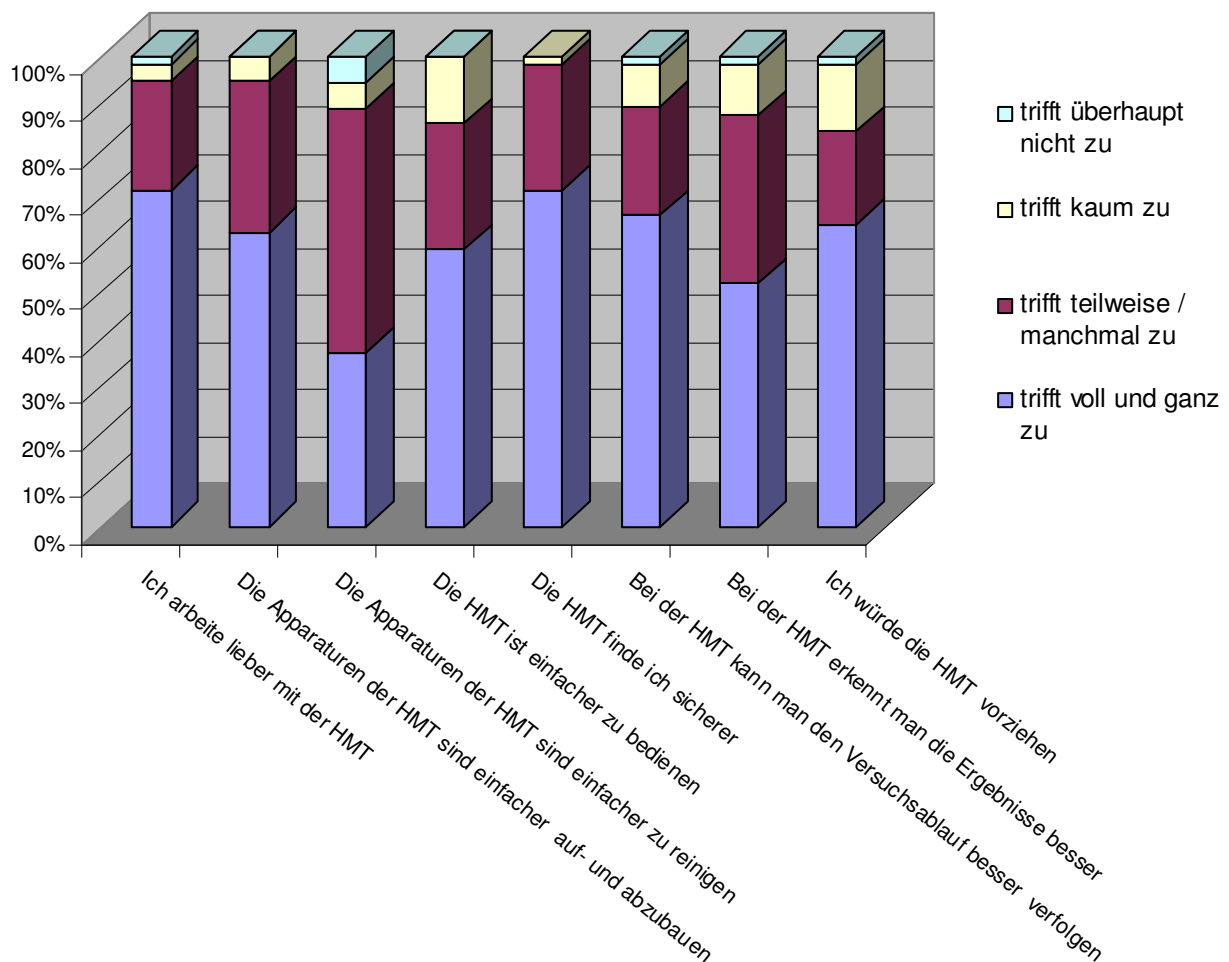
4.2 Schülerbewertung

Zur Erfassung der Schülermeinung erhielten alle Schüler der Klassen 7b, 9c und 10A1 einen Fragebogen mit acht Fragen. Sie sollten die Halbmikrotechnik mit der generellen Laborausrüstung vergleichen. Es waren vier Gewichtungen zu jeder Frage möglich. Die Fragen beinhalteten Aussagen zur Bedienerfreundlichkeit, Sicherheit, Reinigung der Geräte sowie Repräsentanz der Versuchsverläufe und –ergebnisse.

Die statistische Auswertung der Fragebögen zeigte, dass die Halbmikrotechnik auch bei den Experimentierenden großen Zuspruch gefunden hatte. 71% der Schüler arbeiteten lieber mit der Halbmikrotechnik als mit der Makrotechnik.

Kritisiert wurde lediglich die etwas aufwändigere Reinigung der kleinen Laborgeräte. Den Sicherheitsaspekt der Halbmikrotechnikausrüstung werteten die Schüler positiv. Die Meinung zur Frage nach der Erkennbarkeit der Ergebnisse schwankte etwas. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass manche Experimente in den größeren Glasgeräten spektakulärer erschienen.

Die einzelnen Fragen und ihre prozentuale Bewertung sind in folgende Diagramm statistisch ausgewertet. Im Anhang sind mit Absicht nur einige Fragebögen als Beleg zu finden, da der Umfang keinen Erkenntnisgewinn gebracht hätte.



4.3 Reflexion bezüglich Ökonomie und Ökologie

Vergleicht man das Basispaket der Halbmikrotechnik mit einer Schullaborausrüstung, so kann man es mit der Grundausrüstung für einfache Versuche einer Schülergruppe von 4 bis 6 Schülern gleichsetzen. Diese Grundausrüstung für eine Schülergruppe, bestehend aus diversen Glasgeräten, Glasrohren, Reinigungsmaterialien, Thermometer, Stopfen und Halterungssystemen kostet, bestellt bei der Firma Phywe GmbH Co.KG, ca. 140€. Der Preis des Basissets nach Dr. Häusler beträgt 190€ und liegt damit über den Anschaffungskosten der Makroversion.

Die Gerätschaften der Halbmikrotechnik sind jedoch qualitativ hochwertiger. Die Wandung der Glasgeräte ist wesentlich dicker und folglich auch bruchsicherer. Es passierte während der Versuche des Öfteren, dass z.B. Reagenzgläser auf den Boden fielen. Dabei zerbrachen die Gläser der normalen Laborausrüstung sehr häufig. Die der Halbmikrotechnik im Gegensatz dazu kein einziges Mal.

Vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit birgt die geringe Größe der Halbmikrotechnik den Nachteil, dass es gelegentlich zum Verlust kleiner Bauteile kommt.

Ein klarer Vorteil der Halbmikrotechnik ist deren Einfachheit. Bedingt durch geringe Stoffmengen und Volumina, braucht die Makrotechnik wesentlich aufwändigere und größere Apparaturen für die gleichen Versuche. Möchte man z.B. ein Gas durch eine Apparatur saugen, so benötigt man normalerweise eine Wasserstrahlpumpe. Im Gegensatz dazu reicht eine einfache Spritze bei der Halbmikrotechnik vollkommen aus. Folglich entfallen die Kosten für zusätzliche Gerätschaften.

Was den Chemikalienverbrauch anbetrifft, so hält die Halbmikrotechnik was sie verspricht. Die eingesetzten Eduktmengen reduzierten sich auf mindestens 1/10 des gewöhnlichen Verbrauchs. Die Anschaffungskosten für eine Grundausstattung an Chemikalien an einer Hauptschule belaufen sich auf etwa 1500 bis 2000 Euro im ersten Jahr. In den folgenden Jahren ist dann nur noch der Neukauf verbrauchter Chemikalien nötig. Dafür müssen jährlich weitere 200 bis 400 Euro einkalkuliert werden. Durch Einsatz der Halbmikrotechnik können die Erstanschaffungskosten gesenkt werden, da es möglich ist geringere Mengen einzukaufen. Ferner reduziert sich auch der jährliche Kostenfaktor für den Chemikaliennachkauf auf ca. 1/10.

Dementsprechend ist es ebenso möglich die Entsorgungsmengen auf ein Minimum zu verringern. Die Entsorgungskosten einer Hauptschule mit 400 – 700 Schülern belaufen sich auf ungefähr 100 -200 Euro je nach angefallener Chemikalienmenge bei einer Entsorgungsfrequenz von zwei bis drei Jahren.

Diese Kosten² setzen sich zusammen aus:

- ⇒ 2,56 € / kg organischer Labor- und Chemikalienreste,
- ⇒ 12,78 € / kg anorganischer Labor- und Chemikalienreste,
- ⇒ 1,53 € / kg Säuren und Laugen
- ⇒ 21,22 € Anfahrtskosten

Durch Einsatz der Halbmikrotechnik ist es möglich die Entsorgungsfrequenz auf 10 Jahre anzuheben bzw. die Kosten stark zu senken.

4.4 Zusammenfassende Abschlussreflexion

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich das System der Halbmikrotechnik sehr gut für den Einsatz im Chemieunterricht an Hauptschulen in allen Jahrgangsstufen eignet. Es vermag nicht die komplette Ausrüstung der Makrotechnik zu ersetzen, aber einen großen Teil.

Die Erprobungen der letzten drei Monate haben gezeigt, dass sich die behaupteten Vorteile der Halbmikrotechnik bewahrheitet haben. Zwölf von fünfzehn durchgeführten Versuchen möchte ich in Zukunft nur noch mit der Halbmikrotechnik ausführen.

Es ist den Schülern mit diesem System möglich, wesentlich sicherer zu experimentieren als mit der generellen Laborausstattung. Die Apparaturen waren auch nach mehrfachem Gebrauch dicht, so dass keine Gase austreten konnten. Die Bruchgefahr des Glases wurde durch das starkwandige Glas vermindert. Ferner werden Schnittverletzungen durch die Schraubverbindungen vermieden, was bei den Schülern großen Zuspruch fand.

Die eingesetzten Stoffmengen und damit auch die Entsorgungsmengen konnten deutlich reduziert werden. Folglich ist auch aus ökonomischer und ökologischer Sicht der Einsatz der Halbmikrotechnik empfehlenswert. Allerdings muss man die Schüler erst an den Einsatz geringer Stoffmengen gewöhnen.

Der Auf- und Abbau des Systems erwies sich als einfacher als zu Beginn vermutet. Es stellte sich sogar heraus, dass die Halbmikrotechnik bedienerfreundlicher ist als die Makroversion. Man konnte Versuche einfach und schnell umgestalten, um „mal eben noch etwas auszuprobieren“. Dies beeinträchtigte bei den meisten Experimenten kaum die Repräsentanz des Versuchsablaufs und des Ergebnisses. Lediglich bei drei

² Quelle: Firma KMW Kreislaufwirtschaft Mauer & Wissing GmbH & Co.KG

Experimenten war die Halbmikrotechnik nicht zu empfehlen. Diese Versuche verliefen im Makromaßstab spektakulärer bzw. die Ergebnisse waren besser zu erkennen.

Ein erfreulicher Vorteil des neuen Systems war, dass einige Versuche anstatt als Lehrerdemonstration gezeigt zu werden, in die Hände der Schüler gegeben werden konnten. Folglich wurde eine Steigerung der Handlungsorientierung im Unterricht erreicht. Für Experimente, die trotzdem noch als Lehrerversuch durchgeführt werden müssen, würde ich allerdings den Makromaßstab vorziehen. Es hat sich als problematisch erwiesen große Klassen so um die relativ kleinen Apparaturen zu gruppieren, dass jeder etwas sehen konnte. Dabei war der Einsatz des Overheadprojektors zur Projektion der Versuche wenig überzeugend. Der Einsatz der Videotechnik könnte hier allerdings hilfreich sein.

Der Kompetenzzuwachs, den die Schüler im Chemieunterricht erfahren, wird durch die Halbmikrotechnik nicht beeinflusst. Die konzeptbezogenen Kompetenzen sind anschliessend in einer Leistungsüberprüfung analysiert worden. Es resultierte daraus keine Auffälligkeit bezüglich des eingesetzten Laborsystems. Prozessbezogene Kompetenzen wurden gleichermaßen gefördert. Alle Gruppen waren in der Lage ihre Versuche zu planen, die Apparaturen zu entwickeln, gezielt zu beobachten, miteinander zu kooperieren, Experimente zu beschreiben und auszuwerten. Die Lernziele wurden also durch die Umstellung auf ein anderes Laborsystem nicht negativ beeinflusst.

Bekannte Chemieexperimente sind einfach auf das neue System zu übertragen, so dass auch fachfremde Kollegen nach einer kurzen Einarbeitung in der Lage sein sollten, die Halbmikrotechnik einzusetzen. Hat man sich die Denkweise, nach der die Konstruktion dieses Systems verfährt, erst einmal angeeignet, so fällt das Planen der Apparaturen mit der Halbmikrotechnik auch dem Lehrer leichter. Viele komplizierte Apparaturaufbauten sind sogar durch Einsatz der Halbmikrotechnik zu vereinfachen, was auch eine Kostenreduktion mit sich bringt.

Die Schülerumfrage zeigt, dass das Experimentieren mit der Halbmikrotechnik auch den Schülern gut gefiel. Es war zu beobachten, dass die Experimentierenden am Ende der Erprobungsphase bedingt durch das praktische Verschraubungssystem eine gewisse „Konstruktionssicherheit“ im Apparaturaufbau erlangt hatten. Lediglich die Reinigung erwies sich als kritischer Punkt.

Abschließend ist zu sagen, dass die Arbeit mit der Halbmikrotechnik sowohl den Schülern als auch mir Freude bereitet hat. Ich hoffe, dass das neue System zukünftig auch bei Kollegen und Kolleginnen zum Einsatz kommt.

5. Literatur- und Internetquellenverzeichnis

Baumbach, Eckhard	(November 2002). <i>Mikroglasbaukasten</i> . In Homepage der chemie-baumbach. Verfügbar unter www.chemie-baumbach.de
Bovet, Gislinde & Huwendiek, Volker	(2004). <i>Leitfaden Schulpraxis</i> . Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit	(Oktober 2005). <i>6. Deutscher Gefahrstoffschutpreis</i> . In Homepage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BauA). Verfügbar über www.baua.de/prax/gefahrstoffe/gefahrstoffpreis2005.pdf (23.10.2005)
Häusler, Klaus-Günter	(September 1996). <i>Sicheres Experimentieren durch Halbmikrotechnik HMT (Handbuch)</i> . Porta Westfalica: UNI-SOFT F.Wedekind EDV und Verlag.
Häusler, Klaus-Günter	(1995-2004). <i>Experimentieren mit Gefahrstoffen in geschlossenen Apparaturen und Entsorgung ins natürliche Gleichgewicht</i> . Drensteinfurt. Handreichung auf CD.
Häusler, Klaus-Günter	(Juli 2005). <i>HMTC Leitgedanken zum Experimentieren</i> . In Homepage der Halbmikrotechnik Chemie GmbH. Verfügbar unter www.halbmikrotechnik.de/experiment/exp-leitgedanke.htm (23.10.2005)
Häusler, Klaus-Günter	(1997-2005). <i>UiW – Unterricht im Web</i> . In Homepage der Stadt Münster. Verfügbar unter www.muenster.org/uiw/index_i.htm

KMK Arbeitsgruppe	(2003). <i>Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht.</i> Kultusministerkonferenz
Kultusminister des Landes NRW	(1989). <i>Richtlinien und Lehrpläne für die Hauptschule in Nordrhein-Westfalen Chemie.</i> Frechen: Ritterbach Verlag
Landesinstitut für Schule	(Juli 2003). <i>Sicherheits- und Umwelterziehung beim Umgang mit gefährlichen Stoffen.</i> Liste zur Einstufung von Chemikalien gemäß der Gefahrstoffverordnung. Soest: Verlag für Schule und Weiterbildung
Meyer, Hilbert	(1987). <i>Unterrichts-Methoden II: Praxisband.</i> Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor
Phywe	(2004). <i>Gesamtkatalog 2004/2005.</i> Göttingen
Schallies, Prof.Dr. Michael & Schnelle, Hans-Otto & Kunze, Klaus	(Februar 1997). Versuche mit dem <i>Minilabor</i> . In Homepage des Minilabor Wettbewerb. Verfügbar über www.minilabor.com
Vester, Frederic	(1978). <i>Denken, Lernen, Vergessen.</i> München: dtv
Zinsser-Analytic	(2005). <i>Going micro...</i> In Homepage der Zinsseranalytic GmbH. Verfügbar über www.zinsser-analytic.com/113.asp

6. Anhang

6.1 Erklärung der Verfasserin zur vorliegenden Arbeit

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Das Gleiche gilt auch für beigegebene Zeichnungen, Karten, Skizzen und Darstellungen.

Ich bin damit einverstanden, dass diese Hausarbeit nach Abschluss meiner Zweiten Staatsprüfung wissenschaftlich interessierten Personen oder Institutionen zur Einsichtnahme zu Verfügung gestellt wird und dass zu diesem Zweck Ablichtungen dieser Hausarbeit hergestellt werden, sofern diese keine Korrekturen oder Bewertungsmerkmale enthalten.

Aachen, den 02.01.2006

Daniela Krebsbach-Hadad

6.2 Dokumentationsverzeichnis

<i>Teil A:</i>	<i>Dokumentationen zu den einzelnen Versuchen³</i>	36
Versuch 1:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	37
	Arbeitsblatt Makrotechnik.....	38
	Fotografien.....	39
Versuch 2:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	40
	Fotografien.....	41
Versuch 3:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	42
	Schülerheftauszug Makrotechnik.....	43
Versuch 4:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	44

³ Es liegt zu jeder Stunde entweder ein Arbeitsblatt oder ein Schülerheftauszug vor, je nach der didaktischer Entscheidung für den Stundenverlauf. Ferner sind nur vereinzelte Versuche fotografisch festgehalten worden um den Anhang in einem überschaubaren Maß zu halten.

Versuch 5:	Schülerheftauszug Halbmikrotechnik.....	45
Versuch 6:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	46
	Arbeitsblatt Makrotechnik.....	47
	Fotografien.....	48
Versuch 7:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	49
	Arbeitsblatt Makrotechnik.....	50
Versuch 8:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	51
	Arbeitsblatt Makrotechnik.....	52
	Fotografien.....	53
Versuch 9:	Schülerheftauszug Halbmikrotechnik.....	54
	Fotografien.....	56
Versuch 10:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	57
	Arbeitsblatt Makrotechnik.....	58
Versuch 12:	Schülerheftauszug Halbmikrotechnik.....	59
Versuch 13:	Arbeitsblatt Halbmikrotechnik.....	62
	Schülerheftauszug Makrotechnik.....	63
	Fotografien.....	65
Versuch 14:	Schülerheftauszug Halbmikrotechnik.....	66
	Schülerheftauszug Makrotechnik.....	68
	Fotografien.....	70
Teil B:	<i>Apparaturliste.....</i>	<i>71 – 78</i>
Teil C:	<i>Beispiele für Schülerfragebogen.....</i>	<i>79 – 82</i>
Teil D:	<i>Kopien zitierter Internetseiten.....</i>	<i>83 – 86</i>

