

Reihe Soznat · Mythos Wissenschaft · Band 11

Richard George

Experimentelle Zugänge zur Realität



Für diese pdf-Datei wurde das Original-Word-Dokument neu umgebrochen. Wegen veränderter Typen und Formate stimmen die Zeilen-Umbrüche nicht mehr mit der Druckfassung überein. Allerdings wurde darauf geachtet, dass die Seitenstruktur des Buches erhalten geblieben ist. Bei den Seitenumbrüchen gab es dabei Veränderungen von bis zu drei Zeilen am Anfang bzw. am Ende.

Arbeitsbuch

Experimente

Soznat

Zugänge zur Realität

Scheffels, H. / Mikroskopieren, 2. Aufl.



Richard George

Experimentelle Zugänge zur Realität

Reihe Soznat · Mythos Wissenschaft · Band 11

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

George, Richard:

Experimentelle Zugänge zur Realität / Richard George. - 1.

Aufl. - Marburg : Verl. Red.-Gemeinschaft Soznat, 1990

(Reihe Soznat : Mythos Wissenschaft ; Bd. 11)

Zugl.: Kassel, Gesamthochsch., Diss., 1990

ISBN 3-922850-54-5

NE: Reihe Soznat / Mythos Wissenschaft

Diese Arbeit ist mit Unterstützung der Hans-Böckler-Stiftung entstanden als Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades rer. nat. am Fachbereich Biologie/Chemie der Gesamthochschule Kassel Universität.

1. Auflage

(c) Redaktionsgemeinschaft Soznat

Postfach 2150, 3550 Marburg

Druck: Gesamthochschuldruckerei Kassel

ISBN 3-922850-54-5

Bei der Popularisierung von Wissenschaft - und darum handelt es sich in der Schule - muß nämlich bedacht werden, daß wissenschaftliche Zusammenhänge um so breiter und umgangssprachlicher dargestellt und rezipiert werden müssen, je weniger der Lernende ein Fachmann, je mehr er Laie ist. Und um zukünftige Laien handelt es sich in der Schule allemal.

Gerda Freise

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----|---------------------------|---|
| 1. | Leben - Lernen - Erkennen | 1 |
| | <i>Einleitung</i> | |

Teil A: EXPERIMENTE IN DER SCHULE - EINE BESTANDSAUFNAHME

| | | |
|-------|--|----|
| 2. | Aufgaben des Experiments | 4 |
| 2.1 | Experiment und Lernende - eine erste Annäherung | 4 |
| 2.2 | Das Experiment in der fachdidaktischen Literatur | 5 |
| 2.3 | Legitimationsmuster für Experimente im allgemein- bildenden Unterricht | 7 |
| 2.3.1 | Wissenschaftstheoretische Legitimationsmuster | 7 |
| 2.3.2 | Unterrichtsmethodische Legitimationsmuster | 9 |
| 2.3.3 | Sozialerzieherische Legitimationsmuster | 10 |
| 2.3.4 | Opportunistische Legitimationsmuster | 13 |
| 3. | Der Anspruch der experimentellen Methode | 14 |
| 3.1 | Wie das Experiment in die Wissenschaft kam und eine neue Wissenschaft entstand | 15 |
| 3.2 | Heutiges Verständnis vom Experiment | 20 |
| 3.3 | Laborexperiment und Naturexperiment: Die Einge- schränktheit der Überprüfbarkeit wissenschaftlicher Theorien | 23 |
| 3.4 | Mögliche Ursachen für die Überbewertung des Experiments im Forschungsprozeß | 25 |
| 4. | Chemisches Experiment und Schulunterricht | 27 |
| 4.1 | Chemie wird Schulfach - die moderne Chemie kon- stituiert sich | 28 |
| 4.1.1 | Die Ausbildung des Chemikers zu Beginn des 19. Jahrhunderts | 29 |
| 4.1.2 | Liebigs Ausbildungskonzept für Chemiker | 30 |
| 4.1.3 | Das schulische Ausbildungskonzept | 32 |
| 4.1.4 | Die Bedeutung des Chemieunterrichts im 19. Jahr- hundert | 33 |
| 4.1.5 | Unterschiedliche Etablierungsweisen in der Schule - verschiedener Chemieunterricht | 36 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2 | Die Vermittlungsaufgaben des Experiments und die schulische Realität | 38 |
| 4.2.1 | Vermittlungsaufgaben des Experiments bei Liebig und Arendt | 38 |
| 4.2.2 | Das Schulexperiment zu Beginn des 20. Jahrhunderts | 42 |
| 4.2.3 | Verbreitung von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht im 20. Jahrhundert | 43 |
| 4.2.4 | Schülerversuche als Teil der Schulreform | 44 |
| 4.2.5 | Steigerung des Lernzuwachses durch Schülerversuche? | 47 |
| 4.2.6 | Der optimierte Einsatz von Versuchen in der Schule | 49 |
| 4.2.7 | Kritik des optimierten Schulversuchs | 51 |
| 5. | Wirkungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts | 54 |
| 6. | Gründe für die spezifischen Probleme des Chemieunterrichts | 60 |
| 6.1 | Die vermittelte Erfahrung | 61 |
| 6.2 | Das entwickelte kindliche Weltbild | 65 |
| 6.3 | Optische Wahrnehmung und kindliche chemische Theorie | 68 |
| 6.4 | Erwartungen von Lernenden an den naturwissenschaftlichen Unterricht | 70 |
| 6.5 | Experimentieren als Erfahrungserweiterung | 73 |
| 6.6 | Anknüpfen an bisherige Erfahrungen | 76 |
| 6.6.1 | Widersprüche zur bisherigen Erfahrung | 77 |
| 6.6.2 | Orte fruchtbarer Lernprozesse | 78 |
| 6.6.3 | Exemplarisches Lernen - wider die Beliebigkeit der Inhalte | 80 |
| 7. | Das Experiment in Wissenschaft und Schule <i>Zusammenfassung Teil A</i> | 82 |

TEIL B: EXPERIMENTE IN DER HAND VON LEHRENDEN UND LERNENDEN

Fallstudien zum Chemieunterricht

| | | |
|-------|---|-----|
| 8. | Die Entwicklung des Forschungsansatzes | 89 |
| 8.1 | Die Erhebungsmethode | 92 |
| 8.1.1 | Zur Methodenkritik | 95 |
| 8.2 | Zur Entwicklung der Fragestellung | 99 |
| 8.2.1 | Luftschadstoffe als Unterrichtsgegenstand | 100 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 8.3 | Die Befragten | 101 |
| 8.3.1 | Die Lehrenden | 101 |
| 8.3.2 | Die Lernenden | 102 |
| 8.4 | Durchführung der Befragung | 102 |
| 8.5 | Aufbereitung der Gesprächstexte | 104 |
| 9. | Lehrende berichten von ihren Erfahrungen mit Experimenten im Chemieunterricht | 107 |
| 9.1 | Ein Hauptschullehrer berichtet | 107 |
| 9.2 | Ein Gymnasiallehrer berichtet | 111 |
| 9.3 | Eine Lehrerin an einer integrierten Gesamtschule berichtet | 115 |
| 9.4 | Ein Lehrer an einer additiven Gesamtschule berichtet | 120 |
| 9.5 | Ein Lehrer an einem Oberstufengymnasium berichtet | 124 |
| 9.6 | Zusammenfassung der Lehreraussagen | 128 |
| 10. | Lernende berichten von ihren Erfahrungen mit Experimenten im Chemieunterricht | 132 |
| 10.1 | "Normale" Schulexperimente erzeugen den Eindruck der Beliebigkeit ihrer Inhalte | 132 |
| 10.2 | Experimente machen Spaß und den Chemieunterricht attraktiv | 136 |
| 10.3 | Experimente unterstützen das Gedächtnis | 139 |
| 10.4 | Experimente veranschaulichen und sind konkret | 140 |
| 10.5 | Eigenes Experimentieren ermöglicht das (bessere) Verstehen chemischer Sachverhalte | 143 |
| 10.6 | Experimente und Chemieunterricht erschließen die eigene Umwelt bzw. tragen zu deren Verständnis bei | 147 |
| 10.7 | Zusammenfassung der Aussagen der Lernenden | 153 |
| 10.8 | Resümee der beiden Befragungen | 156 |
| 11. | Experimente im Chemieunterricht - Didaktische Annahmen und Realität | 157 |
| | <i>Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen</i> | |
| 11.1 | Die wissenschaftstheoretische Bedeutungsebene | 157 |
| 11.2 | Die methodische Bedeutungsebene | 159 |
| 11.3 | Die soziale Bedeutungsebene | 163 |
| 11.4 | Die bisherigen Ergebnisse in Übersicht | 164 |

TEIL C: EXPERIMENTELLE ZUGÄNGE ZUR REALITÄT:***Luftverschmutzung als Fallstudie für den Chemie
unterricht***

| | | |
|--------|---|-----|
| 12. | Weiterentwicklung der Fragestellung | 167 |
| 12.1 | Die Erhebungsmethode <i>Teilnehmende Beobachtung</i> | 170 |
| 12.1.1 | Ergänzende Untersuchungen | 172 |
| 12.1.2 | Die Unterrichtseinheit <i>Waldsterben</i> - <i>Säuren und Basen</i> | 173 |
| 12.2 | Die Beobachteten | 174 |
| 12.3 | Durchführung der Beobachtung und Erzeugung der Dokumente | 175 |
| 12.4 | Aufbereitung der Dokumente | 176 |
| 13. | Die Beobachtung einer 10. Gymnasialklasse | 177 |
| 13.1 | Zum Unterrichtsinhalt | 177 |
| 13.1.1 | Das Interview | 185 |
| 13.1.2 | Die schriftliche Lernkontrolle | 188 |
| 13.1.3 | Die Chemiehefte | 191 |
| 13.2 | Die durchgeführten Experimente | 192 |
| 13.3 | Realitätsbezogene Experimente - Betroffenheit und Möglichkeit für Lernen | 198 |
| 14. | Experimentelle Zugänge zur Realität - abschließende Thesen | 201 |
| 14.1 | Kriterien für experimentelle Zugänge zur Realität | 202 |
| 14.2 | Grenzen der Untersuchung und mögliche Weiter- führungen | 206 |
| 15. | Literatur | 208 |
| 16. | Inhaltsverzeichnis des Anhangbandes | 220 |

1. LEBEN - LERNEN - ERKENNEN

"Die Entwicklung zu einer wahrhaft demokratischen Gesellschaftsordnung erfordert aber nicht nur eine demokratische Struktur in Politik und Wirtschaft. Demokratie läßt sich ernstlich nicht verwirklichen ohne die demokratische Teilhabe *aller an jeder* Phase des Gemeinschaftslebens. Und diese Teilhabe ist nicht zu verwirklichen, wenn nicht jeder einzelne ohne Rücksicht auf materielle Erwägungen die Möglichkeit hat, jenes Maß von Bildung und Kenntnissen zu erwerben, das seinen individuellen Fähigkeiten entspricht. Denn wahre Demokratie ist ja nicht möglich, wenn nicht ein jeder in den Stand gesetzt wird, die Gesellschaft, in der er lebt, ihre Erfordernisse und Probleme zu verstehen und danach zu handeln. Nur wer seine Zeit versteht, ist imstande, ihr gerecht zu werden und sie tätig zu beeinflussen. Bildung und Wissen sind entscheidende Voraussetzungen für das Funktionieren einer Demokratie" [Brenner 1957, S. 186].

Mit der Schaffung einer zweiten Natur durch den Menschen - beginnend mit der Nutzung des Feuers - finden Eingriffe und Veränderungen in die ursprüngliche Natur und die uns umgebende Wirklichkeit statt. Indem der Austauschprozeß von Mensch *und* Natur Bedingung für die Reproduktion menschlichen Lebens ist, kann sich prinzipiell niemand diesen Eingriffen entziehen [vgl. Pukies 1979, S. 123]. Wissen um die Gesetzmäßigkeiten der Natur bzw. der Naturwissenschaften wird damit zu einer der Voraussetzungen für die Realisierung von Selbst- und Mitbestimmung. Aber für die meisten Menschen bleibt die Notwendigkeit für die Auseinandersetzung mit der Natur, der Zusammenhang zwischen dem Leben, den Wissenschaften und ihren Anwendungen, Ausnutzungen und Auswirkungen undurchschaut und unvermittelt; von vielen wird er als quasi *naturgegeben* hingenommen, von vielen verdrängt, und manche meinen, ihm durch Fliehen entkommen zu müssen oder zu können [vgl. Freise 1981, S. 39].

Der naturwissenschaftliche Unterricht trägt zu dieser Haltung in erheblichem Maße bei, indem die meisten Schülerinnen und Schüler die Naturwissenschaften als überwiegend unverstehbar erfahren, was einhergeht mit einer in der Regel hohen Bedeutungszuschreibung, Expertengläubigkeit oder einer natur-romantischen Technik-Opposition [vgl. z.B. Brämer 1979, Quitzow 1981]. In beiden Fällen muß festgestellt werden, daß es dem naturwissenschaftlichen Unterricht nicht gelingt,

handlungsrelevantes Wissen zu vermitteln oder gar "zum mündigen Bürger" zu erziehen, was eines seiner erklärten Ziele ist. Die im folgenden beschriebene Szenenfolge muß wohl als der Normalfall angesehen werden:

Ein Dozent an einer pädagogischen Hochschule unterhält sich mit einer Gruppe von Studenten, die ein naturwissenschaftliches Unterrichtsfach anstreben. Unter ihnen befindet sich ein "Gipsbein". Der Gips verursacht ein Jucken, darauf der Dozent: "»Das liegt wohl an dem Schwefel im Gips.« Einige stutzen, andere schweigen, dann allgemeines Gemurmel: »Gips ... Schwefel?« »Ja« fragt er also, »wie ist es denn eigentlich, enthält der Gips Schwefel oder nicht?« Niemand weiß es zu sagen. »Dann« sich verabschiedend, »schauen Sie doch mal nach, bis zum nächsten Mal!«

Beim nächsten Treffen hat sich niemand sachkundig gemacht. Nach erneuter Aufforderung ergibt sich eine Woche später das folgende:

"»Jawohl, Gips ist Kalziumsulfat, und als solches, nämlich als Sulfat, enthält Gips Schwefel.« Darauf spontan der Dozent, dem Gipsbein zugewandt: »Sehen Sie, da haben Sie halt nochmal Pech gehabt und in der Eile eine stark schwefelhaltige Sorte Gips verpaßt bekommen.« Und nachdem sich eine Weile nichts rührt, schiebt er noch nach: »So wie es eben stark eisenhaltige Erze gibt, die statt der mageren abzubauen sich lohnt.« ... Man hat sich bereits zurechtgerückt in Erwartung des eigentlichen Seminarthemas, denn dieses hier ist für sie keines mehr: Gips ent_hält Schwefel, mal mehr, mal weniger" [Raebiger 1988, S. 172 f].«

Berichte, die sich mit den - latent schon lange existierenden - *Vermittlungsproblemen* des naturwissenschaftlichen Unterrichts beschäftigen, sind in den letzten Jahren verstärkt in den einschlägigen Zeitschriften zu finden. Parallel dazu wird eine zunehmende Akzeptanzkrise im Bewußtsein der Öffentlichkeit gegenüber den Spitzen der naturwissenschaftlich technischen Entwicklung sichtbar, insbesondere im Zusammenhang mit Kernkraft, Gentechnik, Datenakkumulation und zunehmender Umweltbelastung durch industrielle Produktion und privaten Konsum.

Die genannten Vermittlungsprobleme sind Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit. Denn es muß davon ausgegangen werden, daß die Grundprobleme für das Scheitern des naturwissenschaftlichen Unterrichts - sowohl aus fachlicher wie auch aus demokratischer Sicht - bei der Mehrzahl der Lernenden wenigstens zum Teil in seinen (fach-)systematischen und schulpraktischen Eigentümlichkeiten begründet sind. Dem (chemischen) Experiment bzw. dem Experimentieren im

Unterricht [vgl. Keune 1963, S. 669 ff] kommt dabei aus mehreren Gründen eine zentrale Bedeutung zu. Zum einen ist es das Element des naturwissenschaftlichen Unterrichts, das diesen vor anderen Fächern auszeichnet. Zum anderen wird es begriffen als ein Mittel zur Aneignung der uns umgebenden Wirklichkeit, das sowohl auf diese als auch auf das ursprüngliche Weltbild verändernd wirken kann.

Der gegenwärtige Umgang mit dem Experiment bzw. dem Experimentieren im Chemieunterricht und der zugehörigen Didaktik sowie die mit ihm gegebenen Möglichkeiten für *experimentelle Zugänge zur Realität* sind der zentrale Gegenstand dieser Arbeit.

TEIL A:**EXPERIMENTE IN DER SCHULE - EINE BESTANDSAUFNAHME****2. AUFGABEN DES EXPERIMENTS**

Experimente sollen, je nach Situation, verschiedene Aufgaben erfüllen. Sie sollen sowohl die Vermittlung von Kenntnissen und Fertigkeiten unterstützen wie auch bei der Gliederung des Unterrichts behilflich sein. Experimente können auch affektiv bedeutsame Qualitäten besitzen, sie können "schön" sein und unterhalten. Häufig werden diese Aspekte vermutlich gemeinsam auftreten.

Welche der Aufgaben bzw. Aspekte überwiegt, hängt stets von der jeweiligen Situation, ebenso auch von der Person des jeweiligen Betrachters ab. So verbinden Lehrende und Lernende mit der Durchführung von ein und demselben Experiment wahrscheinlich verschiedene Erwartungen. Während darüber, was Experimente bei Lernenden bewirken sollen, im Laufe der letzten 150 Jahre einiges geschrieben wurde, ist darüber, was die Lernenden von ihnen erwarten bzw. welche Möglichkeiten Experimente aus Schülerinnen- und Schülersicht bieten können, recht wenig bekannt.

2.1 EXPERIMENT UND LERNENDE - EINE ERSTE ANNÄHERUNG

"Wenn selbst die Schülerinnen der 13. Klasse mit auf den Parkplatz gingen, um sich mit mir den Motor meines VW anzusehen und seine Funktionsweise herauszubekommen, statt über die Geheimnisse von Elektronenstrahlen nachzusinnen, lag das nicht an plötzlich aufkeimender Liebe dieser Frauen für den Vergaser. ... (sie) schätzen ... die erworbene Kompetenz, weil sie ein winziges Stückchen Emanzipation wittern gegenüber dem Freund, der mit seinem Auto und den technischen Kenntnissen protzte" [Haubold 1979, S. 24].

Chemieunterricht und Experiment sind wahrscheinlich für die meisten Menschen, die Chemie als Schulfach erlebt haben, untrennbar miteinander verbunden. Nur so ist m.E. die immer wieder gehörte Äußerung "Chemie, das ist, wenn es kracht und stinkt" zu erklären. Dem entspricht, daß Schülerinnen und Schüler wie auch Erwachsene, deren Schulzeit schon lange zurückliegt, sich vorzugsweise an besonders eindrucksvolle Experimente erinnern, während der theoretische Unterricht eher als unverständlich bzw. unverstanden eingeschätzt wird [Nolte u.a. 1980]. Erinnern meint hier nicht, daß sie den je spezifischen Versuchsaufbau oder die Durchführung im Detail noch erläutern könnten, vielmehr sind ihnen verblüffende Erscheinungen, meist optische oder akustische Effekte, häufig auch Schwierigkeiten der Lehrenden bei der Präsentation eines Experiments im Gedächtnis geblieben.

Sowohl diese Art der Erinnerung wie auch das eingangs angeführte Lehrerzitat machen deutlich, daß sich die Funktion von Experimenten nicht in der Vermittlung von Kenntnissen und Fertigkeiten erschöpft. Ins Blickfeld geraten hier zumindest zwei weitere Aspekte: eine Art von Unterhaltungswert des Experiments und seine soziale Dimension. Dies wird ausführlich in Kapitel 10 aufgegriffen.

Für das Verständnis der gegenwärtigen Situation des Experiments im Chemieunterricht ist es jedoch notwendig, zunächst zu untersuchen, welche Bedeutung die Fachdidaktik dem Experiment zuschreibt.

2.2 DAS EXPERIMENT IN DER FACHDIDAKTISCHEN LITERATUR

Bei der Durchsicht der fachdidaktischen Veröffentlichungen der letzten 20 Jahre, insbesondere in Zeitschriften wie *Der Chemieunterricht*, *Chemie in der Schule*, *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *Naturwissenschaften im Unterricht* und *Praxis der Naturwissenschaften*, gewinnt man den Eindruck, daß kein Bedarf besteht, über Funktion und Aufgaben des Experiments im Unterricht nachzudenken. Die Mehrzahl der in den einschlägigen Zeitschriften erschienenen Artikel befaßt sich mit Verbesserungsvorschlägen zu altbekannten Versuchen bzw. mit Anregungen, in welcher Weise aktuelle Themen (z.B. Abwasser, Recycling) in den bisherigen Unterricht integriert werden können. Diese sich mehr auf technische Detailverbesserungen beziehenden Vorschläge werden ergänzt durch Untersuchungen zur Wirkung des Gesamtaufbaus von Demonstrationsversuchen auf das

Wahrnehmungsverhalten von Lernenden [z.B. Keune 1963, Schmidtkunz 1983, Sander 1984]. Empirische Untersuchungen zur Wirkung von Experimenten auf Lernerfolg und Einstellung von Lernenden lassen sich im genannten Zeitraum nur vereinzelt finden [z.B. Weltner u. Warnkoss 1969, Bruhn 1972, Demuth 1981].

Beispielhaft belegen dies Riekens u.a. für den Zeitraum zwischen 1980 und 1982. In einer quantitativen Untersuchung experimentbezogener Veröffentlichungen in den Zeitschriften *Praxis der Naturwissenschaften*, *Der Chemieunterricht*, und *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* stellen sie fest, daß von den insgesamt 144 Artikeln

"79 (55%) die Optimierung bekannter Versuche, die Darstellung spezieller Analysemethoden oder den Einsatz besonderer Geräte (behandeln), ohne auf die Funktion der Experimente für den Unterricht, auf Lernziele oder Unterrichtskonzepte einzugehen. In den verbleibenden 65 Beiträgen verweisen 38 Beiträge immerhin darauf, daß von den vorgeschlagenen Experimenten eine »Motivation« für den Schüler erwartet wird. Bei insgesamt 21 dieser Beiträge handelt es sich offensichtlich um Experimente, die zur Veranschaulichung fachlicher Gesetzmäßigkeiten bzw. spezieller chemischer Phänomene konstruiert wurden. In 39 Beiträgen finden sich Hinweise auf einen Bezug zur Fachwissenschaft Chemie" [Riekens u.a. 1985, S. 111].

Erst in jüngster Zeit wurde das Experiment unter fachdidaktischen und pädagogischen Gesichtspunkten von verschiedener Seite wieder aufgegriffen. Als Beispiele seien genannt:

- K. Häusler: "Experiment - Theorie - Wirklichkeit" [1981]
- G. Freise: "Überlegungen zum Begriff und zur Funktion des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht" [1983]
- Themenheft der Zeitschrift *Der Chemieunterricht*: "Das Experiment im Chemieunterricht" [Hammer u.a. 1984]
- Zeitschrift *Chemie in der Schule*, "Im Blickpunkt Diskussion": vgl. insbesondere D. Jäckel: "Warum ist das Experimentieren der Schüler unersetzbar?" [1985]

In diesen Publikationen - mit Ausnahme von G. Freise - wird die Bedeutung des Experiments im Schulunterricht weitgehend übereinstimmend dargestellt. Dabei sind immer wieder dieselben Begründungen, Argumente bzw. Argumentationsstränge auszumachen. Wie noch zu zeigen ist, stellen sie praktisch eine Akkumulation der Auffassungen der letzten Jahrzehnte zum Experiment bzw. zum Experimentieren in der Schule dar und werden im folgenden unter dem Begriff *Standardlegitimationsmuster* subsumiert.

2.3 LEGITIMATIONSMUSTER FÜR EXPERIMENTE IM ALLGEMEINBILDENDEN UNTERRICHT

Nach Aussage der überwiegenden Mehrzahl der Fachdidaktiker ist

"das Experiment ... für den naturwissenschaftlichen Unterricht unerlässlich. Dies gilt insbesondere für Schülerversuche" [Spengler 1983, S. 28].

Eine nähere Begründung erfolgt in vielen Fällen nicht. Ist sie vorhanden, so lassen sich im wesentlichen vier Typen von Legitimationsmustern für Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht, die sich zum Teil überschneiden, ausmachen:

- wissenschaftstheoretische Legitimationsmuster
- unterrichtsmethodische Legitimationsmuster
- sozialerzieherische Legitimationsmuster
- opportunistische Legitimationsmuster

2.3.1 WISSENSCHAFTSTHEORETISCHE LEGITIMATIONSMUSTER

In den wissenschaftstheoretischen Begründungsmustern erscheint das Experiment in der Regel als *Frage an die Natur* und wird als unabdingbare Voraussetzung für Entwicklung wissenschaftlicher Theorien angesehen. Typische Begründungen sind etwa:

"Einen anderen Erkenntnisgewinn als den, der von der Beobachtung ausgeht, gibt es im Grunde nicht; er hat sich seit Jahrhunderten (LAVOISIER !) bewährt" [Häusler 1981, S. 221].

"Schließlich ist das Experiment durch bewußte Einwirkung auf die objektive Realität gekennzeichnet und greift dementsprechend in jedem Fall in die Wirklichkeit ein und verändert diese" [Jäckel 1985, S. 31].

"Chemie ist eine Experimentalwissenschaft. Wer also Schülern einen Begriff davon geben will, was Chemie ist, *muß dem Experiment im Unterricht eine bevorzugte Stellung einräumen und muß diesen so anlegen, daß die Schüler möglichst viele dieser Experimente selbst ausführen. Nachschaffend* sollen sie erleben, wie Fragen an die Natur gestellt werden, wie man Beobachtungen

sammelt und wie schließlich eine Ausdeutung der erfahrenen Tatsachen zustande kommt" [Flörke u.a. 1969, S. 24].

Hinter diesen Legitimationsmustern steht in der Regel ein wissenschaftstheoretischer Ansatz, den J. Pukies folgendermaßen skizziert hat:

"Der Wissenschaftler gewinnt Erkenntnisse, indem er Fragen an die Natur stellt, Experimente durchführt, daraus theoretische Aussagen gewinnt und diese per Induktion zum Naturgesetz verallgemeinert" [Pukies 1979, S. 129].

Viele Äußerungen zur Fachdidaktik bringen explizit zum Ausdruck, daß sich die Lernenden die so verstandene methodische Vorgehensweise der Wissenschaft Chemie aneignen sollen, und zwar sowohl als Inhalt wie auch als Methode zu dessen Erwerb.

"Die Erkenntnisse der Naturwissenschaften kommen durch Induktion und Deduktion zustande. Ausgehend von Beobachtungen und Messungen gewinnt der Naturwissenschaftler Hypothesen. Aus diesen lassen sich gedankliche Schlüsse ziehen, deren Überprüfung im Experiment zur Verfeinerung der Hypothesen und letztlich zur Theoriebildung führt. Dieser Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnis sollte auch leitender Gesichtspunkt bei der methodischen Gestaltung des Unterrichts sein. ... Der naturwissenschaftliche Unterricht sollte von Anfang an Experimentalunterricht sein" [Deutscher Bildungsrat 1971, S. 71 f].

"Strukturen eines Forschungsablaufs werden dabei überführt in Strukturen eines Unterrichtsablaufs und in Elemente von logischen Denkprozessen, die von den Lernenden bewußt oder unbewußt aufgenommen werden" [Schmidtkunz u.a. 1976, S. 10].

Auf der Lehrplanebene findet dies z.B. wie folgt seinen Niederschlag:

"Die Chemie ist eine experimentelle Wissenschaft, infolgedessen muß der Chemieunterricht Experimentalunterricht sein. Daher steht - mit wenigen Ausnahmen - das Experiment im Mittelpunkt der Lehrgänge. ... Als »Frage an die Natur« hat das Experiment Entscheidungsfunktion." [Der Hessische Kultusminister 1979, S. 4 f].

Und in Schulbüchern finden sich entsprechend folgende Äußerungen:

"Wie in allen Naturwissenschaften steht auch bei der Arbeit des Chemikers die *Beobachtung* im Vordergrund, und zwar die Beobachtung natürlich ablaufender Vorgänge ebenso wie die Beobachtung der im *Experiment* künstlich erzwungenen Prozesse. Im Experiment richtet der Chemiker gewissermaßen eine Frage an die Natur. Er bemüht sich, ihre »Antwort« richtig zu verstehen und zu deuten. Bei seinem »Verhör« wird sich der Naturforscher

erst durch mehrere übereinstimmende Antworten überzeugen lassen. ... Auch im Chemieunterricht spielt die experimentelle Arbeit eine große Rolle. Je mehr wir uns um eine genaue Beobachtung und Auswertung der chemischen Unterrichtsversuche bemühen, desto leichter wird uns das Verstehen chemischer Vorgänge fallen" [Häusler 1971, S. 6 f].

Inwieweit diese Begründungen greifen, werde ich ausführlich in Kapitel 3 untersuchen.

2.3.2 UNTERRICHTSMETHODISCHE LEGITIMATIONSMUSTER

Wie im Zitat von Flörke und Flohr bereits angedeutet, wird die zuvor als besonders bedeutsam gekennzeichnete erkenntnistheoretische Eigenschaft des Experiments unter methodischen Aspekten auf die Anschauungsebene reduziert. Experimente sollen gleich anderen (optischen) Medien eingesetzt werden und den Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler fördern.

"Die Experimentaltechnik wird insoweit zu einer fachspezifischen *Methode*, als die Darbietung von Experimenten im Chemieunterricht im Hinblick auf bestimmte Voraussetzungen (Alter der Schüler, materielle Fragen, Ausbildung der Chemielehrer) und aus spezifischen Intentionen (»forschend entwickelnder Unterricht« erfolgt. Ihre mediale Bedeutung liegt darin, daß sie als Mittler im Erkenntnisprozeß von Schüler und Sache, von Subjekt und Objekt fungieren" [Becker u.a. 1980, S. 261].

"Sie ermöglichen den Schülern, aus den dabei gemachten Beobachtungen und Feststellungen Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Wirklichkeit zu machen" [M. Schmidt 1972, S. 122].

"Das Wissen der Schüler (wird) durch die notwendige intensive Auseinandersetzung fester und anwendungsbereiter" [Raabe 1981, S. 6].

Daß Wissen durch Übung gefestigt wird, bedarf keiner weiteren Erläuterung. Ob sich für Lernende jedoch die Möglichkeit eröffnet, experimentell erworbenes bzw. eingeübtes Schulwissen anzuwenden - insbesondere im Alltag, wie Raabe es nahelegen will -, muß vorläufig offen bleiben.

2.3.3 SOZIALERZIEHERISCHE LEGITIMATIONSMUSTER

Den kognitiv-methodischen Zielsetzungen beim Experimentieren werden gleichwertig explizit moralische zugeordnet. Eine hervorragende Rolle wird hierbei Schülerexperimenten zugewiesen. Indem sie die Kontakte der Schüler untereinander fördern und "über die zur Durchführung des Experiments notwendige Kooperation" auch "soziales Lernen im doppelten Sinn (begünstigt wird)" [Becker u.a. 1980, S. 271]. So soll

"das Schülerexperiment zur Herausbildung positiver Verhaltensweisen und Charakterqualitäten hervorragend und spezifisch (beitragen), so zur Aufrechterhaltung von Ordnung und Sauberkeit, zur Exaktheit bei der Durchführung und Beobachtung, zum sorgfältigen und sparsamen Umgang mit Chemikalien und Geräten ..." [Jäckel 1985, S. 39].

"Beim *eigenen Experimentieren* soll der Schüler auch etwas von der Mühsal und der »Langeweile« der gewissenhaften und sorgsamten Arbeit erfahren und die Freude des Erfolgs, aber auch die Betrübnis über den Mißerfolg erleben, der ihn jedoch nicht entmutigen darf, sondern zu neuem Bemühen anspornen muß" [Flörke u.a. 1969, S. 24].

Zwar ist unbestritten, daß Tugenden wie Ordnung, Sorgfalt, gleichmäßige Mitarbeit, Konzentrationsfähigkeit etc. das Erlernen chemischer Fertigkeiten und Kenntnisse begünstigen, der Umkehrschluß erscheint jedoch reichlich gewagt. Jene Sekundärtugenden sind weder notwendige noch hinreichende Voraussetzung für das Erlernen eines bestimmten Inhalts. Charakteristisch für den diesen Argumentationsstrang ist die Tatsache, daß im Laufe der Schulgeschichte schon mehrere Fächer ihre besondere Eignung für die Ausbildung von Sekundärtugenden reklamierten. Erinnerung sei nur an das Fach Mathematik; selbst hierfür konnten die behaupteten Wirkungen nicht nachgewiesen werden [vgl. Lenné 1969, S. 144 ff].

Zu hinterfragen ist auch die (ungeprüfte) Annahme, daß über die Vermehrung der Kontaktmöglichkeiten von Schülerinnen und Schülern bei Gruppenversuchen bestimmte (soziale) Lern- und Verhaltensweisen initiiert bzw. verstärkt werden [vgl. z.B. Jäckel 1985, S. 38 f]. Auf der empirischen Ebene wird die Bedeutung des Experiments für die soziale Erziehung nicht gerade untermauert.

So befragte Demuth mittels standardisierter Fragebögen, die pro Frage bis zu sieben Antwortmöglichkeiten und zwei offene Fragen enthielten, Schülerinnen und Schüler der Klassen 8 und 9. Insgesamt

konnte er die Antworten von 95 Gymnasial-, 133 Real- und 71 Hauptschülern (166 Mädchen, 133 Jungen) auswerten [Demuth 1981, S. 256]. Bei der Untersuchung der Frage, inwieweit herkömmliche Schülerexperimente die Stellung der Lernenden innerhalb der Lerngruppe sowie ihre Konkurrenzorientierung als ein spezifisches Merkmal des Sozialverhaltens beeinflussen, stellte er fest,

"daß keine Auswirkungen von einem Schülerexperimentalunterricht auf das allgemeine Sozialverhalten der Schüler (ausgehen)" [ebd., S. 356].

Besondere Bedeutung kommt dieser Aussage insofern zu, als die zum Vergleich herangezogene Klassenfahrt eine deutlich bessere Integration zuvor isolierter Lernender in den Klassenverband ermöglichte [ebd. S. 356 f].

Unter Berücksichtigung allgemeiner schulpädagogischer Erkenntnisse ist zudem zu vermuten, daß Gruppenexperimente sehr wohl eine eigene soziale Dimension entfalten, dies jedoch in deutlich anderer Weise, als von der Fachdidaktik intendiert. Folgt man der Schulpädagogik, so muß man annehmen, daß die Lernenden Experimente, insbesondere Schülerexperimente, dazu nutzen, *legal* einen Teil der äußeren, offiziellen Unterrichtsordnung außer Kraft zu setzen.

Nach S. Bernfeld und O.F. Kanitz sind Ordnungselemente *das* charakteristische fächerübergreifende Merkmal von Schule und als solche in ihrer Wirkung auf die Lernenden bedeutsamer als die jeweiligen Fachinhalte [vgl. Bernfeld 1925; Kanitz 1970]. Zinnecker charakterisiert die vorherrschende Unterrichtsordnung als

- eine Ordnung der Schüler- und Schülerinnenbewegung
- eine Ordnung des Sprechverkehrs
- eine Ordnung der sozialen Kontakte der Lernenden untereinander
- eine Ordnung des Raumes und der Gegenstände
- eine Ordnung der Zeitstruktur.

Die Lehrenden fungieren als Wächter dieser Ordnung [vgl. Zinnecker 1978, S. 101 ff].

Angesichts der Gefahr, daß Schülerexperimente diese Ordnung verändern könnten, argumentiert K. Scheid bereits 1913:

"Der unbestreitbare Vorteil des Demonstrationsunterrichtes besteht darin, daß der Lehrer unter allen Umständen mit eiserner Strenge Disziplin wahren kann" [Scheid 1913, S. 77].

Rein äußerlich ist diese Disziplin - bei Anwendung des entsprechenden Druckes und entsprechend sozialisierten Schülerinnen

und Schüler - zwar zu realisieren; tatsächlich unterscheidet sich ein reiner Demonstrationsunterricht nur graduell von einem mit offeneren Arbeitsformen. Denn bereits Lehrerexperimente bieten die Gewähr dafür, daß der Experimentator *zu tun* hat und einen nicht unerheblichen Teil seiner Aufmerksamkeit dem Experiment widmen muß. In beiden Fällen besteht für die Lernenden die Möglichkeit, soziale Kontakte zu pflegen und zumindest heimlich die offizielle Unterrichtsordnung zu unterlaufen.

Entsprechende Tendenzen erklärt J. Zinnecker wie folgt:

"Die Unterrichtssituation ist ja insofern paradox, als sie die Schüler mit einer Fülle anregender und ernstzunehmender Kandidaten für Freundschafts- und kollegiale Beziehungen bekannt macht und Tag für Tag auf engstem Raum zusammenführt, es ihnen im Rahmen der Unterrichtsordnung aber verübelt, wenn sie auf diese sozialen Stimulierungen eingehen und die Mitschüler näher in Augenschein nehmen möchten. Die Schüler stellen deshalb nach Möglichkeit ... einen Ausgleich her, indem sie die verrücktesten Wege ersinnen, untereinander in Beziehung zu treten, und indem sie auf die ausgefallensten Ideen geraten, worüber man in Kontakt zueinander kommen kann" [Zinnecker 1978, S. 102].

Daß die Schule in viel stärkerem Maße als früher zu *dem* Ort geworden ist, an dem soziale Kontakte stattfinden, hängt auch mit der demographischen Entwicklung in der BRD, dem Rückgang der Geburtenzahlen seit Ende der 60er Jahre, zusammen: Außerhalb der Schule - insbesondere auf dem Land - bestehen heute für Schülerinnen und Schüler immer weniger Möglichkeiten, um mit Gleichaltrigen zusammenzukommen. Dies drückt sich z.B. deutlich in den Umfrageergebnissen zur Bedeutung von Schule bei Jugendlichen aus:

Zwischen 1953 und 1985 wuchsen

"die positive Erwähnung von Schulausflügen und schulischen Freizeitveranstaltungen von 18% auf 24%, die Möglichkeit zu einer sorglosen Jugendzeit von 7% auf 15%, die positive Hervorhebung von Freizeit und Ferien von 8% auf 26% und - ganz zentral - *das Verhältnis zu Gleichaltrigen von 8% auf 47%*" [Helsper 1987, S.87; Hervorhebung R.G.].

Demgegenüber unterliegen zentrale schulische Bereiche einer zunehmenden Kritik:

"Unterricht allgemein (1953: 5%, 1984: 20%), ... Prüfungen, Zeugnisse, also Noten- und Leistungsdruck (6% zu 41%, also eine Steigerung um das 7-fache) und ... *das Verhältnis zu Lehrern (11% zu 47%)*" [ebd.].

Bei diesen Ergebnissen ist zu berücksichtigen, daß im erwähnten Zeitraum eine erhebliche Ausdehnung der Schulzeit stattgefunden hat. Fast alle Jugendlichen erreichen den Schulabschluß heute im 16. statt mit dem 14. Lebensjahr, ein sich ständig vergrößernder Teil erreicht ihn im 19. Lebensjahr. Die angeführten Ergebnisse dürften für den Chemieunterricht eine nicht zu unterschätzende Bedeutung haben, denn dieser setzt in der Regel erst in einem Alter ein, in dem vor 30 Jahren der überwiegende Teil der Jugendlichen die Schule bereits verlassen hatte.

Es ist daher zu vermuten, daß in dem Maße, wie Jugendliche länger zur Schule gehen und gleichzeitig zentrale Bereiche der Schule negativ bewerten, *Experimente als Möglichkeit zur Aufnahme sozialer Kontakte bedeutsam geworden sind*.

In der fachdidaktischen Literatur ist ein Aufgreifen dieser Dimension von Experimenten bisher nicht feststellbar. Obwohl es - sowohl als Unterrichtsgegenstand wie als Medium der Vermittlung - als *das* zentrale Element des Schulfachs Chemie angesehen wird, fehlt eine nähere Auseinandersetzung mit seinen sozialen Implikationen fast völlig.

2.3.4 OPPORTUNISTISCHE LEGITIMATIONSMUSTER

Die Betrachtung von opportunistischen Begründungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht in der staatlichen Schule, besonders solcher, die heute nicht mehr "aktuell" sind bzw. im Widerspruch stehen zum Geist des Grundgesetzes der Bundesrepublik, führt noch einmal zurück zu den moralisch-sozialerzieherischen Zielen. Offenkundig wird die Austauschbarkeit und die damit einhergehende Bedeutungslosigkeit bestimmter Argumentationsstränge.

"Dieser gewaltige Krieg ist ein Krieg der Wissenschaften und Technik ... Die Volksschule darf an diesen Dingen nicht stillschweigend vorübergehen, will sie nicht die Gelegenheit versäumen, dem Kind einen Begriff von der Gründlichkeit der deutschen Wissenschaft, des deutschen Geistes und Forscherfleißes zu geben" [K. Spahn, *Kriegsstoffe für den Unterricht in Physik und Chemie*, Straßburg 1916 S. 7, nach F. Rieß 1978, S. 113].

"Nicht zuletzt bilden Mathematik und Naturwissenschaften heute eine so wichtige Grundlage jeglichen Heereswesens, daß sie als Unterrichtsfächer nicht zu entbehren sind, wenn der Wehrwille der deutschen Jugend ernsthaft gepflegt werden und die Verwirklichung des Wehrgedankens in jeder Form

Verständnis im deutschen Volke finden soll" [Von unserer 35. Hauptversammlung in Erfurt, in: Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften, 1933, S. 113, in: Kremer 1985, S. 327 f].

"Die Naturwissenschaften sind im deutschen Wesen verankert durch die innige Naturverbundenheit, die ein bedeutender Wesenszug der germanischen Menschen ist seit grauer Vorzeit bis auf den heutigen Tag" [ebd.].

Opportunistische Legitimationsvarianten sind offenbar letztlich nur ein Kennzeichen für eine mehr naturwüchsige als rational begründete Auswahl und Anordnung von Schulfächern. Begründungen dieser Art sind besonders in politisch gesellschaftlichen Umbruchsituationen (z.B. 1848/49, 1918/19, 1933, 1945/49) zu finden und lassen sich sogar für beliebige Unterrichtsinhalte und -fächer instrumentalisieren. Auf sie wird daher hier nicht weiter eingegangen.

3. DER ANSPRUCH DER EXPERIMENTELLEN METHODE

Für die nähere Untersuchung des *Standardlegitimationsmusters*, daß das Experiment das tragende und charakteristische Moment im Erkenntnisprozeß der Naturwissenschaften sei, ist es unumgänglich, zunächst abzuklären, was *man* unter Experiment versteht bzw. welche Rolle es im Forschungsprozeß spielt. Hierzu ist es notwendig, darauf einzugehen, wie das Experiment in die *Wissenschaften* gelangt ist.

Die bewußte Einschränkung auf einen Teil der Wirklichkeit und deren gezielte Manipulation ist sicher ein konstitutiver Teil der modernen Naturwissenschaften; jedoch ist das Primat des Experiments als Wahrheitskriterium nicht unumstritten. Es gibt Ansichten, die davon ausgehen, daß letztlich die *Gemeinschaft der Wissenschaftler* über den *momentanen Wahrheitsgehalt wissenschaftlicher Theorien* in einem nicht formalisierten Prozeß abstimmt [Kuhn 1967]. Das Experiment ist dann *nur* ein Beleg darüber, ob eine Theorie in der je angegebenen Art und Weise arbeitet.

3.1 WIE DAS EXPERIMENT IN DIE WISSENSCHAFT KAM UND EINE NEUE WISSENSCHAFT ENTSTAND

Seitdem Experimente in den Wissenschaften eine Rolle spielen, wurden ihnen je unterschiedliche Bedeutungen zugemessen. Bereits Aristoteles und die Scholastiker fordern einen Erfahrungsbezug des Naturforschers, worunter auch das Experimentieren, allerdings nicht in heutigem Sinn, zu verstehen ist. Bei Aristoteles (384-322 v.u.Z.) soll die Erfahrung

"letztlich dazu führen, daß man die Ursache des Erfahrenen erkennt und einsieht, daß diese Ursache für die erfahrene Tatsache notwendig war" [Heidelberger 1981, S. 32].

Aristoteles führt aus:

"Auf allen Gebieten, in denen es Grundlagen, Ursachen und Bausteine gibt, ergibt sich das Wissen und Verstehen aus der Erkenntnis dieser Ursachen, weil wir dann einen Gegenstand zu erkennen glauben, wenn wir seine ersten Ursachen verstehen und seine ersten Grundlagen bis hin zu Bausteinen. Daher müssen wir natürlich auch bei der Naturerkenntnis versuchen, zuerst über die Grundlagen ins Reine zu kommen. Der natürliche Weg führt von dem uns Bekannteren und vor Augen Liegenden zu dem, was seinem Wesen nach klarer ist und größeren Erkenntniswert hat. ... Für uns ist zunächst deutlich und sichtbar, was aus einer Mischung entstanden ist, erst später werden uns daraus die Bausteine und die Grundlagen, wenn wir jene zergliedern. Mithin muß man vom Gesamteindruck zum Einzelnen fortschreiten, da nach der Wahrnehmung das Ganze leichter erkennbar ist und der Gesamteindruck ein Ganzes ist, das ja viele Teile in sich faßt" [Aristoteles, Physik, Buch I, 184a 10-26, nach ebd. S. 33].

Experimentieren bedeutet also *lediglich* Verbesserung der sinnlichen Wahrnehmung; *willkürliche künstliche* Eingriffe sind genau genommen nicht zugelassen, denn damit würde man das natürliche Geschehen nicht erkunden können, es wäre ein anderes geworden [vgl. auch Teichmann 1980, S. 195].

Eine Änderung der Funktionsbestimmung des Experimentierens bahnt sich im Spätmittelalter an. Robert Grosseteste (1168-1253), erster Kanzler der Universität Oxford, schlägt in seiner systematischen Methodenlehre, einer Weiterführung der aristotelischen Gedanken der "Zweiten Analytik", die Auswahl der jeweils *wahrscheinlichsten* Theorie durch experimentelle Verifikation und Falsifikation vor [vgl. Heidelberger 1981, S. 45 f].

Die Dimension dieses beginnenden Umschwungs wird an der Änderung der Stellung der Mathematik im Erkenntnisprozeß besonders deutlich:

"Es ist unmöglich, ohne Mathematik zu einer richtigen Erkenntnis über die Dinge der Welt zu gelangen. Von der Astronomie ist dies an sich klar. ... Aber auch die Dinge auf der Erde bedürfen zu ihrer Erforschung dieser Wissenschaft" [R. Bacon (ca. 1214-1292), Opus maius, nach Heidelberger 1981, S. 48].

Dies ist eine völlig neue Sicht gegenüber der im Mittelalter vorherrschenden aristotelischen Auffassung, wonach die Mathematik als rein gedankliche Schöpfung des Menschen kein Mittel zur Erkenntnis der Natur sein kann: Sie abstrahiert von den realen Veränderungen in der Natur und ist obendrein auch noch Produkt menschlicher Arbeit [vgl. ebd. S. 34 f].

In der Veränderung der Funktions- und Bedeutungszuschreibung der Mathematik kündigt sich gleichzeitig eine Änderung in dem bis dato festgefügtten mittelalterlichen Weltbild an, das von der römisch-katholischen Kirche geprägt wird. In ihm hat jedes Wesen und Ding den ihm gebührenden unveränderlichen Platz: der Teufel unter der Erdoberfläche, der Mensch auf ihr, darüber die Allnatur und Gott:

"Jedes Ding war an seinem natürlichen Platz oder strebte dorthin, auch die statische Ordnung des theologischen Kosmos paßte dazu. All das hatte Gott aus seiner Allmacht gesetzt. Kosmos und Gesellschaft wiesen ähnlich hierarchisch-klassifikatorische Struktur auf. Dabei war der Makrokosmos des Himmels dem Mikrokosmos des Menschen übergeordnet" [Teichmann 1980, S. 199 f].

Folgerichtig war

"das naturwissenschaftliche Wissen, als Wissen um die Ursachen und das Wesen der Dinge ... nur wahrscheinlich, aber nie sicher; die Sicherheit (certitudo) des Glaubens steht über der Wahrscheinlichkeit (probabilitas) der Physik" [Heidelberger 1981, S. 50 f].

Erst in der Renaissance ändert sich die Stellung, die der Mensch im beseelten Universum einnimmt, grundlegend.

"Die Erkenntnis und Beherrschung überirdischer Kräfte verliert ihren frevelhaften Charakter und wird zu einer natürlichen Sache. Außerdem wird sie identifiziert mit der Erkenntnis der letzten Ursachen in der Natur, wie sie sich z.B. die aristotelische Philosophie zum Ziel gesetzt hatte, und ebenso mit dem

platonischen Bemühen um die Erkenntnis des Wesentlichen hinter den Erscheinungen, z.B. um die mathematische Form der Dinge, die die Erscheinungswelt transzendiert" [ebd., S. 99 f].

Erst *nach* dieser Änderung der Denk-, Wertschätzungs- und Anschauungsformen ist eine quantifizierbare Untersuchung der Natur möglich. Das Beispiel hierfür sind wohl die astronomischen Beobachtungen Tycho Brahes (1546-1601). Die von ihm konstruierten Meßgeräte stellen einen qualitativen Sprung in der Beobachtungstechnik dar. Seine Beobachtungsdaten waren so genau, daß sie (vermutlich erstmals) eine Überprüfung der von Ptolemäus, Kopernikus bzw. Kepler angegebenen Berechnungsverfahren erlaubten [vgl. ebd., S. 114].

Die sich in der Renaissance mit der Mathematisierung der Naturerkenntnis durchsetzende Veränderung im Denken der Menschen hat ihre Entsprechung in den von den Alchemisten bewußt gesuchten und entwickelten künstlichen Techniken, mit denen sie in die vorgegebenen Naturabläufe eingreifen und diese verändern. Im experimentellen, tätigen Umgang mit der Natur versuchen die Alchemisten, den Funktionsprinzipien der Natur auf die Spur zu kommen. Jedoch

"bloßes Experimentieren »ritzt« nur die Oberfläche der Natur, betont z.B. Paracelsus immer wieder: der wahre Naturmagnus und Arzt müsse aber zusätzlich die richtige innere Einstellung haben, die ihm erlaube, das Wissen, die »scientia« von der Natur abzulauschen. Das Ziel der Alchemisten, einen »goldenen« Zustand der Materie herzustellen, wird nur voll verständlich, wenn man in ihm auch die Erlangung eines »goldenen« Zustandes des Alchemisten, eine Regeneration seines Selbst, sieht" [Kaeser 1986, S. 19].

Den differenzierten Ursachen für diese radikale Veränderung im Denken und Handeln soll hier nicht nachgegangen werden. Dies würde vom eigentlichen Thema der Arbeit zu weit wegführen¹⁾.

Die verschiedenen theoretischen und praktischen Ansätze jener Zeit wurden von Galileo Galilei (1564-1642) zu einem neuen Gesamtkonzept weiterentwickelt. An Art und Weise seiner Verarbeitung der vorhergehenden Entwicklungslinien wird gewöhnlich die Entstehung der *neuen modernen* Naturwissenschaften festgemacht; insbesondere wird ihm die Einführung des Experiments als festem Bestandteil naturwissenschaftlicher Methodik zugeschrieben.

¹ Es sei jedoch auf eine wesentliche Triebkraft dieser Entwicklung hingewiesen: Das im Entstehen begriffene Bürgertum, repräsentiert insbesondere durch die Kaufleute, konnte für seine Emanzipation nicht an hierarchisch vorgegebene, als unveränderbar geltende Strukturen anknüpfen, wollte es seine eigene Stellung in der feudalen Gesellschaft verändern. Die alte naturwissenschaftliche Theorie, repräsentiert u.a. im ptolemäischen Weltbild, war ja gerade auch die transzendente Legitimation der bestehenden Herrschaftsverhältnisse [vgl. Pukies 1979, S. 29].

Galilei beschreibt sein Vorgehen am Beispiel des freien Falls in den Discorsi 1638 wie folgt:

"Das glauben wir schließlich nach langen Überlegungen als das Beste gefunden zu haben, vorzüglich darauf gestützt, daß das, was das Experiment den Sinnen vorführt, den erläuterten Erscheinungen durchaus entspreche. Endlich hat uns zur Untersuchung der natürlich beschleunigten Bewegung gleichsam mit der Hand geleitet die aufmerksame Beobachtung des gewöhnlichen Geschehens und der Ordnung der Natur in allen ihren Verrichtungen, bei deren Ausübung sie die allerersten einfachsten und leichtesten Hilfsmittel zu verwenden pflegt; denn wie ich meine, wird Niemand glauben, daß das Schwimmen oder das Fliegen einfacher oder leichter zu Stande gebracht werden könne als durch diejenigen Mittel, die die Fische und die Vögel mit natürlichem Instinkt gebrauchen. Wenn ich daher bemerke, daß ein aus der Ruhelage von bedeutender Höhe herabfallender Stein nach und nach neue Zuwüchse an Geschwindigkeit erlangt, *warum soll ich nicht glauben, daß solche Zuwüchse in allereinfachster, Jedermann plausibler Weise zu Stande kommen?* Wenn wir genau aufmerken, werden wir keinen Zuwachs einfacher finden, als denjenigen, der in immer gleicher Weise hinzutritt" [Galilei 1973, S. 147; Hervorhebung R.G.].

Auffällig ist Galileis Betonung der *einfachen* Zusammenhänge bzw. Erklärungsmuster. Sein Vergleich mit dem Tierreich macht deutlich, daß es sich hier um eine bewußte Setzung handelt. Der Vogelflug ist wesentlich komplexer zu beschreiben als die Bewegungen eines Flugzeugs in der Luft. (Auch ein Scheunentor fliegt, wenn ihm entsprechende Energie zugeführt wird.) Die Annahme, daß ein *einfacher Ausdruck* den Zusammenhang zwischen beobachtbaren Erscheinungen *erklärt*, findet sich später auch bei Liebig wieder [vgl. z.B. Liebig 1865, S. 2, 5 und 20]. Galileis *Einfachheitspostulat* bewirkt letztlich, daß Experimente und Theorie so aufeinander abgestimmt werden, daß die Theorie *einfache* Ergebnisse liefert. Die hierbei hinderlichen Variablen werden zu (experimentellen) Störgrößen reduziert.

An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß die so beschriebene experimentelle Praxis in der Galileo-Galilei-Forschung umstritten ist.

"An vielen Stellen fordert Galilei das Experiment als Bestätigung seiner »mathematischen Beweise« Aber umgekehrt betont er auch, ... daß die Kenntnis des inneren Zusammenhangs und der Ursachen Experimente eigentlich überflüssig mache" [Heidelberger 1981, S. 155].

"(Oft hat es) den Anschein, daß das Experiment bei Galilei eigentlich nur für den da ist, der (noch) zu wenig Vertrauen in die mathematische Struktur der Wirklichkeit setzt. Experimente als Zugabe für den schon leicht in seiner Meinung schwankend gewordenen Aristoteliker" [ebd. S. 157 f].

Die Schwierigkeiten in der Beurteilung von Galileis experimenteller Praxis rühren allerdings z.T. daher, daß wir die von ihm angegebenen Experimente von unseren heutigen experimentellen Möglichkeiten aus beurteilen. Deutlich wird dies am *Schiefe-Ebene-Versuch*: Die zur Zeit Galileis existierenden Uhren waren für eine so genaue Zeitmessung, wie sie zur Bestätigung der Bewegungsgesetze notwendig sind, nicht geeignet. Schales hat in praktischer Vorführung (Kassel 1987) jedoch nachgewiesen, daß eine "Zeitbestimmung" mit Hilfe von zum Versuch gespielter passender Musik möglich ist. Es spricht einiges dafür, daß Galilei so vorgegangen ist. Denn einerseits ist auf zeitgenössischen Darstellungen dieses Versuchs ein Orchester im Hintergrund zu sehen, andererseits geht aus einer Manuskriptseite Galileis zu diesem Experiment hervor, daß er sehr genaue *Längen* notiert hat. Dieses Vorgehen läßt die Vermutung zu, daß er bei gleichen Zeitintervallen verschiedene Strecken gemessen hat. Hinzu kommt, daß Galileis Vater Vincenzio ein bekannter Musiktheoretiker war und Galileo die Experimente seines Vaters auf diesem Gebiet bekannt waren. Da Galileo selbst über ein musikalisch geübtes Ohr verfügte, war ihm mit Hilfe von Musik eine genaue Zeitbestimmung möglich. Für die Propagierung seiner Theorie wäre - wie ihm vermutlich seine Erfahrungen zeigten, mit Hilfe des Fernrohrs das kopernikanische Weltbild zu untermauern -, eine *wahrheitsgetreue* Beschreibung seines Versuchs hinderlich gewesen [vgl. Schales 1987, S. 84 ff].

Für die Entstehung der neuen Naturwissenschaften ist es jedoch letztlich belanglos, ob Galilei tatsächlich experimentiert hat, entscheidend ist, daß er von der prinzipiellen Erkennbarkeit der Natur durch den Menschen ausging:

"So behaupte ich, daß der menschliche Intellekt einige Wahrheiten so vollkommen begreift und ihrer so unbedingt gewiß ist, wie es die Natur selbst sein kann. Dahin gehören die rein mathematischen Erkenntnisse, nämlich die Geometrie und die Arithmetik. Freilich erkennt der göttliche Geist unendlich viel mehr mathematische Wahrheiten, denn er kennt sie alle. Die Erkenntnisse der wenigen, aber welche der menschliche Geist begriffen, kommt meiner Meinung an die objektive Gewißheit der göttlichen Erkenntnis gleich; denn sie gelangt bis zur Einsicht ihrer Notwendigkeit, und eine höhere Stufe der Gewißheit kann es wohl nicht geben" [Galilei, Dialogo, nach Heidelberger, S. 152 f].

Vorläufig bleibt festzuhalten, daß das (Gedanken-)Experiment bei Galilei nur *einen* Teil in der Theoriebildung ausmacht. Von weit größerer Bedeutung ist das Herauslösen eines Vorgangs aus seinem ihm eigenen Gesamtzusammenhang, die damit einhergehende Isolierung von *störenden Nebenbedingungen* und die Abstraktion von der real vorfindlichen Wirklichkeit. Die prinzipielle Durchführbarkeit eines Experiments wird dann zu *dem* Kriterium, ob eine Theorie arbeiten kann.

3.2 HEUTIGES VERSTÄNDNIS VOM EXPERIMENT

"Ein wissenschaftliches Experiment ist die Ausübung von Macht im Dienste der Erkenntnis"
[Scharf 1984, S. 18].

In ihrem Aufsatz "Überlegungen zum Begriff und zur Funktion des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht" zitiert Gerda Freise ausführlich C.F. v. Weizsäcker:

"Das Experiment (ist) ... eine Auseinandersetzung zwischen Mensch und Natur. Aber nicht jede Auseinandersetzung zwischen diesen Partnern ist ein Experiment. ... Ein Experiment liegt nur dort vor, wo Erkenntnis erstrebt wird. »Erkennen« ist ein transitives Zeitwort: jemand erkennt etwas. »Jemand« ... ist irgend ein Mensch; »etwas« ... ist irgendein Ding, Vorgang, Sachverhalt in der Natur. ... Erst die Dreiheit Denken, Handeln und Wahrnehmen macht das Experiment möglich. ... Das Denken unserer Wissenschaft bewährt sich erst im Handeln, im geglückten Experiment. Experimentieren heißt Macht über die Natur ausüben. Der Besitz der Macht ist dann der letzte Beweis der Richtigkeit des wissenschaftlichen Denkens. Die Grenzen der Anwendbarkeit gewisser Begriffe und Gesetze zeigen sich uns daher in der Gestalt der Undurchführbarkeit gewisser Experimente - etwa der Ermittlung einer absoluten Geschwindigkeit - oder auch in der Gestalt der gegenseitigen Unverträglichkeit zweier Sorten von Experimenten wie Orts- und Impulsmessung an einem Elektron. ... Scharf zu prüfen haben wir, ob ein Experiment nur für uns wegen unzureichender technischer Mittel und Einfälle oder für jeden denkbaren Experimentator wegen eines ihm entgegenstehenden positiven Naturgesetzes unausführbar ist. ... In Wahrheit hat unsere Wissenschaft nur ihre begriffliche Form um einen Schritt näher der Tatsache angepaßt, die seit Galilei bestand: daß ihr letztes Wahrheitskriterium das Experiment ist" [C.F. v. Weizsäcker 1947, nach Freise 1983, S. 35]

Die von C.F. v. Weizsäcker angeführte *Dreiheit* von Denken, Handeln und Wahrnehmen bestätigt zunächst scheinbar die in Kapitel 2 dargestellten Ausführungen etlicher Autoren bezüglich des Erkenntnisgewinns aus der bewußten Beobachtung von Experimenten; dem widerspricht jedoch der zweite Teil des Zitats, indem die Durchführbarkeit eines Experiments zum Wahrheitskriterium einer Theorie wird. Unklar bleiben allerdings zeitliche Gegebenheiten.

Es gibt etliche Beispiele für naturwissenschaftliche Theorien, deren Wahrheit - mit Hilfe von in diesen Theorien begründeten manipulativen Vorgehensweisen - erst Jahrzehnte nach ihrer Veröffentlichung experimentell überprüft werden konnte. Obwohl sie durch *spekulatives* Denken erzeugt waren, waren sie bereits anerkannt:

"Galileis Überlegungen z.B. über den freien Fall im Vakuum distanzieren sich von den Beobachtungen der natürlichen Phänomene; die Wahrheit seiner Aussage erwies sich erst, *nachdem* (Hervorhebung R.G.) es gelang, ein Vakuum, das es in der Natur nicht gibt, herzustellen und in diesem Vakuum den Fall verschiedener Gegenstände durchzuführen und die Fallgeschwindigkeiten zu messen. ... Oder: Die Wahrheit der Atomtheorie und der Theorie vom Aufbau der Atomkerne erwies sich in der Produktion und im Abwurf der Atombombe auf Hiroshima" [Pukies 1979, S. 61].

Gerade das zweite Beispiel spricht gegen die Durchführung von Experimenten als notwendige Voraussetzung für Erkenntnisgewinn und Theoriebildung; vielmehr dafür, daß eine Theorie von der *Gemeinschaft der Wissenschaftler* anerkannt sein muß, um angewendet zu werden. Lediglich aufgrund der Überzeugung führender (Atom-)Wissenschaftler, daß infolge der existierenden Theorien der Bau der Atombombe möglich sei - und des beständigen Wunsches des Militärs nach neuen, den Krieg "gewinnbar machenden" Waffen -, wurde das *Manhattan Project* begonnen. Erst mit der Bereitstellung eines enormen Potentials an Menschen und Mitteln konnte mit einer intensiven Forschung begonnen werden.

Daß das Experiment im wissenschaftlichen Forschungsprozeß nicht die ihm häufig zugeschriebene Bedeutung hat, wurde bereits 1863 von Justus von Liebig (1803-1873) auf einer öffentlichen Sitzung der bayrischen königlichen Akademie der Wissenschaften herausgestellt, in der er sich mit der von F. Bacon (vgl. auch weiter unten) propagierten Forschungsmethode auseinandersetzt:

"Bacon legt in der Forschung dem Experimente einen hohen Wert bei; er weiß aber von dessen Bedeutung nichts; er hält es für ein mechanisches Werkzeug, welches, in Bewegung gesetzt, das Werk aus sich selbst heraus macht; aber in der Naturwissenschaft ist alle Forschung deduktiv oder apriorisch; das Experi-

ment ist nur Hilfsmittel für den Denkprozeß, ähnlich wie die Rechnung, der Gedanke muß ihm in allen Fällen und mit Notwendigkeit vorausgehen, wenn es irgendeine Bedeutung haben soll.

Eine empirische Naturforschung in dem gewöhnlichen Sinne existiert gar nicht. Ein Experiment, dem nicht eine Theorie, d.h. eine Idee, vorhergeht, verhält sich zur Naturforschung wie das Rasseln mit einer Kinderklapper zur Musik" [Liebig 1874, S. 249].

In dem Maße, wie das Experiment von einer zu seiner Konstruktion und Durchführung notwendigen Theorie geleitet wird, ist seine "Entscheidungskompetenz" als *prinzipielles Wahrheitskriterium* einer Theorie aufgehoben; denn ein Experiment kann nach logischen Kriterien nicht über die Gültigkeit der Theorie entscheiden, deren Bestandteil es ist. Dies läßt sich z.B. an der (wissenschaftshistorisch bedeutsamen) Auseinandersetzung zwischen den Vertretern der Wellen- und der Teilchentheorie des Lichts aufzeigen:

"So stellt man das Experiment von Foucault 1851 zur Frage der unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeit in optisch unterschiedlichen Medien als eindeutigen Beweis für die Wellentheorie des Lichtes vor, die Experimente von Millikan ab 1909 gelten als eindeutiger Beweis für eine Elementarladung. Sowohl Quanten- wie Quarktheorie haben inzwischen gezeigt, daß alle bestätigenden Experimente nach 1851 bzw. nach 1909 tatsächlich keine endgültige Beweiskraft hatten" [Teichman 1979, S. 269].

Das Experiment kann *lediglich* darüber entscheiden, ob eine Theorie arbeitet, d.h. inwieweit sie mit der Realität korrespondiert. Dieses "lediglich" mindert jedoch nicht die Tatsache, daß ein von Dogmen unabhängiges Kriterium über den Gebrauchswert naturwissenschaftlicher Theorien geschaffen wurde.

"Komplexe Natur- und Kunststoffe werden verstanden und erklärt, indem sie hergestellt, produziert werden; Naturdinge und Naturstoffe gelten erst dann als verstanden, wenn es gelingt, diese im Labor herzustellen. Naturwissenschaftliche Aussagen und Theorien gelten erst dann als wahr, wenn es gelingt, aufgrund ihrer Aussagen Stoffe zu produzieren bis hin zur Produktion im industriellen Maßstab. In der Produktion erweist sich die Wahrheit der Wissenschaft, die Naturwissenschaft ist Resultat menschlicher Arbeit. ... Konstitutiv für die Naturwissenschaft ist sowohl theoretische Arbeit, philosophische Spekulation, das Erdenken theoretischer Begriffe wie auch gegenständliche Arbeit, experimentelles Arbeiten" [Pukies 1979, S. 60].

In der letztgenannten *Dreiheit* ist das Experiment nur *ein*, wenn auch wesentlicher Teil der Naturwissenschaften.

3.3 LABOREXPERIMENT UND NATUREXPERIMENT: DIE EINGESCHRÄNKTHEIT DER ÜBERPRÜFBARKEIT WISSENSCHAFTLICHER THEORIEN

Das Experiment ist derjenige Teil der Theoriebildung, mit dem der Mensch aktiv in die ihm vorgegebene Umwelt eingreift und diese verändert. Im Bereich des Laboratoriums sind die Bedingungen, unter denen dies geschieht, in der Regel *kontrollierbar*. Diese Kontrollmöglichkeit wird drastisch verringert bzw. verschwindet ganz, wenn man den wohldefinierten Raum des Labors verläßt und sich in Makrosysteme, wie z.B. die Natur eines darstellt, hineinbegibt:

"Der Unterschied zwischen Laborexperimenten und Experimenten mit der Natur (als Objekt des Menschen) sei durch ein paar Überlegungen charakterisiert: In der Laborchemie können sich Hypothesen ... nach orientierenden Experimenten als falsch, als wahrscheinlich richtig, als irreführend oder als schädlich usw. erweisen. Sie können revidiert, modifiziert und auch ganz aufgegeben werden. Laborexperimente werden unter definierten Bedingungen durchgeführt, sie können miteinander verglichen und die experimentellen Bedingungen können verändert werden.

Hypothesen über Experimente mit der Natur können demgegenüber durch orientierende Experimente nicht untersucht werden. Experimente mit der Natur sind nicht miteinander vergleichbar, jedes folgende Experiment hat das vorhergehende zu seiner Voraussetzung und findet in einer veränderten Wirklichkeit statt; jedes an einem anderen Ort durchgeführte Experiment findet unter anderen Bedingungen, in einer anderen Natur statt. Experimente mit der Natur haben keine (im Sinne der traditionellen naturwissenschaftlichen Methode (s.o.) verstandene) Entscheidungsfunktion, sie fördern keine Wahrheit zutage, sie sind nur (nachdem sie stattgefunden haben) feststellbar und analysierbar, Sie (die Experimente R.G.) haben sich »ereignet« (absichtlich, versehentlich, fahrlässig usw.) bzw. sind »herbeigeführt« worden (Nagasaki, Vietnam, Seveso, ...) wie unvorgesehene unkontrollierte oder unüberlegte chemische Reaktionen im Labor, für die der Experimentalbegriff nicht gilt“ [Freise 1983, S. 45 f].

Diese Eingeschränktheit des (Labor)experiments läßt es prinzipiell nicht möglich erscheinen, Naturexperimente im Labor nachzustellen. Aussagen zum Ausgang, d.h. zu den Auswirkungen von Naturexperimenten, sind im exakten Sinn nicht möglich.

Daß die prinzipielle Unübersehbarkeit *aller* Ergebnisse (Folgen) eines Naturexperiments keine neue Erkenntnis ist, zeigt ein Zitat von Engels aus einem, mit großer Wahrscheinlichkeit im Jahr 1876 verfaßten Artikel:

"Schmeicheln wir uns indes nicht zu sehr mit unsern menschlichen Siegen über die Natur. Für jeden solchen Sieg rächt sie sich an uns. Jeder hat in erster Linie zwar die Folgen, auf die wir gerechnet, aber in zweiter und dritter Linie hat er ganz andere, unvorhergesehene Wirkungen, die nur zu oft jene ersten Folgen wieder aufheben. ... Die Italiener der Alpen, als sie die am Nordhang des Gebirgs so sorgsam gehegten Tannenwälder am Südhang vernutzten, ahnten nicht, daß sie damit der Sennwirtschaft auf ihrem Gebiet die Wurzeln abgruben; sie ahnten noch weniger, daß sie dadurch ihren Bergquellen für den größten Teil des Jahres das Wasser entzogen, damit diese zur Regenzeit um so wütendere Flutströme über die Ebene ergießen könnten. ... Und so werden wir bei jedem Schritt daran erinnert, daß wir keineswegs die Natur beherrschen, wie ein Eroberer ein fremdes Volk beherrscht, wie jemand, der außer der Natur steht - sondern daß wir mit Fleisch und Blut und Hirn ihr angehören und mitten in ihr stehen, und daß unsere ganze Herrschaft über sie darin besteht, im Vorzug vor allen anderen Geschöpfen ihre Gesetze erkennen und richtig anwenden zu können" [Engels 1972, S. 452 f].

Im letzten Teil des Zitats scheint der Glaube durch, der Mensch könne seine Erkenntnisse *richtig* - was immer das auch heißen mag - und *unabhängig* von der Situation, in der sie gewonnen wurden, anwenden. Eine Auffassung, die der modernen Naturwissenschaft eigentümlich ist, wie unter anderem Liebigs Abgrenzung der modernen Chemie von der Experimentierkunst deutlich werden läßt:

"Jeder Versuch ist ein Gedanke, der den Sinnen wahrnehmbar gemacht ist durch eine Erscheinung. Die Beweise für unsere Gedanken, für unsere Schlüsse, so wie ihre Widerlegungen, sind Versuche, sind Interpretationen von willkürlich hervorgerufenen Erscheinungen.

Es war eine Zeit, wo die Chemie, ähnlich wie die Astronomie, die Physik und Mathematik, weiter nichts als eine durch Erfahrung ausgemittelte, und in Regeln gebrachte Experimentierkunst war; seitdem man aber die Ursachen und Gesetze kennt, die diesen Regeln zu Grunde liegen, hat die Experimentierkunst ihre Bedeutung verloren.

Das mühsame zeitraubende Erlernen von Handgriffen und Methoden, Vorsichtsmaßregeln in den chemischen Gewerben, in der Industrie, der Pharmacie, die sonderbaren Attribute des Chemikers früherer Zeit, ihre Öfen und Gefäße, sind zu Curiositäten geworden; alles dies erlernt sich nicht mehr, sondern es versteht sich von selbst, da man die Ursachen kennt, die es notwendig gemacht haben" [Liebig 1865, S. 9].

Wie viele seiner Zeitgenossen erliegt Liebig hier der Versuchung, die Bedeutung experimentell abgesicherter Theorien überzubewerten. Zur Illustration soll auf das von ihm entwickelte *Minimumgesetz der Pflanzenernährung* hingewiesen werden: Für kleinräumige Bereiche, auf deren Basis die davon abgeleiteten Düngeregeln entwickelt worden waren, durchaus gültig und nützlich, erweist es sich für den Rahmen einer technisierten Landwirtschaft mit entsprechender Agrochemie und -industrie als äußerst problematisch.

Wie auch dieses Beispiel zeigt, ist eine Vorhersage von Auswirkungen und damit ein Urteil über den Wahrheitsgehalt naturwissenschaftlicher Theorien auf Basis derselben nicht erreichbar. Daher gilt auch für den Bereich der Naturexperimente, wie oben schon für die historische Entwicklung naturwissenschaftlicher Theorien gezeigt, daß darüber nur die *Gemeinschaft der Wissenschaftler* entscheiden kann.

Abschließend läßt sich festhalten: weder im aktuellen Forschungsprozeß noch in seinem historischen Werdegang ist das Experiment "Dreh- und Angelpunkt" jeglicher naturwissenschaftlicher Arbeit; sondern nur ein, wenn auch konstitutiver Teil naturwissenschaftlicher Theoriebildung.

3.4 MÖGLICHE URSACHEN FÜR DIE ÜBERWERTUNG DES EXPERIMENTS IM FORSCHUNGSPROZESS

Die Ursache der Überbewertung des Experiments hängt m. E. mit den von Galilei deutlich formulierten programmatischen Zielen der *neuen* Naturwissenschaften zusammen. Deren nicht zu vernachlässigendes emanzipatorisches Potential war einerseits Triebkraft zur gesellschaftlichen Durchsetzung, rief andererseits aber auch die Widerstände der Repräsentanten der alten Ordnung auf den Plan. Erinnerung sei z.B. an den Inquisitionsprozeß, der Galilei gemacht wurde (1632), und an ein im Jahre 1625 ergangenes Pariser Urteil, wonach den Anhängern der Atomistik körperliche Züchtigung und Todesstrafe angedroht wurde [vgl. Strube 1976, S. 165].

Es ist anzunehmen, daß diese Auseinandersetzungen mit zu der (bis heute ungebrochenen) Popularität des von F. Bacon (1561-1626) entwickelten Experimentbegriffs beigetragen haben:

"Wie im gewöhnlichen Leben die Denkart und Gemütsbeschaffenheit eines Menschen sich leichter offenbart, wenn er in Leidenschaft geraten ist, so enthüllen sich auch die Verborgenen der Natur besser unter den Quälungen der Kunst, als wenn man die Natur in ihrem Gange ungestört läßt" [F. Bacon, *Novum Organum*, nach Heidelberger 1981, S. 159].

Heidelberger hält Bacons Vertrauen zu dieser Art von Experimenten für so weitgehend, daß "er jeder Art von Hypothese, die nicht direkt aus Experimenten (in Versuch-und-Irrtum-Verfahren) hervorgegangen ist, sehr kritisch und ablehnend gegenüberstand" [ebd.]. Er beschreibt Bacons angebliches Vorgehen wie folgt:

"Konkret geht die Untersuchung der Natur (bei R. Bacon R.G.) in drei Schritten vonstatten. An erster Stelle steht die »Naturgeschichte« in der mit Hilfe der sinnlichen Wahrnehmung die Natur beschrieben wird. Im zweiten Schritt werden die Wahrnehmungen geordnet in dem von Bacon sogenannten »Drei-Listen-Verfahren« das das Gedächtnis des Menschen unterstützen soll. Dabei sind zuerst viele Fälle zu suchen, in denen sich eine zur Untersuchung gewählte Eigenschaft oder »Natur« zeigt. Diese Fälle sollen sich in Bezug auf die Eigenschaften gleichen, aber sonst so verschieden wie möglich sein. Das Verzeichnis all dieser Fälle heißt positive Instanzentafel. In einer zweiten Tafel der negativen Instanzen sind solche Phänomene zu sammeln, die denen der ersten Liste so ähnlich wie möglich sind, denen aber die zur Debatte stehende Eigenschaft oder Natur nicht zukommt. Die dritte Tafel, die Tafel der Grade, soll festhalten, unter welchen experimentellen Bedingungen und auf welche Weise sich die Eigenschaft ändert.

Nach dem »Drei-Listen-Verfahren« beginnt der dritte Teil der Arbeit, die Verstandestätigkeit, die Methode der Induktion im eigentlichen engeren Sinne. Nun können verschiedene Hypothesen ausgedacht werden, die mit den Listen konsistent sein müssen und um so wahrscheinlicher erscheinen, je vollständiger und systematischer die Listen sind. Die Hypothese ist eine Aussage über die sogenannte »Form« der Erscheinungen, ... Wenn man die Form einer Eigenschaft gefunden zu haben glaubt, kann man dies nachprüfen, indem man die Eigenschaft selbst wieder künstlich herstellt" [ebd. S. 164, vgl. auch Liebig 1874, S. 220 ff].

Deutlich werden hier u.a. die historischen Wurzeln des wissenschaftstheoretischen *Standardlegitimationsmusters* für die Funktion des Experiments im Forschungsprozeß und im Unterricht (s.o.).

Für die vorliegende Untersuchung bemerkenswert ist, daß sich von der Stellung des Experiments im naturwissenschaftlichen Forschungsprozeß aus nicht erklären läßt, warum ihm eine so dominierende Rolle im Schulunterricht zugewiesen wird. Sie auf die von F. Bacon propagierte Methode zurückzuführen, reicht für eine Erklärung nicht aus. Zwar war

"Bacon's Methode ... für die Formung des Selbstverständnisses der neuen Naturwissenschaften ungeheuer erfolgreich. Dies gilt zumindest für eine Gruppe von Wissenschaften, die nicht aus einer Anknüpfung und Transformation der antiken Wissenschaften (wie Mechanik, Optik, Astronomie, Kartographie und der anderen »mathematischen Wissenschaften« entstanden sind ... Beispiele dafür sind Magnetismus, Elektrizitätslehre, Wärmelehre, Chemie, Zoologie, Botanik, Geologie usw. ... Ob der tatsächliche Weg der Forschung auch nur ein einziges Mal nach seiner Methode vorgegangen ist, mag mit Recht bewweifelt werden. Aber der programmatische Ausdruck von Bacon's Gedanken war sehr wirksam" [Heidelberger 1981, S. 165].

Es läßt sich kaum rechtfertigen, diesen Erfolg bei der Etablierung der *neuen modernen* Naturwissenschaften heute dazu heranzuziehen, den (Schul)unterricht in Chemie nach dem von F. Bacon formulierten Muster anzulegen. Dem Experiment käme dabei eine Bedeutung zu, die es so weder in der Vergangenheit hatte, noch in der Gegenwart hat.

4. CHEMISCHES EXPERIMENT UND SCHULUNTERRICHT

"Ein Unterrichtsexperiment ist Ausübung von Macht im Dienste der Bildung"
[Scharf 1984, S. 18]

Betrachtet man die tatsächliche Bedeutung des Experiments in den Naturwissenschaften und seine prinzipiellen Aussagemöglichkeiten, so muten die oben angeführten Gründe für seine hervorragende Stellung im Unterricht zunächst verwunderlich an. Sie hängen jedoch mit den dem Experiment eigenen Vermittlungsmöglichkeiten von Wissen und wohl noch in viel stärkerem Maß mit der Entstehungsgeschichte des naturwissenschaftlichen Unterrichts zusammen.

4.1 CHEMIE WIRD SCHULFACH - DIE MODERNE CHEMIE KONSTITUIERT SICH

Wie die Untersuchungen von Schleip [1970] ergaben, wurde der wahrscheinlich erste Chemieunterricht an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland an der *Städtischen Gewerbeschule*¹⁾ in Berlin erteilt. Seit 1824 unterrichtete dort Heinrich Rose (1795-1864). Diese Tätigkeit gab er Ostern 1825 wegen der Anforderungen seiner Professur an der Universität wieder auf. Sein Nachfolger wurde Friedrich Wöhler (1800-1882). Dieser hatte während des vorhergehenden Jahres bei Berzelius (1779-1848) in Schweden gearbeitet [vgl. Schleip 1970, S. 61]. Der berufliche Werdegang dieser beiden vermutlich ersten Chemielehrer an allgemeinbildenden Schulen weist auf die enge Verknüpfung von Schulen und Hochschulen zu Beginn des Chemieunterrichts hin. Als Initiator des theoretischen wie praktischen Chemieunterrichts ist der damalige Schulleiter K.F. Klöden anzusehen [vgl. ebd.]. Bereits im *Schulprogramm* der *Städtischen Gewerbeschule* von 1825 wird auf das chemische Experiment hingewiesen:

"Auch die Chemie soll gründlich und ausführlich gelehrt werden ... Der Vortrag muß ebenfalls experimentierend sein, und jede wichtige Lehre durch einen Versuch bewiesen werden, jede wichtige Verbindung oder Trennung dargestellt werden. Wie sehr auch hierdurch die sinnliche Wahrnehmung geübt und das Beurteilungsvermögen gestärkt wird, fällt in die Augen. Die Zöglinge müssen zugleich angeleitet werden, einfache Versuche selber anstellen zu können" [nach ebd.].

Wie war es zu dieser Entwicklung gekommen? Gegen Ende des 18. Jahrhunderts waren wesentliche Elemente der modernen Chemie, wie z.B der heutige Elementbegriff, bereits entwickelt. Gleichzeitig hatte sich, ausgedrückt in den durchgeführten Experimenten, eine eher quantitative Betrachtungsweise der chemischen Vorgänge durchgesetzt. Verbunden ist diese Entwicklung mit Namen wie Lavoisier, Richter, Proust und Dalton [vgl. Strube 1981, S. 84]. Liebig datiert den offiziellen

¹ "Der Name der Schule könnte irreführend wirken, die »Städtische Gewerbeschule« war aber nach ihrem Lehrplan ohne Zweifel eine allgemeinbildende Schule vom Typus der seit der Jahrhundertwende in den großen Städten immer zahlreicher entstehenden Realschulen" [Schleip 1970, S. 61]. So weit mir bekannt ist, wurde die „Berliner Gewerbeschule“ gegen Ende des 19. Jahrhunderts eine Oberrealschule.

Beginn der *neuen modernen Chemie* mit der Französischen Revolution. In seinem *Dritten (chemischen) Brief* berichtet er von einem

"seltsamen Feste, in welchem Madame Lavoisier in dem Gewande einer Priesterin das phlogistische System auf einem Altar den Flammen übergab, während eine feierliche Musik ein Requiem dazu spielte. Damals vereinigten sich die französischen Chemiker zu einer Änderung der bis dahin gebräuchlichen Namen und Bezeichnungsweisen von chemischen Verbindungen, es wurde eine neue Nomenklatur eingeführt, welche im Gefolge eines in sich vollendeten Systems sich in allen Ländern die Aufnahme erzwingt" [Liebig 1865, S. 26].

4.1.1 DIE AUSBILDUNG DES CHEMIKERS ZU BEGINN DES 19. JAHRHUNDERTS

Noch zu Anfang des 19. Jahrhunderts stand die Ausbildung des Chemikers in einer handwerklichen Tradition. Ausbildungsorte waren Apotheken, Glashütten, Salpetersiedereien, Bergwerkslaboratorien u. ä. [vgl. Strube 1981, S. 118]. Wer, hierauf aufbauend, sich weiterbilden wollte, versuchte im Labor eines *bekannt*en Chemikers zu arbeiten. So gingen Mitscherlich, H. Rose, Wöhler und Magnus (1802-1870) zu Berzelius nach Stockholm; Liebig (1803-73) konnte einen Platz in Gay-Lussacs (1778-1850) Laboratorium in Paris erhalten [vgl. Liebig 1890, S. 822 ff]. Er berichtet über seine Pariser Ausbildungszeit:

"Der französische Vortrag hat schon durch die Sprache in der Behandlung wissenschaftlicher Gegenstände eine in anderen Sprachen sehr schwer erreichbare logische Klarheit, wozu auch bei *Thénard* (1778-1850, R.G.) und *Gay-Lussac* eine Meisterschaft in der experimentellen Beweisführung kam. Die Vorlesung bestand in einer verständig geordneten Aufeinanderfolge von Phänomenen, d.h. von Versuchen, deren Zusammenhang durch die mündliche Erklärung ergänzt wurde" [Liebig 1890, S. 823].

Wissenschaftssystematisch angeordnete Versuche und theoretische Erläuterungen ergänzten sich zur Vorlesung.

Ganz anders sah zu dieser Zeit die Chemieausbildung an den deutschen Universitäten aus. Chemie war noch nicht einmal ein eigenständiges Fach. Chemische Sachverhalte wurden im Rahmen physikalischer, mineralogischer und anatomischer Vorlesungen behandelt. Die an Universitäten lehrenden *alten* Naturwissenschaftler interessierten sich hauptsächlich für Naturphilosophie; Experimente wurden norma-

erweise nicht durchgeführt [vgl. H.J. Schmidt 1981, S. 2 f]. Liebig, der selbst zunächst in Bonn und Erlangen studiert hatte, charakterisiert diese Zeit in einem Brief von 1823 wie folgt:

"Es ist wahrlich traurig, wie sehr in der neueren Zeit der Ruhm der Deutschen in der Physik, Chemie und den anderen Naturwissenschaften geschwunden ist; kaum ist noch ein Schatten übrig geblieben, und um diesen Schatten reißen sie sich wie bissige Hunde. Der jetzige deutsche Chemiker, der genug zu tun hat, wenn er nur seine unerschöpfliche Wissenschaft umfassen will, maßt sich den Philosophen zu spielen an, und darüber geht sein Wirken verloren. Recht vortrefflich ist es, wenn er seine Wissenschaft philosophisch erfaßt und ergreift und dadurch in die tote Masse Geist und Leben bringt, allein er darf seine Grenzen als Chemiker nicht überschreiten, da bei ihm das Philosophieren lachen erregt. Es existieren kaum die nötigen Gesetze, um den ungeheueren Bau dieser Wissenschaft ein wenig zusammenzuleimen, aber dessen ungeachtet wird darauf lossystematisiert und Hypothesenkrämerei getrieben, daß einem der Kopf schwindelt. Die Franzosen und Engländer schlagen ganz den entgegengesetzten Weg ein: hier ist die Wissenschaft bloß ein mechanisches Mauerwerk; die quasi mathematische Art, wie man sie behandelt, läßt gar kein Raisonnement zu; doch ist sie im Augenblicke sehr gut; sie hat in der neuesten Zeit die herrlichsten Entdeckungen herbeigeführt und ist besonders für das Leben von außerordentlichem Nutzen. Die schwedische und jetzt auch die dänische Schule (Berzelius, Örstedt) schlägt den goldenen Mittelweg ein" [Liebig nach Kohut 1903, S. 44 f].

Eine organisatorische und inhaltliche Änderung dieser Situation trat nur langsam ein. Noch 1840 gab es in Preußen, einem Land mit damals sechs Universitäten, kein öffentlich unterhaltenes chemisches Laboratorium und keine Schule für Lehrer in der Experimentalphysik [vgl. Liebig 1840, S. 133]. Den Studenten wurden die fertigen Ergebnisse der Wissenschaft mitgeteilt; über die Forschungsmethoden erfuhren sie nichts. Lediglich die ein oder zwei Assistenten, die der Professor für seine Arbeiten benötigte, wurden von ihm persönlich unterwiesen [vgl. Kohut 1903, S. 76].

4.1.2 LIEBIGS AUSBILDUNGSKONZEPT FÜR CHEMIKER

Vor diesem Hintergrund begann Liebig 1824 seine Tätigkeit in Gießen. Er hielt dort die erste Experimentalvorlesung in Deutschland *und* richtete ein chemisches Praktikum für die Studenten ein. Beide Maßnahmen sollten für die Ausbildung von Chemikern und Lehrern nicht folgenlos bleiben (s.u.). In der Tradition seiner Pariser Lehrer stehend, verband Liebig Forschung und Lehre miteinander.

Kohut, der etliche von Liebigs Zeitgenossen und ehemaligen Studenten befragt hat, berichtet über Liebigs Ausbildungsgrundsätze:

"Es waren einige ganz einfache Thesen, denen *Liebig* folgte: Naturwissenschaft kann nicht vom Katheder herab gelehrt werden, sondern nur durch das vorgeführte und selbst ausgeführte Experiment. Der gesamte Schatz des Lehrers an Wissen, Methoden und praktischer Erfahrung soll auch Eigentum des Schülers sein. Die Aneignung der allgemeinen Grundlagen einer Wissenschaft befähigt von selbst zur raschen Erfassung irgendwelcher Einzelaufgaben derselben" [ebd.].

Liebig selbst beschreibt sein Vorgehen folgendermaßen:

"Ein eigentlicher Unterricht im Laboratorium, den geübte Assistenten besorgten, bestand nur für Anfänger; meine speziellen Schüler lernten nur im Verhältnis, als sie mitbrachten, ich gab die Aufgaben und überwachte die Ausführung; wie die Radien eines Kreises hatten alle ihren gemeinschaftlichen Mittelpunkt. Eine eigentliche Anleitung gab es nicht; ich empfing von jedem Einzelnen jeden Morgen einen Bericht über das, was er am vorhergehenden Tage getan hatte, sowie seine Ansichten über das, was er vorhatte; ich stimmte bei oder machte meine Einwendungen, Jeder war genötigt, seinen eigenen Weg selbst zu suchen. In dem Zusammenleben und steten Verkehr miteinander, und indem Jeder teilnahm an den Arbeiten Aller, lernte Jeder von den Anderen. Im Winter gab es wöchentlich zwei Mal eine Art von Übersicht über die wichtigsten Fragen des Tages. Es war zum großen Teil ein Bericht über meine und ihre eigenen Arbeiten in Verbindung gebracht mit den Untersuchungen anderer Chemiker" [Liebig 1890, S. 827].

Zu berücksichtigen ist beim Studium dieser Quellen jedoch, daß sich sämtliche mir verfügbaren Darstellungen über Liebigs Vermittlungsmethode - ob von ihm selbst oder anderen - nur mit dem fortgeschrittenen Ausbildungsabschnitt befassen. Über den Anfängerunterricht finden sich allenfalls Hinweise in der Art, daß er von Assistenten durchgeführt wurde [vgl. z.B. Strube 1981, S. 120]. Für die Bewertung der Liebig'schen Methode auf ihre Anwendbarkeit in der Schule wäre dies jedoch von erheblicher Bedeutung. Denn Liebigs Ausbildungskonzept wurde zum Vorbild für die Chemikerausbildung an deutschen Universitäten. Eine erhebliche Anzahl von späteren Hochschul- und Schullehrern haben am Gießener Institut studiert [vgl. H.J. Schmidt 1981, S. 3].

4.1.3 DAS SCHULISCHE AUSBILDUNGSKONZEPT

Dieses "und", d.h. die gemeinsame Ausbildung in Chemie von zukünftigen Forschern und Lehrern, ist in seiner Bedeutung für die inhaltliche, methodische und organisatorische Entwicklung des Schulfaches Chemie nicht zu unterschätzen. Die Chemielehrer verwandten dort die gleichen Unterrichtskonzepte, die sie von der Hochschule her kannten: Zum einen wurden einzelne Stoffgebiete in fachsystematischer Reihenfolge gelehrt; zum anderen gab es zusätzlich zum Unterricht ein chemisches Praktikum, das allerdings nur von Schülern der oberen Klassen besucht werden konnte. Die Praktikumsanleitungen stammten in der Regel von der vom jeweiligen Lehrer zuvor besuchten Hochschule. Zunächst mußten die Schüler Präparate herstellen, ab den 1850er Jahren kamen Analysen hinzu [vgl. ebd.].

Mit der Einführung solcher praktischen Kurse, wodurch die traditionelle Enthaltsamkeit des höheren Schulwesens bzgl. konkreter Tätigkeiten im Unterricht gebrochen wurde, wird nochmals die besondere Bedeutung des Experiments für den Bereich der Chemie deutlich. Begründet wurde dies damit, daß sich den Schülern Stoffe und Reaktionen *besser* einprägen sollten und daß gleichzeitig die Entwicklung ihrer praktischen Fähigkeiten gefördert würde. Oberstes Ziel war die *Veranschaulichung* des Lehrstoffs [vgl. H.J. Schmidt 1981, S. 7 f].

Vor diesem Hintergrund war R. Arendt (1828-1902) der erste, der 1868 einen methodischen Lehrgang für den Chemieunterricht veröffentlichte. Die rein fachsystematische Präsentation des Lehrstoffs lehnte er vehement ab. Stattdessen sollte die Chemie vor den Augen der Schüler mit Hilfe "des Experiments klar und durchsichtig" aufgebaut werden [vgl. Droemer in Arendt 1910, S. 9]. Er selbst erläutert die Gründe für sein Vorgehen im Vorwort der ersten Auflage seines *Lehrbuches der anorganischen Chemie* aus dem Jahr 1868 wie folgt:

"Dagegen könnte es als ein Mangel meines Lehrgangs erscheinen, daß die chemischen Tatsachen, welche sich auf einen und denselben Körper beziehen und die in den »systematischen« Lehrbüchern wohlgeordnet an gleicher Stelle aufzufinden sind, bei dem vorliegenden Werke mehr oder weniger zerstreut und deshalb auch zeitlich ganz verschieden zur Kenntnis des Schülers gelangen. Allein erstens wird der Nachteil, der aus einem solchen Zerreißen des Stoffes erwachsen kann, reichlich dadurch aufgewogen, daß das Interesse des Schülers für die einzelnen Gegenstände stets wach erhalten wird, da diese ihm immer von neuem wieder begegnen und andere bis dahin unbekannte Eigenschaften darbieten, und zweitens läßt sich jenem Mangel leicht abhelfen, wobei sich für den Schüler zugleich Veranlassung findet, sich selbsttätig am Unterricht zu beteiligen" [Arendt 1910, S. 6 f].

Mit dem Lehrgang Arendts ist das Experiment in den Unterricht integriert. Allerdings bleibt seine Durchführung dem Lehrer vorbehalten. Schülerexperimente finden nach wie vor getrennt vom eigentlichen Unterricht im chemischen Praktikum statt. Diese Organisationsform bleibt offenbar - falls überhaupt ein chemisches Praktikum angeboten wird (vgl. unten) - noch lange bestehen. So finden sich z.B. in der achten Auflage (1928) von K. Scheids *Leitfaden der Chemie* folgende Sätze, die die Bedeutung des Experiments für den Schulunterricht unterstreichen:

"Der ganze Inhalt des Buches baut sich *nur* auf Versuchen auf. Ausnahmslos sind hierbei die einfachsten möglichen Hilfsmittel berücksichtigt. Dabei bleibt es aber selbstverständlich dem Lehrer von Fall zu Fall überlassen, an Stelle der einfachen Ausführungen größere Demonstrationsapparate zu benützen. Abgesehen davon, daß die sämtlichen Versuche mit verschwindenden Ausnahmen jederzeit als Grundlage des verbindlichen oder wahlfreien Schülerpraktikums dienen können, sind zur Erweiterung des Unterrichtsganges und auch der praktischen Übungen noch über 250 Aufgaben an die einzelnen Kapitel angegliedert" [Scheid 1914 in Scheid 1928 I, Vorwort].

Vorläufig läßt sich festhalten, *daß dem Experiment von Anfang an eine bedeutende Rolle im Chemieunterricht zugewiesen wird*. Als ursächlich kann hierfür angesehen werden, daß die experimentelle Arbeit in einem Studium Liebig'scher Prägung einen weiten Raum einnimmt. Die späteren Lehrkräfte hatten ihre speziellen Kenntnisse ja auch und gerade zusammen mit Experimenten bzw. mit experimenteller Arbeit in Forschungsprojekten erworben. Daß die *einfache* Übertragung des Hochschulcurriculums auf die Schule nicht *die* Vorgehensweise schlechthin im Schulunterricht sein konnte, zeigt der nicht fachsystematisch gegliederte Lehrgang Arendts.

4.1.4 DIE BEDEUTUNG DES CHEMIEUNTERRICHTS IM 19. JAHRHUNDERT

Es ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung, zu beurteilen, inwieweit die geschilderten Lehrmethoden für die damaligen Verhältnisse gerechtfertigt

waren. Der Tatsache, daß sie zu ihrer Zeit allgemein anerkannt waren, steht gegenüber, daß sie nur in einem marginalen Bereich des Schulwesens Bedeutung hatten. Keineswegs kann die historisch gewachsene Abbildung von Strukturen eines frühen wissenschaftlichen Ausbildungskonzeptes auf den Schulunterricht für heute bruchlos aufrechterhalten werden, wo es um die Bildungsziele des gesamten allgemeinbildenden Schulwesens geht und nicht nur um die Pläne einiger weniger (späterer) Realgymnasien und Oberrealschulen.

Im Jahr 1860 gab es in ganz Deutschland erst 19 Schulen, die einen Chemieunterricht mit Chemiepraktikum anboten [vgl. H.J. Schmidt 1981, S. 7]. Die Bedeutung dieses Unterrichts wird von Liebig weiter relativiert, indem er u.a. schreibt:

"In dem sonst so vortrefflichen *Gewerbeinstitute* in Berlin wird Unterricht in Handgriffen und Fertigkeiten erteilt, Analysen von Gegenständen des Handels und der Gewerbe oder von Mineralien sind das höchste, was man dort zu erzielen sucht; dies sind nun gerade Beschäftigungen, bei denen Urteil und Denkvermögen sehr wenig in Anspruch genommen werden, sie sind ausreichend, um Tagelöhner und Maschinen zu bilden.

Der Unterricht in der Chemie in den Laboratorien der Gewerbe- und polytechnischen Schulen ist zu den meisten Orten äußerst mangelhaft" [Liebig 1840, S. 128].

Sowohl die absoluten Zahlen wie auch die Einschätzung Liebigs zeigen die geringe Bedeutung, die der Chemieunterricht in der Mitte des vorigen Jahrhunderts hatte. Allerdings bestand zu diesem Zeitpunkt auch noch kein nennenswerter Bedarf an naturwissenschaftlicher Allgemeinbildung. Qualifizierte Handwerker verfügten über die, für die beginnende Industrialisierung notwendigen technologischen Qualifikationen. Höhere Qualifikationen brachten die Absolventen der Hochschulen technischer Art bzw. der technischen Hochschulen mit. Im Zeitraum zwischen 1825 und 1904 entstanden 10 solcher Ausbildungsstätten [Rieß 1978, S. 110].

Der zunächst geringe Bedarf an naturwissenschaftlich-technisch vorgebildeten Arbeitnehmern wird insbesondere an der bis zur Jahrhundertmitte geringen Verbreitung und untergeordneten Stellung der Realschulen deutlich. Gerade sie leiteten ihre Existenzberechtigung im wesentlichen aus dem naturwissenschaftlichen Unterricht ab [ebd.]. Erst im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts erfolgte

"parallel zum wirtschaftlichen, militärischen und technologischen Aufschwung des imperialistischen Kaiserreichs die endgültige Durchsetzung naturwissenschaftlicher Inhalte im Schulwesen" [ebd., S. 111].

Ein äußeres Zeichen hierfür ist die Gründung der Oberrealschule als eigenständige Form des höheren Schulwesens im Jahr 1882. In ihrem Curriculum waren die Naturwissenschaften erstmals als eigenständige Fächergruppe ausgewiesen [vgl. Brämer u.a. 1980, S. 6].

Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß das in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts allein existierende Humanistische Gymnasium bis weit ins 20. Jahrhundert im höheren Schulwesen dominierte²⁾. Auch die im Jahr 1900 erfolgte rechtliche Gleichstellung von Realgymnasien, Oberrealschulen und Humanistischen Gymnasien in Preußen änderte daran zunächst nichts [vgl. auch Brämer u.a. 1980]. Die faktische Bedeutungslosigkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts - und damit erst recht die des Experiments, daß ja an bestimmte sächliche Voraussetzungen gebunden ist - wird darüberhinaus im seinem Nicht-Vorhandensein in der Volksschule dokumentiert.

Im Curriculum der preußischen *Elementarschule* (Volksschule), einer Schulform, die zu jener Zeit von weit über 90% der Bevölkerung besucht wurde, dominierte der Religionsunterricht und das Erlernen der Kulturtechniken Lesen, Schreiben und *einfaches* Rechnen. In den Richtlinien von 1854 wird für die naturwissenschaftlichen Inhalte gefordert:

"Gestatten es die Verhältnisse ... so können noch 3 Stunden für *Vaterlands- und Naturkunde* ... verwendet werden. ... (Dabei) wird es dem das Leben in seinen Bedürfnissen und Erscheinungen umsichtig auffassenden Lehrer bei dem Durchnehmen des Lesebuchs in seinen naturkundlichen Abschnitten nicht an Gelegenheit fehlen, durch unmittelbare Veranschaulichung von Gegenständen und Erscheinungen der Natur in ein Verständnis der letzteren einzuführen, welches die Kinder zur sinnigen Betrachtung anleitet und sich praktisch nützlich erweist" [Stiehl 1854, S. 72 f].

Sowohl für das höhere wie für das niedere Schulwesen besteht ein Zusammenhang zwischen der Art der Lehrerausbildung und dem späteren Unterricht. Der zukünftige "Oberschullehrer" studiert eine (oder auch mehrere) Fachwissenschaft(en), der Elementarschullehrer wird direkt auf seine unterrichtliche Tätigkeit hin ausgebildet. Während z.B. an den Universitäten chemische Praktika stattfinden (vgl. oben), wird an den Lehrerseminaren in geringem Umfang *Naturlehre* erteilt. In den Richtlinien für den Unterricht an den preußischen Elementarschullehrerseminaren von 1854 werden - sehr detailliert - Art und Umfang des Unterrichts festgelegt:

²⁾ Um die Jahrhundertwende hatten die humanistischen Gymnasien einen Anteil von 70 %, die Realschulen einen von 25 % und die Oberrealschulen einen von 5 % am gesamten höheren Schulwesen [vgl. Kremer 1985, S. 57].

"Die Behandlung ist überall nur eine elementare, so daß aus der Erscheinung oder dem Versuche das betreffende Gesetz ohne mathematische Fassung und diesfälligen Beweis zum Verständnis gebracht wird. Unter Zugrundelegung der »Grundzüge der Physik von Crüger« müssen bei den betreffenden Kapiteln die im gewöhnlichen Leben am meisten benutzten Instrumente, Apparate, und Maschinen, ... die von der Wärme, Elektrizität, dem Magnetismus, dem Licht etc. bedingten Erscheinungen ihre anschauliche Erläuterung finden. ...

Hinsichtlich des Unterrichts in ... Naturkunde und seiner Erteilung in der Elementarschule ist noch zweierlei zu bemerken. Erstens soll in diesen Fächern überall das Vereinzeln und Vereinzelt bleiben des Unterrichts-Materials möglichst vermieden, jedenfalls dafür gesorgt werden, *daß das Vereinzelte seine organische Zusammenfassung in lebendigen Charakter-, Landschafts- und Naturbildern finde*. ... Sodann ist festzuhalten, daß die in Rede stehenden Unterrichtsfächer nur in sehr seltenen Fällen auf dem Lektionsplan der Elementarschule ihre selbständige Stellung und keinesfalls eine mehr oder minder systematische Behandlung finden werden" [Stiehl 1854, S. 36 f].

Erst nach Gründung des Deutschen Reiches (1871) trat hier eine Änderung ein. In den

"»Allgemeinen Bestimmungen für die Volks- und Mittelschulen in Preußen« (1872) wurde als Ziel für die (wiedereingeführte) Naturlehre angegeben: »... die Schüler (sind) zu einem annähernden Verständnis derjenigen Erscheinungen zu führen, welche sie täglich umgeben ... der Stoff (ist) so zu erweitern, ... daß die Kinder imstande sind, die gewöhnlichen Naturerscheinungen und die gebräuchlichsten Maschinen erklären zu können« [Rieß 1978, S. 111].

4.1.5 UNTERSCHIEDLICHE ETABLIERUNGSWEISEN IN DER SCHULE - VERSCHIEDENER CHEMIEUNTERRICHT

Diese radikal verschiedene Etablierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts im allgemeinbildenden Schulwesen³⁾ und die bis heute - mit wenigen, zum Teil nur

³ Weitere Informationen hierzu können z.B. entnommen werden den Arbeiten von A. Schleip: Beiträge zur Geschichte des Chemieunterrichts an allgemeinbildenden Schulen von den ersten Anfängen bis zum Beginn des 2. Weltkriegs, R. Brämer und A. Kremer: Der unaufhaltsame Aufstieg des naturwissenschaftlichen Unterrichts, A. Kremer: Naturwissenschaftlicher Unterricht und Standesinteresse.

vorübergehenden Ausnahmen - unterschiedliche Art der Lehrer- und Lehrerinnenausbildung bleibt nicht ohne Folgen auf die weitere Entwicklung. Dies läßt sich z.B. auch an den je nach Schulform verwandten Lehrbüchern ablesen; so ist noch 1966 in einem Hauptschullehrbuch vom "Wunder der Flamme" die Rede [Völcker u.a. 1966⁷, S. 170 ff], das entsprechende Kapitel in einem Lehrbuch für Gymnasien ist überschrieben mit "Brennstoffe und Kraftstoffe" [Henniger u.a. 1971⁵, S. 223 ff].

In der unterschiedlichen Darstellung eines Stoffes wie auch in den preußischen Lehrplänen von 1854 und 1872

"zeigt sich bereits deutlich der Widerspruch, der bis auf den heutigen Tag den nwU (naturwissenschaftlichen Unterricht, R.G.) bestimmt: Der immer wieder feststellbaren Qualifikationspolarisation in den Arbeitsplatzstrukturen (Dequalifizierung der großen Mehrheit der Massentarbeiter und Spezialisierung einer kleinen wissenschaftlich-technischen Elite treten gleichzeitig auf und bedingen sich gegenseitig) entspricht ein nwU, der auf der einen Seite ein geringes Qualifikationsniveau mit staatstragenden Ideologien verbindet, auf der anderen Seite aber gezwungen ist, eine Reihe von fachlichen Qualifikationen zu produzieren, ohne daß jedoch diese Kenntnisse und Fähigkeiten kritisch gegen das ökonomische und politische System gewendet werden. Die Dreigliederung des Schulwesens sollte und soll dazu dienen, dieses widersprüchliche Ziel zu erreichen" [Rieß 1978, S. 110 f].

Je nach aktueller Einschätzung des Bedarfs erfuhr der naturwissenschaftliche Unterricht eine mehr oder minder starke Förderung. Dies drückt sich sichtbar im Auf und Ab des jeweiligen relativen Stundenanteils aus, besonders deutlich im Bereich der Volksschule, wo die für den naturwissenschaftlichen Unterricht verfügbare Zeit zwischen 1855 und 1980 von 0 auf 17 Wochenstunden anstieg [vgl. Brämer u.a. 1980, S. 9 f].

Insbesondere in den 60er und 70er Jahren dieses Jahrhunderts wurde von Politik und Wirtschaft der Bedarf an naturwissenschaftlich vorgebildeten Arbeitnehmern hoch eingeschätzt. Ursache hierfür war zunächst die mit *Sputnikschock* umschriebene Befürchtung, auf den Weltmärkten künftig nicht mehr konkurrenzfähig zu sein. Ab Ende der 60er Jahre kam der Anspruch einer *emanzipatorischen* Bildung als Bürgerrecht hinzu. Beides führte zu einer erheblichen Bereitstellung an

Mitteln für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Volksschule wurde zur Hauptschule; aus Naturlehre bzw. Naturkunde wurden die Fächer Physik, Chemie und Biologie. Der bereits lange bestehende gymnasiale Chemieunterricht mit seiner Orientierung an der Bezugswissenschaft gewann für das übrige Schulwesen eine ausgeprägte Leitfunktion [vgl. Freise 1969]. Der damit allgemein einsetzenden sogenannten Wissenschaftsorientierung fielen auf der anderen Seite für das Lernen wichtige Aspekte, wie der noch vorhandene Alltagsbezug des Naturlehreunterrichts, zum Opfer [vgl. Freise 1986].

Diese Entwicklung, insbesondere die Orientierung an traditionell gymnasialen - fachsystematischen - Unterrichtsinhalten, macht es notwendig, sich mit den im Bereich des höheren Schulwesens vertretenen Auffassungen über die Vermittlungsaufgaben von Experimenten näher zu befassen.

4.2 DIE VERMITTLUNGSAUFGABEN DES EXPERIMENTS UND DIE SCHULISCHE REALITÄT

Die von den späteren Realgymnasien und Oberrealschulen ausgehende Verbreitung des Chemieunterrichts macht es notwendig zu untersuchen, welche Vermittlungsaufgaben dem Experiment dort zugeschrieben wurden. Richtungweisend dürften zunächst die Auffassungen Liebig's gewesen sein, der, wie oben dargestellt, den Schulunterricht in Chemie nachhaltig beeinflusste.

4.2.1 VERMITTLUNGSAUFGABEN DES EXPERIMENTS BEI LIEBIG UND ARENDT

Das Experiment nimmt in Liebig's Ausbildungskonzept *für Chemiker* eine wichtige Rolle ein; denn

"die Ermittlung der Bedingungen einer Erscheinung ist das erste und nächste Erfordernis zu ihrer Erklärung. Sie müssen aufgesucht und durch Beobachtung festgestellt werden. In dem Aufsuchen und Beobachten beruht die Kunst, die geschickte Stellung der Fragen beurkundet den Geist des Naturforschers. ... So ist denn in der Aufsuchung der Ursache einer Erscheinung das Nachdenken der einzige zuverlässige Führer: durch die Beobachtung erkennen sie die sinnlichen Merkzeichen des Weges.

Es gibt keine Kunst, welche so schwierig ist wie die Kunst der Beobachtung: es gehört dazu ein gebildeter nüchterner Geist und eine wohlgeschulte Erfahrung, welche nur durch Übung erworben wird; denn nicht der ist der Beobachter, welcher *das Ding vor sich mit seinen Augen sieht, sondern der, welcher sieht, aus welchen Teilen das Ding besteht und in welchem Zusammenhang die Teile mit dem Ganzen stehen*" [Liebig 1865, S. 19].

Nach Liebigs Auffassung hängt

"das Gelingen eines Versuchs, einer Operation ... weit weniger von der mechanischen Geschicklichkeit als von Kenntnissen ab; das Mißglücken beruht auf der mangelhaften Erkenntnis, das Entdecken auf Gewandtheit im Combinieren und auf der Kraft, welche neue Gedanken schafft.

In den Vorlesungen lehren wir das Alphabet, in den Laboratorien den Gebrauch dieser Zeichen; der Schüler erwirbt sich darin Fertigkeit im Lesen der Sprache der Erscheinungen, er lernt die Regeln der Combinationen, so wie Gewandtheit und die Gelegenheit, sie in Anwendung zu bringen" [ebd., S. 9].

"Ähnlich wie die höhere Mechanik, die Physik, eine große Geübtheit in der mathematischen Analyse voraussetzt, muß der Chemiker als Naturforscher sich die vertrauteste Bekanntschaft mit der chemischen Analyse und seiner ihm eigentümlichen Combinationslehre erworben haben; alle seine Schlüsse, seine Resultate drückt er durch Erscheinungen, durch Versuche aus, jeder Versuch ist ein in Erscheinung gebrachter Gedanke" [Liebig 1840, S. 114].

Es wird deutlich, daß Liebig das Experimentieren zunächst zur Überprüfung von Gedankenkonstruktionen *gebraucht*. Dazu gehört auch der Erwerb von Kontextwissen über die Voraussetzungen dieser Versuche. Gleichzeitig dienen Versuche dazu, die eigenen Sinne zu schulen. Erst in zweiter Linie dienen sie zur Illustration der vorgestellten Theorien. Liebig arbeitet also mit *zwei Arten* von Experimenten, dem *Forschungs- und dem Erläuterungsexperiment*.

Indem Liebig das Erlernen theoretischer Kenntnisse mit korrespondierenden Experimenten eng verbindet, knüpft er an die von Comenius bereits um 1620 aufgestellte "goldene Regel für alle Lehrenden" an:

"Alles soll wo immer möglich den Sinnen vorgeführt werden, was sichtbar dem Gesicht, was schmeckbar dem Geschmack, was fühlbar dem Tastsinn. Und wenn etwas durch verschiedene Sinne aufgenommen werden kann, soll es den verschiedenen zugleich vorgesetzt werden. ...

7. Hierfür gibt es drei triftige Gründe: I. Der Anfang der Kenntnis (cognito) muß immer von den Sinnen ausgehen (denn nichts befindet sich in unserem Verstande (intellectus), das nicht zuvor in einem der Sinne gewesen wäre). ...

8. II. Die Wahrheit und Sicherheit der Wissenschaft ist von nichts so abhängig wie vom Zeugnis der Sinne. Denn die Dinge prägen sich zuerst und unmittelbar den Sinnen ein, dann erst, durch die Vermittlung der Sinne, dem Verstande. ... Der Vernunft glauben wir nur, soweit sie durch Einzelausführung von Beispielen (deren Zuverlässigkeit sich mit den Sinnen erforschen läßt) Beweise gibt. Aber gegen die Erfahrung der eigenen Sinne fremdem Zeugnis zu glauben, dazu wird sich keiner überreden lassen. Daher ist eine Wissenschaft umso zuverlässiger, je mehr sie sich auf die Sinne stützt. Wenn wir also den Schülern wahres und zuverlässiges Wissen von Dingen einpflanzen wollen, so müssen wir wirklich alles durch eigene Anschauung (autopsia) und sinnliche Demonstration lehren.

9. III. Und weil die Sinne die treuesten Sachwalter des Gedächtnisses sind, so wird eine Veranschaulichung der Dinge bewirken, daß jeder das, was er weiß, auch behält. In der Tat, wenn ich nur einmal Zucker gekostet, einmal ein Kamel gesehen, einmal den Gesang der Nachtigall gehört habe, nur einmal in Rom gewesen bin und es (natürlich aufmerksam) durchwandert habe, so haftet all das fest in meinem Gedächtnis und kann mir nicht wieder entfallen" [Comenius 1985, S. 135 f].

Dem Einsatz der *Sinne* bei der Vermittlung chemischer Inhalte mit Hilfe des Experiments stehen jedoch bestimmte, der Chemie eigene Schwierigkeiten gegenüber. Arendt hat diese bereits 1868 formuliert. Danach wird die "Entwicklung, Ausbildung und Verbreitung" der Wissenschaft Chemie dadurch behindert, daß

"... es keine einzige Lehre in der Chemie (gibt), zu deren Auffindung als solcher uns die gewöhnliche Lebenserfahrung unterstützte" [Arendt 1868, S. 7 f].

Arendt erläutert seine These an einem Beispiel wie folgt:

"Der richtig angerührte Brotteig geht in Folge eines chemischen Prozesses, wie man zu sagen pflegt, auf, wird ebenfalls in Folge eines chemischen Prozesses, braun und verliert im Inneren seine klebrige Beschaffenheit. ... Die chemischen Prozesse, welche diesen physikalischen Veränderungen zu Grunde liegen, bleiben unserem Blicke völlig verschlossen, und selbst der nüchternste und aufmerksamste Beobachter wird daraus nicht eine einzige Vorstellung gewinnen können, welche einer chemischen Betrachtung der Naturvorgänge irgendwie als Basis dienen könnte."

Eine chemische Beobachtung kann nie eine unmittelbare, direkte sein. Die chemischen Vorgänge wickeln sich eben nicht zwischen wägbaren Massen sondern zwischen kleinsten Körperteilchen (Molekülen) ab, und da sich diese selbst unserer Wahrnehmung entziehen und wahrscheinlich ewig verschlossen bleiben werden, da überdies der Verlauf fast aller chemischen Prozesse keine meßbare Zeitdauer besitzt, sondern Anfang und Ende in der Regel zusammenfallen, so erklärt sich zur Genüge die eben dargelegte Unmöglichkeit durch bloße Anschauung chemische Vorstellungen zu gewinnen. Wir müssen daher gleich von vornherein unsere Zuflucht zum Experiment nehmen, und dieses allein führt noch nicht zum Ziele; denn selbst wenn man mit dem einfachsten Experiment beginnt, wird die Vorstellung nur durch eine gleichzeitige Verstandesoperation, durch einen Schluß gewonnen [Arendt 1868, S. 14 f].

Zur derart hervorragenden Stellung des Experiments im vorigen Jahrhundert tragen noch weitere, eher praktische Gründe bei: Die chemische Meßgerätetechnik (einschließlich Indikatoren) befindet sich noch am Anfang ihrer Entwicklung; Waage und (in größerer Verbreitung erst ab ca. 1850) Maßanalyse waren die Hauptmeßverfahren [vgl. hierzu z.B. Strube 1981, S. 86-117]. Praktisch bedeutet das, daß anstelle heute üblicher Meßgeräte die eigenen Sinne gefordert waren. Hinzu kam die Anforderung, handwerkliche Techniken einwandfrei beherrschen zu können; denn bis weit in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts mußten sowohl die benötigten Stoffe als auch die meisten Laborgeräte selbst hergestellt werden, Ausrüstung und experimentelles Geschick wiederum entschieden in hohem Maß mit über den Erfolg der Lehr- und Forschungsstätten [ebd., S.126].

Aus der Zusammenschau der Ausführungen von Liebig, Arendt und des von Scheid (s.u.) angeführten Comenius können für das chemische Experiment in der Schule die folgenden Funktionen isoliert werden; es ist

- Medium für die *Präsentation* von Phänomenen
- Hilfsmittel bei der *Aufklärung* echter, d.h. für Lehrende und Lernende offener Fragen
- Mittel zur Ausbildung *handwerklicher Fertigkeiten* - exemplarisch gehört hierzu auch das Erlernen des sinnlichen Wiedererkennens bestimmter Reaktionen bzw. Stoffe.
- Mittel zur Schaffung einer *Erfahrungsgrundlage*.

Bei dem Versuch einer Übertragung dieser Bestimmungselemente *und* der gleichzeitig formulierten Inhalte und Methoden muß jedoch berücksichtigt werden, daß damals der Erwerb eines speziellen Berufswissens stets im Vordergrund stand. Im Unterschied dazu sind heutige Lehr-, Lern- und Bildungsziele auf einen Begriff von Allgemeinbildung verpflichtet, der gerade nicht berufsbezogen ist.

4.2.2 DAS SCHULEXPERIMENT ZU BEGINN DES 20. JAHRHUNDERTS

Im Unterricht des beginnenden 20. Jahrhunderts dominiert das Demonstrationsexperiment. Schülerübungen werden nach wie vor - wenn überhaupt - außerhalb des eigentlichen Unterrichts durchgeführt. In dieser Praxis spiegelt sich die Auffassung des einflußreichen Didaktikers R. Arendt wieder [vgl. z.B. Schleip 1970, S. 113]; für ihn sind Schülerversuche erst dann sinnvoll, wenn die Schüler mindestens 15 Jahre alt und in der "Theorie vollständig sicher" sind [vgl. Arendt 1868, S. 42].

"Dann bekommt er die ersten chemischen Apparate selbst in die Hand, und ihm wird eine chemische Reaktion, welche er früher schon *gesehen* hat, in größerem Maßstabe *von dem Lehrer vorgemacht*. Diese hat er genau nachzumachen und darf sie nicht eher bei Seite legen, bis der Lehrer die Überzeugung gewonnen hat, daß der Schüler sie auch richtig ausführt und das richtige reine Resultat erhalten hat" [ebd. S. 46].

Eine Kritik dieser Situation und eine Änderung bahnt sich erst mit der Verbreitung des Arbeitsschulgedankens an. K. Scheid schreibt dazu:

"Die altbewährte Methode der Pädagogik, die Sinneswahrnehmungen geistig weiter zu entwickeln und zu fixieren, ist auch beim »Arbeitsunterricht« streng beibehalten. *Neu* ist nur die *verschärfte Beobachtung*: der Vorgang wird *erlebt*, nicht bloß *geschaut*. Insofern ist also die »neue« Methode an sich durchaus nichts neues, sondern lediglich die Weiterentwicklung des Grundsatzes der Anschaulichkeit, welchen schon vor 400 Jahren Comenius betonte. Der bisherige Demonstartionsunterricht mit seinen zahlreichen Anklängen an die Experimentalvorlesungen der Universität genügt uns nicht mehr, denn er hat sich in vielen Fällen als fehlerhaft erwiesen" [Scheid 1913, S. 91].

"Die verbindlichen Schülerübungen sind für die jetzige Generation die höchste Stufe der Verfeinerung der Unterrichtsmethode. Wir erstreben sie als das derzeit vollkommenste Verfahren, welches in gleicher Weise Körper und Geist ausbildet, dem Schüler neben erlerntem Wissen auch praktisches Können verleiht und zugleich ein Eindringen in den echten Geist der Naturwissenschaften ermöglicht" [ebd. S. 94 f].

"Welches sind die Vorteile der neuen Lehrmethode? Warum soll der Demonstrationsunterricht aufgegeben werden? Hier ist die Antwort: der Demonstrationsunterricht zeigt in wenigen Minuten, was Generationen von Forschern in mühevoller Schaffensarbeit herausfinden und sammeln mußten. Der Schüler kann die Geistesarbeit gar nicht ahnen, geschweige denn würdigen, welche in dem eleganten, schnell gesehene und in den Einzelheiten ebenso schnell vergessene Versuch enthalten ist. Ganz ohne eigenes Zutun erhält der Schüler die fertige Geistesfrucht aufgetischt. ... Der Demonstrationsunterricht wirkt schon durch die begleitenden Worte des Lehrers in jedem Fall suggestiv. Der Schüler *glaubt* auch tatsächlich das zu sehen, was der Lehrer ihm zeigt. ... Sind nicht alle Demonstrationsapparate für glänzenden Erfolg mehr oder weniger so eingerichtet, daß sie möglichst mühelos gewissermaßen durch geheimen inneren Mechanismus einen möglichst großen Erfolg anzeigen?" [ebd. S. 99 f].

Bei näherer Betrachtung von Scheids *Leitfaden der Chemie* [1928] stellt man fest, daß den von ihm vorgeschlagenen Versuchen der gleiche Vorwurf gemacht werden kann wie den von ihm kritisierten Demonstrationsversuchen. Auch seine Versuche sind so *eng* vorgegeben, daß nur ein bestimmtes Ergebnis zu erwarten ist. Der Hauptunterschied zum Schauunterricht liegt letztlich nur in der Person des Experimentators.

4.2.3 VERBREITUNG VON EXPERIMENTEN IM NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHT IM 20. JAHRHUNDERT

Über die Verbreitung von chemischen Schulexperimenten lassen sich nur recht wenige Angaben finden. Doch läßt sich die Aussage von F. Rieß bestätigen, der bei der Untersuchung einschlägiger physikdidaktischer Literatur zu dem Schluß kommt, daß es

"keine verlässlichen Aussagen darüber (gibt), wieviel tatsächlich in der Schule experimentiert wird, allerdings vermutlich viel weniger als gemeinhin angenommen bzw. erwartet wird" [Rieß 1985, S. 170].

Gestützt wird diese These auch durch die mit gewisser Regelmäßigkeit erscheinenden Artikel, die sich mit der Verbesserung altbekannter Versuche beschäftigen.

Zu Beginn des Jahrhunderts gab es nur wenige Schulen, an denen Schüler Gelegenheit hatten, handwerkliche Fertigkeiten im Rahmen eines *chemischen Praktikums* zu erwerben. Die Dominanz der eher theoretischen Orientierung des Chemieunterrichts drückt sich u.a. darin aus, daß diese Praktika vom Unterricht losgelöst durchgeführt wurden. Eine Umfrage von Brüsch aus dem Jahr 1913 zeigt, daß von 148 Realgymnasien, die Schülerübungen durchführten, diese sicher nur an 27 Schulen in den Unterricht integriert waren. Die Bedeutung dieser Zahl ergibt sich daraus, daß 264 der insgesamt 299 Realgymnasien des Deutschen Reichs die entsprechende Umfrage beantworteten [vgl. Schleip 1970, S. 157]. Auch an den Oberrealschulen sah es nicht viel anders aus. Von den 152 existierenden Schulen beantworteten 139 eine entsprechende Umfrage. Danach waren an nur 13 Schulen die Schülerübungen in den Unterricht integriert [vgl. ebd. S. 158].

Innerhalb der nächsten 70 Jahre finden offenbar nur graduelle Veränderungen statt: Von den Lernenden selbst durchgeführte Versuche sind immer noch nicht sehr weit im Unterricht verbreitet. Bei einer im Zusammenhang mit der Erprobung der Rahmenrichtlinien Physik in Hessen durchgeführten Befragung von Fachlehrerinnen und -lehrern stellte sich heraus, daß an Hauptschulen die meisten Schülerübungen (Anteil des Unterrichts mit Schülerübungen: 36%) durchgeführt werden gegenüber einem Anteil von nur 9% an Gymnasien; dort dominiert mit 63% Anteil der Demonstrationsunterricht bzw. findet Unterricht ohne Experimente statt (28% gegenüber 14% in der Hauptschule) [vgl. Brauner u.a. 1984, S. 11 f]. Etwa zur gleichen Zeit kommt R. Demuth bei einer Befragung von 300 Schülern und Schülerinnen zu dem Ergebnis, daß

"nach Aussage der Lehrer häufiger Schülerexperimente durchgeführt werden, als dies die Schüler angeben" [Demuth 1981, S. 256, Hervorhebung R.G.].

4.2.4 SCHÜLERVERSUCHE ALS TEIL DER SCHULREFORM

Im Kontext von Schulreform und Arbeitsschulgedanken [vgl. Kerschensteiner 1914] setzt sich die Auffassung durch, daß Experimente, von den Lernenden selbst durchgeführt, zu einem besseren Verständnis der Chemie und damit zu einem besseren schulischen Lernerfolg beitragen. In dem Lehrbuch *Aus der Praxis der Arbeitsschule* wird zum chemischen Experiment ausgeführt:

"Es genügt nicht, wenn der Lehrer der ganzen Klasse einige Versuche vorführt und die zu behandelnden Stoffe herumzeigt. Ganz abgesehen davon, daß die in der Volksschule zur Verfügung stehenden Apparate zu Vorführungen vor einer großen Menge von Schülern wegen ihrer Kleinheit oft ungeeignet sind, erregen solche Versuche die Teilnahme des Kindes höchstens mehr oder weniger von außen her, statt von innen heraus. Denn dieses ist ja persönlich nur sehr mittelbar und unselbständig bei den Vorgängen beteiligt. Wohl mag bei besonders sinnfälligen und glanzvollen Vorführungen die Neugierde und selbst die sachliche Teilnahme eine Weile rege bleiben und sogar im Banne gehalten werden. Ein wirklich nachhaltiger Erfolg läßt sich trotz alledem nicht erzielen. Und das wird so sein, so lange der Schüler nur *Zuschauer* ist.

Die neueren Bestrebungen wollen das Kind aus seiner bloß leidenden Rolle befreien. Künftig soll es selber tätig mitwirken. Nicht nur Lehrstoffe werden ihm vorgetragen, sondern wirkliche greifbare Stoffe werden ihm in die Hand gegeben" [Mittag u.a. 1922, S. 369 f].

In zeitgenössischen Realienbüchern wird entsprechend eine Stoffkunde des Alltags entfaltet; Themengebiete sind z.B. Stoffe in *Haus und Hof, Küche und Keller, Garten und Feld, Industrie und Technik* [vgl. Mittag u.a. 1922, S. 373 ff, Senner 1927].

An der Auswahl der Stoffe und der zugehörigen Experimente läßt sich schulformbezogen die unterschiedliche Interpretation des Arbeitsschulgedankens im Bereich der Volksschule auf der einen Seite und der Realgymnasien bzw. Oberrealschulen auf der anderen festmachen: Die Überwindung des rein fachsystematischen Lehrgangs beginnend mit Arndt ändert nichts an der starken Fachorientierung bei Auswahl und Abfolge der Inhalte in den Lehrbüchern des höheren Schulwesens [vgl. z.B. Scheid 1928 I,II, Winderlich 1928 II]. Auf der unterrichtsmethodischen Ebene wird die Bedeutung des Schülerexperiments dahingehend präzisiert, daß es nicht den

"Vorführungsversuch des Lehrers völlig verdrängen (soll). Es arbeitet vielmehr vor und schafft für dessen Verständnis die rechte Grundlage. Die Schülerversuche selbst werden teils zum Ausgangspunkt genommen, teils dienen sie dazu, die gefundenen Ergebnisse nachzuprüfen, teils auch sind sie Anwendungen des Erkannten" [Mittag u.a. 1922, S. 371].

Auch die heute noch geläufigen Organisationsformen von Schülerexperimenten sind bereits im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts entwickelt [vgl. Schleip 1970, S. 156 ff]. Lediglich das Vokabular unterliegt in der Folge einem zeitbedingten Wandel.

Es lassen sich drei prinzipiell verschiedene Vorgehensweisen ausmachen:

- die einheitliche Arbeitsweise
- die differenzierte Arbeitsweise
- die individuelle Arbeitsweise.

L. Kotter hat sie in seinem didaktischen Lehrbuch *Das Experiment im Chemieunterricht* besonders charakteristisch beschrieben:

"Die Art und Weise, in der Schülerversuche durchgeführt werden, ist stark abhängig von der Alterstufe und den Experimentiererfahrungen der Übungsteilnehmer. ...

Die *einheitliche Arbeitsweise* läuft in der fachdidaktischen Literatur häufig unter »einspuriger Arbeitsweise« oder unter »Experimentieren auf gleicher Front«. Jeder Schüler oder jede Schülergruppe hat genau die gleiche Aufgabe zu erfüllen. Gleichzeitig wird von allen Übungsteilnehmern mit dem gleichen Gerät der gleiche Versuch durchgeführt. Handelt es sich um ein Experiment, das in mehreren Stufen durchzuführen ist, wird sogar jeder einzelne Teilschritt »auf Kommando« gemacht. ...Nachteilig ist dieser »Exerzierstil« dieser Übungsform. ... Trotz dieses nachteils ist diese »einheitliche Arbeitsweise«.. weit verbreitet. Im Bereich der Primarstufe und der Sekundarstufe I ist sie dominierend. Im experimentellen Anfangsunterricht besitzt sie sogar Ausschließlichkeit. ...

Die *differenzierte Arbeitsweise* nimmt einen Sachverhalt von verschiedenen Seiten her aufs Korn. Daher spricht man auch vom »Experimentieren im allseitigen Angriff«. Die einzelnen Arbeitsgruppen haben einen unterschiedlichen Auftrag, aber alle sind aufs gleiche Lehrziel gerichtet. Die häufig zu findende Bezeichnung »getrennt-gemeinschaftliche Arbeitsweise« trägt diesem Modus Rechnung. ...

Die »differenzierte Arbeitsweise« ist die Methode der Sekundarstufe II. Vornehmlich geeignet bei Reihenversuchen, die induktiv zur Aufstellung von Gesetzmäßigkeiten führen sollen. Umgekehrt ist sie auch dort am Platz, wo ein deduktiv vorgegebener Sachverhalt der experimentellen Bestätigung bedarf.

Die *individuelle Arbeitsweise*, oft auch »regellos« genannt, überläßt den Experimentierenden weitgehend Auswahl und Durchführung der einzelnen Versuche. ... Ihr Erfolg ist mehr von der formalen Art. Die experimentellen Fähigkeiten werden gefördert, der Gewinn an Sachwissen ist begrenzt. ..." [Kotter 1975, S. 39 ff].

Betrachtet man die Versuchsbeschreibungen der (heute) gängigen Lehrbücher, so erfolgt in der Regel die Einteilung in *Schüler-* bzw. *Lehrerversuche* allein unter sicherheitstechnischen und kostenmäßigen Gesichtspunkten. Zudem können, wie schon

bei K. Scheid dargestellt, Schülerversuche prinzipiell auch von den Lehrenden als Demonstrationsversuche durchgeführt werden [vgl. z.B. Arndt u.a. 1981, Christen 1981, Cuny 1965, 1971, 1972, Dehnert u.a. 1983, Franik 1980, Fischer 1977, Greb u.a. 1981, Grothe 1976, Häusler 1971, Häusler u.a. 1983, Henniger u.a. 1954, 1955, 1971, Jakob u.a. 1982, Keller u.a. 1982, Lüthje u.a. 1956, 1959, 1971, 1981, 1983, Meyendorf u.a. 1983, Meyendorf 1985, Scheid 1928 I,II, Schröder u.a. 1974, 1975, 1979, 1980, 1982, Winderlich 1928 II, Winderlich u.a. 1957].

4.2.5 STEIGERUNG DES LERNZUWACHSES DURCH SCHÜLERVERSUCHE?

Inwieweit die den Schülerexperimenten zugeschriebenen *positiven* Eigenschaften wie besserer Lernzuwachs, höhere Behaltensleistung bzw. Verständnismöglichkeit als beim Demonstrationsexperiment tatsächlich wirksam werden, konnte bisher nicht sicher nachgewiesen werden.

Bereits 1925 stellte Carpenter bei der Untersuchung von 1000 Schülern aus 34 Klassen in 23 Schulen von 14 Staaten der USA fest:

"Die Ergebnisse dieses Experiments deuten auf den Schluß hin, daß die meisten der Schüler in High-School-Klassen für Chemie gleich erfolgreich sind, ob sie mit der Demonstrationsmethode unterrichtet wurden oder die Experimente selbst ausgeführt haben. Dabei ist das Maß für den Erfolg aber durch die mit den Tests feststellbaren Fähigkeiten gegeben, nämlich Fachwissen und die Fähigkeit, in den Vorstellungen und Begriffen der Chemie zu denken" [Carpenter 1925, S.45 nach Harbeck 1971, S. 3112].

Positive Auswirkungen konnte dagegen Horten im handwerklichen Bereich nachweisen:

"Durch den nichtschriftlichen experimentellen Test fand er in der Tat Unterschiede in folgenden Fähigkeiten: (1) Beim Handhaben der Geräte, (2)

beim Ausführen von Versuchen, bei denen Geräte verwendet werden mußten, und (3) beim Lösen schwieriger Fragen oder Probleme, bei denen Faktenwissen aus der Chemie im experimentellen Bereich angewendet werden mußte" [Horton 1928, S. 100, nach Harbeck 1971, S. 3113].

Auch Bruhn konnte 1972 keinen deutlichen Effekt im kognitiven Bereich zugunsten des Schülerexperiments feststellen; vielmehr wirken

"1. Neugierde, Überraschung und das Bilden von Hypothesen ... (als) positive Affekte;

2. Die Variable mit den Einsetzungen Motivation und Problemlöseverhalten hat einen wesentlich größeren Einfluß auf die Einstellung der Schüler als die Unterrichtsform" [Bruhn 1972, S. 197].

Nümann kann die angeblichen Vorzüge der Schülerübungen bei ansonsten gleichen äußeren Bedingungen ebenfalls nicht bestätigen. Die von ihm durchgeführten schriftlichen Tests liefern sogar das Ergebnis,

"daß die Fragen, die sich unmittelbar mit den Versuchen befaßten, von den Schülern des Schülerübungskurses keineswegs besser gelöst werden konnten" [Nümann 1985, S. 43].

Bemerkenswert ist außerdem, daß die zunächst signifikante emotionale Wirkung der Schülerübungen mit der Dauer des Unterrichts unter ihren Ausgangswert zurückgeht [vgl. ebd., S. 44].

Diesen Aussagen widerspricht zunächst die Untersuchung von Weltner und Warnkoss; danach

"(führen) Schülerexperimente ... zu besserem Lernerfolg, stärken darüberhinaus aber noch mehr das Interesse und die Freude der Schüler am Unterricht" [Weltner u.a. 1969, S. 561]

Aufgrund der Ergebnisse einer acht Wochen nach der entsprechenden Unterrichtseinheit durchgeführten Lernerfolgskontrolle konnte dem Schülerexperiment zwar ein deutlich besserer *Wirkungsgrad* zugeschrieben werden als dem Demonstrationsexperiment oder gar dem informierenden Unterricht; gleichzeitig war jedoch eine ausgeprägte Abhängigkeit des *Wirkungsgrades* vom jeweils behandelten Thema feststellbar [ebd. S. 558]. Hierbei dürfte es nicht unwesentlich sein, daß die Lernenden jeweils das Gerät bzw. das Thema, das mittels Schülerexperiment behandelt wurde, als dasjenige angaben, das ihnen am meisten "Spaß" gemacht bzw. das sie am meisten "interessiert" habe [ebd. S. 559 f]. Berücksichtigt man in diesem Zusammenhang die Untersuchungsergebnisse von Schier, wonach Schüler ein Interesse am Kennenlernen der (technischen) Funktionsprinzipien von Geräten ihrer unmittelbaren Umgebung

haben [vgl. Schier 1978, S. 100], so ist das "gute" Abschneiden des Themas "elektrische Klingel" nicht verwunderlich [Weltner u.a. 1969, S. 558]. Somit ergibt sich durchaus wieder eine Übereinstimmung mit den Aussagen von Bruhn; insbesondere wenn man bedenkt, daß

"Der Lernerfolg im Physikunterricht ... sehr viel stärker als uns das bewußt ist, viel stärker auch als wir es uns wünschen, von den Persönlichkeitsvariablen des Lehrers (abhängt), d.h. er hängt ab von affektivem Geschehen in der Interaktion zwischen Lehrern und Schülern" [Schwedde 1973, S. 175].

Aus dem Bisherigen folgt, daß sich lediglich sicher nachweisen läßt, daß die Lernenden bei selbst durchgeführten Experimenten Fertigkeiten im Umgang mit Geräten und handwerkliche Geschicklichkeit erwerben, ein durchaus zu erwartender und nachvollziehbarer Effekt. Eine Übertragung auf den Bereich des Verstehens erscheint kaum zulässig.

4.2.6 DER OPTIMIERTE EINSATZ VON VERSUCHEN IN DER SCHULE

In der Literatur finden sich immer wieder Hinweise darauf, wie ein reibungsloser Unterrichtsverlauf ohne Irrwege zu organisieren sei. R. Winderlich führt im *Handbuch des Unterrichts an höheren Lehranstalten*, Band 15, *Chemie*, dazu aus:

"Wer die Schüler zum erstenmal ins Laboratorium führt, muß ihnen jeden Handgriff zeigen und jede kleinste Kleinigkeit vorschreiben. Er muß nach genauer Vorschrift arbeiten lassen, bis er die jungen Leute so weit hat, daß sie verstehen, was sie eigentlich tun sollen, wenn ihnen irgendeine ganz leichte Aufgabe gestellt wird. Ich sage aus meiner Erfahrung heraus, der Lehrer *muß* jeden Handgriff befehlen, ... [Winderlich 1928 I, S.104 f].

Schülerinnen und Schüler übernehmen bei dieser Art zu Experimentieren im Grunde nur *Handlangerfunktionen*. G. Freise stellt dazu kritisch fest:

"In vielen Experimentalprogrammen von Schulbuchautoren oder der Lehrmittelindustrie haben Schülerversuche nicht einmal demonstrierenden Charakter, sie sind lediglich Übungen ohne Frage-, Handlungs- und Interpretationsmöglichkeiten - idiotensicher" [Freise 1983, S. 38].

In einer psychologisch-methodologischen Kritik am herkömmlichen physikalischen Schulexperiment beschreibt H. Muckenfuß von den jeweiligen Inhalten völlig *unabhängige* Gründe für Einsatz und Durchführung von Versuchen. Die von ihm gemachten Feststellungen bezüglich der Dominanz des Zeitpunkts und des Ansehens des Unterrichteten als wesentlichem Kriterium zur Auswahl von Experimenten dürften auch für den Chemieunterricht gelten. Muckenfuß setzt sich in diesem Zusammenhang zunächst mit Hahn u.a. auseinander:

"Unterrichtsversuche nehmen Zeit in Anspruch. So sehr sie einerseits *für die Begründung des Wissens* notwendig sind, dürfen sie andererseits nicht zum Selbstzweck werden. Sie müssen *gut vorbereitet* sein und sollen in der Regel *keineswegs* im Unterricht erst durch Heranholen der Geräte *improvisiert* werden« ... Einige Zeilen später machen Hahn u.a. im Zusammenhang mit Sachverhalten, die experimentell schwer darstellbar sind, folgenden Vorschlag: »Auch hier braucht der Unterricht auf die *experimentelle Begründung* nicht zu verzichten, denn es finden sich in Lehrbüchern der Physik, in Standbildern, die projiziert werden können, oder in Meßkurven oder Spektren genug Material, das *wie selbstgewonnenes* angesehen und ausgewertet werden kann«.. (Hervorhebung ... H.M.).

Der hinter diesen Zeilen stehende Unterricht hat offenbar ausschließlich die Aufgabe, Faktenwissen zu erzeugen. Selbst fachliches Prozeßwissen und methodische Fähigkeiten haben eine völlig untergeordnete Bedeutung. Nur eine lernpsychologische Ignoranz macht es möglich, die Darstellung durch gedrucktes Material der Aneignung durch experimentelle Selbsttätigkeit gleichzusetzen. Sie unterstreicht die didaktische Funktionalisierung des Experiments für eine oberflächliche Vermittlung von Faktenwissen. Wie sehr auch die Rolle des Lehrers als »Master-Teacher« als perfekt überlegener Handwerker - in dieser Art des Experimentierens mit angelegt ist, verdeutlichen folgende Sätze: »Zum guten Experimentieren gehört eine gewisse Geschicklichkeit. *Ruf und Ansehen des Lehrers* sind bedroht, wenn es ihm regelmäßig mißlingt, das im Versuch zu zeigen, was er beabsichtigt hatte. Versagt eine Apparatur trotz sorgfältiger Vorbereitung ..., so ist es zweckmäßig, den Versuch in einer späteren Stunde nachzuholen und nicht Zeit mit der Behebung des Schadens zu verlieren« [Hahn u.a. 1970, Hervorhebung H.M.). Die *Möglichkeit* des Nachholens ergibt sich offenbar daraus, daß der Versuch nur der Veranschulichung der zu vermittelnden Fakten dient, die Stunde somit auch ohne ihn zu Ende gebracht werden kann. Die *Notwendigkeit* des Nachholens folgt demnach wohl hauptsächlich aus der erforderlichen Pflege von »Ruf und Ansehen des Lehrers« [Muckenfuß 1979, S 63 f].

Diese Art der Imagepflege ist, folgt man den Untersuchungsergebnissen von V. Reiß [1975], für Naturwissenschaftslehrerinnen und -lehrer als typisch einzustufen.

Ein der Imagepflege dienendes Experimentieren - des eigenen wie des fachlichen - führt nicht unbedingt dazu, daß die Lernenden begreifen, was sie - unter fachlichen Gesichtspunkten - im Unterricht tun und warum. Sie sind dann lediglich lebendiges Anhängsel einer an sich toten Maschinerie, des Versuchsaufbaus und -ablaufs.

4.2.7 KRITIK DES OPTIMIERTEN SCHULVERSUCHS

Wie obigen Äußerungen ebenso wie bereits denen von Arendt und Scheid entnommen werden kann, ist das Experimentieren in der Schule auf einen möglichst *raschen und reibungslosen* Ablauf hin optimiert, auch wenn das in der Realität nicht immer gelingt. Dies gilt sowohl für die verwandten Geräte, Chemikalien als auch für die Organisation des Unterrichts.

Die heute verwandten Laborgeräte sind das Produkt einer sich auf jahrhundertelange Erfahrung stützenden Entwicklung von Form, Material und Anwendung [vgl. Just 1986, S. 142]. Für die Schule kommt hinzu, daß eine Vielzahl der dort eingesetzten Geräte einzig und allein auf die *optimale* Darstellung eines bestimmten (oder doch weniger ähnlicher) Effekts hin konstruiert werden [vgl. z.B. Phywe-Nachrichten Nr. 149/85, S. 3 u. 6]. Ob Schüler die Gründe für eine solche Konstruktion durchschauen, darf aus mehreren Gründen bezweifelt werden. Zum einen wird mit ihrer Verwendung häufig ein *Zeitgewinn* angestrebt. Eine Investition dieses *Zeitgewinns* in die *genaue* Erklärung des Gerätes verbietet sich im Grunde von selbst, da sonst der ursprüngliche zeitliche Rahmen wieder notwendig wäre oder gar überschritten würde. Zum anderen zeigen Untersuchungen zum Wahrnehmungsverhalten von Schülern, daß komplexe Versuchsaufbauten das "eigentlich" Interessierende verschleiern; die "Maschine" an sich wird zum dominierenden Moment in der Wahrnehmung, nicht unbedingt der ablaufende Prozeß [vgl. z.B. Schmidkunz 1983, S. 360 ff, Sander 1984, S. 54-81].

Ähnlich wie mit den Laborgeräten verhält es sich mit den in der Schule verwandten Chemikalien. Sie sind für eine bestimmte experimentelle Praxis entwickelt worden. In der Regel handelt es sich um Reinstoffe, die *so* in der Alltagswelt der Lernenden nicht vorkommen. Es kann immer wieder festgestellt werden, daß z.B. Ethylalkohol, Saccharose oder Natriumchlorid für die Lernenden, zum Teil auch im Denken der Lehrenden, offenbar andere Dinge sind als Spiritus, Zucker oder Kochsalz. M. Minssen

charakterisiert in seinen Buch *Der sinnliche Stoff - Vom Umgang mit Materie* Laborchemikalien als Stoffe, denen ihre Form abhanden gekommen ist:

"Gold ist kein Ring, Eisen keine Kette, Zucker kein Stück Kandis. Es sind keine ganzen Stücke mehr da, sondern kleine Portionen farbloser Lösungen in einer Pipette, ein paar Körnchen weißen Kristallpulvers auf der Spitze eines Spatels. Da ist es nicht mehr weit bis zu dem Augenblick, wo eine Lehrperson mit Kreide sechs Striche zu einen regelmäßigen Sechseck aneinander winkelt und sagt: »Das ist Benzol.«

Der Stoff ist nun endgültig mit seiner Formel identisch geworden, kreidig und papiern, und vielleicht steckt mehr als ein Versprecher dahinter. Die Vorliebe des früheren Architekturstudenten Kekulé, Substanzen mit Linien und Winkeln abzubilden, wurde nicht nur allgemeines Beschreibungsmuster, sondern auch Denkungsart und Syntheseprinzip. Das heißt Kekulé's Zeichenstil materialisiert sich auf dem Weg über die Köpfe der Chemiker immer wieder aufs neue in allen möglichen Stoffen, ähnlich wie der Virus in einer Zelle seine eigenen Abbilder ständig reproduzieren läßt. So suggeriert die Strich- und Winkelwährung ein trügerisches Gemeinsames in den Stoffen, so wie auch Bett und Suppenschüssel so lange über das Geld verglichen werden können, das sie gekostet haben, bis sie nur noch Geld sind" [Minssen 1986, S. 18 f].

Daß Geld und Formel Abstraktionen von realen Gegenständen sind, ist für die Lernenden prinzipiell noch nachvollziehbar - zumindest in dem Sinne, daß sie in ihrem Alltag nicht nach solcher Art "Stoffe" suchen würden. Im Chemieunterricht sind jedoch auch Stoffe anzutreffen, die sich selbst noch von der gewohnten Form der Laborchemikalien unterscheiden, wie z.B. Schwefelblüte. Solche Stoffe verdanken ihre Existenzberechtigung einzig und allein didaktischen Gründen und können in der Alltagswirklichkeit nicht wiedererkannt werden.

Ähnlich verhält es sich mit vielen experimentell zugänglichen Inhalten, die zeitlich einen großen Raum in der Schule einnehmen (z.B. die Herleitung der Formel des Wassers); auch bei ihnen ist für die Lernenden ein Bezug zur alltäglichen Erfahrungswelt nicht herstellbar. Solche Untersuchungen von der Alltagswelt isolierter bzw. abstrahierter Vorgänge erhalten ihren eigentlichen Stellenwert erst innerhalb einer bestimmten Theorie. Gleichzeitig wird das (zu erwartende) Ergebnis - hinter dem Rücken der Lernenden - schon in die Konstruktion und die Ausführung des Experiments eingebracht. Oft stecken stundenlange Vorbereitungen in einem Experiment, um sogenannte *Randbedingungen* zu eliminieren, damit nachher vor den Schülern auf Anhieb die nach der Theorie bzw. zu deren Erarbeitung notwendigen (Meß-)Ergebnisse geliefert werden können.

Die mit diesem Vorgehen erreichten Ergebnisse von Unterricht sind alles andere als befriedigend. Prinzipiell ist zu bezweifeln, daß die Lernenden die mit der Durchführung bzw. Konstruktion eines Experiments verbundene Gedankenarbeit - die ja letztlich mit zur Theoriebildung führt - erfassen, solange sie nicht an der Entwicklung der Versuche und deren Einordnung in den Unterrichtsgang beteiligt sind. Diese Unmöglichkeit, den Sinn bestimmter Versuche zu einem bestimmten Zeitpunkt zu begreifen, hängt auch damit zusammen, daß wohl nicht davon ausgegangen werden kann, daß das *Erkenntnisinteresse* eines Forschers in einer bestimmten (historischen) Situation mit demjenigen der Lernenden vergleichbar ist:

"- Die Schüler haben keine wirklich eigenen Fragen und Probleme gegenüber dem vorgesehenen Unterrichtsstoff z.B. der Chemie oder Physik; die die Experimente einleitenden Fragen sind keine Fragen, die sie von sich aus stellen würden, es sind die Fragen der Lehrer oder Fragen, die in Schulbüchern stehen;

- Antworten auf die Fragen stehen schon bei Beginn des Unterrichts fest, der »Ausgang« der sogenannten Experimente ist nicht offen, Ergebnisse müssen einfach zur Kenntnis genommen und nicht im vorgegebenen theoretischen Rahmen »erklärt« werden; Erkenntnisse können immer nur in Kenntnis dessen, was dabei herauskommt, veranstaltet werden.

Den Schülern wird z.B. die Chemie als eine Wissenschaft vorgeführt, die ständig voranschreitet, wenn sie etwa lernen: »Eines der ältesten chemischen Verfahren ist die Verbrennung. Wir untersuchen, wie der chemische Vorgang der Verbrennung abläuft. Werden Stoffe bei der Verbrennung leichter oder schwerer? Wie verhalten sich die Gesamtmassen der beteiligten chemischen Reaktionen? Noch am Ende des 18. Jahrhunderts gab diese wichtige und interessante Frage den Chemikern viele Rätsel auf. Wir lösen sie « [Freise 1983, S. 38].

Durch solche Sätze muß sich ein falsches Bild von wissenschaftlichem Vorgehen und Wissenschaftsgeschichte entwickeln, denn *bei den Schülern wird der Eindruck erzeugt, Schulexperiment und Wissenschaftsexperiment seien prinzipiell von der gleichen Art. Der Unterschied zwischen naturwissenschaftlichem Experiment zur Erkenntnisgewinnung bzw. zur Verifikation oder Falsifikation einer naturwissenschaftlichen Theorie und dem Unterrichtsexperiment zur Erlangung chemischer Kenntnisse wird nicht thematisiert.*

Verstärkt wird diese falsche Vorstellung auch dadurch, daß der Unterricht in der Regel empirisch-induktiv durchgeführt und dabei die Wissenschaft häufig aus einzig und allein für Unterrichtszwecke konstruierten und optimierten Versuchen hergeleitet wird; ihre wahre Genese wird verschleiert. Den Lernenden wird ein unveränderbar erscheinender, aus seinem ihm eigenen Gesamtzusammenhang gerissener und darüberhinaus von seinen Entstehungsbedingungen losgelöster, fertig vorfabrizierter Inhalt vorgesetzt.

Bereits vor 100 Jahren - vor der breiten Einführung des naturwissenschaftlichen Unterrichts an den öffentlichen Schulen - kennzeichnete F. Engels dies als ein Problem der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise:

"Die Zerlegung der Natur in ihre einzelnen Teile, die Sonderung der verschiedenen Naturvorgänge und Naturgegenstände in bestimmte Klassen ... war die Grundbedingung der Riesenfortschritte, die die letzten 400 Jahre uns in der Erkenntnis der Natur gebracht (haben). Aber sie hat uns ebenfalls die Gewohnheit hinterlassen, die Naturvorgänge in ihrer Vereinzelung, außerhalb des großen Gesamtzusammenhangs aufzufassen; daher nicht in ihrer Bewegung sondern in ihrem Stillstand, nicht als wesentlich veränderliche, sondern als feste Bestände, nicht in ihrem Leben, sondern in ihrem Tod" [Engels 1972, S.20]

Ein dieser Arbeitsweise verhafteter Unterricht bleibt - aus fachwissenschaftlicher Sicht - letztlich folgenlos; hinter einer Fassade verbalen Wissensgutes lebt die "ursprüngliche kindliche Gedankenwelt" ungestört weiter [Zietz 1955, S. 14] (siehe auch Kapitel 6).

5. WIRKUNGEN DES NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHTS

"Was darf es daher Wunder nehmen, daß der Lehrer, wenn er seinen chemischen Unterricht beginnt, tabula rasa findet? Die erste Stunde in Chemie eröffnet allen Schülern die Pforte einer bis dahin unbekanntem Welt, mag dieser Zeitpunkt nun in das erste Kindesalter oder wie es jetzt geschieht, in die Zeit des reifenden Verstandes fallen. Schon hieraus allein erklärt sich zum größten Teil, warum die Chemie in Vergleich mit allen übrigen Unterrichtsgegenständen sehr ungünstig situiert ist und warum in Folge dessen bei der gegenwärtigen Methode der Erfolg des Schulunterrichts verhältnismäßig sehr unbedeutend ist" [Arendt 1868, S. 15].

Klagen über die mangelnde Effektivität des Chemieunterrichts und über Vermittlungsprobleme sind, wie obiges Zitat zeigt, keineswegs ausschließlich Erscheinungen der Gegenwart. Auch die Ansätze zur Behebung der beklagten Situation weisen gewisse Ähnlichkeiten über die Jahrzehnte hinweg auf.

So will Arendt mit Hilfe der in seinen methodischen Lehrgang integrierten Experimente eine chemische Erfahrungswelt bei den Schülern schaffen, hinzu kommen fakultative Schülerübungen in der Oberstufe (vgl. Abschnitt 4.2). Jedoch löst der nach methodischen Gesichtspunkten gegliederte Chemieunterricht mit seinen Demonstrationsexperimenten das Problem offenbar nicht befriedigend. So schreibt Scheid 1913:

"Jeder Lehrer kann bei zusammenfassenden Wiederholungen oft genug die entmutigende Beobachtung machen, wie die auffallendsten und eindringlichsten Tatsachen schon nach wenigen Wochen wieder dem Gedächtnis entschwunden sind und sich kaum noch als schwacher Schatten feststellen lassen, während die Schüler doch noch vor kurzem mit dem jetzt fehlenden Wissensstoff die Probe glänzend bestanden" [Scheid 1913, S. 78].

Eine mögliche Ursache beschreibt er wie folgt:

"In zahlreichen Fällen kann man feststellen, wie gerade die »fleißigsten« Schüler nicht dem Versuch selber verfolgen wollen, sondern schnell und insgeheim die Worte aufschreiben, welche der lehrer als hinweisende Begleitworte dazu spricht" [ebd., S. 100].

Bereits hier deutet sich an, daß die Lernenden ihre Aufmerksamkeit viel eher darauf richten, was ihrer Erfahrung nach zu einem späteren Zeitpunkt vom Lehrer als zu reproduzierendes Wissen verlangt werden wird.

Scheid versucht eine Verbesserung der Situation im wesentlichen dadurch zu erzielen, daß er vorschlägt, Demonstrationsexperimente möglichst weitgehend durch Schülerexperimente zu ersetzen. Durch eigene praktische Arbeit sollen die Schüler unmittelbaren Zugang zu der der Chemie eigenen Erfahrungswelt erlangen.

Daß die darauf folgende Art von Schülerexperimenten nicht die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt, wurde bereits in Abschnitt 4.2.5 gezeigt. Jedoch ist damit nur ein Teil der unter fachlichen Gesichtspunkten schlechten Bilanz des Chemieunterrichts zu erklären. 110 Jahre nach Arendts Verbesserungsvorschlägen muß das *Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN)* in Kiel feststellen:

"Was die Schüler bisher im Chemieunterricht lernen, ist vielfach für eine Auseinandersetzung mit der stofflichen Welt nur wenig hilfreich. Es hat zu wenig Bezug zu dieser und ist daher oft ein Fremdkörper in der Vorstellungswelt der Schüler. Als solcher wird er nach der Schulzeit rasch abgestoßen. Das chemische Unverständnis und die geringe Einschätzung des Chemieunterrichts bei Erwachsenen legen hiervon ein beredtes Zeugnis ab" [IPN 1979, S. 19].

Diese Feststellung wird von den verschiedensten Untersuchungen über Behaltensleistungen bestätigt. Danach wird von den Schülern durchschnittlich nur 50 - 60 % des Dargebotenen aufgenommen, der Rest schlicht überhört. Die relativ hohe Quote von 50 % ist weiter zu relativieren, weil ein erheblicher Teil des Unterrichtsstoffs bereits als Vorwissen verfügbar war [AG Soznat 1980, S. 14 f]. Außerdem wird mit zunehmendem zeitlichen Abstand von einer Präsentationsstunde die Menge der von den Lernenden reproduzierbaren Wissensfragmente zunehmend geringer. Nach mehreren Jahren kann nicht mehr signifikant unterschieden werden, ob überhaupt ein naturwissenschaftlicher Unterricht stattgefunden hat. Vielmehr gewinnen Vorstellungen von Natur Bedeutung, die bereits vor der Teilnahme am naturwissenschaftlichen Unterricht das Bewußtsein der Schüler bestimmt hatten [vgl. AG Soznat 1980, Arbinger 1980, S. 417, Daumenlang 1969, Schrewe u.a. 1983].

Arbinger kam bei einer 1978 an drei hessischen Gesamtschulen durchgeführten Untersuchung, bei der 531 Jungen und Mädchen der Klassen 7 bis 9 befragt wurden, zu dem Ergebnis, daß die Lernenden zwar durchgängig naturwissenschaftliche Erklärungsmuster verwenden, diese jedoch meist nicht die jeweiligen Sachverhalte richtig beschreiben [vgl. Arbinger 1980, S. 264]. Zudem bewegen sich die physikalisch richtigen Erklärungen auf einem "»naiven« vorwissenschaftlichen" Niveau [ebd., S. 269]. Arbinger kommt zu dem Schluß, dass der zugrundeliegende Physikunterricht zum „Aufbau tragfähiger und überdauernder kognitiver Strukturen“ wenig beiträgt [ebd., S. 279].

Auch der Abschlußbericht des niedersächsischen Kultusministers zur *Bestandsaufnahme --> Schulberatung, Klassen 7 - 10 an den Gymnasien*, kommt 1987 zu keinem positiven Ergebnis. Für das Fach Chemie heißt es dort:

"Trotz der guten äußeren Bedingungen für den Chemieunterricht wird die innere Situation des Faches eher negativ gesehen.

Es wird festgestellt, daß Lücken in den Grundkenntnissen und Unsicherheit in der Anwendung von Kenntnissen zugenommen haben, die Grundhaltung der

Schüler gegenüber dem Fach Chemie verändert sich in Klasse 9 und 10 zum Negativen: Während in der Jahrgangsstufe 8 ... ausgeprägtes Interesse und starke Neugier herrschen, ist spätestens in Klasse 10 häufig Desinteresse und z.T. Langeweile zu beobachten" [Der niedersächsische Kultusminister 1987, 10 f].

Eine mögliche Erklärung für den beobachtbaren fachlichen Mißerfolg des naturwissenschaftlichen Unterrichts liefert bereits J. Pukies: Danach wird der Tauschwert des zur Ware gewordenen naturwissenschaftlichen Wissens in den Köpfen der Lernenden zu ihrem eigentlichen Wert. Als Folge reduziert sich die Bedeutung dieses Wissens auf seine Prüfungsrelevanz; anschließend kann es vergessen werden [vgl. Pukies 1979, S. 12 f].

Auf der inhaltlichen Ebene entspricht diese Erklärung, daß die Lernenden keinen Bezug zu ihrem Leben erkennen können, insbesondere nicht zu den von ihnen hochbewerteten Möglichkeiten der Entwicklung sozialer Fähigkeiten und solcher, die für sie eine Teilnahme am gesellschaftlichen und beruflichen Leben ermöglichen [vgl. Brämer 1979 II, Mengerlinghausen u.a. 1980]. Es darf daher nicht verwundern, daß Chemie von den meisten Lernenden als Unterrichtsfach nicht sonderlich geschätzt wird.

Der Vergleich von Untersuchungen zur Beliebtheit einzelner Schulfächer zeigt dies seit dem Jahr 1905 immer wieder, wobei der Chemieunterricht von Mädchen stärker abgelehnt wird als von Jungen [Becker u.a. 1978, S. 455]. In der neugestalteten gymnasialen Oberstufe stimmen die Schüler entsprechend "mit den Füßen" ab.

Ein von der deutschen UNESCO-Kommission und vom IPN im April 1984 durchgeführtes Symposium bestätigt die negative Grundeinstellung der Lernenden mehrerer Industrienationen zum naturwissenschaftlichen Unterricht, wenn sie diesen mehrere Jahre erlebt hatten; allerdings wird ebenso über ein steigendes *außerschulisches* Interesse an naturwissenschaftlicher Bildung berichtet [vgl. Lehrke u.a. 1984, S. 1].

Das über Jahrzehnte konstant negative Urteil der Lernenden über den naturwissenschaftlichen Unterricht weist jedoch zeitlich zwei Ausnahmen auf und zwar Anfang der 20er und Ende der 60er Jahre dieses Jahrhunderts. Die rund 50 Jahre auseinanderliegenden eher positiven Äußerungen hängen vermutlich mit den damaligen thematischen und organisatorischen Reformbestrebungen für den naturwissenschaftlichen Unterricht zusammen; erinnert sei an den *Arbeitsunterricht* [vgl. Becker u.a., S. 456].

Die ausgesprochene Ineffektivität des naturwissenschaftlichen Unterrichts erscheint vielen bedauerlich, und es lassen sich immer wieder Vorschläge finden, im Rahmen der von Didaktikern wie Arendt, Scheid und Mittag vorgezeichneten Bahnen eine Verbesserung dieser Situation zu erreichen.

Es wäre jedoch naiv anzunehmen, daß dieser Unterricht gänzlich ohne Folgen bliebe. Aufgrund seiner Struktur und seiner Anlehnung an die Bezugswissenschaften erscheinen die Naturwissenschaften den Lernenden als ein Bereich des *entweder oder*, des *ja oder nein*, in dem es kein *wenn und aber* gibt. Sie präsentieren sich mit dem Anspruch, einen gewichtigen Bereich des gesellschaftlichen und individuellen Lebens vertreten und bestimmen zu können, und lassen Denken nur unter dem Primat ihrer eigenen absoluten Wahrheit zu. Darüberhinaus wird die Vorstellung nahegelegt, daß die gesellschaftliche Verwendung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse einer von der Wissenschaft selbst erzeugten Logik immanenter Sachzwänge gehorche und somit der politischen Diskussion nicht mehr zugänglich sei [vgl. Quitzow 1981, S. 284].

Außer acht bleibt dabei, daß Menschen über vielfältige Erfahrungen mit Naturwissenschaft und Technik verfügen. Allerdings

"sind (es) in hohem Maße *nicht wirklich eigene Erfahrungen*, die vor allem mit Naturwissenschaft und Technik gemacht werden. Vielfach handelt es sich um *Erfahrungen, die den Menschen quasi widerfahren*, die sie gar nicht bewußt oder absichtlich machen wollen, sondern um solche, die sie machen müssen, denen sie ausgesetzt sind, denen sie nicht ausweichen können, weil sie z.B. hier oder da geboren wurden, hier oder da leben, hier oder da arbeiten ...

Im allgemeinen wird viel zu wenig bedacht, und oft auch nicht zugegeben, daß Menschen keine isolierten chemischen oder physikalischen Erfahrungen machen, und daß die mit den hier gemeinten Sachverhalten gemachten Erfahrungen nicht einfach auf Physik oder Chemie zurückzuführen sind. Sie sind auch nicht auf »Natur« zurückzuführen. Sie gehen Natur nur insofern an, als Menschen erfahren oder bemerken, daß auf die sie umgebende Natur oder auf das, was sie für Natur halten, eingewirkt wird, daß diese verändert oder auch zerstört wird“ [Freise 1981, S. 40 f].

Vor diesem Hintergrund verfügen Schülerinnen und Schüler bereits vor Beginn des chemischen Unterrichts über mannigfaltige *eigene* Vorstellungen und Erklärungsmuster für Vorgänge ihrer Alltagswelt. Wie insbesondere die Untersuchungen von H. Pfundt zeigen, versuchen die Lernenden naturwissenschaftliche Erklärungsmuster in ihr

eigenes, bisher für ihre Bedürfnisse arbeitsfähiges Gedankengebäude bzw. Weltbild zu integrieren [vgl. Pfundt 1975, 1982], in der Regel mit geringem Erfolg. Da die Problematisierung dieses Vorgangs im Unterricht unterbleibt, lernen die Schüler gleichzeitig, bei Strafe schlechter Noten, nur die offiziell "erlaubten" Gedanken bzw. Theorien zu äußern, ohne jedoch nachhaltig von deren Richtigkeit überzeugt zu sein. Damit gilt - trotz deutlicher äußerer Veränderungen des Schulbetriebs - tendenziell noch immer O.F. Kanitz Charakterisierung aus dem Jahre 1921:

"Die heutige Schule trägt durchaus den Charakter der Autorität, daß heißt, das Kind darf sich das Wissen nicht erarbeiten, sondern es wird ihm fix und fertig übermittelt und das Kind muß glauben. Dies wäre schon gefährlich, wenn man dem Kinde lauter durchaus richtige Erkenntnisse beibringen würde, denn worauf es ankommt, das ist nicht das Wissen selbst, sondern die Art und Weise, wie man zu diesem Wissen kommt. Ein Kind, das immer nur lernt, ohne selbständig zu denken, vermag sich dann später über die Erscheinungen seines Lebens kein selbständiges Urteil zu bilden. Denn selbständig denken und urteilen, das will gelernt sein. Dem Kinde also nicht Gelegenheit geben, sich die Erkenntnisse zu erarbeiten, sondern ihm diese Erkenntnisse fertig hinzuwerfen, heißt es unfähig zu machen, selbständig zu denken" [Kanitz 1970, S. 185 f].

In neuerer Zeit bemerkt der Erziehungswissenschaftler R. Messner dazu:

"Es wäre - lern- und sozialpsychologisch gesehen - absurd, anzunehmen, daß sich am Ende einer langen Folge hinsichtlich ihrer Ziele und Inhalte fremdbestimmter schulischer Lernprozesse bei den Schülern plötzlich Selbständigkeit und Entscheidungsfähigkeit einstellen könnten" [Messner 1976, S. 14 f].

Inwieweit unter diesen Bedingungen Forderungen, wie sie u.a. im hessischen Kursstrukturplan Chemie formuliert sind, nämlich daß chemisches Sachverständnis Voraussetzung für die Mitwirkung an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen sei, etwa zum Schutze der Umwelt oder zur Verbesserung der Lebensbedingungen [vgl. Hessischer Kultusminister 1979, S. 4], muß zumindest in Frage gestellt werden. Inwieweit schließlich eine "kritische Auseinandersetzung mit den Auswirkungen der Chemie auf den Lebensbereich des Einzelnen und auf die Allgemeinheit ermöglicht" wird [ebd., S. 2], bleibt ebenfalls offen.

Die Untersuchungen von R. Brämer fördern noch Bedenklicheres zu Tage:

"Denn zu den wenigen, von der Schule vermittelten (oder doch verstärkten) Überzeugungen, die nachweislich alle Schüler gleichermaßen und unabhängig von ihren schulischen Leistungen teilen, gehören immerhin diejenigen von der

Schwierigkeit, zugleich aber auch von der gesellschaftlichen Notwendigkeit und Wichtigkeit der Naturwissenschaften" [Brämer 1978, S. 8].

Schülerinnen und Schüler werden so tendenziell daran gehindert, Ansatzpunkte zur Selbst- und Mitbestimmung gerade in diesen Lebensbereichen zu entwickeln. Die ideologische Wirkung eines solchen Unterrichts besteht letztlich darin, den Glauben zu erzeugen, daß nur Experten sachgerecht und angemessen entscheiden können, man selbst jedoch aufgrund fehlender Voraussetzungen dazu nicht in der Lage sei.

6. GRÜNDE FÜR DIE SPEZIFISCHEN PROBLEME DES CHEMIEUNTERRICHTS

"... ist spätestens in Klasse 10 häufig Desinteresse und z.T. Langeweile zu beobachten. Bei den Fachlehrern gibt es eine recht einheitliche Sicht der Gründe:

- Umfang der Rahmenrichtlinien und Anspruch auf ständige Verfügbarkeit des gesamten Unterrichtsstoffs lassen nicht genügend Zeit zum Üben und Anwenden.
- Der theoretische Anspruch des Faches führt dazu, daß Schülern in einem Alter, in dem für sie die materiellen, d.h. erfüllbaren und erfaßbaren Zusammenhänge im Vordergrund stehen, abstrakte Modelle vorgetragen werden müssen" [Der niedersächsische Kultusminister 1987].

Während der erste Teil des obigen Zitats auf ein allgemeines Problem jeglichen Fachunterrichts hinweist, führt der zweite Teil zu Problemen, die mit der Spezifität von chemischer Erfahrung zusammenhängen.

Wie im vorhergehenden Kapitel dargelegt, geht die Reduktion der chemischen Fachinhalte auf deren schulischen Tauschwert für die Lernenden einher mit einem Mangel von Anknüpfungsmöglichkeiten an bisherige Erfahrungen. Damit werden die zu Beginn des Chemieunterrichts durchaus vorhandenen Interessen am Fach bei vielen enttäuscht; schließlich ist es nur einer kleinen Zahl von spezifisch orientierten Schülern (und kaum Schülerinnen) möglich, einen Bezug zu diesen Inhalten herzustellen, gerade auch deshalb, weil nicht nur die inhaltlichen, sondern auch die experimentellen Ansätze

des Chemieunterrichts verschieden sind von den alltäglichen Erfahrungen außerhalb des Fachunterrichts.

Diesen mangelnden Bezug problematisiert Muckenfuß in seiner psychologisch-methodologischen Kritik am gängigen Schulexperiment, indem er feststellt:

"Können die Gegenstände, an denen das Lernen seinen Ausgang nehmen soll, nicht adäquat - d.h. im Kontext eines an vorhandene Schemata anschließenden Problemzusammenhanges - assimiliert werden, so muß sich das verhängnisvoll auf den Lernprozeß auswirken. Wirkliches Lernen mit dauerhaftem Ergebnis findet nach Piaget nur auf dem Weg der Äquilibration statt. Schulisches Lernen entspricht in der Regel nicht diesen Anforderungen. Es ist nach Piaget auch nicht wirkungsvoll: »Entweder verleiht das Kind dieser Erfahrung eine Form, in der es sie leicht assimilieren kann, und lernt folglich nicht, was beabsichtigt wurde, oder aber es lernt nur eine spezifische Reaktion, die keine Dauer oder Stabilität besitzt, die nicht verallgemeinert werden kann und sicherlich bald wieder verschwinden wird« [Muckenfuß 1979, S. 68].

Mit dieser auf lernpsychologische Modelle rekurrierenden Kritik geht Muckenfuß über die Feststellung hinaus, daß ein direktes *Anknüpfen* an die vordergründige Erfahrung bei chemischen Vorgängen nicht möglich ist (vgl. Abschnitt 4.2). Seine Orientierung am Lernenden läßt sich in drei miteinander verknüpfte Richtungen und bzgl. deren je eigene Vermittlungsprobleme entfalten; stichwortartig stehen dafür die folgenden Begriffe: *die vermittelte Erfahrung*, das *entwickelte kindliche Weltbild* sowie die daraus resultierenden *Erwartungen an den Chemieunterricht*.

6.1 DIE VERMITTELTE ERFAHRUNG

Die entwickelte Industriegesellschaft ist durch eine weitgehende Vergesellschaftung der Arbeit gekennzeichnet; ein Ende dieses Prozesses ist nicht abzusehen. Bedeutet dies für die im Erwerbsleben Stehenden eine sich tendenziell verstärkende Entfremdung von Produkt und Prozeß ihrer Tätigkeit, so hat dies auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht weitreichende Folgen: die Lernenden sind in der Regel nicht mehr in der Lage, unmittelbare Erfahrungen, z.B. mit Produktionsprozessen, zu sammeln. Aussagen wie die folgende sind für heutige Kinder und Jugendliche kaum vorstellbar:

"Bei einem nahen Seifensieder sah ich das Seifenkochen und lernte, was der »Kern« und das »Schleifen« sei, und wie man weiße Seife mache...; in allen Werkstätten der Gerber und Färber, der Schmiede und Messinggießer war ich zu Hause und jeder Handgriff mir geläufig; auf dem Markte in Darmstadt sah ich einem herumziehenden Händler ab, wie er Knallsilber zu seinen Knallerbsen machte" [Liebig 1890, S. 819].

Die gegenwärtige Entwicklung läßt erwarten, daß die Zahl der unmittelbar erfahrbaren Vorgänge weiterhin abnehmen wird. Durch die anhaltende Vergesellschaftung der Arbeit bei gleichzeitiger Konzentration des Produktionsprozesses wird es für Lehrende wie Lernende zunehmend schwieriger werden, bestimmte Produktionsverfahren in einer Region überhaupt ausfindig zu machen; (womit nicht gesagt werden soll, daß Betriebsbesichtigungen den unmittelbaren Erfahrungsmangel angemessen ausgleichen können). Den meisten Schülerinnen und Schülern ist noch nicht einmal der Arbeitsplatz der Eltern aus eigener Anschauung bekannt. Ihnen bleiben nur die Erzählungen von Eltern und Bekannten bzw. Berichte in den Massenmedien wie zum Beispiel *Die Sendung mit der Maus*.

Der Mangel an direkter Erfahrung erstreckt sich auch auf die Stoffe, mit denen die Lernenden im traditionellen Chemieunterricht konfrontiert werden. Einerseits sind die in der Schule verwandten Chemikalien die Reinstoffe der Laborpraxis. Mit Reinstoffen haben Schüler jedoch selten zu tun; ihre Alltagswelt ist vielmehr durch das Vorhandensein von auf den jeweiligen Verwendungszweck zugerichteten Stoffgemischen gekennzeichnet. Andererseits werden auch in den chemischen (Industrie-)Labors mehr und mehr konfektionierte Stoffgemische eingesetzt, z.B. Lösungsmittelgemische, spezifische Katalysatoren usw.; jedoch entzieht sich dieser Ausschnitt der realen Welt dem Erfahrungsbereich der Lernenden ebenso wie der einer Gießerei, Weberei oder einer Verwaltung.

Um die rasanten Veränderungen festzustellen, bedarf es jedoch keineswegs des Rückgriffs auf das Beispiel aus Liebig's Leben. Jahrhundertlang wurde zum Mauerbau Kalkmörtel verwendet. Die dabei auftretenden Prozesse des Kalklöschens und anschließenden Abbindens waren für die Lernenden direkt beobachtbar. Auch die u.U. zur Beschleunigung der Reaktion verwandten Koksfeuer, das Trockenwohnen bzw. das entsprechend lange Leerstehen-Lassen der Häuser boten Ansatzpunkte für den Chemie- bzw. Naturlehreunterricht. Entsprechende Kapitel sind in fast allen Volks- und Realschulbüchern zu finden [z.B. Paust 1895, S. 23 f, Senner 1922, S. 133 ff, Kamp 1941, S. 163 ff, Plöttner 1947, S. 68 f, Haferkorn ca. 1950, S. 40 f, Blumenthal 1951, S. 5 ff,

Nimmerrichts u.a. 1959, S. 30 f, Halberstadt u.a. 1942, S. 65 ff, 1962, S. 93 ff, Häusler 1971, S. 127, Grothe 1976, S. 88]. Eine ausführliche Unterrichtsbeschreibung zu diesem Thema stammt aus einer Stadtschule des Jahres 1948 [Künzler u.a. 1952, S. 98 ff]. An ihr wird die Veränderung in den Erfahrungsmöglichkeiten der Lernenden deutlich, wobei die besondere Situation des Wiederaufbaus eine eher untergeordnete Rolle spielt: Auf heutigen Baustellen wird in der Regel kein Branntkalk mehr verwendet. Selbst das Mischen eines Zementmörtels ist seit Ende der 60er Jahre nur noch äußerst selten beobachtbar; er wurde vom Fertigbeton verdrängt. Neben den verschwundenen Erfahrungsmöglichkeiten auf der technischen Ebene ist außerdem der Zugang zu Baustellen für die heutigen Kinder und Jugendlichen viel schwieriger geworden. Die Abschirmung durch z.B. Bauzäune bzw. durchgesetzte Verbote ist wesentlich umfassender als noch vor 20 Jahren¹⁾.

Vor diesem Hintergrund hat z.B. das Kapitel *Kalk und einige Stoffe, die sich aus Kalk herstellen lassen* des IPN-Lehrgangs *Stoffe und Stoffumbildungen* [IPN 1979, S. 17 - 50] für die Lernenden einen anderen Stellenwert als die Ausführungen in älteren Lehrbüchern. Konsequenterweise knüpfen die IPN-Autoren nicht beim alltäglichen Hausbau an. Die Prozesse des Kalkbrennens, -lösens und -abbindens stehen vielmehr als *das* Beispiel für die Veränderung von Stoffen durch experimentelles Vorgehen. Bemerkenswert dabei ist, daß nicht der Gesamtprozeß zum Ausgangspunkt genommen wird, sondern daß die Teilprozesse nacheinander abgehandelt werden; die damit einhergehende Zerstückelung zeigt sich in Abschnitten wie der *Bestimmung der Dichte von Kalk, der fein zerteilt vorliegt* [ebd., S. 46 ff].

Damit steht dieses Curriculum in der fachorientierten Unterrichtstradition, bei der Kalkstein in der Regel im Rahmen des Kapitels *Kohlensäure* (in seiner doppelten Bedeutung) behandelt wird und von dieser Position aus eher beiläufig auf seine Verwendbarkeit im Bereich der Bauwirtschaft hingewiesen wird [vgl. z.B. Levin u.a. 1909, S. 84 f, Scheid 1928 I, S. 75 ff, Oberkommando der Wehrmacht 1943, S. 210 ff, Winderlich u.a. 1957, S. 95 ff, Lüthje u.a. 1956, S. 77 ff, 1971, S. 77 ff, 1981, S. 215 ff, Henniger u.a. 1954, S. 89 ff, 1971, S. 95 ff, Cuny 1965, S. 50 ff, 1972, S. 63 ff, Kemper u.a. 1973, S. 167 ff, Ludwig u.a. 1975, S. 158 ff, Christen 1981, S. 126 ff, Keller u.a. 1982 ff].

¹⁾ Daß dies auch und gerade eine Folge der Unfallgefahren ist - die durch die gestiegene Produktivität für Baustellenfremde bestimmt nicht verringert wurden - ist für die Betrachtung der (möglichen) Erfahrungen, die die Lernenden in den Unterricht einbringen von sekundärer Bedeutung.

Ein solches Vorgehen kann kaum die Bezeichnung *vermittelte Erfahrung* für sich reklamieren; vielmehr stellt es für die Lernenden eine *eigenständige Erfahrung*, die des Unterrichts²⁾, unabhängig von ihren bisherigen (Alltags-)Erfahrungen, dar. Auf diese Weise erhält der jeweilige Inhalt nur eine Bedeutung innerhalb der Institution Schule und verliert gleichzeitig seine Bedeutung für das übrige Leben. Damit wird **das** zentrale Erfahrungsfeld, aus dem die Lernenden ihr Interesse für bestimmte Inhalte ableiten, systematisch ausgeblendet [vgl. Just 1988, S. 188 f].

Wie stark die Schulgebundenheit einer so gemachten Erfahrung ist, wird an der Tatsache deutlich, daß das mögliche aktuelle Interesse der Schüler an einem Sachgebiet keineswegs gleichbedeutend ist mit dem Interesse am entsprechenden Unterrichtsfach [vgl. Todt 1977, S. 222]. Die Schulgebundenheit der gegenwärtigen Inhalte des naturwissenschaftlichen Unterrichts wird - über die angeführte Interessendifferenzierung hinaus - auch durch deren mangelhafte Verankerung im Gedächtnis der Lernenden einerseits (vgl. Kapitel 5), andererseits durch die langfristig nicht feststellbare Überwindung ihres ursprünglichen vorwissenschaftlichen Weltbildes (vgl. unten) belegt.

Eng verknüpft mit dem mittelbaren Zugang ist die Glaubwürdigkeit des Vermittlers, des Lehrers. Für die Lernenden steht dieser in Konkurrenz mit anderen Vermittlern, wie Freunden, Bekannten, Verwandten, Rundfunk, Fernsehen und Zeitschriften. Welchem Informanten er glauben soll, kann der einzelne nur aufgrund seiner Erfahrungen entscheiden. Um so mehr ist er darauf angewiesen, sich Instrumentarien anzueignen bzw. zu entwickeln, mit deren Hilfe er in die Lage versetzt wird, Informationen auf Schlüssigkeit zu überprüfen. Dies setzt aber gerade eine kritische Auseinandersetzung bereits mit den schulisch vermittelten Inhalten voraus. Es versteht sich von selbst, daß hierzu auch die Hinterfragung der eigenen unmittelbaren Wahrnehmung gehört; denn die Einordnung einer neuen Information bzw. Erfahrung hängt insbesondere vom eigenen Weltbild und den damit einhergehenden Assimilationsmöglichkeiten ab [vgl. auch Muckenfuß 1979, S. 68]. Daß hierbei die jeweilige Biographie und die jeweilige Lebensrealität in all ihrer Komplexität und Vermitteltheit bestimmende Faktoren sind, wird z.B. daran deutlich, daß Kinder zur Erklärung des *Schwimmens* ihre

²⁾ Der "Anschluß" an die Ansicht von Arendt ist unverkennbar (vgl. Kapitel 4).

Auffassung vom *Fliegen*, bei der Erklärung der *Stromversorgung* bzw. *Elektrizität* die *Gasversorgung* heranziehen [Zietz 1955, S. 51 - 55]. Gleichzeitig ist dies ein Hinweis darauf, daß die jeweils zunächst verwandten (kindlichen) Erklärungsmuster dem technologischen und gesellschaftlichen Wandel unterworfen sind. In jedem Fall heißt das, daß für die Lernenden *zuerst* plausibel erscheinende und *zuerst* kennengelernte Erklärungsmuster eine hohe Erklärungsmächtigkeit besitzen. Von Aufschnaiter formuliert, unter Bezugnahme auf eine ganz ähnliche Analyse kindlichen Denkens und Lernens und vor dem Hintergrund des Konzepts der "subjektiven Erfahrungsbereiche (SEB)" von Bauersfeld [vgl. Bauersfeld 1983], für den Physikunterricht, daß, selbst wenn es dem Lehrer

"gelungen sein sollte, bei seinen Schülern die Entwicklung von SEB's zu Ausschnitten physikalischer Realität anzubahnen mit den für SEB's typischen Elementen wie Sinneszuschreibungen, Sprache, Handlungsmöglichkeiten, verfügbaren Routinen, Bedeutungen für das Ich, usw., so müssen sich diese SEB's bei jeder Aufgabe in Konkurrenz zu den mächtigen Vorgängern (die die Schülervorverständnisse der Alltagswelt beherbergen) bewähren und werden eben häufig den Zuschlag zur Lösung der Aufgabe nicht erhalten" [Aufschnaiter 1986, S. 10].

Denn, so Aufschnaiter, "zunächst wird die Lösung physikalischer Aufgaben den je zur Verfügung stehenden SEB's der Alltagswelt zugewiesen" [ebd.].

6.2 DAS ENTWICKELTE KINDLICHE WELTBILD

Das entwickelte kindliche Weltbild³⁾ ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht insofern von grundsätzlicher Bedeutung, als sich gezeigt hat, daß die jeweiligen Erklärungsmuster auch noch von Erwachsenen verwendet werden. In der Folge bedeutet das, daß die kindlichen Theorien nicht ausschließlich vom Kind selbst entwickelt

³ Unter "entwickeltem kindlichen Weltbild" ist hier der Entwicklungsabschnitt unmittelbar vor Überwindung des Denkens im Kausalzirkel zu verstehen; er wird von Zietz mit dem 14. Lebensjahr angegeben [Zietz 1955, S. 58]. Dies weicht erheblich von den Angaben Piagets ab, auch sind die Angaben anderer Autoren in diesem Punkt nicht einheitlich. Für das weitere Vorgehen und den Sachverhalt an sich ist dies jedoch ohne Bedeutung, da der Chemieunterricht in der Regel erst nach diesem Alter beginnt.

werden, sondern vielmehr die Auffassungen bzw. Weltansichten von Erwachsenen aus ihrem sozialen Umfeld widerspiegeln [vgl. Daumenlang 1969, S. 175 ff.]. Wegen der weiter oben dargestellten relativen Wirkungslosigkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts (vgl. Kapitel 5) wird diese Reproduktion des kindlichen Weltbildes auch durch die Schule nicht unterbrochen.

Als Charakteristika des entwickelten kindlichen Weltbildes gelten: das *Denken in Substanzbegriffen*, das *Denken in dynamistischen Begriffen*, das *Denken in Analogien* und das *Kausalzirkeldenken*. Ich halte mich dabei im wesentlichen an die Ausführungen von Zietz [1955]⁴⁾, die die seither eingetretenen Veränderungen in unserer Alltagswelt in dem Maße deutlicher in Erscheinung treten lassen, wie sie aus dem alltäglichen Erklärungsrepertoire verschwunden sind⁵⁾.

Das *Denken in Substanzbegriffen* ist dadurch gekennzeichnet, daß *Kraft* für die Kinder selbst etwas Materielles ist oder den "Körpern als ein materielles Agens anhaftet" [ebd. S. 59]. Die Vielzahl der Erscheinungen wird möglichst widerspruchsfrei mit einigen wenigen grundlegenden Faktoren erklärt [vgl. ebd.]. Als ein Beispiel sei die kindliche Erklärung für die Wärmewirkung des elektrischen Stroms wiedergegeben:

"»Die Drähte sind so dünn, die Funken müssen sich hindurch zwängen und werden heiß.« - »Der Strom läuft ganz schnell durch den Draht und läuft sich heiß.«" [Zietz 1955, S. 65]

Die Stringenz des Erklärungsmusters wird daran deutlich, daß die meisten Kinder *Strom* für heiß halten und nur die Isolierung ein Anfassen der Stromkabel ermöglicht [ebd. S. 66].

4 Im übrigen weisen die Untersuchungen von Piaget [z.B. 1977], Banholzer [1936] und Zietz eine hohe Übereinstimmung in den von den Kindern gelieferten Erklärungsmustern auf.

5 Der weiter anzuführende Mangel dieser und ähnlicher Untersuchungen, in der Vorfernsehzeit durchgeführt worden zu sein und damit entsprechend geringen Bedeutungsgehalt für die heutige Zeit zu haben, ist m.E. für die jeweils speziellen Inhalte nicht so bedeutsam. Fernsehen hat vielmehr Einfluß auf die allgemeinen Lebensgewohnheiten und damit auch Lernbedingungen, z.B. wenn Schülerinnen und Schüler Montag morgens ersteinmal ihre Fernseh- bzw. Videoerlebnisse vom Wochenende austauschen müssen. Darüberhinaus ist die Wirkung von Fernsehen auf verschiedene Konsumenten nach den Untersuchungen von Sturm sehr verschieden: "»Kluge klüger« und »Dumme dümmer« [Hess. Nieders. Allgemeine vom 5.9.86]. »

Das *Denken in dynamistischen Begriffen* ist geprägt von der Ansicht der Kraft als einer energiegeladenen Substanz [vgl. ebd. S. 69]. Dies wird am Beispiel des Schwimmens deutlich:

"»Das Holz schwimmt, und der Stein versinkt, weil das Holz viel leichter ist für das Wasser. Es hat nicht genügend Kraft, während der Stein und das Eisen mehr Kraft haben und in das Wasser eindringen« [ebd. S. 71].

»Das Schiff schwimmt weil es innen hohl ist.« - »Sie (die Luft, R.G.) ist eingesperrt und will hinaus. Dadurch hebt sie das Schiff«. ... das Schiff müßte leichter sein als die Menge Wasser, »die senkrecht vom Schiff bis zum Grunde reicht« [ebd. S. 72 f].

Beim *Denken in Analogien* werden

"Vorgänge, die ihm (dem Kind, R.G.) verständlich erscheinen, weil es sie optisch durchschaut und praktisch bewältigen kann, ... als Modell, als anschauliches Bild auf andere Vorgänge übertragen, deren kausale Struktur es noch nicht ohne weiteres zu durchschauen vermag" [ebd. S. 75].

Wohlbemerkt handelt es sich hierbei um eine Übertragung bekannter Erklärungsmuster auf neue Sachverhalte, *nicht* um das Bilden von Analogieschlüssen.

"Am auffälligsten ist das Analogiedenken bei der Erklärung des *Fliegens der Flugzeuge*. Hier wird die Beziehung geradezu umgedreht: das Schwimmen wird nämlich oft in Analogie zum Fliegen erklärt ... Der Vorgang des Fliegens ist dem Kinde offenbar viel geläufiger ... und als konkret-mechanischer Prozeß unmittelbar einsichtig: das Flugzeug bewegt sich und preßt dabei die Luft unter sich zusammen, die es infolge dessen trägt. ... Die viel verwickelteren Vorgänge der Luftströmung sind dem Kinde natürlich nicht bekannt. Das Schwimmen mittels des *Archimedischen Prinzips* zu verstehen, fällt ihm sehr viel schwerer. Es ist einfacher, dabei auf das Fliegen zurückzugreifen und die Bewegung der Schiffe analog zu erklären: sie pressen Wasser unter sich zusammen, das sie dann trägt" [ebd. S. 78].

Das *Denken im Kausalzirkel* wird in folgender Erklärung von 12-jährigen zur Bewegung eines Balls deutlich:

"»Der Ball dreht sich in der Luft und schneidet die Luft auseinander. Dadurch hat er Platz bekommen. Die Luft klatscht hinter ihm zusammen und stößt ihn immer weiter« [ebd. S. 57].

Zwar gibt es Beispiele, wo Kinder in einem früheren Alter als 14 Jahren in der Lage sind, Kausalzusammenhänge richtig zu beschreiben. Diese Vorgänge sind jedoch dadurch gekennzeichnet, daß sie optisch überschaubar sind und daß die Möglichkeit des

Erkennens des Zusammenwirkens der Einzelteile aus ihrem Bewegungsablauf heraus besteht. So konnten 10-jährige die korrekte Funktionsbeschreibung eines Fahrrades angeben; beim Antrieb einer Dampflokomotive waren sie dazu jedoch nicht in der Lage [ebd. S.51]. Es ist den Kindern offenbar unverständlich, daß die großen, schweren Antriebsräder durch die dünne Kolben- und Pleuelstange angetrieben werden und nicht umgekehrt [ebd. S. 52].

6.3 OPTISCHE WAHRNEHMUNG UND KINDLICHE CHEMISCHE THEORIE

Die Arbeiten, die sich mit der optischen Wahrnehmung von chemischen Versuchen durch die Lernenden befassen, bestätigen die außerordentliche Bedeutung der optischen Erfassbarkeit von Vorgängen bzw. Aufbauten [Keune 1963, S. 675 ff, Schmidtkunz 1983, Sander 1984] ebenfalls. Die Art und Weise der Wahrnehmbarkeit bedingt die Bildung und Ausgestaltung von Theorien zur Beschreibung bzw. Erklärung des jeweiligen Vorgangs.

"Theorien über den Ursprung *chemischer Erscheinungen* bildet das Kind in der Tat spontan kaum. Der Grund ist leicht einzusehen: chemische Zusammenhänge sind der unmittelbaren Beobachtung noch weniger zugänglich als die meisten physikalischen Prozesse" [Zietz 1955, S. 96].

Die Eigenart selbst *einfacher* chemischer Reaktionen erlaubt es nicht, aus der unmittelbaren Anschauung heraus chemische Theorien zu entwickeln (vgl. Kapitel 4.2). Das IPN kommt aufgrund neuerer Untersuchungen zu demselben Ergebnis, das schon Arendt als prinzipielles Vermittlungsproblem des Chemieunterrichts benannte:

"Die meisten den Schülern bekannten chemischen Phänomene sind so beschaffen, daß sie die Deutungen, die die Chemie für sie entwickelt hat, eher verdecken als erschließen. Man denke zum Beispiel an die Phänomene, die sich bei Oxidationen beobachten lassen: Jedes Kind hat schon einmal vor Beginn des Chemieunterrichts beobachtet, wie das Wachs einer Kerze beim Verbrennen restlos verschwindet, wie Holzkoksstücke beim Verglühen immer kleiner werden und schließlich nur eine winzige Aschenportion zurückbleibt. Daß sich aus den Abgasen und aus der Asche (im Prinzip, R.G.) die ursprünglichen Stoffe wiedergewinnen lassen, können Kinder nie erfahren. Die Phänomene

lassen auch nicht erkennen, daß ein Gas zu den Anfangsstoffen hinzutritt. Die Schüler wissen zwar oft, daß Sauerstoff zum Verbrennen gebraucht wird. Aber sie betrachten ihn nicht als Umbildungspartner. Keines der Phänomene, die den Schülern zugänglich sind, kann zu der Erkenntnis führen, daß Verbrennungen und Verglühungen grundsätzlich umkehrbare Vorgänge sind, - umkehrbar in dem Sinne, daß die Anfangsstoffe zurückgewonnen werden können. Die beobachtbaren Phänomene zwingen geradezu die Vorstellung auf, daß die betrachteten Vorgänge in einer *endgültigen* Vernichtung der Stoffe bestehen" [IPN 1979, S. 21].

Dies bestätigt auch die eigene Erfahrung: Bei einer (experimentell) differenzierten Betrachtung des Verbrennungsvorgangs konnte ich in einem 8. Schuljahr erleben, daß die Lernenden diesen ähnlich der Phlogistontheorie erklärten. Dabei wurde z.B. die leichtere Brennbarkeit von Holzspänen gegenüber dicken Stücken konsequent mit der größeren Oberfläche begründet, die einen leichteren Austritt der *brennbaren Substanz* zulasse. Untersuchungsergebnisse verschiedener Autoren zeigen, daß es sich hierbei um ein gängiges Erklärungsmuster handelt [Zietz 1955, S. 97, Stückrath 1953, Pfundt 1982, S. 168 ff]. Auch wird dort bei genauer Analyse der kindlich-jugendlichen Weltansicht deutlich, daß es auch in anderen (stofflichen) Zusammenhängen zahlreiche Übereinstimmungen gibt mit den Mustern und Theorien historischer wissenschaftlicher Epochen [vgl. dieselben und Banholzer 1936, S. 58, Krause 1964, S. 10 ff].

Wie weit entfernt und wenig integriert selbst allgemein verbreitete Begriffe bzgl. kindlicher Theorien sind, wird daran deutlich,

"daß die Schüler auch heute noch im allgemeinen mit der *Vorstellung von einem kontinuierlichen Aufbau der Stoffe* - soweit diese homogen sind - in den Unterricht kommen. ... So stellen die Schüler meist nicht ernsthaft eine Verbindung her zwischen den Atomen, von denen sie haben reden hören, und den Stoffen, mit denen sie täglich umgehen. Der Eindruck, daß homogene Stoffe wie Metalle, Wasser, Luft, homogene Kunststoffe kontinuierlich mit Materie erfüllt sind, erschlägt jedes Wortwissen" [IPN 1979, S. 25].

Trotz dieser längst und hinreichend bekannten Sachverhalte findet im herkömmlichen Chemieunterricht ein Aufgreifen der auf dem entwickelten kindlichen Weltbild basierenden Theorien in der Regel ebensowenig statt wie ein Anknüpfen an dem Interesse der Schülerinnen und Schüler an der Erweiterung ihres bisherigen Weltbildes. Stattdessen werden sie mit Dingen konfrontiert, zu denen sie keinen Bezug haben. Indem für die Lernenden eine Assimilation dieser Inhalte nicht möglich ist und sie auch gleichzeitig über Noten hinaus keinen weiteren Gebrauchswert dieses Wissens erkennen können, unterbleibt ein dauerhafter Lernerfolg.

6.4 ERWARTUNGEN VON LERNENDEN AN DEN NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHT

"Unser Unterricht ist leider zu oft nur ein Antworten auf Fragen, die noch gar nicht gestellt sind, ein Abspeisen, wo ein herzhafter Hunger wartet. ... So kann es geschehen, daß Schüler, welche in die ersten Sätze der Mathematik eingeführt worden sind, nichts anderes mit ihnen anzufangen wissen, als daß sie ihren Gang dem Gedächtnis einprägen. Man hat ihnen nur gezeigt: so macht man das!" [Copei 1969, S. 112 f]

Einführungen in ein neues Schulfach nach der von F. Copei beschriebenen Weise stellen keineswegs die Ausnahme dar. Indem die Schülerinnen und Schüler so mit für sie neuen Inhalten konfrontiert werden, findet jedoch ein Bruch mit ihrer bisherigen Aneignungsweise der Welt statt. Auch für Chemie gilt, daß sie andere Fragen an das Fach haben als diejenigen, die ihnen dort von den Lehrenden präsentiert werden. Ein Anknüpfen an die Erwartungen der Lernenden wäre jedoch unabdingbar, wenn sie das *Neue* mit ihrem bisherigen Weltbild verknüpfen bzw. dieses verändern sollen.

Untersuchungen zeigen, daß das Schülerinteresse immer dann überdurchschnittlich groß ist, wenn eine Betroffenheit bezüglich der eigenen Gegenwart und Zukunft vorhanden ist [Mengerinhausen u.a. 1980, S. 61]. E. Todt und B. Händel kommen bei einer Umfrage unter 599 Gesamtschülern und 532 -schülerinnen der Klassenstufen 7 bis 10 zu dem Ergebnis, daß Alltagsbeispiele das stärkste Interesse bei Jungen hervorrufen; bei Mädchen trifft dies lediglich noch in der 7. Klassenstufe zu, ab der 9. Klasse treten dann Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Medizin, Haushalt und Spiel an ihre Stelle - ein Bereich der auch von Jungen geschätzt wird. [vgl. Todt u.a. 1988, S. 137 ff]. Die häufig festgestellten geschlechtsspezifischen Interessenunterschiede rühren hauptsächlich daher, daß bei Jungen in allen betrachteten Kontexten - angeführt von Anwendungen in der Technik - ein relativ hohes Interesse festgestellt werden kann, während es sich bei Mädchen auf die beiden oben genannten Bereiche beschränkt [vgl. ebd.].

Die Interessendominanz von Anwendungen im Alltag wird auch durch eine Untersuchung von H.P. Schier untermauert. Aufgrund der Befragung von 234 Realschülerinnen und -schülern stellt er fest, daß sie deutlich daran interessiert sind, Funktionsprinzipien technischer Geräte kennenzulernen. Ihr Interesse ist dabei deutlich stärker auf Gegenstände ihres Alltags (z.B. das Telefon) gerichtet als auf solche, mit denen sie nichts zu tun haben (z.B. Raketen) [vgl. Schier 1978, S. 100]. Hier reihen sich auch die Antworten von Schülerinnen und Schülern auf die wohl häufig gestellte Frage ein, wo denn überall Chemie vorkomme: In der Regel zählen die Lernenden dann eine ganze Reihe von Produkten aus ihrem Alltag auf. Aber gerade vor diesen Dingen wird die Laborarbeit aufgerichtet; letztere zwar häufig eine Voraussetzung für die Realisierung der entsprechenden Produkte, aber in ihnen selbst ist sie nicht mehr wiederzufinden.

Als prägnantes Beispiel für die Interessen und Einstellungen bzgl. Chemie und anderer Naturwissenschaften kann der Umweltbereich herangezogen werden. Dort sind die bisher bekannten Einstellungen von Schülerinnen und Schülern sehr differenziert. Braun befragte je 150 männliche, weibliche Haupt- und Gymnasialschüler (600 Personen), die zufällig an ostwestfälischen Schulen ausgewählt worden waren, mittels weitgehend standardisierter Fragebögen [Braun 1985, S. 463]. Er kommt zu dem Ergebnis, daß

"hohe persönliche Betroffenheit und ausgeprägte Verantwortlichkeit ... gepaart (sind) mit lückenhaften Kenntnissen und Verhaltensweisen, die überwiegend auf das Feld des eigenen umweltbewußten Verhaltens eingengt sind.

... Ohne Frage sind die Schüler durch die Umweltprobleme sehr stark bewegt, d.h. sie empfinden sie als bedrohlich, fühlen sich aber auch für ihre Lösung verantwortlich. ...

Weniger ermutigend sieht es bei den Kenntnissen aus: Zwar sind den Schülern einzelne - vor allem überregionale - Umweltprobleme bekannt (zum Zeitpunkt der Befragung waren das insbesondere der Atomunfall in Harrisburgh sowie der Giftmüllskandal in Hamburg), ansonsten überwiegen die negativen Eindrücke. ... Kaum einer, der den Zusammenhang zwischen zunehmender Güterproduktion und Verschärfung der Umweltkrise verbalisiert, ... Während 80% der befragten Schüler Vorschläge unterbreiten, die dem eigenen umweltbewußten Verhalten zuzuordnen sind (wie z.B. Lärm vermeiden, Altglas sammeln usw.), schlagen 40% umweltpolitische Aktionen vor ...

Innerhalb der Handlungsvariablen nehmen die Schüleraktivitäten vom eigenem umweltbewußtem Verhalten ... über das Informationsverhalten bis zur umweltpolitischen Aktion ab. ... Mit umweltbewußtem Verhalten verbindet also der Schüler die Maxime, sich im eigenen Lebensbereich umweltschonend und umwelterhaltend zu bewegen, was als notwendiger, in vielen Fällen jedoch auch als hinreichender Beitrag zur Lösung der Umweltprobleme angesehen wird" [ebd. S. 461 f].

Bei den so gearteten Interessen der Schülerinnen und Schüler gilt es anzusetzen, will man nicht a priori die im vorigen Kapitel beschriebenen Ergebnisse des Fachunterrichts erneut produzieren. Die Lernenden müssen die behandelten Probleme als die *ihrigen* betrachten und an ihrer Lösung interessiert sein [vgl. Zietz 1955, S. 66]. Allerdings kann dann die wissenschaftliche Fachsystematik nicht Gliederung und Inhalte des allgemeinbildenden Unterrichts bestimmen. Denn

"wer nicht in wissenschaftlichen Systemen denkt, für den ist es unnatürlich, mit der Demonstration einzelner Gesetze und Prinzipien zu beginnen und diese dann nachträglich auf die Erfahrung anzuwenden.

Der Weg muß vom *Komplexen zum Einzelnen* gehen und damit nicht nur dem Erfahrungsfortschritt des Kindes, sondern auch dem Gang der Forschung folgen, die ihre Probleme in isolierender und analysierender Betrachtung aus ursprünglichen Gesamterscheinungen herauslöste" [Zietz 1955, S. 93 f].

In der jüngeren Vergangenheit, besonders während der Phase der Bildungsreform in den 70er Jahren, wurden verschiedentlich Versuche unternommen, die rein fachsystematische Orientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts abzulösen durch andere, stärker realitätsbezogene Konzepte. Es hat sich jedoch gezeigt, daß solche Entwürfe immer dann unzulänglich bleiben, wenn sie die altersgemäßen Schülerinteressen und -erwartungen nicht berücksichtigen. Dies gilt z.B. für den Ansatz der Projektgruppe Integriertes Naturwissenschaftliches Curriculum (PINC).

Die Lernenden sind in diesem Konzept, das sich ausschließlich an den mit (groß-) technischen Stoffumwandlungen verbundenen Bereichen der gesellschaftlichen Arbeit orientiert [vgl. PINC 1978], lediglich Objekte, die die als richtig erkannten Inhalte zu lernen haben:

"Das vorrangige Ziel, nämlich die Vermittlung der wissenschaftlichen Grundlagen der heutigen Produktion, dient als hauptsächliches Kriterium für die Auswahl der Unterrichtsinhalte. Diejenigen Produktionsbereiche, welche auf Stoffumwandlungen basieren, liefern die primären Schwerpunkte des Unterrichts. Denn seit es die Chemie als Wissenschaft gibt, ist sie stets stark mit der Produktion verbunden und wurde - im Gegensatz zu Physik und Biologie - schon sehr früh Produktivkraft. Deswegen spiegelt der historische

Gang der chemischen Produktion weitgehend die Entwicklung der Wissenschaft Chemie wider und führt auf diese Weise zu einer fachlichen Systematik, die auch einer didaktischen Strukturierung zugrunde gelegt werden kann.

Für die Bedeutsamkeit eines mit Stoffumwandlung verbundenen Produktionsbereichs in der unterrichtlichen Behandlung ist immer der Rang des betreffenden Prozesses in der Gesamtheit der gesellschaftlichen Arbeit maßgebend" [ebd. 1978, S. 98]

Experimente sind in diesem Konzept "als »Praxis« als Einheit von Denken und planvollem Handeln ein Teilbereich gesellschaftlicher Arbeit". Sie begleiten, wenn immer möglich als Schülerexperimente, die jeweiligen Inhalte und bilden so die unmittelbare unterrichtliche Erfahrungsgrundlage, um durch deren Interpretation zu den naturwissenschaftlichen Ergebnissen zu gelangen [vgl. ebd. S. 85 f u. 102].

Durch die mit diesem Konzept verbundene Vernachlässigung der gegenwärtigen Interessen und Bedürfnisse der Lernenden zu Gunsten ihrer *objektiven Interessen* als zukünftige Arbeitnehmer ist es für sie zum einen schwer möglich, einen Bezug zwischen sich und den jeweiligen Inhalten und Unterrichtsgegenständen herzustellen⁶, zum anderen wird die Möglichkeit des Erkennens dieser Interessenlage durch die Lernenden dadurch konterkariert, daß sie vom Planungsprozeß des Unterrichtsgeschehens ausgeschlossen sind.

6.5 EXPERIMENTIEREN ALS ERFAHRUNGSERWEITERUNG

Die Gleichsetzung von Experiment und Erfahrung, wie am Ende des vorhergehenden Abschnitts aus einem grundlegenden PINC-Papier zitiert, führt zu einem drastisch verengten Erfahrungsbegriff. Eine ähnliche Verkürzung ist feststellbar etwa beim IPN-Lehrgang *Stoffe und Stoffumbildungen* und im Konzept der *Nuffield 0 level Chemie*. Wie umfassend dieser Begriff tatsächlich interpretiert werden müßte, in wissenschaftshistorischer und -theoretischer Bedeutung, ist bereits in Kapitel 3 dargestellt. Auch erscheint es wenig wahrscheinlich, daß durch Schülerexperimente *allein* ein Interesse für die jeweiligen naturwissenschaftlichen Inhalte erzeugt werden könne [vgl. Todt u.a. 1977, S. 222; Riekens 1982, S. 157; vgl. auch Kapitel 2].

⁶ Damit können auch die mit dem Experimentieren im Umterricht verbundenen Möglichkeiten zur bewußten Aneignung der umgebenden Realität nicht zum Tragen kommen (vgl. Kapitel 14).

Es gibt allerdings Hinweise darauf, daß ein produkt- und handlungsorientierter Unterricht in diesem Sinne wirksam wird [vgl. Weltner u.a. 1986, S. 167; Hahne 1984; Naumann 1980; Stäudel u.a. 1981, S. 133 ff; Stäudel 1986, S. 17 ff; George u.a. 1978].

Für die zuletzt genannten Ansätze gilt übereinstimmend, daß das experimentelle Vorgehen in der Regel die traditionellen Grenzen überschreitet. K. Hahne erläutert dies an einem Beispiel aus der Unterrichtseinheit *Energie* des CUNA-Projekts in Garbsen. Wegen der grundsätzlichen Bedeutung dieses Beispiels sei es im folgenden ausführlich zitiert:

Die gemeinsame Arbeit der Schülerinnen und Schüler einer 10. Klasse ging aus von der

"... Problemstellung: Mit welchen Energieformen, die in den Haushalten vorkommen, kann man am billigsten Tee kochen? Zusätzlich erhielten die Schüler einen Arbeitsbogen mit unterschiedlichen Meinungen und Werbebehauptungen der Energiekonzerne zur Heißwasserbereitung mit elektrischem Strom oder Erdgas. Wie kann man die völlig entgegengesetzten Behauptungen auf ihren Wahrheitsgehalt überprüfen? ...

Die experimentelle Ebene: Die Schüler erhitzen in Kleingruppen jeweils einen Liter Wasser bis zum Sieden, *um daraus Tee zu brühen* (Hervorhebung R.G.). Das Erhitzen geschah mit unterschiedlichen Energieformen und Geräten:

- 1000 Watt Tauchsieder mit elektrischem Strom
- 1000 Watt Heizplatte mit elektrischem Strom
- Bunsenbrenner mit Erdgas.

Die verbrauchten Energiemengen wurden mit Haushaltsstrom- und Gaszählern gemessen. Um die tatsächlichen Kosten für einen Liter heißes Wasser zu berechnen, mußten sich die Schüler mit den komplizierten Tarifen für Gas und Strom beschäftigen. Das Ergebnis: der Tauchsieder hatte zwar die geringste Energiemenge verbraucht, aber der Bunsenbrenner bereitet bei höherem Energieverbrauch billiger heißes Wasser.

Die Schüler berechneten anhand der verbrauchten Energiemengen und der gemessenen Temperaturerhöhung des Wassers den Wirkungsgrad der benutzten Energieumwandler. Hierbei schnitt der Tauchsieder am besten ab, gefolgt vom Bunsenbrenner und der Heizplatte. Ist damit bewiesen, daß elektrischer Strom am günstigsten zur Heißwasserbereitung ist? Keineswegs! Wir haben mit den Schülern das Problem auf mehreren Ebenen weiter verfolgt:

Die hauswirtschaftliche Ebene: Die Schüler errechneten die Kosten für die verbrauchten Mengen Strom und Gas und stellten fest: Gas ist zur Heißwasserbereitung für den Verbraucher immer noch am billigsten. Sie kamen von selbst darauf, daß die Gasausnutzung bei einem Haushaltsgasherd unter Verwendung geeigneter Kochtöpfe noch weiter erhöht werden dürfte.

Die ökologische Ebene: In dem Moment, in dem die Schüler die begrenzte Perspektive des Verbrauchs und der Kosten verließen, entdeckten sie den grundsätzlichen Unterschied der beiden konkurrierenden Energieträger Strom - Erdgas. ... Der günstige Wirkungsgrad des Tauchsieders mußte relativiert werden, daß für jede Einheit verbrauchten Stroms zwei Einheiten primärer Energien im Kraftwerk nutzlos verheizt wurden. Man kann Strom und Gas allein im Endverbrauch gar nicht vergleichen.

Die energiepolitische Ebene: Mit diesem Verständnis thermodynamischer Zusammenhänge gingen die Schüler an die Werbekampagnen der Stromfirmen für Elektrizitätsverbrauch im Haushalt heran. Die prognostizierten Zuwachsraten beim Strom sollen - dies erarbeiteten die Schüler - vor allem durch die Eroberung des Wärmemarktes ... erreicht werden. Dabei ist Strom eine so hochwertige Energieform, daß sie nur dort genutzt werden sollte, wo sie nicht durch minderwertigere Energieträger ersetzt werden kann, nämlich in der Elektronik, bei Maschinen und Lichterzeugung" [Hahne 1984, S. 181 ff].

Mit solcher Art experimentellen Vorgehens kann ein Teilbereich oft nur indirekt zugänglicher Dinge, Gegenstände oder Vorgänge für die Lernenden *begreifbar* gemacht werden. Voraussetzung ist, daß die Lernenden die neuen Inhalte mit ihrem bisherigen Weltbild *verknüpfen* können. *Verknüpfen* heißt dabei nicht bloßes Integrieren, vielmehr ist damit ein Prozeß der Anpassung des bisherigen Weltbildes an neu gewonnene Erfahrungen und Erkenntnisse gemeint, in der Terminologie von Piaget also Assimilation und Akkommodation. Darüberhinaus meint *Verknüpfen* auch, daß den Lernenden dieser Vorgang bewußt ist, daß sie Zeit haben, sich handelnd, geistig und praktisch, damit auseinanderzusetzen. Die Bedeutung der Disponibilität von Versuchen formuliert Zietz bereits vor über 30 Jahren, indem er ausführt:

"Ich habe ... immer wieder feststellen können, daß schwierige Begriffe und Sachverhalte, die sonst schnell wieder vergessen wurden, erst auf diese Weise, wenn sie aus der Erörterung kindlicher Theorien entwickelt worden waren und kindliche Fragen und tastende Versuche zum Abschluß brachten, zum wirklichen geistigen Besitz wurden und hafteten" [Zietz 1955, S. 91].

In der herkömmlichen Unterrichtspraxis wird auf der experimentellen Ebene jedoch keineswegs auf all die Versuche verzichtet, die die Lernenden mit einer Erkenntnis überfallen, nach der sie weder gefragt haben noch überhaupt fragen können [vgl. Stückrath 1953, S. 409]. Die gängigen Schulversuche sind nicht disponibel, so daß die Lernenden ihre Erfahrungen und ihre Theorien einbringen könnten; Konstruktion und Anwendung sind im Gegenteil von vornherein festgelegt. Die klassischen Versuchsergebnisse sind als eindeutig konzipiert, für Lehrende wie Lernende steht der Nachvollzug auf der Tagesordnung und nicht die Klärung eines Sachverhalts. Die Versuche "funktionieren" immer, falls nicht, kann der Lehrer zumindest angeben, warum es ausgerechnet heute nicht geklappt hat.

Offene Fragen erfordern dagegen u.U. die Durchführung mehrerer Versuche bzw. deren Variation. Notwendige Voraussetzung für die Einbeziehung der Lernenden bei Konstruktion und Einsatz von Experimenten ist ein möglichst weitgehendes Verständnis der jeweils verwandten Versuchsgeräte, die Gründe für deren Verwendung und den Einsatz bestimmter Materialien bzw. Chemikalien.

Die hergebrachten Schulversuche verzichten weiterhin auf die naheliegende Möglichkeit, an die Alltagserfahrungen von Schülerinnen und Schülern anzuknüpfen: Dies wäre leicht erreichbar, wenn Versuche statt mit Labormitteln mit Haushaltsgeräten und -chemikalien durchgeführt würden [Liesering u.a. 1987].

6.6 ANKNÜPFEN AN BISHERIGE ERFAHRUNGEN

Dem Anliegen dieser Arbeit entsprechend, die Möglichkeit von *experimentellen Zugängen zur Realität* zu untersuchen, reicht es nicht aus, die herrschende Praxis des Experimentierens in der Schule unter immanenten kritischen Gesichtspunkten zu analysieren. Um die qualitativen Defizite, besonders hinsichtlich des Erfahrungsbezugs, sichtbar werden zu lassen, sind daher in den folgenden Abschnitten positive Ansätze und Erfahrungen einbezogen.

6.6.1 WIDERSPRÜCHE ZU BISHERIGEN ERFAHRUNGEN

Anknüpfen an die bisherigen Erfahrungen der Lernenden bedeutet nicht, auf der bereits vorhandenen Erfahrungsebene stehenzubleiben. Dies liegt auch nicht im Interesse der Schülerinnen und Schüler, wie deren zu Beginn des Unterrichts geäußerte Wünsche belegen.

Jedoch bieten nicht die "reibungsgelosen" Experimente Anlaß zum Lernen, sondern solche Situationen, in denen für die Lernenden Widersprüche zu ihren bisherigen Erfahrungen und Theorien sichtbar werden. G. Freise führt dazu aus:

"Die Wirksamkeit des Lernens an Widersprüchen festzustellen - wenn man über das eigene Lernen nachdenkt -, ist eigentlich banal: Wir Erwachsenen kommen kaum auf den Gedanken, irgendetwas zu lernen, nur weil jemand es uns einfach so ansinnt. Aber dann, wenn uns »etwas auffällt« etwas im Widerspruch steht zu bisherigen Erfahrungen, zum bisherigen Wissen, etwas uns deshalb betroffen macht, weil es unserem bisherigen Denken zuwiderläuft - immer dann »gehen wir einer Sache nach« d.h. wir lernen, wir lernen Neues dazu, wir lernen um. Genau die gleichen Bedingungen liegen beim Lernen an Widersprüchen vor, das in Bielefeld und Garbsen passierte! Daß demgegenüber das Lernen im Fachunterricht, auch der naturwissenschaftlichen »ächer, so wenig erfolgreich ist, liegt sicher zum größten Teil daran, daß die Schüler in diesem Unterricht keine Widersprüche zu erkennen vermögen und daher die auftretenden Fragen nicht (oder jedenfalls »jetzt« nicht) als eigene an Widersprüchen festzumachende Fragen anerkennen können“ [CUNA 1981, S. 28 f].

Mit Widersprüchen sind hier nicht nur staunenswerte Phänomene im Wagenschein'schen Sinn gemeint; vielmehr handelt es sich z.B. um Experimente und deren Ergebnisse, die im Widerspruch zu den bei den Lernenden vorhandenen *Vorstellungen und Begriffen* und den sich daraus ergebenden *Erwartungen* stehen [vgl. Rossa 1959, S. 82]. In dem Maße, wie chemische Stoffe nicht nur Naturwissenschaft repräsentieren, sondern auch Produkt und Teil gesellschaftlicher Praxis sind, können die daraus erwachsenden Widersprüche - z.B. zwischen Konsum und Ökologie - für den Lernprozeß nutzbar gemacht werden.

K. Hahne [1984] konnte zeigen, daß die Lernenden gerade durch das Auffinden von Widersprüchen zu besonders intensiven und nachhaltigen Auseinandersetzungen mit dem jeweiligen Lerngegenstand veranlaßt und daß *fruchtbare Lernprozesse* initiiert werden. Mit der Einbeziehung von Widersprüchen, die dem gesellschaftlichen Umfeld

der Naturwissenschaften entstammen, wird gleichzeitig die *Dimension des Daseins in seiner Verflochtenheit* [Freise] widerspiegelt. Von den vielfältigen Faktoren, die hier bedeutsam sein können, nennt Hahne im Zusammenhang mit seinen Untersuchungen, die sich hauptsächlich auf das CUNA-Projekt in Garbsen stützen, die folgenden:

"- Psychologische Faktoren, die mit ... kognitiver Dissonanz zu tun haben. Einen solchen Widerspruch repräsentiert etwa der Gesundheitsreferent, der raucht, obwohl er über die Gefahren des Rauchens besonders gut informiert ist.

...

- Interessensabhängigkeit von »Experten« z.B. der Lärm *ex per te*, der die Gefahr verniedlicht»- Kontroverse Auffassungen, z.B. technische Innovationen nützen den Arbeitern bzw. den Unternehmern. Oder: Ist es sinnvoller Strom oder Gas zur Heißwasserbereitung zu verwenden?

- Betroffenheit durch das unerwartete Auffinden von Elend bzw. Ungerechtigkeit in unserem Wohlfahrtsstaat ..." [Hahne 1984, S. 185].

6.6.2 ORTE FRUCHTBARER LERNPROZESSE

Betrachtet man die genannten Faktoren genauer, so ist festzustellen, daß sie jeweils eine situative Komponente enthalten.

"Auf einer Wandzeitung haben Erwachsene folgende Antworten auf die Fragen gegeben »In welchen Situationen habe ich erfolgreich gelernt?« und »In welchen Situationen kann ich heute gut lernen?« »Handelnd lernen (z.B. im Streik) --- Um zu überleben (Anpassung) --- Wo ich Anerkennung finde --- Ich muß meine Erfahrungen einbringen bzw. anhängen können --- Kollektives lernen --- Wo ich positive Veränderungen sehen kann --- Aus eigenem Interesse --- Aus Neugier --- Nach eigenem Lehrplan (außerhalb der Institution Schule) --- anderen etwas beibringen müssen, was man selbst noch nicht kann -- Um in jeder Beziehung frei zu sein --- Spontan, in einer befreiten Situation -- In Ernstsituationen --- Aus Situationen Dritter etwas lernen --- Wo ein Produkt entsteht --- Aus Angst vor der Prüfung --- Wenn ich verliebt bin --- Korrektur: Ich habe etwas falsch gemacht --- Aus Spaß/Freude --- Anschauungsbezogen --- Durch Nachmachen --- Durch Mitmachen --- Wo ich das Erlernte in Frage stellen kann --- Durch Aktionen --- Aus Wut und Zorn --- Wenn mich ein Thema, eine Aufgabe reizt und interessiert --- Wenn man sich die

Lernumgebung aussuchen darf --- Ich muß nachfragen können --- Unter Erfolgsdruck (das Maul zu vollgenommen) --- Um Täuschen zu lernen --- Was die Eltern und Lehrer nicht wollten --- Im Kochkurs, weil ich was nützliches lernte --- Bei kollektiven Aktionen durch Selbstorganisation --- Wo ich Fertigkeiten aufgrund von eigenen Interessen erwerben konnte (Autofahren als Freiheitszuwachs) --- Leistungsansporn aufgrund von Frustrationen --- Durch Unterhaltung (soziale Kommunikation) --- Durch Träume --- Durch Erinnerung --- In einer aufgeknackten Situation" [Meuler 1977, S. 235 f].

Auffällig bei dieser Auflistung ist das Überwiegen interessenbezogener, angstfreier, kommunikativer Lernsituationen, insbesondere die offenbar immer als notwendig erachtete Betroffenheit der eigenen Person⁷). Wie oben gezeigt wurde, sind gerade schulische Lernprozesse durch Ausblenden von Betroffenheit gekennzeichnet, bei gleichzeitiger Reduktion des Lernens auf ein solches um der Noten willen. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn der Lernort Schule in obiger Aufzählung keine Rolle spielt. Darüberhinaus weisen diese Selbstzeugnisse von Erwachsenen auf eher komplexe Situationen als eine Voraussetzung für erfolgreiche Lernprozesse hin.

Komplexe Situationen und Überwinden des Lernorts Schule finden sich z.B. bereits in der Beschreibung des *Thypusprojekts* durch E. Collings [vgl. Dewey 1935, S.180 ff]. In jüngster Zeit bestätigen die Arbeiten von Nauman [1980] und Hahne [1984] die außerordentliche Bedeutung der - zumindest partiellen - Überwindung des Lernorts Schule und der Aufnahme alltagsbezogener und damit komplexer Inhalte in den Unterricht.

⁷ Aufgrund der der Institution Schule eigenen Rahmenbedingungen, wie z.B. Ordnungsfunktion (Kapitel 2) und Schulpflicht sowie der Tatsache, daß Schule für die Jugendlichen bisher ein wesentlicher Teil ihres Lebens war und ist [vgl. auch Helsper 1986, S. 87 ff; Mehler 1985, S. 496 u. 499 f], können die oben genannten Orte fruchtbarer Lernprozesse nur eine Hilfe bei der Konstruktion von Lernsequenzen und der Auswahl von Inhalten, nicht jedoch eine für die Schule unbedingt gültige Orientierung sein.

6.6.3 EXEMPLARISCHES LERNEN - WIDER DIE BELIEBIGKEIT DER INHALTE

Das Aufgreifen der alltäglichen Erfahrungen und Betroffenheit verbietet zwangsläufig eine ausschließliche Orientierung an den jeweiligen Bezugswissenschaften, denn sonst

"schneidet man ... die Menschen in den Lernprozessen von ihren Erfahrungen ab, die sie täglich machen und die ihnen ganz und gar nicht beliebig sind. Man nimmt diese Menschen nicht ernst mit ihren widersprüchlichen und unverarbeiteten Erfahrungen. Schulisches Leben läuft neben ihrem »eigentlichen« Leben her, in dem sie ihre Identität suchen; es bleibt wirkungslos, weil es ihnen nicht bei ihrer Identitätsuche hilft, sondern sie für bliebige Zwecke ausbildet, die außerhalb ihrer selbst liegen" [Ingendahl 1983, nach Hipckem 1983, S. 45]

Dies bedeutet gleichzeitig, daß *eine Beliebigkeit der Inhalte und Unterrichtsgegenstände prinzipiell nicht gegeben ist*. Vielmehr ist es notwendig, *exemplarisch* Gegenstände und Inhalte des individuellen, kollektiven und gesellschaftlichen Alltags im Unterricht aufzugreifen und *dann* die Aspekte der jeweiligen Wissenschaft herauszugreifen, die für ihre Erklärung bzw. Bewältigung hilfreich sind.

Exemplarisches Lernen bedeutet dabei nicht Beliebigkeit der Inhalte oder Unterrichtsgegenstände, weder in fachlicher noch alltäglicher Hinsicht. Vielmehr ist nach O. Negt

"die exemplarische Methode ... ein Vorschlag gerade auch der Vermittlung von Erfahrungselementen, Problemen und Theorieprodukten. Sie ist nicht einfach eine Methode, die sich mit Einstiegsfällen oder gar mit dem Falldenken begnügt. Wenn man so will, kann man exemplarisches Lernen als eine Form aktiver Bewußtseinsbildung ansehen, die nach der Marxschen Methode der abnehmenden Abstraktion verfährt" [Negt 1978, S. 60].

Der so charakterisierte Lernprozeß muß - wie oben dargelegt - von einer konkreten, realistischen Situation ausgehen, die den Erfahrungen der Lernenden entspricht und in die sie ihr Vorwissen einbringen können. Damit

"- (wird) einmal ... die durch Schulerfahrungen geprägte Erwartungshaltung der Teilnehmer auf Berieselt-werden-ohne-zu-verstehen aufgelöst, und die Bereitschaft zu aktiver Beteiligung wächst.

- Zum anderen wird durch eine realistische, also auch widersprüchliche Ausgangssituation die Hoffnung auf rezepthafte »richtige« (im Gegensatz zu wegen mangelnder Faktenkenntnis »falscher«) Lösungen als illusorisch

deutlich und macht einer suchenden Handlungsbereitschaft Platz" [Naumann 1980, S. 91].

Auf diese Art und Weise ist sowohl ein anwendungs-, problem- und schülerorientiertes Lehren als auch ein wissenschaftsorientiertes Lernen möglich. Denn wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, zeichnet sich die naturwissenschaftliche Arbeitsweise ja gerade durch das Herauslösen eines Problems aus dem Gesamtzusammenhang aus; dabei kann das Experiment eine hervorragende Funktion im Sinne der Erfahrungserweiterung und der Entscheidungshilfe wahrnehmen.

Exemplarisch bedeutet auch, die jeweilige Region der Lernenden daraufhin zu untersuchen, welche Ereignisse, welche Techniken dort vorkommen bzw. vorkamen und inwieweit die Schüler davon betroffen sind. Dies können z.B. Naturvorgänge bzw. deren Veränderungen, Industrieproduktion, Landwirtschaft, spezifische Umwelt- oder Gesundheitsbelastungen, öffentlich besonders beachtete Vorfälle und Vorgänge sein.

"Den regionalen Aspekt zu bedenken heißt nicht, Unterricht im Sinne der alten »Heimatkunde« wieder erstehen zu lassen, sondern heißt, die in der »Region« auszumachenden existentiell bedeutsamen Sachverhalte als Anlaß für Unterrichtsprozesse aufzugreifen, in denen intellektuell anspruchsvolles Lernen mit persönlichen Erfahrungen, Anschauungen und Gefühlen der Schüler verbunden bleibt; Anlaß für Unterrichtsprozesse, die der Erhaltung oder Herstellung der Komplexität gesellschaftlichen Lebens dienen, die weder durch Lernen an isolierten (d.h. aus ihren Zusammenhängen herausgelösten) Inhalten noch durch allein beschreibende und gefühlsbetonte Erkundung der (Heimat-)Region vorstellbar und beurteilbar wird" [Freise 1986, S. 26].

Die exemplarische Methode wird insofern zum Auswahlverfahren für die jeweiligen Inhalte, als exemplarisch bedeutet:

- daß ein Transfer der kennengelernten und erfahrenen Denkmuster in andere naturwissenschaftliche Bereiche möglich ist, wobei die behandelten naturwissenschaftlichen Probleme mit den Naturerfahrungen der Lernenden in Einklang stehen (Wagenschein),
- daß die Lernenden im Lern- und Problemlösungsprozeß während des Unterrichts ihre Erfahrungen wiederfinden bzw. anwenden können *und* daß sie (nach dem Lehr-/Lernprozeß) die erfahrenen Denk- und Verhaltensmuster für ihre Lebenspraxis als anwendbar erkennen können müssen [vgl. auch Naumann 1980, S. 90].

In der Schule unterliegen die Wirkungen dieses Verfahrens insofern einer Einschränkung, als nicht davon ausgegangen werden kann, daß sich alle Lernenden im gleichen Maß von einem bestimmten Inhalt betroffen fühlen. Es gibt jedoch m.E. genügend Themen, deren objektive Relevanz für die Lernenden groß ist und die die Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler tangieren, beeinflussen, darin vorkommen. Einige seien hier beispielhaft angeführt:

Chemie in der Landwirtschaft - Chemie im Haushalt - Chemie und Nahrung - Luftverschmutzung - Umweltbelastung durch Müll - Gewässerbelastung - Energietechnologien - Medizin/Medikamente im Alltag - Biotechnologie - der Erdölkomplex - Kunststoffe - Alkohol und Alkoholismus - die Salzindustrie - Korrosion - Batterien und Akkumulatoren - Saurer Regen - ...

Die als günstig beschriebenen Voraussetzungen für fruchtbare Lernprozesse können allerdings prinzipiell nicht umfassend im Rahmen schulischer Bildung verwirklicht werden. Es ist immer nur ein gewisser Grad der Annäherung an die geforderten Idealbedingungen zu erreichen. Im wesentlichen sind dafür zwei Gründe zu nennen: Zum einen erzieht die Schule - aber nicht nur sie - bereits als Institution, unabhängig und z.T. sicher auch im Widerspruch zu ihren jeweiligen Inhalten und Lehrzielen [vgl. Bernfeld 1925]. Zum anderen, und dies hängt mit dem erstgenannten Grund eng zusammen, haben sich die Lernenden nicht freiwillig und aus Überzeugung für bestimmte Schulen und Fächer entschieden; sie sind es normalerweise nicht gewohnt, an der inhaltlichen Ausgestaltung des Unterrichts mitzuwirken.

7. DAS EXPERIMENT IN WISSENSCHAFT UND SCHULE - ZUSAMMENFASSUNG TEIL A -

Das Bild vom Experiment in der fachdidaktischen Literatur ist widersprüchlich: Einerseits wird das Experiment - sowohl als Unterrichtsgegenstand wie als Medium der Vermittlung - als zentrales Element des Schulfaches Chemie betrachtet, andererseits fehlt in den letzten Jahrzehnten eine Auseinandersetzung mit dem Schulexperiment fast völlig. Daß dieser Widerspruch nicht zufällig ist, wird deutlich, wenn man die tradierten Bedeutungszuschreibungen analysiert, die sich im Lauf der Zeit gewissermaßen zu einem Set von *Standardlegitimationsmustern* für Experimente im Chemieunterricht verdichtet haben und nahezu invariant geworden sind:

- Das Experiment sei allein deshalb notwendiger Bestandteil des Unterrichts, da es seit Galilei *das* tragende und charakteristische Moment im Erkenntnisprozeß der Bezugswissenschaft sei.
- Das Experiment sei zur Vermittlung chemischer Inhalte besonders angemessen.
- Das (Schüler-)Experiment sei besonders zur Ausbildung sogenannter Sekundärtugenden geeignet.
- Der Vorzug sei möglichst immer dem Schülerexperiment zu geben, da durch seinen Einsatz ein besserer Lernerfolg erreicht würde.

Der so entfaltete Begründungszusammenhang für das Experimentieren und das Experiment im naturwissenschaftlichen Unterricht ist nicht nur lückenhaft, sondern weist auch etliche Unstimmigkeiten auf. Insbesondere sind die dem Experiment zugeschriebenen Wirkungen auf die Lernenden in der Regel nur als Vermutungen bzw. Behauptungen zu charakterisieren; empirisch belegt ist wenig. Vollkommen außer acht bleiben Implikationen, die sich aus seinem Vorhandensein in der Institution Schule ergeben.

Die Lernenden werden explizit nur im Zusammenhang mit der Förderung der Ausbildung sogenannter Sekundärtugenden einbezogen. So sollen Experimente - vor allem Schülerexperimente - Ordnung, Sorgfalt, gleichmäßige Mitarbeit, Konzentrationsfähigkeit etc. fördern; die erwarteten Transferleistungen konnten jedoch noch nicht einmal für das Fach Mathematik nachgewiesen werden, dessen Vertreter entsprechende Wirkungen stets besonders für ihre Disziplin reklamiert hatten. Gewiß begünstigen solche Tugenden den Erwerb chemischer Fertigkeiten und Kenntnisse. Für den Umkehrschluß fehlen jedoch konkrete Belege.

Ebenso unbewiesen ist die Annahme, daß vermehrte Kontakte der Schülerinnen und Schüler untereinander während der Schülerversuche bestimmte soziale Lern- und Verhaltensweisen initiieren bzw. verstärken. Viel eher ist zu vermuten, daß Schülerexperimente von den Lernenden *legal* dazu benutzt werden, einen Teil der offiziellen Unterrichtsordnung außer Kraft zu setzen.

Die weiteren aufgeführten Begründungen für das Experimentieren im Unterricht werden aus zwei Richtungen erschüttert: von dem eher theoretischen Bezugspunkt des *wissenschaftlichen Forschungsprozesses* aus und der *Geschichte des Experiments*. Die auf den *Forschungsprozeß* bezogene Literaturlauswertung zeigt:

- Das Experiment ist älter als die modernen Naturwissenschaften.
- Das Experiment ist seit jeher gekennzeichnet als *Werkzeug*, mit dem der Mensch in die vorgegebene Wirklichkeit eingreift und diese dadurch verändert. Manipulationen werden zunächst durchgeführt, um einen bestimmten Effekt besser erkennen zu können (Aristoteles), um gleichzeitig eine Veränderung seiner selbst zu erreichen (Alchemisten), um die Verwertbarkeit bzw. Tragfähigkeit einer Theorie zu überprüfen (Galilei).
- Seit Galilei ist das Experiment *ein* konstitutiver Teil der Naturwissenschaften. Gleichwertig gehören dazu: die philosophische Spekulation, das Erdenken theoretischer Begriffe und die theoretische Arbeit.
- Bezogen auf eine Theorie ist das Experiment Wahrheitskriterium nur in dem Sinn, daß es zeigt, ob eine Theorie *arbeitet* oder nicht. Es kann jedoch nicht die

prinzipielle Richtigkeit einer Theorie belegen, da ja seine jeweilige Konstruktion und Durchführung von der Theorie geleitet wird, die es überprüfen soll. Letztendlich befindet sich die *Gemeinschaft der Wissenschaftler* in einem nicht formalisierten Abstimmungsprozeß über den Wahrheitswert einer Theorie. Experimentell belegen läßt sich allerdings nur die Tragfähigkeit von labormäßig bzw. technisch realisierbaren Theorien. Eine Prüfung der Gesetzmäßigkeiten großräumiger Naturvorgänge ist prinzipiell nicht durchführbar, da keine reproduzierbaren Ausgangsbedingungen hergestellt werden können.

- Die trotzdem beobachtete Überbewertung des Experiments im wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß hat eine lange Tradition: sie läßt sich bereits im frühen 17. Jahrhundert bei Francis Bacon nachweisen.

In der schulischen Praxis präsentiert sich das Experiment in einem etwas anderen Bild. Einerseits ist eine gewisse Rücknahme gegenüber den *Standardlegitimationsmustern* feststellbar, andererseits besteht ein ambivalentes Verhältnis zur Bezugswissenschaft:

- Seit Beginn des chemischen Unterrichts wird das Experiment als unverzichtbarer Bestandteil desselben gefordert. Tatsächlich wird an vielen Schulen, an denen Chemieunterricht durchgeführt wird, gleichzeitig auch experimentiert. Dabei ist im Bereich der (späteren) Realgymnasien und Oberrealschulen auf der methodischen wie auf der inhaltlichen Ebene zunächst eine direkte Ableitung des Schulcurriculums von der Praxis an den Hochschulen feststellbar. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts setzen sich eigene (schul-)methodische Lehrgänge durch; sie sind jedoch weiterhin primär am Fach orientiert. In der Volksschule beginnt der *Naturlehreunterricht* wesentlich später als in den "Oberschulen". Er beschränkt sich auf eine Beschreibung bzw. Erklärung einfacher Alltagsvorgänge.
- Die Bedeutungszuschreibung des Experiments im Unterricht rührt offenbar von einem Chemiestudium Liebig'scher Prägung her. Für Liebig ist das Experiment *das* Anschauungsmittel zur Erläuterung theoretischer Kenntnisse, gleichzeitig dient die Durchführung von Experimenten der Ausbildung handwerklicher Fähig- und Fertigkeiten. Die Bedeutung des Experiments in der Chemieausbildung ist auch und gerade darin begründet, daß die Vermittlung chemischer Kenntnisse zu einem großen Teil auf angeschautem Erfahrungswissen beruht. (Unter der bloßen Beschreibung z.B. eines "gelblichen Niederschlags" stellen sich nicht notwendig alle Menschen das gleiche vor; die gemeinsame Anschauung muß erst *geschaffen*

werden.) Chemische Experimente erfordern ein recht hohes Kontextwissen, insbesondere kann ein *Messen* wie bei physikalischen Experimenten meist nicht durchgeführt werden, vielmehr müssen andere, bereits bekannte Reaktionen als *Meßinstrumente* eingesetzt werden: Eine direkte anschauliche Beobachtung chemischer Vorgänge ist nicht möglich. Dies hat zur Folge, daß bei ihrer Erklärung nicht auf die gewöhnliche Lebenserfahrung zurückgegriffen werden kann (vgl. weiter unten). Den sich hieraus ergebenden fachspezifischen Vermittlungsproblemen wird mit der Forderung begegnet, bei den Lernenden erst einmal eine chemische Erfahrungsgrundlage zu schaffen.

- In seiner traditionellen Form wird das Schülerexperiment von der Fachdidaktik im Grunde unter rein beobachtungstechnischen Aspekten gefordert (Nähe zum Auge). Es kann dann im Prinzip an Stelle von Demonstrationsexperimenten, Filmen, Dias, eines Modells etc. eingesetzt (oder auch durch diese ersetzt) werden. Folgerichtig unterscheidet sich das Schülerexperiment in Aufbau und Durchführung in der Regel nicht prinzipiell von Demonstrationsexperimenten. Die Lernenden haben im allgemeinen fest vorgegebene Handlungsabläufe nachzuvollziehen. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn bisher kein signifikanter Unterschied bezüglich des Kenntniserwerbs zwischen Demonstrations- und (traditionellen) Schülerversuchen feststellbar war. Dies gilt selbstredend nicht für den handwerklichen Aspekt des Experimentierens.
- Im Unterricht wird zudem viel weniger experimentiert, als man nach der gängigen Bedeutungszuschreibung zu glauben geneigt ist. Die wenigen Untersuchungen hierzu sprechen eine eindeutige Sprache: So werden die meisten Schülerexperimente in der Hauptschule und die wenigsten am Gymnasium durchgeführt.
- Über psychologische Lernvoraussetzungen und die Adaption der experimentell präsentierten Inhalte ist bisher wenig bekannt.

Anzumerken ist, daß die Hauptdiskussion um Wesen, Wert und Einsatz von Schulexperimenten bereits um die Jahrhundertwende stattgefunden hat. Seitdem ist in der didaktischen Diskussion nichts prinzipiell Neues hinzugekommen; sieht man einmal von der Arbeit Rossas [1959] ab, in der er die Eignung eines experimentell ausgerichteten Chemieunterrichts für die *polytechnische Erziehung* begründet.

Dieser Stillstand hat dazu geführt, daß es heute weder eine abgesicherte Theorie über Wesen, Wert und Einsatz von chemischen Schulexperimenten gibt noch daß die diesbezügliche Unterrichtspraxis ausreichend erforscht wäre. Von Einzelaspekten - wie

z.B dem Einfluß des apparativen Designs von Experimenten auf das Wahrnehmungsverhalten der Lernenden - abgesehen, existieren nur eher globale Untersuchungen zur Einstellung von Schülerinnen und Schülern zum naturwissenschaftlichen Unterricht und solche zu dessen Effektivität.

Die empirischen Untersuchungen zu den *Wirkungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts* präsentieren eine Negativbilanz. So kann nach mehreren Jahren nicht mehr signifikant unterschieden werden, ob überhaupt ein naturwissenschaftlicher Unterricht stattgefunden hat. Vielmehr gewinnen Vorstellungen von Natur Bedeutung, die bereits vor der Teilnahme am naturwissenschaftlichen Unterricht das Bewußtsein der Schüler bestimmt hatten.

Eine mögliche Erklärung hierfür lieferte bereits Pukies: Danach wird der Tauschwert des zur Ware gewordenen naturwissenschaftlichen Wissens in den Köpfen der Lernenden zu ihrem eigentlichen Wert. Als Folge reduziert sich die Bedeutung dieses Wissens auf seine Prüfungsrelevanz. Anschließend kann es vergessen werden.

Diese Analyse wird begleitet von der Tatsache, daß die Lernenden selbst meist keinen Bezug zu ihrem Leben erkennen können, insbesondere nicht zu den von ihnen hochbewerteten Möglichkeiten der Entwicklung sozialer Fähigkeiten und solchen, die für sie eine Teilnahme am gesellschaftlichen und beruflichen Leben ermöglichen. Es darf daher nicht verwundern, daß Chemie von den meisten Lernenden als Unterrichtsfach nicht sonderlich geschätzt wird.

So ineffektiv der naturwissenschaftliche Unterricht aus fachlicher Sicht ist, so bedenklich sind seine ideologischen Auswirkungen: Die Naturwissenschaften präsentieren sich mit dem Anspruch, einen gewichtigen Bereich des gesellschaftlichen und individuellen Lebens vertreten und bestimmen zu können. Sie lassen *Denken* dabei nur unter dem Primat ihrer eigenen, scheinbar absoluten Wahrheit zu. Der naturwissenschaftliche Unterricht ist in dieser Form nicht in der Lage, einen Beitrag zu einer demokratischen Erziehung der Schülerinnen und Schüler, der heutigen und künftigen Bürger zu leisten. Noch weniger ermöglichen es die naturwissenschaftlichen Fächer, Ansatzpunkte zur Selbst- und Mitbestimmung gerade in diesem Lebensbereich zu entwickeln.

Dabei artikulieren Schülerinnen und Schüler vor bzw. zu Beginn des naturwissenschaftlichen Unterrichts durchaus positive Erwartungen, vor allem im Hinblick auf eine Erweiterung des eigenen Weltbildes. Eine experimentelle Erweiterung dieses Weltbildes unterliegt jedoch bestimmten *lernpsychologischen Rahmenbedingungen*.

Daß ein *einfaches* Anknüpfen an die durch Experimente vermittelte Erfahrung im Bereich der chemischen Vorgänge, z.B. vermittelt durch direkte Beobachtung, kaum möglich ist, zeigen beliebige Beispiele:

Beim Verbrennen von Holz ist zu *beobachten*, daß Holz unwiederbringlich vernichtet wird und ein bißchen Asche zurückbleibt; demgegenüber lautet die *wissenschaftliche Beschreibung*, daß nach Zuführung von Aktivierungsenergie Holz mit Sauerstoff zu Kohlendioxid, Wasser und Mineralstoffen reagiert und die Masse der Ausgangs- und der Endstoffe dabei gleich bleibt. Die entstandenen Endprodukte lassen sich erst mit Hilfe von *bereits bekannten* (Nachweis-)Reaktionen identifizieren.

Wenn überhaupt vorhanden steht der alltägliche Erklärungsansatz im Widerspruch zu den Deutungsmustern, welche die wissenschaftliche Chemie entwickelt hat - eine Erkenntnis die Arendt bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts veröffentlichte. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn Lernende häufig Erklärungen formulieren, die Ähnlichkeiten mit älteren, heute überwundenen, wissenschaftlichen Auffassungen aufweisen (z.B. Phlogistontheorie).

Neben diesem prinzipiellen Hindernis stoßen die Bemühungen um möglichst unmittelbare Erfahrungen mit Stoffen und ihren Reaktionen im Alltag heute auf ein weiteres, gesellschaftlich bedingtes Hindernis: Die permanent fortschreitende Vergesellschaftung der Arbeit führt zu einem Verlust an direkten, unmittelbaren Erfahrungsmöglichkeiten, d.h. ein *einfaches* Anknüpfen an die Wirklichkeit ist im Unterricht nicht mehr möglich; als Beispiel sei hier nur die in vielen Schulbüchern (noch) anzutreffende Rekursion auf die Bauwirtschaft bei den Vorgängen des Kalkbrennens und -abbindens erwähnt.

Darüberhinaus wird im Zusammenhang mit dem Bemühen, den Lernenden durch (chemische) Experimente Erfahrungen bzw. Erfahrungserweiterungen zu ermöglichen und dabei lernpsychologische Momente bei der Präsentation, Konstruktion und Durchführung von Experimenten zu berücksichtigen, von verschiedenen Autoren festgestellt:

- Das kindliche Weltbild ist gekennzeichnet von dem Bestreben, die Vielzahl der Erscheinungen möglichst widerspruchsfrei mit möglichst wenigen grundlegenden Mustern zu erklären. Einmal entwickelt besitzt eine außerordentliche Stabilität gegenüber äußeren (Bildungs-) Einflüssen.
- Nur die aktive Auseinandersetzung mit diesem Weltbild läßt seine begründete Überwindung erwarten, wenn es an bestimmten Stellen zu einer nicht arbeitsfähigen Theorie führt. So hat Hahne gezeigt, daß das Aufdecken von Widersprüchen durch die Lernenden nachhaltige Lernprozesse auslöst; dies gilt sowohl

für den Bereich der gesellschaftlichen Praxis als auch bezüglich des bisherigen Weltbildes. Außerdem müssen die Lernenden in der Lage sein, die Unterrichtsgegenstände mit ihrem bisherigen Weltbild zu verknüpfen. Eine Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Lernenden die jeweiligen Inhalte als für sie selbst bedeutsam einschätzen.

- Sowohl die apparative Aus- und Durchführung des Experiments wie auch seine Theoriegebundenheit müssen für die Lernenden einen Bezug zu ihren bisherigen Erfahrungen ermöglichen. Darüberhinaus müssen die Experimente so *einfach* sein, daß die Lernenden in der Lage sind, ihren Aufbau zu verstehen, d.h. insbesondere, daß sie für sie disponibel sein müssen.

Die o.g. Feststellungen betreffen überwiegend entweder Labor- bzw. Testsituationen oder beziehen sich auf das chemische Experimentieren als Mittel im Erkenntnis- bzw. im Vermittlungsprozeß. Auffallend ist die Tatsache, daß daneben praktisch keine empirischen Untersuchungen existieren, die sich mit der schulischen Realität des "normalen" Experiments bzw. mit dem Experimentieren im Schulunterricht auseinandersetzen.

TEIL B:**EXPERIMENTE IN DER HAND VON LEHRENDEN UND LERNENDEN****FALLSTUDIEN ZUM CHEMIEUNTERRICHT**

Empirische Untersuchungen, die sich mit der schulischen Realität des "normalen" Experiments bzw. mit dem Experimentieren im Schulunterricht in der Weise auseinandersetzen, daß sie sowohl nach dem Umgang mit dem Experiment wie nach den damit einhergehenden Vorstellungen von Lernenden und Lehrenden fragen, sind praktisch nicht auszumachen; insbesondere sind keine Berichte von direkt beteiligten Lehrerinnen und Lehrern, Schülern und Schülerinnen bekannt. Sowohl unter dem Aspekt der Überprüfung der bestehenden Vorstellungen zu Funktion und Bedeutung des Experimentierens im Chemieunterricht wie auch als Voraussetzung für eine Weiterentwicklung der theoretischen Konzepte erscheint es bedeutsam, genau in diesem Bereich der schulischen Experimentalpraxis mit empirischen Erhebungen anzusetzen.

8. DIE ENTWICKLUNG DES FORSCHUNGSANSATZES

Die Praxis des Experimentierens im Chemieunterricht stellt sich in doppelter Weise widersprüchlich dar:

Einerseits sind die *Standardlegitimationsmuster*, wie die bisherigen Untersuchungen gezeigt haben, nicht geeignet, das Experiment im Schulunterricht zu begründen.

Andererseits weisen die schon *traditionellen Forderungen* nach besserer Laborausstattung, besseren Schülerexperimentalmöglichkeiten darauf hin, daß es für Lehrerinnen und Lehrer gute Gründe geben muß, das Experiment als bedeutsam erscheinen zu lassen, und zwar unabhängig von den hergebrachten didaktischen Argumenten.

Diese *anderen Gründe* müssen zugleich schwerwiegend sein und unpopulär erscheinen; schwerwiegend, wenn man bedenkt, daß ein Unterricht mit Experimenten mehr Arbeitsaufwand erfordert als eine *Kreidechemie*; unpopulär in dem Sinn, daß diese Motive gerade keinen Eingang in die offizielle fachdidaktische Diskussion gefunden haben. Es ist zu vermuten, daß diese *anderen Gründe* dazu führ(t)en, daß sich neben dem aus den traditionellen Begründungen erzeugten Bild von Experimenten im Chemieunterricht eine zweite damit nicht übereinstimmende Wirklichkeit entwickelt hat.

Es wäre im höchsten Maße verwunderlich, wenn die genannten Widersprüche den Lehrenden, zumal nach mehreren Jahren Unterrichtserfahrung, nicht wenigstens ansatzweise bewußt wären. Daher, so die Ausgangshypothese, kann Aufschluß über die Motive für das Experiment bzw. für das Experimentieren im Unterricht am ehesten durch eine Befragung der direkt Betroffenen gewonnen werden. Konkret heißt das, daß zunächst von Lehrenden Auskunft über folgende, bisher nur ungenügend oder gar nicht bearbeiteten Aspekte erlangt werden soll:

- die mit dem Chemieunterricht bzw. mit den Experimenten im Chemieunterricht verbundenen Interessen und Intentionen der Lehrenden sowie deren Einschätzungen von Interessen und Erwartungen auf Seite der Lernenden,
- den Stellenwert des Experiments im Zusammenhang mit einem konkreten Thema, mit dem Chemieunterricht allgemein und im Verhältnis zur Theorievermittlung bzw. -bildung,
- den Charakter der Experimente (Stoffnachweis, Messung, Modellbildung, Beobachtung eines "Naturexperiments"),
- die Art der Durchführung als Lehrer- oder Schülerexperimente sowie
- den Kontext bzw. die Rahmenbedingungen des Unterrichts und der Experimente.

Es reicht jedoch nicht aus, alle die Lehrenden zum Experiment zu befragen, insbesondere wenn man bedenkt, daß die Adressaten dieses Experimentierens ja die Schülerinnen und Schüler sind. Über deren Wahrnehmungen und Einschätzungen des Experiments können Lehrerinnen und Lehrer nur bedingt Auskunft geben, da alle möglichen Aussagen durch den Filter ihrer eigenen Interpretation des Experimentierens überformt sein müssen. Authentische Aussagen können durch die direkte Befragung von Lernenden erhalten werden. Diesen kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, als es meines Wissens keine Berichte von Lernenden über ihre speziellen Erfahrungen mit

dem Chemieunterricht gibt; die wenigen Informationen über Lernende entstammen entweder dem allgemeinpädagogischen Bereich oder wurden unter dem Gesichtspunkt der Effektivität oder Beliebtheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts erhoben. Erst recht fehlen Informationen zum Umgang mit Experimenten aus Schülersicht bzw. über ihre Einstellung dazu.

Mit diesen Äußerungen von Schülerinnen und Schülern zum Experiment bzw. zum Experimentieren wird der Versuch unternommen, Voraussetzungen zu ermitteln, um den Chemieunterricht von der Subjektseite her neu zu entwickeln. Im einzelnen geht es bei der Befragung der Lernenden um ihre Einstellungen zu folgenden Bereichen:

- zu den mit den Experimenten bzw. dem eigenen Experimentieren im Chemieunterricht und mit diesem Unterricht selbst verbundenen *Interessen* (Handlungsziele)
- zum *Stellenwert des Experiments* bzw. des eigenen Experimentierens im Zusammenhang mit einem konkreten Thema, dem Chemieunterricht allgemein, im Verhältnis zur Theorievermittlung bzw. -bildung und zur Inhaltsvermittlung allgemein
- zu der (überwiegenden) *Art der Durchführung* der Versuche als Lehrer- oder Schülerexperimente
- zu der Wahrnehmung und damit zu den *Wirkungen*, die Experimente bzw. das *eigene Experimentieren* auf die Schülerinnen und Schüler ausüben.

Überprüft werden soll insbesondere die in Kapitel 2 begründete Vermutung, daß das Experimentieren für die Schülerinnen und Schüler eine Gelegenheit beinhaltet, die offizielle Unterrichtsordnung partiell zu unterlaufen. Positiv gewendet könnte dies bedeuten, daß das Experimentieren eine Entlastungsfunktion gegenüber einem primär verbal-kognitiv geprägten (Chemie-)Unterricht hat und darüberhinaus im Falle des Schülerexperiments den Lernenden - u.U. auch den (Fach-)Lehrenden - *legal* Raum für die für erfolgreiche Lernprozesse notwendige soziale Interaktion gibt.

Ich habe meine Untersuchungen als *vergleichende Fallstudien* angelegt [vgl. Fischer 1982, 1983], mit dem Ziel, durch eine offene Befragung einer überschaubaren und zugleich die Bandbreite der hessischen Schullandschaft widerspiegelnde Auswahl von Lehrenden und Lernenden Informationen über deren Sichtweisen, Intentionen und Wahrnehmungen im Zusammenhang mit dem chemischen Schulexperiment zu gewinnen. Für die gewählte Untersuchungsmethode sprechen im wesentlichen zwei

Gründe. Zum einen ist der gegenwärtige Kenntnisstand über die Praxis des chemischen Unterrichts nicht hinreichend, um die für gezielte quantifizierende Felduntersuchungen unabdingbaren Hypothesen zu bilden. Zum anderen ist nicht zu erwarten, daß z.B. mittels Fragebogen gewonnene Aussagen einer großen Anzahl von Personen hier zu wesentlich anderen Ergebnissen führen würden. In jedem Fall führt ein quantifizierendes Vorgehen nach dem empirisch-statistischen Forschungsmodell zu einem Verlust an Nähe zu den zu Befragenden und damit einhergehend auch zum Untersuchungsgegenstand [vgl. Stenhouse 1982, S. 26 ff].

Die mit der unten näher beschriebenen Fallstudienmethode einhergehende *genaue* Beobachtung des Falls und seine anschließende Dokumentation kann helfen, Fehler zu vermeiden, wie sie bei den auf der Stichprobentheorie beruhenden empirisch-statistischen Forschungsmethoden vorkommen können. So bemerkt L. Stenhouse anlässlich einer Tagung zu Fallstudien in der Pädagogik 1981:

"Ein Erziehungsprogramm, das statistisch eindeutig vorzuziehen war, erwies sich gewöhnlich bei einer beachtlichen Minderheit - bis zu 40 % der Fälle - als schlechter als das Programm, das im allgemeinen besser abschnitt. Es gelang nicht, dieses Problem durch die mathematische Analyse der Wechselwirkungen von vorhandenen Eigenschaften und Programm (oder vorhandenen Fähigkeiten und Programm) zu lösen" [Stenhouse 1982, S. 26].

Die Dokumentation von Fallgeschichten trägt darüberhinaus dazu bei, die hier für den Chemieunterricht bestehende Lücke zu schließen.¹⁾

8.1 DIE ERHEBUNGSMETHODE

Zu den oben aufgeführten Gründen, die eine gezielte Befragung als wenig nützlich erscheinen ließen, kommt ein weiterer gewichtiger Einwand hinzu: Eine präzise Fragestellung führt zwar in der Regel zu "harten", quantifizierbaren Antworten, engt aber gleichzeitig das Spektrum der möglichen Äußerungen deutlich ein. Insbesondere

¹ Fallstudien sind darüberhinaus nicht nur für die Gewinnung von Hypothesen geeignet, vielmehr können sie auch als Gegenstände zu einer pädagogischen Qualifizierung eingesetzt werden. Die Bedeutung gerade der jeweiligen Dokumentationen liegt darin, daß sie geeignet sind "etwas merken zu lassen, Lernen in Gang zu setzen, das mit dem Handeln von Lehrern ... zu tun hat" [Fischer 1983, S. 15].

wird eine Sensibilisierung für unter Umständen bisher nicht in Betracht gezogene Phänomene, Bedingungen, Probleme des Untersuchungsgegenstandes, hier: des Chemieunterrichts, von vornherein ausgeschlossen [vgl. z.B. Fischer 1983, S. 14]. Die mögliche Einengung der Sichtweise kann bereits durch die Anlage der Felduntersuchung innerhalb der Theorie, in der sie angesiedelt ist, hervorgerufen werden. Die Verhältnisse liegen hier ganz ähnlich wie bei naturwissenschaftlichen Experimenten: in beiden Fällen ist es nicht möglich, die prinzipielle Wahrheit derjenigen Theorie zu überprüfen, deren Bestandteil das betreffende Experiment ist (vgl. Kapitel 3).

Die für quantifizierende Untersuchungen angeführten Einschränkungen bzgl. der möglichen Antworten gilt bei der gegenwärtigen mangelnden Theorieentwicklung bzgl. des Experiments auch für etliche eher qualitative Untersuchungsverfahren, wie das durch einen Leitfaden gegliederte Interview oder die auf ausgewählte Aspekte zielende Unterrichtsbeobachtung [vgl. z.B. den Hollander 1965, S. 201 ff]. Unter diesen Voraussetzungen wird als möglichst offenes Mittel der Untersuchung eine Interviewtechnik eingesetzt, die sich an der sogenannten *narrativen Methode* orientiert.

Das narrative Interview wird seit mehreren Jahren im Rahmen der Sozialforschung verwandt, insbesondere überall dort, wo auch die emotionale Besetzung und Bewertung von Erfahrungen und Situationen von Interesse ist, z.B. in der Biographieforschung. Die Leistungsfähigkeit der narrativen Methode wird von F. Schütze wie folgt charakterisiert:

"Vorausgesetzt, der Informant berichtet über eigenerlebte Erfahrungen, ist die narrative Darstellungsweise diejenige, die am engsten an die zu berichtende Handlungswirklichkeit und entsprechende Orientierungsbestände des Informanten anschließt. Das Sachverhaltsdarstellungsschema des Erzählens verwickelt den Informanten in die Zugzwänge der Detaillierung und Gestaltschließung. (Nichtplausible Übergänge zwischen Ereignis A und Ereignis B müssen detailliert werden; Zusammenhänge wie die Situation C, deren Darstellung im Erzählfluß bereits begonnen wurde, müssen in der Darstellung abgeschlossen werden.) Getrieben durch die Zugzwänge des Erzählschemas bringt der Informant Ereignisbestände zur Darstellung, über die er im konventionellen offenen Interview niemals Aussagen treffen würde bzw. auf die er im Rahmen des standardisierten Interviews, formuliert als geschlossene Fragen (was in der entsprechend erforderlichen Spezifität in der Regel gar nicht erst möglich ist), kaum mit Informationsbereitschaft reagieren würde" [Schütze 1977, S. 52].

Was Detaillierung und Gestaltschließung für den konkreten Fall bedeuten, soll durch Auszüge aus zwei der später beschriebenen Interviews veranschaulicht werden:

Ein Lehrer berichtet über den von seinen Schülern durchgeführten Versuch zum Nachweis von Stickoxiden in der Luft:

"Und dann haben wir noch versucht, aus dieser Lösung heraus einen Stickstoffnachweis, also (von) Stickoxide(n), (durchzuführen). Und zwar hatten wir uns zunächst für beide quantitative Messungen Eichkurven aufgestellt. Wo wir also mit Standardwerten, die wir uns selbst angesetzt haben, damit wir einfach Eichgeraden - mehr oder weniger - hatten. Worauf wir dann die Werte sofort ablesen konnten. Das war also das Prinzip."

Die dabei auftretenden Probleme und seine daraus resultierende eher negative Einstellung gegenüber Versuchen dieser Art erläutert er detailliert acht Zeilen später:

"Da haben sie sich also unheimlich schwer getan. Die kannten es halt vorher nicht. So das Eichkurven-Aufstellen, da haben wir also bestimmt vier, fünf Doppelstunden dafür gebraucht, bis die einigermaßen gestimmt haben. Weil da also ständig irgendwelche Fehler drin waren. Da haben sich also die Lösungen, die als Blindproben gedacht waren, auf einmal rosa gefärbt, beim Nitratnachweis. Das war eigentlich das Schlimmste von allem. Da haben wir also (eine) Unmenge von Zeit verbraucht und immer wieder gespült."

Eine Lehrerin berichtet wie sie den pH-Wert einführt bzw. ins Gedächtnis der Lernenden ruft:

"Und dann gebe ich ihnen oft aus Büchern auch noch mal die Seen, also wo jetzt welche pH-Werte vom Sauren Regen gemessen worden sind. Das ist dann entweder eine Einführung vom pH-Wert oder nochmal, um ganz klar den pH-Wert ins Bewußtsein zu rufen. Was das ist, ist mir ganz wichtig."

Den Grund für dieses Vorgehen und ihre damit einhergehende Bedeutungszuschreibung begründet sie eine Seite später:

"Bis dann also klar war, als die Wissenschaftler das eben sagten, ja der und der pH-Wert, also die Kleinstlebewesen sind (da) alle tot. Das war für uns alle dann schon doch sehr erschütternd. Ich habe dann auch eine Auswertung von dieser Exkursion gemacht, so allgemein was sie gut fanden, schlecht fanden. Und da kam auch so allgemein bei den Schülern doch auch eine ziemliche Betroffenheit über diesen Boden raus, bei mir ja auch."

Idealtypisch hat das narrative Interview folgenden Verlauf: der Interviewer stellt im Anschluß an die Vorstellung seiner Person und seines allgemeinen Interesses eine Leitfrage, die sowohl einen thematischen Schwerpunkt beinhaltet als auch die befragte

Person direkt anspricht [vgl. Schütze 1983]. Die Gesprächspartner können ihre Gedanken, Erfahrungen, Wertungen und Gefühle danach in beliebiger Ausführlichkeit darstellen. Im zweiten Teil des Interviews werden gezielte Nach- bzw. Verständnisfragen gestellt. Nach den bisherigen Erfahrungen [vgl. z.B. Allroggen 1984, Stäudel 1986] bietet dieses Vorgehen am ehesten die Gewähr, Einzel Tatsachen, Zusammenhänge und deren Wertungen sichtbar zu machen, auch und gerade wenn nicht explizit nach ihnen gefragt wird. Der Erfolg eines sich an dieser Methode orientierenden Interviews hängt jedoch in hohem Maße davon ab, ob es gelingt, eine Vertrauens- und Verstehensbasis zwischen Interviewer und Interviewten herzustellen (vgl. unten). Beispielhaft hierzu die Aussage eines befragten Lehrers

"Aber ich meine, du weißt selbst, daß so Versuche zur Luftverschmutzung, wenn man sie z.B. quantitativ machen will, einen extremen Aufwand kosten und die Schüler im Prinzip dann doch auch nicht genau feststellen, was da eigentlich abläuft. Im Prinzip finde ich also auch den Versuch, den wir gestern gesehen haben, mit dem Photometer, im Prinzip sehen sie auch nur eine Farbänderung. Diese Farbänderung, die sehen sie z.B. auch, wenn du Universalindikator nimmst."

8.1.1 ZUR METHODENKRITIK

Die vorstehende Aussage macht auch deutlich, daß es wenig sinnvoll ist, nach dem allgemeinen Wahrheitsgehalt der Dokumente zu fragen. Dies gilt zumindest für den pädagogischen Bereich, jedoch generell für den Versuch, die klassischen Gütekriterien Objektivität, Reliabilität, Validität zu realisieren. So führt z.B. der Anspruch auf *Objektivität* - konsequenterweise - dazu, jede Veränderung des Forschungsgegenstandes zu vermeiden bzw. diese Veränderungen nach einem vorher festgelegten Plan genau zu kontrollieren. Daß dies bei lebenden Menschen oder gar Menschengruppen nicht möglich ist, versteht sich von selbst. Veränderungen im genannten Bereich müssen als Störvariablen angesehen werden [vgl. Heinze 1972, S. 6 f, Haerberlin 1975, S. 663], während die Untersuchungsergebnisse tatsächlich von den beteiligten Personen (Forscher und Erforschte) sowie den verwendeten Methoden abhängig sind. "Objektivität scheint demnach nicht mehr als die Standardisierung einer bestimmten subjektiven Wahrnehmung zu sein" [Brügelmann 1982, S. 74 f]. Die damit verbundene *Isolation einzelner Variablen* bringt weitere Schwierigkeiten hervor; indem sie aus

einem Bündel möglicher Einflußfaktoren aufgrund von Relevanzkriterien herausgelöst werden, bestimmen schließlich sie den Prozeßablauf. B. Stickelmann charakterisiert dies wie folgt:

"Durch die Relevanzkriterien wird die konkrete Mannigfaltigkeit des realen Feldes auf wenige Einflußgrößen reduziert, gemäß den Wertentscheidungen und Konzeptionen von Realität durch die Forscher. So werden vorab ohne Kommunikationszusammenhang mit der konkreten Praxis der Interaktionssituation Deutungsschemata übergestülpt, ohne daß der Zusammenhang mit den Deutungen der Lernsituation im Bewußtsein der Beteiligten überprüft wird" [Stickelmann 1972, S. 19].

Deutlich wird in diesem Zitat auch die Einengung des Blickfeldes und der damit einhergehende *Verzicht auf Erkenntnismöglichkeit* aufgrund des verfügbaren Instrumentariums. T. Heinze macht für diese Beschränkung insbesondere die positivistische Sozialforschung verantwortlich, indem er ihr Vorgehen wie folgt beschreibt:

"Theorien zur Erklärung von Zusammenhängen sowie Hypothesen über Zusammenhänge sind so zu entwerfen und zu formulieren, daß ihre Überprüfung mit den verfügbaren methodischen Instrumentarien vorgenommen werden kann.

Züge und Merkmale des Unterrichts, die mittels empirischer Methoden und der sie leitenden theoretischen Fragestellungen analysiert werden, werden dann als diejenigen Züge, Merkmale, Qualitäten aufgefaßt, auf die es ankommt, auf die technologisch die Aufmerksamkeit zu richten ist. Damit wird ... das Urteil über die Dimensionen von Unterricht gefällt, die wissenschaftlich und technologisch zugänglich sind und diejenigen, die aufgrund wissenschaftlicher Unzulänglichkeit im Bereich pädagogischer Spekulation und Intuition liegen" [Heinze 1972, S. 6].

Werden all diese Einschränkungen vorgenommen, dann sind die so gewonnenen Forschungsergebnisse schlecht bis gar nicht auf die *normale*, nicht dem Forschungsverlauf angepaßte, Wirklichkeit rückübertragbar, d.h. aber, daß ihre *Generalisierbarkeit* verneint werden muß [vgl. Haerberlin 1975, S. 663]. Verschärft werden diese Probleme insbesondere in den Fällen, in denen vor Beginn einer Untersuchung nicht hinreichend gesicherte Informationen für eine Theoriebildung vorhanden sind, wie dies im Bereich des chemischen Schulexperiments bzw. des Experimentierens im Chemieunterricht der Fall ist.

Die Fallstudienmethode sucht diesen Problemen dadurch zu begegnen, daß auf dem Weg zu handhabbaren und abgesicherten Ergebnissen folgende u.a. von H. Brügelmann vorgeschlagene Standards berücksichtigt werden:

- Kombination unterschiedlicher Methoden
- Vielfalt konkurrierender Perspektiven
- Darstellung des Situationsbezugs
- Streuung von Fällen.

"Wahrheit als Maßstab für die »innere Gültigkeit« einer Fallstudie wird damit durch das Kriterium der Glaubwürdigkeit ersetzt; Verallgemeinerungen als Maßstab für die Übertragbarkeit von Erfahrungen (äußere Gültigkeit) wäre zu ersetzen durch *Erkennbarkeit*" [Brügelmann 1982, S. 76 f].

Für die Befragung der Lehrenden läßt sich in diesem Sinne eine Verallgemeinerbarkeit und Gültigkeit der Ergebnisse durch folgende Punkte begründen:

- Die Befragten unterrichten an verschiedenen der für Hessen typischen Schulformen. Sie haben verschiedene Ausbildungsgänge durchlaufen, bevor sie mit dem Chemieunterricht begannen.
- Trotz bestehender Persönlichkeitsunterschiede und "Prägungen", die durch die jeweilige Schulform hervorgerufen werden, stellen Naturwissenschaftslehrer eine relativ homogene Gruppe dar, wie Untersuchungen von Bürmann [1977], Reiß [1975], Brämer [1979 I], Nolte [1980], Stäudel [1986] zeigen.
- Der Chemieunterricht ist vor allem in der Mittelstufe durch recht präzise, Fachleuten allgemein verständliche inhaltliche Vorgaben der Lehrpläne kanonisiert. Das dabei angewandte Prinzip, auf Vorhergehendem aufzubauen, führt dazu, daß die Unterrichtsinhalte verschiedener Lehrer in derselben Klassenstufe weitgehend ähnlich sind, d.h. man kann einen, sich nur durch die beteiligten Personen unterscheidenden Unterricht innerhalb eines kurzen Zeitraums von z.B. vier Wochen mehrmals erleben. In einigen Ländern, wie z.B. der DDR, wird dies auch explizit angestrebt [vgl. Rossa u.a. 1977, S. 315 ff].
- Die Einhaltung der durch Lehrpläne bzw. Fachkonferenzen vorgegebenen Unterrichtsinhalte und deren Abfolge untersteht einer immanenten schulöffentlichen Kontrolle. Insbesondere läßt sich über die Benutzung typischer Geräte und Chemikalien bzw. der Vorbereitung (Aufbau) bestimmter Versuche zu einem typischen Zeitpunkt im Laufe des Schuljahrs von den Lehrerkollegen und -kolleginnen relativ leicht feststellen, welche Inhalte jemand gerade im Unterricht behandelt. Die Kanonisierung des Lehrstoffs bietet auch gewisse Möglichkeiten der nachträglichen Kontrolle.

Für die Befragung der Lernenden ist die Repräsentativität der Untersuchung – bezogen auf das Untersuchungsziel - dadurch gegeben,

- daß Untersuchungen zur Effektivität des naturwissenschaftlichen Unterrichts bzw. seiner Beliebtheit (vgl. Kapitel 5) den Schluß zulassen, daß das Bild der Lernenden von diesem Unterricht recht einheitlich ist
- daß die Lernenden zum Zeitpunkt der Untersuchung verschiedenen Jahrgangsstufen und Schulformen angehörten
- daß bestimmend für ihre Auswahl die begrenzte Möglichkeit war, überhaupt mit Schülerinnen und Schülern in Kontakt zu kommen²⁾ und die Bedingung, im Unterricht etwas über Luftschadstoffe gehört zu haben, um u.a. ihre Aussagen mit denjenigen der zuvor befragten Lehrenden vergleichen zu können.

Die mit der Fallstudienmethode und mit Interviewtechniken (in Anlehnung an das narrative Interview) gewinnbaren Ergebnisse sind selbstredend jedoch auch nicht umfassend. So gibt es Informationen, die man quasi naturgemäß nicht oder nur verfremdet von den Befragten erhalten wird. Dazu gehören zuvorderst erst einmal diejenigen Dinge, die den Befragten selbst unbewußt sind. Hinzu kommen die Bereiche, die mit Chemieunterricht bzw. mit Vorstellungen von Unterricht allgemein zu tun haben. Folgende Einflußfaktoren können für die vorliegenden Befragungen als relevant angesehen werden:

- Die Darstellung wird von der eigenen Einstellung gegenüber dem Unterrichtsgegenstand Luftschadstoffe geprägt. Bei den Lehrenden gilt dies insbesondere für die Einschätzung und u.U. vorgenommene Bewertung der Schülereinstellung gegenüber diesem Gegenstand.
- Das Bild des jeweiligen Erzählers von dem, was guter Unterricht sei, dient als Leitbild sowohl für die Darstellung wie für die Bewertung des tatsächlich stattgefundenen Unterrichts. So ist z.B. von den Lehrenden nicht zu erwarten, daß Experimententzug als Disziplinierungsmittel genannt wird.
- Institutionelle Hindernisse, wie z.B. mangelnde Laborausstattung, bei der Realisierung des eigenen Unterrichts werden wahrscheinlich besonders hervorgehoben.
- Eigenes oder als solches erlebtes Versagen wird möglicherweise mit äußeren Umständen, wie z.B. ungünstige Lage der Unterrichtsstunden, erklärt oder gar auf

²⁾ In einer Zeit, in der Betriebe und Institutionen immer mehr nach außen abgeschottet werden (vgl. auch Abschnitt 6.1), schwindet sowohl die Bereitschaft der Lehrerinnen und Lehrer, über sich selbst Auskunft zu geben, als auch die Möglichkeit mit Schülerinnen und Schülern gezielt ins Gespräch zu kommen. Von daher war es naheliegend, die einmal zu den Lehrenden hergestellten Kontakte auch für die Befragung der Lernenden zu nutzen.

diese zurückgeführt. Schülerinnen und Schüler führen in diesem Zusammenhang womöglich Probleme mit den Lehrenden an.

- Dem Vorteil der professionellen Nähe durch gleiche oder ähnliche Ausbildung von befragten Lehrenden und Interviewer steht das Problem gegenüber, daß als selbstverständlich angesehene fachliche oder pädagogische Voraussetzungen vermutlich nicht thematisiert werden.
- Klassenhierarchien wirken in die Darstellung dergestalt hinein, daß nur allgemein in der Gruppe akzeptierte Auffassungen unwidersprochen berichtet werden. Die Meinungsführer der Klasse werden auch in der Interviewsituation dominieren.
- Die Erzählbereitschaft der Lernenden hängt stark von der Einschätzung des Interviewers ab: Ist er eher ein Vertreter der Institution Schule oder jemand, dem man "vertrauensvoll" die eigenen Ansichten über den Chemieunterricht mitteilen kann.
- Die Darstellung einzelner Sachverhalte durch die Lernenden sowie ihre Erzählbereitschaft werden u.U. durch die nicht immer vermeidbare Anwesenheit von Lehrenden beeinflusst.

8.2 ZUR ENTWICKLUNG DER FRAGESTELLUNG

Ebenso wie die Chemie als Fachwissenschaft den Anspruch erhebt, einen mehr oder weniger großen und bedeutsamen Aspekt der Realität zu erklären und der Interpretation und Manipulation zugänglich zu machen, so ist mit dem Titel dieser Arbeit "*Experimentelle Zugänge zur Realität*" auch der *allgemeine* Anspruch verbunden, das Verhältnis von (schulischem) Experiment und Realität über den einzelnen Fall hinaus zu klären. Wie die Ausführungen in den ersten sieben Abschnitten zeigen, führt ein Verweilen im *Allgemeinen* jedoch zu Zirkelschlüssen und Selbstbestätigungen in der Art von ideologischen Systemen. Nach Abwägung der gegebenen Möglichkeiten und unter Berücksichtigung des Mangels an einschlägigen, empirisch begründeten Theorien wurde der Schritt zum *Konkreten* vollzogen mit der Perspektive, die hier gewinnbaren Einsichten, Erfahrungen etc. schließlich wieder (ansatzweise) zu verallgemeinern.

Im Schnittfeld Chemieunterricht treffen sich dabei Realität, Experiment, Lehrende und Lernende vor dem Hintergrund eines konkreten, anwendungsbezogenen

Unterrichtsgegenstandes mit deutlich fachspezifischem Design. Wie in der Kritik am bisherigen Chemieunterricht mit seinen Experimenten ausgeführt, kann dieser Unterrichtsgegenstand nicht beliebig sein (vgl. Abschnitt 6.6.3). Im folgenden wird eine Begründung für die Auswahl des Unterrichtsgegenstandes *Luftschadstoffe* gegeben.

8.2.1 LUFTSCHADSTOFFE ALS UNTERRICHTSGEGENSTAND

Luftschadstoffe sind Stoffe, mit denen die Lernenden real und in den Medien konfrontiert werden, denen sie sich nicht entziehen können. Sie entstammen zu einem erheblichen Teil Prozessen, die sich chemisch beschreiben lassen und die häufig der experimentellen Behandlung auf schulischer Ebene zugänglich sind [vgl. z.B. Stäudel 1984, S. 21 ff]. Gleichzeitig existiert eine deutliche Nähe zu den (fachlichen) Inhalten der Lehrpläne, insbesondere zu den Bereichen *Säuren und Basen*, *pH-Wert*, *Chemie und Umwelt* [vgl. z.B. Der Hessische Kultusminister: KSP 1979, S. 4, S. 18 f, S. 26 f, RRL 1976 S. 4, S. 13, 18].

Für die durchzuführende Untersuchung war darüberhinaus von entscheidender Bedeutung, daß die in Schulen dazu durchführbaren bzw. durchgeführten Experimente erfahrungsgemäß die charakteristischen Eigenschaften chemischer Experimente aufweisen, z.B.: keine unmittelbare Beobachtungsmöglichkeit (vgl. Abschnitt 6.3). Auch können viele der z.B. von Stäudel [1984] angeführten Experimente von Schülerinnen und Schülern entwickelt und durchgeführt werden. Wichtig hierfür ist auch, daß das Thema nicht von vornherein auf eine chemische Fragestellung begrenzt ist. Es bieten sich somit vielfältige Zugänge und Möglichkeiten der Schwerpunktsetzung, so daß es auf diese Art und Weise - zumindestens prinzipiell - den Lernenden möglich ist, Verbindungen zwischen ihrer Lebenssituation und dem Unterrichtsgegenstand herzustellen.

Die Auswahl eines prinzipiell für die Befragung geeigneten Unterrichtsgegenstandes wird auch dadurch bestimmt, daß gewährleistet ist, daß es genügend Lehrerinnen und Lehrer gibt, die dieses Thema schon behandelt haben. Aufgrund des einschlägigen Fortbildungsangebots, z.B. des Hessischen Instituts für Lehrerfortbildung (HILF) in den letzten Jahren, sowie aufgrund der weiten Verbreitung einschlägiger Literatur [z.B. Arbeitskreis Chemische Industrie u.a. 1983, Gießhammer 1983, Stäudel 1984, Braun 1974] für den Unterricht konnte im Vorfeld der Untersuchung davon ausgegangen werden, daß die eben genannte Bedingung erfüllt war.

8.3 DIE BEFRAGTEN

Um die Zahl der bei der Auswertung der Befragung zu berücksichtigenden *Variablen* überschaubar zu halten und um eine gewisse Vergleichbarkeit der Aussagen zum chemischen Experiment zu gewährleisten, wurden die Lehrenden und die Lerngruppen so ausgewählt, daß sie sämtlich über Erfahrungen mit dem gewählten Unterrichtsgegenstand *Luftschadstoffe* verfügten, und zwar aus einem Zeitraum, der zu Untersuchungsbeginn nicht länger als ein Jahr (bei den Schülern: maximal zwei Jahre) zurückliegen sollte.

8.3.1 DIE LEHRENDEN

Insgesamt wurden fünf Lehrerinnen und Lehrer im Winter 1986/87 befragt. Sie unterrichteten in verschiedenen Schultypen: Hauptschule, additive Gesamtschule, integrierte Gesamtschule, Gymnasium und gymnasiale Oberstufe. Die befragten Lehrenden hatten sich sämtlich mit dem ausgewählten Thema bereits im Unterricht wie auch im Rahmen von Fortbildungsveranstaltungen auseinandergesetzt.

Die Befragten waren mir entweder aus früheren Schulkontakten bekannt, oder ich hatte sie im Rahmen von Fortbildungsveranstaltungen zum Problem des Sauren Regens, bei denen ich selbst Teilnehmer war, kennengelernt. Das so bereits vorhandene lose Bekanntschaftsverhältnis erleichterte es sehr, die für die Durchführung der Interviews notwendige Vertrauensbasis herzustellen. Einen nicht zu unterschätzenden Einfluß auf Art und Umfang der Auskünfte dürfte der den Interviewten bekannte Sachverhalt ausgeübt haben, daß ich selbst das Referendariat durchlaufen habe. Ich bin im Laufe der Erhebung zu der Überzeugung gelangt, daß ein Interviewer, der nicht den innerschulischen Teil der Lehrerausbildung absolviert hat, zu - zumindest tendenziell - anderen Ergebnissen käme.

8.3.2 DIE LERNENDEN

Im Frühjahr 1987 wurden Schülerinnen und Schüler der zuvor interviewten Lehrer befragt. Anfang 1988 konnte eine weitere Schülergruppe in diesen Teil der Untersuchung mit einbezogen werden. Es handelt sich dabei um die 10. Gymnasialklasse einer additiven Gesamtschule, die unmittelbar zuvor für die Unterrichtsbeobachtung zur Verfügung stand (vgl. Teil C). Diese Gruppe wurde in die Auswertung deshalb mit einbezogen, da nach einer ersten Durchsicht des Interviews festzustellen war, daß sich die Aussagen dieser Schülerinnen und Schüler nicht prinzipiell von denen der anderen befragten Gruppen unterscheiden. Der unmittelbar vorausgegangene Unterricht, der einen relativ hohen Anteil an von den Lernenden selbst durchgeführten Experimenten aufwies, diente ihnen vielmehr als abgrenzende Illustration zum normalen Chemieunterricht.

Die sieben befragten Lerngruppen mit insgesamt 86 Schülerinnen und Schülern spiegeln verschiedene hessische Schulformen wider: Hauptschule (Klasse 9), integrierte Gesamtschule (Klasse 9 und 11), additive Gesamtschule (Klasse 9 Realschulzweig und Klasse 10 Gymnasialzweig), Gymnasium (Klasse 12) sowie gymnasiale Oberstufe (Leistungskurs Jahrgangsstufe 13). Durch diese Auswahl ist es möglich, daß schulbedingte Unterschiede in den Aussagen quasi herausgemittelt oder besonders deutlich werden können.

8.4 DURCHFÜHRUNG DER BEFRAGUNG

Den Lehrenden wurde die folgende Frage gestellt: "Luftschadstoffe im Unterricht: Erzählen Sie mir doch mal, was Sie da so gemacht haben? Wann? Mit welchen Schülern? Welche Experimente?" Erst wenn ein Erzähler offenbar mit seinen Mitteilungen am Ende war, habe ich zu einzelnen Punkten, die noch nicht angesprochen worden waren, Nachfragen gestellt. Auf diese Art und Weise konnte in der Regel jeweils ein neuer Erzählabschnitt begonnen werden. Die Nachfragen orientierten sich primär am bisherigen Gesprächsverlauf, daneben - implizit - an einem im Vorfeld der Interviews entwickelten Fragenkatalog.

Mit der offenen, nicht explizit auf das Experimentieren eingeschränkten Eingangsfrage sollten die Befragten stimuliert werden, über ihr Vorgehen und ihnen dabei beachtenswert erscheinende Erfahrungen, Ereignisse, Vorgehensweisen, Experimente, etc. zu berichten. Indem das Experimentieren bzw. die Experimente nicht explizit in den Mittelpunkt des Stimulus gestellt werden, ist zu erwarten, daß Äußerungen zum Experimentieren einen hohen Wahrheitsgehalt haben. In die gleiche Richtung zielt eine behutsame Gesprächsführung, mit der eine möglichst geringe Beeinflussung der Erzähler durch die Fragen bzw. den Interviewer erreicht werden soll. Auch danach, welche Bedeutung die Lehrenden dem Experiment zumessen, wurde nicht explizit gefragt. Gleiches gilt für die eigenen Lehrziele und die Handlungsziele der Lernenden.

Durch die Vorauswahl, nur solche Lehrerinnen und Lehrer zu befragen, von denen bekannt war, daß sie Experimente im Chemieunterricht durchführen, konnte der Gefahr begegnet werden, daß die Befragten Experimente angeben, nur weil dies zum *guten* Chemieunterricht dazu gehört. Auch die diesbezügliche Auswertung der Schülerinnen- und Schülerinterviews - es wurden die Klassen der ein knappes halbes Jahr zuvor Befragten interviewt - zeigt keine Anhaltspunkte, die Aussagen der Lehrenden in Frage zu stellen.

Bei der Schülerbefragung wurde das eben beschriebene Verfahren insofern modifiziert, daß keine Einzelpersonen, sondern Gruppen von Schülerinnen und Schülern interviewt wurden. Nach der Leitfrage beginnt eine Person mit der Erzählung, und die anderen ergänzen, je nachdem und inwieweit sie dies für notwendig erachten. Für den vorliegenden Fall ist ein solches Vorgehen insofern gerechtfertigt, als es nicht Ziel der Untersuchung ist, den Umgang mit bzw. die Einstellung einzelner Lernender zum Experiment bzw. zum Experimentieren zu ergründen, sondern die innerhalb eines Kollektivs herrschenden Ansichten.

Die Anzahl der gemeinsam befragten Personen betrug zwischen zwei und 21 Personen, d.h. es wurden kleine Teilgruppen oder die gesamte Klasse befragt. Der Umfang der jeweiligen Befragungsgruppe hing davon ab, inwieweit es den Lehrenden gelungen war, Schülerinnen und Schüler zu finden, die auch zu einem Gesprächstermin bereit waren. Unproblematisch war dies nur in den Fällen, in denen sie zum Zeitpunkt der Befragung noch in den zu befragenden Klassen unterrichteten. Ein Teil der ursprünglich beim Thema *Luftschadstoffe* anwesenden Lernenden hatte zum Zeitpunkt

der Befragung entweder die Schule bereits verlassen, bei anderen ließ sich wegen Klassenneubildung nur mit einem Teil ein Gesprächstermin arrangieren.

Um einen Vergleich der Aussagen mit denen der Lehrenden zu ermöglichen, bekamen die Lernenden eine analoge Leitfrage gestellt.³⁾ Zusätzlich wurde den Schülerinnen und Schülern im letzten Teil des Interviews die Möglichkeit eingeräumt, "noch etwas zum Chemieunterricht zu sagen", was sie für wichtig erachten und was während des bisherigen Gesprächs noch nicht thematisiert wurde. Ebenso wie die Lehrenden wurden die Lernenden nicht direkt nach ihren Ansichten zum Experiment bzw. zum Experimentieren befragt. Diesbezügliche Fragen hatten durchweg den Charakter von Nachfragen, d.h. erst nachdem die Lernenden viel von Experimenten erzählt hatten bzw. Inhalte über das Erinnern an dabei durchgeführte Experimente erläuterten, wurden Nachfragen gestellt, z.B. von der Art, ob sie sich einen Unterricht ohne Experimente vorstellen könnten. Durch diese Art der Interviewdurchführung kann - ähnlich wie bei den Lehrenden - davon ausgegangen werden, daß die Aussagen der Schülerinnen und Schüler zum Experiment bzw. zum Experimentieren einen hohen Wahrheitsgehalt besitzen.

8.5 AUFBEREITUNG DER GESPRÄCHSTEXTE

Die Interviews wurden mit einem Kassettenrecorder aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Die Lehrerinterviews dauerten in der Regel eine halbe Stunde, die Schülerinterviews etwa eine Stunde. Mitschriften konnten nicht angefertigt werden, da ich die Befragungen selbst durchführte.

Für die Transkription existieren zwar verschiedene Sätze von präzise festgelegten Regeln [vgl. z.B. Krummheuer 1983], diese kamen hier jedoch nicht bzw. nur in grob vereinfachter Form zur Anwendung. Solche sehr zeitintensiven ausführlichen Maßnahmen wären nur für eine vertiefende Untersuchung relevant, z.B. im Zusammenhang mit Details von Interaktionsprozessen. Es wurden statt dessen verschiedene Maßnahmen

³ Z.B.: "Wie ich von Herrn B. erfahren habe, haben Sie sich mal mit Luftschadstoffen im Chemieunterricht beschäftigt. Mich interessiert, was Ihnen jetzt spontan dazu noch einfällt, daß Sie mal erzählen, was Sie für wichtig halten, was Sie durchgenommen haben, wie Sie das gemacht haben. Ich denke, da fängt mal irgendwer von Ihnen an und die anderen ergänzen das nach und nach. Aufgrund dessen, was Sie dann berichtet haben, werde ich dann noch ein paar Nachfragen stellen."

durchgeführt, die die Lesbarkeit der Quelltexte bzw. der Textauszüge erhöhen. So blieben die "eh's" und offenkundige Wortwiederholungen unberücksichtigt. Ebenso wurde das Gesprochene vorsichtig dem Hochdeutschen angepaßt, z.B. "s'e" zu "sie", "ham" zu "haben", "mer" zu "wir" oder "man", verschluckte "e" wurden ergänzt. Diese einfachen Änderungen sind in den Interviewtexten nicht kenntlich gemacht worden. Kurze Pausen werden durch Gedankenstrich "-" angezeigt. Steht am Ende eines Zitats ein Schlußzeichen ohne vorhergehenden Punkt, so bedeutet dies, daß der Sprechende vom nächsten unterbrochen wurde. An einigen wenigen Stellen habe ich, um ein besseres Verständnis zu ermöglichen, Wörter ersetzt bzw. ergänzt; z.B. aus "denen" wurde "die Schüler". Diese Wörter sind wie üblich in Klammer "()" gesetzt. Auslassungen innerhalb von zusammenhängenden Textpassagen sind durch Punkte "..." gekennzeichnet. Nach der Transkription wurden alle Hinweise, die unter Umständen einen Rückschluß auf die Befragten zulassen, aus den Texten entfernt; dies gilt insbesondere für Personen-, Orts- und Schulnamen.

Die so erzeugten Dokumente wurden analysiert auf Aussagen

- zu Experimenten
- zu den Schülerinnen und Schüler bzw. deren Handlungsziele
- zu den Lehrenden selbst bzw. ihren Lehrzielen
- zum Chemieunterricht allgemein
- zu den Lernenden selbst bzw. zu ihren Handlungszielen
- zu den Lehrenden.

Die Herstellung von Textauszügen erfolgte bei Lehrenden und Lernenden nach verschiedenen Gesichtspunkten. Interviewsequenzen der Lehrenden wurden entsprechend den eben genannten Gesichtspunkten in einem ersten Aufbereitungsschritt zusammengestellt. Passagen, die mehrere der obigen Gesichtspunkte behandeln, kommen in den Interviewauszügen entsprechend mehrfach vor. Die Reihenfolge der Interviewsequenzen entspricht jeweils ihrem Auftreten im Quelltext. Sequenzen, die nicht unmittelbar aufeinander folgen, sind durch neue Anführungszeichen entsprechend kenntlich gemacht. In einem zweiten Aufbereitungsschritt wurden die wesentlichen Schlüsselwörter bzw. -aussagen *kursiv* gedruckt; um dabei eine Unterscheidung von den von den Befragten selbst gemachten Hervorhebungen zu ermöglichen, wurden diese *g e s p e r r t* gedruckt. Den Auszügen vorangestellt ist jeweils eine kurze Beschreibung des Unterrichtsverlaufs, wie er den Quelltexten zu entnehmen ist.

Das gewählte Vorgehen leistet gleichsam wie ein Vergrößerungsglas eine schrittweise Präzisierung und Offenlegung der einzelnen Aussagen. Hierdurch ist es möglich, die befragten Lehrerinnen und Lehrer im Kapitel 9 quasi selbst berichten zu lassen.

Bei den Lernendeninterviews erübrigte sich das oben geschilderte Verfahren, denn es stellte sich heraus, daß ihre Ausführungen im Vergleich zu denjenigen der Lehrenden wesentlich deutlicher sind. Auch zeigte sich, daß obiges Begriffs- bzw. Aspektraster, das sich bei der Analyse der Lehrendeninterviews als brauchbar erwiesen hatte, den eher allgemeinen Aussagen der Lernenden nicht gerecht werden würde.

Der andere Charakter dieser Interviews hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß alle befragten Lerngruppen ihre Ausführungen nicht auf den durch den Stimulus vorgegebenen Unterrichtsgegenstand *Luftschadstoffe* beschränkten; dieser diente ihnen eher als Beispiel. Dabei führte das Überschreiten der durch den Unterrichtsgegenstand vorgegebenen Grenzen im allgemeinen zu einem deutlichen Anstieg der Gesprächsbereitschaft der Lernenden. Indem einige Lernende selbst Beispiele für die Erläuterung ihrer Ansichten wählten, wurden diese akzentuierter als es bei einem Verweilen beim ursprünglichen Gegenstand geschehen wäre.

Da eine scharfe Abgrenzung zwischen den einzelnen Aspekten bzw. die ausschließliche Zuordnung der jeweiligen Aussagen der Lernenden zu einem Aspekt "naturgemäß" nicht möglich ist, es andererseits wünschenswert erscheint, den Zusammenhang und jeweiligen Stellenwert der einzelnen Interviewsequenzen deutlich zu machen, habe ich diese als relativ ausführliche Passagen aus den Dokumenten übernommen (vgl. Kapitel 10).

9. LEHRENDE BERICHTEN VON IHREN ERFAHRUNGEN MIT EXPERIMENTEN IM CHEMIEUNTERRICHT

Im Folgenden werden die für die Beantwortung der Fragestellung wesentlichen Aussagen der Lehrenden wiedergegeben. Daran schließt sich die Zusammenfassung und abschließende Interpretation dieser Aussagen an.

9.1 EIN HAUPTSCHULLEHRER BERICHTET

Als Einstieg dienten Zeitungsartikel zur Luftverschmutzung. Die Schüler stellten dann Überlegungen an, die auf eine Untersuchung von Regenwasser und Autoabgasen abzielten. Die Unterrichtsreihe ist zum Zeitpunkt der Befragung noch nicht abgeschlossen; bisher wurden Versuche zur Bestimmung des Schwefeldioxidgehalts der Luft bzw. des pH-Werts von Regenwasser durchgeführt. In diesem Zusammenhang soll die im vorhergehenden "Standardschulchemie"-Unterricht erarbeitete "Grundkenntnis: »Säure entsteht aus Säuregas plus Wasser«" angewandt werden, mit den Worten des Lehrers: "dann haben wir halt *gemessen*".

ÜBER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER BZW. DEREN HANDLUNGSZIELE:

"... also (pH) 7 ist neutral, 7 bis 14 Laugen, ... und bis 7 ist Säure. Das war das, was die wußten, das was sie einfach *auswendig gelernt* haben. Wo das herkommt, habe ich denen nicht erklärt, wissen sie nicht, kapierten sie nicht, ... So, dann haben wir gemessen: ... Regenwasser hat einer mitgebracht."

"Manche wollten das gar nicht - der Rest interessiert nicht, das war ja dann so was mit Lackmus, das wußten sie: Lackmus nehmen wir; wird rot und so, war alles schön und gut. Aber nur Luftuntersuchung, die *glauben* mir das."

"Ich habe die (Schüler) zum Einstieg natürlich auch *gedrängt*, Zeitungsartikel »Luftverschmutzung«, »Autoabgase«, »Katalysator« habe ich denen hingeknallt. Habe gesagt, sie sollen achten, ob ich da nicht schon Gesichtspunkte bei der Auswahl habe. Und da haben sie Auto und Luft

(genannt). Und da haben wir halt so überlegt, was könnten w i r da so machen? Ja und da haben sie gesagt: Autoabgase, Regenwasser *Regenwasser* mitbringen und so weiter. *Messen*, ob das sauer ist. Und dann habe ich die halbwegs mit Nachhilfe dahingebraucht, daß man die Luft untersucht, indem man halt die Säurereaktion als Nachweismethode anwendet. ... Was (mir) halt aufgefallen war, *die dachten*, da hätte man Luft, da saugt man ein bißchen was an, und dann hat man die herrlichsten, schönen Bariumsulfatniederschläge. Das war so die Vorstellung von den Schülern."

"... d.h., das, was denen überhaupt nicht klar ist, sagen wir bis jetzt noch nicht klar ist, wahrscheinlich habe ich es auch zu wenig klar gemacht, einfach: die Chemie geht halt, das nehmen wir, das kommt raus. ..."

"Die dachten, das ist so wie bei den Säuren. Gut wir saugen da ein bißchen Luft an: zwei, drei Minuten mal kurz die Pumpe an, und dann gucken wir nach. ... Das erwarten die dann. *Die erwarten* halt einen Versuch, und gleich klappt es."

"Die Schüler wissen, daß ich gerne über Umweltschutz spreche, - d.h. wir haben eine Batterietonne im Chemiesaal stehen ... Da bringen sie mich auch manchmal zu. »Da schwätzt er wieder eine Stunde, dann ist die Stunde geschafft.« Das wissen die schon. Die akzeptieren das auch. (Das zeigt sich an so Äußerungen wie:) »Ich bringe sie mit, mein Vater wirft die Batterien in die Mülltonne.« Das ist das momentan auffälligste Beispiel. Natürlich, wenn es an Rauchen und diese emotionalen Sachen geht oder Mofafahren oder später Autofahren, dann bezweifle ich, ob da irgendwo eine Einsicht ist. ... – da gibt es einige, die bringen wirklich Sachen mit, aber dann mit der Luft. Das hängt immer gerade davon ab, wie hautnah die Sache geht."

"Die Probleme der Innenstadt haben die nicht. Natürlich ist die Sensibilisierung eine ganz andere als von einem Mischwohngebiet. ... ist sozialer Brennpunkt. Die Interessen der Schüler sind auch insofern einseitig, d.h. durch die Massierung gleicher sozialer Strukturen hast du da halt auch ausgeprägte, einseitige Interessen."

"Die Chemie im Grunde, das interessiert die. (Die) *interessieren* auch noch andere *Experimente*. Die sind sauer, wenn sie *schreiben müssen*. Dann schimpfen, fluchen sie. Schon wieder schreiben, auch in anderen Klassen (ist das so). Die wollen Experimente sehen. Die wollen das sehen. Das Experiment an sich interessiert die sehr. Nur wie gesagt, wenn sie aus der Schule rausgehen, ist das weg. ... *Das Experiment ist wichtig*. Das akzeptieren die. *Erinnern sich auch dran*: Eh, das haben wir doch mal gemacht oder so was. Da erinnern sie sich dran. Also *Chemie nur Theorie bringt nix*."

"Momentan hab ich das Gefühl, daß die das dahingehend einordnen, da haben wir wenig zu tun. ... mal was Altes wieder aufgefrischt, Schwefelsäurenachweis, das kann nicht schaden. Da ist natürlich für die Chemie » s c h ö n z u g u c k e n «, was der da macht, bzw. »Film lauf ab« ..."

"*Chemie gucken sie. Chemie ist Zauberei irgendwo für die.* Obwohl, wenn ich sage, die Chemie ist die reinste Physik, das glauben sie mir nicht. Aber das ist ja so. Chemie ist Zauberei bei denen. Da gießt man was rein, und da tut sich was, und da brodelt es vielleicht noch und knallt nachher. Interesse ist da. Natürlich nachher die Wiedergabeseite, ..., ist natürlich schwierig. Es gibt einige, die kapieren das toll. Die wissen dann genau, was wir gemacht haben, aber andere: das geht rein, läuft vorbei, war schön, aber nachher wissen sie nix mehr davon."

ÜBER SICH SELBST BZW. SEINE LEHRZIELE:

"(Ich habe versucht, die) Grunderkenntnis: »Säure entsteht aus Säuregas plus Wasser« ...anzuwenden - aufgrund des Schlagworts Saurer Regen-, daß ich Säuregase quasi in der Luft nachweisen kann."

"Dann will ich Autoabgase *messen*."

"Und dann habe ich da halt wieder mal was *Altes aufgefrischt*, Schwefelsäurenachweis, das kann nicht schaden."

"Es geht, wie gesagt, hier in der Hauptschule nur um qualitative Versuche."

"Die *Schüler müssen einsehen* oder sollen einsehen, daß das ein langes Probieren, ein hin und her ist und daß man zig Versuche machen muß, um irgendwie mal ein Ergebnis zu bekommen."

"Das Experiment ist wichtig. ... Also Chemie nur Theorie bringt nix."

"Allerdings bei uns sind wir der Meinung, also im Fachbereich Chemie und Physik, daß Experimente nicht alle selber (d.h. von den Schülern) gemacht werden. Einfach das *Zuschauen*, was der da vorn macht - im Bereich der Chemie - *bringt viel*. (Das) haben wir allgemein *festgestellt*. Es muß nicht alles selber gemacht werden."

ÜBER (DIE DURCHGEFÜHRTEN) EXPERIMENTE

"Ich habe angefangen mit *Standardschulchemie*, ... Lösungen, Säuren, Säuren herstellen, ... schwefelige Säure mit SO_2 und Wasser, dann Salpetersäure, Lichtbogenversuch, Stickoxide durch Wasser durchleiten, Salpetersäure. ... CO_2 aus der Flasche durch Wasser durchleiten; mit der Grunderkenntnis: »Säure entsteht aus Säuregas plus Wasser«"

"Gemacht habe ich einen großen Versuch; und zwar diesen »Gaszählerversuch«, so will ich ihn mal nennen. Also: ... Abluft, Waschflasche, Gaszähler, Saugpumpe, das ist der Ablauf. Und dann habe ich halt gemessen. ... (Den pH-Wert habe ich als Maßstab) erklärt, ... und zwar nicht hier der Logarithmus, sondern einfach die Skala erläutert und dann noch mal kurz über den Nachweis gesprochen, also die Indikatoren."

"*Regenwasser* hat einer mitgebracht, das hat einen pH gehabt von 5,6, glaube ich. Dann haben wir Regenwasser auf dem Schulinnenhof *gemessen*."

ZUSAMMENFASSUNG

Wesentlich erscheint, daß dieser Hauptschullehrer¹⁾ mittels experimenteller Bestimmung ("messen") der lokalen Schwefeldioxidbelastung der Luft bzw. des Säuregrades des Regenwassers versucht, eine Brücke zwischen der objektiven Alltagssituation der Schülerinnen und Schüler und dem bisherigen wohl eher fachorientierten ("*Standard-schulchemie*") Unterricht herzustellen. Diese Verbindung ist dem offenbar im Umweltbereich engagierten Lehrer *klar*, den Lernenden jedoch nur schwierig nahezubringen ("halbwegs mit Nachhilfe dahingebacht").

Der Lehrer führt diese Schwierigkeit auf eine mangelnde Sensibilisierung (Sozialstruktur des schulischen Einflußgebiets) zurück; inwieweit hier oder gar bei "emotionsbelasteten" Veränderungen der Verhaltensdisposition (Rauchen, Autofahren) die Schule einwirken kann, beurteilt er skeptisch. Hingegen berichtet er, daß die Schülerinnen und Schüler konkrete Handlungsmöglichkeiten (Batterietonne) durchaus wahrnehmen und bereit sind, sich im Unterricht auf umweltbezogene Themen einzulassen. Sie benutzen die ihnen bekannte Einstellung des Lehrers aber auch, um eine Unterbrechung der offenbar fachorientierten Vorgehensweise zu erreichen, zumindest aber, um nicht schreiben zu müssen. *Schreiben müssen* wird von ihnen fast als Strafe aufgefaßt, wohl auch mit theoretischem Unterricht gleichgesetzt, d.h. mit erhöhten Anforderungen an Konzentration und Aufmerksamkeit (vgl. Kapitel 10).

In diese Vermeidungsstrategie ist offenbar auch das Interesse der Lernenden am Experimentieren - sowohl des eigenen wie des Lehrers - eingebunden. Hierfür spricht auch, daß sie kein Interesse an einer für sie aufwendigen Versuchsentwicklung haben - was sie allerdings wohl auch nicht gewöhnt sind (vgl. Kapitel 10) - vielmehr erwarten sie, entsprechend der üblichen Praxis, in angemessener Zeit funktionierende Versuche

¹⁾ Er ist der einzige Befragte, der keine Ausbildung für das Fach Chemie erhalten hat, das er seit mehreren Jahren unterrichtet. Dies ist eine nicht ungewöhnliche Situation.

mit eindeutigen Ergebnissen. Inwieweit diese Ergebnisse auch tatsächlich allgemein oder innerhalb einer Theorie brauchbar sind, hat dabei aus Lehrersicht für sie keine Bedeutung ("Chemie ist Zauberei"). Die große Beliebtheit von Experimenten ist dann auch letztlich das zentrale Argument des Lehrers für ihre Wichtigkeit im Chemieunterricht. Er betont, daß das Fachkollegium an seiner Schule Schülerversuche nicht generell für notwendig erachtet. Mit "Zuschauen bringt viel" und "(sie) erinnern sich auch dran" stellt er einerseits die prinzipielle Bedeutung des Experiments für den Lernprozeß heraus, gleichzeitig relativiert er diese Funktion wieder in Richtung darauf, daß die Erinnerung an Experimente nur ansatzweise Bezugspunkte für nicht unbedingt verstandene Inhaltsfragmente darstellt.

9.2 EIN GYMNASIALLEHRER BERICHTET

Die Immissionsmessungen wurden mit einer freiwilligen Arbeitsgemeinschaft der 11. Klassen durchgeführt. Im Mittelpunkt stand das Ziel, *eigene Meßwerte* zu erhalten. Die experimentellen Vorkenntnisse der Schüler waren gering, weil "Schülerübungen in der Mittelstufe sehr knapp ausfallen".

Als Einstieg diente eine Waldbegehung. Danach wurden Versuche zur möglichst genauen Bestimmung des SO₂-Gehalts der Luft durchgeführt. Außerdem wurde versucht, Nitrat in den Untersuchungslösungen nachzuweisen. Besondere Probleme ergaben sich beim Aufstellen der Eichkurven, hier wurde sehr viel Zeit "verbraucht". Die handwerklich-apparativen Probleme hatten zur Folge, daß eine ausführliche Auswertung und Diskussion der Meßwerte nicht durchgeführt werden konnte.

ÜBER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER BZW. DEREN HANDLUNGSZIELE:

"Wir²⁾ wollten einfach Immissionen messen."

"Das war also (eine) *freiwillige* AG, kein Pflichtunterricht."

"Die Elftkläßler wissen da so ein bißchen was aus der Zeitung. Es ist also auch minimal. Ich bin da immer erstaunt, was die da in den Medien angeboten kriegen und was davon hängen bleibt. Da ist also wenig dagewesen. Aber sie

²⁾ Zum Gebrauch des "wir" an dieser Stelle wie an den folgenden siehe die Zusammenfassung unter 9.2.

haben immerhin schon mal was davon gehört gehabt. Aber da habe ich halt ganz *konkret ... aufgezeigt* (im Wald), so und so sieht es an der und jener Stelle aus. Das war also neu. *Das fanden sie auch beeindruckend* und irgendwo deprimierend. ...

Wo kommen sie (die Schadstoffe) her? Welche Wirkung haben sie? ... Wenn Bäume sterben, was ist mit uns? ... Und dann haben wir gesagt: »So, jetzt wollen wir eigentlich mal sehen, was haben wir tatsächlich hier bei uns?«

" *Betroffenheit* hat sehr viel mehr die Waldbegehung, also das Schadbild vor Ort erzeugt. Das ist, glaube ich, das was am stärksten beeindruckt. Weil die zwar Zahlen hören: auch jetzt, wo man diese Berichte hat mit 51%. Gut, das ist eine Zahl, aber es ist wenig im Vergleich zu 100%. Und wenn man dann im Wald steht und sagt: »Hier, jeder zweite Baum hat einen Schaden. Gucken wir mal, ob wir den sehen?« Das erzeugt eine ganz andere Betroffenheit. Und ich glaube, darüber erfolgt dann auch ... eine etwas intensivere Ansprache. Die Meßergebnisse hinterher das sind doch nur *fiktive Zahlen*.

"Ich persönlich hatte den Eindruck, daß es (das Messen) nicht so sehr gewirkt hat. Das war wirklich (so), daß die Methode im Vordergrund gestanden (hat), das *Berechnen* der Werte aus diesen Verdünnungen, die man dann hat. Das war dann also irgendwo *faszinierend*, was Mühe gemacht hat. Wo sie sich drauf konzentriert haben."

"... das quantitative Arbeiten. Da haben sie sich also unheimlich schwer getan. Die kannten es halt vorher nicht. So das Eichkurven aufstellen, ... Da haben wir also (eine) Unmenge von Zeit verbraucht."

"Die (Schüler) haben das eigentlich so als *Bastelkurs* verstanden. ... Da wir keinen Zwang hatten, haben wir halt wirklich versucht, da zu basteln und probiert. Also, sagen wir, das hat den Schülern *Spaß gemacht* eigentlich. ...; weil effektiv das praktische Arbeiten über so einen langen Zeitraum im Vordergrund stand, daß das andere also dann *Faszination des Experi-mentes* war und weniger *Faszination der Aussage, die drinsteckt*."

ÜBER SICH SELBST BZW. SEINE LEHRZIELE:

"Wir wollten einfach Immissionen *messen*."

"Wo kommen sie her? Welche Wirkung haben sie? ... Wenn Bäume sterben, was ist mit uns? ... Und dann haben wir gesagt: »So, jetzt wollen wir eigentlich mal sehen, was haben wir tatsächlich hier *bei uns?*«

»"Ich würde es *nicht mehr machen* jetzt! Das war also (eine) freiwillige AG, *kein Pflichtunterricht*, denn da wär es nicht vertretbar gewesen. Und deshalb

denke ich, daß diese Versuche zur Immission für mich im regulären Unterricht völlig uninteressant sind. ... von daher würde ich sagen, sind die für mich nicht mehr relevant, diese Versuche. Es wäre was anderes, wenn es mir darum ginge, in einem Chemieleistungskurs, in einer 13 so, *Analysenmethoden mal vorzustellen*. ... daß es um die Methode geht, um ein Beispiel und nicht darum, irgendwas zur Luftverschmutzung zu machen. Dann, würde ich sagen, könnte man das ja vielleicht nochmal probieren."

"... das Ziel, nämlich die Erhaltung von einwandfreien Immissionswerten und dann die Diskussion und Auswertung, das kam dabei also sehr stark *zu kurz*; weil effektiv das *praktische Arbeiten* über so einen langen Zeitraum, so weit *im Vordergrund* stand."

"»Wie kann man es messen?« Das war so zwar die Fragestellung, aber *damit bin ich nicht zufrieden*, wenn ich dabei hinterher Meßwerte habe, sondern die müssen ja nochmal richtig reflektiert werden."

"... das Ziel von diesem Halbjahr (war) insgesamt nicht verfehlt, denn mir ging es mal darum, vom Phänomen auszugehen. Das Waldsterben, das ist das, was mich stärker bewegt als das Experiment eigentlich, das war klar. Das haben die Schüler auch akzeptiert. Das hat sie auch betroffen gemacht. Also von daher habe ich schon einiges erreicht, glaube ich, zumindest Bewußtsein vielleicht bei einigen geweckt."

"Für mich und dann natürlich auch für die Schüler (ging es) um das *Ausprobieren*."

ÜBER (DIE DURCHGEFÜHRTEN) EXPERIMENTE:

"Es waren Elftkläßler überwiegend, mit relativ geringer experimenteller Erfahrung, einfach weil bei uns ... Schülerübungen in der Mittelstufe sehr knapp ausfallen. ...

Ich (habe) einen Gaszähler besorgt. Und dann haben wir eben mit einer Pumpe, Gaspumpe, Luft durchgesaugt, also Volumenbestimmung und das, die Luft, dann eben mit Wasserstoffperoxid aufoxidiert, sprich das SO_2 , und *Bestimmung des SO_2 -Gehalts der Luft* dann über Leitfähigkeitsmessungen. ... dann haben wir noch versucht, aus dieser Lösung heraus einen *Stickstoffnachweis* ... (durchzuführen). Und zwar hatten wir uns zunächst für beide quantitative Messungen Eichkurven aufgestellt. Wo wir also mit Standardwerten, die wir uns selbst angesetzt haben, dann einfach Eichgraden - mehr oder weniger - hatten. Worauf wir dann die Werte sofort ablesen konnten. Das war also so das Prinzip. Der Nitratnachweis, den haben wir untersucht über diesen roten Farbkomplex, mit Ö-Naphthylaminsulfanilsäure, also Salzmann-Reagenz, und das Ganze dann photometrisch ausgewertet."

"Das Eichkurven aufstellen, da haben wir also bestimmt vier, fünf Doppelstunden für gebraucht, bis die einigermaßen gestimmt haben. Weil da also ständig irgendwelche Fehler drin waren. Da haben sich also die Lösungen, die als Blindproben gedacht waren, auf einmal rosa gefärbt beim Nitratschweis. Das war eigentlich das Schlimmste von allem. Da haben wir also (eine) Unmenge von Zeit verbraucht und immer wieder gespült. ... Auch die Frage dann mit den Konzentrationen, ... für 1 m³ Luft haben wir dann etwa (eine) dreiviertel Stunde bis eine Stunde gebraucht, bis wir den durchgezogen hatten, weil bei uns halt die Konzentrationen nicht so hoch sind. Wir haben nicht so »günstiges« Stadtklima, wie die hier. Und deshalb braucht man also 1 m³, d.h. die Maschine [elektrische Pumpe] läuft 1 Stunde. Das ist also schon mal Lärmbelästigung, da kann man also im Grunde auch kaum was anderes nebenbei machen."

"Einstieg war *Waldbegehung*. War eigentlich die erste Stunde, die wir dazu gemacht haben. Ich sage, wir treffen uns, gehen in den Wald, und habe dann halt selbst die ganzen Schadsymptome da gezeigt, vorgeführt."

ZUSAMMENFASSUNG

Für Lehrer, Schülerinnen und Schüler ist die Auseinandersetzung mit Luftschadstoffen *freiwilliger* Chemieunterricht, d.h. daß die sonst üblichen Vorgaben und Zwänge nicht zum Tragen kommen. Der Lehrer kann, was er auch verschiedentlich betont, einmal in seinem unterrichtlichen Vorgehen experimentieren, insbesondere hat er kein bestimmtes Pensum zu vermitteln.

Ebenso wie der zuvor befragte Lehrer versucht er, von der Bestimmung der lokalen Schadstoffbelastung auszugehen. Dabei hat er den Anspruch, zu Meßergebnissen zu gelangen, die mit denen professioneller Untersuchungsstellen vergleichbar sind. Die dabei auftretenden - insbesondere handwerklichen - Probleme³⁾ führen bei ihm zu dem Entschluß, so geartete Untersuchungen nicht mehr in der Schule zu machen; allenfalls in einem 13er Leistungskurs mit dem Schwerpunkt Analysenmethoden ist es für ihn noch vorstellbar. Neben dem Verweis auf die schulüblichen Zwänge ist sein Hauptargument allerdings inhaltlicher Natur: "Diskussion und Auswertung ... kam dabei ... sehr stark zu kurz".

³⁾ Eine wesentliche Ursache dieser Probleme liegt in den selbst in Smogzeiten für eine Analyse geringen Konzentrationen der zu bestimmenden Stoffe. Die Lage der betreffenden Schule in einem breiten Tal ohne bedeutende Emittenten verstärkt die analytischen Probleme.

In dieser Aussage und in Äußerungen wie "Die Meßergebnisse hinterher, das sind doch nur *fiktive Zahlen*" manifestiert sich auch eine eher geringe Bewertung des praktisch-experimentellen, insbesondere des quantitativen Arbeitens, gerade dann, wenn nicht die Methodenfrage im Zentrum steht. Unterstützt wird diese Interpretation auch dadurch, daß er nicht den durchgeführten Experimenten bzw. deren Ergebnissen Einfluß auf die Einstellung der Lernenden zum Problem der Luftschadstoffe zuspricht, sondern der Waldbegehung. Plausibel ist die hohe Bedeutung der Waldbegehung für das Erzeugen bzw. Verstärken von Betroffenheit insofern, als in diesem Fall die Ergebnisse eines großen Naturexperiments *direkt sichtbar* sind. Hier zu wirken, sieht der befragte Lehrer offenbar als eine Aufgabe von Schule an, da die Lernenden trotz des Informationsangebots der Massenmedien "wenig" Wissen haben.

Während der Lehrer einen hohen praktischen Anteil wie im zugrundeliegenden Fall im *normalen* Chemieunterricht nicht für gerechtfertigt hält, ist die Bewertung der Schülerinnen und Schüler offenbar anderer Natur (vgl. Abschnitt 10.1). Wie der befragte Lehrer selbst ausführt, sind letztere trotz der z.T. monotonen Versuche, die Experimente "zum Arbeiten" zu bringen, insgesamt von dieser Tätigkeit beeindruckt ("Faszination des Experiments", "Bastelkurs"). In der nach Aussage des Lehrers andersartigen Bewertung des Unterrichts durch die Lernenden wird eine Enttäuschung des Lehrers sichtbar: einerseits funktionieren die Experimente nicht so, wie gewohnt, andererseits besteht eine deutliche Identifikation seinerseits mit der Lerngruppe ("wir" an mehreren Stellen). Diese offenbar von dem ursprünglichen Unterrichtsziel (Messen der lokalen Schadstoffkonzentration) ausgehende Identifikation wird durch seine abschließende Bewertung des Unterrichtsablaufes in Frage gestellt.

9.3 EINE LEHRERIN AN EINER INTEGRIERTEN GESAMTSCHULE BERICHTET

Der Chemieunterricht wird an dieser Schule nur epochal, in den Jahrgangsstufen 8 und 10 erteilt; allerdings ist es dadurch möglich, die Lerngruppen relativ klein zu halten. Das Thema Luftschadstoffe wurde hauptsächlich in Klasse 10 in Verbindung mit "Säuren, Basen und Salze" behandelt; dies entspricht dem damals in der Diskussion befindlichen Rahmenrichtlinienentwurf von 1985. Vor längerer Zeit hatte die Befragte

das Thema auch einmal in Klasse 8 aufgegriffen, das Vorgehen war dabei mit dem Gesellschaftslehre(GL)-Lehrer abgestimmt, der das Thema "Umwelt" zur gleichen Zeit behandelte.

Im Mittelpunkt stand jeweils die Umweltbelastung durch Schwefeldioxid. Nach einer ausführlichen Erarbeitung des pH-Wertes und der Entstehung des Sauren Regens fand eine Exkursion zum "Waldlehrpfad Saurer Regen" statt; dabei wurde einmal auch der Boden auf Kleinstlebewesen hin untersucht. In einigen Lerngruppen wurde darüber hinaus die Entstehung von Smog und NO_x sowie der Abbau der Ozonschicht behandelt. Das Vorgehen war dabei möglichst immer ein problembezogenes, die Versuche ausschließlich qualitativer Art.

ÜBER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER BZW. DEREN HANDLUNGSZIELE:

"Diese Schüler (haben) wirklich - irgendwie auch so einen ganz anderen Ansatz ... daß die nicht so direkt auch in Fächern denken. Ich habe in Klasse 10 ... das Thema »Boden« gemacht. Also da können sie dann gar nicht, haben sie gar nicht so »chemischer Aspekt« »biologischer« und »physikalischer«, sondern eigentlich immer mehr auch mitgedacht, wie wirkt das dann auf Lebewesen und so."

"(Ich vertrete einen) *umweltorientierte(n) Ansatz*. Ich habe es im Wahlpflichtunterricht gemerkt, wo sich die Schüler selbst ihre Themen wählen; da kam eine Schülerin, die war ökologisch sehr interessiert und die hat aber bei ihrem Lehrer eben nicht diesen Umweltunterricht gehabt. Die wollte ganz gern mal solche Themen machen, und das haben dann die Schüler abgelehnt, das würden sie ja alles im normalen Unterricht auch schon machen. ... Das sehen die Schüler ganz klar, daß sie im normalen Unterricht eben so Themen (wie) »Umwelt«, »Luft«, »Wasser«, »Boden« haben."

"Die Hälfte meiner Schüler hatte sich in den Wahlpflichtkurs reingewählt. Das zeigt, daß sie nicht von Chemie *verprellt* wurden, was normalerweise so oft der Fall ist. Wir kriegen meistens kaum einen Wahlpflichtkurs Chemie zustande."

"Ich habe dann auch eine Auswertung von dieser Exkursion (zum Lehrpfad »Saurer Regen« gemacht, ... Und da kam auch so allgemein bei den Schülern doch auch eine ziemliche Betroffenheit über diesen Boden raus."

"... Kalken als Gegenmaßnahme: ... einfach eine Säure ..., einen Indikator drin und Kalk zugegeben ... Und das sollten sie dann *auswerten*. Da für die eben pH-Wert was *Meßbares* ist, haben die dann *einfach gesehen*: aha, jetzt ist das eine Lauge, das kann ja auch nicht gut gehen. ... Das haben sie schon gesehen, daß das nicht so eine sinnvolle Maßnahme sein kann. Daß man so genau den

pH-Wert wahrscheinlich auch nicht einhalten kann. Sie haben allerdings auch den Zusammenhang gesehen, ... daß da, wo die Bauern ihre Felder kalken, daß das auch nicht nur negativ ist. (Denn da hatten sie Kleinlebewesen im Boden gefunden, beim Lehrpfad Saurer Regen aber nicht)".

"»Atombau« Da hatte ich allerdings so mit Tschernobyl angefangen, wollte eigentlich von Tschernobyl ausgehend das Thema *Atombau / Periodensystem* ein bißchen aufziehen. Das habe ich dann aber *abgebrochen*, weil irgendwie kam da »Ah, schon wieder« oder so was. ... auch das erste Vierteljahr (im jetzigen Schuljahr), als ich das mit dem Atombau machte, das *fanden sie also nicht gut*. Und jetzt, gerade wieder heute, als ich das mit diesem »*Chemie an der Tankstelle*« gesagt habe und wir heute diese Fragen hatten, da (sagten) viele: „Ah, Gott sei Dank“ und (haben) sich sich eigentlich auf das Thema so *gefremt*. Und wie gesagt, die Fragen gehen auch so in die Richtung: Abgase ... Ölverschmutzung, so Themen. Sie sind jetzt dabei, Versuche sich *auszudenken*. ..., wie könnten sie die Fragen beantworten. Dann wollen wir noch zur Tankstelle gehen."

ÜBER SICH SELBST BZW. IHRE LEHRZIELE:

"Ich habe schon immer *themenorientiert* unterrichtet. So eher: »Unsere Atmosphäre, ist die für uns Luft?« "

"Ich gehe aus vom pH-Wert. Das finde ich *ganz wichtig*, daß die Schüler schon im Anfang, im 8. Schuljahr, meistens ja schon beim Wasser, daß sie den Begriff pH-Wert kennen. Also pH-Wert als eine *Meßgröße* und als etwas, was etwas aussagt über *Qualität*, Wasserqualität und Luftqualität. ... daß ich sie dann Versuche machen lasse ... zu den verschiedenen pH-Werten, na, daß sie so ein *Gefühl dafür kriegen*: Zitronensaft und Essig und so ein Haushaltsmittel. ... Und dann gebe ich ihnen oft aus Büchern auch noch mal die Seen, also wo jetzt welche pH-Werte vom Sauren Regen gemessen worden sind. Das ist dann entweder eine Einführung in den pH-Wert oder nochmal um ganz klar den pH-Wert ins Bewußtsein zu rufen. Was das ist, ist mir ganz wichtig. Dann auch so die *Bedeutung*, also von einem pH-Wert zum anderen, daß das eben nicht das Doppelte ist, sondern das Zehnfache. Das haben wir auch nochmal mit so einem *Versuch belegt*."

"Ich kann mir gar keinen normalen Unterricht vorstellen; [lacht] ... Bei mir ist bis jetzt eigentlich jedes *Thema* letztlich in so einen *Umweltbezug eingebettet*. Jetzt fange ich an mit der Unterrichtseinheit »Müll«, wo sie (die Schüler) Stoffgemische kennen lernen. Es gibt »Müll«, »Wasser«, »Luft« und immer mit *Umweltverschmutzung verknüpft*. ... Für mich ist auch wichtig, ... daß die Themen auch von den Schülern kommen."

Zwar so von mir auch stark geprägt, aber daß das auch so ein Echo bei den Schülern hat."

"... *es zählt* auch mit jetzt zum Unterricht, daß sie selber *Fantasie* entwickeln. Und die kam dann eigentlich auch so. Zwar erst sehr stockend ...
... Thema »Saurer Regen« oder »Boden« oder was immer sie dann wählen – das ist dann doch sehr selbständig von den Schülern geplant. Und daß die Fragen dann auch so ernst sind. Also, daß sie *merken*, ich nehme die mit den Fragen *ernst*, es hat eine Bedeutung."

ÜBER (DIE DURCHGEFÜHRTEN) EXPERIMENTE:

"(Ich lasse die Schüler) Versuche machen zu verschiedenen pH-Werten ... Und dann mache ich eben den Versuch, im Kolben Schwefel zu verbrennen. Also aus Kohle, 4% in der Kohle sind Schwefel, dann habe ich eben die Schwefelmenge abgewogen und zwei Kohlebriketts. Und dann sehen sie (die Schüler) eben diese riesige Menge, die da drin ist, und merken aber, Schwefel ist ungiftig, und daß sie den Schwefel mal auf die Haut machen können, der kommt denen wie Puder vor. ... (Ich mache das) als Demonstrationsversuch in so einem Verbrennungslöffel, den *Schwefel zu verbrennen*, also *quasi zu simulieren, wie entsteht der Saure Regen* oder wie kommt das Schwefeldioxid in (den) Sauren Regen. Und daß sie dann eben mit Wasser und mit dem pH-Wert oder mit einem Indikator *nachweisen, daß eine Säure entstanden ist*. ... Also einmal die wahrnehmbaren, sichtbaren Eigenschaften. Und dann eben aus Büchern mehr so die Wirkungen - an Menschen, an Pflanzen. Und dann ... den Versuch: Schwefeldioxid und Kresse, Kressesamen und Pfennige, Kupfer - also *Wirkung von Schwefeldioxid auf Metalle, auf Pflanzen, auf Samen*. ... Und dann kann sich eben noch anschließen hierzu: Besuch in dem Wald und diesen *Lehrpfad »Saurer Regen«* ... Einmal habe ich auf dem Acker Kleinstlebewesen bestimmen lassen und pH-Wert und so. Und wollte das im Waldboden - Waldboden = intaktes Ökosystem - bestimmen lassen. Aber im Waldboden bei dem Lehrpfad »Saurer Regen« waren keine Kleinstlebewesen mehr."

"(NO_x). Manchmal mit dem Versuch da, also *Stickoxide hergestellt*: Luft verbrannt im Lichtbogen. Manchmal auch, daß sie es dann so abgeleitet haben. Also diese Reaktionsgleichung, wenn das so mit dem Schwefeldioxid ist, wie ist das dann mit den Stickoxiden?"

"*Wie entsteht Smog?* Da habe ich diesen Zylinderversuch gemacht. [Rauch wird in einen kalten und in einen warmen hohen Zylinder eingeleitet.] Also, so diese *einfachen Versuche* kennen die."

"... quantitativ habe ich überhaupt nicht gearbeitet. Also das finde ich so in der Sekundarstufe I eigentlich *zuviel*."

ZUSAMMENFASSUNG

Die Befragte hat Luftschadstoffe im Unterricht bereits mehrmals behandelt. Bemerkenswert ist, daß sie versucht, sämtliche Inhalte des Chemieunterrichts themenorientiert zu behandeln, sie jeweils in einen Umweltbezug einzubetten. Die Lernenden haben diese Sichtweise insofern übernommen, als sie sich im Unterricht stets bemühen, nicht nur einen (z.B. chemischen) Aspekt eines Themas zu betrachten. Die übliche, mit dem Stundenwechsel gegebene Fachorientierung ("Was hat denn das mit Chemie zu tun?") scheint durch diese Art Unterricht durchbrochen zu sein.

Die Akzeptanz des themenorientierten Chemieunterrichts hängt aus ihrer Sicht damit zusammen, daß dieser sich an konkreten Inhalten orientiert, zu denen die Lernenden einen *direkten* Bezug herstellen können. Ein Indiz für diese Annahme ist auch die Ablehnung von abstrakten Themen wie Atombau und Periodensystem durch die Lernenden (vgl. auch Kapitel 10). Die Bemühungen der Lehrerin, mit konkreten Erfahrungen des Alltags zu arbeiten, wird u.a. daran deutlich, daß sie die Lernenden z.B. mit Zitronensaft und Essig experimentieren läßt, damit sie "ein Gefühl" für die pH-Werte bekommen. In dieselbe Richtung zielen auch Versuche, den Unterschied von Schwefel und Schwefeldioxid für die Lernenden sinnlich erfahrbar zu machen ("Puder", das man sich auf die Haut streuen kann, bzw. schädigende Wirkung auf Pflanzen). Die von ihr angeführten Versuche - einschließlich der Waldbegehung - dienen primär dem Ausbau von Erfahrungen und Plausibel-Machen von Zusammenhängen (z.B. Simulation des Sauren Regens).

Insgesamt ist sowohl die befragte Lehrerin wie auch deren Chemieunterricht bei den Schülerinnen und Schülern beliebt, andernfalls wäre die auch von ihr selbst als untypisch charakterisierte Wahlpflichtkurseinwahl nicht zustande gekommen.

9.4 EIN LEHRER AN EINER ADDITIVEN GESAMTSCHULE BERICHTET

Das "Projekt" Luftverschmutzung wurde von zwei Realschulklassen der Jahrgangsstufe 10 und vier Lehrern, von denen zwei nicht Chemie unterrichten, durchgeführt. Das "Projekt" dauerte insgesamt eine Woche, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Einwahl in die einzelnen Arbeitsgruppen und die Vorstellung der Projektthemen bereits vor den dreiwöchigen Osterferien stattfand. Zuvor hatte im Chemieunterricht eine fachspezifische Auseinandersetzung mit Teilaspekten des von den Lehrenden geplanten "Projekts" stattgefunden. Insbesondere waren Experimente zur Entstehung des Sauren Regens und der Wirkung von Schwefeldioxid auf Pflanzen durchgeführt worden; im Projekt selbst wurden keine Experimente durchgeführt.

Die Themen der Arbeitsgruppen waren "Smog", "Verkehr", "Wald" und "Gesundheit". Sie wurden jeweils von einem der Lehrenden geleitet. Am ersten Tag arbeiteten sich die Lernenden in die Themen ein, indem hauptsächlich organisatorische Dinge besprochen wurden. Dies fand in einer "relativ lockeren Atmosphäre" statt. Zu den einzelnen Themen hatten die Lehrenden bereits "Experten" angesprochen, die im Laufe der Woche einmal am "Projekt" teilnahmen. Neben der Arbeit in der Schule besuchten einzelne Schülergruppen u.a. Ärzte, Krankenhäuser, die AOK, den ADAC, Tankstellen, eine Ausstellung zum Thema "Wald". Der befragte Lehrer charakterisierte den Verlauf als von "große(r) Aktivität" geprägt, mit starkem Engagement der Lernenden, das sich u.a. im Mitbringen eigener Materialien äußerte. Die Ergebnisse der Arbeitsgruppen wurden am letzten "Projekttag" in Form von Wandzeitungen und Collagen verarbeitet, um sie der Schulöffentlichkeit zu präsentieren.

Die Aussagen des von mir befragten Lehrers basieren hauptsächlich auf Erfahrungen mit der Arbeitsgruppe "Smog", die er geleitet hatte.

ÜBER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER BZW. DEREN HANDLUNGSZIELE:

"Am 1. und 2. Tag haben wir uns im Prinzip mit der Smogverordnung auseinandergesetzt. ... Und da mußte man sich schon ganz schön durchbeißen, also ich auch mit denen zusammen. Und das lief eigentlich auch ganz gut."

"... nach dieser Veröffentlichung haben wir so einen anonymen Fragebogen ausgeteilt. Und das war halt schon ganz interessant, was da für Äußerungen von den Schülern kamen: das war also eigentlich sehr identisch mit dem, was

ich auch so über Schule denke. Daß also durch diesen 45-Minuten-Takt, mit verschiedenen Fächern ... ein *ganzheitliches Lernen* schwer möglich wird."

"Ich mache eigentlich so die Erfahrung, wenn die (Schüler) *selbst* z.B. *was nachweisen* können, dann ist das natürlich immer sehr gut, *sehr positiv*, wenn sie selbst diese Versuche machen können oder wenn ich die mache. Aber ich meine, du weißt selbst, daß so Versuche zur Luftverschmutzung, wenn man sie z.B. quantitativ machen will, einen enormen Aufwand kosten. Und die Schüler im Prinzip dann doch auch nicht genau feststellen, was da eigentlich abläuft. ... Also ich sehe es irgendwie nicht so ganz ein, die Schüler da mit so hochtechnischen Experimenten - also ich würde doch fast sagen - zu überfordern. ...

Ich meine, so die Experimente, die ich mache, also gerade so mit dieser Luftverschmutzung, die sind halt irgendwie ganz *schön*. Also das *gefällt* denen auch ganz gut. ... das *belebt* das auch bei den Schülern. ... Also Experimente mit so einem *Überraschungscharakter*. Also wenn ich z.B. Schwefeldioxid nachweise mit dieser Kaliumpermanganatlösung, dann wissen die ja nicht, wie es ausgeht, das erwarten die irgendwie auch nicht, daß die Farbe da weggeht. Das ist halt irgendwie schon so eine Überraschung, das ist schon ganz gut."

ÜBER SICH SELBST BZW. SEINE LEHRZIELE:

"Ich hatte in den Osterferien so verschiedene Experten bestellt für das Projekt: also einmal einen Kinderarzt von der ... Uniklinik, einen Förster, dann Eltern von so einer Bürgerinitiative, die Kinder haben, die an Pseudokrapp erkrankt sind; ... ein wichtiger Punkt war, daß auch wir (Lehrer) bei dieser ganzen Sache noch was mitbekommen. Und was ich halt ganz gut finde, daß in so einem Projekt, nicht allgemein, aber wenn du so Experten hast, daß du praktisch dann nicht mehr so der Lehrer bist und dich dann im Prinzip in dieselbe Rolle begeben kannst, wie ein Schüler, also *auch Lernender mal selbst zu sein*, wieder was Neues mitbekommen. Und was ich auch wichtig finde, daß *von außerhalb mal Leute in die Schule kommen*. Denn die Schule ist an und für sich ein relativ geschlossenes System."

"(Im Projekt) gab (es) auch keine Benotung und so. ..., daß die (Schüler) also *ohne Druck da arbeiten* konnten, auch auf die Gefahr hin, daß natürlich einige gar nix machen. Also auch darüber hatten wir (Lehrer) uns verständigt, daß wir da nicht eingreifen wollten. Nur dann, wenn also diejenigen, die gar keinen Bock haben, dazu übergehen, die Anderen auch vom Arbeiten abzuhalten. Das ist aber im Projekt eigentlich nicht passiert."

"Also das ist eigentlich so für mich dieser positive Aspekt gewesen, daß es eben *nicht nur Chemie* war; sondern ich meine, Luftverschmutzung ..., das ist Ökonomie, das ist Biologie, das ist juristisch usw., also eigentlich *fächerübergreifend*."

"Also, d a s e i n e Experiment ist halt sehr *wichtig*, was ich dir erzählt habe, da mit der Verbrennung von Schwefel, wie der Saure Regen entsteht. Also das finde ich sehr *wichtig!* Ich meine, ansonsten brauchst du meiner Meinung nach, um so ein Projekt durchzuführen, keine größeren Experimente. Die (Schüler) *müssen* halt *wissen*, was eine Säure ist, die *müssen wissen*, was der pH-Wert ist, auch mal mit Universalindikator *überprüfen können*. Aber das sind eigentlich ganz so einfache Versuche, die eigentlich so gang und gäbe sind. Also nix mit großem technischen Aufwand und so. Wir haben auch selbst nie die Luftverschmutzung ... (hier) untersucht, keine Messungen vorgenommen."

"... du hast da in ... Entfernung das Häuschen stehen von der Landesanstalt für Umwelt. Und ... ich hatte auch ein paar Meßberichte besorgt vorher von denen. Und da steht es halt im Prinzip genau drin. *Genauer* kriegst du es eh' nicht. Kriegst es halt höchstens ungenauer. Von daher ist eigentlich wirklich auch zu überlegen, was es dann soll, diese Experimente zu machen."

"So eine Bestimmung von Regenwasser, daß du da den pH-Wert mal bestimmst, das finde ich in Ordnung, das finde ich auch vollkommen ausreichend. Also ich sehe es irgendwie nicht so ganz ein, die Schüler da mit so *hochtechnischen Experimenten* - also ich würde doch fast sagen - zu *überfordern*. Also ich beziehe mich da irgendwie schon auf diese *einfachen Experimente*, die relativ klar *verständlich* sind.

Ich habe auch z.B. eine Gasspürpumpe. ... Die (Röhrchen) sind nicht so meßgenau⁴⁾. Aber ich meine, um denen mal zu zeigen, wie man überhaupt so was machen kann, daß es da Möglichkeiten gibt, auch relativ einfache, mache ich das halt schon ab und zu. ... Ich mache mit denen im übrigen auch nicht, was für eine Reaktion (bei dem Schwefeldioxidnachweis mit der Kaliumpermanganatlösung) abläuft. Ich sage denen: »Das ist ein Nachweismittel dafür. Und wenn du eine Entfärbung hast oder eine Umfärbung, dann kannst du darauf schließen, daß da Schwefeldioxid in der Luft oder in dem Behälter ist.« Weil die Reaktionen auch sehr kompliziert sind. "

"Ich meine, in der Sekundarstufe II, für jemand der so, sagen wir mal, das Wahlfach Chemie hat, da ist das was anderes. Aber in der Sekundarstufe I eigentlich, da finde ich das nicht so wichtig."

⁴⁾ Gemeint ist hier wohl der für Luftuntersuchungen in der Regel nicht ausreichende Erfassungsbereich der Meßröhrchen für das Dräger-Gasspürgerät, insbesondere beim SO₂.

ÜBER (DIE DURCHGEFÜHRTEN) EXPERIMENTE

"(Bei den Experimenten ging es nicht um genaue Messungen), sondern nur um so das *Prinzip*, z.B. vom *Sauren Regen*, zu *veranschaulichen*, wie der entsteht und so."

"(Der Versuch zur) *Inversionswetterlage*, mit diesen zwei *Glaszylindern*, das war der einzige Versuch der (im Projekt) gemacht worden ist. Ich habe vorher ein paar Versuche gemacht, im Rahmen des Chemieunterrichts, um z.B. zu erklären wie Saurer Regen zustande kommt. Aber es sind ganz *einfache Versuche!*"

"Also z.B. Schwefel verbrannt in einem Standzylinder mit einem Verbrennungslöffel und unten Wasser mit Universalindikator angefärbt."

"Das war eigentlich ein wichtiger Versuch, den wir gemacht haben, um so diesen Sauren Regen zu erklären. Wir hatten vorher auch noch gemacht eine *Nachweismethode für Schwefeldioxid*, haben wir auch nicht quantitativ, sondern qualitativ eigentlich nur (gemacht), mit so einer Kaliumpermanganatlösung."

"*Schwefeldioxid*, da mache ich halt so ein paar Sachen, daß man einen Zweig von einer Kiefer oder Fichte da rein tut in Schwefeldioxid, um zu *zeigen, daß das ein Pflanzengift ist.*"

"Also ich beziehe mich da irgendwie schon auf diese *einfachen* Experimente, die relativ klar verständlich sind. ...

Die Experimente, also die ich mache, also gerade mit dieser Luftverschmutzung, die sind halt auch irgendwie ganz *s c h ö n*. Also das gefällt (den Schülern) auch ganz gut. ... (Im Unterschied zu) so andere(n) Experimente(n), die du bei der Oxidation machst oder so. Also es gibt manche, die sind halt *s c h ö n*."

ZUSAMMENFASSUNG

Für den Befragten ist es offenbar wichtig, daß Unterricht nicht auf Aspekte einzelner Fächer beschränkt bleibt, sondern daß Themen möglichst in ihrem Gesamtzusammenhang bearbeitet werden. In diesem eher ganzheitlichen Sinn ist der 45-Minuten-Takt für ihn ein Hindernis für sinnvolles Lernen. Seine Wunschvorstellungen von Schule - wozu auch "Lernen ohne Druck" und Rücknahme der Lehrerrolle gehört - sieht er ansatzweise in der schulischen Ausnahmesituation (Nische) "Projektwoche"⁵⁾ realisiert.

⁵⁾ Daß es sich dabei im zugrunde liegenden Fall, wie mittlerweile nicht unüblich, eher um handlungsorientierten Unterricht handelt, ist für die zu untersuchende Fragestellung nicht von Belang.

Die in der "Projektwoche" zum Tragen kommende Handlungsorientierung trifft offenbar ein Bedürfnis der Schülerinnen und Schülern (große Eigenaktivität, Einbringen eigener Materialien). Daß der Wunsch, selbst etwas zu machen unabhängig von der "Projektwoche" existiert, wird deutlich, indem der befragte Lehrer z.B. betont, daß es "sehr positiv" sei, wenn die Lernenden selbst experimentell etwas "nachweisen können". Die von ihm bevorzugten "einfachen Experimente" werden offenbar aus diesem Grund zu einem wichtigen Bestandteil seines Chemieunterrichts. Von entscheidender Bedeutung ist dabei jedoch wohl, daß überhaupt Experimente durchgeführt werden, es müssen, seiner Erfahrung nach, nicht unbedingt Schülerexperimente sein.

Berücksichtigt man, daß nach seiner Meinung *gute* Experimente durch Überraschungseffekte und optische Durchschaubarkeit gekennzeichnet sind, so haben sie offensichtlich - ähnlich wie bei dem Hauptschullehrer - für die Lernenden die Funktion einer Entlastung des sonst eher kognitiv geprägten Unterrichts. Ein Indiz für diese Interpretation ist auch seine Aussage, daß es weniger auf genaue Messungen oder den jeweiligen Experimenten zugrunde liegenden Reaktionen ankomme, sondern lediglich darauf, einmal prinzipiell Dinge experimentell zu erläutern bzw. deutlich zu machen, daß bestimmte Stoffe meßtechnisch erfaßbar sind.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß dieser Lehrer - ähnlich wie die Lehrerin - für die Sekundarstufe I "einfache" qualitative Experimente vorzieht, da anders geartete entweder zu einer Überforderung der Lernenden führen oder der Aufwand in keinem Verhältnis zum möglichen Lernerfolg stehen würde. Als sein wichtigstes Unterrichtsziel kann angesehen werden, daß Sachverhalte aus der Chemie für die Lernenden Vorstellungshilfen zu einer aufgeklärten Weltsicht sind. Experimente dienen dabei als Medium, das selbst keinen zu großen Stellenwert erhalten darf. Sein Wert ist nach Meinung des Lehrers vergleichbar mit anderen Mitteln wie z.B. der Recherche.

9.5 EIN LEHRER AN EINEM OBERSTUFENGYMNASIUM BERICHTET

Das Thema "Chemie und Umwelt" wurde und wird an dieser Schule im Leistungskurs 13/II behandelt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß durch das Abitur die effektive Unterrichtszeit stark verkürzt wird. Die Schüler haben in der Regel zuvor ver

schiedenene Chemiekurse besucht; experimentelle Kenntnisse und Fertigkeiten sind mehr oder weniger vorhanden.

Zunächst wird an Beispielen - Sevesounfall, Reizgase, chemische Kampfstoffe, Autokatalysator, etc. - geklärt: "Was ist das überhaupt, eine Verschmutzung?" Daran schließt sich "die Einführung in die Begriffe: Emission, Immission, MIK, MAK" an. Danach werden meist die Themen *Wasserverschmutzung*, *Luftverschmutzung* und je nach Zeit *Recycling* behandelt. Die Behandlung der Luftschadstoffe umfaßt im wesentlichen: halogenierte Kohlenwasserstoffe, Ozonloch, SO₂, Saurer Regen, NO_x, Katalysator, CO₂, Aufheizeffekt, Smog und Rauchen. Am Ende wird eine Exkursion in ein Waldstück in der Nähe durchgeführt, "wo die Bäume reihenweise schon flach liegen".

ÜBER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER BZW. DEREN HANDLUNGSZIELE:

"(Ich stelle dann meist die Frage): »So welche speziellen Probleme können wir denn jetzt noch ansprechen?« Nachdem ich da (im Einleitungsteil) sehr stark geführt habe. Und da kommen dann sofort irgendwie: Aufheizeffekt, Ozonschicht; das kommt einfach von den Leuten. Also da mußt du *kaum was vorgeben*. ... da hast du eigentlich sofort vier, fünf Punkte dastehen....

Der Katalysator war im Rennen, was die Autoabgase angeht. Das hatte auch eine Truppe mal gemacht. Die haben dann auch so ein Modell angeschleift, ... Aber das läuft gerade in der 13, das ist ja *das Schöne* hauptsächlich, *daß die Schüler hier Material anschleifen*."

"(Die Waldexkursion) mache ich zum Abschluß. Ich habe es schon anders rum probiert, daß ich erst die Thematik des SO₂ nach der Exkursion gebracht habe. Und ich finde umgekehrt bringt es mehr. Gerade in der Oberstufe, wenn du die reinlaufen läßt, die *sehen überhaupt nicht*, daß ein Baum kaputt ist. Ist ja alles grün. Du erzählst denen meinetwegen was, wie viele Nadelgenerationen noch in Ordnung sind, na schön und Ende. Aber wenn wir die SO₂-Belastung vorher bearbeitet haben, bringt das bedeutend mehr. Dann gehen die auch mit viel offeneren Augen in den Wald rein."

"Von 12/I bis 13/I mußt du mehr selber führen. Das *Interesse* an 13/II ist bei den Schülern ziemlich groß, glaube ich. Die gehen also mit *zunehmendem Engagement* ran. Als wir »Chemie und Umwelt« anfangen so 82, 83 rum, da war das für die zum Teil noch recht unverständlich. Aber heute sind die mit ziemlich offenen Ohren ja schon ausgestattet und *nehmen* die Schadstoffbelastung durchaus *ernst*. Das ist der eine Grund, daß die also mit Interesse rangehen. Zum anderen, warum gehen sie noch mit *I n t e r e s s e*

ran? *Weil man von der Chemie eigentlich mehr wegkommt.* ... Man bekommt, wenn man entsprechenden Einsatz zeigt, ohne jetzt ein großer Chemiker vor dem Herrn zu sein, leichter eine bessere Note als in den Jahren vorher. So sehe ich das. Aber ich möchte nicht sagen, daß deswegen sich die Schüler auf 13/II dann nicht richtiggehend freuen, sondern das lockerer sehen. Es dominiert ganz sicher das *Interesse* am Problem überhaupt: »Chemie und Umwelt«.

ÜBER SICH SELBST BZW. SEINE LEHRZIELE:

"Die Thematik erstmal ist *vorgegeben* durch den Kursstrukturplan »Chemie und Umwelt« Und ich meine, das mit dieser Auspuffuntersuchung da, das ist ja nur nebensächlich. Es geht nur darum, wie du in die Problematik reinführst. Da gehe ich so vor, daß ich so verschiedene Arbeitsaufträge gebe, daß ich vielleicht ein Problem anspreche, das gerade mal so passiert ist. Momentan könnte man einen hervorragenden Einstieg mit der Umweltbelastung des Rheins finden. Obwohl, wenn du jetzt auf die Luftbelastung eingehst, könnte man jetzt sofort mit Smog anfangen, da ja Smogvorwarnstufen sind. Das ist so die Möglichkeit. Eine Vielfalt, die sich *m o m e n t a n* verändern kann. ... Bisher war es eigentlich immer so, daß *gerade* eigentlich ziemlich was *passiert* ist."

"*Wir machen* die erstmal *mit dem Problem bekannt*: Was ist überhaupt eine Verschmutzung? Indem man Beispiele anspricht. ... Die ganzen Mittel mit Kürzeln, die momentan auftauchen, also PCB, HCH, da gebe ich eine Liste raus, laß die Leute meinetwegen hoch in die Mediothek [umfaßt u.a. eine sehr gut ausgestattete Bücherei] gehen, oder ich hole hier unseren »Römpp« raus, laß sie nachschlagen, was das überhaupt ist. Dann machen wir einen *strukturellen Aufbau*. Ist also erstmal sehr stark an die Chemie gebunden. Und dann besprechen wir die Problematik. ... Die (Schüler) haben zwischendrin noch Aaufträge, sich zu Hause zu informieren, welche Belastung durch diese Stoffe auftauchen."

"Was ich in den letzten Jahren häufig gemacht habe, war, ist jetzt allerdings überholt, den Sevesounfall mal einfach vom Ablauf her beschrieben, von der Chemie her, was dabei überhaupt hergestellt werden sollte, was schiefgelaufen ist, um die Leute mit so einem Chemieunfall zu konfrontieren. Könnte man jetzt jederzeit auch machen, wieder in die Schweiz reinzugehen. Kannst du genauso einen *Unfall beschreiben* und davon ausgehend dir eine Chemikalie nehmen. Weiter habe ich zur Einführung genommen ... CN, CS. Meine, das ist ja, wenn du jetzt an Wackersdorf denkst, auch eine Möglichkeit, das ins Gespräch zu bringen: die Unterschiede, welche Gefahren bestehen, nebenbei hier nur der chemische Aufbau. ... Und ich bin von da aus auch mal gegangen sogar ... in die chemische Kriegsführung. Und habe also, so ausgehend von den Kampfstoffen ... Gelbkreuz Soman, Sarin ... (bis) zu den Neuesten, sind ja

im Endeffekt lauter Esterverbindungen ... Noch einen Bezug zur Chemie, gerade was den 1. Weltkrieg angeht, den guten Professor Haber ein bißchen madig machen."

"Das ist eine allgemeine Einführung in die Problematik. Ich habe mir auch mal die Mühe gemacht (aufzuzeigen), ..., was für eine Bedeutung die Industrie überhaupt hat, nach welchen Gesichtspunkten eine Industrie arbeitet."

ÜBER (DIE DURCHGEFÜHRTEN) EXPERIMENTE:

"Das Problem des Sauren Regens ... läuft mit einer *Exkursion* gekoppelt. Da fahren wir mit einem Auto hier nach ... hoch. Das ist so eine Gegend, wo die Bäume reihenweise schon flachliegen, wo du das ganz gut beobachten kannst."

"..., daß man eine *SO₂-Atmosphäre* nimmt *und gibt* die entsprechenden *Pflänzchen* rein. Und welche, die in einer normalen Atmosphäre dann leben."

"Was Messungen speziell angeht, da stürze ich mich gern auf das Wasser. ... Da gehe ich also weniger in die Luft rein. Was heißt hier weniger in die Luft, da mache ich keine Tabellen."

"Wir haben mal *PVC verbrannt* und haben also einen ganz tollen HCl-Nachweis, also nicht HCl speziell, sondern Säurenachweis durchführen können, der für mich überraschend stark ausgefallen ist. ... Wir haben *SO₂ hergestellt und das in Wasser eingeleitet*. Haben dann also nachgewiesen, daß da erstmal saurer Charakter ist."

ZUSAMMENFASSUNG

Die dem Interview dieses Lehrers zugrunde liegenden Erfahrungen beziehen sich ausschließlich auf Chemieleistungskurse⁶⁾. Es ist daher besonders bemerkenswert, wenn er berichtet, daß bei den Schülerinnen und Schülern das Interesse am Thema "Chemie und Umwelt" deshalb so hoch sei, weil "man von der Chemie eigentlich mehr wegkommt". Überhaupt betont er in diesem Zusammenhang das im Vergleich zum vorhergehenden Chemieunterricht in der gymnasialen Oberstufe hohe Engagement der Lernenden.

Auf dieses Interesse geht der Befragte auch insofern ein, als er sich bemüht, einen tagesaktuellen Aufhänger für den Unterricht zu finden. Bei alledem ist es ihm wichtig,

⁶⁾ Dieser befragte Lehrer hat sich am stärksten an die mit der Leitfrage gegebene Eingrenzung auf ein umweltrelevantes Thema gehalten. Im Gegensatz zu den anderen vier Befragten finden sich bei ihm keine eher allgemeinen Aussagen zum Experimentieren. Dies hängt u.U. damit zusammen, daß ich über seinen sonstigen Chemieunterricht relativ gute Kenntnisse habe.

auch diesen Bereich zu systematisieren und erst von dem strukturierten Fundamentum ausgehend, einzelne Themengebiete zu behandeln. Ein Indiz für die hohe Bewertung einer Strukturierung durch ihn ist u.a. darin zu sehen, daß er die für wesentlich erachtete Waldexkursion erst dann macht, wenn er die Lernenden ausreichend auf ein Erkennen der Schadsymptome vorbereitet hat bzw. eine Wahrnehmungssensibilisierung zustande gekommen ist.

Wesentliches Ziel von Chemieunterricht in einem 13er Leistungskurs ist für den Befragten offenbar, daß die Schülerinnen und Schüler mündig werden, indem sie relativ selbständig Strukturen und Zusammenhänge erfassen. Eine diesbezügliche Grundeinstellung der Lernenden nimmt er bereitwillig auf und fördert sie. Dies steht im Gegensatz zu seinem Bild von jüngeren Lernenden, bei denen man seiner Auffassung nach stärker "führen muß". Entsprechend verändert ist auch die Funktion chemischer Sachverhalte: sie sind in dem Abschlußkurs eher ein theoretisches Instrumentarium beim Erkennen gesellschaftlicher Zusammenhänge.

Experimente spielen dementsprechend in dem den geschilderten Erfahrungen zugrunde liegenden Kurs "Chemie und Umwelt" für den Befragten nur insofern eine Rolle, als sie z.B. zur Erfassung bestimmter Parameter eines Baches benutzt werden können. Auch ist zu vermuten, daß seine experimentelle Praxis im Umweltbereich gering ist (Überraschung über "guten" HCl-Nachweis bei der Verbrennung von PVC).

9.6 ZUSAMMENFASSUNG DER LEHRERAUSSAGEN

Neben der Vermittlung fachwissenschaftlicher Inhalte und dem Eingehen auf die vermuteten Schülerinteressen ist das zentrale Lehrziel der Befragten, daß die Lernenden ein chemisches Wissen erwerben, welches ihnen ein eigenständiges Handeln und Urteilen in einem Teilbereich der Industriegesellschaft ermöglicht. Sie versuchen nicht nur, objektive Ergebnisse der Wissenschaft Chemie, deren begrenzter Gegenstandsbereich in der Regel im Fachunterricht auch nicht überschritten wird, zu vermitteln. Vielmehr bemühen sie sich, z.B. durch die jeweilige Versuchsauswahl und deren Eingebundenheit in den Unterrichtsgang, den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zu eröffnen, eigene Wertmaßstäbe zu entwickeln. Der aufklärerische Aspekt dominiert eindeutig.

Daß ein so geartetes Vorgehen bei den Lernenden auf fruchtbaren Boden fällt, wird daran deutlich, daß alle Befragten von - im Vergleich zum übrigen Unterricht - außergewöhnlichen Aktivitäten der Schülerinnen und Schüler berichten, sobald eher fachorientierte Bereiche zu gunsten einer Einbeziehung der umgebenden Realität überwunden werden. Die Behandlung von Luftschadstoffen, insbesondere von Schwefeldioxid, ist in diesem Sinn dann *ein* von den Befragten als geeignet angesehener Unterrichtsgegenstand.

In ihrer aufklärerischen Absicht versuchen die Befragten hier chemische Sachverhalte und lokale Gegebenheiten zu verbinden. Bezeichnend hierfür ist, daß sie entweder versucht haben, selbst die lokale Schadstoffkonzentration zu bestimmen oder zumindest (lokale) Meßwerte in den Unterricht einzubeziehen. Sie verbinden damit ausdrücklich die Hoffnung, daß die Lernenden die Bedeutung chemischen Wissens am Beispiel praktisch erfahren könnten. Dieses "Zusammenfließen" von in der Regel in der unterrichtlichen Behandlung getrennten Bereichen erklärt zumindest teilweise, warum bei fast allen Befragten Luftschadstoffe nur in einer besonderen Unterrichtssituation (Projektunterricht bzw. in freiwilligen Arbeitsgemeinschaften, Klasse 9 Hauptschule, 13er Leistungskurs *Chemie und Umwelt*⁷⁾) behandelt werden.

Ausgangspunkt für die Behandlung von Luftschadstoffen ist in der Regel der fachliche Kontext der Säuren (Schwefeldioxid als Zwischenprodukt bei der Schwefelsäurebildung bzw. -herstellung). Unter fachsystematischen und fachmethodischen Gesichtspunkten sieht die Mehrzahl der Lehrenden bei der Behandlung von SO₂ bzw. des Sauren Regens eine Möglichkeit, den pH-Wert einmal *sinnvoll* anwenden zu können. pH-Wert-Messungen werden übereinstimmend für wichtig erachtet; repräsentieren sie doch - zumindest in der Sekundarstufe I - einen Übergangsbereich hin zu quantitativen Betrachtungen.

Experimente werden von allen befragten Lehrenden ausdrücklich als unabdingbarer Bestandteil des Chemieunterrichts angesehen. Im betrachteten Fall sind sie der Überzeugung, daß die schulischen Experimente unbedingt durch eine Waldbegehung vervollständigt werden müssen. Mit ihr wird der Raum der Fachsystematik bewußt verlassen, denn Betroffenheit ist, nach Aussage der Befragten, offenbar

⁷⁾ Diese besonderen Situationen sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, daß die Vorstellung, im eigenen Unterricht dafür sorgen zu müssen, daß der Kollege, die Kollegin von bestimmten meist schulintern durch Fachkonferenzbeschlüsse festgelegten Standards (Stoffkatalogen) ausgehend seinen, ihren Unterricht "nahtlos", "problemlos" an schließen kann, nicht (mehr) relevant ist.

nur vor dem Hintergrund des Alltagsverständnisses der Lernenden vorstellbar. Dies zeigt sich unter anderem auch an Überlegungen zur begrifflichen Formulierung: "Wenn ich sage, »Jeder zweite Baum ist krank« dann hat das für die Lernenden eine andere Qualität als die Aussage »50 % des Waldes sind geschädigt« [vgl. auch Böltz 1985].

Im Bereich der Luftschadstoffe betonen die Befragten, daß qualitative (Schüler-)experimente gegenüber quantitativen zu bevorzugen sind. Für die Sekundarstufe I lehnen sie ihren Einsatz meist generell ab. In der jeweiligen Realität messenden Experimenten wird von einem Befragten explizit nur ein Platz im Bereich der "reinen" Fachmethodenlehre in der Sekundarstufe II eingeräumt. Allgemein wird diese Beschränkung quantitativer Experimente mit mangelnder Geduld und mangelnden handwerklichen Fertigkeiten der Lernenden *und* mit den für eine apparative Erfassung - mit Ausnahme der Zeit der Smogwetterlagen - sehr geringen Schadstoffkonzentration begründet⁸⁾. Hierbei handelt es sich jedoch in den meisten Fällen um eine nachträgliche Rechtfertigung, insbesondere wenn man bedenkt, daß das Experimentieren von den Befragten als zeitaufwendig und in Konkurrenz zum theoretischen Unterricht erfahren wird. Die schulischen Rahmenbedingungen schränken so die praktischen Möglichkeiten des Experimentierens ein.

Trotz ihrer hohen Bewertung des Experiments für das Erlernen chemischen Wissens betonen einige der Befragten, daß die Lernenden nicht alle Experimente selbst machen müßten, denn - und mit dieser Meinung stünden sie nicht allein - auch durch Zuschauen könne viel gelernt werden. Diese Aussagen lassen sich zusammenfassend so interpretieren, daß es den Lehrenden - im Unterschied zu den Proklamationen der Fachdidaktiker - nicht so sehr auf eine *fachangemessene* Anwendung des Experiments im Unterricht ankommt, sondern eher auf eine motivationsfördernde Abwechslung im Unterrichtsgeschehen. Aussagen zum Stellenwert der Ausbildung eher handwerklicher Fertigkeiten und Fähigkeiten finden sich nicht.

Die von den befragten Lehrenden unterstrichene Unverzichtbarkeit des Experiments im Chemieunterricht korrespondiert so durchaus mit einem wesentlichen *Handlungsziel* der Lernenden - nach Aussage der Lehrenden -, der Integration manueller Arbeitsweisen (eigenes Experimentieren) und der Durchführung von Demonstrationsexperimenten im Unterricht. Denn, nach Aussage der Befragten,

⁸⁾ Der in der Schule übliche "Zeitmangel", hervorgerufen durch Stofffülle und Anpassungsdruck, bleibt hier unberücksichtigt, weil er ein allgemeines Problem darstellt.

mindestens ebenso wichtig wie die eigene Tätigkeit ist für etliche Schülerinnen und Schüler, daß der Lehrer beziehungsweise die Lehrerin im Unterricht beschäftigt ist, d.h. mit der Durchführung von Experimenten zu tun hat. Das Experiment sorgt in beiden Fällen, sowohl bei Demonstrationen wie bei Schülerübungen, für eine gewisse Entspannung, d.h. die Intensität einer primär verbal-kognitiven Vorgehensweise wird zurückgenommen.

Abschließend läßt sich feststellen, daß die durch die Standardlegitimationsmuster entfalteten Begründungen für das Experimentieren nicht mit den Einschätzungen des Experiments durch die hier befragten Lehrenden übereinstimmen. Für sie besitzen Experimente in erster Linie eine motivationale Funktion. Darüberhinaus werden sie ähnlich wie andere Hilfsmittel beim Strukturieren und Erfassen von Zusammenhängen der Umwelt eingesetzt. Unerwähnt bleibt in allen Interviews der Aspekt der Schaffung einer spezifischen gemeinsamen Erfahrungsgrundlage durch das Experimentieren; dies kann möglicherweise mit der Einschätzung meiner Person als ähnlich Qualifiziertem zusammenhängen, dem man Selbstverständliches nicht mitteilt, möglicherweise aber auch damit, daß dies aufgrund des geringen experimentellen Unterrichtsanteils tatsächlich kein Thema ist.

Inwieweit die aus den Aussagen der Lehrenden ableitbare Annahme, daß Experimente unabhängig von ihrem konkreten Inhalt für die Schülerinnen und Schüler primär eine Abwechslung vom üblichen, eher kognitiven Unterricht darstellen, ist eine der Fragen, die durch die im folgenden Kapitel beschriebene Befragung der Lernenden überprüft werden soll. Im weiteren gilt es zu klären, inwieweit die von den Lehrenden beobachtete besondere Schüleraktivität bei eher umweltbezogenen Themen auf ein originäres Interesse an diesen Themen oder auf ein Interesse an einer Entlastung von einem eher fachorientierten Unterricht zurückzuführen ist.

10. LERNENDE BERICHTEN VON IHREN ERFAHRUNGEN MIT EXPERIMENTEN IM CHEMIEUNTERRICHT

Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler haben einen eher allgemeinen Charakter. Sie sind im folgenden nach den in ihnen immer wiederkehrenden Kernaussagen gegliedert:

- "Normale" Schulexperimente erzeugen den Eindruck von der Beliebigkeit ihrer Inhalte
- Experimente machen Spaß und den Chemieunterricht attraktiv
- Experimente unterstützen das Gedächtnis
- Experimente veranschaulichen und sind konkret
- Eigenes Experimentieren ermöglicht das (bessere) Verstehen chemischer Sachverhalte
- Experimente und Chemieunterricht erschließen die eigene Umwelt bzw. tragen zu deren Verständnis bei.

Am Anfang stehen primär retrospektivische Aussagen einer Schülerin und eines Schülers der Sekundarstufe II. Daran schließen sich methodisch orientierte Aussagen zum Experimentieren an, die hauptsächlich von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I stammen. Den Abschluß bilden Aussagen zum Gebrauchswert von Chemieunterricht bzw. von Experimenten von Lernenden, die kurz nach dem Interview die Schule verlassen werden bzw. den Chemieunterricht bereits abgeschlossen haben oder dies in Kürze tun.

M := Schüler, W := Schülerin, L := Lehrer/Lehrerin, I := Interviewer

10.1 "NORMALE" SCHULEXPERIMENTE ERZEUGEN DEN EINDRUCK DER BELIEBIGKEIT IHRER INHALTE

M1: "Der hauptsächliche Unterschied (zwischen Projekt und normalem Chemieunterricht) war ja eigentlich der, daß die Reaktion (der Nitratsnachweis) ja vorher noch nie bei uns an der Schule gemacht worden ist. Der Herr P. hatte zwar die Reaktion theoretisch, aber der hatte sie ja selbst praktisch - soviel ich weiß - auch noch nie gemacht gehabt. Von daher haben wir völlig in der Luft

gestanden, wie wir jetzt arbeiten müssen. Wir haben das dann auch alles in den Stunden gemacht. Im normalen Chemieunterricht ist es ja immer so, daß der Lehrer noch groß vorbereitet und die Versuche schon tausendmal gemacht hat und auch genau weiß, wie das funktioniert. Die Schüler dürfen es dann sozusagen auch mal machen, damit sie es auch mal sehen. Aber *da kommt es eben nicht darauf an, den Versuch irgendwie rauszukriegen*: wie er am besten läuft, wie man es am besten durchführen sollte, sondern es wird einem ja *alles vorgegeben*, und das war eben bei dem Versuch nicht so. Da wurde gesagt: so und sowas reagiert damit zu dem und dem, und das sollt ihr jetzt mal möglichst günstig darstellen. Dann haben wir eben erstmal rumprobiert und rumprobiert, bis es dann was geworden ist. Das hat halt unheimlich lange gedauert."

I: "Sie haben ja eben diese fertigen Ergebnisse bei den normalen Versuchen angesprochen. Können Sie mir dazu Ihre Auffassung erläutern, einmal fertige Ergebnisse und hier, gut, man weiß die Reaktion theoretisch, aber man muß es erst einmal machen."

M1: "Ich finde es nicht so besonders sinnvoll. Wenn ich mir gerade den Chemieunterricht in der letzten Zeit angucke: Es wird unheimlich viel erstmal theoretisch durchgesprochen, und das ist dann auch allen ja ganz schön und klar. Dann wird *irgendeine typische Reaktion, die sich immer schön durchführen läßt, wird dann trotzdem mal rausgegriffen*, damit die Leute das mal sehen. Und dann wird *genau gesagt*: »So und so dürft ihr es machen, und das und *das soll dann dabei rauskommen*« Dann holen halt die Leute ihren Kram her und führen den Versuch durch und dann, oh schön und naja. Das finde ich eben nicht so sinnvoll. Ich finde ein freieres Arbeiten erheblich sinnvoller, auch wenn es mehr Zeitaufwand bedeuten würde. Meinetwegen statt zwei Versuchen, wo (alles) genau vorgegeben ist, nur einen, wo man es nicht so genau weiß. Und dann wird gesagt: »Die Stoffe reagieren so und so miteinander, und jetzt kriegt mal raus, in welchen Mengen ihr das machen müßt und wie ihr die Apparatur am besten aufbaut« Das finde ich sinnvoller, weil das ist eigentlich der Teil, der unheimlich wichtig ist in der Chemie: die Versuche praktisch mal selbst rauszukriegen. Wenn man mal neu was machen will, dann kommt es eben darauf an, daß man selbst ableiten kann, wie die Versuchsapparatur aussehen muß und welche Mengen man nehmen muß, damit man überhaupt ein Ergebnis erzielt. Das wird viel zu wenig gemacht."

W1: "Das finde ich eigentlich auch, denn diese Experimente sind ja eigentlich schon gar keine Experimente mehr. Das ist ja alles schon - *Experimentieren ist, wenn ich irgendwas versuche* und wirklich mich dahinterklemme, um mal dran rumzutüfteln. Aber das ist ja *im Unterricht nicht mehr gegeben*."

M1: "Ich erinnere mich da an zwei schöne Versuche in der Biologie, die wir durchgeführt haben. Da haben wir auch in einer Doppelstunde irgendwelche Nachweislösungen angesetzt und dann ein Stöffchen reingeschüttet, und dann haben

wir schöne Farbergebnisse bekommen, und die waren dann rot. Dann hieß es: »Nun ja, normalerweise müßte da grün rauskommen [lachen], in eure Auswertung schreibt ihr dann besser, daß da grün rauskommt« Das ist dann so sinnvoll nicht."

W1: "Es ist zwar sehr schön. Aber ich glaube, das kann man in der Schule nicht machen. Vielleicht wenn man fünf Stunden Chemie mehr hätte. Nur würde ich mich dagegen auch wenden. - Das bedarf dann eigentlich der eigenen Initiative."

I: "Es war ja historisch mal so, daß gesagt wurde, hier mit Experimenten haben wir was in der Hand, um den Wahrheitsgehalt einer Theorie zu überprüfen. Aber gerade dieses Beispiel widerspricht ja der Wirklichkeit total. Wie sieht das ihrer Meinung nach heute dann mit so einem Wahrheitskriterium eines Experiments aus?"

M1: "Das ist schlecht, gerade bei den Schulexperimenten. Das ist nicht nur in der Chemie so, sondern das ist auch ganz extrem z.B. in der Physik so, daß die Werte, die man rausbekommt, immer unheimlich stark abweichen. Da sind immer unheimlich starke Fehler drin. Da sagen die Lehrer zwar auch immer, man soll sich das klar machen. Aber es kommt *selten eine Fehlerdiskussion* vor oder sowas, und es wird unheimlich *selten begründet*, wenn eben ein Versuch rot ausfiel statt grün, warum der jetzt anders ausfiel. Dann wird zwar gesagt: »Mag sein, daß der Stoff zu alt war oder sonstwas, ich überlege mir das nochmal«. Aber daß dann mal ein Versuch konsequent durchgezogen wird, so vom ersten bis zum letzten. Daß gesagt wird: »So, jetzt versucht ihr mal den Versuch durchzuführen.« Wenn dann was anderes rauskommt, dann mal zu erklären, warum da was anderes rauskommt wie das was man erwartet hat. Das wird eigentlich nie gemacht., sondern *es wird immer davon ausgegangen, so steht der Versuch im Buch*, dann führen wir den mal so durch und sehen was rauskommt. Und wenn nicht das Richtige rauskommt, dann war halt eine von den Ausgangsbedingungen falsch. - Die *Versuche haben dann so den totalen Wert eigentlich nicht mehr.*"

W1: "Würde ich auch sagen. Den meisten Schülern ist das wahrscheinlich auch relativ *egal, was da rauskommt*. Die schreiben dann halt rein: »Es ist zwar grün geworden, aber es hätte rot werden sollen. Es liegt vielleicht da und da dran« Im Prinzip will uns der Lehrer ja auch nicht damit beweisen, daß es so ist, sondern damit wir mal einen Versuch machen. Wäre wirklich grün statt rot rausgekommen, dann hätte uns das genausowenig berührt oder genausoviel berührt, als wenn eine andere Farbe rauskommt. Es ist ja eigentlich nicht so, daß da ein großes wissenschaftliches Interesse ist, daß alles ah und oh schreit, weil es eben so rausgekommen ist. *Es zieht halt so vorbei.*"

...

M1: "Das eine sind halt Experimente um des Ergebnisses willen, das andere (sind) Experimente um des Experiments willen. Im Unterricht wird das wirklich so gemacht, weil die Schüler dann oft *einigermaßen Elan aufbringen*, im Gegensatz zum theoretischen Unterricht. In einer AG, ... da kommen sie (die Schüler), um was mitzukriegen, wie etwas geht und welchen Sinn das überhaupt hat. Da sind Experimente dann auch unheimlich sinnvoll. Da lernt man die ganzen Experimente durchzuführen, und da kommt es einem darauf an, das Ergebnis zu verstehen. Also, warum machen wir jetzt das Experiment, und welchen Sinn soll das haben? Da sieht man dann die konkrete Anwendung. Zum Beispiel bei uns, da war das ganz klar, daß man damit *nachweisen* konnte, daß die Luft wirklich belastet ist. ... Daß es dann eben nicht geklappt hat, das war dann halt ärgerlich. Wir wußten doch wenigstens, warum wir das machen wollten, und von daher hatte das Experiment auf jeden Fall einen Sinn. ... Aber so in der Schule, man weiß genau, wie die Reaktion ablaufen soll, man weiß, was raus kommen soll, und dann macht man das Ganze halt auch nochmal praktisch, damit man *ein bißchen beschäftigt ist*, wieder für eine Stunde."

Lernende Jahrgangsstufe 12, Gymnasium

ZUSAMMENFASSUNG:

Eine sich an den in Büchern beschriebenen Ergebnissen orientierende Experimentalpraxis wird von diesen beiden Lernenden als unbefriedigend und sinnlos empfunden. Ihrer Auffassung nach wird das Experimentieren in der Schule weder von den Lehrerinnen und Lehrern noch von den Schülerinnen und Schülern ernst genommen, wenn nicht die tatsächlichen Ergebnisse berücksichtigt werden, sondern stattdessen diejenigen, welche in der Literatur beschrieben sind. Für wirkliche Experimente mit für alle Beteiligten offenen Ergebnissen sei in der Schule üblicherweise kein Raum. Daß Experimente trotzdem gemacht würden und sich durchaus einer hohen Beliebtheit bei den Schülerinnen und Schülern erfreuten, rührt ihren Erfahrungen nach daher, daß ein mit Experimenten "garnierter" Unterricht immer noch weit akzeptabler als ein rein theoretischer Unterricht sei. In ihrer prinzipiellen Kritik am normalen Schulexperiment machen die beiden ausdrücklich auch keinen Unterschied zwischen Demonstrations- und Schülerversuchen.

10.2 EXPERIMENTE MACHEN SPASS UND DEN CHEMIEUNTERRICHT ATTRAKTIV

W3: "Wenn man da *selber* irgendwas *macht*, dann ergibt das irgendwie mehr *Spaß*. Wenn das der Lehrer da vorn macht, ... dann schnallt man zuletzt sowieso nichts. Dann schwatzt man nur so, also nee. Ich finde es besser, wenn wir *selber was machen, Versuche* und so."

...

W3: "Irgendwie *kriegen* wir auch alle *Lust*, wenn wir hören: *Versuche*."

M2: "Wenn der Herr F. meint, was machen wir lieber, Theorie oder Praxis? Eija: Praxis."

M4: "Ist doch normal oder?"

M3: "Die meiste Zeit machen wir schon Versuche. Das *gleicht sich aus mit dem Schreiben*."

Lernende Klasse 9, Hauptschule

W2: "Ich fand ihn (den Chemieunterricht in der Mittelstufe) *gut*. Ich kann mich *nicht mehr erinnern, was wir so genau gemacht haben*. Aber ich *kann mich erinnern, daß der für mich interessant* war. ..."

W1: "Da konnten wir *was machen*."

W2: "Es war *nicht langweilig*."

M1: "Ja, es war gut gemacht."

W2: "Das sehe ich jetzt. Wir machen jetzt überhaupt keine Versuche. Es sei denn der Lehrer macht einen mal vor, und dann kriegt man ihn nicht genau mit. Das waren jetzt vielleicht zwei Versuche innerhalb von einem Schuljahr. Früher waren wir es so *gewohnt*, daß wir viele Versuche gemacht haben. Vor allem wenn uns was nicht klar war, hat Frau B. mit uns Versuche gemacht. Das fand ich besser."

M1: "Ich finde es ist aber trotzdem ganz gut aufgebaut, daß man in der Unterstufe Versuche macht, weil die auch *anschaulicher* sind für Jüngere. Wenn man dann später genauer rangeht, an die Atomchemie - Atome, Moleküle und all die Sachen, die wir jetzt durchführen - dann ist ja auch das Interesse nicht mehr so groß."

W2: "Ich fand es ganz gut. So weit ich mich erinnern kann, hatten wir eine Stunde, wo wir zusammen waren. Da haben wir mehr Formeln und so durchgenommen, und in den anderen zwei Stunden, wo wir getrennt waren, haben wir Versuche gemacht. Das fand ich ganz gut. Wir haben uns die gegenseitig ausgetauscht, wenn beide Gruppen wieder zusammen waren."

Lernende Klasse 11, Integrierte Gesamtschule

M6: "Jetzt mal insgesamt gesehen, von den paar Wochen, die wir zusammen gearbeitet haben: *In Gruppen arbeitet es sich irgendwie leichter*, als wenn jetzt alle starr nach vorne sitzen und der Lehrer erzählt vorne was. Da kann man mal *diskutieren* und auch den *Nachbarn fragen*; so ist das irgendwie leichter."

...

I: "Es ist von verschiedenen Leuten gesagt worden, daß auch ein gewisser Spaß bei der Sache gewesen wäre, gerade so in den letzten Wochen. Könntet ihr das, was ihr unter Spaß versteht, in diesem Zusammenhang noch ein bißchen präzisieren?"

M4: "Gut, es hat schon damit angefangen, daß man *nicht den ganzen Tag hier sitzt und schreibt und aufpaßt*. Ich meine, wenn man natürlich draußen mit dem Mofaversuch - so die Mofa rausgebracht haben, dann ist das ein bißchen *Abwechslung*. Da sitzt man nicht die ganze Zeit. Da kann man - da hat man *mehr Spaß*, wenn man die rausträgt und zusammenhält" [meint: den Auffangtrichter an das Auspuffende zu halten]. "Da hat man irgendwie *was zu tun*. Sonst hat man auch ein bißchen zu tun, aber [lacht]."

M3: "Vor allen Dingen auch den Versuchsaufbau, das hat viel *Spaß* gemacht. Sonst sitzt man auf seinem Platz und guckt vorn, was der Herr B. macht, und dann kneift man ab und zu."

[Klasse lacht]

"Aber dann ist es doch irgendwie schon schöner, wenn man das *selbst aufbauen* kann und zugucken kann, wie aus ein paar Einzelteilen was Ganzes entsteht."

Lernende Klasse 10, Gymnasialzweig Additive Gesamtschule

W: "... einfach die *Atmosphäre* (in der Arbeitsgemeinschaft Luftschadstoffe) fand ich auch *schöner*. Da macht es halt wirklich mehr Spaß. In der Schule - schon allein, weil es die Schule ist, weil man muß, will man nicht oder hat schon weniger Interesse daran. Ich bin z.B. froh, wenn ich ein Experiment mache, nicht, daß ich sehr viel Experimente mache. Ich muß ehrlich zugeben, daß ich dann öfters halt mal dasitze und mich mit jemandem mal *unterhalte* oder so. Außer wenn ich mal direkt Lust habe, zwei Flüssigkeiten ineinanderzuschütten, um zu sehen, was dann passiert."

Schülerin Klasse 12, Gymnasium

M3: "Die *Experimente* sind ein Teil von dem Fach, das das Fach *attraktiver* macht, weil es ist halt eine *Ausnahme*. In anderen Fächern macht man keine Experimente. ... Das ist das, was Physik und Chemie von den anderen Fächern ein bißchen abhebt, was es *interessant* macht. Sonst wär doch - glaub ich - der Stoff irgendwo ein bißchen trocken in Chemie. Wenn man ständig irgendwelchen Kack von H und C und was an der Tafel sieht. Dann wird man auch irgendwann mal depp. Aber die Experimente, die machen das dann alles ... *erträglich*. Was am meisten hängen bleibt, sind wirklich die Experimente, weil man da eigentlich dabei ist - nicht immer, ist klar. ... Ein wichtiger Bestandteil von solchen Fächern ist auch, irgendwelche Besichtigungen zu machen, wie z.B. in Physik ein Wasserkraftwerk. Oder wie wir in Chemie in dem Wald waren und uns mit dem Boden und der Luft beschäftigt haben. Das sind Sachen, die hängenbleiben. Da erinnert man sich auch jetzt noch dran. Aber ich erinnere mich nicht an eine Stunde, wo versucht wurde, *Formeln einzubleuen*. ... Das sind Sachen, die nimmt man nicht auf, die vergißt man auf jeden Fall schnell wieder, die lernt man vielleicht vor einer Arbeit. ... Aber reelle Sachen, die an reellen Beispielen, an *praktischen Sachen*, an Sachen, die man anfassen kann, wenn man da was daran lernt, dann sind das Sachen, die wirklich hängen bleiben."

Schüler Klasse 11, Integrierte Gesamtschule

ZUSAMMENFASSUNG:

Experimente - sowohl die selbst durchgeführten als auch Demonstrationsveruche - sind dasjenige Element, das den Chemieunterricht für die Mehrzahl der Befragten überhaupt erst akzeptabel erscheinen läßt und ihm durchaus eine gewisse Attraktivität verleihen kann. Den Gegenpol hierzu bildet offenbar die Aneignung theoretischer Inhalte, für die als Synonym *das Erlernen von Formeln* genannt wird.

Deutlich wird in diesen Aussagen der Schülerinnen und Schüler ihr Bedürfnis, im Unterricht selbst tätig werden zu können. Eigenes Experimentieren ermöglicht die Realisierung dieses Wunsches. Verbunden ist damit für sie auch ein zwangloserer Umgang sowohl mit den Lehrenden als auch untereinander. Indem sie selbst experimentieren, haben sie das Gefühl, das Unterrichtsgeschehen und das Tempo der Lehrstoffvermittlung selbst aktiv zu beeinflussen.

Eigenes Experimentieren ist darüberhinaus nach Ansicht der Schülerinnen und Schüler Voraussetzung, um überhaupt aufmerksam im Chemieunterricht zu sein; Unterrichtsphasen ohne Experimente, insbesondere ohne Schülerexperimente, werden als ineffektiv ("Dann schwatzt man nur") empfunden. Als besonders unbeliebt werden eher rezeptive Unterrichtsabschnitte ("schreiben müssen") erfahren. Der mit dem eigenen Experimentieren einhergehende "Spaß" und die Möglichkeit, mit den Nachbarn zu "diskutieren", wird stattdessen als gute Möglichkeit der Stoffaneignung wahrgenommen.

Daß es sich bei den Aussagen der Schülerinnen und Schüler in erster Linie um methodische Argumente handelt, wird besonders an der Aussage einer Schülerin der 11. Klasse deutlich: "Ich kann mich nicht mehr erinnern, ... Aber (er war) für mich interessant." Erinnerung an konkrete Inhalte des Chemieunterrichts wird dann häufig mit Erinnerung an Experimente gleichgesetzt.

10.3 EXPERIMENTE UNTERSTÜTZEN DAS GEDÄCHTNIS

M2: "... es ist wirklich auch das *Prinzip bei diesen Versuchen, das Ganze ein bißchen aufzulockern* im Unterricht. Z.B. Mathematiker *bewundere* ich einfach, weil sie den Geist haben, sich 5 Stunden in der Woche vor irgendwas Abstraktes, was man überhaupt nicht anfassen kann, hinzusetzen. ... Hier das ein bißchen *aufzulockern*, denn das alles nur immer theoretisch durchzuziehen, ich glaube, man verliert die Lust daran. Das ist ein weiterer Punkt, daß man einfach noch *Spaß* daran hat an diesem Chemieunterricht, und nicht nur Spaß, sondern eben Interesse. Ich glaube, das *Interesse wird gefördert*, auch wenn die Versuche - oder nicht jeder Versuch - wirklich so sinnvoll ist."

Schüler Jahrgangsstufe 13, Leistungskurs Chemie

W2: "Wenn einer mal früher bei einem Versuch gepennt hat, dann hat er halt den Versuch nicht verstanden. Aber hatte die Möglichkeit, bei einem anderen Versuch wieder *mitzuarbeiten*. Jetzt, wenn er am Anfang nicht mitmacht: Ich habe das an mir gesehen, ich habe Glück, wenn ich mal was mitbekomme."

W3: "Ja, wenn jetzt einer eine Stunde fehlt, dann ist das das *totale Loch*. Vielleicht wenn eine Stunde Wiederholung ist, dann geht das. Aber oft zwei, drei Minuten werden wiederholt, und dann gleich wieder was Neues. Für die, die gefehlt haben, ist es total schwer nachzukommen. Da ist ein Loch, und das bleibt für die nächsten zwei Jahre zumindest so."

W1: "Früher hat man sich ein Versuchsprotokoll durchgelesen und hatte dann wenigstens ein bißchen was oder hatte die Möglichkeit, beim nächsten Versuch wieder mitzuarbeiten."

...

M2: "Das Problem ist: ich erinnere mich sowieso nur an Dinge, die sich wirklich einprägen bei mir. Das sind außergewöhnliche Sachen. Da tragen Versuche zu bei, die sind *außergewöhnlich*. Aber das liegt meistens zurück, nach zwei bis

drei Jahren da ist nicht mehr viel, um auf Anhieb darauf zu kommen. Wenn ich jetzt noch zwei, drei Stunden nachdenke, kommt das Meiste wieder oder viel davon wieder. Aber auf Anhieb jetzt"

Lernende Klasse 11, Integrierte Gesamtschule

ZUSAMMENFASSUNG:

Nach Ansicht der Lernenden ist eine Funktion der Experimente den Chemieunterricht "aufzulockern"; ihre Funktion ist dabei von mehrdimensionaler Art. Neben den bereits erwähnten Aspekten *Spaß* und *Attraktivität* sind dies *Erinnerungsstütze* für bestimmte Inhalte und *Element zur Verringerung der Stoffdichte*. Sowohl Demonstrations- als auch Schülerversuche werden von den Lernenden als eine Möglichkeit erfahren, in angemessener Zeit die wesentlichsten Punkte des Unterrichts zu wiederholen und ihr Gedächtnis aufzufrischen. Indem Experimente meist zur Veranschaulichung theoretischer Sachverhalte eingesetzt werden, reduzieren sie die Stoffdichte und damit die Menge der jeweils zu lernenden Inhalte in der Wahrnehmung der Schülerinnen und Schüler.

10.4 EXPERIMENTE VERANSCHAULICHEN UND SIND KONKRET

W3: "Wenn man nur Theorie macht, das bringt es doch überhaupt nicht. Dann *erfahren* wir doch überhaupt nichts. Wir bekommen doch gar keinen *Einblick*."

W5: "Wir erfahren was. Aber wir möchten das auch *sehen*."

W3: "Wir wollen auch sehen, wie das reagiert miteinander."

M1: "Da kann uns ja jemand was erzählen. Der kann"

M5: "Lügen oder so"

M3: "Der kann das vielleicht erklären. Aber ich will *bewiesen* haben, daß es überhaupt so ist."

Lernende Klasse 9, Hauptschule

M7: "Am Anfang (der Unterrichtseinheit Luftschadstoffe) ist immer nur mit den Fachbegriffen - das ist so theoretisch abgelaufen hier. Jetzt haben wir ein paar Versuche gemacht. Und da hat man das eher *verstanden* so. Da konnte man das eher *nachvollziehen*, wie das jetzt da so abläuft. Durch die Versuche ist es auch *lockerer* geworden und irgendwie - *leichter*."

I: "Mit »früher« meinst du jetzt am Anfang, im November?"

M7: "Ja"

I: "Wo ihr das mit den Texten gemacht habt?"

M7: "Mit den Texten auch, da waren dann Begriffe drin und so und auch was beschrieben, das konnte man gar nicht so nachvollziehen. Das hat man zwar so *hingenommen*, aber durch die Versuche ist es halt erst richtig so *bewußt geworden*."

W1: "Ich glaube, das liegt auch vor allem daran, daß wir die Versuche *allein gemacht* haben und nicht einfach nur gezeigt bekommen haben. Dadurch, daß wir *selbständig arbeiten* konnten, dadurch haben wir auch einen direkteren Bezug dazu gekriegt und es auch *besser verstanden*."

Lernende Klasse 10, Gymnasialzweig Additive Gesamtschule

M1: "*Filtrieren und Destillieren* z.B., da war die ganze Klasse dabei. Da hat jeder echt *mit Begeisterung mitgemacht*."

M4: "Weil, da konnte man ja ziemlich viel Versuche machen."

M1: "Z.B.: aus Rotwein haben wir Schnaps gemacht, so ein Reagenzglaschen voll. Aber es war halt interessant. Da konnte man auch *sehen, wie es funktioniert* hat. Und sonst"

M4: "Ich weiß nur noch, was mir *nicht gefallen* hat: Das war immer *das Atom*. Das war *total langweilig*. Da konnte man überhaupt *keine Versuche* machen."

[Gemurmel]

W1: "Das einzige, was wir jetzt in den anderthalb Jahren gemacht haben, war das Thema Müll. Das haben wir aber nur in der Projektwoche gemacht. Dann haben wir das mit der Luft, also Stick(stoff) - was da alles so drin ist. Dann haben wir das mit dem Destillieren gemacht, also Sachen voneinander getrennt. Und dann das mit den Atomen. Das waren die einzigen Themen."

I: "Wenn du die jetzt einmal bewerten würdest, was"

W1: "Das interessanteste, fand ich, war das mit dem Destillieren, weil, wir mußten Stoffe von anderen Stoffen trennen. Das war unheimlich interessant. Das fand ich noch am besten. Das zweit-(beste) war Thema Müll, dann das mit der Luft und zuletzt das mit den Atomen. Ich fand das nicht so interessant, weil, das kann man einfach nicht so anfassen und nicht so sehen, damit kann man nichts machen. Da kann man einfach nur zuhören und abschreiben."

...

I: "Ich habe euch ja jetzt ein bißchen was gefragt, und ich fände es jetzt noch ganz interessant, wenn ihr auch einmal ein bißchen was sagen könntet zu eurem Chemieunterricht, was ihr euch vorstellt: wie er sein sollte, was im Chemieunterricht gemacht werden sollte, was eventuell anders gemacht werden sollte, was man weglassen sollte?"

M1: "Vor allem Themen, mit denen man auch *was anfangen kann: wo man Versuche machen kann, was einem nicht nur was in der Schule bringt*, sondern auch zu Hause oder so. Das ist zwar ziemlich schwer, aber wenn man nur so schreibt und redet, dann ist das auch nicht so besonders. Ich finde, man sollte schon irgendwelche Themen (nehmen), wo man Versuche mit machen kann."

M4: "Die Atome oder so was, die muß man ja auch machen, aber nicht so lang gezogen, wie wir das gemacht haben. Es war halt *ziemlich öde*, keiner hat zugehört und so was. Und immer wieder das Gleiche erzählt. Hat keinen Reiz gehabt."

Lernende Klasse 9, Integrierte Gesamtschule

M1: "Der Herr F. hat auch so seine Vorteile, der fragt uns z.B. - wie bei dem jetzigen Thema: »Was wollt ihr lieber machen: das Thema Alkohole oder lieber was anderes« Die meisten von uns haben sich natürlich für das Thema Alkohol entschieden. Dann durften wir zu Hause selber was ansetzen, also Hefe und Traubenzucker. Das wollten wir dann eigentlich destillieren und gucken, wieviel Prozent Alkohol drin sind. Na ja, einer hat es gemacht. Ich hatte ein bißchen zu viel Hefe drin. Selber Wein mitgebracht, den haben wir dann auch destilliert, nachgewiesen, daß man durch das Brennen mehr Alkohol erzielen kann usw."

W4: "Dann haben wir probiert."

W1: "Was haben wir denn da mit dem Essig gemacht."

M1: "Wir haben versucht, Weinessig herzustellen. Das ist aber leider etwas schiefgegangen. Das ist ja das Gute am Unterricht, macht man es das nächste Mal nochmal, braucht man nicht soviel zu schreiben."

Lernende Klasse 9, Hauptschule

ZUSAMMENFASSUNG:

Nach Auffassung der in diesem Abschnitt zitierten Schüleraussagen aus der Sekundarstufe I veranschaulichen und "beweisen" Experimente theoretische Inhalte. Erst die experimentelle Veranschaulichung ermöglicht nach ihrer Auffassung den Nachvollzug und damit einhergehend die bewußte Aneignung der jeweiligen Inhalte; als besonders hilfreich hierzu wird das selbständige experimentelle Arbeiten erwähnt.

Favorisiert werden von den Lernenden solche Experimente, die sich mit Stoffen aus ihrem (häuslichen) Erfahrungsbereich beschäftigen. Inhalte, die einer experimentellen Behandlung im Chemieunterricht (Atomtheorie) üblicherweise nicht zugänglich sind, werden dagegen nur als notwendiges Übel betrachtet, dessen Behandlung so kurz wie nur irgendmöglich sein sollte. Betrachtet man die angeführten Beispiele genauer, so ist einerseits zu vermuten, daß die Lernenden explizit Versuche bevorzugen, bei denen sie etwas *sehen* können, d.h. etwa eine Farbänderung, einen Stofftransport oder ähnliches. Andererseits kommt in ihnen (und in den später dargestellten schriftlichen Dokumenten von Schülerinnen und Schülern zum Experiment - vgl. die Abschnitte 13.1.3 und 13.2) ein eher hermeneutisches Prozeßverständnis als ein fachlich strukturiertes Verständnis zum Ausdruck. Diese Auffassung von Verstehen als *Beschreibenkönnen* eines Prozesses ist im übrigen weit verbreitet, wie einschlägige psychologische Untersuchungen belegen [vgl. z.B. Zietz 1955, Daumenlang 1969, S. 173 ff, Duit 1981, S. 82 f, 1983, S. 154 f]

10.5 EIGENES EXPERIMENTIEREN ERMÖGLICHT DAS (BESSERE) VERSTEHEN CHEMISCHER SACHVERHALTE

M2: "Ich meine, in der letzten Zeit, wo wir das in den Gruppen mit den Versuchen gemacht haben, sind wir *als Schüler auch mehr in den Unterricht mit einbezogen* worden. Ansonst gingen, wie der M. schon sagte, so Fachbegriffe rum. Da hat eh nur die Hälfte so recht was verstanden. Da hat man dagesessen und wußte nicht, was es war. Im Grunde genommen hat man schon was mitgekriegt, nur unter den Begriffen konnte man sich absolut nichts vorstellen. Da war das letzte schon gut, was wir da gemacht haben. Das könnte auch ruhig öfter sein, meiner Meinung nach."

I: "Obwohl ihr auch Demonstrationsversuche gesehen habt, konntet ihr euch nichts unter den Begriffen vorstellen letztlich?"

M2: "Ja schon, aber wenn man *selbst damit zu tun* hat und selbst sich Gedanken machen muß, wie man so einen Versuch aufbaut und wie der abgewickelt werden muß, glaube ich, *begreift man das auch schneller und besser*."

W1: "Ich würde sagen, vorher haben wir zwar die Versuche vielleicht auch verstanden, aber die waren dann nach ein zwei Stunden wieder weg. Okay, vielleicht nicht so kurzfristig, aber auf längere Zeit habe ich nichts mehr

gewußt. Wenn ich mir das Heft angeguckt habe: ja, so den Versuchsaufbau, so was hast du schon mal gesehen, aber ich habe nichts mehr damit anzufangen gewußt. Dadurch, daß wir das jetzt selber gemacht haben, werden wir das nicht so schnell vergessen. Weil, da mußten wir ja selber drüber nachdenken."

...

W3: "Es ist eben schon oft so, daß eben eigentlich der Herr B. oder ein anderer Chemielehrer vorne den Versuch macht und daß wir eben, die Schüler, dasitzen. Als wir die Versuche selbst gemacht haben, da hat sich vielleicht jeder so ein bißchen wie so ein Chemiker gefühlt. Weil er so einen Versuch aufbauen kann. Er hat die Reaktionen gesehen. Das ist interessanter, als wenn da vorn - der Lehrer weiß eh, was passiert, und wir starren nur hin und gucken, aber machen das ja doch nicht."

W5: "Oftmals war es auch so, daß keiner genau wußte, warum der Versuch überhaupt durchgeführt wird und worum es da überhaupt ging. Es wird z.B. irgendwas aufgebaut, um nachzuprüfen, ob da Schwefel drin ist oder so. Aber letztendlich richtig verstanden, also von Grund her, haben es wohl nur einige."

M3: "Mir geht es in dieser Beziehung genauso, wie der U. Wenn das dagegen so ist wie in den letzten paar Monaten, daß wir *selbst irgendetwas unternehmen* können, dann ist der Unterricht erstmal *lockerer*, und es macht auch viel *mehr Spaß*. Mir hat das jetzt *mehr Spaß* gemacht als das ganze letzte Jahr zusammen, weil: erst einmal auch *wegen den Versuchen*. Ich meine, es ist zwar schon ganz gut, wenn wir auch ab und zu mal einen Versuch machen, aber dann ist doch wieder eine Trockenzeit. Da kommt absolut gar nichts, und da muß man *nur Theorie* machen. Da hört man am Anfang zu und interessiert sich vielleicht auch bißchen dafür. Aber dann wird das irgendwie mit der Zeit zu viel, und man versteht vielleicht auch nicht alles, dann wird das langweilig, und man hört überhaupt nicht mehr richtig hin. Man kriegt dann zwar ein paar Werte mit, aber wie das dann alles richtig zusammenhängt, das verfliegt dann alles meistens. Also so in einer gelockerten Form wäre das besser, daß die Schüler das dann eher begreifen. So ging es mir jedenfalls."

Lernende Klasse 10, Gymnasialzweig Additive Gesamtschule

M2: "Sobald sich die Schüler die Sache *selbst erarbeiten* oder einen Teil selbst erarbeitet haben, *bleibt das meist hängen*."

M3: "Vor allem dann, wenn es auch einfach Spaß macht."

M2: "Der Unterricht muß locker sein. Er darf nicht so - wie von manchem Lehrer - erzwungen werden. Das ist dann trockener Unterricht. Wenn er erzwungen wird, dann hat es eigentlich keinen Sinn Unterricht zu machen, weil dann doch keiner was behält. Aber wenn *Experimente* oder auch *Besichtigungen* gemacht

werden, dann wird *viel* von den Leuten *gefordert* und *da bleibt* dann wirklich *mehr hängen*. Das Interesse ist auch angeregt und bleibt auf längere Zeit dabei."

M3: "Man wirkt halt auch selber da mit. Man tut selber was und schreibt nicht irgendwas ab oder versucht, irgendwelchem theoretischen Gelaber zuzuhören. Man ist selber bei der Sache und ist selber für einen gewissen Teil dieses Versuchs verantwortlich. Man merkt, daß ohne die Mitarbeit das andere auch nicht laufen kann. Das ist unheimlich *befriedigend* für einen Schüler, der meist nur mit irgendwelchen Informationen vollgestopft wird."

...

M3: "... Um das wieder auf Chemie zu beziehen: wenn man sagt, *der* Stoff und *der* Stoff, dann passiert *das*. Dann ist das halt so. Aber wenn man sieht, daß wenn man den Stoff mit dem Stoff verbindet, und sieht, daß das passiert, dann *hat man das vor Augen mal gehabt, und dann bleibt das hängen*."

I: "Wenn du vorher eine farblose Flüssigkeit hast und gibst eine farblose Flüssigkeit dazu und hast nachher wieder eine farblose Flüssigkeit."

M3: "Das ist Schicksal des Chemieunterrichts. Das ist das Sinnlose an Chemie [lacht]. Aber es gibt doch Sachen: wenn man Kohle verbrennt, dann bleibt die Kohle nicht, sondern da wird was anderes draus. Das bleibt halt eher hängen, wenn man das mal gesehen hat, als wenn man es nur gesagt bekommt. Das ist ganz klar."

...

L: "B. was du jetzt konkret gesagt hast, pH-Wert und Sachen, daß die geblieben sind. Es geht ja auch darum für das Leben, daß der pH-Wert was sagt."

M3: "Ja, wie gesagt, so was bleibt halt, und so was wäre nicht geblieben, wenn wir das theoretisch an der Tafel gemacht hätten. Da bin ich mir ziemlich sicher. Wenn man einen Wald an die Tafel gemalt hätte und gesagt hätte, da ist ein Forst und da nicht, da ist der pH-Wert sauer und da ist der pH-Wert normal. Dann hätte man das aufgenommen, hätte es aufgeschrieben und hätte es vergessen. Es ist nicht dieser pH-Wert, der in Erinnerung bleibt, sondern es ist dieses *Erlebnis* in der 8. Klasse mal im Wald gewesen zu sein. Und dann kommen auch wieder so Sachen, die man in dem Wald gemacht hat. Dadurch kommen auch wieder die Informationen, die man daraus genommen hat. Es liegt an dem Interessantheitsgrad des Unterrichts, wenn der hoch ist, dann bleiben auch Informationen hängen! Dann bleiben auch Sachen hängen, die vielleicht für das spätere Leben mal wichtig sind! Ich finde, das ist eigentlich der Punkt. Auch an Experimenten, die ausführlich waren, die Spaß gemacht

haben - wie z.B. Kohle verbrennen, das ist was, was einem wieder in Erinnerung kommt, wenn man das mal überdenkt."

M2: "Ja, so wie wir unseren Chemieunterricht jetzt machen, ist das nur Theorie. Wir machen jetzt *Formelverbindungen, andere Modelle und so. Das ist unheimlich trocken*. Und wenn man das Heft nicht hat, dann *vergißt man* das nach einer Stunde wieder. Ich komme nach Hause, und wenn ich mir das im Heft wieder angucke, dann verstehe ich es; aber eine Stunde später ist schon wieder vergessen, wie es eigentlich funktioniert."

Schüler Klasse 11, Integrierte Gesamtschule

ZUSAMMENFASSUNG:

Als wesentlich für das dauerhafte Aneignen chemischer Inhalte wird von den Befragten das eigene Experimentieren beschrieben. Die Intensität der Aneignung und die Dauerhaftigkeit der Erinnerung hängt dabei - nach ihren Angaben - vom Grad ihrer Selbsttätigkeit ab. So wird die Möglichkeit, sich "selbst Gedanken (zu) machen" über Versuchsaufbau und -durchführung sowie die stärkere Einbeziehung in die Gestaltung des Unterrichts als positiv für das nachhaltige Verstehen der Inhalte erfahren. Wesentlich für das dauerhafte Verstehen sei auch die Einbettung der Inhaltsvermittlung in ein möglichst reales Beziehungsgeflecht; so sei es z.B. nicht der pH-Wert an sich, an den man sich erinnert, sondern das "Erlebnis in der 8. Klasse mal im Wald gewesen zu sein".

Selbst wenn unter "dauerhaft" u.U. nur die stichwortartige Erinnerung an bestimmte Inhalte zu verstehen ist, so ist dies insofern von Bedeutung, als auch die Lehrenden eine rudimentäre Erinnerung der Schülerinnen und Schüler nur bei mit Experimenten verbundenen Inhalten angeben (vgl. Kapitel 9).

Im Gegensatz zum eigenen Experimentieren messen die hier zitierten Schülerinnen und Schüler Demonstrationsexperimenten nur eine geringe Bedeutung für den eigenen Lernprozeß zu. Unter diesem Blickwinkel wird auch ihre Sinnhaftigkeit angezweifelt, da doch vorher bereits der "Lehrer weiß ..., was passiert".

10.6 EXPERIMENTE UND CHEMIEUNTERRICHT ERSCHLIESSEN DIE EIGENE UMWELT BZW. TRAGEN ZU DEREN VERSTÄNDNIS BEI

M1: "*Sinnvoll* fand ich es schon, weil überhaupt gezeigt wurde, wie man den Kram nachweisen könnte, auch wenn es praktisch nicht ganz geklappt hat. Es lag hauptsächlich an ... Da hat man dann doch schon gesehen, daß man sehr genau arbeiten muß, um da überhaupt irgendein Ergebnis zu bekommen."

W1: "Ich finde, das ist dann alles *ein bißchen wirklicher geworden*. Wenn man sich das immer durchliest: Da sind Nitratwerte in der Luft - na ja gut, dann sind da halt welche. Aber wenn man das *selber mal ausprobiert*, dann merkt man wirklich, daß das ein Problem ist, daß das auch schwieriger ist. Man kriegt auch irgendwie ein Gefühl dafür. ... Ich finde, dadurch wird es einem doch *bewußter*, weil man selber damit hantiert und wirklich mal ein bißchen was damit zu tun hat. Sonst liest man das halt immer, und dann vergißt man es nachher."

Lernende Klasse 12, Gymnasium

M4: "Dadurch, daß wir jetzt hier in der Schule Versuche gemacht haben, ... und auch selbst festgestellt haben, wie man einen Versuch türkt. Wie wir irgendwelche Kurven aufgemalt haben und dann gesehen haben, da ist eine Beule drin. Und dann hier ein bißchen »wuschel wuschel« und dann war die Beule draussen. Dann hat man auch das *richtige Verhältnis zum Versuch*, finde ich. Man kann den nicht wie ein Zitat irgendwie aus dem Gesamtzusammenhang rauslösen und ihm dann irgendwas reininterpretieren. Man muß schon den Versuch im Gesamten sehen. ... Die Interpretation ist nicht objektiv, sondern mehr oder weniger plausibel. Um das feststellen zu können, mußt du eben Fachwissen haben."

Schüler Jahrgangsstufe 13, Leistungskurs Chemie

M1: "Gut, es ist mal ganz lustig zu wissen, woraus so Stoffe bestehen. Aber das bringt einem ja auch nicht so viel."

I: "Warum?"

M1: "Da kann man sagen: Benzin besteht aus dem und dem und Öl aus dem, so und so viel Prozent und so. Davon hat man ja nicht so viel. ... *Chemie ist halt ein Fach, nicht so wie Deutsch oder Mathe, was man immer braucht* oder meistens."

I: "Mit dem »Brauchen« kannst du den Unterschied mal erläutern? Warum?"

M1: "Bei Mathe: wenn man in ein Geschäft geht und will sich eine Dose Ravioli und eine Tüte Spaghetti kaufen; hat man dann fünf Mark dabei, dann muß man rechnen, ob das paßt. Bei Chemie - was weiß ich was. Da kann man"

W1: "Ich kann gucken, was in meinen Ravioli alles drin ist, und dann weiß ich, was schädlich ist und was nicht. Es ist *vielleicht* schon *interessant*. Aber ich würde es niemals machen, weil ich sonst wahrscheinlich ein *Ekel* davor *kriegen* würde, was alles in meinen Ravioli drin ist. Dann würde ich mich wahrscheinlich von gar nichts mehr ernähren. ..."

M1: "B., aber das haben wir ja noch nicht einmal gemacht."

[Gemurmel]

M4: "Z.B. Kosmetikstoffe oder so was mal auseinanderschrauben. Mal gucken, was da drin ist. So was wäre mal ganz interessant. Auch Stoffe, mit denen echt man täglich zu tun hat."

M1: "»E's« oder Farbstoffe."

M4: "Ja, ja, erzählt sie (die Lehrerin) mir irgendwas von ihren Stoffen, die sie bei sich hat. Von denen habe ich vorher noch nie was gehört. Die habe ich vorher noch nie gebraucht. Dann gucke ich, was da drin ist, und das interessiert mich eigentlich nicht. Weil es ist mir egal, wie ungiftig oder wie giftig der Stoff ist. Ich habe nix mit dem zu tun."

Lernende Klasse 9, Integrierte Gesamtschule

M3: "... Ich brauche Chemie irgendwo nicht lebensnotwendig."

L: "Aber wenn die Lebenswelt kaputt ist?"

M3: "Dann ist sie kaputt!"

M2: "Dann kann ich mit Chemie auch nix mehr anfangen."

M3: "Mir sind uns wohl einig, *daß Chemie nicht so notwendig ist für das allgemeine Leben wie Mathe*. Wenn ich irgendwo hinkomme und kriege zwei Bier und bezahle drei, dann ist das halt schlecht. Aber wenn ich wohin komme und kriege Wasser und weiß nicht, wie das zusammengesetzt ist, dann kann ich das Wasser trotzdem trinken. Das ist das, was ich meine. Mir wäre auch diese $2 + 3$ in Mathe egal, wenn ich es nicht irgendwann mal brauchte. Das brauche ich, und deshalb versuche ich, mich damit auseinanderzusetzen und mir das irgendwann mal zu merken. So geht es mit allem. Ich finde es *wichtig*, das ich weiß, welche Länder es in Südafrika gibt, weil, wenn mir einer von irgendeinem Land was erzählt und ich weiß nicht, wo das ist, kann ich nicht mitreden. Das stört mich. In Chemie stört es mich nicht. Wenn jemand über Chemie redet, dann ist mir das so egal. Dann nehme ich mir ein Buch und lese. Anderen Leuten ist egal, wo Hamburg liegt - von hier aus oben oder unten - die wollen halt wissen, was passiert, wenn dieser Stoff sich mit dem verbindet."

Schüler Klasse 11, Integrierte Gesamtschule

W1: "*Interessant wird die Chemie* eigentlich dann für mich, wenn ich z.B. ein Stück Rost angucke und weiß, was da passiert. Sie können jetzt drüber lachen, irgendwann habe ich mal in der Badewanne gesessen und habe mit der Hand ins Wasser geschlagen, wußte, das sind lauter kleine Moleküle - das hört sich lächerlich an - sind lauter kleine Moleküle und die patscht du jetzt durch die Gegend. Das war irgendwas, was mich *fasziniert* hat. Wenn ich dann halt in der Lage bin - wenn ich einen Lack sehe oder irgendwie so was und *weiß, was das ist*, oder wenn ich Zucker sehe, der sich im Kaffee auflöst, oder irgendwie so was. Das können dann nachher auch schwierige Beispiele sein, wie Alkohol. Aber wenn ich das auf das anwenden kann, was ich sehe, wenn sich mir dadurch *Dinge erklären, das ist dann für mich interessante Chemie*. Wenn ich weiß, warum diese Reaktion in dem Glas abläuft, warum es rot wird und wie es rot wird und aus welchem Grund, das ist für mich dann interessant. Wenn es aber immer alles so abstrakt bleibt irgendwie - vielleicht liegt es auch an mir, daß ich vielleicht nicht intelligent genug bin, das weiterzuentwickeln und da vielleicht wiederum was finde, was in der Natur genauso abläuft. Ich finde es wird eben dann interessant, wie gesagt, wenn ich ins Wasser patsche und plötzlich weiß, daß das lauter kleine Atome sind. Das hört sich witzig an, aber das war für mich z.B. ein auslösender Moment, warum ich das plötzlich alles recht interessant fand."

Schülerin Klasse 12, Gymnasium

M4: "*Chemie ist das einzige Fach, wo auch mal klipp und klar was gesagt werden kann, das und das ist schädlich und das und das wirkt sich so aus*. Und wo man auch daheim gucken kann, hier habe ich also Sachen, die sind schädlich und die verschmutzen den Kram. Das ist endlich mal ein Fach, wo man mal was *Konkretes* in der Hand hat. Das ist vielleicht ein bißchen viel konkret, wenn man hier dann aus dem Unterricht rauskommt, dann traut man sich eigentlich gar nichts mehr zu machen, weil alles irgendwo so ein bißchen als schädlich erscheint. Aber es ist eben das *einzige Fach, was nicht nur theoretisch bleibt*, sondern wo man auch praktische Konsequenzen ziehen kann, wenn man will. Allein durch das Wissen."

M1: "*Zur Problematik insgesamt, Ökologie und Ökonomie, ist Chemie eigentlich weniger geeignet*. In Chemie bespricht man den Ozonaustausch in der Stratosphäre. Wenn ich jetzt darüber diskutiere, ob ich das Treibgas verbieten soll, bin ich eigentlich immer noch zu dumm, das zu beurteilen. Denn da streiten sich noch ganz andere Leute drüber, die noch viel mehr Ahnung haben als ich, ob das nun von dem Treibgas kommt, diese Zersetzung der Ozonschicht. Deshalb ist es besser, wenn man sowas auch in GK (Gemeinschaftskunde) besprechen würde, wo man auf die *Hintergrundprobleme* eingehen

kann. Ich meine, wenn ich über die Umweltproblematik diskutiere, brauche ich nicht zu wissen, welche Ozonradikale mit Kohlenwasserstoffradikalen reagieren."

...

M4: "Wasserverschmutzung. Da mußten wir Wasserproben mitbringen. Die Wasserproben, das wissen wir ja selbst: da leben wir in dem Bereich, wo wir die hergebracht haben, und dann haben wir ja gesehen, was da drin ist. Das hat schon eine Auswirkung. Das ist nicht irgendwas, was ich hier so künstlich aus dem Labor geholt habe, sondern das ist *aus meinem Lebensbereich*. Ich weiß nicht, ob man das mit Luft auch machen kann. Man könnte ja daheim auch Luftproben nehmen, und dann könnte man wirklich wissen, was darin ist, und vielleicht auch entsprechend *was ändern* und *sich verhalten*. Die Experimente würde ich deswegen schon dazu zählen, weil die"

W3: "Ich würde das noch erweitern irgendwie. In diesem Bereich gibt es so wenig. Erweitern vor allem um *Experimente aus dem häuslichen Bereich*. Denn ich meine, wir hatten diese Wasserproben, aber das war auch so ziemlich das einzige, wo man konkret sagen konnte, das und das liegt bei uns im Garten. Da kann man auch was konkret ändern. Ich meine, die meisten wissen gar nicht was sie im Garten oder vor der Haustür haben. Die können dann auch nicht sagen, das und das müßten wir jetzt ändern."

M4: "Mit Luftverschmutzung, wo wir das hatten mit diesen Holzschutzmitteln oder so was, wenn man erst mal weiß, wie das zusammenhängt. - Ich meine, da hat man viel von gehört, aber hier kriegt man die Stoffe aufgelistet und kann zu Hause auf die Büchse gucken, da stehen sie drin und das habe ich bei mir verwendet, dann weiß, ich warum ich Kopfschmerzen habe oder so was. Deswegen bin ich schon vollkommen für so Experimente."

...

M3: "Also ich fand den letzten Versuch, den wir gemacht haben, *die Wasserprobe, das war der Allerbeste im ganzen Chemieunterricht, weil man nicht wußte, was raus kommt, was raus kommen sollte* [Gelächter]. Was raus kommen sollte, da sind wir nämlich bei dem Problem der anderen Chemieversuche: Wir hatten vorher über was gesprochen, und dann wollten wir das anhand von Beispielen überprüfen. Und wenn halt nichts passiert ist, dann hat der (Schüler) S. halt seine blaue Tinte genommen und hat nachgeschüttet [Gelächter], weil wir uns alle darüber geärgert haben, daß das Ding nicht blau geworden ist. Ich finde so Versuche haben dann wirklich keinen Zweck. Also, die haben mir absolut keinen Spaß gemacht. Aber das jetzt mit der Wasserprobe, das war ein Kriminaltango."

M4: "Die anderen Versuche haben auch eine gewisse Bedeutung, weil man ja das Handwerkszeug auch braucht, mit den ganzen Sachen ein bißchen vertraut zu sein."

M1: "Das besondere an den Versuchen, die wir gemacht haben, ist nicht, daß ich mal gesehen habe, wie das abläuft. Im Prinzip kann ich es auch glauben, was im Buch steht. Das Besondere, das sich unterschieden hat, ist, daß ich direkt sehe, wie mein *eigener Lebensraum* verunreinigt ist. Der Teich in deinem Garten, daß der ganz schön - was war da drin?"

W3: "Der war ganz stark basisch."

M1: "Da *spürst du es mal am eigenen Leib*. Das finde ich sehr wichtig dabei. Das man mal merkt, wie vergiftet die Umwelt ist."

Lernende Klasse 13, Leistungskurs Chemie

M3: "Von den Versuchen und von der gesamten Auswertung hat unser Ergebnis mich am meisten *erschreckt*, muß ich sagen. Ich war auch in der Gruppe, die das mit der Gewässeruntersuchung gemacht hat. Daß bei Regenwasser auch schon die Pflanzen so schnell absterben, hat mich *erschreckt*. Ich meine, das war insgesamt zwar schon erschreckend, was sonst auch noch rausgekommen ist bei den anderen Versuchen. Aber ich meine, wenn wir jetzt wissen, welche Mengen von Schadstoffen diese und diese - ehm - den Schaden anrichten können. Ich meine, dadurch *können* wir dann trotzdem auch *nix daran ändern*, daß das Waldsterben, überhaupt die ganze Umweltverschmutzung, weitergeht. Weil wir können das ja irgendwie auch nicht selbst verhindern, auch wenn wir vielleicht nicht dafür sind, sondern jeder kann nur einen kleinen Beitrag für sich leisten. Aber insgesamt gesehen kann unsere kleine Gruppe da nix dran ändern."

M4: "Ich meine, man wußte zwar schon vorher, daß das Wasser und der Wald eigentlich verschmutzt sind. Man konnte sich da nie darunter was vorstellen. Jetzt hat man das irgendwie mal bildlich *gesehen* - also wie die Pflanze danach aussah - und da kann man sich jetzt mal vorstellen, was so ein bißchen Schwefel da ausmacht."

M6: "Das finde ich auch. *Man kriegt einen viel näheren Bezug* zu der Sache. Früher ist das an einem vorbei gegangen. Man hat das nicht richtig mitgekriegt und nicht verstanden, was da erzählt wurde. Jetzt kann man irgendwie mitdenken, kann verstehen, was passiert, und man kann auch die Ursachen schon einigermaßen voraussehen."

Lernende Klasse 10, Gymnasialzweig Additive Gesamtschule

M1: "Ich finde das schon wichtig mit den Luftschadstoffen, Schadstoffen generell, daß das in der Schule durchgenommen wird. Das ist ja im Grunde auch der Sinn des Chemieunterrichts, daß man weiß, mit Stoffen umzugehen: wie Stoffe reagieren, *über die Auswirkungen, die Reaktionen von bestimmten Stoffen Bescheid weiß, damit man solchen Katastrophen wie Tschernobyl usw. vorbeugen kann.* Ich finde, das ist schon unheimlich wichtig, daß das durchgenommen wird, daß man später mal mitreden kann, wenn es um solche Probleme geht."

Schüler Klasse 11, Integrierte Gesamtschule

ZUSAMMENFASSUNG:

Anwendungen chemischen Wissens auf die eigene Umwelt und deren Einbezug in den Unterricht wird von den meisten der befragten Schülerinnen und Schüler gewünscht und in den Fällen, in denen sie einen solchen Chemieunterricht erlebt haben, als positiv beschrieben. In solchen Zusammenhängen erachten sie auch Versuche für unabdingbar, die einerseits offen sind, d.h. keiner der Beteiligten kennt das Ergebnis, und die Auskunft z.B. über den Grad der Belastung ihres unmittelbaren Lebensraumes geben. Verstärkt sollten nach Auffassung der meisten Befragten auch solche Versuche im Chemieunterricht gemacht werden, die ihnen ein (besseres) Verständnis für die im häuslichen Bereich verwendeten Stoffe vermitteln.

Ein kleinerer Teil der Befragten hält den so beschriebenen Anwendungsbezug nicht für so wichtig, da sich aus ihm keine Handlungsorientierung ableiten lasse bzw. dieses Wissen keinen Gebrauchswert habe. Auffällig ist, daß diese Befragten in der Regel diejenigen sind, die den Chemieunterricht bis zur Klasse 11 abgeschlossen haben. Berücksichtigt man hierbei etwa die Untersuchungen von Schier (vgl. Abschnitt 6.4), so ist zu vermuten, daß ihre negative Bewertung des Gebrauchswertes von Chemieunterricht vermutlich damit zusammenhängt, daß die in ihn gesetzten Erwartungen zur Erläuterung der sie umgebenden Realität nicht erfüllt worden sind. Diese Annahme wird dadurch bestärkt, daß umgekehrt diejenigen, die sich dafür entschieden hatten, auch nach der Klasse 11 weiter am Chemieunterricht teilzunehmen, diesem zumindest potentiell etliche Anwendungsmöglichkeiten zuschreiben. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß auch Teilnehmer des Leistungskurses betonen, daß Chemieunterricht allein zur Bewältigung der angesprochenen Alltagsprobleme nicht beiträgt, sondern daß eine sinnvolle Verknüpfung mit dem Gesellschaftslehreunterricht gegeben sein muß.

10.7 ZUSAMMENFASSUNG DER AUSSAGEN DER LERNENDEN

Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler zum Chemieunterricht allgemein, dem Experiment bzw. dem eigenen Experimentieren lassen sich in Abgrenzung zu der vorhergehenden thematischen Gliederung in drei Klassen einteilen:

- Aussagen zur methodischen Bedeutung des Experiments
- Aussagen zur Alltagsbedeutung von chemischem Wissen
- Aussagen zur sozialen Bedeutung des Experiments

Dabei weisen die Aussagen zur sozialen Bedeutung des Experiments bzw. des eigenen Experimentierens den höchsten Grad an Übereinstimmung unter allen Befragten auf; oder anders formuliert: es lassen sich keine Unterschiede in der Bewertung zwischen den verschiedenen Schultypen und Klassenstufen, denen die Befragten angehören, feststellen. Die beiden anderen Aussageklassen weisen hingegen deutlich polare Ansichten auf, die u.a. mit dem Alter der befragten Schülerinnen und Schüler in Zusammenhang stehen.

Bei den *Aussagen zur methodischen Bedeutung* des Experiments fällt die Grenze zwischen den Altersgruppen und deren Ansichten etwa mit dem Übergang von der 11. zur 12. Klasse zusammen; entscheidendes Moment scheint der Umfang der gemachten Erfahrungen zu sein (viel Chemieunterricht, selbst durchgeführte realitätsbezogene Experimente):

- Vorher ist guter Chemieunterricht untrennbar mit Experimenten verbunden; eine Vorstellung die letztlich nur über den Unterricht selbst, wobei dies nicht notwendig der eigene sein muß, erzeugt worden sein kann. Erst *Experimente ermöglichen* nach Auffassung der Schülerinnen und Schüler *ein effektives Lernen*; besondere Bedeutung kommt dabei *selbst durchgeführten* und - ihrer Auffassung nach - *eigenständig entwickelten Experimenten* zu, da gerade sie erst ein *dauerhaftes Aneignen der Inhalte* ermöglichen.
- Später ist eine differenzierte Sicht feststellbar: *Eigentlich könne auf Experimente der üblichen Art, nämlich solche mit bestätigendem Charakter, verzichtet werden, denn es sei ja vorher schon klar, was bei ihnen herauskomme, und sollte dies einmal nicht der Fall sein, so wäre doch das Ergebnis festzuhalten, welches theoretisch hätte herauskommen sollen.* Experimente (z.B. solche zur quantitativen

Schadstoffbestimmung) sollten jedoch schon deswegen gemacht werden, damit man die "richtige" Einstellung gegenüber der Wissenschaft, insbesondere gegenüber wissenschaftlichen Argumentationen, bekomme, denn bekanntlich müßte ja an den Versuchen "ordentlich rumgetrickst" werden, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten.

Bei der Bewertung dieser Aussagen der Schülerinnen und Schüler ist zu berücksichtigen, daß ihr Begriff von *Verstehen* eher als prozeßhaft-hermeneutisch denn als strukturell-fachlich zu charakterisieren ist. Gerade auch aus diesem Verständnis heraus ist es wichtig zu erfahren, welche Bedeutung die befragten Lernenden der Anwendung chemischen Wissens auf ihre Alltagswelt zumessen.

Im Bereich der *Bedeutung chemischen Wissens* - bzw. des im Chemieunterricht vermittelten Wissens - für die *alltägliche Umwelt* lassen sich - mit Ausnahmen¹⁾ - ebenfalls zwei gegenläufige Meinungen feststellen. Ihre Abgrenzung läßt sich jedoch nicht so einfach an äußeren Merkmalen (Klassenstufe) festlegen wie im vorhergehenden Fall.

- Diejenigen Befragten, die chemischem Wissen für ihr Handeln in der Alltagswelt allenfalls eine untergeordnete Bedeutung zumessen, sind meist solche Schülerinnen und Schüler, die den Unterricht bis zur Klasse 11 oder bereits früher abgeschlossen haben werden. Ihre Äußerungen lassen insgesamt die Vermutung zu, daß der Chemieunterricht nicht ihren Erwartungen nach Erläuterung der sie umgebenden Realität gerecht wurde (vgl. Abschnitt 6.4).
- Es sind umgekehrt vor allem die Befragten, die chemischem Wissen eine hohe Alltagsbedeutung zumessen, die sich freiwillig für die Teilnahme am Chemieunterricht entschieden haben. Bemerkenswert ist, daß ebenso wie die anderen Befragten auch die Leistungskursteilnehmer betonen, daß zur Alltagsbewältigung Themen des Chemie- und des Gesellschaftslehreunterrichts miteinander verknüpft werden müßten.

In diesem Zusammenhang ist es von besonderer Bedeutung, daß, falls Inhalte des Chemieunterrichts als positiv erwähnt werden, diese immer in einem *realen Zusammenhang* eingebettet und anschaulich alltäglich sind. Tendenziell läßt sich eine Ablehnung theoretischer Inhalte - symbolisiert in Formel und Atom - feststellen, soweit sie nicht unmittelbar beim Verständnis konkreter Probleme behilflich sind.

"Erträglich" werden Theorieelemente erst durch Experimente. Diese letztlich von allen Befragten unabhängig von Schulstufe und -art getragene Überzeugung weist auf

¹⁾ Dies bezieht sich insbesondere auf die Beobachtungsklasse; vgl. Teil C

die *soziale Bedeutung des Experiments bzw. des eigenen* Experimentierens für den Chemieunterricht hin.

Die Auffassungen der Schülerinnen und Schüler lassen sich so interpretieren, daß das Experiment geeignet ist, die von Zinnecker [1978] beschriebenen Schülerwünsche nach Ausweitung der "Hinterbühne" im Unterricht zu realisieren. Die Vermutung, daß Experimente für die Schülerinnen und Schüler eine legale Möglichkeit zur Aufnahme sozialer Kontakte sind, läßt sich somit bestätigen. Deutlich wird dies zum Beispiel in dem Wunsch, daß wenigstens Demonstrationsexperimente - auch dann wenn diese gleichzeitig für das eigene Lernen als nicht bedeutsam eingeschätzt werden - durchgeführt werden, wobei von den Lernenden eingeräumt wird, daß sie dabei etliches nicht verstehen bzw. daß ihnen einige Experimente durchaus sinnlos erscheinen und sie die Gelegenheit zur Unterhaltung nutzen. Tatsächlich bieten Demonstrationsexperimente die Gewähr dafür, daß der Experimentator *zu tun* hat, sprich, daß er einen mehr oder weniger großen Teil seiner Aufmerksamkeit nicht den Lernenden, sondern dem Experiment widmen muß.

Es wäre jedoch fatal, diese den fachdidaktischen Annahmen widersprechende Einstellung der Lernenden negativ zu bewerten: Nach deren Ansicht würde ein Unterricht ohne Experimente das Schulfach Chemie "total" den anderen nicht-naturwissenschaftlichen Fächern angleichen. Es wäre damit, was ja bezüglich seiner kognitiven Inhalte ohnehin gilt, vollständig der in den letzten 30 Jahren zunehmenden Schulkritik durch die Lernenden unterworfen. Diese erfaßt alle zentralen Bereiche wie den Unterricht allgemein, Prüfungen, Zeugnisse und das Verhältnis zu den Lehrenden (vgl. Abschnitt 2.3.3).

Indem das Experimentieren jedoch das von den Schülerinnen und Schülern im oben genannten Zeitraum als zunehmend positiv erfahrene Verhältnis zu Gleichaltrigen unterstützt, kann es zu einer *entspannten*, für das Lernen gedeihlichen Atmosphäre beitragen. Die enorme Bedeutung, die dem Experiment für das soziale Leben der Klasse bzw. Lerngruppe zukommt, wird in gewisser Weise auch durch die Bewertung der Stellung des Experiments im Lernprozeß deutlich.

10.8 RESÜMEE DER BEIDEN BEFRAGUNGEN

Experimente im Chemieunterricht werden weder von Lehrenden noch von Lernenden in der aus fachdidaktischer Sicht erwarteten Weise ernst genommen. Sie sind jedoch ein wesentlicher Bestandteil, um den Chemieunterricht aufzulockern. Es ist zu vermuten, daß ohne sie die Beliebtheit des Faches noch weiter sinken würde. Es wäre jedoch zu kurz gegriffen, ihnen lediglich einen gewissen Unterhaltungswert zuzuschreiben. Sie erfüllen vielmehr eine wichtige soziale Funktion im Unterricht. Neben der Möglichkeit der - sonst negativ sanktionierten - Kontaktaufnahme mit Mitschülerinnen und -schülern und einer anderen Umgangsform mit dem Lehrer, der Lehrerin ermöglichen sie eine gewisse Muße bzw. Entlastung im sonst stark kognitiv geprägten Unterrichtsgeschehen. Daneben können die Lernenden durch das eigene Experimentieren gewisse manuelle Fertigkeiten erwerben.

Die Entlastungsfunktion des Experiments gegenüber dem überwiegend kognitiv strukturierten Unterrichtsgeschehen ist um so wesentlicher, als offenbar in dem Maß, wie Jugendliche länger zur Schule gehen, gleichzeitig zentrale Bereiche der Schule durch sie negativ bewertet werden. Die Bedeutung von Experimenten für die Aufnahme sozialer Kontakte hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß es heute - absolut gesehen - weniger Jugendliche gibt als noch vor zwanzig Jahren, so daß die Schule für viele Lebensjahre die Funktion eines zentralen Kommunikationsortes einnimmt.

11. EXPERIMENTE IM CHEMIEUNTERRICHT DIDAKTISCHE ANNAHMEN UND REALITÄT

ERGEBNISSE DER BISHERIGEN UNTERSUCHUNGEN

Die Aussagen zum Experiment bzw. zum Experimentieren im Chemieunterricht lassen sich den folgenden drei Bedeutungsebenen zuordnen:

- einer wissenschaftstheoretischen
- einer unterrichtsmethodischen
- einer sozialen.

Die Darstellung der verschiedenen Bedeutungsebenen beginnt jeweils mit den oben genannten Standardlegitimationsmustern für Experimente bzw. das Experimentieren im Chemieunterricht. Mit diesem Vorgehen ist eine gute Orientierung und Übersichtlichkeit gegeben, da sich diese bis zum Anfang des Jahrhunderts herausgebildeten *Standardlegitimationsmuster* bis heute als im wesentlichen - von zeitgemäßen Formulierungen abgesehen - invariant gegenüber Veränderungen erwiesen haben. Diese Invarianz läßt sich bei dem als *opportunistisch* gekennzeichneten Legitimationsmuster nicht feststellen; es war im Gegenteil jeweils politisch bedingten Anpassungen unterworfen. Seine Beliebtheit und damit Irrelevanz für die vorliegende Untersuchung wurde bereits zu Beginn im Abschnitt 2.3.4 aufgezeigt.

11.1 DIE WISSENSCHAFTSTHEORETISCHE BEDEUTUNGSEBENE

Das wissenschaftstheoretische Legitimationsmuster ist durch die Auffassung gekennzeichnet, daß das Experiment allein schon deshalb notwendiger Bestandteil des Unterrichts sei, da es das tragende und charakteristische Moment im Erkenntnisprozeß der Bezugswissenschaft sei.

Diese Ansicht wird durch die einschlägige Literaturanalyse widerlegt: Danach ist das Experiment neben der philosophischen Spekulation, dem Erdenken theoretischer

Begriffe, sowie der theoretischen Arbeit nur *ein* konstitutiver Teil der Naturwissenschaften. Bezogen auf eine Theorie ist das Experiment Wahrheitskriterium nur in dem Sinn, daß es zeigt, ob eine Theorie *arbeitet* oder nicht. Es kann jedoch nicht die prinzipielle Richtigkeit einer Theorie belegen, da ja seine jeweilige Konstruktion und Durchführung von der Theorie geleitet wird, die es überprüfen soll. Letztendlich befindet die *Gemeinschaft der Wissenschaftler* in einem nicht formalisierten Abstimmungsprozeß über den Wahrheitswert einer Theorie.

In der Schule wird das wissenschaftstheoretische Legitimationsmuster in alters- und bildungsgemäß verkürzter Form von den jüngeren Befragten vertreten. Sie sind der Ansicht, daß erst Experimente theoretische Sachverhalte belegen und damit glaubhaft machen. Diejenigen hingegen, die sich für die Teilnahme am Chemieunterricht über die Klasse 11 hinaus entschieden haben und so über wesentlich mehr Erfahrung mit diesem Unterricht verfügen, sind der Überzeugung, daß die Ergebnisse der in der Schule durchgeführten Experimente - insbesondere der von der bestätigenden Art, die im Chemieunterricht deutlich überwiegen - mehr oder weniger beliebig sind. Denn als richtig angesehen werde das, was in den Büchern steht, auch wenn z.B. das konkrete Versuchsergebnis im Widerspruch dazu steht.

Inwieweit die befragten Lehrenden zu der dem Standarlegitimationsmuster entsprechenden Auffassung bei den jüngeren Schülerinnen und Schülern beitragen, kann nicht beurteilt werden, da von ihnen keine Angaben zu diesem Bereich gemacht werden.¹⁾

Es läßt sich somit für die befragten Lernenden feststellen, daß der naturwissenschaftliche Unterricht zunächst eine dem wissenschaftstheoretischen Standardlegitimationsmuster entsprechende Auffassung bei den Schülerinnen und Schülern erzeugt. Diese wird jedoch mit der Teilnahme am Chemieunterricht über die Klasse 11 hinaus in dem Sinn überwunden, daß dem *Schulexperiment* schließlich überhaupt keine wissenschaftstheoretische Bedeutung mehr zugebilligt wird.

¹) Wegen der möglichen Gründe für das Fehlen entsprechender Äußerungen vgl. Abschnitt 9.6.

11.2 DIE METHODISCHE BEDEUTUNGSEBENE

Die methodische Bedeutungsebene läßt sich weiter untergliedern in vier, sich teilweise überschneidende Aspekte: *Anschauung*, *Experiment als Mittel der Realitätserfassung*, *Übung* und *Eigentätigkeit*.

In der fachdidaktischen Literatur wird *das Experiment* u.a. *als Anschauungsobjekt* charakterisiert; es kann in diesem Fall prinzipiell dieselben Funktionen übernehmen wie z.B. Bilder, Filme, Dioramen oder Modelle. Dies stellt eine Reduktion gegenüber der Vermittlungsfunktion dar, wie sie dem Experiment von J. von Liebig zugemessen wird. Für ihn stellten Theorieaneignung *und* praktische experimentelle Tätigkeit eine untrennbare Einheit dar. Die Qualität dieser Art von "handelndem Lernen" und dessen spezifische Bedeutung für den Chemieunterricht wird insbesondere deutlich in der Formulierung von Arendt [1868], wonach erst mittels chemischer Experimente eine, in der Regel der hergebrachten alltäglichen Erfahrung widersprechende, neue gemeinsame Erfahrungsgrundlage herstellbar ist. Erst auf Grundlage der so geschaffenen, quasi neuen Erfahrungen kann nach Arendt ein Verstehen chemischer Theorien erfolgen. Dieses Argument der Herstellung einer gemeinsamen Erfahrungsgrundlage wird, von wenigen Ausnahmen [z.B. IPN-Lehrgang "Stoffe und Stoffumbildungen"] abgesehen, allerdings später nicht mehr aufgegriffen; zumindest ist es nicht mehr als solches in der einschlägigen Literatur erkennbar.

Die Aussagen der befragten Lehrenden zu diesem Aspekt sind eher unpräzise. Sicher feststellen läßt sich nur, daß das Experiment für sie ein unverzichtbarer Bestandteil des Chemieunterrichts ist und daß sie einen sich auf die theoretische Ebene beschränkenden Unterricht für nicht "machbar" halten. Äußerungen im Sinne der Herstellung einer gemeinsamen Erfahrungsgrundlage lassen sich bei ihnen ebensowenig finden wie bei den Lernenden.

Ein erheblicher Teil der befragten Schülerinnen und Schüler vertritt ähnliche Auffassungen, wie sie den Standardlegitimationsmustern entsprechen. So betonen die Jüngeren, daß sie theoretische Sachverhalte nur begreifen können, wenn sie diese auch im Experiment gesehen haben, allerdings machen sie z.T. auch deutlich, daß das Begreifen von minderer Qualität sei, wenn es sich dabei um Demonstrationsversuche handele (näheres hierzu siehe unten). Diejenigen, die über die Klasse 11 hinaus am Chemieunterricht teilnehmen, schätzen demgegenüber die Anschauungsfunktion des

Experiments als nicht so bedeutsam ein: Denn zum einen würden Experimente meist nur nachträglich, der Vollständigkeit halber, zur Illustration theoretischer Inhalte eingesetzt, zum anderen seien die dabei auftretenden Ergebnisse letztlich für die zu lernenden Inhalte belanglos (vgl. oben). Dies entspricht der implizit geäußerten Wahrnehmung vieler Befragten, daß es im Chemieunterricht letztlich um die Aufnahme von fachwissenschaftlichen Inhalten gehe, und zwar ohne durchgängigen Bezug zu einer stofflichen Basis oder zu entsprechenden Erfahrungen, weder innerhalb noch außerhalb des Unterrichts.

Dies kommt auch in dem von etlichen Schülerinnen und Schülern kritisierten Umgang mit experimentellen Ergebnissen zum Ausdruck, wodurch ein weiterer Aspekt des methodischen Legitimationsmusters in Frage gestellt wird: *Das Experiment als Mittel zur Beobachtung der Wirklichkeit*. Wie bereits oben erwähnt, kann eine chemische Beobachtung nie eine unmittelbare sein. Häufig widersprechen die direkt wahrnehmbaren Fakten vielmehr chemischen Erklärungsmustern. So ist z.B. bei der Verbrennung von Holz eine Vernichtung desselben und das Zurückbleiben eines Aschehäufchens zu sehen, während die chemische Erklärung diesen Vorgang als eine Stoffumwandlung beschreibt. Die dabei entstehenden Stoffe Wasser und Kohlendioxid sind jedoch für die menschlichen Sinne nicht direkt wahrnehmbar. Wie problematisch der Legitimationsaspekt *Beobachtung der Wirklichkeit* ist, läßt sich auch daran verdeutlichen, daß Lernende in ihren Erklärungsmustern für chemische Vorgänge häufig genau bei der unmittelbaren Beobachtung ansetzen (man vergleiche als historisches Beispiel die Phlogistontheorie). Inwieweit Lehrenden und Lernenden das Problem der Unmöglichkeit der unmittelbaren Beobachtung chemischer Vorgänge bewußt ist, kann dem vorliegenden Material nicht entnommen werden.

Der Aspekt *Experiment als Mittel der Realitätserfassung* hat bei Lehrenden und Lernenden eine unterschiedliche Bedeutung. Die Lehrenden geben hier bestimmte, in der Realität auftretende Prozesse simulierende bzw. in ihr messende Experimente an. Von denjenigen befragten Schülerinnen und Schülern, die über die Klasse 11 hinaus am Chemieunterricht teilnehmen, werden solche Experimente insofern als wichtig erachtet, als gerade sie erst ein "richtiges" Verhältnis zu Experimenten und damit letztlich auch zu der Wissenschaft ermöglichen. Sie begründen dies damit, daß die mit "realistischen" Experimenten gewonnenen Ergebnisse erst nach ihrer Interpretation brauchbar seien. Die auf dem Weg dorthin u.U. auftretenden (für sie nicht immer unbedingt rational begründeten) Veränderungen bzw. Korrekturen würden ein kritisches Verhältnis zu den Ergebnissen der Wissenschaft Chemie ermöglichen.

Wesentlich für den Aspekt *Experiment als Mittel der Realitätserfassung* erscheint noch ein anderes, von allen befragten Schülerinnen und Schülern vorgebrachtes Argument: Die eigene Umwelt betreffende Experimente könnten in hohem Maße betroffen machen, insbesondere in dem Sinn, daß schon vorher, aber nur kognitiv wahrgenommene bzw. präsentierte Sachverhalte *bewußt* würden. Die als Beispiele von den befragten Lernenden genannten Experimente haben eher Ernstcharakter und sind nicht mit theoretische Sachverhalte wiederholenden Experimenten identisch.

Daß *Experimente zur Wiederholung und damit Übung theoretischer Sachverhalte* gebraucht werden können, ist ein weiterer Aspekt des methodischen Legitimationsmusters. Daß Übung an sich die Reproduzierbarkeit von Inhalten verbessert, ist altbekannt. Daß das Experiment hierzu jedoch einen besonderen Beitrag leistet, läßt sich aus der ausgewerteten Literatur nicht belegen.

Die befragten Lehrenden betonen hingegen, daß nur bei experimentell präsentierten Inhalten eine zumindest rudimentäre Erinnerung bei den Lernenden feststellbar sei. Für sie ist dieses Erinnern auch eine Begründung, warum ein Chemieunterricht ohne Experimente nicht möglich sei. Die Auffassung der Schülerinnen und Schüler stimmt hier weitgehend mit derjenigen der Lehrenden überein. Die meisten von ihnen sind zutiefst überzeugt, daß sie sich nur an solche Inhalte erinnern könnten, die mit Experimenten verbunden seien. Bedeutsam erscheint in diesem Zusammenhang auch, daß die jeweilige soziale und emotionale Situation, in der ein Experiment bzw. Inhalt eingebunden ist, als durchaus relevant für das Erinnerungsvermögen angegeben wird. Darauf, welche Rolle hierbei der besonderen Sozialform des *eigenen Experimentieren* im Unterricht zukommt, wird ausführlich weiter unten eingegangen.

Das entsprechende Standardlegitimationsmuster besagt, daß Schülerexperimente besonders für einen erfolgreichen Lernprozeß geeignet seien. In der in Abschnitt 4.2.5 ausgewerteten Literatur läßt sich kein eindeutiger Beleg für diese Annahme finden. Vielmehr ist davon auszugehen, daß in dem Maß, wie - von der Person des Experimentators einmal abgesehen - keine prinzipiellen Unterschiede zwischen Demonstrations- und Schülerexperiment bestehen, auch keine Unterschiede hinsichtlich des Lernerfolgs zu verzeichnen sind.

Aussagen befragter Lehrender wie "Zuschauen bringt viel" legen den Schluß nahe, daß auch sie Schülerexperimenten keine besondere Lernwirkung zuschreiben; jedenfalls schätzen sie das Verhältnis von zusätzlichem Aufwand und Zeitbedarf zum erwarteten

"Nutzen" für das Lernen als nicht angemessen ein. Gleichzeitige Äußerungen, die der *Eigentätigkeit der Schülerinnen und Schüler* generell eine positive Bedeutung zuschreiben, sind aufgrund der anderen Ergebnisse eher der sozialen Dimension von Schülerexperimenten zuzuordnen (siehe unten). In gleichem Sinn sind auch die Aussagen derjenigen Schülerinnen und Schüler zu interpretieren, die über die Klasse 11 hinaus am Chemieunterricht teilnehmen. Für sie erscheinen (die erlebten) Schülerexperimente in erster Linie nur als - in ihren jeweiligen Ergebnissen allerdings belanglose - Wiederholung theoretischer Inhalte (vgl. oben)²). Äußerungen von Lernenden, deuten aber auch darauf hin, daß in dem Maß, wie das eigene Experimentieren sich vom bloßen Nachvollzug von Demonstrationsexperimenten löst und stattdessen eigene Planungsmomente zum Tragen kommen, dem eigenen realitätsbezogenen Experimentieren durchaus eine besondere Bedeutung für einen erfolgreichen Lernprozeß zukommt. Hier auf wird im Teil C eingegangen.

Eher im Sinne des Standardlegitimationsmusters sehen diejenigen Schülerinnen und Schüler das eigene Experimentieren, die bis zur Klasse 11 oder früher den Chemieunterricht beendet haben werden. Dabei lassen sich im wesentlichen zwei Begründungen ausmachen, die die Aussage, wonach eigenes Experimentieren einen besseren Lernerfolg ermögliche, etwas relativieren. So machen etliche von ihnen die Einschränkung, daß nur weitgehend auch *selbst geplante* Experimente ein Verstehen und damit nachhaltiges Lernen ermöglichten. Als weiteres Argument für das eigene Experimentieren nennen sie, daß nur so die für das Lernen notwendige Aufmerksamkeit

² Um die Widersprüchlichkeit dieser Aussagen und Ergebnisse weiter zu entfalten, ist die Betrachtung verschiedener Ebenen des Lernens notwendig:

- Schüler und teilweise auch Lehrer schätzen die Bedeutung von nur illustrierenden Experimenten für das Verständnis, d.h. die inhaltliche Seite des Lernens, sehr gering ein.
- Trotzdem stellen Experimente, auch die nur nachvollziehenden, für das Memorieren von Unterrichtsinhalten qua Assoziation von wahrnehmbar Erlebtem Stützen ("Da haben wir doch mal ...") für reproduktive Leistungen dar.
- Die veränderten sozialen Rahmenbedingungen schließlich, die eingeschränkt auch für bloß illustrierende Schülerexperimente gelten, ermöglichen komplexe und intensive Erfahrungen, die für sich als gewichtiger wahrgenommen werden, als sonstiger Unterricht, was jedoch nicht unbedingt die inhaltliche Seite des Unterrichts einschließt.

erzeugt würde; oder anders formuliert: bei Demonstrationsexperimenten wüßte man ja, daß die Lehrenden wissen, was sie gerade machen, und entsprechend wenig würde man selbst aufpassen.

11.3 DIE SOZIALE BEDEUTUNGSEBENE

Das auf die soziale Ebene zielende Standardlegitimationsmuster geht davon aus, daß Experimente, vor allem Schülerexperimente, zur Ausbildung und Förderung sogenannter *Sekundärtugenden* besonders geeignet seien, eine Leistung, die jedoch noch nicht einmal für das Fach Mathematik nachgewiesen werden konnte. Weder in den Aussagen der Lehrenden noch in denen der Lernenden lassen sich Hinweise in Richtung der Aussage des Standardlegitimationsmusters finden. Allerdings gibt es in der Literatur durchaus Hinweise auf eine über die Ausbildung von Sekundärtugenden hinausgehende *soziale Bedeutung des Experiments bzw. des eigenen Experimentierens*.

Hinweise auf Disziplinprobleme bei Schülerversuchen und Ausführungen in der allgemein-pädagogischen Literatur zum Schulbetrieb lassen die Vermutung zu, daß Experimente, insbesondere solche in Schülerhand, geeignet sind, die Ordnungsstrukturen der Schule legal zu unterlaufen. Vor allem besteht die erhöhte Möglichkeit, mit anderen Schülerinnen und Schülern in Kontakt zu kommen; ein Wunsch, der bei den heutigen Lernenden mit Abstand an erster Stelle mit dem Schulbesuch verbunden wird. Diese These wird auch gestützt durch Aussagen von Befragten, Lehrenden wie Lernenden, ebenso durch eigene Erfahrung, daß "Experimententzug" in gewissem Umfang als Disziplinierungsmittel eingesetzt wird.

Die Vermutung, daß Experimente, insbesondere das eigene Experimentieren von Schülerinnen und Schülern, eine hohe soziale Bedeutung haben, wird zunächst durch die Aussagen der Lehrenden gefestigt, indem sie z.B. erklären, daß ein Unterricht ohne Experimente nicht möglich, d.h. nicht durchführbar, sei, da die Lernenden rein theoretischen bzw. ausschließlich kognitiv präsentierten Inhalten ablehnend gegenüber stünden.

Die Lernenden berichten in diesem Zusammenhang Übereinstimmend, unabhängig von Schultyp und -stufe, nicht nur von verbesserten Kontaktmöglichkeiten und damit einhergehend von einer positiven Beeinflussung des Verhältnisses untereinander und gegenüber den Lehrenden; indem - aus ihrer Sicht - Experimente *das* Besondere sind,

was den Chemieunterricht vor anderen Fächern auszeichnet, machen jene ihn gleichzeitig ein Stück weit akzeptabel. Damit kommt auch eine gewisse Wertschätzung der handwerklichen Komponente beim Experimentieren zum Ausdruck.

Abschließend läßt sich feststellen, daß Experimente, sowohl aus Sicht der Lehrenden wie der Lernenden, die Voraussetzung sind, um überhaupt einen *gedeihlichen* Chemieunterricht durchzuführen; von besondere Bedeutung sind dabei, nach Auffassung der Schülerinnen und Schüler, selbst bzw. mit entwickelte und durchgeführte Experimente.

Neben den Befunden, welche sich unmittelbar den entsprechenden Standardlegitimationsmustern zuordnen lassen, sind im Zusammenhang mit meiner Fragesstellung drei weitere Ergebnisse zu nennen, die sich auf die methodische bzw. soziale Bedeutungsebene beziehen:

- Die heutige experimentelle Schulpraxis leitet sich mehr oder weniger aus den Anfängen der Chemikerausbildung bei J. v. Liebig her. Allerdings steht mittlerweile die Theorievermittlung im Vordergrund und nicht mehr die Herstellung einer gemeinsamen fachspezifischen Erfahrungsgrundlage.
- Lernpsychologische Untersuchungen zeigen, daß nur ein behutsamer und den Lernenden bewußter Übergang in die für sie neue chemische Erfahrungswelt, sowie das Erkennen der mangelnden Tragfähigkeit bisheriger Weltbilder deren Überwindung ermöglichen. Im anderen Fall leben diese unter Adaption naturwissenschaftlicher Begriffsstücke fort und erlangen bei zunehmenden zeitlichen Abstand vom Unterricht wieder ihre ursprüngliche Bedeutung.
- Die Erfahrungen der meisten Menschen mit Naturwissenschaft und Technik müssen als *vermittelte Erfahrung* charakterisiert werden, von daher kommt der aktiven Auseinandersetzung mit realitätsnahen Stoffen und Reaktionen eine besondere Bedeutung zu.

11.4 DIE BISHERIGEN ERGEBNISSE IN ÜBERSICHT

Zur besseren Veranschaulichung der bisherigen Ergebnisse sind die Kernaussagen der verschiedenen Teiluntersuchungen in Tabellenform zusammengefaßt.

Aus der Zusammenschau läßt sich folgern, daß die in den Standardlegitimationsmustern zum Ausdruck kommenden Vorstellungen nicht die eigentlichen Begründungen für das Experimentieren im Chemieunterricht sind und sein können. Vielmehr ist davon auszugehen, daß primär - wie bereits zu Beginn des Teil B angedeutet - *andere Gründe* hierfür ausschlaggebend sind.

Diese *anderen Gründe* betreffen im wesentlichen die *soziale Dimension* des Experimentierens. Experimente, wie auch immer sie im einzelnen ausgestaltet sein mögen, sind unverzichtbare Voraussetzung für eine von Lehrenden, insbesondere jedoch von Lernenden als akzeptabel empfundene unterrichtliche Atmosphäre. Damit ist jedoch in keinem Fall gesagt, daß ein nachhaltiges Lernen durch beliebige Experimente begünstigt werden könnte. Vielmehr - und zumindest dies wird sowohl aus den Aussagen der Schülerinnen und Schüler (vgl. Kapitel 10), einiger Lehrender (vgl. Kapitel 9) und den einschlägigen lernpsychologischen Befunden (vgl. Kapitel 6) deutlich - müssen diese Experimente realitätsbezogen sein.

Darüberhinaus ist zu vermuten, daß von den Lernenden selbst geplante Experimente, worunter auch die wohlüberlegte Nutzung fertig angebotener Experimentieranleitungen zu verstehen ist, entscheidend sowohl zu einem Verständnis wissenschaftlich begründeter Aussagen als auch zu einer rational begründeten Realitätsaneignung beitragen. Sicher erscheint aufgrund der bisherigen Befunde demgegenüber, daß die aus dem Liebig'schen Ausbildungskonzept für Chemiker eher naturwüchsig entwickelte Experimentalpraxis an allgemeinbildenden Schulen (vgl. Abschnitt 4.2) für die Mehrzahl der Lernenden hierzu nicht beiträgt (vgl. Kapitel 5 und 6).

Die Frage, inwiefern ein weitgehend selbständiger Umgang der Lernenden mit realitätsbezogenen Experimenten auch tatsächlich zu anderen Strukturen (und Ergebnissen) von Chemieunterricht führen kann, ist Gegenstand des dritten Teils dieser Arbeit.

Übersicht über die bisherigen Ergebnisse

| Standardlegitimationsmuster der Didaktik | Befunde zum Experiment | Befragung der Lehrenden | Befragung der Lernenden a) jüngere Lernende b) ältere Lernende |
|--|--|---|--|
| Experiment ist das charakteristische Moment im Erkenntnisprozeß der Wissenschaft | Experiment ist nur ein Teil im Erkenntnisprozeß und zeigt, ob eine Theorie arbeitet | | a) Experiment beweist theoretische Sachverhalte b) Ergebnisse der Schulexperimente sind beliebig. |
| Experiment ist Anschauungsobjekt, wie z.B. Bild | Experiment ist Mittel zur Erläuterung theoretischer Sachverhalte und zur Herstellung einer gemeinsamen Erfahrungsgrundlage | Experiment ist unverzichtbarer Teil des Chemieunterrichts | a) Nur selbst Gesehenes kann begriffen werden b) Belanglos, da nur zu lernen ist, was bereits vorher feststeht. |
| Experiment dient der Beobachtung der Wirklichkeit | Beobachtung nicht unmittelbar | Realitätsbezogene Experimente können in der Wirklichkeit messen oder diese simulieren | Realitätsbezogene Experimente erzeugen Betroffenheit b) Entstehungsprozeß ihrer Ergebnisse macht Grenzen wissenschaftlicher Aussagen deutlich |
| Experiment dient Einübung theoretischer Sachverhalte | Besondere Eignung nicht nachweisbar | Lernende erinnern sich primär an experimentell präsentierte Inhalte | Erinnerung ist immer mit Experimenten verknüpft |
| Eigenes Experimentieren ermöglicht besseren Lernerfolg als Demonstrationsexperimente | Nicht nachweisbar, da Schülerexperimente Demonstrationsexperimenten nachgebildet sind | Es werden keinen Unterschiede festgestellt | b) Eigene, insbesondere selbst entwickelte Versuche ermöglichen ein nachhaltiges Lernen |
| Experimente fördern die Ausbildung von Sekundärtugenden | Nicht nachweisbar Experimente ermöglichen ein legales Unterlaufen unterrichtlicher Ordnungsstrukturen | Experimente sind notwendig für den Unterricht und Forderung der Lernenden | Experimente verbessern Kontaktmöglichkeit untereinander und Verhältnis zu den Lehrenden. Sie machen Unterricht akzeptabel. |

TEIL C:**EXPERIMENTELLE ZUGÄNGE ZUR REALITÄT:****LUFTVERSCHMUTZUNG ALS FALLSTUDIE FÜR DEN
CHEMIEUNTERRICHT**

Einzelergebnisse des ersten und zweiten Teils führen zu der Vermutung, daß ein selbständiger Umgang der Lernenden mit realitätsbezogenen Experimenten (und Inhalten) dazu beitragen kann, Möglichkeiten für ein Lernen zu schaffen, daß zu einem Verständnis wissenschaftlich begründeter Aussagen und rationaler Realitätsaneignung führt. Hier setzt die in diesem Teil der Arbeit beschriebene Fallstudie mit einer 10. Gymnasialklasse einer additiven Gesamtschule und ihrem Lehrer an. Gleichzeitig können die im vorhergehenden Kapitel formulierten Ergebnisse einer Überprüfung unterzogen werden.

12. WEITERENTWICKLUNG DER FRAGESTELLUNG

Die in den beiden vorhergehenden Teilen dieser Untersuchung geschilderten Probleme des naturwissenschaftlichen Unterrichts, wie z.B. seine Unbeliebtheit, seine Unanschaulichkeit, der kaum belegbare inhaltliche Lernerfolg (vgl. insbesondere die Abschnitte 5, 6, 10.3.1), werden durch seine gegenwärtige Praxis eher verstärkt, zumindest jedoch fortgeschrieben. Dieser Zustand, so meine These in Anlehnung an G. Freise, kann nur durchbrochen werden, wenn die ausgewählten Unterrichtsinhalte die "Dimension des Daseins in seiner Verflochtenheit" widerspiegeln, d.h. sie müssen sich auf die Bereiche *Natur, tägliches Leben, Arbeit* beziehen; sie müssen relevant im Hinblick auf Gegenwart und Zukunft sein *und* diese Relevanz muß für die Schülerinnen und Schüler erfahrbar sein *und* sich in den konkreten Unterrichtsinhalten widerspiegeln (vgl. Abschnitte 6.4-6.6, 10.3.6).

Bei den didaktischen Schlußfolgerungen darf nicht vergessen werden, daß die Erfahrungen mit Naturwissenschaft und Technik häufig nur vermittelte Erfahrungen sind (vgl. Abschnitt 6.1). Für den Unterrichtsgang heißt das:

"die Schüler müssen lernen, wie man einen solchen (gesellschaftsrelevanten, R.G.) Gegenstand aufschließt, wie man ihn auf seine Ursachen, seinen Ursprung, seine Entstehung, seine ihn konstituierenden Elemente hin analysiert, das heißt *ihn genetisch* untersucht; und sie, die Schüler, müssen lernen, die mit dem Problemzusammenhang verbundenen Fakten nach ... Sinnstiftenden Gesichtspunkten, die *ihm* - dem Gegenstand - adäquat sind, zu ordnen, zusammenzufassen und die unterschiedlichen Aspekte und Faktoren miteinander zu vermitteln" [Freise 1981, S. 45].

Die gegenwärtigen Experimentalmethoden müßten in dem Sinne überwunden werden, daß, wie in Kapitel 6 dargelegt, naturwissenschaftliche und Alltagstheorie zunächst nebeneinander existieren können. Dann wären im Unterricht auch Experimente möglich, deren Ergebnis wirklich offen ist (vgl. Abschnitt 10.3.1), d.h. auch den Lehrenden unbekannt ist [vgl. auch Rieß 1985, S. 171].

Gerade in die Konstruktion von Experimenten und deren je sinnvollen Einsatz könnten die Lernenden ihr Alltagswissen integrieren. Gleichzeitig erwächst damit die Möglichkeit, daß die Lernenden an der Organisation ihrer Lehr-/Lernprozesse beteiligt werden. Denn (ausgehend von der Tatsache, daß Schule für die Schüler selbst eine konkrete Lebenssituation ist) um irgendeine Art *Betroffenheit* zu erreichen, müssen die Lernenden eine Beziehung zwischen dem je ausgewählten Unterrichtsgegenstand, sich selbst und ihrer konkreten Lebens- und Lernsituation herstellen können.

Die aktive Beteiligung der Lernenden bei der experimentellen Erschließung der Wirklichkeit sowie das Ernstnehmen ihres Alltagswissens, seine Verwendung im Unterricht so lange es *arbeitet* und seine für die Lernenden begründete Überwindung, wenn es zur Erklärung bzw. Erschließung eines Sachverhalts nicht mehr trägt, kann bei den Lernenden

"das Vertrauen in das eigene Denkvermögen ... stärken, ihr Selbstbewußtsein und ihren Anspruch auf Selbstbestimmung ... stärken und die Naturwissenschaften von der Ansicht befreien, sie taue nur als Zulieferer kapitalistisch verwertbarer Technik. Naturwissenschaft könnte im Verständnis der Schüler wieder das werden, was sie im Prinzip und der Sache nach ist: Möglichkeit des Fortschritts im Bewußtsein der Freiheit, emanzipatorische Kraft der gesellschaftlichen Entwicklung, realisierte Vernunft und nicht ein Fortschritt als ein Fortschreiten von der Menschheit weg" [Pukies 1979, S. 130].

Um den Lernenden die so für naturwissenschaftliche Inhalte skizzierte Ausbildung der *Fähigkeit zur Selbst- und Mitbestimmung* zu ermöglichen, ist auf der experimentell-chemischen Ebene der für die Lernenden begründete - d.h. für sie erkennbar mitbestimmte *und* mitentwickelte *und* selbst durchgeführte - Einsatz realitätsbezogener Experimente notwendig.

Inwieweit die mehrdimensional hergeleitete Annahme, daß der selbständige Umgang der Lernenden mit realitätsbezogenen Experimenten und Inhalten tatsächlich helfen kann, Möglichkeiten für Lernen zu eröffnen und so unter Umständen dazu beitragen kann, die traditionellen Probleme des Chemieunterrichts zu überwinden, läßt sich nur durch eine Untersuchung im schulischen Praxisfeld feststellen. Bedenkt man, daß es allen am Unterrichtsprozeß Beteiligten nicht ad hoc möglich ist, sich von traditionellen Lehr-/Lernmustern zu lösen, so ist es für die Ermittlung von günstigen Möglichkeiten für Lernen hilfreich und notwendig zu wissen:

- von welcher Art die Experimente sind, die Lehrende bzw. Lernende vorschlagen
- auf welche Art und Weise Experiment und Theorie, sowohl die wissenschaftliche wie die alltägliche, miteinander verwoben sind
- welche Aspekte Lehrenden und Lernenden bei der Bearbeitung realitätsbezogener Probleme besonders wichtig sind
- unter welchen Bedingungen die Lösung eines Problems als befriedigend angesehen wird.

Gleichzeitig bietet eine derartige Untersuchung die Möglichkeit, die in Kapitel 11 formulierten bisherigen Ergebnisse zum Umgang von Lernenden und Lehrenden mit Experimenten im Chemieunterricht zu überprüfen und so die in Abschnitt 8.3 geforderte Methodenvielfalt zu realisieren. Zur Eruierung der oben genannten Aspekte in einem konkreten Fall habe ich meine Untersuchung als Fallstudie angelegt. Neben der Eingebundenheit dieses Untersuchungsteils in das in dieser Arbeit verwandte Methodenkonzzept sprechen hierfür die bereits in Kapitel 8 ausführlich dargelegten Gründe. Unter den genannten Voraussetzungen galt es, ein Untersuchungsverfahren auszuwählen, das genügend Material für eine spätere Auswertung liefert.

12.1 DIE ERHEBUNGSMETHODE TEILNEHMENDE BEOBACHTUNG

Um die jeweilige Unterrichtssituation möglichst genau zu erfassen, habe ich mich für die *Teilnehmende Beobachtung* entschieden. J. Friedrichs und H. Lüdtke führen vier Vorzüge der teilnehmenden Beobachtung an:

- Verwickelte Prozesse, die sonst nur durch wiederholte Interviews und Inhaltsanalyse eruierbar wären, sind direkt zugänglich
- Vermeidung der Diskrepanz zwischen Real- und Verbalverhalten
- Probleme, die einem eventuell zu Befragenden nicht bewußt sind und daher auch nicht artikuliert werden können, werden häufig durch selbstverständliches Handeln gelöst und sind damit beobachtbar
- Unabhängigkeit von den verbalen Fähigkeiten der Beobachteten [vgl. Friedrichs u.a. 1973, S. 20 f].

Die Unterrichtsbeobachtung erfolgte allerdings nicht nach einem standardisierten System, wie es z.B. die oben angeführten Autoren vorschlagen. Hierfür gibt es mehrere praktische wie auch inhaltliche Gründe. Eingeführte Methoden, wie z.B. die zehnmünütige Intensivbeobachtung mittels Beobachtungsbogen, scheiden aus, da nicht vorhersehbar ist, wann gerade eine besonders interessante und damit beobachtenswerte Unterrichtsphase beginnt, ein entsprechendes Mitprotokollieren der gesamten Stunde(n) überfordert jedoch den einzelnen Beobachter. Bei quantifizierenden Methoden besteht darüberhinaus die Gefahr, daß sie auf einer eher formal-organisatorischen Ebene (Häufigkeit der Meldung einzelner Schüler) stehen bleiben und den eigentlichen Unterrichtsinhalten bzw. Tätigkeiten der Beobachteten nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird. Umfassendere Dokumentationsverfahren, wie z.B. Videoaufzeichnungen, die innerhalb eines gewissen Rahmens eine nachträgliche intensivere bzw. detailliertere Analyse und damit feinere Auswertung des Unterrichts ermöglichen, überschritten zum einen die mir zur Verfügung stehenden Mittel sachlicher wie finanzieller Art, zum anderen ist damit ein stärkerer Eingriff in die normale Unterrichtssituation verbunden als bei Tonbandaufzeichnungen [vgl. Schecker 1985, S. 103].

Für die Anfertigung von Dokumenten auf der Grundlage von Wortprotokollen *und eigener Teilnahme* am Unterricht sprechen neben den bereits genannten Gründen auch die folgenden:

- Erfahrungen mit der Dokumentation von Unterrichtsprojekten [vgl. George u.a. 1981, Stäudel u.a. 1981] zeigen, daß die Gewöhnung an Aufzeichnungen mit einem Kassettenrecorder rascher erfolgt als an solche mit der Videokamera.
- Die Kenntnis der Unterrichtssituation und der beobachteten Lernenden und des Lehrers erhöht den Informationsgehalt der Tonbänder. Dies kann insbesondere durch Kommentare geschehen, die sich z.B. auf das Verhalten beziehen.
- Kontinuierliche Wortprotokolle ermöglichen den Nachvollzug des Unterrichtsgesprächs und erlauben so festzustellen, welche Schwerpunkte Schülerinnen, Schüler und Lehrende bei der Formulierung von Versuchen setzen.
- Die nachfolgende Analyse der Dokumente gestattet es, insbesondere noch solche Vorgänge aufzudecken, die während der Beobachtung oder auch unmittelbar danach den während des Unterrichts Anwesenden nicht unbedingt auffallen (z.B. Gegenseitiges aneinander-Vorbeireden von Lernenden und Lehrer, latente Konfliktsituationen).

Die mit der Fallstudienmethode der teilnehmenden Beobachtung und der Wortprotokolle (nach Tonband-Mitschnitt) gewinnbaren Ergebnisse sind jedoch nicht umfassend, auch ist die Durchführung nicht ganz unproblematisch:

- Das Verfahren erfordert einen hohen Zeitaufwand.
- Aufgrund schulischer Betriebsabläufe ist die Dauer der Untersuchung einerseits begrenzt, andererseits ist sie aber auch nicht von vornherein bestimmbar.
- Die Aufzeichnungsqualität wird durch die Art der Schulräume und die Sitzanordnung der Lernenden häufig beeinträchtigt.
- Es wird nur das *offizielle* Unterrichtsgespräch erfaßt, an dem sich meist nur sechs bis acht Lernende regelmäßig beteiligen. Nur diese sind relativ sicher immer wieder identifizierbar. Wortbeiträge, die informellen Gesprächen zwischen Lernenden entstammen und die u.U. für den Lernprozeß wesentlich sind, können nicht erfaßt werden.
- Gespräche in Gruppenarbeitsphasen, insbesondere beim eigenen Experimentieren, werden mit dem Tonband nicht erfaßt bzw. sind nur in Form von Gedächtnisprotokollen dokumentierbar.
- Die während der Stunde gemachten Notizen unterliegen ebenso wie Transkriptionskommentare z.T. der subjektiven Interpretation des Beobachters.

Um einige der angeführten Nachteile - zumindest teilweise - aufzuheben, wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt.

12.1.1 ERGÄNZENDE UNTERSUCHUNGEN

Die Unterrichtsbeobachtung wurde ergänzt durch ein Gruppeninterview, eine schriftliche Lernkontrolle und Fotos vor allem von Versuchen und Tafelbildern. Das Interview wurde nach dem im Abschnitt 10.2 beschriebenen narrativen Verfahren durchgeführt; um einen Vergleich mit den zuvor befragten Schülerinnen und Schülern zu ermöglichen, wurde dieselbe Leitfrage gestellt und das Interview auf dieselben Aussagebereiche hin analysiert. Aufgrund tendenzieller Übereinstimmungen mit den zuvor befragten Lernenden erfolgte die Darstellung dieses Interviews bereits im Abschnitt 10.3 zusammen mit denjenigen der anderen Lernenden.

Die schriftliche Lernkontrolle beinhaltet eine Reproduktions- und eine Transferfrage. Im einen Fall soll eines der im Unterricht durchgeführten Experimente beschrieben und der "Sinn" dieses Experiments bzw. die mit seiner Durchführung verbundenen "Erwartungen" angegeben werden. Im anderen Fall soll ein Vorschlag für die experimentelle Bestimmung des "Schadstoffgehalts von Fichtennadeln" unterbreitet werden. Die Fragen wurden den Schülerinnen und Schülern unmittelbar nach dem Interview vorgelegt. Um dabei möglichst ehrliche und umfassende Antworten zu erhalten, war lediglich Alter und Geschlecht anzugeben, und den Lernenden wurde mitgeteilt, daß ich selbst den Test nachsehen würde (der Lehrer würde nur das Ergebnis erhalten), um so eine Identifikation qua Handschrift zu verhindern; auch war die Bearbeitung keiner zeitlichen Beschränkung unterworfen.

12.1.2 DIE UNTERRICHTSEINHEIT¹⁾ WALDSTERBEN - SÄUREN UND BASEN

Für die durchzuführende Fallstudie wurde wiederum der Unterrichtsgegenstand *Luftschadstoffe* ausgewählt. Damit konnte zwei Tatsachen Rechnung getragen werden, zum einen, daß, wie bereits in Kapitel 8 ausgeführt, die konkreten Inhalte und Gegenstände des Unterrichts nicht beliebig sein können, zum anderen dem Wunsch, die erwarteten Ergebnisse mit denen der beiden ersten Teiluntersuchungen vergleichen zu können. Um die Verallgemeinerbarkeit und damit einhergehend Übertragbarkeit der bei der Beobachtung gewonnenen Ergebnisse auf den normalen Unterricht zu ermöglichen, sollte so weit wie irgend möglich vermieden werden, eine besondere Versuchssituation zu schaffen, d.h. der gewohnte Unterrichtsstil des Chemielehrers sollte erhalten bleiben. Von früheren gemeinsamen Planungen zum Chemieunterricht und aus Unterrichtsbesuchen wußte ich, daß der betreffende Lehrer häufig auf die Ideen und Interessen der Lernenden eingeht und - so weit es die Abstimmung mit den Fachkolleginnen und -kollegen zuläßt - immer wieder Phasen in den Unterricht einbaut, in denen die Schülerinnen und Schüler selbst tätig werden können.

Um die Beibehaltung der persönlichen Unterrichtscharakteristik zu gewährleisten und damit dem normalen Unterricht so nah wie möglich zu kommen, wurden Planung und Durchführung der Unterrichtseinheit der alleinigen Kompetenz des Lehrers überlassen. Unter dieser Voraussetzung wurde gemeinsam mit dem Lehrer eine Sammlung prinzipiell schulgeeigneter Versuchsanleitungen angelegt: zum Nachweis, zur Bestimmung der Konzentration, zu Wirkungen von Luftschadstoffen sowie von Modellversuchen zu deren Freisetzung und Verbreitung. Hierdurch sollte dem Lehrer eine Übersicht ermöglicht werden, aus der heraus er in der je gegebenen Unterrichtssituation auf Äußerungen und Vorschläge der Schülerinnen und Schüler flexibel reagieren könnte. Aus der gleichen Überlegung heraus wurde ein Ordner angelegt mit im Laufe der Jahre gesammelten einschlägigen Veröffentlichungen zu den Auswirkungen der

¹ "Einheit" ist hier im Sinne einer thematischen Abgeschlossenheit zu verstehen. Dies entspricht im übrigen der im schulischen Alltag umfassenderen Verwendung des Begriffs Unterrichtseinheit, auch wenn er im ursprünglichen Sinn mit einem starken Planungsmoment verbunden ist.

Luftschadstoffe, insbesondere zu den neuartigen Waldschäden. Gleichzeitig bestand so ein Fundus, auf den die Lernenden gegebenenfalls zurückgreifen konnten, falls die eigene Materialbeschaffung als nicht ergiebig genug erscheinen sollte.

Bezüglich des Untersuchungsziels war der Lehrer über die wesentlichen Ergebnisse der vorhergehenden beiden Untersuchungsteile (A und B) informiert²⁾. Für die Unterrichtsplanung und Durchführung wurden folgende Absprachen getroffen:

- Die UE sollte einen hohen experimentellen Anteil haben.
- Auswahl, u.U. Entwicklung und Einsatz von Experimenten sollte von den Lernenden so weit wie möglich selbständig geplant, entschieden und durchgeführt werden.
- In jedem Fall sollte darauf geachtet werden, daß Experimente erst dann zum Einsatz kommen, wenn die Lernenden die Gründe für ihren Einsatz erfaßt hatten. Um dies zu überprüfen, mußten sie zumindest formulieren können, was sie von einem bestimmten Versuch erwarteten.
- Die Problemeingrenzung sollte in der Art erfolgen, daß eine Herauslösung aus der umgebenden Wirklichkeit erfolgen konnte (Waldspaziergang, Zeitungsartikel).

12.2 DIE BEOBACHTETEN

Bei der Auswahl der "Testklasse" spielten - wie schon bei den Befragungen des Teils B - äußere Umstände eine entscheidende Rolle (vgl. Abschnitt 8.3). Der Kontakt kam letztlich über einen Lehrer zustande, der mir seit längerem beruflich wie privat bekannt war. Sein reges Interesse an einer Fortentwicklung des naturwissenschaftlichen Unterrichts führte dazu, daß ich den Chemieunterricht in der genannten Klasse beobachten konnte und daß er bereit war, die oben genannten Kriterien in seiner Unterrichtsplanung zu berücksichtigen. Er erteilte den Chemieunterricht in der ausgewählten Klasse seit seinem Beginn im 8. Schuljahr mit zwei Stunden pro Woche; weitere Fächer unterrichtete er in dieser Klasse nicht.

Die Beobachtungsklasse gehörte dem Jahrgang 10 des Gymnasialzweiges einer additiven Gesamtschule in einer mittelgroßen hessischen Stadt mit ländlicher Umgebung an. Die Klasse bestand aus 21 Lernenden, 10 Schülerinnen und 11 Schülern. Das Durchschnittsalter betrug knapp 16 Jahre.

²⁾ Ihm lagen die Entwürfe für die diesbezüglichen Veröffentlichungen in *chimica didactica* vor [vgl. R. George 1988 I und II].

12.3 DURCHFÜHRUNG DER BEOBACHTUNG UND ERZEUGUNG DER DOKUMENTE

Der Chemielehrer teilte den Schülerinnen und Schülern zunächst mit, daß ich in den nächsten Wochen als Beobachter am Unterricht teilnahme. Ich würde über den Chemieunterricht arbeiten, insbesondere die Vermittlungsstrukturen chemischen Wissens untersuchen. Für sie entstünden im Prinzip keine zusätzlichen Belastungen, außer der, daß ich sie eventuell nach Abschluß der gerade beginnenden Unterrichtseinheit befragen würde. Auf einige Schülerfragen hin wurden die Ausführungen von mir ergänzt, wobei ich den Aspekt *Umgang mit Experimenten* bzw. *das Experimentieren* bewußt ausklammerte. Ich informierte die Schülerinnen und Schüler jedoch darüber, daß meine Angaben, insbesondere hinsichtlich des eigentlichen Untersuchungsziels, unvollständig seien bzw. daß ich dies momentan nicht näher ausführen würde, um unerwünschte Einflüsse auf das Untersuchungsergebnis zu vermeiden. Die Erklärung, ihnen ca. ¼ Jahr nach Abschluß der Unterrichtseinheit die vorläufigen Ergebnisse der Beobachtung mitzuteilen, wurde von den Lernenden zumindest in dem Sinn akzeptiert, daß sie keine weiteren Fragen bezüglich des Untersuchungsziels stellten. Zusätzlich wurden Eltern und Lernende schriftlich über mein Vorhaben informiert mit der Zusicherung, alle Daten derart zu anonymisieren, daß später kein Rückschluß auf bestimmte Schülerinnen und Schüler möglich sei.

Während der folgenden Wochen³⁾ nahm ich mit Ausnahme von zwei Stunden regelmäßig am Chemieunterricht dieser Klasse teil. Ich beschränkte mich dabei ganz auf die Dokumentation der Stunden. Lediglich während der Versuchsphasen half ich gegebenenfalls Lernenden beim Aufbau der Apparaturen; in einem Fall unterstützte ich eine Gruppe bei der Wiederholung der Grundlagen der Prozentrechnung.

Die Unterrichtsstunden wurden mit einem Kassettenrecorder aufgezeichnet und anschließend transkribiert. Die Transkription erfolgte nach dem zu Beginn des Abschnitts 8.5 beschriebenen Verfahren. In die Erzeugung der Dokumente flossen darüberhinaus die folgenden Quellen mit ein: Notizen, die während der Unterrichtsstunden

³ Die Unterrichtsbeobachtung dauerte von November 1987 bis Februar 1988. Sie umfaßte einen Zeitraum von 18 Stunden, an die sich 14 Tage nach Abschluß der Unterrichtseinheit (19./20. Stunde) zunächst ein Gruppeninterview und dann eine anonyme schriftliche Lernkontrolle anschlossen.

angefertigt wurden, Aufzeichnungen aus dem Gedächtnis, Fotos und Chemiehefte von Lernenden. Zusätzlich protokolliert wurden insbesondere Äußerungen von dem Lehrer, Schülerinnen und Schülern, die naturgemäß nicht durch eine Tonbandaufzeichnung erfaßt werden können, wie besonderes Verhalten Einzelner, Verhalten beim Experimentieren, Tafelbild, etc. Soweit dies nicht während der jeweiligen Stunde erfolgen konnte, habe ich dies unmittelbar danach getan bzw. die schon vorhandenen Aufzeichnungen ergänzt.

12.4 AUFBEREITUNG DER DOKUMENTE

Das vorliegende umfangreiche Material ermöglicht Analysen unter vielfältigen Aspekten, z.B. welches Verständnis chemischer Vorgänge in den Formulierungen der Lernenden zum Ausdruck kommt, welche Lernschwierigkeiten auftreten usw. (siehe Abschnitt 14.2). Der Rahmen dieser Arbeit erlaubt es aus naheliegenden Gründen jedoch nur, auf den Umgang von Lehrer, Schülerinnen und Schülern mit Experimenten einzugehen. Dazu werden die Dokumente zunächst derart analysiert, daß die Struktur der Unterrichtseinheit aufgezeigt werden kann. Darüberhinaus wird untersucht, welche Vorstellungen im konkreten Fall zu experimentellen Zugängen zur Realität entwickelt wurden.

Um die Struktur des Lehr-/Lernprozesses, insbesondere die Art von Experimenten und ihre Einbindung in das Unterrichtsgeschehen, transparent zu machen, wurden die Dokumente von "hinten nach vorne" analysiert. Ausgegangen wurde dabei von den Ergebnissen der Unterrichtseinheit, so wie sie die Schülerinnen und Schüler in den beiden letzten (17./18.) Stunden präsentierten. Das Auffinden des Weges ihrer - zumindest äußerlichen - "Entstehungsgeschichte" ließ den inhaltlichen Verlauf des Unterrichts sichtbar werden.

Das Interview ist bereits in die Auswertung der zuvor durchgeführten Befragungen von Lernenden einbezogen worden. Über die dortigen Fragestellungen hinaus wurde es auf Aussagen zum eigenständigen Umgang mit realitätsbezogenen Experimenten hin analysiert.

Die schriftliche Klassenarbeit wurde daraufhin analysiert, inwieweit die Versuchsbeschreibungen verständlich (vollständig) waren, inwieweit sie mit den im Unterricht durchgeführten Experimenten übereinstimmen, ob mit ihnen verbundene, sinnvolle Erwartungen angegeben wurden (Reproduktionsaufgabe) und inwieweit die Versuchsvorschläge plausibel sind (Transferaufgabe). Weiter wurde darauf geachtet, welchen Charakter die jeweiligen Formulierungen haben, und ob sich Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern zeigen.

13. DIE BEOBACHTUNG EINER 10. GYMNASIALKLASSE

Im folgenden werden der beobachtete Unterrichtsverlauf, die durchgeführten Versuche, Auszüge aus dem Gruppeninterview, Ergebnisse der schriftlichen Lernkontrolle sowie eine Übersicht über die Chemiehefte wiedergegeben.

13.1 ZUM UNTERRICHTSINHALT

Der Verlauf der Unterrichtseinheit und die dabei durchgeführten Versuche sind auf den folgenden Seiten in Tabellenform dargestellt. Die Aufteilung der jeweiligen Stunden in Spalten und Kästen zeigt sowohl die thematische Abfolge der Unterrichtsinhalte wie auch die jeweilige Organisationsform auf.

1./2. Stunde

Waldsterben*Waldspaziergang*

Erläuterung von Waldschäden.

Fichtenzweige werden für eventuelle weitere Untersuchungen mitgebracht.

Lernende sind zum Teil sehr betroffen, als sie die Schäden an den Bäumen des den meisten von ihnen an sich bekannten Waldstücks "richtig" wahrnehmen.

Hausaufgabe (HA):

Material zum Waldsterben besorgen und sichten

3./4. Stunde

Material zum Waldsterben

a) Art der Materialien:

Waldschadensbericht 87, "Vor uns sterben die Wälder" (Buch), "Kiefern zuerst betroffen" (Zeitungsartikel), "Knauers Jugendlexikon", versch. Spiegelartikel, Veröffentlichungen des Presse- und Informationsamtes der Bundesregierung, Broschüre zum Thema Waldsterben aus einer Projektwoche, "Rettet den Wald" (Buch), "Die Rundschau" (wiss. Zeitschrift), Lexika

b) genannte Stichworte:

Schwefeldioxid, Ozon, Kohlendioxid, "Ruß und Schwefeldioxid kommt aus dem Schornstein und macht den Sauren Regen", hohe Schornsteine, Fernschädigungen

Materialstrukturierung

In Kleingruppen ordnen die Lernenden das vorhandene Material nach verschiedenen von ihnen gewählten Gesichtspunkten.

Im anschließenden Unterrichtsgespräch entstehen - unter starkem Lehrereinfluß - nebenstehende 5 Themenbereiche:

3./4. Stunde

Zukunftsperspektiven:

Aussicht auf Besserung?

Gegenmaßnahmen:

Katalysator - bleifreies Benzin - Filter in Industrieanlagen - Gesetze/Strafen - Koordination der Gegenmaßnahmen - Wann ist der Wald weg? - Kann man die Schadstoffe abschaffen, ohne daß die Industriegesellschaft zusammenbricht?

Verursacher:

Borkenkäfer? - Luftverschmutzer Mensch: Zivilisation, Industrie, Verkehr, Haushalt, Müllverbrennung

Schadensbilder:

Reaktionen der Bäume - Schädigung der Samen (Vererbung der Schäden möglich?), Nadelbäume/ Laubbäume - Symptome/ Mykothizie - Statistiken: In welchen Gebieten ist der Wald am stärksten geschädigt? - Wann hat es angefangen?

Ursachen:

Schadstoffe: Zigarettenrauch, Dieselabgase, Schwermetalle, radioaktive Strahlung, Schwefeldioxid, Treibgase, Ozon, Stickoxide, Peroxyacetylnitrate, Polycyclische Kohlenwasserstoffe, Kohlendioxid, Photooxidation, Bildung von Säuren

andere Betroffene:

Tiere - Mensch - Häuser, historische Bauten - Gewässer

Diesen 5 Themenbereichen ordnen sich 5 Gruppen zu, die in dieser Zusammensetzung bis zum Ende der Unterrichtseinheit bestehen bleiben. Es entstehen: 2 fünfer-Gruppen (weiblich) sowie je eine fünfer-, vierer- und zweier- Gruppe (männlich). In der verbleibenden Zeit bzw. als Hausaufgabe (HA) soll das Material aufgearbeitet werden unter dem "Blickwinkel" **Chemieunterricht**, und es sollen Vorschläge für *Versuche* unterbreitet werden.

5./6. Stunde

| |
|--|
| Zukunftsperspektive Funktionsweise des Katalysators ----- 5 Schüler Verursacher - Abgasuntersuchung einer Mofa - Schadstoffausbreitung ----- 5 Schülerinnen Wirkungen/Schadensbilder - Untersuchung von Pflanzen wachstum in Abhängigkeit des Säuregehalts des Bodens - Messen des Säuregehalts - Schadensstatistiken ----- 2 Schüler Ursachen - Bildung von Säuren - Gehalt der Pflanzen an Schadstoffen - Gehalt des Regenwassers an Schadstoffen ----- 4 Schüler andere Betroffene - Schäden an Gebäuden - Gewässeruntersuchung - Schädigung des Menschen (Statistiken) ----- 5 Schülerinnen |
|--|

Alle Gruppen schlagen Themen für *Versuche* vor. Konkrete Vorschläge zu Versuchsauswahl und -durchführung erfolgen dagegen nicht. Meist wird noch weiteres Material zu den Themengruppen genannt.

5./6. Stunde

| |
|---|
| Im anschließenden Unterrichtsgespräch entstehen folgende, stark vom Lehrer beeinflusste Fragen: Säuren Was sind Säuren? - Wie entstehen Säuren? - Reaktionen an der Luft? - An welchen Reaktionen erkennt man Säuren? - Was ist ein Säuregehalt (Säuregrad)? pH-Wert? - Wie bestimmt man den Säuregehalt? - Was ist ein Schadstoff? ----- In den bekannten Gruppen sollen die Lernenden mittels der Beantwortung obiger Fragen die von ihnen zuvor für eine nähere Auseinandersetzung in Betracht gezogenen Problembereiche bearbeiten. Konkret sollen sie <i>Versuche vorschlagen, die zur Beantwortung der in den 5 Themenbereichen genannten Fragen beitragen</i> . Zu jedem Versuchsvorschlag sollen sie das von ihnen erwartete Versuchsergebnis benennen und den Zusammenhang mit dem Thema "Waldsterben" erläutern. Hierfür steht der Rest der Stunde zur Verfügung bzw. ist als HA durchzuführen. |
|---|

7./8. Stunde

Anmerkung:
 Von ca. 20 Minuten der Hausaufgabenpräsentation der einzelnen Gruppen sind aufgrund eines technischen Defekts nur schriftliche Notizen vorhanden, so daß hier nur eine unvollständige Darstellung erfolgen kann.

| |
|---|
| ? Gehalt des Regenwassers an Schadstoffen <i>Versuchsvorschlag:</i> pH-Wert-Messung und Reaktionen mit verschiedenen Indikatoren durchführen ...? (Tonband kaputt) Wirkung von Saurem Regen auf Gewässer bzw. Gebäude <i>Versuchsvorschlag:</i> Auf einen Baustein "etwas" draufgießen, was diesen zerfrißt. ----- Diese Gruppe fordert den Lehrer auf, ihnen zu sagen, was man sinnvollerweise für eine Flüssigkeit für das "Zerfressen" einsetzt. |
|---|

Auffällig ist, daß alle Lernenden nur eine bruchstückhafte bis gar keine Erinnerung an frühere Inhalte erkennen lassen. In der Folge wechseln sich kurze Wiederholungen mit dem Aufdecken neuer Kenntnislücken ab. Besonders erschreckend wirkt auf den Lehrer, daß offenbar keine Erinnerung an die ca. 1½ Std. zuvor erfolgte Darstellung von Schwefeldioxid bzw. schwefeliger Säure vorhanden ist. Deshalb wird der entsprechende Versuch wiederholt (nächste Spalte).

Insgesamt wurde die HA recht mangelhaft erledigt. Allerdings läßt sich nicht entscheiden, ob hierfür die ungewohnte Aufgabenstellung, Faulheit/Unlust oder mangelhafte Kenntnisse früherer Inhalte verantwortlich sind.

7./8. Stunde

"1. Modellversuch"

Lehrer verbrennt Schwefel, das entstandene Schwefeldioxid wird mit Wasser zu schwefliger Säure umgesetzt und diese mit Lackmus versetzt.

Die diesbezüglichen Kenntnisse der Lernenden sind sehr gering. Dies drückt sich u.a. darin aus, daß es sehr lange dauert, bis die jeweiligen Reaktionsgleichungen an der Tafel stehen. Insbesondere ist den meisten unklar, was Lackmus überhaupt anzeigt und was man unter Leitfähigkeit versteht.

In der Folge wird der Ionenbegriff und die Leitfähigkeit von Säuren und Salzlösungen wiederholt.

Modellversuch / Realität

Schwefel bzw. Schwefeldioxid werden als Modellstoffe Benzin, Öl, Kohle, Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlendioxid und Wasser als in der Realität üblicherweise verbrannte Stoffe bzw. als deren Verbrennungsprodukte gegenübergestellt. Im Verlauf dieses Unterrichtsgesprächs entsteht die HA: *Realisierungsmöglichkeiten für einen Versuch vorzuschlagen*, bei dem z.B. Kohle verbrannt und zumindest die Verbrennungsprodukte Schwefeldioxid, Kohlendioxid und Wasser nachgewiesen werden ("verfeinerter Modellversuch").

Der Lehrer dominiert das Unterrichtsgespräch und "steuert" die Lernenden insbesondere über die schulüblichen Fragemechanismen in die gewünschte Richtung.

Die HA wird von den meisten Lernenden entweder überhaupt nicht oder zumindest nur unvollständig erledigt. (siehe nächste Spalte)

9./10. Stunde

Mündliche Wiederholung der Darstellung von schwefliger Säure

Die Lernenden beteiligen sich kaum, auch entsprechen die vorgebrachten Versuchsbeschreibungen und -interpretationen nicht immer dem tatsächlichen Geschehen in der Woche zuvor.

Als eines der wenigen Ergebnisse der HA werden als Nachweise das Ausfrieren von Schwefeldioxid und die Trübung von Kalkwasser für Kohlendioxid vorgeschlagen. Im Unterrichtsgespräch werden dann noch die "Spanprobe" als Nachweis für Kohlenmonoxid (Schüler) und die Kondensation an einer kalten Oberfläche für Wasser (Lehrer) genannt.

Für die nachfolgende Gruppenarbeit bekommen die Lernenden Fotokopien aus Stäudel 1984: "M 9 Meßprinzip des Schwefeldioxidmeßgerätes 'Picoflux'" - "M 10 Schwefeldioxid und Umwelt - ausgewählte Versuche" - "M 12 Sulfat im Regenwasser - Zusammenhang mit der Schwefeldioxidbelastung der Luft" - "M 13 Ökologische Stöchiometrie" - "M 15 Saurer Regen - Säuregehalt, pH-Messung" sowie aus Stäubing 1986: "3. Trübungstest nach HÄRTEL" - "4. Nachweis des Chlorophyllabbaus in den Blättern durch Einwirkung saurer Gase".

Die in den Materialien angegebenen Versuche sollen von den Lernenden bezüglich ihres jeweiligen Gruppenthemas modifiziert werden. Neben dem Vorschlag für die konkrete Versuchsdurchführung sollen sie - mit den Worten des Lehrers - angeben: "Fragestellung zu diesem Versuch, Erwartungen über den Ausgang und welchen Beitrag leistet das zu unserem Thema Waldsterben?"

Die Lernenden präsentieren nach recht intensiver Arbeit in der bekannten Gruppeneinteilung die in der rechten Spalte stehenden Ergebnisse.

9./10. Stunde

Meßprinzipien Schadstofffassung

Analog des Meßprinzipversuchs zum "Picoflux" sollen Abgase von einem Kfz mit/ohne Katalysator durch eine Leitfähigkeitsmeßzelle geleitet werden.

Im Gegensatz zu den anderen Gruppen machen diese 5 Schüler zunächst keine Angaben zum Sinn ihres Versuches. *Schadstoffanteil Verbrennungsprodukten von Benzin oder Kohle* Abgase einer Mofa sollen untersucht werden. Zunächst wollen sie weitere Nachweisreaktionen zusammentragen. Die quantitative Zusammensetzung der Abgase soll nach Literaturangaben berechnet werden.

Die Schülerinnen präsentieren noch keine detaillierten Vorschläge für die Versuchsdurchführung. Eine Veränderung der Leitfähigkeit, des pH-Wertes wird von ihnen offenbar als Schwefeldioxidnachweis angesehen.

Verhalten von Kresse unter "Schwefel-einfluß"

Kressesamen sollen im Exikator Schwefeldioxid ausgesetzt werden.

Zu einer genauen Formulierung kommt es aufgrund des Stundenendes nicht. Zwei Schüler setzen jedoch den Versuch in einer Freistunde an. Als Vorbild dient die Anleitung aus M 10.

Wasserpflanzen sollen jeweils Leitungs-, Regenwasser und schwefliger Säure ausgesetzt werden; der pH-Wert soll jeweils mit Spezialindikatorstäbchen bestimmt werden.

Diese 4 Schüler verfügen über eine relativ klare Vorstellung. Hartnäckig begegnen sie der Skepsis des Lehrers gegenüber ihrem Vorschlag

Zerstörung von Gebäuden und Gewässern Kalkstein/Marmor sollen Schwefeldioxid ausgesetzt werden.

11. Stunde

pH-Wert-Messungen

Die pH-Werte von Leitungswasser, Regenwasser, mit schwefliger Säure angereichertem Wasser und verdünnter Natronlauge sollen bestimmt werden mittels: Lackmus-, Universal-, Spezialindikatorpapier, pH-Teststäbchen, pH-Elektrode, Leitfähigkeitsmessung. Die Gruppen füllen obige Lösungen aus nummerierten Flaschen ab. Erst in der Stundenzusammenfassung sollen die Lösungen benannt werden.

Nach Ansicht des Lehrers können die Lernenden so die unterschiedliche Güte der eingesetzten Verfahren erfahren. Während der gesamten Stunde tauschen Lernende Informationen bezüglich der heute zu schreibenden Mathearbeit aus; besonders intensiv geschieht dies während bzw. gegen Ende der Experimentierphase.

Während die auf dem Indikatorprinzip beruhenden Methoden für die Lernenden keine Probleme aufwerfen, ist dies bei der Leitfähigkeitsmessung der Fall. Dies zeigt sich u.a. an der Schwierigkeit, einen geeigneten Meßbereich des Vielfachmeßgerätes zu wählen.

Besonders deutlich wird in dieser Experimentierphase die Dominanz des "Selbst-tätig-Seins" vor den konkreten Beobachtungen bzw. Ergebnissen bei allen Lernenden. So notieren die einzelnen Gruppen verschiedene, sich zum Teil auch widersprechende Ergebnisse. Obwohl dies wahrgenommen wird, gehen die Lernenden den Ursachen hierfür nicht nach. Eine Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse im Unterrichtsgespräch findet aufgrund der fortgeschrittenen Zeit nicht mehr statt.

Das fehlende Unterrichtsgespräch dürfte auch die Ursache dafür sein, daß die ursprüngliche Fragestellung nach den verschiedenen pH-Werten nicht weiterverfolgt wird.

12./13. Stunde

(4 Wochen später, Ferien, Erkrankung)

Notenbesprechung und Chemieheftrückgabe**Leitfähigkeit, pH-Wert, Methoden der pH-Wertmessung**

Die umfangreiche Wiederholung wird veranlaßt durch gravierende Kenntnislücken an früher durchgenommenen und während der jetzigen Unterrichtseinheit wiederholtem Stoff. Z.B. Leitfähigkeit: es dauert sehr lange, bis nach etlichem hin und her Ionen als Ladungsträger in Lösungen benannt werden.

Versuchsfestlegung

Nach Schilderung der bisherigen Versuchsaktivitäten der einzelnen Gruppen werden die durchzuführenden Versuche der Gruppen endgültig festgelegt. Im letzten Teil der Stunde wird mit der Vorbereitung, zum Teil auch schon mit der Durchführung der Versuche begonnen.

Bemerkenswert ist dabei, daß die Lernenden auf die von ihnen durchzuführenden Versuche angesprochen sich, ohne sich um den Lehrer zu kümmern, in ihren Gruppen zusammensetzen und mit Überlegungen zur Versuchsdurchführung beginnen. Während der Lehrer einzelne Gruppen nach ihren Vorstellungen befragt, arbeiten die anderen an ihren Vorschlägen weiter.

Für diese Versuchsphase und diejenigen der folgenden Stunden läßt sich die bereits in der 11. Stunde beschriebene Freude der Lernenden an praktischer Tätigkeit feststellen. Hinzu kommt diesmal das ernsthafte Bemühen, auch tatsächlich zu den anderen mitteilbaren Ergebnissen zu kommen.

Die konkrete Versuchsdurchführung, zu der auch die Niederschrift der Ergebnisse zu ihrer Präsentation vor der gesamten Klasse gehört, ist in der Spalte für die 14./15./16. Stunde beschrieben.

12./13. Stunde

Wirkung von Schwefeldioxid auf einen feuchten Nylonstrumpf

Die Gruppe verweist zur Durchführung auf das ausgegebene Material (M10),

Insgesamt ist dies jetzt das 3. Versuchsthema, das diese 5 Schüler nennen. Die Gruppe bekommt daher vom Lehrer eine Aufgabe zugeteilt (vgl. rechte Spalte).

Zusammensetzung von Mofaabgasen

Mofaabgase sollen aufgefangen und auf Kohlendioxid und Schwefeldioxid hin untersucht werden.

Die 5 Schülerinnen können noch keine Angaben machen, wie sie den Versuch konkret durchführen wollen. Der Lehrer und ich geben entsprechend Hilfestellung beim Versuchsaufbau (Verwendung von Gaswaschflaschen).

Kressesamen haben beim vorhergehenden Versuch in schwefeldioxidhaltiger Atmosphäre nicht gekeimt. "Fortsetzung": *Bestimmung des Säuregrades, ab dem bei Kresse Schädigungen feststellbar sind* Kressesamen sollen verschieden konzentrierten Säuren und Wasser ausgesetzt werden.

Verhalten von Wasserpflanzen in schadstoffreichem Wasser

Wasserpflanzen sollen Leitungswasser und zweimal verschieden konzentrierter schwefliger Säure ausgesetzt werden. Zur Durchführung kommt ihr ursprünglicher Plan (vgl. 9./10. Stunde und rechte Spalte).

Wirkung von "Schwefel" (Schwefeldioxid) auf Kalkstein

Schwefel soll verbrannt werden, und Kalkstein/Marmor dem entstandenen Schwefeldioxid ausgesetzt werden.

14./15./16. Stunde

Braunkohlenbrikett

Aufgrund der prozentualen Verteilung der Elemente in Braunkohlenbriketts werden die absoluten Werte für ein konkretes Brikett berechnet. Die im Normalzustand festen Elemente werden abgewogen, der Anteil der gasförmigen an einer quadratischen Säule markiert.

Die Gruppe hat große Schwierigkeiten bei Dreisatz und Prozentrechnung -> Wiederholung

Mofaabgase

Mofaabgase / Luft werden gleichlange Zeit durch Gaswaschflaschen mit Kalkwasser bzw. dest. Wasser geleitet. pH-Wert und Leitfähigkeit der dest.-Wasser- Lösungen werden bestimmt. Am kalten Auffangtrichter am Auspuffende kondensiert Wasser.

Die Mofa wird von zwei Schülern bedient, die darüberhinaus nicht an der Versuchsdurchführung und -auswertung beteiligt sind.

Kresse in Säuren

Verschiedene in der Sammlung ausstehende verdünnte Säuren bzw. Wasser werden in Petrischalen mit auf Filterpapier gelegten Kressesamen gegeben.

Die Gruppe arbeitet sehr selbständig. Eine Reflektion über die in Anwendung kommenden Säuren findet nicht statt.

Wasserpflanzen in verschiedenem Wasser
Aquarienpflanzen werden in Gaswaschflaschen mit Leitungs-, Regenwasser und mit schwefliger Säure angereichertem Wasser gegeben. Gleichartige Luftversorgung mit Aquarienluftpumpe.

Die Gruppe arbeitet sehr selbständig.

Begasung von Kalkstein

Marmor wird in Glaszylindern Schwefeldioxid ausgesetzt; unterschiedliche Konzentrationen durch Verbrennen entsprechend berechneter Schwefelmengen.

Die Schülerinnen können die Berechnungen nicht durchführen

-> Wiederholung Stöchiometrie

17./18. Stunde

Elementare Zusammensetzung eines Braunkohlenbriketts

Präsentation der auf ein vorliegendes Brikett bezogenen Mengen von Schwefel, Holzkohle und der an einer Säule markierten Volumina von Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff.

Kohlendioxid und Wasser in Mofaabgasen

Nachweis durch Trübung von Kalkwasser bzw. durch Kondensation an einer kalten Glasfläche.

Aufgrund der minimalen Mengen ist ein Schwefeldioxidnachweis nicht möglich. Dennoch Interpretation der geringfügigen Leitfähigkeitsänderung als Nachweis.

Keimverhalten von Kresse in verdünnten Säuren

gutes Wachstum: Wasser, 0.1% Salpetersäure; gar keines: 1%, 10% Schwefelsäure; 1%, 10% Salpetersäure; 12% Salzsäure

Wachstum von Wasserpflanzen in Leitungs-, Regenwasser und mit schwefliger Säure angereichertem Wasser

Das Regenwasser und das mit schwefliger Säure angereicherte Wasser zerstört die Aquarienpflanzen in gleichem Maß.

Die Gruppe gibt an, vom Ergebnis ihres selbst entworfenen - Versuches erschrocken zu sein.

Wirkung von Schwefeldioxid auf Kalkstein/Marmor

Es können keine Veränderungen festgestellt werden.

Das "Mißlingen" dieses Versuchs macht deutlich, daß die Schülerinnen die Versuchsanleitung nicht vollständig gelesen haben (fehlende Teilabdeckung einer polierten Steinstelle).

Äußerungen der Gruppenmitglieder lassen Unverständnis darüber erkennen, daß ein Versuch einmal nicht zu einem prognostizierten Ergebnis führt. Die Gruppe ist nicht in der Lage zu erläutern, wie sie auf die unterschiedlichen verbrannten Schwefelmengen kam. -> Wiederholung des Molbegriffs und der hier zu Grunde liegenden stöchiometrischen Berechnung.

19./20. Stunde

Gruppeninterview (siehe 13.1.1)**anonyme Klassenarbeit**

Von den in Gruppen durchgeführten Versuchen beschreiben:

10 Lernende "Abgasuntersuchung einer Mofa"

5 Lernende "Begasung von Kalkstein"

3 Lernende "Kresse in verschiedenen konzentrierten Säuren"

1 Lernender "Wasserpflanzen in Leitungs-, Regen- und mit schwefliger Säure versetztem Wasser"

1 Lernender "Optische Darstellung der elementaren Zusammensetzung eines Braunkohlenbriketts"

Zur Bestimmung des Schadstoffgehalts von Fichtennadeln werden folgende Versuche vorgeschlagen, in Klammern jeweils die Anzahl der Lernenden:

- Begasung von gesunden Nadeln mit definierten Schadstoffen und Mengen
Vergleich dieser Nadeln mit denjenigen im Wald (4)

- Extrahieren des Schadstoffs mit einem Lösungsmittel (meistens Wasser)

und Vergleich des pH-Werts der Lösung mit denjenigen von

schwefliger Säure, Kohlensäure, Wasser bzw. mit Wertetabellen oder Vergleich mit Extrakt gesunder

Nadeln oder Bestimmung der Schadstoffe mit Indikatorreagenzien (4)

- Auspressen der Nadeln und Untersuchung der gewonnenen Flüssigkeit (1) mit "Spezialindikatorstäbchen" (1)

- Verbrennen von Nadeln und Analyse der Verbrennungsprodukte auf z.B. Schwefeldioxid hin (3)

- Extrahieren der Schadstoffe durch Lösungsmittel und Untersuchung der gewonnenen Lösung auf Schadstoffe (4)

- Einlegen gesunder Nadeln in verschiedene "starke" schweflige Säuren und Vergleich mit denjenigen im Wald (1)

- Literaturrecherche bezüglich der Inhaltsstoffe gesunder und kranker Nadeln in Abhängigkeit möglicher Emittenten und danach Analyse auf Schadstoffe (1)

Eine Schülerin gibt an, daß die Schadstoffe in den Wurzeln seien.

Die Kästen grenzen jeweils die von der ganzen Klasse bzw. den fünf Arbeitsgruppen bearbeiteten Inhalte voneinander ab. Dabei entspricht ihre horizontale Folge der zeitlichen Abfolge der jeweiligen Inhalte bzw. Unterrichtsstunden, ebenso ist innerhalb der Kästen, die sich auf die gesamte Klasse beziehen, die zeitliche Abfolge der Inhalte von oben nach unten wiedergegeben. Die Kästen für die Teilgruppen sind in immer der gleichen vertikalen Reihenfolge angeordnet. Die von der gesamten Klasse bzw. einzelnen Gruppen bearbeiteten Themen sind **fett**, Versuche *kursiv* hervorgehoben. Für die Benennung von Themen und Versuchen wurden die authentischen Formulierungen der Lernenden bzw. des Lehrers verwendet.

Für den Verlauf der Unterrichtseinheit war es kennzeichnend, daß der "sachlogische" Fortgang regelmäßig durch Wiederholungen unterbrochen wurde. Anlaß hierfür waren Wissensdefizite der Lernenden, die regelmäßig dann in Erscheinung traten, sobald auf früher im Chemieunterricht Behandeltes zurückgegriffen werden sollte. Es war für den Lehrer dabei immer sehr mühsam, Wissensfragmente der Lernenden im Unterrichtsgespräch zu einem sinnvollen Ganzen zusammenzufügen, meist lief es auf eine Neupräsentation der jeweiligen Inhalte hinaus.

Dieses massierte Auftreten von Wissensdefiziten und deren Bearbeitung war für den Lehrer eine vollkommen ungewohnte Situation. In der üblichen Unterrichtspraxis kommt es erfahrungsgemäß selten vor, daß eine Unterrichtseinheit auf verschiedene, mehrere Monate zurückliegende und daher momentan ungeübte Inhalte aufgebaut wird. Hierauf begründete Bedenken meinerseits wurden vom Lehrer während der Planungsphase nicht geteilt, da er aufgrund der üblichen Lernkontrollen davon ausging, daß sich das Wissen der Klasse notfalls durch kurze Gedankenanstöße reaktivieren ließe. Diese Überzeugung läßt sich dadurch erklären, daß eine Planung von Unterricht, die ausschließlich auf Seiten der Lehrenden verbleibt, in der Regel nur punktuell auf länger zurückliegende Inhalte zurückgreift. Die Lernenden können im allgemeinen mit dem unmittelbar zuvor erworbenen Wissen - u.U. aufgrund partiell immanenter Wiederholung - den neuen Unterrichtsinhalten folgen. Ein detailliertes Vorwissen ist keineswegs Voraussetzung für die Vermittlungsbemühungen der Lehrenden. Wissensdefizite treten in solchen Situationen nicht als kollektives Problem auf, sondern können gegebenenfalls als ein individuelles Versagen interpretiert werden. Eine problemorientierte Vorgehensweise, bei der komplexe Zusammenhänge gemeinsam aufgeschlossen werden, läßt dagegen kollektive Wissensdefizite sichtbar werden, da dabei auf ein vielfältiges Einzelwissen zurückgegriffen und der komplexen Struktur

angemessene Bezüge hergestellt werden sollen. Gerade solch mannigfaltige und für Lehrende wie vor allem Lernende nicht vorhersehbare Verknüpfungslinien werden im Chemieunterricht in der Regel vermieden. Einzelne Inhaltsbereiche - man vergleiche z.B. die einschlägigen Schulbücher - sind in sich abgeschlossen und können innerhalb eines gewissen Rahmens in beliebiger Reihenfolge behandelt werden.

Die häufigen und zum Teil recht ausführlichen Wiederholungen erschwerten es sowohl dem Lehrer als auch den Schülerinnen und Schülern, dem inhaltlichen bzw. problembezogenen roten Faden zu folgen, insbesondere diesen nach Unterbrechungen wieder aufzugreifen. Deutlich wurde dies u.a. bei den Lernenden in Situationen, in denen sie z.B. den Sinn ihres Versuches im Rahmen der gesamten Unterrichtseinheit angeben sollten auch und gerade, wenn sie dies in einer der vorhergehenden Stunden schon einmal plausibel getan hatten. Aufgrund dieser Beobachtungen ist es um so bemerkenswerter, daß die Lernenden im Interview (siehe nächster Abschnitt bzw. Kapitel 10) angeben, einen guten Überblick erhalten zu haben, insbesondere zu wissen, warum sie bestimmte Versuche überhaupt durchführten.

Den oben beschriebenen krassen Unterbrechungen des Unterrichtsverlaufs stehen ähnlich markante Momente von Kontinuität gegenüber. Auf der personalen Ebene ist dies zunächst die Konstanz der Zusammensetzung der Arbeitsgruppen, wie sie sich in der 4. Stunde herausbilden. Der stabilen Gruppenzusammensetzung entspricht bei vier der fünf Gruppen auch eine thematische Kontinuität, die sich auch in den durchgeführten Experimenten zeigt. Der einen Gruppe, die häufig das Thema wechselt, weist der Lehrer später eine Aufgabe zu (Veranschaulichung der elementaren Zusammensetzung eines Braunkohlenbriketts). Er begründet sein Vorgehen damit, daß er diese fünf Schüler bereits vorher als äußerst leistungsschwach und leistungsunwillig erfahren hat. Diese Einschätzung wird für ihn durch ihr permanentes Springen von einer Thematik zur anderen erneut belegt.

Die thematische Kontinuität der anderen Gruppen läßt sich gut am Beispiel des (ursprünglichen) Themas "andere Betroffene" von Luftschadstoffen aufzeigen:

In der 4. Stunde entscheiden sich 5 Schülerinnen das Thema "andere Betroffene" zu bearbeiten. In der 7./8. Stunde schlagen sie einen Versuch vor, mit dem gezeigt werden soll, daß ein Stein durch "etwas" "zerfressen" wird. Nach Ausgabe von Kopien mit verschiedenen Versuchen zur Luftverschmutzung übernehmen sie einen Vorschlag, wonach Kalkstein und Marmor - für die Lernenden ist dies etwas verschiedenes - Schwefeldioxid ausgesetzt werden und

durch Teilabdeckung der Oberfläche Veränderungen an deren Struktur feststellbar sind. In der 12./13. Stunde modifizieren sie den Versuchsvorschlag derart, daß das Schwefeldioxid durch Verbrennung aus Schwefel hergestellt werden soll. Das Ergebnis dieses von ihnen dann auch durchgeführten Versuchs präsentieren sie der gesamten Klasse in der 17./18. Stunde.

Diese personell-thematische Kontinuität setzt sich allem Anschein nach bis in die schriftliche Lernkontrolle hinein fort. Das insgesamt relativ gute Ergebnis der schriftlichen Lernkontrolle und die Selbsteinschätzung der Lernenden zu wissen, warum sie bestimmte Dinge (Versuche) während der Unterrichtseinheit durchgeführt haben, ist vermutlich auf diese Kontinuität zurückzuführen. Das gemeinsame "Ringen" um ein Experiment wäre dann in diesem Fall eine Bedingung für die Möglichkeit von Lernen als rational begründeter Realitätsaneignung aufgrund des "Verständnisses" chemischer Sachverhalte.

13.1.1 DAS INTERVIEW

Aufgrund der weitgehenden Übereinstimmungen mit den zuvor befragten Lernenden wurde das Interview mit der beobachteten Klasse insgesamt bereits in die Auswertung sämtlicher Schülerinnen- und Schülerinterviews im 10. Kapitel mit einbezogen. Der Unterschied zwischen diesen und den früher befragten Lernenden besteht darin, daß die Schülerinnen und Schüler der Beobachtungsklasse meist schärfere Auskünfte gaben, indem sie in der Begründung ihrer Aussagen ausdrücklich auf den Unterschied zwischen dem normalen Chemieunterricht und der Unterrichtseinheit *Waldsterben - Säuren und Basen* mit ihrem für sie signifikant höheren Anteil an Eigenständigkeit, insbesondere an selbst durchgeführten - zum Teil sogar selbstgestalteten - Experimenten, verweisen.

Aussagen von Lernenden der Beobachtungsklasse finden sich unter den Aspekten: *Experimente machen Spaß und den Chemieunterricht attraktiv* (10.2), *Experimente veranschaulichen und sind konkret* (10.4), *eigenes Experimentieren ermöglicht das (bessere) Verständnis chemischer Sachverhalte* (10.5) sowie *Experimente und Chemieunterricht erschließen die eigene Umwelt bzw. tragen zu deren Verständnis bei* (10.6). Die jeweiligen Textpassagen sind dort mit "Lernende Klasse 10, Gymnasialzweig Additive Gesamtschule" gekennzeichnet. Das Interview mit der Beobachtungs-

klasse bestätigt damit gleichzeitig die aus den Aussagen *aller* Lernenden begründeten Annahmen (vgl. Abschnitt 10.7 und Kapitel 11).

Im folgenden werden daher nur solche Aussagesequenzen (noch einmal) aufgegriffen, die sich auf den eigenständigen Umgang mit realitätsbezogenen Experimenten beziehen lassen:

M3: "Von den Versuchen und von der gesamten Auswertung hat unser Ergebnis mich am meisten erschreckt, muß ich sagen. Ich war auch in der Gruppe, die das mit der Gewässeruntersuchung gemacht hat. Daß bei Regenwasser auch schon die Pflanzen so schnell absterben, hat mich erschreckt. ..."

M4: "Ich meine, man wußte zwar schon vorher, daß das Wasser und der Wald eigentlich verschmutzt sind. Man konnte sich nie darunter was vorstellen. Jetzt hat man das irgendwie mal bildlich gesehen - also wie die Pflanze danach aussah - und da kann man sich jetzt mal vorstellen, was so ein bißchen Schwefel da ausmacht."

M6: "Das finde ich auch. Man kriegt einen viel näheren Bezug zu der Sache. Früher ist das an einem vorbeigegangen. Man hat das nicht richtig mitgekriegt und nicht verstanden, was da erzählt wurde. Jetzt kann man irgendwie mitdenken, kann verstehen, was passiert, und man kann auch die Ursachen schon einigermaßen voraussehen."

...

W1: "Ich glaube, das liegt auch vor allem daran, daß wir die Versuche allein gemacht haben und nicht einfach nur gezeigt bekommen haben. Dadurch, daß wir selbständig arbeiten konnten, dadurch haben wir auch einen direkteren Bezug dazu gekriegt und es auch besser verstanden."

...

M5: "Die Unterrichtseinheit hat überhaupt länger gedauert wie sonst das alles. Wenn wir sonst Versuche gemacht haben, dann sind die ziemlich schnell abgewickelt worden. Und das war es dann, 90% war dann doch wieder Theorie. So ist es jetzt besser gewesen, da haben wir uns mehr Zeit gelassen, da war nicht so eine Hektik."

...

M4: "Gut, es hat schon damit angefangen, daß man nicht den ganzen Tag hier sitzt und schreibt und aufpaßt. Ich meine, wenn man natürlich draußen mit dem Mofaversuch, so die Mofa rausgebracht haben, dann ist das ein bißchen Abwechslung. Da sitzt man nicht die ganze Zeit. Da kann man - da hat man mehr Spaß, wenn man die rausträgt."

...

[Der Lehrer verläßt unmittelbar vor den folgenden Aussagen den Raum, nachdem etliche Schülerinnen und Schüler - aufgefordert, Dinge anzusprechen, die sie für wichtig erachten und die im bisherigen Gespräch noch nicht erwähnt wurden - sichtlich um weitere Antworten herumdrucksen.]

M4: "Chemieunterricht, mit den Versuchen ist es ganz abwechslungsreich. Das Vierteljahr, bevor wir die Versuche gemacht haben, ging es dauernd um Atome und so. Erst einmal war das tierisch schwer zu verstehen."

[Gemurmel: andere bestätigen seine Ansicht]

"Ja und es war ein bißchen langweilig. Da hatte man nicht eine Sache, an der man sich festhalten konnte. Man konnte sich das Atom nicht so vorstellen: das ist das, da habe ich jetzt die Atommasse von und was weiß ich. Hier konnte man das Ergebnis sehen. Ich konnte sehen, das Wasser ist stark verschwefelt; dann sieht die Pflanze dementsprechend aus."

...

W5: "Oftmals war es auch so, daß keiner genau wußte, warum der Versuch überhaupt durchgeführt wird und worum es da überhaupt ging. Es wird z.B. irgendwas aufgebaut, um nachzuprüfen, ob da Schwefel drin ist oder so¹. Aber letztendlich richtig verstanden, also von Grund her, haben es wohl nur einige."

M3: "Mir geht es in dieser Beziehung genauso, wie der W.. ... Man kriegt dann zwar ein paar Werte mit. Aber wie das dann alles richtig zusammenhängt, das verfliegt dann alles meistens. Also so in einer gelockerten Form wäre das besser, daß die Schüler das dann eher begreifen. So ging es mir jedenfalls."

Die Lernenden stellen in ihren Aussagen einen Zusammenhang zwischen der Organisationsform der Vermittlung (selbständig etwas tun), der Art und dem Inhalt des Experiments (mit den Augen sichtbar und realitätsbezogen) sowie einem hinreichend langen Verweilen bei einem Unterrichtsgegenstand her. Die durchgeführten Experimente sind dabei für sie nachvollziehbar aus dem übergreifenden Unterrichtsthema, hergeleitet und ihre Ergebnisse werden auf dieses zurückbezogen. Sie gehen davon aus, daß nur durch eine so geartete Interdependenz Betroffenheit und Möglichkeiten für Lernen ("Begreifen") gegeben sind.

¹ Aus dem Kontext geht eindeutig hervor, daß sich diese Aussage auf den früheren Chemieunterricht bezieht. Das von der Schülerin gewählte Beispiel weist andererseits auf vorhandene Elemente dieses Unterrichts in der beobachteten Unterrichtseinheit hin,

13.1.2 DIE SCHRIFTLICHE LERNKONTROLLE

In einer schriftlichen Lernkontrolle sollten die Lernenden "eines der Experimente (beschreiben), die im Zusammenhang mit Luftschadstoffen durchgeführt worden sind", und angeben "welchen Sinn das Experiment (hatte) bzw. welche Erwartungen ... mit seiner Durchführung verbunden" waren. In einer zweiten auf Transfer gerichteten Aufgabe sollte ein Vorschlag für ein Experiment unterbreitet werden, mit dem der "Schadstoffgehalt von Fichtennadeln zu bestimmen" sei. Die Versuchsbeschreibungen bzw. -vorschläge sind in der letzten Spalte (19./20. Stunde) der Tabelle aufgeführt. In Klammern sind jeweils die Anzahl der einzelnen Versuchsbeschreibungen bzw. -vorschläge angegeben. Die bei der Anzahl der Versuchsvorschläge auftretenden Differenzen werden zum einen dadurch verursacht, daß eine Schülerin nicht anwesend war, zum anderen, daß eine Schülerin mit der Begründung, daß die meisten Schadstoffe wohl "in den Wurzeln sitzen", die zweite Aufgabe nicht bearbeitete.

Bei den Beschreibungen handelt es sich ausschließlich um solche Versuche, die direkt aus einem Arbeitsgruppenthema heraus entstanden sind. Sie wurden daraufhin überprüft, inwieweit sie mit den im Unterricht durchgeführten Experimenten und deren Ergebnissen übereinstimmen (Reproduktionsaufgabe); hierfür wurden die Kategorien *gute*, *mittlere* und *keine* Übereinstimmung gewählt. Danach ergibt sich folgendes Bild (20 Bearbeitende): 7 mal gute, 6 mal mittlere und 7 mal keine Übereinstimmung.

In der Kategorie mittlere Übereinstimmung wird entweder ein Teil des Versuches bzw. seines Ergebnisses (Wassernachweis in Mofaabgasen, Darstellung der gasförmigen Elemente des Braunkohlenbriketts) nicht beschrieben oder es werden noch andere als die verwandten Chemikalien angegeben.

Keine Übereinstimmungen lassen sich nur bei Beschreibungen des "Mofaabgasversuchs" feststellen.

Unter den sieben Schülerinnen und Schülern, die diesen Versuch falsch beschreiben, befinden sich fünf Schüler. Aufgrund der geschlechtsspezifischen Zusammensetzung der Arbeitsgruppen und von Formulierungen in den vorliegenden Beschreibungen²⁾ ist davon auszugehen, daß diese fünf im Unterricht einen anderen Versuch durch-

²⁾ Die hier vorgenommenen Zuordnungen von schriftlichen Dokumenten zu bestimmten Schülerinnen und Schülern kann zwar nicht als undinglich sicher gelten, erscheint aber nach Vergleich aller zugänglichen Kriterien wie Schrift, Ausdrucksweise usw. als sehr wahrscheinlich. Eine nachträgliche Befragung der Schülerinnen und Schüler betreffend ihre Urheberchaft wurde nicht in Betracht gezogen, um die zugesicherte Anonymität nicht zu durchbrechen.

geführt haben. Auch bei den anderen Teilen der schriftlichen Lernkontrolle fallen immer wieder vier dieser fünf Schüler durch nicht ausreichende Leistungen auf. Hierfür gibt es zwei mögliche Erklärungsansätze:

- Es ist anzunehmen, daß es sich bei den vier Schülern, die kein mal in der besten Kategorie vorkommen, um Mitglieder der "Brikettgruppe" handelt. Ihre Versuchsbeschreibungen und -vorschläge entsprächen dann ihren schwachen mündlichen Leistungen³.
- Möglich wäre auch, daß die sieben Schüler, die einen anderen als den von ihrer Gruppe durchgeführten Versuch ("Wasserpflanzenbegasung", "Elementare Zusammensetzung eines Braunkohlenbriketts") beschreiben, diesen nicht als "richtigen chemischen" Versuch ansehen und aus diesem Grund auf ein ihnen nur verbal bekanntes Experiment ausweichen.

Die unzureichenden Versuchsbeschreibungen dieser sieben sprechen dann dafür, daß nicht selbst durchgeführte Versuche in ihren Abläufen auch nicht aufgenommen werden. Gestützt wird diese Annahme durch Interviewaussagen, wonach man erst durch die persönliche Durchführung eines Versuche erkenne bzw. erfahre, worum es dabei überhaupt gehe.

Betrachtet man nur die Lernenden, die mit großer Wahrscheinlichkeit den Versuch ihrer Gruppe wiedergeben, so läßt sich feststellen, daß lediglich zwei Schülerinnen hierzu nicht in der Lage waren.

Erwartungen, die mit der Durchführung der jeweils beschriebenen Experimente verbunden waren, formulieren 15 Schülerinnen und Schüler. Keine Angaben oder solche, die sich durch das betreffende Experiment nicht erfüllen oder widerlegen lassen (Vorschläge für Messungen, um zu zeigen wie "verschmutzt der Sauerstoff, den wir täglich atmen, ist") werden von fünf Lernenden gemacht. Hierunter befinden sich vier der Schüler, die auch keine korrekten Versuchsbeschreibungen wiedergeben und die den Versuch nicht selbst gemacht hatten (vgl. oben). Anders betrachtet: nur eine Schülerin kann dem von ihrer Gruppe durchgeführten Versuch keinen Sinn zuschreiben.

³ Dies fand u.a. darin seinen Ausdruck, daß diese Gruppe mehrmals ihr Thema wechselte und der Lehrer ihnen nach eine gewissen Zeit einen Arbeitsauftrag erteilte.

Die Bewertung der Vorschläge der Lernenden zur experimentellen Bestimmung des Schadstoffgehalts von Fichtennadeln (Transferaufgabe) richtet sich danach, inwieweit sie immanent plausibel sind. Kriterium ist also nicht, ob ein Experimentvorschlag auch realisierbar ist, sondern daß er den Lernenden - unter Berücksichtigung ihrer geringen experimentellen Erfahrung - als durchführbar erscheinen kann. Die Vorschläge wurden ebenfalls drei Kategorien zugeordnet: *sinnvoll*, *teilweise sinnvoll/Ansatz ausreichend* und *nicht ausreichender Ansatz*. Danach ergibt sich folgendes Bild (19 Bearbeitende): 11 sinnvolle, 6 teilweise sinnvolle und 2 nicht ausreichende Vorschläge.

Als *sinnvoll* werden dabei diejenigen Versuche bewertet, bei denen über die Begasung von gesunden Nadeln bzw. Fichten, Extraktion der Schadstoffe, Herstellen einer Flüssigkeit durch Auspressen weitere Verfahrensschritte wie z.B. der Einsatz von Indikatoren, der Vergleich mit Nadeln im Wald angegeben werden.

Als *teilweise sinnvoll* werden die Vorschläge bewertet, die bei dem ersten der vorgenannten Schritte stehenbleiben bzw. danach lapidar auf weitere Analysen verweisen.

Als *nicht ausreichend* wird der Verweis auf eine Literaturrecherche und das Einlegen von Nadeln in schweflige Säure angesehen. Unter den als *nicht ausreichend* bzw. *teilweise sinnvoll* bewerteten Vorschlägen befinden sich eine Schülerin und vier Schüler, deren Antworten auch bei der Reproduktionsaufgabe jeweils zur schlechtesten Kategorie gehören; die vier Schüler sind diejenigen, die dort einen anderen als den von ihrer Gruppe durchgeführten Versuch beschreiben (vgl. oben).

Insgesamt läßt sich feststellen, daß 5 von 20 Lernenden bei allen Aufgaben sinnvolle Versuchsvorschläge unterbreiten *und* eines der in den Arbeitsgruppen durchgeführten Experimente, die damit verbundenen Erwartungen sowie sein Ergebnis richtig wiedergeben können. Hervorzuheben ist, daß 15 Lernende dem von ihnen beschriebenen Versuch einen Sinn zuschreiben können, auch wenn ihre Versuchswiedergabe nicht vollständig korrekt ist oder, wie in zwei Fällen, nicht dem durchgeführten Versuch entspricht. Lediglich fünf Lernende können bei *keiner* der Aufgaben befriedigende Antworten formulieren; hierbei ist auffällig, daß dies vier der sieben oben genannten Schüler sind, die einen anderen als den von ihrer Gruppe bearbeiteten Versuch beschreiben.

Ob das insgesamt vergleichsweise recht erfreuliche Ergebnis der schriftlichen Lernkontrolle auch längerfristig Bestand hat und somit ein Unterricht, der mit weitgehend eigenständig durchgeführten realitätsbezogenen Experimenten arbeitet,

auch unter fachlichen Behaltensgesichtspunkten einem "herkömmlichen" Unterricht vorzuziehen ist, läßt sich nur durch weitergehende Untersuchungen klären; als ein erster Schritt käme ein Nachtest mit der Beobachtungsklasse in Frage. Dies würde jedoch den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit überschreiten, insbesondere da einem erneuten Zusammentreffen mit allen Lernenden der Beobachtungsklasse erhebliche Schwierigkeiten entgegenstünden. Für die Klärung der zu Grunde liegenden Fragestellung kommt es momentan vielmehr darauf an, die Art und Weise der Bearbeitung der Lernkontrolle und die Art der vorgeschlagenen Versuche zu betrachten.

Allgemein lassen sich in der Art der Bearbeitung der Fragen keine Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern feststellen. Bemerkenswert ist, daß sämtliche Antworten den Charakter von *Handlungsanweisungen* haben. Theoretische Bezüge im weitesten Sinn bzw. Begründungen für die jeweiligen Handlungsanweisungen finden sich nur bei drei Schülern. Diese sind von der Art, daß eine Reaktionsgleichung angegeben wird, daß eine Verbrennung ausdrücklich als Oxidation bezeichnet wird sowie eine Begründung, daß eine zuvor hergestellte Suspension erhitzt werden müsse, damit "die Schadstoffe (Säuren) frei" werden. Besonders häufig wird der Einsatz von Indikatoren und die Herstellung von Vergleichstandards zur Schadstoffbestimmung vorgeschlagen.

13.1.3 DIE CHEMIEHEFTE

Die Durchsicht der Chemiehefte bestätigt grundsätzlich das oben gewonnene Bild. Notizen zu allen 18 Stunden der Unterrichtseinheit finden sich nur in den Heften von vier Schülerinnen und einem Schüler. Bei den anderen Lernenden fehlen entweder einzelne Stunden (eine Schülerin, vier Schüler), oder die Aufzeichnungen betreffen nur die ersten 10 bis 11 Stunden (fünf Schülerinnen, zwei Schüler). Bemerkenswert ist dabei, daß dieses Abbrechen der Notizen zeitlich mit der Abgabe der Hefte für die Halbjahresnote nach der 11. Stunde zusammenfällt. Von vier Schülern lagen Hefte vor, die erst mit dem Inhalt des zweiten Halbjahrs begannen.

Die Notizen zu dem erlebten Unterricht (17 Lernende) geben zunächst die Tafelbilder wieder, wie sie im Anhangband zu finden sind. Daneben finden sich in 16 Fällen Informationen zur Durchführung und Beobachtung von Versuchen. Über die aus

diesen beiden Quellen stammenden Informationen hinausgehende Aufzeichnungen finden sich bei elf Lernenden. Diese sind augenscheinlich aus Hausaufgaben heraus entstanden und beziehen sich auf das Waldsterben und die ihm zugeschriebenen Ursachen oder auf die Charakteristika von Säuren. Beide Themenbereiche gleichzeitig finden sich allerdings nur bei acht Lernenden; unter ihnen befinden sich jene fünf, deren Aufzeichnungen die gesamte Unterrichtseinheit umfassen. Nur die Hefte dieser fünf können auch von der Qualität der Aufzeichnungen her überzeugen. Anzumerken ist noch, daß sich nur in vier Heften - jedoch in keinem einzigen der 10 Schnellhefter⁴⁾ - die vom Lehrer ausgegebenen Arbeitsblätter befanden.

Für die Heftführung haben Experimente offenbar eine gleich hohe Bedeutung wie Tafelbilder. D.h. sie stellen für die Lernenden eines der Ergebnisse bzw. Ereignisse von Chemieunterricht dar, das wert ist, notiert zu werden. Neben einer eigenständigen Wertschätzung des Experiments könnte die Ursache hierfür darin begründet sein, daß Experimente von Lehrenden als wesentlicher Teil des Chemieunterrichts angesehen werden und entsprechende Aufzeichnungen daher in den Heften bei einer Kontrolle nicht fehlen dürfen. Zudem wird das im Heft festgehaltene Experiment von einigen der befragten Schülerinnen und Schüler ausdrücklich als Gedächtnisstütze für den Unterrichtsverlauf angegeben, auf die man anlässlich einer Klassenarbeit oder Stundenwiederholung zurückgreifen kann (vgl. Kapitel 10).

Hervorzuheben ist, wie schon beim Ergebnis der schriftlichen Lernkontrolle, daß die nicht von der Tafel übernommenen Teile von Versuchsbeschreibungen keine Formeln enthalten; sie haben durchweg den Charakter von Handlungsanweisungen.

13.2 DIE DURCHGEFÜHRTEN EXPERIMENTE

Zu Beginn der Unterrichtseinheit stand mit Ausnahme des Waldspaziergangs noch nicht fest, welche Versuche im einzelnen durchgeführt würden. Das sollte, ausgehend von der Waldbegehung, möglichst durch die Schülerinnen und Schüler selbst bestimmt

⁴⁾ Diese Beobachtung bestätigt die Erfahrung, daß Arbeitsblätter - insbesondere wenn sie nicht gelocht sind - über die unmittelbare Unterrichtssituation hinaus für Lernende im allgemeinen keine Bedeutung haben.

werden, und zwar an Hand von durch die Lernenden selbst beschafften Texten bzw. ersten Erkenntnissen über den Unterrichtsgegenstand. Gegebenenfalls sollte eine von Lehrer und Beobachter zusammengestellte Versuchssammlung zu Rate gezogen werden. Unter diesen Prämissen ist die Art der durchgeführten Versuche, wie sie der Tabelle entnommen werden können, bemerkenswert.

Mit Ausnahme einer Gruppe von fünf Schülern haben alle anderen Lernenden, von Texten zu Waldschäden und Luftverschmutzung ausgehend, realitätsbezogene Experimente aus der Versuchssammlung ausgewählt, diese z.T. modifiziert bzw. eigene Versuche entwickelt. All diesen Versuchen ist gemein, daß sie sich durch zu erwartende deutlich wahrnehmbare Effekte auszeichnen (vgl. hierzu Abschnitt 6.3).

Auffällig ist, daß die Lernenden bei der Darlegung ihrer Versuchsvorschläge jegliche Art theoretischer Begründungen, wozu aus ihrer Sicht insbesondere Formeln gehören (vgl. Kapitel 10), vermeiden. Der Versuch, theoretische Elemente miteinzubeziehen, ist ein ständiges Unterfangen des Lehrers, das meist zunächst damit endet, daß er Wissensdefizite aufdeckt und entsprechende Wiederholungen veranlaßt.

Im Vorgehen von Lehrer und Lernenden werden jeweils unterschiedliche Herangehensweisen an den Gegenstand deutlich. Beim Lehrer wird immer wieder sein Anspruch bemerkbar, mittels der Fachsystematik den Lernenden einen Erklärungsrahmen für die Realität zu liefern. Die Lernenden hingegen versuchen, zunächst durch die Realität nachvollziehende Experimente diese zu beschreiben und quasi zu erläutern. Der prinzipielle Unterschied in den Auffassungen zwischen Lehrer und Lernenden zeigt sich deutlich im Unterrichtsgespräch mit der Wasserpflanzengruppe. Nach der Gruppenarbeitsphase in der 9./10. Stunde unterbreitet diese Gruppe folgenden Vorschlag:

M4: "Als Versuch haben wir uns (vor)gestellt: das Verhalten einer Aquariumpflanze in schadstoffreichem Wasser. Wir wollen drei verschiedene Aquarien nehmen, da jeweils eine Pflanze rein und dann halt dieses Wasser etwas stärker mit Schadstoffen. Die Erwartungen sind: Die Pflanzen im schadstoffreichsten Wasser gehen ein. Und der Beitrag zum Unterricht ist: Die Feststellung der Wirkungen von Schadstoffen an Pflanzen. Durchführung: In jedem der drei Aquarien befindet sich eine Aquapflanze. In das erste Aquarium füllen wir einfaches H_2O ein, in das zweite H_2SO_3 und in das letzte auch H_2SO_3 , aber mit höherem Schadstoffgehalt als das zweite."⁵⁾

⁵⁾ Inwieweit dieser Versuch tatsächlich die Belastung von Regenwasser belegt, spielt für die vorliegende Untersuchung keine Rolle, da es das Ziel ist zu klären, wie Schülerinnen und Schüler ein derartiges Problem überhaupt angehen.

L: "Ja, Moment mal Leute, habt ihr euch mal Gedanken gemacht, wie ihr das genau unterscheiden wollt. Wenn ihr schweflige Säure da einfach reingießt, dann habt ihr nicht lange Spaß an euren Aquapflanzen. Das ist eine etwas plumpe Methode."

M5: "In das erste Aquarium geben wir ganz normales Wasser rein."

L: "Ja"

M5: "Leitungswasser. Und in das zweite halt Regenwasser. Und das dritte, da machen wir Regenwasser rein, aber mit schwefliger Säure, die wir da haben."

L: "Na ja gut, wie wollt ihr jetzt genau sagen, welchen Säuregrad die einzelnen Aquarien haben."

M4: "Den Säuregehalt, den müssen wir natürlich erstmal bestimmen vorher."

L: "Aha, habt ihr euch mal Gedanken gemacht, wie man das machen könnte?"

[Schweigen]

L: "So, das macht ihr euch bis zum nächsten Mal klar. So daß ihr spätestens in der allerersten Stunde nach den Ferien diesen Versuch ganz genau in der Form ansetzen könnt. Bitte besorgt euch Regenwasser, daß ihr diese Untersuchung »Säuregehalt von Regenwasser« schon mal angehen könnt."

Mn: "Ja"

Indem der Lehrer von Anfang an die Frage nach den fachsystematischen *Grundlagen* in die Diskussion bringt, unterstellt er, daß exakte Messungen *und* Kenntnis der zugehörigen Theorie für den geplanten Versuch als Voraussetzung notwendig sind. Die Schüler akzeptieren dies zwar pflichtgemäß verbal, ihre vorherige Argumentation auf der Ebene von Plausibilität und Phänomenologie wird durch diese Intervention jedoch abgebrochen. In der Planungsphase des Versuchs müssen exakte Messungen den Lernenden als aufgesetzt erscheinen, da sie doch die eingesetzten Stoffe kennen. Frühestens nach Durchführung des Versuchs und mit dem Anspruch, das Ergebnis für unbekannte Lösungen zu verallgemeinern, kann sich für sie die Notwendigkeit nach einem Vergleichsstandard und damit auch nach exakten Messungen ergeben (vgl. hierzu auch Abschnitte 6.4 und 6.5).

Daß die Argumentation des Lehrers gegenüber dieser Schülergruppe als vordergründig zu charakterisieren ist, tatsächlich jedoch seine Fachsozialisation die

Fachsystematik wirksam werden läßt, wird in der nächsten Stunde deutlich. Dort benutzt er das von ihm ins Gespräch gebrachte Problem des Vergleichs der Schadstoffkonzentration der verschiedenen Lösungen als Beispiel für die Genauigkeit und die Grenzen sechs verschiedener Meßverfahren. Die pH-Werte von Leitungswasser, Regenwasser, mit schwefliger Säure angereichertem Wasser und verdünnter Natronlauge sollen dabei möglichst genau bestimmt werden.

Dieses Vorgehen bleibt jedoch ohne Wirkung auf die Lernenden. Als 5 Wochen später in der nächsten Chemiedoppelstunde, an deren Beginn eine ausführliche Wiederholung von pH-Wert und Leitfähigkeit stehen, die durchzuführenden Versuche endgültig festgelegt werden, präsentiert die Wasserpflanzengruppe ihren Vorschlag erneut und zwar fast im Wortlaut unverändert:

M5: "Wir wollten feststellen: das Verhalten von Wasserpflanzen in schadstoffreichem Wasser. Drei Aquarien wollten wir nehmen, also so Gläser. Ins erste Glas kommt einfaches Wasser rein, ins zweite H_2SO_3 und in das letzte auch H_2SO_3 aber mit einem höheren Schadstoffgehalt als im zweiten. Und in die - ehm Wasserarten wollten wir dann die Pflanzen rein machen und dann nach einer Zeit nachgucken, wie die sich in den verschiedenen Gewässern verhalten haben."

L: "Irgendwie habe ich im Kopf, daß dieser Aquariumsversuch wegen technischer Schwierigkeiten abgeblasen worden ist."

M5: "Nee, nur weil wir die Pflanzen noch nicht mit hatten."

M4: "Mit der Pumpe hatten wir doch auch noch Schwierigkeiten."

M5: "Ja, da hatten Sie gesagt, die Pumpe, da könnten wir einfach so ein Ding nehmen und das halt abzweigen in alle drei."

M4: "Ich meine, das müßte ja eigentlich auch ohne Pumpe gehen."

M5: "Einen Heizstab brauchen wir auch nicht."

L: "Also gut, ihr seid in der Lage, in der nächsten Chemiestunde diesen Versuch anlaufen zu lassen."

M6: "Ist das der gleiche Versuch wie mit der Kresse nur im Wasser?"

M5: "Ja"

L: "Aha, machen wir also den einen Versuch doppelt."

M5: "Daß wir halt feststellen wollen wie das mit dem Wasser ist und wie mit der Luft."

L: "Wie meßt ihr das - die Reaktion der Pflanzen?"

M4: "Die *sehen* wir."

L: "Seht ihr?"

M4: "Ja gut, wenn wir dann wissen wollen, wie dann der Grad der Schädigung ist, dann ist das vielleicht doch noch ein Problem. - Man sieht doch erst einmal, ob sich da Algen bilden oder ob die da vielleicht kaputtgehen oder so."

L: "Gut, und ihr erwartet euch was von diesem Versuch? Und warum macht ihr das so und nicht anders?"

M3: "Ja, daran sieht man doch, ob jetzt das Wasser sehr große Auswirkungen auf die Pflanzen hat, wenn es sehr sauer ist oder ob das den Pflanzen relativ egal ist."

M4: "Das denke ich auch."

L: "Gut okay, nächsten Mittwoch erste Stunde läuft dieser Versuch an. Da drüben wird er aufgebaut. Ihr macht das."

Indem diese Gruppe ihren ursprünglichen Vorschlag technisch präzisiert, aber inhaltlich unverändert darstellt und mit keiner Silbe auf die ausführlichen pH-Wertmessungen eingeht - vorstellbar wäre z.B. ein modifizierter Versuchsvorschlag - wird deutlich, daß dies für einen in ihrem Sinn erfolgreichen Versuch ohne Belang ist. Die geringe Bedeutung, die die Beobachtungsklasse den pH-Versuchen in der 11. Stunde für Aussagen über die Realität zumißt, wird unter anderem daran deutlich, daß sich in keinem Heft Aufzeichnungen befinden, aus denen hervorgeht, *welcher pH-Wert zu welcher Lösung* gehört. Selbst wenn die eigenen Meßwerte denjenigen der Nachbargruppe widersprechen, ist dies kein Anlaß, darüber zu reden. Sie werden vielmehr hingenommen.

An den konkreten Ergebnissen der pH-Wert-Meßreihe bestand allerdings weder vom Lehrer noch von den Lernenden Interesse. Dies zeigt sich daran, daß sich niemand die Mühe machte, die lediglich nummerierten Lösungen nach den Messungen konkret zu benennen. In der Wiederholung stand vielmehr für die Lernenden der Handlungsvollzug im Vordergrund, während der Lehrer am Beispiel die zugehörige Theorie, insbesondere den Leitfähigkeits- und Ionenbegriff, vermitteln wollte.

Diese unterschiedliche Vorgehensweise - fachorientiert beim Lehrer, handlungsorientiert bei den Schülerinnen und Schülern - zeigte sich auch bei zwei anderen Versuchen; nämlich bei dem aufgrund von Wissensdefiziten wiederholten Versuch zur Darstellung von Schwefeldioxid bzw. schwefliger Säure und bei der Präsentation des Ergebnisses der Begasung von Kalkstein mit Schwefeldioxid. In beiden Fällen waren die spontanen Äußerungen der Lernenden auf der Handlungsebene angesiedelt, während

es dem Lehrer explizit um die Vermittlung fachsystematischer Komponenten ging. Die Dominanz der Handlungsebene zeigt sich dann auch noch einmal im Charakter der Versuchsbeschreibungen im Rahmen der schriftlichen Lernkontrolle.

Die Art und Weise des Umgangs mit diesen beiden eher traditionellen Schulexperimenten (Darstellung von schwefliger Säure und pH-Wert-Bestimmung nach verschiedenen Methoden) unterstützt die These, wonach die konkreten Versuchsergebnisse für den weiteren Unterrichtsverlauf bzw. für das in Prüfungen zu präsentierende Wissen ohne Belang sind. Indem die Lernenden keinerlei quantitative Vorstellung entwickeln, wird deutlich, daß diesen im bisherigen Chemieunterricht auch keine Bedeutung beigemessen wurde. Dem entspricht, daß nach Auffassung der meisten befragten Lehrenden quantitative Untersuchungen für die Mittelstufe nicht angemessen seien. Sie haben für sie allenfalls in der gymnasialen Oberstufe ihren Ort (vgl. Kapitel 9). Dies weist gleichzeitig darauf hin, daß dieses Ergebnis über die Beobachtungsklasse hinaus von Bedeutung ist. Eine Ausnahme bezüglich des Umgangs mit quantitativen Experimenten bilden nur die Aussagen der ehemaligen Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft *Luftschadstoffe* und des Leistungskurses *Chemie und Umwelt* (vgl. Kapitel 10) sowie deren Lehrer (vgl. Kapitel 9).

Im betrachteten Fall wird die These, wonach die konkreten Versuchsergebnisse traditioneller Schulexperimente für die Lernenden keine Bedeutung haben, auch dadurch gestützt, daß auf diese beiden Versuche in der schriftlichen Lernkontrolle nicht eingegangen wurde. Hingegen lassen sich im Interview gemachte Aussagen dahingehend interpretieren, daß insbesondere den von den Lernenden durchgeführten realitäts-bezogenen Experimenten eine Orientierungsfunktion zukommt. Darüberhinaus sind sie es, die nach Aussage der Lernenden Betroffenheit auslösen können (vgl. auch Kapitel 10).

13.3 REALITÄTSBEZOGENE EXPERIMENTE -BETROFFENHEIT UND MÖGLICHKEIT FÜR LERNEN - ZUSAMMENFASSUNG KAPITEL 13 -

Die Unterrichtsbeobachtung und die ergänzenden Untersuchungen bestätigen zum einen die Ergebnisse der bisherigen empirischen Untersuchungen, wie sie im Kapitel 11 zusammengefaßt sind. Zum anderen ließ sich klären, welche Art von Experimenten Lernende bevorzugen, wie diese in theoretische Zusammenhänge eingebunden sind und welche Aspekte dabei von Lernenden bzw. Lehrenden besonders berücksichtigt werden.

Für die beobachteten Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse (drei Jahre Chemieunterricht, Übergang in die Oberstufe absehbar) konnten vor allem die folgenden *Selbsteinschätzungen* von Lernenden bestätigt werden:

- Experimente beweisen theoretische Sachverhalte;
- nur selbst Gesehenes kann begriffen werden;
- realitätsbezogene Experimente erzeugen Betroffenheit;
- erst eigene, insbesondere selbst entwickelte Versuche ermöglichen ein nachhaltiges Lernen;
- Experimente, insbesondere selbst durchgeführte, haben eine hohe soziale Bedeutung; indem sie die Kontaktmöglichkeiten untereinander verbessern, ermöglichen sie einerseits ein legales Unterlaufen unterrichtlicher Ordnungsstrukturen *und* schaffen andererseits ein Unterrichtsklima, welches eine für Lernen gedeihliche Atmosphäre bietet.

Die soziale Bedeutung des Experimentierens wird in der Beobachtungsklasse insbesondere deutlich an der Kontinuität der Gruppenzusammensetzung. Das Experimentieren in der Gruppe nach selbstgestalteten Entwürfen zeichnet sich vor der bloßen Gruppenarbeit - mit ihren eher allgemeinen Möglichkeiten der gegenseitigen Kontaktaufnahme - durch die qualitativ anders geartete Tätigkeit aus: Kennzeichnend ist dabei das alle Beteiligten fordernde gemeinsame Ringen um ein Ergebnis. Faßt man die diesbezüglichen Aussagen der Beobachteten zusammen, so wird die sichtbare Freude beim eigenen Experimentieren nicht einfach durch die Integration manueller Tätigkeit in einen verbal-kognitiven Unterricht hervorgerufen, sondern durch die Art, wie die Lernenden zur Durchführung der Experimente gelangt sind.

Die beobachteten Schülerinnen und Schüler erfahren die Möglichkeit, selbständig im Unterricht tätig zu sein und zu experimentieren, als etwas Positives gegenüber dem normalen Chemieunterricht. Das "Selbst-tätig-sein" spiegelt sich in allen Abschnitten des Unterrichts einschließlich der Lernkontrolle wider, indem die (Versuchs-)beschreibungen der Lernenden den Charakter von *Handlungsanweisungen* haben. Sie organisieren ihre Verstehens- und Gedächtnisprozesse offenbar über ein System von Handlungen. Ihre Vorgehensweise entspricht dabei auffällig Walgenbachs Beispiel einer Musikstunde, das er für die Bestimmung von Didaktik als System zur ganzheitlichen Erfassung komplexer Zusammenhänge verwendet [vgl. Walgenbach 1979, S. 30 ff].

Die Phasen des eigenen Tuns, die offenbar mit der Vermittlung des Gefühles der Eingebundenheit in den Planungsprozeß der Unterrichtseinheit einhergehen, überlagern bei den beobachteten Lernenden offensichtlich die ausführlichen, frustrierenden Phasen der Wiederholung früherer Inhalte. Auffällig ist, daß diesen Wiederholungen von den Lernenden anscheinend auch keine Bedeutung für die Versuchs- bzw. Unterrichtsplanung und den eigenen Lernprozeß zugeschrieben wird.

Die beobachteten Schülerinnen und Schüler führen dagegen z.B. selbständig durchgeführte realitätsbezogene Experimente als günstige Möglichkeit für Lernen im Rahmen des Interviews an; insbesondere seien sie in der Lage, Betroffenheit bezüglich der eigenen Umwelt zu erzeugen. Untrennbar damit verbunden ist ihrer Auffassung nach das Wissen um die Stellung der jeweiligen Experimente (Inhalte) innerhalb eines übergreifenden Unterrichtsthemas, das Bezüge zu ihrer Umwelt hat. Das Besondere dieser Aussagen der befragten Lernenden wird daran deutlich, daß die von ihnen durchgeführten Experimente im Grunde lediglich einen orientierenden, genaueren (quantitativen) Experimenten vorausgehenden Charakter haben. Der so gleichsam zum Ausdruck kommende Anspruch der Schülerinnen und Schüler nach Orientierungshilfen wurde offenbar von ihrem bisherigen - eher traditionellen - Chemieunterricht nicht im gewünschten Maß eingelöst.

Diese aus ihrem Erleben begründeten Aussagen werden zumindest ansatzweise durch die schriftliche Lernkontrolle bestätigt. So können 3/4 der Lernenden den Sinn bzw. die mit einem der durchgeführten Experimente verbundenen Erwartungen angeben, auch wenn die zugehörige Versuchsbeschreibung im Detail nicht vollständig korrekt wiedergegeben wird. Auch können 17 von 20 der Lernenden immanent plausible oder zumindest im Ansatz sinnvolle Experimente für eine Schadstoffbestimmung vorschlagen.

Bedeutsamer als dieses Ergebnis, das, da mit einem zeitlichen Abstand von nur 14 Tagen nach dem Ende der Unterrichtseinheit ermittelt, für sich genommen bezüglich der Behaltensleistungen nicht besonders aussagekräftig ist, ist jedoch die Art der von Schülerinnen und Schülern sowohl in der schriftlichen Lernkontrolle als auch im Unterricht gewählten Beschreibung der Experimente. Sowohl diese als auch die verwandten Begründungen sowie die Art des Umgangs mit den Experimenten läßt sich auf Seite der Lernenden als handlungsorientiert-beschreibend charakterisieren. Übergreifende Theorieelemente, aber auch quantifizierende Versuche (Messungen) gewinnen für die Lernenden offensichtlich erst dann Bedeutung, wenn sie über den konkreten Fall hinaus verallgemeinern wollen und ihnen z.B. durch das Aufzeigen von Widersprüchen oder Unzulänglichkeiten deutlich gemacht wird, daß ihre bisherigen Experimente hierfür noch nicht geeignet sind.

Entsprechende Interventionen des Lehrers schon in der quasi ersten Phase der experimentellen Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit werden zwar (schul)plichtgemäß von den Lernenden akzeptiert, jedoch nicht in ihre eigenen Überlegungen und Handlungen übernommen. Dementsprechend spielen sie auch bei der schriftlichen Lernkontrolle, im Interview und in den Chemieheften keine Rolle.

Im Gegensatz zu den eher handlungsorientierten Argumenten und Planungen der Lernenden kann das entsprechende Vorgehen des Lehrers als fachorientiert charakterisiert werden. Die Fach- *und* Berufssozialisation erweist sich damit als stärker als die Absicht des Lehrers, zunächst den Argumenten der Lernenden zu folgen, und erst nachdem Widersprüche auftreten, auf entsprechende Theorien zurückzugreifen.

Diese unterschiedliche Umgangsweise von Lehrenden und Lernenden mit Experimenten und den zugehörigen fachlichen wie umweltbezogenen Inhalten bietet einerseits eine Erklärung für die zum Teil in sich gebrochenen Aussagen der Lehrenden über ihren Unterricht (vgl. Kapitel 9), andererseits weisen sie auf eine wesentliche Bedingung für die Schaffung von Möglichkeiten im Chemieunterricht hin, Lernen zu ermöglichen als einen Beitrag zum Verständnis wissenschaftlich begründeter Aussagen *und* als eine rational begründete Aneignung der Realität. Solche Bedingungen werden im nächsten abschließenden Kapitel formuliert.

14. EXPERIMENTELLE ZUGÄNGE ZUR REALITÄT - ABSCHLIESSENDE THESEN

Aufbauend auf die Zwischenergebnisse dieser Arbeit, wie sie in Kapitel 11 zusammengefaßt sind, und auf die daraus abgeleiteten Annahmen, deren weitgehende empirische Bestätigung in den darauffolgenden Kapiteln dargestellt ist (siehe Abschnitt 13.3), sollen die Erkenntnisse dieser Arbeit abschließend in Form von Thesen zusammengefaßt werden. Als *Kriterien für experimentelle Zugänge zur Realität* stellen diese Thesen Bedingungen für die Möglichkeit von Lernen dar, das zu einem Verständnis chemiewissenschaftlich begründeter Aussagen und zu einer rational begründeten Aneignung der uns umgebenden Wirklichkeit führen soll. Außerdem wird in diesem Kapitel auf Grenzen der hier gewonnenen Ergebnisse und auf Perspektiven für weitere Forschungen hingewiesen.

Während einerseits aufgezeigt werden konnte, daß die seit rund 80 Jahren gängigen Begründungen für Experimente bzw. das Experimentieren im Chemieunterricht (Standardlegitimationsmuster) nicht tragfähig sind, ließen sich andererseits Anzeichen finden, daß *andere Gründe* für die allseits postulierte Wichtigkeit des Experimentierens im Chemieunterricht verantwortlich sind; ebenso ist anzunehmen, daß letztere unter Umständen schon immer eine mehr oder minder große Bedeutung für den Chemieunterricht gehabt haben (vgl. Kapitel 7). Dieses zunächst allgemein-theoretisch abgeleitete Ergebnis konnte durch vergleichende Fallstudien mit Einzelinterviews von Lehrenden und Gruppeninterviews von Lernenden bestätigt werden. Gleichzeitig konkretisierten sich die *anderen Gründe* als die soziale Dimension des Experiments, insbesondere für den Fall, wenn dieses von den Lernenden selbst durchgeführt wird (vgl. Abschnitt 11.3).

Die soziale Bedeutung des Experimentierens findet ihren Ausdruck u.a. darin, daß der Chemieunterricht für die meisten Schülerinnen und Schüler dadurch überhaupt erst akzeptabel wird und - sowohl nach ihrer Auffassung als auch nach der der befragten Lehrenden - eine günstige Möglichkeit für Lernen bietet. Allerdings sind weder die Inhalte der Experimente noch ihre Entwicklung und Ausformung beliebig. Beides hat erhebliche Auswirkungen auf die Organisation und die Durchführung von Chemieunterricht. Die durchgeführten Untersuchungen führen zu dem Schluß, daß die

Unterrichtsgegenstände realitätsbezogen sein müssen und daß die Lernenden in die Planung bzw. Entwicklung der Experimente für sie erfahrbar mit einbezogen werden müssen. Dies heißt gleichzeitig, daß ein lediglich vermehrtes Experimentieren entlang der ausgetretenen Pfade - trotz der damit einhergehenden Akzeptanzsteigerung - nicht zu wesentlich anderen als den bekannten negativen Ergebnissen führen wird (vgl. Kapitel 5). Einen konstruktiven Versuch, diesen Zustand zu ändern, sollen die im folgenden formulierten *Kriterien für experimentelle Zugänge zur Realität* leisten.

14.1 KRITERIEN FÜR EXPERIMENTELLE ZUGÄNGE ZUR REALITÄT

Die *Kriterien für experimentelle Zugänge zur Realität* beschreiben in ihrer Gesamtheit ein Bedingungsgefüge, das nach den Erkenntnissen dieser Untersuchungen als geeignet erscheint, eine günstige Voraussetzung zu bieten für die Möglichkeit, sowohl zu einem Verständnis wissenschaftlich begründeter Aussagen als auch zu einer rational begründeten Realitätsaneignung zu gelangen. Jeweils für sich allein genommen, erfüllen die unten formulierten Kriterien diese Voraussetzung jedoch nicht; ihre Reihenfolge stellt daher keine Hierarchisierung dar.

Mit der Umsetzung der Kriterien ist die Hoffnung verbunden, daß die Schülerinnen und Schüler in fruchtbaren Lernprozessen nachhaltiges Wissen über die Erklärungsmächtigkeit *und* Eingeschränktheit chemischer Erkenntnisse für ihre unmittelbare Umwelt erlangen können und daß sie so befähigt werden, ihren Anspruch auf Selbst- und Mitbestimmung in chemisch dominierten oder vorgeblich chemisch dominierten Bereichen unserer Gesellschaft zu realisieren. Gleichzeitig können die fachlichen Inhalte vor diesem Hintergrund für die Lernenden Bedeutung gewinnen (vgl. Kapitel 10 und 13).

REALITÄTSBEZOGENE UNTERRICHTSGEGENSTÄNDE

Für die Auswahl der jeweiligen Gegenstände des Chemieunterrichts bzw. die zugehörigen Experimente bedeutet dies, daß sie einen für die Lernenden erfahrbaren Realitätsbezug aufweisen müssen (vgl. Abschnitt 6.6.3). Dies ist Voraussetzung, damit der Unterricht - über seine unmittelbare schulische Funktion hinaus - Ernstcharakter gewinnt (vgl. Kapitel 6, 9 und 10). Gleichzeitig kann eine (erhöhte) Betroffenheit der

Lernenden gegenüber den Inhalten bzw. Problemen erzeugt werden (vgl. Kapitel 10 und 13). Diese wiederum muß als eine der Triebkräfte für Lernen angesehen werden. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß eine wie auch immer im jeweiligen Fall zustandegekommene Betroffenheit der bewußten Teilnahme an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen vorausgeht.

Realitätsbezug bietet über das Ausgeführte hinaus die Möglichkeit, daß die Lernenden bereits in der Planungsphase auf ihre Alltagserfahrungen zurückgreifen können (vgl. Kapitel 13).

SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER ALS SUBJEKTE IM CHEMIEUNTERRICHT

Indem Schülerinnen und Schüler bereits frühzeitig in den Entwicklungs- und Auswahlprozeß realitätsbezogener Experimente mit einbezogen werden, können sie Vertrauen in das eigene Denkvermögen entwickeln (vgl. Kapitel 10 und 13). Am Ende dieses Prozesses steht dann die Möglichkeit zur eigenständigen Auseinandersetzung mit den jeweiligen Inhalten. Ein Ausklammern dieses langwierigen Auseinandersetzungsprozesses trägt demgegenüber dazu bei, daß die meisten Lernenden zwar von der Wichtigkeit der Naturwissenschaften für die gesellschaftliche Entwicklung überzeugt werden, jedoch gleichzeitig auch davon, daß nur Experten sachgerecht und angemessen entscheiden könnten (vgl. Kapitel 5).

LEHRERINNEN UND LEHRER ALS INITIATOREN FRUCHTBARER LERN-PROZESSE

Die "Anleitung" zur eigenständigen Auseinandersetzung der Lernenden mit den jeweiligen Inhalten bedeutet für die Lehrenden, daß sie das hergebrachte Wissen der Schülerinnen und Schüler ernstnehmen, solange es arbeitet. Insbesondere erfordert dies von den Lehrenden - vor allem während der Planungsphase von Experimenten und damit zumindest während eines Teils des Unterrichts -, daß sie sich mit dem Einbringen von fachlichen Gesichtspunkten zurückhalten. Im anderen Fall können Lernwege vorzeitig abgeschnitten werden, ohne daß die Lernenden von den Vorschlägen der Lehrenden überzeugt sind (vgl. Kapitel 13). Sie bleiben dann letztlich weiterhin ihrem bisherigen Denken verhaftet.

EXPERIMENTE ALS ENTSCHEIDUNGSHILFE

Auf der experimentellen Ebene besteht eine Voraussetzung für *begründete* Änderungen in den Auffassungen der Lernenden darin, daß sich Lehrende und Lernende vor der Durchführung eines Versuchs über die mit ihm verbundenen Erwartungen verständigen *und* daß - wie auch immer ein Versuchsergebnis ausgefallen ist - ein Rückbezug auf die zuvor formulierten Erwartungen erfolgt. Treten Widersprüche zu diesen auf, so ist genügend Zeit, auf eine gemeinsame Ursachenanalyse zu verwenden. In keinem Fall reicht ein Verweis auf schlechte Geräte oder Chemikalien. Geschieht dies nicht, so bleibt den Schülerinnen und Schülern nichts anderes übrig, als dem z.B. in Schulbüchern Niedergeschriebenen zu glauben; damit einher geht dann notwendig die gegenwärtig verbreitete Auffassung, daß Experimente für die inhaltliche Seite des Chemieunterrichts belanglos seien (vgl. Kapitel 10).

CHEMISCHE EXPERIMENTE ALS ERWEITERTE ERFAHRUNGSGRUNDLAGE

Die Bedeutung chemischer Experimente wird vor allem deutlich, indem sich alle Betrachter eines Versuchs über *das* verständigen, was sie bei dem Versuch wahrgenommen haben. Dieser Verständigungsprozeß und die Interpretation des Wahrgenommenen macht die der Chemie eigenen Beschreibungen der uns umgebenden Wirklichkeit den Lernenden handelnd erfahrbar. Der Aufbau dieser (neuen) Erfahrungsgrundlage (vgl. Kapitel 4, 6, 10 und 13) eröffnet den Lernenden dann *eine weitere* Orientierung in der Realität. Neben dem schon erwähnten Einbezug der Lernenden in den experimentellen Planungsprozeß erfordert der Aufbau der der Chemie eigenen Erfahrungsgrundlage - wo immer sicherheitstechnisch möglich - das selbständige Experimentieren.

EXPERIMENTIEREN ALS SOZIALES HANDLUNGSFELD

Dem selbständigen Experimentieren - u.U. auch den vorausgehenden Planungsprozessen - kommt insbesondere für das Lernklima eine entscheidene Bedeutung zu, indem sich für Lehrende und Lernende, sowohl zu- wie untereinander Kontaktmöglichkeiten innerhalb eines verbindlichen und überschaubaren Rahmens ergeben. Diese Atmosphäre und die Wertschätzung des handwerklichen Aspekts von Schülerexperimenten erhöhen die Akzeptanz für den Chemieunterricht (vgl. Kapitel 10) und sind nach Einschätzung von Lehrenden wie Lernenden als dem Lernen förderlich anzusehen (vgl. Kapitel 9, 10 und 13).

NOTEN

Die bisher ausgeführten Kriterien für einen günstigen Lernprozeß können unter den derzeit herrschenden Bedingungen von Schule nicht unabhängig von der Notengebung mit ihrem unabweislichen Einfluß auf das Verhalten von Schülerinnen und Schülern gesehen werden. Soll es nicht beim "blinden" Lernen von in Büchern Niedergeschriebenem bleiben, muß auch der eigenständige Umgang der Lernenden mit realitätsbezogenen Experimenten bei der Notengebung berücksichtigt werden. Dabei ist es durchaus denkbar und wohl auch notwendig, gewisse Bereiche (z.B. den handwerklichen) nicht formalisiert zu erfassen, damit den Lernenden weiterhin ein legaler Freiraum im Unterricht verbleibt. Denn würden sämtliche Situationen in die Notenfindung mit einbezogen, so wäre zu befürchten, daß Situationen, die sich für das Unterrichtsklima und damit für Lernen als günstig erwiesen haben, diesen Charakter verlieren.

Abschließend lassen sich die Erkenntnisse dieser Arbeit zu den folgenden *Kriterien für experimentelle Zugänge zur Realität* zusammenfassen:

- Unterrichtsgegenstände und Experimente müssen einen für die Lernenden erfahrbaren Realitätsbezug haben.
- Die Lernenden müssen in den Entwicklungs- bzw. Auswahlprozeß von Experimenten mit einbezogen sein.
- Lehrende und Lernende müssen sich über die mit einem Versuch verbundenen Erwartungen vor seiner Durchführung verständigt haben.
- Das Versuchsergebnis und die zuvor formulierten Erwartungen sind auf jeden Fall reflektierend aufeinander zu beziehen.
- Die Lehrenden müssen sich auf Umwege der Lernenden einlassen und nicht vorschnell ihr Fachwissen einbringen.
- Lehrende und Lernende müssen deutlich machen was sie mit ihren Worten bei einer Versuchsbeobachtung meinen.
- Die Experimente müssen - so weit sicherheitstechnisch verantwortbar - von den Lernenden möglichst eigenständig durchgeführt werden.

- Das Experimentieren der Schülerinnen und Schüler ist - unter derzeitigen Bedingungen von Schule - bei der Notenfestlegung zu berücksichtigen.

Ernsthaft betrieben kann den Schülerinnen und Schülern so deutlich werden, mit welchen Methoden ein Stück dieser Welt wissenschaftlich erklärt werden kann, und welches die Grenzen und Stärken der chemischen Beschreibung sind.

14.2 GRENZEN DER UNTERSUCHUNG UND MÖGLICHE WEITERFÜHRUNGEN

Indem die Themenstellung dieser Arbeit auf Unterricht bezogen ist, sind sowohl die Untersuchungsergebnisse als auch die auf ihrer Basis formulierten abschließenden Thesen einerseits nicht für alle Arten von Experimenten gültig, andererseits läßt sich vorab und für den Kontext von Unterricht kein Set von Versuchen angeben, das die Kriterien für experimentelle Zugänge zur Realität erfüllt. Vielmehr sind die Versuche in der je konkreten Situation, d.h. unter den sie bestimmenden Faktoren, zu entwickeln bzw. auszuwählen und zu modifizieren. Gleichzeitig wird damit praktisch deutlich, daß z.B. Experimente, die erst ab einer gewissen Stufe der Theorieentwicklung möglich sind und in einem vermittelten Sinn durchaus der Wirklichkeitserfassung dienen können, hier nicht betrachtet werden.

Die Untersuchungsergebnisse selbst sind begrenzt zum einen durch die in der Natur eines Dissertationsvorhabens bedingte zeitliche Beschränkung; zum anderen erwies es sich als schwierig, Lehrerinnen und Lehrer zu finden, die bereit waren, über sich selbst und ihren Unterricht Auskunft zu geben, und auch in der Lage waren, die Befragung von Lernenden zu ermöglichen; wobei die Nebenbedingung, daß alle Befragten auch noch über Erfahrungen mit demselben Unterrichtsgegenstand (Luftschadstoffe) verfügen sollten, einschränkend hinzukam.

In den Untersuchungen vollkommen ausgeklammert wurde u.a. die Frage, welche Begriffe die Lernenden von den Stoffen haben, die in ihren Experimenten eine Rolle spielten. Angemerkt sei nur, daß die vorhandenen Dokumente darauf hindeuten, daß etliche Lernende z.B. Schwefel, Schwefeldioxid und schweflige Säure synonym verwenden, da für sie Schwefel als *der* schädigende Stoff schlechthin erscheint. Es war

jedoch auch nicht zu erwarten, daß durch eine relativ kurze Unterrichtseinheit (ohne die Wiederholungen) eine Änderung bereits ausgeprägter Begriffsstrukturen eintreten würde [vgl. hierzu insbesondere die Arbeiten von H. Pfundt]. Auch wurde die Art und Weise der Kommunikation nicht in die Untersuchung mit einbezogen, so daß keine Aussagen zu (evtl. vorhandenen) Problemen des Verstehens sowohl der Lernenden untereinander als auch zwischen ihnen und den Lehrenden möglich sind. Die Dokumente zur Unterrichtsbeobachtung weisen allerdings geschlechtsspezifische Unterschiede in der Kommunikation zwischen Lehrer und Schülern bzw. Schülerinnen auf.

Die oben aufgeführten Kriterien bedürfen auch insoweit der weiteren Absicherung, als ihre Datenbasis auf wenigen Fällen beruht. Dafür kämen, unter Einbeziehung der hier gewonnenen Ergebnisse, auch die leicht zu handhabenden quantifizierenden Verfahren in Frage, die für diese Arbeit ausgeschlossen werden mußten (vgl. Kapitel 8). Gegenstand solcher Untersuchungen könnte die Frage sein, inwieweit sich bei konsequenter Anwendung der Kriterien ein nachhaltiger Lernerfolg einstellt.

Zum anderen gilt es, die Bedingungen genauer zu eruieren, die es Lernenden notwendig erscheinen lassen, über ihre bisherigen Gedankenkonstrukte hinauszugehen, insbesondere wie sie zu den Wissenschaft charakterisierenden Verallgemeinerungen gelangen können. Sicher erscheint in jedem Fall, daß der bisherige (Schau-)Unterricht zu einem realitätsbezogenen Experimentalunterricht weiterentwickelt werden muß, wobei Experimente zum einen häufiger zum Tragen kommen und zum anderen bereits frühzeitig quantitative Elemente beinhalten müssen. Damit wäre es möglich, daß die der Chemie eigentümliche Erfahrungsgrundlage [Arendt] in den Köpfen und Händen der Lernenden *einen* Zugang zu der uns umgebenden Wirklichkeit eröffnen kann.

15. LITERATUR

Abkürzungen:

- CiS : Chemie in der Schule
CU : Der Chemieunterricht
DDS : Die Deutsche Schule
HLZ : Hessische Lehrer Zeitung
IPN : Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften
MNU : Der mathematische und naturwissenschaftliche
Unterricht
NiU : Naturwissenschaften im Unterricht, Physik/Chemie
Soznat : Blätter für soz⁺ Aspekte des naturwissenschaftlichen
Unterrichts
WPB : Westermanns Pädagogische Beiträge
ZfPäd : Zeitschrift für Pädagogik
ZDdPuC : Zur Didaktik der Physik und Chemie

- S.v. AUFSCHNAITER: Lernziele im Visier. In: *physica didactica* **13** (1986), Sonderheft, S. 7 ff
- H.G. ALLROGGEN: Berufs- und Lebenserfahrungen als personaler Orientierungsfaktor für Naturwissenschafts-Unterricht und -Didaktik - dargestellt am Beispiel aus-gewählter Lebens- und Berufsbiographien. 1. Staatsexamensarbeit, Kassel 1984
- ARBEITSKREIS CHEMISCHE INDUSTRIE / KATALYSEGRUPPE KÖLN (Hrsg.): Das Waldsterben. Ursachen, Folgen, Gegenmaßnahmen. Köln 1983
- AG SOZNAT: Bilanz negativ. In: *Wechselwirkung*, H 5, 1980, S. 14 f
- R. ARBINGER: Entwicklung und Veränderung kognitiver Strukturen. Frankfurt/M 1980
- R. ARENDT: Grundzüge der Chemie und Mineralogie. Hamburg 1910¹⁰
- R. ARENDT: Organisation, Technik und Apparat des Unterrichts in der Chemie an niederen und höheren Lehranstalten. Leipzig 1868
- B. ARNDT, P. LANGE, H. OBST, J. TEICHMANN: Chemie 8. Berlin 1981²
- A. BANHOLZER: Die Auffassung physikalischer Sachverhalte im Schulalter. Diss.. Stuttgart 1936

- H. BAUERSFELD: Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklernens und -lehrens. In: Untersuchungen zum Mathematikunterricht, IDM Band 6. Köln 1983
- H.J. BECKER, W. GLÖCKNER, F. HOFFMAN, G. JÜNDEL: Fachdidaktik Chemie. Köln 1980
- S. BERNFELD: Sisyphos oder die Grenzen der Erziehung. Wien 1925
- A. BLUMENTHAL (Hrsg.): M. Knecht: Welt und Leben - eine Sachkunde für Volksschulen, Teil V: Naturlehre. Dortmund 1951
- H. BÖLTS: Wald erkunden, Wald verstehen. Hrsg. von AG Naturwissenschaften sozial (vormals AG Chemie & Physik in der Oberstufe). Marburg 1985
- R. BRÄMER: Die Beliebtheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts als Kriterium für seine Sozialisationswirksamkeit. In: ZfPäd **25** (1979), S. 259 ff, I
- R. BRÄMER: Wissenschaftsorientierung, soziales Lernen oder Chancengleichheit? In: Soznat, H 1, 1979, S. 21 ff, II
- R. BRÄMER: Wissenschaftsorientierung - Notwendigkeit oder Ideologie? In: Soznat, H 2, 1978, S. 3 ff
- R. BRÄMER, A. KREMER: Der unaufhaltsame Aufstieg des naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: Soznat H 2, 1980, S. 3 ff und H4, 1980, S. 6 ff
- A. BRAUN: Umwelterziehung: Wenn Pädagogen träumen ... In: DDS **77** (1985), S. 460 ff
- M. BRAUN: Chemie Sekundarstufe II - Umweltschutz experimentell. München 1974
- R. BRAUNER, M. WEISS: Schülerübungen im Physikunterricht, Anspruch und Wirklichkeit. In: HLZ, H 6, 1984, S. 11 f
- O. BRENNER: Die sozialpolitische Bedeutung des Bildungswesens in der Demokratie. In: HLZ **10** (1957), S. 186 ff
- J. BRUHN: Lernziele des affektiven Bereiches von Unterrichtsmedien. In: H. Schmidt (Hrsg.): ZDdPuC. Hannover 1973, S. 196 ff
- H. BRÜGELMANN: Pädagogische Fallstudien: Methoden-Schisma oder -Schizophrenie. In: D. Fischer (Hrsg.): Fallstudien in der Pädagogik, Aufgaben, Methoden, Wirkungen, Konstanz-Litzelstetten 1982, S. 62 ff
- J. BÜRMAN: Der "typische Naturwissenschaftler" ein intelligenter Versager? In: R. Brämer (Hrsg.): Fachsozialisation im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht, Marburg 1977, S. 33 ff
- H.R. CHRISTEN: Einführung in die Chemie. Frankfurt/M 1981²
- J.A. COMENIUS: Große Didaktik. Hrsg.: A. Flitner. Stuttgart 1985
- F. COPEI: Der fruchtbare Moment im Bildungsprozeß. Heidelberg 1969⁹

- CUNA - AUTORENGRUPPE: Unterrichtsbeispiele zu Natur und Technik in der Sekundarstufe I. Köln 1981
- CUNY (Hrsg.): Grundlagen der Chemie. Hannover 1972⁶
- CUNY (Hrsg.): Chemie, Oberstufe. Hannover 1971²
- CUNY (Hrsg.): Chemie. Hannover 1965³
- K. DAUMENLANG: Physikalische Konzepte junger Erwachsener - Ihre Abhängigkeit von Schule und Familienkonstellation. Diss., Erlangen-Nürnberg 1969
- R. DEMUTH: Schülerexperimente im Unterricht. In: NiU **29** (1981), S. 256 ff und S. 355 ff
- K. DEHNERT, M. JÄCKEL, H. OEHR, U. REHBEIN, H. SEITZ: Allgemeine Chemie. Hannover 1983⁵
- DEUTSCHER BILDUNGSRAT: Empfehlungen der Bildungskommission, Strukturplan für das Bildungswesen. Stuttgart 1971
- J. DEWEY, W.H. KILPATRICK: Der Projektplan, Grundlegung und Praxis. Weimar 1935
- R. DUIT: Änderungen von Alltagsvorstellungen durch Physikunterricht. In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1983, S. 153 ff
- R. DUIT: Können Schüler der Sekundarstufe I physikalische Fachbegriffe erlernen? In: H. Härtel (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1981, S. 82 ff
- F. ENGELS: Anti-Dühring. MEW Bd. 20, Berlin 1972
- D. FISCHER (Hrsg.): Fallstudien in der Pädagogik, Aufgaben, Methoden, Wirkungen. Konstanz-Litzelstetten 1982
- D. FISCHER (Hrsg.): Lernen am Fall, zur Interpretation und Verwendung von Fallstudien in der Pädagogik. Konstanz-Litzelstetten 1983
- W. FISCHER: Einführung in die Chemie - Chemie für Gymnasien. Bamberg 1977
- W. FLÖRKE, F. FLOHR: Methode und Praxis des chemischen Unterrichts. Heidelberg 1969
- R. FRANIK: Chemie - Sekundarstufe I. München 1980
- G. FREISE: Chemie in der Schule - Zur Problematik des naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: DDS **61** (1969), S. 139 ff
- G. FREISE: Das Leben - die Naturwissenschaften - die Schüler. In: H. Härtel (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1981, S. 38 ff
- G. FREISE: Überlegungen zum Begriff und zur Funktion des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: chimica didactica **9** (1983), S. 33 ff
- G. FREISE: - Lernbereich Natur. Manuskript 1986

- J. FRIEDRICHS, H. LÜDTKE: Teilnehmende Beobachtung. Weinheim, Basel 1973²
- G. GALILEI: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend, erster bis sechster Tag, Arcetri, 6. März 1638. Hrsg. von A. v. Oettingen. Darmstadt 1973
- R. GEORGE: Experimente im Chemieunterricht: Teil 1: Ideologie oder Notwendigkeit? In: *chimica didactica* **14** (1988), S. 89 ff, I
- R. GEORGE: Experimente im Chemieunterricht: Teil 1: Ernst oder Unterhaltung? In: *chimica didactica* **14** (1988), S. 164 ff, II
- R. GEORGE, A. HENNEMUTH; D. MEINECKE, L. STÄUDEL: Erfahrungen mit einem Schulprojekt. projektbrief 15, Hrsg. von projektkoordination - kassel. Kassel 1978
- R. GEORGE, D. MEINECKE, L. STÄUDEL: Sonnendusche und Wärmepumpe. Unterrichtseinheit Nr. 14 des Modellversuchs "Umweltschutz als Erziehungsaufgabe" (AV A 5683). Kassel 1981
- E. GREB, A. KEMPER, G. QUINZLER: umwelt chemie. Stuttgart 1981³
- R. GRIESHAMMER: Letzte Chance für den Wald? Die abwendbaren Folgen des Sauren Regens. Freiburg 1983
- K.H. GROTHE (Hrsg.): Chemie. Hannover 1976
- U. HAEBERLIN: Empirische Analyse und pädagogische Handlungsforschung. In: *ZfPäd* **21** (1975), S. 653 ff
- W. HAFERKORN: Mit eigener Kraft, Fachband Naturlehre. Stuttgart o.J. (ca. 1955)
- K. HAHNE: Fruchtbare Lernprozesse in Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft. Marburg 1984
- E. HALBERSTADT, T. WÄLTERMANN, A. de BRUNN-DUBOTER, W. GEILENKEUSER: Chemie für Mittelschulen, Ausgabe A für Jungenschulen. Frankfurt/M 1942
- E. HALBERSTADT, T. WÄLTERMANN, F. JUNG, W. Arndt: Chemie für Mittelschulen und Realschulen. Frankfurt/M 1962⁶
- K. HAMERAK: Rettet die Entschwefelung unsere Wälder? Zielkonflikt zwischen Wachstum und Lebensqualität. In: *technik heute*, H 2, 1985, S. 34 ff
- K.O. HAMMER, H. WAMBACH, H. WÖHRMANN (Hrsg.): Das Experiment im Chemieunterricht. In: *CU*, H 2 (Sonderheft), 1984
- G. HARBECK: Forschung im Bereich des Naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: K. Ingenkamp, E. Porey (Hrsg.): *Handbuch der Unterrichtsforschung Teil III*. Weinheim, Berlin, Basel 1971, S. 3085 ff
- K. HAUBOLD: Und Haubold hat nicht aufgepaßt. In: *Soznat* H 5, 1979, S. 22 ff

- K. HÄUSLER: Natur und Technik, Chemie, Gesamtausgabe. München 1971
- K. HÄUSLER: Experiment - Theorie - Wirklichkeit. In: NiU **29** (1981), S. 221 ff
- K. HÄUSLER, H. SCHMIDKUNZ: Natur und Technik, Chemie, Neue Ausgabe. München 1983
- M. HEIDELBERGER: Die Rolle der Erfahrung in der Entstehung der Naturwissenschaften im 16. und 17. Jahrhundert: Experiment und Theorie. In: M. Heidelberger, S. Thiesen: Natur und Erfahrung - Von der mittelalterlichen zur neuzeitlichen Naturwissenschaft. Reinbek 1981
- T. HEINZE: Methodologische und pragmatische Aspekte einer basisorientierten, schulfeldbezogenen Untersuchungs- und Entwicklungsarbeit. In: Beiträge zur Bildungstechnologie, H 3, 1972, S. 4 ff
- K. HEIPCKE, R. MESSNER, B. HAUCK, D. OINKE, J. SCHALES: Studien zur Entstehung und Aneignung von Unterrichtsinhalten. Kassel 1983
- W. HELSPER: Jugendliche Motivationskrise und schulisches Lernen. In: A. Kremer, L. Stäudel (Hrsg.): Praktisches Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht - Bedeutung, Grenzen, Möglichkeiten. Marburg 1987, S. 84 ff
- HENNIGER, W. FRANCK: Chemie 2. Stuttgart 1954⁵
- HENNIGER, W. FRANCK: Lehrbuch der Chemie für höhere Lehranstalten. Stuttgart 1955
- HENNIGER, W. FRANCK: Lehrbuch der Chemie. Stuttgart 1971⁵
- DER HESSISCHE KULTUSMINSTER (Hrsg.): Rahmenrichtlinien Chemie (RRL). Frankfurt/M 1976
- DER HESSISCHE KULTUSMINSTER (Hrsg.): Kursstrukturpläne (KSP), Gymnasiale Oberstufe, Aufgabenfeld III, 4. Chemie, verbindliche Erprobung ab 1.8.1979
- HESSISCH-NIEDERSÄCHSISCHE ALLGEMEINE: vom 5.9.1986: Kluge klüger - Dumme dümmer
- A.N.J. den HOLLANDER: Soziale Beschreibung als Problem. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie **17** (1965), S. 201 ff
- IPN (Hrsg.): H. Pfundt, W. Dierks, W. Mardes: IPN-Lehrgang: Stoffe und Stoffumbildungen - 1. Teil: Ein Weg zur Atomhypothese, Lehrbuch. Kiel 1979
- IPN (Hrsg.): H. Pfundt, W. Dierks, W. Mardes: IPN-Lehrgang: Stoffe und Stoffumbildungen - 2. Teil: Von der Atomhypothese zur Kern-Elektron-Hypothese, Unterrichtsbeschreibung. Kiel 1982
- D. JÄCKEL: Warum ist das Experimentieren der Schüler unersetzbar? In: CiS **32** (1985), S. 31 ff

- O. JAKOB, W. HOFFMANN: Organische Chemie. Bamberg 1982⁶
- E. JUST: Den Chemieunterricht offener gestalten! Binnendifferenzierung im Chemieunterricht? In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZdPuC. Alsbach 1986, S. 142 ff
- E. JUST: Soll und kann Chemieunterricht offener gestaltet werden? In: H. Wiebel (Hrsg.): ZdPuC. Alsbach 1988, S. 188 ff
- E. KAESER: Naturwissenschaft als Geheimwissen. Die esoterische Seite der Naturwissenschaft. In: Soznat H 1, 1986, S. 14 ff
- KAMPS Neues Realienbuch für Schule und Haus - Ausgabe 1941. Bochum o.J.
- KATALYSE UMWELTGRUPPE (Hrsg.): Umweltlexikon. Köln 1985
- O.F. KANITZ: Kämpfer der Zukunft, für eine sozialistische Erziehung. Hrsg. von L. von Werder. Frankfurt/M 1970
- A. KEMPER, R. FLADT: Chemie A. Stuttgart 1973
- G. KERSCHENSTEINER: Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Leipzig 1914
- G. KELLER K. FREYTAG: Stoffe und Modelle. Frankfurt/M 1982
- H. KEUNE: Grundriß der allgemeinen Methodik des Chemieunterrichts. Berlin 1963
- A. KOHUT: Justus von Liebig. Gießen 1903
- L. KOTTER: Das Experiment im Chemieunterricht. München 1975
- H. KRAUSE: Von der Luft und dem Feuer. In: WPB **16** (1964), S. 10 ff
- A. KREMER: Naturwissenschaftlicher Unterricht und Standesinteresse - Zur Professionalisierungsgeschichte der Naturwissenschaftslehrer an höheren Schulen. Marburg 1985
- G. KRUMMHEUER: Algebraische Termumformungen in der Sekundarstufe I, Materialien und Studien des IDM Bd. 31. Bielefeld 1983
- T.S. KUHN: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt/M 1967
- A. KÜNZLER, G. SIEMON: Naturlehre in einfachen Versuchen. Hannover 1952
- M. LEHRKE, L. HOFFMANN: Weniger Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern. In: IPN-Blätter Nr. 3/1984, S. 1 f
- H. LENNÉ: Analyse der Mathematikdidaktik in Deutschland. Stuttgart 1969
- W. LEVIN, W. BRIECKE: Methodischer Leitfaden der Chemie und Mineralogie - für höhere Mädchenschulen sowie für den Anfangsunterricht an Studienanstalten. Berlin 1909
- J. VON LIEBIG: Der Zustand der Chemie in Preußen. In: Analen der Chemie und Pharmacie **34** (1840), S. 97 ff
- J. VON LIEBIG: Chemische Briefe. Leipzig, Heidelberg 1865⁵

- J. VON LIEBIG: Reden und Abhandlungen. Leipzig, Heidelberg 1874
- J. VON LIEBIG: Eigenhändige biographische Aufzeichnungen. Mitgeteilt von G. von Liebig. In: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft. Gießen 1890, S. 817 ff
- S. LIESERING, L. STÄUDEL: Hausmüll. Hrsg. von AG Naturwissenschaften sozial. Marburg 1987
- W. LUDWIG, F. GOETZE, W. GLÖCKNER: Anorganische Chemie. Bamberg 1975
- H. LÜTHJE, GALL, O. REUBER: Lehrbuch der Chemie - für höhere Lehranstalten, Bd. I, Unterstufe. Frankfurt/M, 1956⁸
- H. LÜTHJE, GALL, O. REUBER: Lehrbuch der Chemie für Gymnasien, Einbändige Ausgabe. Frankfurt/M 1971⁵
- H. LÜTHJE, GALL, O. REUBER: Lehrbuch der Chemie, Anorganische und allgemeine Chemie. Frankfurt/M, Aarau o.J. (ca. 1981)
- F. MEHLER: Jugendgenerationen der letzten 30 Jahre im Vergleich. In: DDS 77, (1985), S. 492 ff
- H. MENGERINGHAUSEN, K. NOTHOLT, F.D. OHNEZAT, F. RIESS: Das Energieproblem Erfahrungen mit einem an den Schülerinteressen orientierten Physikgrundkurs in der Sekundarstufe II. In: H. Härtel (Hrsg.): ZDdPuC. Hannover 1980, S. 59 ff
- R. MESSNER: Didaktische Planung und Handlungsfähigkeit. In: A. Garlichs, K. Heipcke, R. Messner, H. Rumpf (Hrsg.): Didaktik offener Curricula. Weinheim 1976², S. 9 ff
- E. MEULER: Wie lassen sich selbstbestimmte Lernprozesse gestalten? In: K. Bergmann, G. Frank (Hrsg.): Bildungsarbeit mit Erwachsenen. Reinbek 1977, S. 225 ff
- G. MEYENDORF, W. JÖRICKE, W. EISENHUTH: Chemie 7. Berlin 1983¹³
- G. MEYENDORF: Einfache Schulexperimente - Ein Arbeitsbuch für Schüler. Thun, Frankfurt/M 1985
- MEYERS GROSSES TASCHENLEXIKON, 24 Bd. Mannheim 1981
- M. MINSSEN: Der sinnliche Stoff - Vom Umgang mit der Materie. Stuttgart 1986
- M. MITTAG, H. SCHÄFER: Stoffkunde (Chemie und Mineralogie). In: K.O. Beetz, A. Rude: Aus der Praxis der Arbeitsschule. Osterwieck/Harz, Leipzig, 1922^{3 bis 4}, S. 368 ff
- A. MOHNEN: Maßnahmen gegen den sauren Regen. In: Spektrum der Wissenschaft, H 10, 1988, S. 82 ff
- H. MUCKENFUSS: Kritische Bemerkungen zur etablierten Form des Schulexperiments aus psychologischer und methodologischer Sicht. In: physica didacta 6 (1979), S. 62 ff
- E. NAUMANN: Arbeiterkinder lernen im Umgang mit Natur und Technik. Marburg 1980

- O. NEGTE: Marxismus und Arbeiterbildung - Kritische Anmerkungen zu meinen Kritikern. In: A. Brock, H.D. Müller, O. Negt (Hrsg.): Arbeiterbildung. Reinbek 1978, S. 43 ff
- G. NOLTE: Fähnchen im Wind - Zur Nachwuchsentwicklung in den Ingenieurwissenschaften. In: Soznat H 4, 1892, S. 107 ff
- G. NOLTE, R. BRÄMER: Chaos ohne Subjekt - Bildungszielvorstellungen akademischer Lehrerstudenten. In: R. Brämer, G. Nolte, P. Tillmanns (Hrsg.): Zwischen Wissenschaft und Gesellschaft - Zur Typologie naturwissenschaftlicher Studenten, Marburg 1980
- W. NÜMANN: Schülerübungen zwischen Aufwand und Ertrag. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik/Chemie **34** (1985), S. 42 ff
- DER NIEDERSÄCHSISCHE KULTUSMINISTER (Hrsg.): Bestandsaufnahme Schulberatung, Klassen 7 - 10 an den Gymnasien. Hannover 1987
- W. NIMMERRICHTER, A. WALZ: Kraft und Stoff, Arbeits- und Lehrbuch der Physik und Chemie für Volksschüler. Stuttgart o.J. (ca. 1965)
- NUFFIELD CHEMIE: Unterrichtsmodelle für das 5. und 6. Schuljahr, Grundkurs Stufe 1. Heidelberg 1974
- NUFFIELD CHEMIE: - Unterrichtsmodelle, Grundkurs, Stufe 2 (Teil 1). Heidelberg 1978
- NUFFIELD CHEMIE: - Unterrichtsmodelle, Grundkurs, Stufe 2 (Teil 2). Heidelberg 1978
- OBERKOMMANDO DER WEHRMACHT (Hrsg.): Weg zur Reifeprüfung, 5. Teil Naturwissenschaften, Biologie - Chemie - Physik, 75. Sammelband der Schriftenreihe "Soldatenbriefe zur Berufsförderung". Breslau 1943
- I.G. PAUST: Kleine Physik, Chemie und Mineralogie - Stoffe für den Unterricht in den Realien in schulgemäßer Form. Breslau 1895
- H. PFUNDT: Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge. In: MNU **28** (1975), S. 157 ff
- H. PFUNDT: Das Atom - letztes Teilungsstück oder erster Aufbaustein? In: H. Härtel (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1981, S. 85 ff
- H. PFUNDT: Vorunterrichtliche Vorstellungen von stofflichen Veränderungen. In: chimca didactica **8** (1982), S. 161 ff
- PHYWE NACHRICHTEN Nr. 149/85, S. 3: Ermittlung der Bruttoformeln gasiger Kohlenwasserstoffe mit dem "Stillen Eudiometer"
- J. PIAGET, B. INHELDER: Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden. Freiburg/Brsg. 1977
- PINC (PROJEKTGRUPPE INTEGRIERTES NATURWISSENSCHAFTLICHES CURRICULUM): Natur und Produktion im Unterricht. Weinheim, Basel 1978

- R. PLÖTTNER: Naturlehre für die Volksschule. München o.J., 3. neubearb. Aufl.. Genehmigt durch Office of Military Government for Germany (US) am 29.1.1947
- J. PUKIES: Das Verstehen der Naturwissenschaften. Braunschweig 1979
- W. QUITZOW: Naturwissenschaften und Weltbild im Unterricht. In: DDS **73** (1981), S. 284 ff
- H. RAABE: Führen der Schüler zum selbständigen Entwickeln von Experimentieranordnungen. In: CiS **28** (1981), S. 6 ff
- C. RAEBIGER: Hazwei - Ozwei - Entzwei - Laienpredigt auf ein didaktisches Sündenregister - o d e r - Plädoyer für einen genetischen Chemieunterricht. In: K.H. Wiebel (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1988, S. 171 ff
- V. REISS: Fachspezifische Sozialisation in der Ausbildung von Gymnasiallehrern mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern. In: Neue Sammlung H 4, 1975, S. 298 ff
- R. RIEKENS: Untersuchungen zum Schülerverhalten beim Experimentieren im Chemieunterricht. In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1982, S. 154 ff
- R. RIEKENS, S. AHRIEN, D. KRUMMLAND: Funktion und Begründung von Experimenten im Chemieunterricht. In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1985, S. 111 ff
- F. RIESS: Zur materialistischen Geschichtsschreibung des naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: M. Ewers (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und naturwissenschaftlicher Unterricht. Bad Salzdetfurth 1978, S. 105 ff
- F. RIESS: Experimentieren im Unterricht - eine verpaßte Chance. In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1985, S. 170 ff
- E. ROSSA: Untersuchungen über die Beschaffenheit, den Erziehungswert und den Einsatz chemischer Unterrichtsversuche. Diss., Potsdam 1959
- E. ROSSA, B. ARNDT, K. BRADL, H. BOECK, R. BRAUER, D. JÄCKEL, B. JANKE, G. KAISER, A. KLEIN, R. KUHNERT, R. KÜHNL, P. LANGE, G. MEYENDORF, R. NEUNHERZ, H. OBST, H. REICHE, U. REIMANN, W. RENNEBERG, L. SCHENK, J. TEICHMANN, G. WEGNER: Methodik Chemieunterricht. Berlin 1977
- R. SANDER: Zusammenhang zwischen der Komplexität von Versuchsaufbauten und deren Bevorzugung durch die Schüler der Sekundarstufe I. In: CU H 2, 1984, S. 54 ff
- J. SCHALES: Zur Frage der Erkenntnis bei Galileo Galilei. In: G. Heinemann (Hrsg.): Nebenwege - der Naturphilosophie und Wissenschaftsgeschichte, Kasseler Philosophische Schriften Bd. 17. Kassel 1987

- V. SCHARF: Zum Bildungsbeitrag von Experimenten im Chemieunterricht. In: CU, H 2, 1984, S. 13 ff
- H. SCHECKER: Schülervorstellungen zur Mechanik. Eine Untersuchung in der Sekundarstufe II unter Einbeziehung historischer und wissenschaftlicher Aspekte. Diss., Bremen 1985
- K. SCHEID: Methodik des chemischen Unterrichts. Leipzig 1913
- K. SCHEID: Leitfaden der Chemie, Unterstufe der Gesamtausgabe. Leipzig 1928⁸, I
- K. SCHEID: Leitfaden der Chemie, Oberstufe der Gesamtausgabe. Leipzig 1928⁶, II
- H.P. SCHIER: Einstellungstendenzen zur Physik und zum Physikunterricht; eine Befragung von 234 Realschülern in Düsseldorf. In: NiU **26** (1978), S. 97 ff
- A. SCHLEIP: Beiträge zur Geschichte des Chemieunterrichts an allgemeinbildenden Schulen von den ersten Anfängen bis zu Beginn des 2. Weltkriegs. Diss., Frankfurt/M 1970
- H. SCHMIDKUNZ: Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungspsychologischen Erkenntnissen. In: NiU **31** (1983), S. 360 ff
- H.SCHMIDKUNZ, H. LINDEMANN: Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. München 1976
- H.J. SCHMIDT: Grundlagen des Chemieunterrichts. Braunschweig 1981
- M. SCHMIDT: Chemie. Düsseldorf 1972
- W. SCHMIDT (Hrsg.): Von "Abwasser" bis "Wandern" - Ein Wegweiser zur Umweltgeschichte. Hamburg 1986
- F. SCHREWE, J. SCHMITZ: Physikkenntnisse der Erwachsenen. In: physica didacta **10** (1983), S.89 ff
- F. SCHÜTZE: Die Technik des narrativen Interviews in Interaktionsfeldstudien - dargestellt an einem Projekt zur Erforschung von kommunalen Machtstrukturen. In: Arbeitsberichte und Forschungsmaterialien Nr. 1 der Universität Bielefeld, Fakultät für Soziologie. Manuskript 1977
- F. SCHÜTZE: Kognitive Figuren des autobiographischen Stegreiferzählens. Manuskript, Kassel 1983
- H. SCHWEDES: Affektive Erziehung im Physikunterricht. In: H. Schmidt (Hrsg.): ZDdPuC. Hannover 1973, S. 170 ff
- A. SENNER: Naturkunde auf der Grundlage von Haus und Herd. Frankfurt/M 1922

- W. SPENGLER: Thesenpapier zur Situation des Experimentalunterrichts in den Naturwissenschaften. In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1983, S. 28
- L. STÄUDEL: Saurer Regen. Hrsg. von AG Chemie & Physik in der Oberstufe. Marburg 1984²
- L. STÄUDEL: "Krise ist ja nichts Negatives", Marburg 1986
- L. STÄUDEL: Projekte aus Schülersicht. In: A. Kremer, L. Stäudel (Hrsg.): Praktisches Lernen im Naturwissenschaftlichen Unterricht - Bedeutung, Möglichkeiten, Grenzen. Marburg 1987, S. 17 ff
- L. STÄUDEL, R. GEORGE: Unterrichtsprojekt: Verpackung. In: H. Härtel (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1981, S. 133 ff
- L. STENHOUSE: Pädagogische Fallstudien: Methodische Traditionen und Untersuchungsalltag. In: D. Fischer (Hrsg.): Fallstudien in der Pädagogik, Aufgaben, Methoden, Wirkungen. Konstanz-Litzelstetten 1982, S. 24 ff
- C. STEUBING, C.H. KUNZE, M. SCHMIDT: Luftverschmutzung und Waldsterben, Teil 2, Immissionsexperimente. Frankfurt/M 1986
- B. STICKELMANN: Analyse des schulischen Lernfeldes: theoretische Überlegungen und methodischer Ansatz. In: Beiträge zur Bildungstechnologie, H 3, 1972, S. 17 ff
- F. STIEHL: Die drei Preußischen Regulative vom 1., 2. und 3. Oktober 1854. Berlin 1854
- W. STRUBE: Der historische Weg der Chemie, Band I. Leipzig 1976
- W. STRUBE: Der historische Weg der Chemie, Band II. Leipzig 1981
- F. STÜCKRATH: Die Anfänge der Chemie im Weltbild des Kindes. In: WPB 5, 1953, S. 403 ff
- J. TEICHMANN: Wandel des Weltbildes. München 1980
- J. TEICHMANN: Die Rekonstruktion historischer Modelle und Experimente für den Unterricht - drei Beispiele. In: Physik und Didaktik 4 (1979), S. 267 ff
- E. TODT (Hrsg.): Motivation: Eine Einführung in Probleme Ergebnisse und Anwendungen. Heidelberg 1977
- E. TODT, B. HÄNDEL: Analyse der Kontextabhängigkeit von Physikinteressen. In: MNU 41 (1988), S. 137 ff
- UMWELT Nr. 8/1988, S. 315 ff: 4. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung vorgelegt
- UMWELTBUNDESAMT: Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid. Berlin 1980
- D. VÖLCKER, A. SCHLEIP (Hrsg.): beobachten, experimentieren, erklären, anwenden - Physik und Chemie für Hauptschulen. Frankfurt/M 1966⁷

- M. WAGENSCHHEIN: Verstehen lehren, Weinheim 1976⁶
- M. WAGENSCHHEIN: Naturphänomene sehen und verstehen. Stuttgart 1980
- W. WALGENBACH: Ansätze zu einer Didaktik ästhetisch-wissenschaftlicher Praxis, Weinheim 1979
- K. WELTNER, K. WARNKOSS: Über den Einfluß von Schülerexperimenten, Demonstrationsunterricht und informierenden Physikunterricht auf Lernerfolg und Einstellung der Schüler. In: DDS **61** (1969), S. 453 ff
- K. WELTNER, H. LIEBIG, D. HALBOW, U. MAICHLE, H. REITZ, H. SCHÖNFELD: Das Interesse von Jungen und Mädchen an Physik und Technik. In: NiU **27** (1979), S. 321 ff
- K. WELTNER, V. HILDEBRANDT, B. KAISER: Schülerinteressen und ihre Veränderungen durch Unterricht. In: H. Mikelskis (Hrsg.): ZDdPuC. Alsbach 1986, S. 165 ff
- R. WINDERLICH: Chemie, Bd. 15 des Handbuch des Unterrichts an höheren Schulen. Hrsg. von K. Roller. Frankfurt/M 1928
- R. WINDERLICH: Lehrbuch der Chemie für höhere Lehranstalten, Teil I - Unterstufe. Braunschweig 1928
- R. WINDERLICH, W. PETER: Lehrbuch der Chemie - für höhere Lehranstalten. Braunschweig 1957²
- DIE ZEIT: vom 15.1.1988: Europas kranke Wälder
- DIE ZEIT: vom 18.11.1988: Jetzt auch Eichen betroffen
- K. ZIETZ: Kind und physische Welt. München 1955
- J. ZINNECKER: Die Schule als Hinterbühne oder Nachrichten aus dem Unterleben der Schüler. In: G.B. Reinert, J. Zinnecker (Hrsg.): Schüler im Schulbetrieb: Berichte und Bilder vom Lernalltag, von Lernprozessen und vom Lernen in den Pausen. Reinbek 1978, S. 29 ff

16. INHALTSVERZEICHNIS DES ANHANGBANDES

| | | |
|-----|--|-----|
| 1. | Vorwort | 1 |
| 2. | Berichte von Lehrerinnen und Lehrern | |
| 2. | Lehrer an einer Hauptschule | 2 |
| 2.2 | Lehrer an einer additiven Gesamtschule | 10 |
| 2.3 | Lehrer an einem Gymnasium | 16 |
| 2.4 | Lehrerin an einer integrierten Gesamtschule | 21 |
| 2.5 | Lehrer an einem Oberstufengymnasium | 28 |
| 3. | Berichte von Schülerinnen und Schülern | |
| 3.1 | Hauptschüler/innen (Klasse 9) | 35 |
| 3.2 | Gesamtschüler/innen (Klasse 9, IGS) | 44 |
| 3.3 | Gesamtschüler/innen (Klasse 9 H/R, AGS) | 51 |
| 3.4 | Gesamtschüler/innen (Klasse 11, IGS) | 57 |
| 3.5 | Gymnasialschüler/in (Klasse 12) | 74 |
| 3.6 | Leistungskursschüler/innen (Klasse 13) | 86 |
| 3.7 | Gesamtschüler/innen (Klasse 10g, AGS) | 98 |
| 4. | Protokolle von 18 Chemiestunden einer 10. Gymnasialklasse einer additiven Gesamtschule | 108 |

Der Anhangband kann bei der Dokumentationsstelle der Gesamthochschulbibliothek in Kassel entliehen werden.

Inhalt

Vermehrtes Experimentieren im Chemieunterricht, so die zentrale These dieser Untersuchung, kann solange keine positiven Effekte für Lernende und Lehrende zeitigen, wie die didaktischen Begründungen dafür nicht zum Gegenstand der Reflexion gemacht werden. Befragungen von Chemielehrerinnen und -lehrern sowie deren Schüler geben Aufschluß über jene realen Motive für den Einsatz von Experimenten, die sich als querstehend zu den überkommenen Standardlegitimationsmustern erweisen.

Ausgehend von der sozialen Bedeutung des Experimentierens für die Beteiligten und von den Möglichkeiten, mit wissenschaftlichen Ansätzen eine aufgeklärte Welt- und Problemsicht zu erarbeiten, begründet der Autor Kriterien für eine neue Praxis eines tätigkeitsorientierten Chemieunterrichts.