

Hans-Dieter Barke
Günther Harsch

Chemiedidaktik *kompakt*

Lernprozesse in Theorie
und Praxis



Springer

Chemiedidaktik kompakt

Hans-Dieter Barke · Günther Harsch

Chemiedidaktik kompakt

Lernprozesse in Theorie und Praxis

 Springer

Prof. Dr. Hans-Dieter Barke
Westf. Wilhelms-Universität Münster
Institut für Didaktik der Chemie
Fliegerstr. 21
48149 Münster
Deutschland
barke@uni-muenster.de

Prof. Dr. Günther Harsch
Westf. Wilhelms-Universität Münster
Institut für Didaktik der Chemie
Fliegerstr. 21
48149 Münster
Deutschland
harsch@uni-muenster.de

Verkürzte Ausgabe des Titels „Chemiedidaktik Heute“ von Barke/Harsch, 978-3-540-41725-5, Springer 2001

ISBN 978-3-642-20219-3 e-ISBN 978-3-642-20220-9
DOI 10.1007/978-3-642-20220-9
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

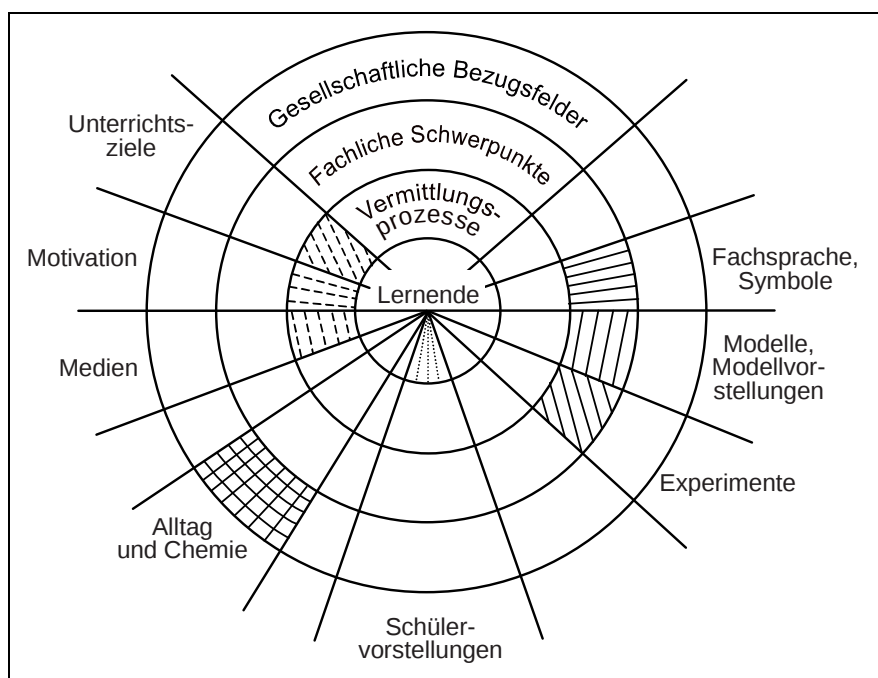
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: KünkelLopka GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort



Es ist nicht einfach, Inhalte der Chemiedidaktik übersichtlich anzuordnen: Themen wie *Unterrichtsziele*, *Schülervorstellungen*, *Motivation*, *Medien*, *Experimente*, *Modelle*, *Fachsprache und Symbole* oder *Chemie im Alltag* sind vielfältig miteinander verflochten und bauen nicht linear aufeinander auf. In unseren Vorlesungen und Seminaren hat sich als Organisationsstruktur ein **Tortenschema** (vgl. Bild) bewährt. Zu jeder Thematik werden Fragen und Probleme auf bestimmten Reflexionsebenen diskutiert: *Lernende*, *Vermittlungsprozesse*, *fachliche Schwerpunkte*, *gesellschaftliche Bezugsfelder*. Die gemäß dem Tortenschema zu den einzelnen Themen ausgeführten fachdidaktischen Analysen, Reflexionen und Empfehlungen weisen immer auch viele **Beispiele aus der Unterrichtspraxis** auf.

Mit dieser Art der Gliederung soll deutlich werden, dass keine bestimmte Reihenfolge der Themen festliegt und weitere Themen in das Tortenschema passen. So ist gewährleistet, dass Kollegen und Kolleginnen, die ihre Studierenden ebenfalls auf dieser Grundlage ausbilden wollen, ihre eigenen Vorstellungen mit den hier vorgeschlagenen Inhalten verknüpfen können. Dieses Konzept hat mit unserem 2001 erschienenen, jedoch derzeit vergriffenen Lehrbuch „Chemiedidaktik Heute“ sehr viel Anklang gefunden.

Der nun vorliegende, auszugsweise Nachdruck aus diesem Lehrbuch stellt mit den acht grundlegenden Themen zur Chemiedidaktik (vgl. „Tortenstücke“ im Bild) einen kompakten Überblick über das Grundwissen der Chemiedidaktik dar. Am Ende einer jeden Thematik werden *Übungsaufgaben* angeboten: Lehrende können mit ihnen das Seminar beginnen oder abschließen, Studierende können prüfen, inwieweit sie Inhalte erfolgreich verarbeitet haben. Auch wenn der unveränderte Text beispielsweise noch nicht die verkürzte Gymnasialzeit berücksichtigt und teilweise auf weitere Kapitel (11 bis 18) unseres Lehrbuchs „Chemiedidaktik Heute“ verweist, so haben doch die dargestellten Grundzüge der Chemiedidaktik nach wie vor Gültigkeit.

Des Weiteren sind *Vorschriften zu den Experimenten* enthalten, die während der Vorlesung demonstriert werden, um angesprochene Beispiele aus dem Chemieunterricht zu konkretisieren. Für erfahrene Experimentatoren sind die Vorschriften ausreichend und es kann direkt auf dieser Grundlage experimentiert werden. Leser mit geringen Vorkenntnissen sollten die Spezialliteratur zur experimentellen Schulchemie konsultieren und auch die Sicherheitsbestimmungen studieren – vorliegende Vorschriften enthalten nur kurze Sicherheits- und Entsorgungshinweise für problematische Substanzen (vgl. auch Ausführungen in Kapitel 5). In einem *Begleitpraktikum* zur Vorlesung bieten wir unseren Studierenden die Möglichkeit an, einen großen Teil der vorgeschlagenen Experimente auch selbst durchzuführen. Da sie die Versuche in der Vorlesung kennen gelernt haben, sind sie erfahrungsgemäß in der Lage, sie selbständig umzusetzen und Variationen auszuprobieren.

In vielen Gesprächen mit Studentinnen und Studenten des Chemielehramts, mit Chemielehrerinnen und Lehrern, mit Fachleitern der Studienseminare und Dozenten der Universitäten kam zum Ausdruck, dass diese Kapitel der Chemiedidaktik gern zur Grundlage von Seminaren gemacht worden sind. In der Hoffnung, dass auch die vorliegende, kompakte Fassung der Chemiedidaktik bei vielen Lesern gut ankommt, wünschen wir viel Muße und Freude bei der Lektüre!

Inhaltsverzeichnis

Einführung in das „Tortenschema“ zur Chemiedidaktik .. 1

1 Schülervorstellungen 9

1.1	Fachliche Schwerpunkte – Theorien aus der Geschichte der Naturwissenschaften	11
1.2	Lernende – Empirische Hinweise auf Schülervorstellungen	15
1.3	Vermittlungsprozesse – Berücksichtigung der Schülervorstellungen	22
1.4	Gesellschaftliche Bezugsfelder – Schülervorstellungen und Umgangssprache	24
	Literatur	24
	Übungsaufgaben zu „1 Schülervorstellungen“	25
	Experimente zu „1 Schülervorstellungen“	26

2 Motivation..... 35

2.1	Lernende – Entwicklungsstand, Einstellungen und ursprüngliche Vorstellungen.....	36
2.2	Vermittlungsprozesse – Möglichkeiten zum Aufbau sachbezogener Motivation	38
2.3	Fachliche Schwerpunkte – experimentelle Fertigkeiten	44
2.4	Gesellschaftliche Bezugsfelder – Motivation durch Alltagssprache und Medien	45
	Literatur	47
	Übungsaufgaben zu „2 Motivation“	47
	Experimente zu „2 Motivation“	48

3 Unterrichtsziele..... 55

	Allgemeindidaktische Einführung	56
3.1	Gesellschaftliche Bezugsfelder – Richtlinien und Lehrpläne	61
3.2	Lernende – kognitive Entwicklung, Präkonzepte, Einstellungen, Interessen	65
3.3	Fachliche Schwerpunkte – Chemieunterricht als Spiralcurriculum ...	68
3.4	Vermittlungsprozesse – Methodenvielfalt zur Realisierung von Unterrichtszielen	72
	Literatur	77
	Übungsaufgaben zu „3 Unterrichtsziele“	78
	Schema für einen Unterrichtsentwurf (Vorschlag)	78

4 Medien	79
4.1 Vermittlungsprozesse – Vielfalt der Medien für den Chemieunterricht	81
4.2 Fachliche Schwerpunkte – sachliche Angemessenheit von Medien	90
4.3 Lernende – Medien und Abstraktionsfähigkeit.....	92
4.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – Massenmedien	95
Literatur	96
Übungsaufgaben zu „4 Medien“	97
Experimente zu „4 Medien“	97
5 Experimente	103
5.1 Fachliche Schwerpunkte – Experimente, Experimentierfähigkeiten, Sicherheit.....	104
5.2 Vermittlungsprozesse – Funktionen, Auswahlkriterien und Formen des Experiments	111
5.3 Lernende – Spieltrieb und Neugierverhalten, experimentelle Fertigkeiten	118
5.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – Umwelt- und Alltagsbezüge, historische Entwicklungen	119
Literatur	121
Übungsaufgaben zu „5 Experimente“	121
Praktikum zu „5 Experimente“	122
Experimente zu Alkalimetallen.....	123
6 Modelle, Modellvorstellungen	135
6.1 Fachliche Schwerpunkte – Modelle und deren Funktionen	137
6.1.1 Modellbegriff und Erkenntnis in den Naturwissenschaften.....	137
6.1.2 Denkmodelle in der Chemie.....	141
6.1.3 Anschauungsmodelle in der Chemie	142
6.2 Vermittlungsprozesse – Modelle und deren fachdidaktische Funktionen	145
6.2.1 Vermittlung chemischer Sachverhalte durch Modellvorstellungen.....	146
6.2.2 Anpassung und Erweiterung von Modellen im Chemieunterricht.....	148
6.2.3 Weitere Funktionen von Modellen und Modellvorstellungen.....	150
6.3 Lernende – Erfahrungen mit Modellen.....	152
6.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – interdisziplinäre Modellvorstellungen	154
Literatur	155
Übungsaufgaben zu „6 Modelle und Modellvorstellungen“	155
Praktikum: Strukturen der Metalle und Salze	157
Lösungen und Zeichnungen zu den Aufgaben	161

7 Fachsprache und Symbole 163

7.1	Fachliche Schwerpunkte – Begriffe, Symbole, Größen, Einheiten	164
7.1.1	Systeme Internationale und abgeleitete Einheiten	164
7.1.2	Schulrelevante Größen und Einheiten	165
7.1.3	Schulrelevante Fachbegriffe	167
7.2	Vermittlungsprozesse – Alltagssprache → Fachsprache → Symbolsprache	174
7.2.1	Verknüpfung von Alltagssprache und Fachsprache	174
7.2.2	Die chemische Symbolsprache	177
7.2.3	Ableitung erster chemischer Symbole im Unterricht	182
7.3	Lernende – Schülervorstellungen zu Strukturen und Symbolen	184
7.4	Gesellschaftliche Bezugsfelder – Wie weit versteht der Laie die Fachsprache?	187
	Literatur	188
	Übungsaufgaben zu „7 Fachsprache und Symbole“	188

8 Alltag und Chemie 191

8.1	Lernende – Neugier und Interesse	192
8.2	Fachliche Schwerpunkte – Fachsystematik versus Alltagschemie	198
8.3	Vermittlungsprozesse – Fachsystematik plus Alltagschemie	205
8.4	Gesellschaftliche Bezugsfelder – Rollenspiele und Umweltbildung	211
	Literatur	215
	Übungsaufgaben zu „8 Alltag und Chemie“	216
	Experimente zu „8 Alltag und Chemie“	216

9 Der „Horror vacui“ in den Vorstellungen zum Teilchenkonzept 221

9.1	Ist das Vakuum wirklich leer?	222
9.2	Vorstellungen aus vergangenen Jahrhunderten	223
9.3	Horror-vacui-ähnliche Vorstellungen bei Schülern	230
9.4	Folgerungen für den Unterricht	238
	Literatur	243
	Experimente zu „9 Horror vacui“	244

10 Raumvorstellung zur Struktur von Teilchenverbänden 251

10.1	„Raumvorstellung“ als Faktor der Intelligenz	251
10.2	Eigene Untersuchungsergebnisse	255
10.3	Der Raumvorstellungstest (RVT)	255

10.4	RVT-Untersuchungen im Raum Münster	262
10.5	RVT-Leistungen von Jugendlichen aus Deutschland und Äthiopien	267
	Literatur	272
	Anhang	273
Farbtafel		287
Sachwortverzeichnis		289

Einführung in das „Tortenschema“ zur Chemiedidaktik

Der russische Pädagoge Itelson [1] stellte einmal fest:

„Wenn die Ingenieure beim Brückenbau, die Ärzte bei der Behandlung der Menschen und die Juristen bei der Urteilsfällung eine solche Neigung zu oberflächlichen Begründungen zeigen würden, wie sie uns zuweilen in der Pädagogik begegnen, so wären längst alle Brücken eingestürzt, die Patienten gestorben und die Unschuldigen gehenkt“.

Über dieses Zitat wird man zunächst genüsslich schmunzeln, dann aber zugeben, dass die Gründlichkeit von Pädagogen bei Vorbereitung und Argumentation für ihr Tätigkeitsfeld meist nicht in dem Maße gegeben ist, wie in den Tätigkeitsfeldern anderer Berufe: Die negative Auswirkung von Fehlern im Beruf des Pädagogen tritt nicht so offensichtlich zutage, wie die von Fehlern im Berufsfeld eines Ingenieurs, eines Arztes oder eines Juristen.

Die Professionalität von Lehramtstudierenden bzw. von Lehrern und Lehrerinnen zugunsten eines guten Unterrichts kann gesteigert werden, wenn in angemessenem Umfang Grundlagen in der Pädagogik, in der Didaktik und in der Fachdidaktik vermittelt werden. Diesbezügliche Definitionen sollen am Anfang stehen, ehe spezifische Aspekte der Chemiedidaktik hinzutreten. Dabei muss deutlich sein: Es kann nicht *die* Didaktik oder *die* Fachdidaktik geben! Die entsprechende Diskussion erfolgt unter jeweils spezifischer Sicht, und jeder Lehrende hat sie in seiner Zeit und in seinem Umfeld immer wieder neu und für sich selbst zu führen.

Pädagogik. Dieser Begriff leitet sich von „Pädagoge“ (gr.: Kinder- oder Knabenführer) ab und ist eine Sammelbezeichnung für unterschiedliche philosophische und psychologische Disziplinen, deren gemeinsamer Gegenstand das soziale Handeln ist. Roth [2] charakterisiert die Pädagogik mit folgenden Bereichen:

„Sie betreffen

1. den Bereich der erziehungswissenschaftlichen Forschung (und konkretisieren sich in deren Methodologie und ihren Praktiken),
2. den Bereich der Schule (in ihren historischen und aktuellen Bezügen),
3. den Bereich des Unterrichts (in seiner vielfältigen Bedingtheit als komplexer Wirkungszusammenhang) und
4. den Bereich der Berufspädagogik (in ihrer vielfältigen Ausprägung und gesellschaftspolitischen Bedeutung)“ [2].

Didaktik. Die griechischen Philosophieschulen des Altertums schufen diesen Begriff: Er lässt sich ableiten aus „didaskein“ (gr.: lehren, beweisen) oder aus „didaktos“ (gr.: lehrhaft). Diese Begriffe besaßen einen weit über Lehre und Schule hinausgehenden Wirkungsbereich – erst im 17. Jahrhundert bezieht sich Comenius

mehr und mehr auf die Unterrichtssituation und legt in seiner „Didactica Magna“ von 1657 *didaktische Prinzipien* wie Lebensnähe, Aktualität und Anschaulichkeit zugrunde. Er versteht unter Didaktik die begründete Auswahl von Inhalten für die Lehrkunst (docendi artificium). Heute diskutiert man *didaktische Modelle* wie bildungstheoretische [3], lerntheoretische [4], informationstheoretische [5] oder kritisch-kommunikative Didaktik [6]. Eine zusammenfassende Übersicht vermitteln Blankertz [7] und Ruprecht [8].

Aschersleben [9] definiert ganz allgemein: „Didaktik ist das Insgesamt an Lernhilfen, die der Schüler sich selbst oder die ihm der Lehrer gibt. Die Lernhilfen beziehen sich sowohl auf die Auswahl von Unterrichtsgegenständen als auch auf die Methoden des Lernens. Dabei ist *Unterricht* die didaktische Situation, in der sich Lernen vollzieht, und *Schule* ist die ihr entsprechende Institution. Der Unterricht als didaktische Situation schließt alles ein, was sie ausmacht: die Beteiligten, Lehrer und Schüler, Lerngegenstände, Medien, Arbeitsmaterialien, und so fort“.

Man ist geneigt, Didaktik und Methodik voneinander abzugrenzen, indem man der Didaktik die Frage nach den Inhalten, dem „Was“, zuordnet und der Methodik die Frage nach der Vermittlung von Inhalten, nach dem „Wie“. Die Interdependenz dieser Fragen [4] und die Aufgabe der Didaktik, auch Fragen nach dem „Warum“ (Begründungsfrage) und dem „Wozu“ (Zielfrage) zu beantworten, hat allerdings dazu geführt, die Gesamtheit dieser Fragen unter den Begriff Didaktik zu subsumieren. Zwei entsprechende Definitionen seien zitiert:

„Die Didaktik kümmert sich um die Frage,

- wer
- was
- wann
- mit wem
- wo
- wie
- womit
- warum und
- wozu

lernen soll.“ [10]

„Es ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Mit welchen Zielen sollen
- welche Inhalte unter
- welchen Voraussetzungen und
- welchen Bedingungen auf
- welcher Stufe mit
- welchen Methoden in
- welcher Zeit mit
- welchem Erfolg von
- wem gelehrt bzw. von
- wem gelernt werden?“ [11]

Der Begriff der *allgemeinen Didaktik* wird verständlicher, wenn man *spezielle Didaktiken* aufzählt und Verknüpfungen herstellt:

- die *schulformspezifischen* Didaktiken: Grundschul-, Hauptschul-, Realschul-, Gymnasial- oder Gesamtschuldidaktik,
- die *schulstufenspezifischen* Didaktiken: Didaktik der Primarstufe, der Orientierungsstufe, der Sekundarstufe I und Sekundarstufe II,
- die *schulfachspezifischen* Didaktiken oder *Fachdidaktiken*: alle Schulfächer oder auch Schulfächergruppen (Bereichsdidaktiken),
- die *berufsbildenden* Didaktiken: Fächer der Berufsschule und Fachoberschulen, Didaktik für das Berufsschuljahr, etc.

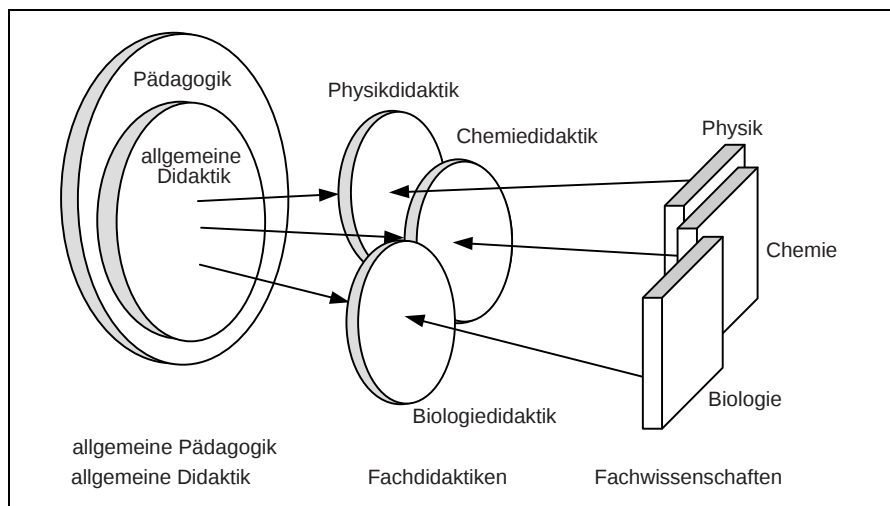


Abb. 1: Fachdidaktiken als selbständige Brückenfächer zwischen den Bezugswissenschaften Pädagogik/Didaktik und Fachwissenschaften [12]

Fachdidaktik. Das zusammengesetzte Wort mag auf den ersten Blick vortäuschen, dass eine Fachdidaktik additiv zusammengesetzt sei aus den Elementen des entsprechenden Fachs und denen der Didaktik. Ein zweiter Blick macht klar, dass eine direkte Vereinigungsmenge keinen Sinn macht und es schwierig ist, alle entsprechenden Inhalte zu überblicken.

Fachdidaktik bezieht sich allerdings auf Inhalte der Fachwissenschaft einerseits und auf Inhalte der allgemeinen Didaktik andererseits: es sind die *Bezugswissenschaften*. Fachdidaktik als die eigentliche *Berufswissenschaft* der Lehrer und Lehrerinnen ist eine selbstständige interdisziplinäre Wissenschaft mit eigenen Zielen, Aufgaben und Methoden, die Inhalte der Bezugswissenschaften reflektiert und auf die Fragestellungen der Fachdidaktik anwendet. Abbildung 1 veranschaulicht die Fachdidaktiken als selbständige Brückenfächer zwischen Pädagogik und allgemeiner Didaktik auf der einen Seite und den Fachwissenschaften auf der anderen Seite [12]. Abbildung 2 zeigt die Verknüpfung erziehungswissenschaftlicher, fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Anteile in der Ausbildung von Lehramtsstudierenden in der 1. Phase der Ausbildung und die selbständige Reflexion in der 2. Phase bzw. im eigenen Unterricht [13].

Chemiedidaktik. Um an einem Beispiel die Verflechtung erziehungswissenschaftlicher, didaktischer und fachwissenschaftlicher Aspekte deutlich zu machen und die Argumentation in der Chemiedidaktik exemplarisch zu veranschaulichen, sei ein interessantes Experiment zugrunde gelegt, auf verschiedenen fachdidaktischen Wegen durchgeführt und alternativ ausgewertet.

Beispiel „Eisenwolle am Waagebalken“. Entzündet man einen Bausch grau glänzender Eisenwolle, der auf einer Seite des Waagebalkens befestigt und austariert worden ist, so beobachtet man eine rote Glutfront, die sich durch das Eisen be-

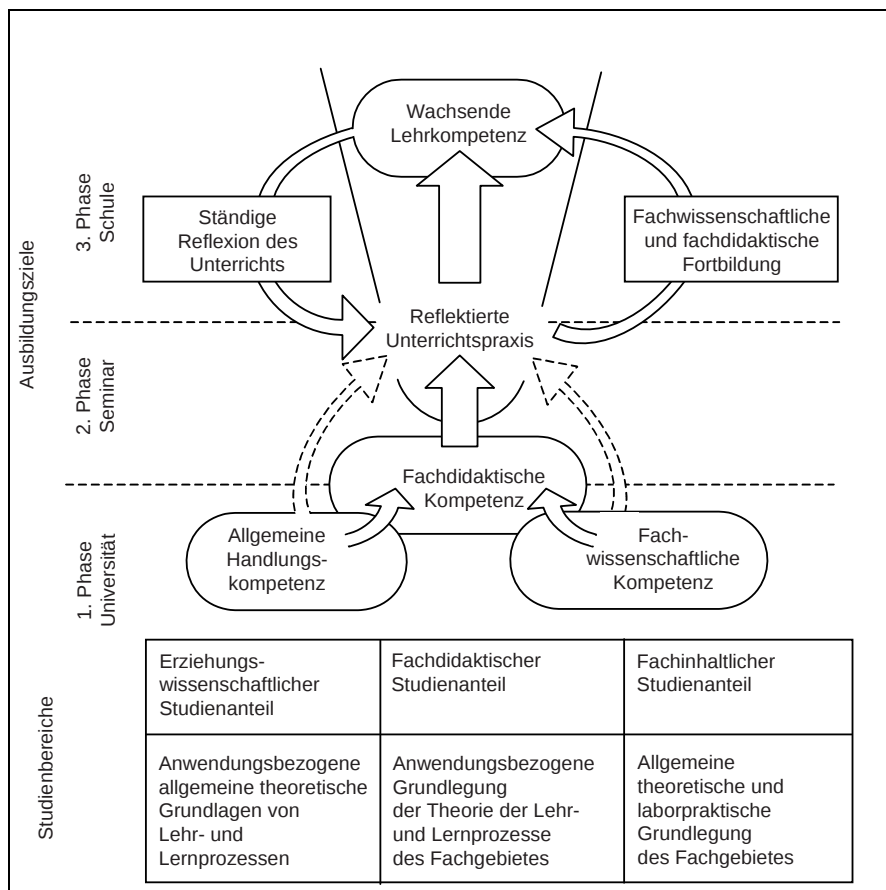


Abb. 2: Verknüpfung von erziehungswissenschaftlichen, fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Anteilen auf dem beruflichen Werdegang von Lehramtsstudierenden [13]

wegt. Danach senkt sich diese Seite des Waagebalkens und ein schwarzfarbenedes Produkt bleibt zurück. Dieser Schulversuch kann nun sowohl in Form verschiedener Alternativen durchgeführt als auch ganz verschieden ausgewertet werden – je nach pädagogischer Zielsetzung durch die Lehrperson, je nach Fähigkeiten und Fertigkeiten auf der Seite der Schüler und Schülerinnen. Einige Wege sind in Abbildung 3 skizziert.

Auf dem *Wege 1* wird der Versuch wie beschrieben durchgeführt und von Lernenden beobachtet. Zur Auswertung hat der Lehrer bereits zu entscheiden: Gibt es das Reaktionssymbol in Worten an oder führt er einfache Element- und Verbindungssymbole ein? Wählt er für die Angabe des Energieumsatzes „exotherm“ oder „ $\Delta H < 0$ “? Zeigt oder zeichnet er Strukturmodelle für die Umgruppierung von Fe- und O-Atomen? Oder lässt er sie gar von den Schülern bauen? Formuliert er auf der Grundlage solcher Strukturvorstellungen ein Reaktionssymbol als verkürztes Modell? Diese Fragen zur Auswertung stellen sich ebenfalls auf den Wegen 2, 3, 4 und 5.

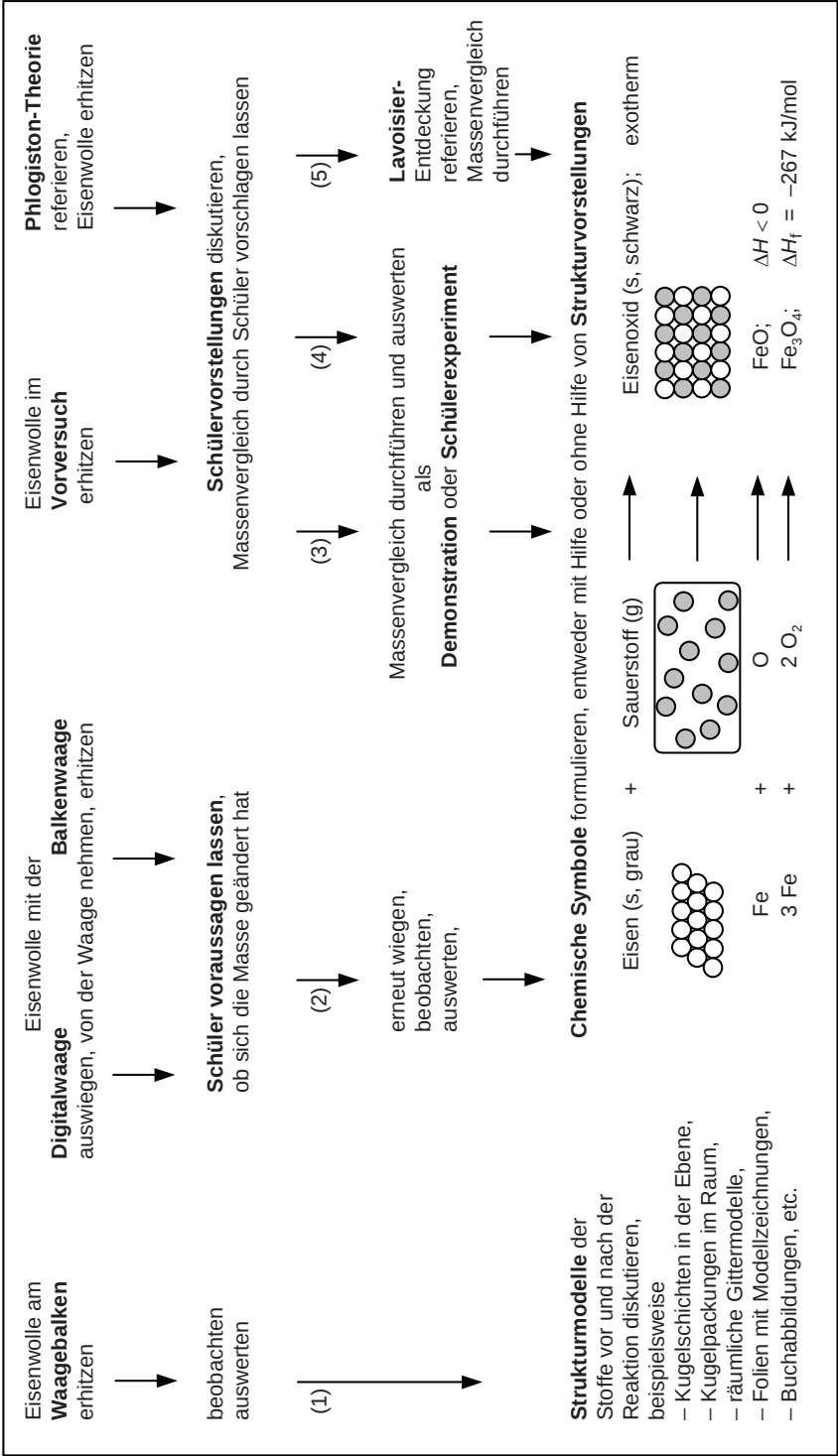


Abb. 3: Chemiedidaktische Alternativen am Beispiel von Durchführung und Auswertung des Experiments „Eisenwolle am Waagebalken“

Ein anderer Weg 2 sieht die Auswaage des Eisenwollebausches vor – entweder mit Hilfe einer Digitalwaage oder einer Balkenwaage. Nach dem Entzünden fordert der Lehrer allerdings die Schüler zu der Vorhersage auf, ob das schwarze Produkt leichter, schwerer oder gleichschwer ist.

Er lässt sie somit eigene Hypothesen aufstellen und Lösungen entwickeln, an denen sie selbst beteiligt sind. Dieses problemorientierte Vorgehen hat den großen lernpsychologischen Vorteil, dass das Experiment zur eigenen Problemlösehilfe des Schülers wird und damit die Motivation viel größer geworden ist, über Lösungen nachzudenken. Viele Schüler bringen ursprüngliche Vorstellungen vom Verbrennungsvorgang aus der Lebenswelt mit, werden wahrscheinlich ein Leichterwerden voraussagen und überrascht sein, dass das Produkt schwerer ist als der Bausch vorher: Neugier und Motivation für die Erklärung entstehen!

Auf einem Weg 3 wird die Problematik noch offener vorgestellt. Der Lehrer lässt die Schüler über ihre Erfahrungen mit der Verbrennung diskutieren und stellt die Verbrennung der Eisenwolle mit einem kurzen Vorversuch in diesen Zusammenhang. Die Schüler äußern – je nach Fähigkeit und Gewohnheit in ihrem Unterricht – ihre Vorstellungen dazu und schlagen ggf. von sich aus die Untersuchung des Massenvergleichs vor. Der Lehrer führt Massenvergleiche als Demonstrationsexperimente durch und wertet sie wie beschrieben aus.

Er kann allerdings auch auf Weg 4 die Schüler auffordern, selbständig ein solches Experiment als Schülerexperiment zu planen und durchzuführen. Die Schülergruppen erhalten – je nach eigenen Ideen und experimentellen Fertigkeiten – verschiedenes Experimentiergerät und realisieren unterschiedliche Lösungen des Problems. Zu den Vorteilen der Problemorientierung kommen die Vorteile der Handlungsorientierung hinzu – ein weiteres wichtiges fachdidaktisches Kriterium.

Der Lehrer kann noch auf einem ganz anderen Weg 5 das Thema historisch orientiert eröffnen. Er befragt die Schüler nach ihren Vorstellungen vom Verbrennungsvorgang und erwartet, dass das Argument durch die Schüler kommt: „Aus dem Brennstoff geht etwas in die Luft“. Er berichtet, dass auch vor einigen Jahrhunderten die Wissenschaftler dieselbe Auffassung vertraten und dieses Etwas „Phlogiston“ nannten. Er kann selbst die Phlogistontheorie von Stahl und die Widerlegung der Theorie durch Lavoisier referieren oder Schülern die entsprechenden Referate vorschlagen.

Fazit. Entscheidungen bezüglich dieser großen Zahl von Experimentier- und Auswertungsalternativen eines einzigen Sachverhalts sind durch Lehrer und Lehrerinnen leichter zu fällen und zu begründen, wenn diese oder ähnliche Situationen aus der fachdidaktischen Ausbildung her bekannt sind. Gerade im Chemie-Anfangsunterricht der Sekundarstufe I sind fachdidaktische Entscheidungen in Hülle und Fülle zu treffen, um optimale Lernerfolge zu erzielen: Deshalb beziehen sich die folgenden chemiedidaktischen Reflexionen auf den *grundlegenden Unterricht des Fachs Chemie*. Dieser Unterricht beginnt je nach Bundesland an öffentlichen Schulen in den Klassenstufen 7, 8 oder 9 und endet meistens mit den Klassenstufen 10 oder 11, ehe danach Grund- oder Leistungskurse im Fach Chemie zu spezifischen Themen der Sekundarstufe II einsetzen.

Für diese grundlegenden Reflexionen wird eine gründliche *fachwissenschaftliche Ausbildung* vorausgesetzt, die soweit erfolgt sein muss, dass vertiefte Kenntnisse und ein gutes Verständnis der wichtigsten Inhalte für den Chemieunterricht

der Sekundarstufe I vorhanden sind. Eine mögliche Auflistung solcher fachwissenschaftlichen Inhalte enthält die Publikation der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh): „Denkschrift zur Lehrerbildung für den Chemieunterricht in den Altersstufen der Zehn- bis Fünfzehnjährigen“ [15].

Dieselbe Denkschrift [15] schlägt auch einen Weg der *chemiedidaktischen Ausbildung* vor: „Die den Zielen einer fachdidaktischen Ausbildung von Chemielehrerinnen und Chemielehrern zugeordneten Inhalte sind so mannigfaltig, dass sie auch bei einem günstigen Anteil der Fachdidaktik am Gesamtstudienvolumen nicht alle in angemessenem Umfang zu behandeln sind. Aus diesem Grunde wird eine Auswahl wichtiger Themenbereiche durchgeführt, die jeweils vornehmlich einem von vier Schwerpunktgebieten zugeordnet sind: den Lernenden, den Vermittlungsprozessen, fachlichen Schwerpunkten und gesellschaftlichen Bezugsfeldern“. Diese entsprechenden *vier Reflexionsebenen* finden sich in der Abbildung 4 in Form der konzentrischen Kreise wieder.

Damit bietet sich an, jeden Themenbereich in die genannten vier Abschnitte zu gliedern: „Steht im Mittelpunkt jeder fachdidaktischen Überlegung der *Lernende*, so spannt sich der Bogen zu den *gesellschaftlichen Bezugsfeldern*, die auf den Lernenden als Individuum und als Glied einer Gemeinschaft einwirken. Die *fachlichen Schwerpunkte* der Inhalte werden durch *Vermittlungsprozesse* dem Lernenden nahe gebracht. Angesichts der engen Verflechtungen fachdidaktischer Fragestellungen und inhaltlicher Bezüge untereinander sind für jeden einzelnen Themenbereich Lernende, Vermittlungsformen, fachliche Schwerpunkte und gesellschaftliche Bezugsfelder nicht starr zugeordnet. Vielmehr sind die Ausschnitte innerhalb der konzentrischen Kreise weitgehend gegeneinander austauschbar, so dass durch die mögliche wechselweise Zuordnung der Inhalte die konzentrischen Ringe auch als „rotierende Ringe“ verstanden werden können“ [15].

Das *Tortenschema* der Abbildung 4 stellt exemplarisch *acht Themenbereiche* dar, die zur besonderen chemiedidaktischen Reflexion geeignet sind: die klassischen Themen wie *Experimente*, *Modelle und Modellvorstellungen*, *Fachsprache*

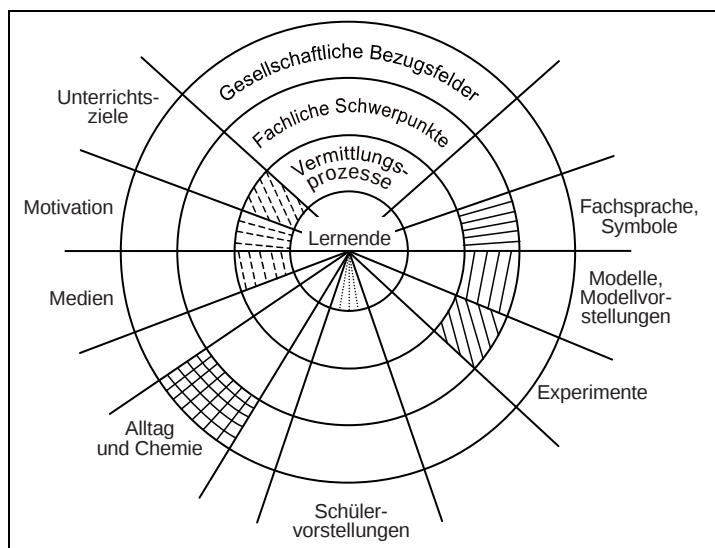


Abb. 4: Auswahl von Reflexionsebenen und Themen in Form eines Tortenschemas [15]

und Symbole, die durch die Schraffur in besonderem Maße der Ebene „Fachliche Schwerpunkte“ zugeordnet sind. Moderne Felder der Fachdidaktik sind *Schülervorstellungen* (der Ebene „Lernende“ zugeordnet) und *Alltag und Chemie* (der Ebene „Gesellschaftliche Bezugfelder“ zugeordnet). Die zu „Vermittlungsprozessen“ passenden Reflexionsthemen sind schließlich *Unterrichtsziele*, *Motivation* und *Medien*, die für jedes Schulfach relevant sind.

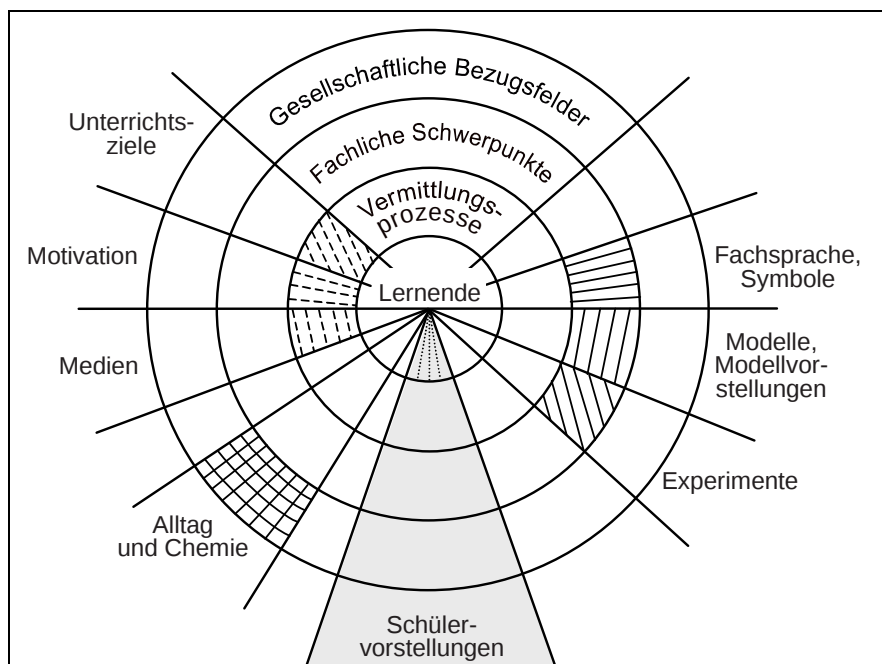
Das Schema enthält bewusst leere Segmente ohne eine Themenbezeichnung: Sie sollen deutlich machen, dass es viele weitere Themen zur chemiedidaktischen Reflexion gibt, die in das Schema aufgenommen werden können, z. B. Lehrpläne, Leistungsmessung, Lehrerrolle, Curriculumentwicklung, Unterrichtsforschung, Geschichte des Chemieunterrichts, um nur einige Möglichkeiten zu nennen. Auf Grund dieser konzeptionellen Offenheit ist auch eine gute Kombinierbarkeit mit anderen Standardwerken der Chemiedidaktik [16–20] möglich und sinnvoll.

Die Thematik Schülervorstellungen soll am Anfang stehen, weil es ursprüngliche Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen zu Stoffen und Reaktionen gibt, die aus ihren Alltags- und Lebenserfahrungen resultieren und bereits lange vorhanden sind, ehe ihr Chemieunterricht einsetzt.

Literatur

- [1] Itelson, L.: *Mathematische und kybernetische Methoden in der Pädagogik*. Berlin 1967
- [2] Roth, L.: *Handlexikon zur Erziehungswissenschaft*. München 1976
- [3] Klafki, W.: *Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung*. Hannover 1969
- [4] Heimann, P., Otto, G., Schulz, W.: *Unterricht – Analyse und Planung*. Hannover 1970
- [5] Cube, F.: *Kybernetische Grundlagen des Lernens und Lehrens*. Stuttgart 1968
- [6] Winkel, R.: *Die kritisch-kommunikative Didaktik*. West. Päd. Beitr. 1 (1980), 202
- [7] Blankertz, B.: *Theorien und Modelle der Didaktik*. München 1973
- [8] Ruprecht, H.: *Modelle grundlegender didaktischer Theorien*. Hannover 1972
- [9] Aschersleben, K.: *Didaktik*. Stuttgart 1983
- [10] Jank, W., Meyer, H.: *Didaktische Modelle*. Frankfurt 1991
- [11] Vossen, H.: *Kompendium Didaktik der Chemie*. München 1979
- [12] Riedel, W., Trommer, G.: *Didaktik der Ökologie*. Köln 1981
- [13] Hammer, H.O.: *Fachdidaktik der Chemie an der Hochschule*. CU 12 (1981), 5
- [14] Scheible, A.: *Gedanken zum Einführungsunterricht in die Chemie*. MNU 19 (1966), 1
- [15] Barke, H.-D., Bitterling, D., Gramm, A., Hammer, H.O., Hermanns, R., Leibold, R., Lindemann, H., Wambach, H.: *Denkschrift zur Lehrerbildung für den Chemieunterricht in den Alterstufen der Zehn- bis Fünfzehnjährigen*. GDCh, Frankfurt 1983
- [16] Becker, H.J., Glöckner, W., Hoffmann, F., Jüngel, G.: *Fachdidaktik Chemie*. Köln 1992
- [17] Christen, H.R.: *Chemieunterricht. Eine praxisorientierte Didaktik*. Basel, Boston, Berlin 1990
- [18] Lindemann, H.: *Einführung in die Didaktik der Chemie*. Düsseldorf 1999
- [19] Pfeifer, P., Häusler, K., Lutz, B. (Hrsg.): *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München 1992
- [20] Schmidt, H.J.: *Fachdidaktische Grundlagen des Chemieunterrichts*. Braunschweig/Wiesbaden 1981 (Vieweg)

1 Schülervorstellungen



„Die Säure hat das Magnesium aufgeessen“ – so lauten oftmals spontane Äußerungen zu den Phänomenen der Metall-Säure-Reaktionen. Den Jugendlichen ist dafür kein Vorwurf zu machen, solange in der Alltagssprache das „Zerfressen des Metalls“ durch Säure oder durch Rost eine übliche Sprechweise darstellt. Solche Schülervorstellungen sollten den Lehrern und Lehrerinnen bekannt sein, um auf diese im Unterricht eingehen zu können.

Bei Unterrichtsplanungen ging man vor einigen Jahrzehnten davon aus, dass Schüler keine Vorstellungen oder Kenntnisse hätten und eine gute Unterrichtsvorbereitung lediglich entscheiden müsse, in welcher Reihenfolge welche neuen Begriffe mit welchen didaktischen Hilfsmitteln einzuführen seien. Fachdidaktische Erhebungen zeigten allerdings, dass zum einen die Lernenden zu vielen Themen ihre eigenen Vorstellungen mit in den Unterricht bringen und dass zum anderen diese Vorstellungen nicht mit den heutigen wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen. Eine erste Grundfrage der Chemiedidaktik lautet aus diesem Grunde, zu welchen Sachverhalten welche Vorstellungen vorliegen und welche Erfahrungen es zur Korrektur dieser Vorstellungen gibt. Sie werden oftmals „falsche“ Vorstellungen genannt – ohne zu berücksichtigen, dass die Schüler

durchaus richtig beobachtet und für sich selbst eine eigene Vorstellungswelt geschaffen haben. Deshalb sind diese Vorstellungen besser zu bezeichnen als

- Alltagsvorstellungen oder lebensweltliche Vorstellungen,
- ursprüngliche oder vorwissenschaftliche Vorstellungen,
- Schülervorverständnis oder Präkonzepte,
- Misconcepts oder Misconceptions.

Eisenwolle-Beispiel. Ein Beispiel mag diese Auffassung untermauern. Wiegt man einen Bausch der hellgrau glänzenden Eisenwolle und erhitzt ihn in der nicht-leuchtenden Flamme des Brenners (vgl. auch das Kapitel „Einführung“), so beobachtet man ein Durchglühen und Schwarzwerden. Fragt man die Schüler, ob diese schwarzfarbene Stoffportion leichter, schwerer oder gleichschwer ist wie zuvor, so vermutet eine Mehrzahl der Schüler, dass sie leichter ist. Der Hintergrund dieser Vermutung ist die Erfahrung, dass Holz und Grillkohlen bei der Verbrennung verschwinden und nur wenig Asche übrig bleibt, dass Spiritus gar vollkommen und rückstandsfrei verbrennt. Diese über 12–15 Jahre lang gesammelten Erfahrungen liegen vor und werden auf jede Verbrennung übertragen: Sie sind deshalb nicht falsch zu nennen, sondern ursprünglich oder lebensweltlich.

Es ist vorteilhaft, mit den Lernenden über ihre ursprünglichen Vorstellungen zu sprechen, ehe man die wissenschaftliche Vorstellung, etwa die Oxidationstheorie, – möglichst experimentell – einführt.

Man prüft die Masse einer Metallportion vor und nach der Verbrennung, stellt im Versuch mit der „Kerze am Waagebalken“ ebenfalls eine Massenzunahme fest, wenn die unsichtbaren, gasförmigen Verbrennungsprodukte chemisch gebunden werden, findet schließlich aufgrund von Reaktionen in abgeschlossenen Luftvolumina die Ursache der Massenzunahme (vgl. Abschn. 1.2). Eine Diskussion auf der Grundlage dieser experimentellen Erfahrungen lässt die ursprünglichen Vorstellungen aufweichen und die wissenschaftlichen Vorstellungen nachhaltig in den Vordergrund treten. Dieser Lernprozess kann sicher nicht in einer einzigen Unterrichtsstunde vollzogen werden, sondern ist durch fortgesetzten problemorientierten Unterricht zum Verbrennungsvorgang auszubauen.

Schülervorstellungen zur Verbrennung weisen erstaunlicherweise Elemente der historischen Phlogistontheorie aus: Offenbar gibt es *Parallelen zwischen Schülervorstellungen und dem Verlauf historischer Erkenntnisprozesse* in der Fachwissenschaft. Es macht also Sinn, die Entwicklung historischer Theorien, die im Laufe der Jahrhunderte tiefgreifende Veränderungen erfahren haben, zu studieren und zu untersuchen, welche Parallelen im Denken der Schüler vorliegen. Solche Theorien beziehen sich etwa auf

- Urstofftheorien der griechischen Philosophieschulen im Altertum,
- Umwandlungskonzepte der Alchemisten,
- die Phlogistontheorie bzw. Wärmestofftheorien,
- den „Horror vacui“ und die Entwicklung zur Erkenntnis des Luftdrucks,
- Theorien zur Atomistik bzw. zur Struktur der Materie u.a.

Da diesbezügliche Reflexionen fachwissenschaftlich-historischer Art sind, sollen sie im Folgenden unter „Fachliche Schwerpunkte“ vorgestellt werden. Daraufhin sind empirische Erfahrungen zu Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen

unter der Rubrik „Lernende“ zu referieren und mit den historischen Theorien zu vergleichen. Unter „Vermittlungsprozesse“ sollen Empfehlungen zum Unterricht reflektiert werden, unter „Gesellschaftliche Bezugsfelder“ schließlich Einflüsse der Alltagssprache und der Werbung in den Medien auf den Chemieunterricht.

1.1 Fachliche Schwerpunkte

– Theorien aus der Geschichte der Naturwissenschaften

Die griechischen Philosophen des Altertums haben viele Sachverhalte des menschlichen Lebens gründlich durchdacht und für viele Bereiche anerkannte Theorien geschaffen: Unsere heutigen Kulturen und Grundwerte beruhen größtenteils auf der griechischen Philosophie.

Urstofftheorien. Es erhob sich etwa für die griechischen Naturphilosophen die Frage nach dem Urstoff: Woraus besteht die Welt? Welches ist „der Urgrund, der Urstoff, die Ursubstanz, das Element? Ebenso wichtig war der zweite Grundgedanke, daß diese Grundsubstanz von ewiger Existenz sei, daß weder etwas (aus dem Nichts) entstehe noch (in das Nichts) vergehe, daß nur die Erscheinungsformen wechselten. Damit war die Aufmerksamkeit auf folgende Probleme gelenkt:

1. auf die Materialität der Welt,
2. auf die Unerschaff- und Unzerstörbarkeit der Materie,
3. auf die Umwandlungsfähigkeit der Materie *bei Wahrung der Ursubstanz*“ [1].

„Aristoteles lehrte als erster die kategorische Trennung von Ding und Eigenschaft. Diese Unterscheidung des Dinges als ‚Träger‘ von *Eigenschaften* einerseits und diesen ‚Eigenschaften‘ selbst andererseits war den griechischen Philosophen vor Aristoteles noch keineswegs bewußt. Von dieser Erkenntnis ausgehend, gelangte Aristoteles zu der These, dass Entwicklung und Wandel, Werden und Vergehen nichts anderes sei als der Übergang von einer bestimmten Weise zu sein, in eine andere Seinsweise“ [2].

Umwandlungskonzepte der Alchemisten. Das Zeitalter der Alchemie erstreckt sich etwa vom 4. bis zum 16. Jahrhundert, die Araber waren an der Entwicklung der Alchemie besonders beteiligt. Für sie war der Begriff Alchemie nur ein anderes Wort für die Chemie, gebildet aus dem arabischen „al“ und dem griechischen „chyma“: Metallguss. Dieser Begriff zeigt die große Bedeutung der Metalle für die Menschen und ihren Wunsch, unedle Metalle in Gold zu verwandeln.

Bereits viele Schriften der Araber „enthalten Anweisungen zur künstlichen Goldgewinnung mit Hilfe des ‚Ferments der Fermente‘, des ‚Elixiers der Elixiere‘. Dabei ist die richtige Mischung der vier Elemente notwendig, und der ‚Geist‘ (das erhitzte, flüchtige Quecksilber) muß in die ‚Körper‘ (Blei, Kupfer, usw.) eindringen. Das geheimnisvolle ‚Elixier‘ selbst kommt nur zustande durch die richtige Vereinigung der vier Elemente, des Körpers (Metall) und Geistes (Quecksilber), des Männlichen und des Weiblichen. Es assimiliert die ‚Leiber‘ und färbt sie

(deshalb auch ‚Tinctur‘ genannt), indem es sie in Gold verwandelt, und zwar bis zur tausendfachen Menge“ [3].

Sogar der Gelehrte Albertus „glaubt an die Möglichkeit der künstlichen Gold-darstellung, doch sagt er, daß er keinen Alchemisten gefunden habe, dem die Metallumwandlung völlig gelungen sei“ [3].

„Auch an ‚praktischen‘ und ‚augenfälligen‘ Beweisen hat es in der Alchemie bis ins 18. Jahrhundert hinein nicht gefehlt. Es wurden Münzen gezeigt, die aus alchemistischem Gold geprägt sein sollten, oder Nägel, deren eine Hälfte aus Eisen, deren andere aus in Gold verwandeltem Eisen bestehen sollte. Selbst Gerichtsurteile wurden zugunsten alchemistischer Operationen gefällt, und nicht zuletzt haben auch geschickte Betrüger dafür gesorgt, daß durch ihre ‚gelungenen Transmutationen‘ der Glaube an die Möglichkeit der Metallverwandlung immer wieder neu belebt wurde“ [1].

Immerhin ist noch einmal 1923 die Wissenschaft in Aufregung geraten,

„als von einem Berliner Hochschul-Professor mitgeteilt wurde, es sei ihm gelungen, Quecksilber durch Behandlung mit elektrischen Strömen in Gold umzuwandeln. Die Richtigkeit des Befundes wurde zunächst nicht nur von verschiedenen Seiten bestätigt, sondern es meldeten sich auch mehrere ‚Forscher‘ (selbst aus Japan), die dasselbe schon früher gefunden haben wollten. Bei einer gründlichen experimentellen Nachprüfung stellte sich erst nach zwei Jahren heraus, daß die geringen Spuren Gold aus den Elektroden stammten. Damit ist wohl der ‚Goldtraum‘, der über ein Jahrtausend lang immer wieder phantastische Köpfe in seinen Bann geschlagen hat, endgültig ausgeträumt“ [3].

Die Phlogistontheorie. Bei Verbrennungen ist immer schon beobachtet worden, dass der Brennstoff, etwa Kohle oder Schwefel, „verschwindet“. Georg Ernst Stahl veröffentlichte 1697 seine Interpretation dieser Beobachtungen und führte den Begriff Phlogiston (gr.: Phlox, die Flamme) ein:

„Er ging von der Verbrennung des Schwefels aus und glaubte, daß die durch die Verbrennung entstandene schwefelige Säure ein seines brennbaren Prinzips beraubter Schwefel sei“ [4].

„Stahl behauptete, daß das Phlogiston in allen brennbaren und verkalkbaren Stoffen enthalten wäre. Die Verbrennung war danach ein Vorgang, bei dem das Phlogiston den Körper verließ. Die Luft spielte insofern eine Rolle, als sie nötig war, um das Phlogiston aufzunehmen. Von dort gelangte das Phlogiston in Blätter und Hölzer und konnte mittels Reduktion (Erhitzen von Metallkalk auf einem Stück Holzkohle) einem Körper zurückgegeben werden. Oxydation und Reduktion waren nunmehr als einander bedingende Vorgänge erkannt. Den Beweis brachte das Experiment: Das Verkalken (Oxydieren) eines Metalls durch Erhitzen und die Reduktion durch Kohle“ [1]:

Metall → Metallkalk + Phlogiston,

Metallkalk + Kohle (Phlogiston) → Metall.

Allerdings musste Stahl das reine Metall als *Verbindung* von Metall und Phlogiston auffassen, und den Metallkalk – also das heutige Metalloxyd – als *Element*. Zum anderen sprach er Experimente mit der Waage gegen seine Theorie.

„Der Zunahme des Gewichts verkalkter Metalle maß er nur geringe Bedeutung bei; schließlich suchte er dieses Problem mit der Annahme eines ‚negativen Gewichts‘ des Phlogistons

abzutun. Die Chemiker waren höchst einseitig auf die qualitativen Erscheinungen orientiert, und gerade für die Erklärung und Systematisierung qualitativer Umsetzungen erwies sich die Phlogistontheorie als hervorragendes geistiges Instrument“ [1].

„Die Anschauungsweise der Phlogistiker wird verständlicher, wenn man sie nicht vom Standpunkt der stofflichen Vorgänge aus betrachtet, sondern vom Standpunkt der *Energetik* aus. Beim Verbrennen sieht man nicht nur die Flamme entweichen, es wird auch *Wärme* entwickelt. Diese sich den Sinnen unmittelbar kundgebende Tatsache wird bei einer rein stofflichen Deutung der Vorgänge nicht berücksichtigt. Setzt man an Stelle von Phlogiston die Energie, so wird man dem physikalisch-chemischen Vorgänge in gewisser Weise gerecht“ [3].

Bis zur Entdeckung durch Lavoisier wurde Sauerstoff auch als „Feuerstoff“ (Empedokles), „Phlogiston“ (Stahl) und „Feuerluft“ (Scheele) bezeichnet. „Ein Rest dieser Begriffe blieb als ‚*Wärmestoff*‘ noch einige Jahrzehnte in Gebrauch, bis die Ursache der Wärme in der Bewegung von kleinsten Teilchen erkannt wurde“ [1]. Lavoisier klärte durch seine Messungen am Beispiel der Synthese und Zerlegung von Quecksilberoxid diesen Sachverhalt auf, fand *Erhaltungssätze* und definierte die *Oxidationstheorie*.

„*Horror vacui*“ und der *Luftdruck*. Experimente mit Pipetten und Weinheber machten bereits die Naturphilosophen im Altertum darauf aufmerksam, dass es auf der Erde keine luftfreien Räume gibt, dass sobald ein Stoff einen Raum verlässt, ihn ein anderer Stoff einnimmt. In diesem Zusammenhang ist von Canonicus eine Formulierung bekannt geworden, die besagt, „daß die Natur einen horror vacui, eine Abscheu vor dem Vakuum hat“ [5].

Auch Galilei kannte dieses Phänomen und wusste von Brunnenbauern, dass es nicht möglich ist, Wasser aus einer Tiefe von über 10 m nach oben zu pumpen. Dieses Maß hielt er für die äußerste Kraft, mit der die Natur ein Vakuum verhindern könne und erfand 1643 ein Gedankenexperiment, um diese Kraft, die „*resistenza del vacuo*“ [5], zu messen (vgl. (a) in Abb. 1.1): Der durchbohrte Zylinder sollte Wasser enthalten, an den beweglichen Kolben eine große Masse angehängt werden, bis sich im Zylinder ein leerer Raum bildete. Man weiß nicht, „ob dieser Versuch nur auf dem Papier beschrieben wird oder ob er wirklich ausgeführt worden ist“ [5].

Diese Apparatur inspirierte seinen Schüler Torricelli dahingehend, an die Stelle des schwer zu realisierenden dichten Kolbens das flüssige Quecksilber zu nehmen, das spezifisch schwer ist und kolbenartig in einem Glasrohr gleitet (vgl. (b) in Abb. 1.1). Mit diesem erstmals 1643 beschriebenen Versuch [5] konnte er den normalen Luftdruck von 760 mm Quecksilbersäule und die Existenz eines materiefreien Raumes über dieser Säule nachweisen (vgl. V.1.1).

Pascal führte 1647 durch das Experiment „*du vide dans le vide*“ (vgl. (c) in Abb. 1.1) den endgültigen Nachweis, dass eine Torricelli-Apparatur im Torricellischen Vakuum keinen Gasdruck anzeigt und es keinen besonderen „Äther“ im freien Raum über der Quecksilbersäule gibt [5]. Weitere Experimente in verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel machten deutlich, dass der Luftdruck jeweils die Quecksilbersäule in der Waage hält und somit diese Apparatur ein Messgerät für den Luftdruck ist: erste Quecksilber-Barometer wurden gebaut.

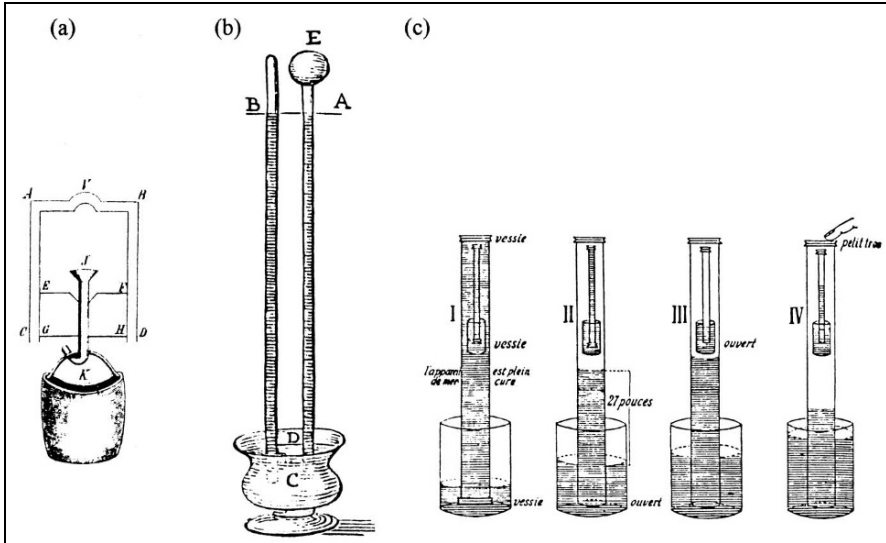


Abb. 1.1: Historische Experimente zur Überwindung der Vorstellung vom „Horror vacui“ [5]

Guericke entwickelte aufgrund dieser Kenntnisse leistungsfähige Luftpumpen und demonstrierte den Luftdruck durch die spektakulären Experimente mit den „Magdeburger Halbkugeln“: Zusammengesetzte Halbkugeln wurden nahezu luftleer gepumpt, acht Pferde auf der einen Seite und acht Pferde auf der anderen Seite angespannt und angetrieben – nur unter Aufbietung aller Kräfte vermochten die Pferde, die Halbkugeln auseinander zu reißen (vgl. Abb. 9.4).

Theorien zur Atomistik und zur Struktur der Materie. Auch diese Theorien haben ihren Ursprung in Interpretationen der griechischen Philosophieschulen. Es gab prinzipiell zwei Richtungen des Denkens: Eine Gruppe um Demokrit und Leukipp war überzeugt davon, dass eine wiederholte Teilung einer Materieportion ein Ende hat und Materie aus nicht weiter teilbaren Teilchen aufgebaut ist, den Atomen (gr.: atomos, unteilbar). Diese Vorstellung ging von Teilchen und leerem Raum um sie herum aus und wird heute auch *Diskontinuumshypothese* genannt. Aristoteles und andere Philosophen behaupteten, dass die wiederholte Teilung von Körpern zu keinem Ende führt. Insbesondere die gedankliche Unmöglichkeit des leeren Raumes, der einzelne Teilchen voneinander trennen musste – der „Horror vacui“ – überzeugte sie vom kontinuierlichen Aufbau der Materie: Seitdem diskutiert man die *Kontinuumshypothese*. Durch den großen Einfluss der aristotelischen Denkschule wurde sie überall gelehrt und damit die Demokritsche Diskontinuumshypothese für nahezu zwei Jahrtausende unterdrückt.

Nachdem mit Torricelli-Experimenten der „Horror vacui“ in makroskopischer Hinsicht überwunden worden war und das Vakuum denkbar wurde, übertrug Gassendi diese Erkenntnisse auf die Existenz des Vakuums in submikroskopischer Hinsicht, setzte sich über die aristotelischen Auffassungen hinweg und griff 1649 die Idee des Demokrit wieder auf: „Die Atome und der leere Raum sind die einzi-

gen Prinzipien der Natur, neben den ersteren, als dem absolut Vollen, und dem absolut Leeren ist überhaupt nichts Drittes denkbar“ [6]. Nach einer 2000-jährigen Unterbrechung konnten die Wissenschaftler nun die Diskontinuumshypothese zugrunde legen und über den Aufbau der Materie aus kleinsten Teilchen nachdenken. In Kapitel 9 wird die spannende Geschichte der Überwindung des „Horror vacui“ und die Auferstehung der Diskontinuumshypothese referiert und auf diesbezügliche Planungen von Unterricht übertragen.

1.2 Lernende – Empirische Hinweise auf Schülervorstellungen

Schüler und Schülerinnen des Anfangsunterrichts im Fach Chemie sind in ihrer geistigen Entwicklung überwiegend dem Stadium konkreter Denkopoperationen nach Piaget zuzuordnen, sie sind in ihren Vorstellungen überwiegend auf das konkrete Objekt fixiert. Das hat zur Folge, dass sie Phänomene *konkret-bildhaft* und in *magisch-animistischer Sprechweise* umschreiben. Folgende Beispiele sind aus der Erfahrung bekannt:

- das Holz *will* nicht brennen, die Flamme *will* ausgehen, die Flamme *verzehrt* die Kerze, Stoffe reagieren *gerne* miteinander.
- Stoffe *greifen an*, Säuren *fressen* unedle Metalle, Rost *zerfrisst* Eisen, etc.

Die Deutungen der Schüler und Schülerinnen entsprechen oftmals einfachen *Analogien*, Ursachen werden *personifiziert* oder einem Zweck gleich gesetzt:

- Natrium reagiert mit Wasser „wie bei einer Brausetablette“,
- wenn sich Kupfersulfat löst, ist das „wie das Verlaufen von Rotkohlbrühe in Wasser“,
- das Getreide wächst auf Feldern, *damit* Menschen sich ernähren können,
- das Holz brennt, *damit* man sich wärmen kann, etc.

Insbesondere zeigen sich im Denken von Schülern und Schülerinnen Parallelen zum historischen Verlauf von Erkenntnisprozessen im Fach Chemie. Aus dem Grund sollen die in Abschnitt 1.1 angeführten Konzepte aus der Geschichte der Naturwissenschaften aufgegriffen und mit empirisch beobachteten Beispielen in Aussagen unserer Schüler heute verglichen werden.

Stoffe als Eigenschaftsträger. In den Vorstellungen der Schüler entstehen bei chemischen Reaktionen nicht konsequent neue Stoffe, sondern „es“ werden neue Eigenschaften angenommen:

- Kupferdächer werden grün, Silber wird schwarz, eine Lösung wird tiefblau u.a.

Es scheint – ebenso wie für die Philosophen des Altertums – einen Urstoff oder einen Eigenschaftsträger zu geben, der irgendwie erhalten bleibt und lediglich sein äußeres Erscheinungsbild immer wieder ändert. Den Schülern sollte deshalb bewusst gemacht werden, dass sich etwa

- die grüne Schicht des Kupferdaches entfernen lässt: die Substanz Kupfercarbonat,
- die schwarze Schicht als ein anderer Stoff erweist als Silber: die Substanz Silbersulfid,
- die Lösung umfärbt, weil sich darin ein neuer Stoff gebildet hat.

Man kann im Experiment aus schwarzem Silbersulfid oder aus schwarzem Kupferoxid das Metall auch zurückgewinnen (V1.2) und zeigen, dass man wiederum durch eine Reaktion mit Sauerstoff oder Schwefel die schwarzen Oxide oder Sulfide erhält, dass die Reaktionen reversibel sind. Allerdings führt das zur Frage, was denn in den Verbindungen erhalten bleibt und wieder hervorgebracht werden kann. Die Antwort ist schwierig und erst auf der Ebene bestimmter Modellvorstellungen zu formulieren: Die Rümpfe von Metall- und Nichtmetall-Atomen bleiben bei den Reaktionen erhalten. Auch die Frage, wie sich rotes Kupferoxid (Cu_2O) von schwarzem Kupferoxid (CuO) unterscheidet, ist erst mit dem Atombegriff nach Dalton zu beantworten. Diese Diskussion wird im Kapitel 6 erneut aufgegriffen.

Das *Mischen und Entmischen* spielt bei der Interpretation von Stoffumwandlungen durch die Schüler und Schülerinnen ebenfalls eine große Rolle:

- Kupfersulfid *enthält* Kupfer und Schwefel,
- Wasser *besteht* aus Wasserstoff und Sauerstoff,
- ein Kohlenwasserstoff *ist aus* Kohlenstoff und Wasserstoff *aufgebaut*.

Diese Formulierungen suggerieren geradezu ein Mischungskonzept, wie es auch von griechischen Philosophen diskutiert worden ist. Diesbezüglich ist den Lernenden ganz deutlich die *heterogene* Mischung zweier Stoffe zu demonstrieren, etwa die von Kupferspänen und Schwefelpulver. Sie ist zu vergleichen mit dem *homogenen* Kupfersulfid. Die Formulierung „Kupfersulfid ist eine Verbindung aus den Elementen“, oder „Wasserstoff und Sauerstoff liegen chemisch gebunden in Wasser vor“ sind den oben genannten vorzuziehen. Auf der Ebene der Modellvorstellungen kann man eher davon sprechen, dass Wasser-Moleküle aus Wasserstoff-Atomen und Sauerstoff-Atomen „bestehen“ oder diese Atomarten „enthalten“.

Erhaltungskonzept. Schüler und Schülerinnen kennen meist nicht die Wünsche der Alchemisten, Metalle wie Quecksilber und Blei in Gold umzuwandeln, sie registrieren allerdings das „grüne Kupferdach“, also das durch einen langen Zeitraum „umgewandelte Kupfer“ – diesbezüglich liegt also eher ein Umwandlungskonzept als ein Erhaltungskonzept vor. In anderer Hinsicht lässt sich bei Lernenden ein *Vernichtungskonzept* feststellen – verursacht durch eigene Beobachtungen und vertraute Formulierungen in der Alltagssprache:

- Kerzen, Spiritus oder Benzin „ver“-brennen vollständig, Kohle „ver“-glüht, Holz „ver“-kohlt,
- Pflanzen „ver“-modern, Tierkadaver „ver“-wesen, Nahrung wird „ver“-daut,
- Wasser „ver“-dunstet, Gestein „ver“-wittert, Sandsteinfiguren „zer“-fallen,
- Kesselstein wird „auf“-gelöst, Metalle werden „zer“-setzt,
- Fettflecken werden „ent“-fernt, Rückstände werden „ver“-nichtet etc.

Diese Formulierungen sind mit den Schülern zu reflektieren, insbesondere ist durch *Experimente* zu veranschaulichen, dass keine „Vernichtung“ von Materie stattfindet. So kann das Verdunsten von Aceton zwar durch den Einsatz einer empfindlichen Waage anschaulich werden, es ist allerdings ebenfalls zu zeigen, dass sich dabei ein großes Volumen an Acetondampf bildet (V1.3). Zum Zersetzen von Metallen in Wasser ist das sich bildende Gas und die nach Verdampfen des Wassers verbleibende Portion eines neuen Stoffes zu demonstrieren (V1.4), das Entfernen von Flecken ist durch Lösen von Fett in Benzin zu interpretieren (V1.5).

Auch hinsichtlich der *Energie* liegt kein Erhaltungskonzept bei Schülern und Schülerinnen vor, ihre Vorstellungen sind in der Alltagssprache begründet:

- Energie wird „ver“-braucht, Stromverbrauch, Kraftstoffverbrauch,
- Batterien sind „leer“, der Akku ist „leer“ und muss aufgeladen werden,
- „man hat keine Energie mehr, Schokolade bringt verbrauchte Energie zurück“.

Es ist bei der Beobachtung von Energieumsätzen deutlich zu machen, dass in allen Fällen die Umwandlung von einer Energieform in eine andere Energieform vorliegt: So wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt (Tauchsieder), in mechanische (Elektromotor) oder in Lichtenergie (Glühlampe). Die *chemische Energie* ist von allen Energiearten am wenigsten anschaulich: Für eine diesbezügliche Anschauung ist jede exotherme bzw. endotherme Reaktion damit zu deuten, dass die chemische Energie der Reaktionsprodukte kleiner bzw. größer wird. Erst dann ist der exotherme Umsatz von Kraftstoffen im Automotor zu verstehen und der Kraftstoffumsatz richtig zu deuten, erst mit Kenntnis der chemischen Energie sind Vorgänge in Batterie und Akku nachzuvollziehen.

Vorstellungen vom Verbrennungsprozess. Sowohl Vorstellungen vom Eigenschaftsträger („Kupfer wird beim Erhitzen in der Flamme schwarz“) als auch solche vom Vernichtungskonzept („Holz wird verbrannt“) beziehen sich auf ursprüngliche Vorstellungen von der Verbrennung. Das jahrelange Beobachten der für Jugendliche immer wieder faszinierenden Flammen von Brennstoffen wie Papier, Holz und Grillkohlen oder Spiritus und Benzin führt zu den Aussagen, dass bei der Verbrennung *etwas* in die Luft abgegeben werde, dass *etwas* verloren ginge und wenig *Asche* übrig bliebe. Dieses „Etwas“ kann damit interpretiert werden, was Stahl mit „Phlogiston“ bezeichnet hat. Eine Schülergruppe wurde gefragt, was denn mit den Teilchen des Magnesiums bei der Verbrennung an der Luft geschieht. Viele Schüler argumentierten damit, dass ein Teil der Magnesium-Teilchen in die Luft geht und ein anderer Teil der Teilchen als weiße Asche übrig bleibt [7]. Aussage und stimmige Zeichnung eines Schülers seien exemplarisch in Abb. 1.2 wiedergegeben. Abb. 1.3 unterstreicht, dass auch andere Fachdidaktiker [8] ähnliche Schülervorstellungen festgestellt haben.

Auch ältere Schüler, die bereits mehrere Jahre Unterricht im Fach Chemie erhalten haben, können sich oftmals nicht von der Vernichtungsvorstellung trennen. So berichtet Pfundt [9] von dem Schüler der Klassenstufe 10, der behauptete: „Der Formel nach müsste aus CO_2 ja Kohlenstoff gewinnbar sein, aber es ist natürlich unmöglich, aus einem farblosen Gas einen schwarzen Feststoff gewinnen zu können“.

Fragebogen:

Du hast kennengelernt, dass Magnesium verbrennt und sich dabei weißes Pulver bildet.

1. Wie lautet die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Magnesium?



2. Notiere und zeichne Deine Vorstellung, was mit den Magnesium-Teilchen bei der Verbrennung des Magnesiums passiert.

Antwort: Magnesium besteht aus 2 Teilchenarten, eine verdampft beim Verbrennen, die andere bleibt als Magnesiumoxid zurück.

Zeichnung:



Abb. 1.2: Vorstellungen eines Schülers der Klassenstufe 9 zur Verbrennung [7]

A piece of phosphorus was held in a flask as shown in the diagram. The mass of the flask and contents equalled 205 g. The sun's rays were focussed on the phosphorus, which then caught fire. The white smoke produced slowly dissolved in the water. After cooling, the flask and its contents were weighed again.

(a) Would you expect the weight to be:

☐ A More than 205 g

☐ B 205 g

☒ C Less than 205 g

☐ D Not enough information to answer

Tick in the box next to the answer you choose.

(b) Give the reason for your answer:

Nothing in the container could escape but the smoke has dissolved and the phosphorus destroyed making it weigh less...

A small amount of iron wool was placed on pan P, and weights were added to pan Q to balance the scales.

The iron wool was then removed and heated in air.

It formed a black powder which was carefully collected and returned to pan P.

What do you expect to happen to pan P?

Explain the reason for your answer.

I expect pan P was lighter... because by heating it certain things were being burnt away and so making it lighter...

Abb. 1.3: Aussagen von Jugendlichen zur Verbrennung von Eisenwolle und Phosphor [8]

Die ursprünglichen Vorstellungen sind mit den Jugendlichen in jedem Fall zu diskutieren, die Aufmerksamkeit ist auf zwei wichtige Fakten zu lenken: auf den Umsatz der Luft oder eines Teils der Luft und auf das Entstehen farbloser Gase bei vielen Verbrennungsreaktionen. Experimentell kann zum einen gezeigt werden, dass bei der Verbrennung die Masse zunimmt, wenn eine offene Apparatur verwendet wird: Eisenwolle wird am Waagebalken schwerer, die Masse des Verbrennungsprodukts von Magnesium ist größer als die des Magnesiums vorher (V1.6). Um diesen Effekt auch bei Reaktionen zu zeigen, die keine festen Verbrennungsprodukte liefern, ist eine Kerze am Waagebalken so zu entzünden, dass die gasförmigen Verbrennungsprodukte chemisch absorbiert und mitgewogen werden (V1.7). Aus dem farblosen Kohlenstoffdioxid-Gas ist schwarzer Kohlenstoff zu gewinnen, indem die Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit brennendem Magnesium gezeigt wird (V1.8).

Luft und andere Gase. Viele Experten vergangener Jahrhunderte erfassten weder die Luft als Substanz noch unterschieden sie andere farblose Gase von der Luft. Ähnlich schwierig ist es auch für Jugendliche heute. Da die Luft uns ständig scheinbar schwerelos umgibt und warme Luft bekanntermaßen sogar nach oben steigt, hat die Luft in der Vorstellung von Kindern keine *Masse* und wird damit nicht als Substanz angesehen. So konnte Münch [10] in einer empirischen Erhebung zeigen, dass etwa die Hälfte der Jugendlichen zwischen 10 und 16 Jahren glaubt, dass ein – vor ihnen mit einer üblichen Luftpumpe aufgepumpter – prall gefüllter Fußball leichter sei als derselbe Ball, den man nur wenig aufgepumpt hat.

Die Masse einer bestimmten Luftportion und damit die Dichte der Luft ist den Schülern schnell und überzeugend zu demonstrieren: Wird eine Glaskugel mit der Wasserstrahlpumpe evakuiert, mit einer Analysenwaage genau gewogen und nach Einfüllen von 100 mL Luft aus dem Kolbenprober nochmals gewogen, so können sie die Masse von 0,13 g ablesen (V1.9). Werden auf demselben Weg die *Dichten* weiterer Gase bestimmt, so sind durch die Messwerte Luft und andere Gase voneinander abzugrenzen. Es können auch bekannte Gase wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid experimentell vorgestellt und durch die Probe mit dem brennenden oder glimmenden Holzspan unterschieden werden (V1.10). Schließlich kann man den *Sauerstoffgehalt der Luft* von etwa 20 Vol% zeigen, indem in geschlossenen Apparaturen die Reaktion von Eisenwolle oder Phosphor zu jeweils einem festen Oxid demonstriert wird (V1.11).

Hinsichtlich der Gase stammen viele falsche Vorstellungen aus der *Alltagssprache*. So erhält Weerda [11] folgende Aussagen von Schülern und Schülerinnen:

- frische Luft ist „gute“ Luft; Luft ohne Sauerstoff ist „schlecht“,
- Kamine brauchen „Zuluft“ und „Abluft“, Autos geben „Abgase“ an die Luft ab,
- farblose Gase sind „Luft“ oder luftähnlich, Wasser verdunstet „zu Luft“,
- Gase sind brennbar, sind zum Kochen und Heizen da,
- Gase sind gefährlich, sind explosiv, sind giftig,
- Gase sind „flüssig“, in Feuerzeugen befindet sich „Flüssiggas“.

Zum letzten Aspekt lässt sich zur Klärung des Begriffes „*Flüssiggas*“ folgendes Experiment durchführen. In eine Gasverflüssigungspumpe wird durch Verdrängen der Luft Butangas gefüllt, dieses wird durch einen Kolben unter starken Druck versetzt: Ein großer Tropfen flüssigen Butans bildet sich in Anwesenheit

von gasförmigem Butan (V1.12). Es ist zu klären, dass in Feuerzeugen und Campinggaskartuschen flüssiges und gasförmiges Butan nebeneinander vorliegen.

Aufbau der Materie. Es ist möglich, die Diskussion der Naturphilosophen von vor zweitausend Jahren aufzunehmen: Kommt man bei der wiederholten Zerteilung einer Stoffprobe zu einem Ende und zu kleinsten Teilchen oder nicht? Da Schüler und Schülerinnen keine eigenen Erfahrungen mit kleinsten Teilchen der Materie haben, liegt die Kontinuumshypothese näher. Auf die Frage etwa, ob sich ein Schüler kleinste Wasser-Teilchen vorstellen könne, antwortete dieser spontan: „Nein, man kann doch einen Tropfen Wasser beliebig breit verschmieren“.

Wenn die Jugendlichen in einer Diskussion auch den Teilchenbegriff akzeptieren, so ergeben sich trotzdem Schwierigkeiten in den Vorstellungen: Das Teilchenkonzept wird nicht konsistent angewendet. Pfundt [12] zeigte das Lösen eines blauen Kupfersulfatkristalls in Wasser und befragte Schüler nach ihren Vorstellungen. Sie unterschied dabei vorgegebene Antworten nicht nur hinsichtlich eines Kontinuums- oder Diskontinuumskonzepts, sondern auch bezüglich der Möglichkeit, dass Teilchen sich etwa beim Löseprozess erst bilden (vgl. Abb. 1.4) oder beim Kristallisieren vorhandene Teilchen aus der Lösung wieder zu einem kontinuierlichen Stoff zusammen treten, gewissermaßen „verschmelzen“. In diesem Zusammenhang nannte Pfundt sie „nicht vorgebildete Teilchen“: Sie können entstehen oder wieder verschwinden. Im anderen Fall gibt es für immer existente „vorgebildete Teilchen“.

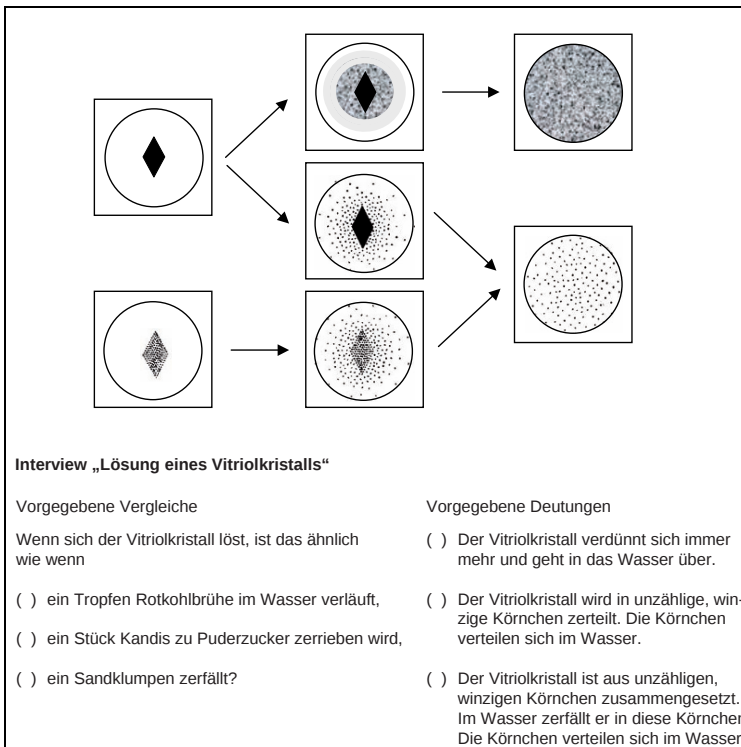


Abb. 1.4: Fragebogen zum Teilchenkonzept von Schülern für den Lösevorgang [12]

Die Befragungen ergaben, dass Jugendliche der Klassenstufen 7, 8 und 9 überwiegend Antworten zur Kontinuumshypothese wählten und „nicht vorgebildete Teilchen“ für möglich hielten. Nur wenige Schüler und Schülerinnen kreuzten Vorstellungen zu vorgebildeten Teilchen an und argumentierten konsequent mit dem Teilchenkonzept bei vorgegebenen Fragen zu Aggregatzustandsänderungen, Lösungs- und Kristallisationsvorgängen. Für die erfolgreiche Vermittlung ist mit der Teilchenvorstellung im Unterricht konsequent zu arbeiten, sie ist an möglichst vielen Beispielen zu vertiefen.

Bei Modellzeichnungen zum Aufbau der Stoffe stellte Pfundt ebenfalls fest, dass Schüler Quadrate als Modelle für Teilchen den üblichen Kreisen vorziehen. Bei der Frage nach dem Grund waren die Antworten, dass die Modelle „passen müssten, daß sie sich lückenlos aneinanderfügen lassen“ [12]. Bei aneinander gezeichneten Kreisen würden sich wohl Hohlräume bilden, die es aus der Sicht der Schüler nicht geben dürfte: Der „*Horror vacui*“ in den Vorstellungen der Lernenden sorgte dementsprechend für eine Präferenz der Quadrate gegenüber den Kreisen als Modelle für kleinste Teilchen.

Auch Novick und Nussbaum [13] haben Befragungen zum Teilchenverständnis durchgeführt und bezüglich der Gase festgestellt, dass die Mehrzahl von Jugendlichen oder Studenten in den USA die Vorstellung besitzen, zwischen den Teilchen der Gase befände sich Luft oder andere Materie. Daraufhin wurden Untersuchungen durchgeführt, inwieweit der „*Horror vacui*“ bezüglich der Räume zwischen Teilchen eines Gases vorliegt [14]. Es wurde etwa mit Butan ein Experiment durchgeführt (V1.12), die Modellzeichnung dazu erbeten und nach Zwischenräumen zwischen den Butan-Teilchen gefragt (vgl. Abb. 1.5).

Das Ergebnis der Befragung in den Klassenstufen 9, 10 und 11 zeigte, dass fast alle Probanden die Modellzeichnung richtig wiedergaben, aber in der Tat nur etwa 50 % aller Probanden die Alternativen „nichts“ oder „leer“ ankreuzten. Das heißt, dass die andere Hälfte der Probanden von Vorstellungen ausgeht, die Zwischenräume zwischen den Butan-Teilchen seien mit Butan, mit Luft oder mit anderer Materie gefüllt: Diese Jugendlichen unterliegen dem „*Horror vacui*“!

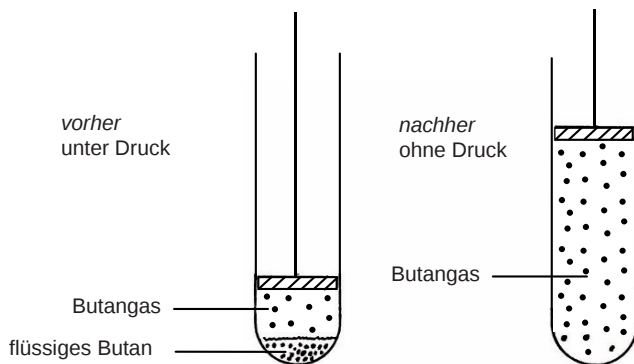
Insbesondere die Begründungen für die Antworten belegen das:

„Der Raum zwischen den Teilchen kann nicht leer sein bzw. ist nicht nichts vorhanden“, „ich kann mir nicht vorstellen, daß dort nichts ist“, „wenn keine Luft vorhanden wäre, müßte dort ein Vakuum sein, und das kann ich mir nicht vorstellen“, „irgendwas muß ja vorhanden sein, es gibt keinen Ort, wo überhaupt nichts ist“, „der Raum kann ja nicht einfach nichts enthalten“, „irgendwas muß doch da sein“ [14].

Es ist bei der Vermittlung des Teilchenmodells also neben der Einführung der kleinsten Teilchen selbst auch der materiefreie Raum zwischen den Teilchen zu diskutieren: *Kapitel 9* zeigt diese Diskussion auf und schlägt diesbezüglichen Unterricht vor. Um diesen Zusammenhang wirklich verstehen und den Aufbau der Materie dreidimensional begreifen zu können, sollten die Jugendlichen über ein ausreichendes *Raumvorstellungsvermögen* verfügen. Untersuchungen mit Hilfe eines Raumvorstellungstests haben ergeben, dass ab der Klassenstufe 8 diese Fähigkeit bei den meisten Schülern und Schülerinnen vorliegt. Das Raumvorstellungsvermögen wird als Faktor der Intelligenz in *Kapitel 10* diskutiert, ebenfalls werden Raumvorstellungstests und Testergebnisse vorgestellt.

3. Modelle für das Verdampfen von Butan (Campinggas)

Die Hülle einer Handpumpe wird vollständig mit Butangas gefüllt. Das Gas wird mit der Handpumpe unter Druck in eine Flüssigkeit verwandelt. Wird der Kolben der Pumpe gelöst, so verdampft flüssiges Butan wieder. Zeichne Deine Teilchenvorstellung auf:



Wie stellst Du Dir den Raum zwischen den Teilchen im Butangas vor?

Ich stelle mir vor, dass

zwischen den Teilchen auch *Butangas* ist,
 der Raum zwischen den Teilchen *leer* ist,
 zwischen den Teilchen *nichts* vorhanden ist,
 sich *Luft* zwischen den Teilchen befindet,
 ein besonderer unsichtbarer Stoff zwischen den Teilchen ist.

Abb. 1.5: Ausschnitt aus einem Fragebogen zum „Horror vacui“ beim Teilchenkonzept für Gase (Teilchenvorstellung eines Schülers bereits eingezeichnet) [14]

1.3 Vermittlungsprozesse – Berücksichtigung der Schülervorstellungen

„Aller Unterricht hat bei der Erfahrung der Kinder anzufangen“ (Dewey).

„Alle neuen Erfahrungen, die die Schüler im Unterricht machen, werden mit Hilfe bereits vorhandener Vorstellungen organisiert“ (Ausubel).

„Ohne ausdrückliches Abbauen falscher Vorstellungen werden keine tragfähigen neuen Vorstellungen erworben“ (Piaget, Inhelder).

„Der Unterricht muß nicht lediglich von Unkenntnis zu Kenntnis leiten, er muß vielmehr auch vorhandene Kenntnis durch andersartige Kenntnis ersetzen“ (Pfundt).

„Der Chemieunterricht muß eine tragende Brücke von den ursprünglichen Vorstellungen der Schüler zu den heute gültigen Vorstellungen schlagen“ (Pfundt).

Diese Aussagen machen eindrucksvoll deutlich, dass Lehrer und Lehrerinnen ihre Schüler keineswegs mit „unbeschriebenen Blättern“ vergleichen dürfen, die „nur zu füllen sind“. Ein Unterricht, der vorhandene Vorstellungen nicht berücksichtigt, führt erfahrungsgemäß dazu, dass Schüler dem Unterricht nur folgen, bis der nächste Test geschrieben ist, die neuen Vorstellungen dann nach und nach vergessen und zu ihren alten, über lange Zeit erworbenen Vorstellungen zurückkehren.

Heute sind sich Fachdidaktiker und Lehrer darüber einig, dass man die Vorstellungen der Schüler kennen oder zu einer Thematik ermitteln muss, ehe „die Brücke von den ursprünglichen Vorstellungen zu den wissenschaftlichen Vorstellungen“ erfolgreich geschlagen werden kann. Wichtiges Ziel des Vermittlungsprozesses ist es deshalb, dem Schüler in Unterrichtsgesprächen seine eigenen Widersprüche aufzuzeigen oder bei der fachwissenschaftlichen Deutung neuer Inhalte die Widersprüche seiner Vorstellungswelt zu wissenschaftlichen Deutungen bewusst zu machen und ihn zu motivieren, diese Widersprüche überwinden zu wollen. Erst wenn die Schüler erkannt haben, dass sie mit ihren eigenen Erklärungen nicht weiter kommen, sind sie bereit, den Unterricht des Lehrers nachzuvollziehen und damit neue Denkstrukturen aufzubauen.

Für den *Vermittlungsprozess* ist es deshalb wichtig, dass im Zusammenhang mit dem Entwicklungsstand der Schüler reflektiert wird über

- vorhandene Widersprüche innerhalb eigener Erklärungen der Schüler und Schülerinnen,
- Widersprüche zwischen Präkonzepten und wissenschaftlichen Vorstellungen,
- Widersprüche zwischen Präkonzepten und Erklärungen experimenteller Phänomene,
- Möglichkeiten zum Abbau ursprünglicher Schülervorstellungen,
- Möglichkeiten zum Aufbau tragfähiger und fachgerechter Beschreibungen.

Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass entsprechend der *konstruktivistischen Theorien* ein Wechsel von ursprünglichen zu wissenschaftlichen Vorstellungen nur möglich ist, wenn

- jedes Individuum Gelegenheit erhält, eigene Lernstrukturen individuell aufzubauen,
- dazu Aktivität und Eigentätigkeit jedes Lernenden zu gewährleisten ist,
- ein „Conceptual Growth“ stattfindet (entsprechend der Assimilation nach Piaget), oder
- ein „Conceptual Change“ (entsprechend der Akkodation nach Piaget) [15].

Der bisherige Text hat ursprüngliche Deutungen der Schüler und Widersprüche zu einigen Themen referiert und auch Vorschläge angeboten, auf welchen Wegen ein *Konzeptwechsel* stattfinden kann. Für andere, noch nicht genannte Sachverhalte können ebenfalls Präkonzepte von Bedeutung sein – sie sind dann im eigenen Unterricht empirisch zu erheben.

1.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – Schülervorstellungen und Umgangssprache

Man muss sich klar darüber sein, dass neu erworbene Konzepte nicht für alle Zeit tragfähig sind und bald nach dem Unterricht wieder empfindlich beeinträchtigt werden können: Lebensweltliche Vorstellungen, die über viele Jahre erworben wurden, sind tiefer verwurzelt als neuartige Konzepte, die in einigen Unterrichtswochen oder gar nur Stunden aufgenommen werden.

Es gilt also zum einen, die neuartigen Vorstellungen wiederholt in Unterrichtssituationen anzuwenden und zu vertiefen, um ihre feste *Verwurzelung* bei den Lernenden zu erreichen.

Zum anderen muss den Lehrern klar sein, dass Gespräche mit Freunden und Verwandten hinsichtlich naturwissenschaftlicher Themen die Schüler mit ihren noch nicht verwurzelten neu erworbenen Vorstellungen verunsichern können. Die *Umgangs- und Alltagssprache* bleibt diesen neuen Vorstellungen gegenüber entgegengerichtet, die Schüler müssen sich nach wie vor mit den Aussagen auseinandersetzen, wie etwa „Flecken werden entfernt“, „Strom wird verbraucht“. Man müsste erreichen, dass Schüler mit der Reflexion umgangssprachlicher Ausdrücke beginnen und Verwandten und Freunden diese Reflexion im Gespräch anbieten – dann würden diese Schüler eine Kompetenz erwerben, die ebenfalls die allseits gewünschte Kritikfähigkeit sehr fördert. Eine solche Kompetenz könnte dann einen positiven Einfluss auf die Gesellschaft ausüben, indem naturwissenschaftliche Sachverhalte von Jugendlichen angemessen beschrieben und verständlich weitergegeben werden.

Schließlich seien *Einflüsse der Medien* auf die neu erworbenen Vorstellungen der Schüler diskutiert. Zum einen sind es Werbespots in Rundfunk und Fernsehen, die zu naturwissenschaftlichen Phänomenen sehr diffuse Vorstellungen vermitteln können. Zum anderen bringen sachliche Verbraucherberatungen meist sehr positive Aspekte hervor und unterstützen neu erworbene Vorstellungen in der gewünschten Richtung. Diesbezüglich hat Becker „Verbraucherfragen im RIAS-Telefonstudio“ zum Gegenstand fachdidaktischer Reflexion gemacht [16].

Literatur

- [1] Strube, W.: *Der historische Weg der Chemie*. Leipzig 1976 (VEB Grundstoffindustrie)
- [2] Reuber, R., u.a.: *Chemikon – Chemie in Übersichten*. Frankfurt 1972 (Umschau)
- [3] Lockemann, G.: *Geschichte der Chemie*. Berlin 1950 (de Gruyter)
- [4] Bugge, G.: *Das Buch der Großen Chemiker*. Band 1. Weinheim 1955 (Verlag Chemie)
- [5] Dijksterhuis, F. J.: *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin 1956 (Springer)
- [6] Lasswitz, K.: *Geschichte der Atomistik*. Bände 1 und 2. Hamburg 1890 (Voss)
- [7] Barke, H.-D.: *Strukturorientierter Chemieunterricht und Teilchenverknüpfungsregeln*. Chem.Sch. 42 (1995), 49
- [8] Driver, R.: *Children's Ideas In Science*. Philadelphia 1985 (Open University Press)
- [9] Pfundt, H.: *Ursprüngliche Vorstellungen der Schüler für chemische Vorgänge*. MNU 28 (1975), 157
- [10] Münch, R., u.a.: *Luft und Gewicht*. NiU-P/C 30 (1982), 429

- [11] Weerda, J.: *Zur Entwicklung des Gasbegriffs beim Kinde*. NiU-P/C 29 (1981), 90
- [12] Pfundt, H.: *Das Atom – Letztes Teilungsstück oder Erster Aufbaustein*. Chimdid 7 (1981), 75
- [13] Novick, S., Nussbaum, J.: *Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter*. Sc.Ed. 65 (1981), 187
- [14] Barke, H.-D.: „Irgendwas muß doch da sein“ – der Horror vacui in den Schülervorstellungen vom Aufbau der Gase. GDCh-Mitteilungsblatt Nr. 10, Frankfurt 1987
- [15] Duit, R.: *Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: Lernen in den Naturwissenschaften. Kiel 1996 (IPN)
- [16] Becker, H.-J.: *Verbraucherfragen im RIAS-Telefonstudio: Gegenstand fachdidaktischer Forschung?* Chimdid. 14 (1988), 69

Übungsaufgaben zu „1 Schülervorstellungen“

A1.1 Die in manchen Themenbereichen unangemessenen Vorstellungen bei Schülerinnen und Schülern („Misconceptions“) sind oft auch Vorstellungen von Wissenschaftlern vergangener Jahrhunderte. Geben Sie drei Themenbereiche an und erläutern Sie jeweils sachliche Grundlagen. Zeigen Sie Parallelen von historischen Vorstellungen und heutigen Präkonzepten auf.

A1.2 Bei der Erklärung von Naturvorgängen oder Laborphänomenen argumentieren Kinder und Jugendliche oftmals „magisch-animistisch“. Nennen Sie drei Beispiele für solche Aussagen. Erläutern Sie diesbezügliche sachliche Grundlagen und schlagen Sie korrigierte, kindgemäße Formulierungen vor.

A1.3 Chemische Verbindungen werden vielfach damit beschrieben, dass sie bestimmte Elemente „enthalten“ oder dass sie aus bestimmten Elementen „bestehen“, etwa: „Wasser besteht aus Wasserstoff und Sauerstoff“. Welche fachlichen und fachdidaktischen Probleme verbergen sich hinter solchen Aussagen? Schlagen Sie Formulierungen vor, die sachlich angemessener sind?

A1.4 In der fachdidaktischen Diskussion zum Aufbau der Materie argumentiert man mit Begriffen wie Kontinuum und Diskontinuum, vorgebildeten und nicht vorgebildeten Teilchen oder mit dem „Horror vacui“. Erläutern Sie diese Diskussion. Welchen Unterricht, welche Experimente und Modelle schlagen Sie zu diesen Sachverhalten vor?

A1.5 Das Experiment ist ein sehr überzeugendes Instrument, um Misconceptions bewusst zu machen und Schüler zu motivieren, sie zugunsten zutreffender Vorstellungen abzubauen. Schildern Sie an drei Zusammenhängen dieses experimentelle Vorgehen und skizzieren Sie den Abbau unangemessener Vorstellungen.

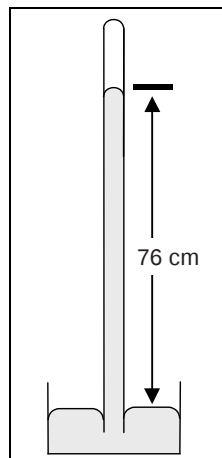
Experimente zu „1 Schülervorstellungen“

V1.1 Torricelli-Versuch zur Existenz des Vakuums

Problem: Wie für die Wissenschaftler vergangener Jahrhunderte ist auch für die Schüler von heute der Luftdruck nicht spürbar und anschaulich, auch dann nicht, wenn die Wettermeldungen jeden Tag den aktuellen Luftdruck in Millibar oder Hektopascal angeben. Der historische Versuch von Torricelli ist in dieser Frage eine gute Möglichkeit, die Balance von 15 km Luftsäule und etwa 760 mm Quecksilbersäule anschaulich zu machen. Ein Quecksilberbarometer ist auf der Grundlage dieses Experiments dann für die Schüler und Schülerinnen verständlich.

Material: Quecksilberwanne, kleine Kristallisierschale, an einer Seite zugeschmolzenes 90 cm langes Glasrohr, Pipette, kleiner Trichter (muss in Glasrohröffnung passen), Zollstock, Quecksilberbesteck; Quecksilber (T).

Durchführung: Die in der Sicherheitswanne stehende Kristallisierschale wird 2 cm hoch mit Quecksilber gefüllt. Mit Hilfe des Trichters und der Pipette wird das Glasrohr – in der Wanne stehend – mit Quecksilber vollständig gefüllt, mit dem Zeigefinger verschlossen und unter Quecksilber in der Kristallisierschale geöffnet. Die Höhe der Metallsäule wird mit dem Zollstock gemessen. Das Rohr wird schräg gestellt und wieder aufgerichtet.



Beobachtung: Die Quecksilbersäule fällt – je nach aktuellem Luftdruck – auf eine Höhe zwischen 750 mm und 770 mm zurück. Beim Schräghalten des Glasrohrs wird das Glasrohr wieder vollkommen ausgefüllt, beim Senkrechthalten fällt die Quecksilbersäule auf den gemessenen Wert zurück.

Entsorgung: Das Quecksilber wird in die Vorratsflasche zurückgegeben. Falls ein Teil des Metalls sich in der Sicherheitswanne befindet, wird er mit der Quecksilberzange aufgenommen. Das Glasrohr wird fest mit einem Stopfen verschlossen und für weitere Experimente in der Sammlung aufbewahrt.

V1.2 Reaktion von Kupferoxid mit Wasserstoff

Problem: Dieser Versuch soll exemplarisch zeigen, dass aus schwarzem Kupferoxid mit Hilfe von Wasserstoff das rotbraun-glänzende Kupfer wieder zu gewinnen ist. Es ist möglich, an diesem Beispiel die Diskussion „Eigenschaftsträger“ versus „neue Stoffe“ zu führen. Es kann ebenfalls die gleichzeitige Oxidation und Reduktion anschaulich und die Redoxreaktion im Sinne der Sauerstoff-Übertragung eingeführt werden: Es muss nur deutlich sein, dass freier Sauerstoff in keiner Weise auftritt.

Material: Verbrennungsrohr mit Stopfen und Ableitungsrohr, Porzellanschiffchen, Reagenzglas; schwarzes Kupferoxid (Xn) (Drahtform), Wasserstoff (F^+), Kobaltchlorid-Papier.

Durchführung: Durch das Verbrennungsrohr, in dem sich ein mit Kupferoxid gefülltes Porzellanschiffchen befindet, leitet man Wasserstoff. Nach negativem Ausfall der Knallgasprobe entzündet man den Wasserstoff an dem Ableitungsrohr und erhitzt das Kupferoxid mit einem Brenner. Sobald die Reaktion einsetzt, erkennbar an der Bildung von metallischem Kupfer, kann man den Brenner entfernen. Nach erfolgter Umsetzung lässt man das Reaktionsrohr im Wasserstoffstrom erkalten und unterbricht erst dann die Wasserstoffzufuhr.

Beobachtung: Unter Aufglühen entsteht rotbraunes Kupfer, im Ableitungsrohr sind deutlich Tröpfchen zu sehen, die mit Kobaltchlorid-Papier als Wasser identifiziert werden können.

Entsorgung: Das Kupfer kann für weitere Experimente verwendet werden oder es wird im Luftstrom oxidiert, um das Oxid für dasselbe Experiment wieder zu verwenden.

V1.3 Massenänderung bei der Verdunstung von Aceton

Problem: Das Verdunsten wird von Schülern oftmals als „Verschwinden“ der Substanz gedeutet. Um zu zeigen, dass die Substanz vom flüssigen Aggregatzustand in den gasförmigen Zustand übergeht, soll auf einer Waage das Verdunsten und mit einem Kolbenprober die Bildung des Dampfes verfolgt werden.

Material: Analysenwaage mit Display, Uhrglas, Erlenmeyerkolben mit Glasperlen und durchbohrtem Stopfen, Kolbenprober; Aceton (F) oder Ether (F^+).

Durchführung: Das Uhrglas wird mit einigen Tropfen Aceton oder Ether versehen, auf die Waagschale gestellt und die Waagenanzeige beobachtet. Einige Tropfen der leichtflüchtigen Substanz werden in den Erlenmeyerkolben gegeben, der Kolbenprober angeschlossen, der Erlenmeyerkolben geschüttelt.

Beobachtung: Die Waagenanzeige zeigt kleiner werdende Massen an, bis die Flüssigkeit verdampft ist. Der Kolbenprober füllt sich nach und nach, bis das Gasvolumen schließlich konstant bleibt.

V1.4 Lösen von Metallen und Nachweis des Rückstandes

Problem: Die beliebte Reaktion von Natrium mit Wasser verführt die Schüler zur Aussage, das Natrium sei „verschwunden“. Zum einen kann während der Reaktion Gas- und Schlierenbildung oder die Farbreaktion mit Phenolphthalein gezeigt werden, zum anderen der Rückstand des Reaktionsproduktes nach Verdampfen des Wassers aus der Lösung erhalten werden.

Material: Große Glaswanne, Netzlöffel, Standzylinder mit Deckglas, Reagenzgläser, Becherglas, Pinzette, Messer, Filterpapier; Natrium (F/C), Lithium (F/C), Phenolphthalein-Lösung in Ethanol (F) und Universalindikator-Lösung (F).

Durchführung: Die Glaswanne wird zur Hälfte mit Wasser gefüllt und auf den Tageslichtprojektor gestellt. Ein Stückchen Natrium wird auf die Wasseroberfläche gebracht, der Weg der Natriumkugel genau beobachtet. Das Experiment wird einige Mal wiederholt.

Ein weiteres Metallstückchen wird mit dem Netzlöffel unter die Wasseroberfläche gedrückt und beobachtet. Der Standzylinder wird mit Wasser gefüllt, unter Wasser geöffnet und mit der Pinzette ein Stück Lithium hineingegeben (dieser Versuch darf nicht mit Natrium durchgeführt werden). Der Standzylinder wird aufgerichtet, das entstandene Gas entzündet.

Die Lösung aus der Wanne wird im Reagenzglas jeweils mit den Indikatorlösungen geprüft, das Wasser aus einem Teil der Lösung im Becherglas abgedampft.

Beobachtung: Bei der Reaktion sind in der Projektion deutlich Schlieren zu sehen, das dabei auftretende Zisch-Geräusch und die Gasbildung sind zu beobachten. Das gebildete Gas brennt an der Luft, dabei ist kurzzeitig eine rot gefärbte Flamme zu sehen. Die angegebenen Indikatoren werden durch die Lösung rot bzw. blau gefärbt. Im Becherglas bleibt eine feste, weiße Substanz zurück.

Entsorgung: Die Lösungen sind so verdünnt, dass sie ins Abwasser gegeben werden können. Reste von Natrium oder Lithium sind mit Ethanol umzusetzen.

V1.5 Vergleich von Benzin und einer Lösung von Fett in Benzin

Problem: Beim „Entfernen“ von Fettflecken aus der Kleidung „verschwindet“ in der Schülervorstellung das Fett: „Es ist weg“. Um das Fleckentfernen auf den Löseprozess von Fett in Benzin zurückzuführen, soll deutlich gemacht werden, dass das Lösemittel rückstandsfrei verdampft, aber beim Verdampfen einer Fettlösung ein Fettfleck zurückbleibt.

Material: Leichtbenzin (F/Xn/N), Lösung von Olivenöl in Leichtbenzin, Filterpapier.

Durchführung: Einige Tropfen Benzin werden auf ein Filterpapier gegeben, einige Tropfen Fettlösung zur gleichen Zeit auf ein zweites Filterpapier. Beide Papiere werden beobachtet.

Beobachtung: Der Fleck des reinen Lösungsmittels wird immer kleiner und ist schließlich nicht mehr zu sehen; der Fleck der Fettlösung wird ebenfalls kleiner, es bleibt aber deutlich ein Fettfleck zurück.

V1.6 Verbrennung von Metallen auf der Waage

Problem: Aufgrund seiner Alltagserfahrungen glaubt der Schüler beim Verbrennen von Spiritus, Papier oder Kerzen an einen „Masseverlust“ bzw. an das „Leichter-werden“ der verbrennenden Stoffe. Um zunächst am Beispiel von Metall-Verbrennungen zu demonstrieren, dass durch den gebundenen Sauerstoffanteil in den festen Metalloxiden sogar eine Massenzunahme stattfindet, werden ent-

sprechende Versuche an der Waage durchgeführt. Im nächsten Experiment (V1.7) wird unter dieser Fragestellung die Verbrennung von Kerzen untersucht.

Material: Balkenwaage, Digitalwaage, Porzellantiegel mit Deckel; Eisenwolle, Magnesiumband (F).

Durchführung: Die auf der einen Seite einer austarierten Balkenwaage hängende Eisenwolle wird entzündet; gegebenenfalls bläst man leicht gegen die Eisenwolle, um die Reaktion zu beschleunigen und das Glühen besser zu sehen.

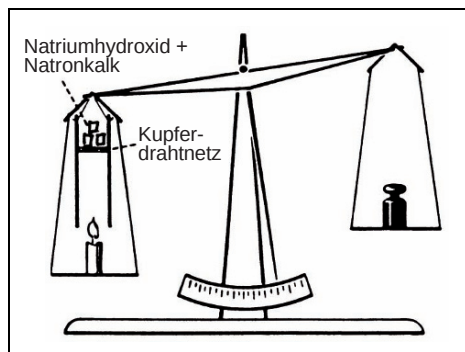
Im Porzellantiegel wird eine Rolle von etwa 10 cm Magnesiumband genau gewogen. Der Tiegel wird mit der rauschenden Brennerflamme stark erhitzt und das Magnesium entzündet, während der Reaktion wird der Tiegel abgedeckt. Der erkaltete Tiegel wird nochmals gewogen.

Beobachtung: Der Waagebalken mit der rotglühenden Eisenwolle senkt sich nach unten. Aus dem Magnesium bildet sich unter hellem Aufglühen ein weißes Verbrennungsprodukt. Die Waage zeigt nachher eine größere Masse an als vor der Verbrennung. Beim Zerteilen des Produkts wird auch eine grüne Substanz sichtbar (Magnesiumnitrid).

V1.7 Brennende Kerze auf der Waage

Problem: Die Massenzunahme bei der Verbrennung von Metallen und das Entstehen fester Metalloxide verstehen die Schüler, werden aber einwenden, dass das für Spiritus, Papier oder Kerzen nicht gelten kann. Um die Schüler auch für diese Fälle zu überzeugen, soll eine Kerze am Waagebalken verbrennen, nur müssen Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf als nicht sichtbare gasförmige Verbrennungsprodukte gebunden werden: durch Natronkalk, einem Gemisch aus Natriumhydroxid und Calciumoxid. In der Vorrichtung dafür (siehe Bild) werden die Verbrennungsgase absorbiert: deren Masse ist durch den gebundenen Sauerstoffanteil größer als die des Kerzenmaterials vorher.

Material: Kerze, Balkenwaage, Glaszylinder mit Natronkalk (C) (es kann auch Natriumhydroxid (C) verwendet werden)



Durchführung: Der obere Teil des Glaszylinders wird so locker mit Natronkalk gefüllt, dass entstehende Gase durch die Natronkalkstücke hindurchströmen können. Die Waage wird austariert und die Kerze entzündet. Kommt es im Glaszylinder zur Rauchentwicklung (zu dichte Packung des Absorptionsmittels!), muss der Versuch mit weniger Natronkalk wiederholt werden.

Beobachtung: Die Waagschale mit der brennenden Kerze neigt sich nach unten.

V1.8 Reaktion von Kohlenstoffdioxid mit Magnesium

Problem: Die Schüler akzeptieren zunächst, dass aus Metalloxiden die entsprechenden Metalle wiederzugewinnen sind. Allerdings können sie sich meist nicht vorstellen, dass aus dem farblosen Gas Kohlenstoffdioxid der Kohlenstoff als schwarzer Feststoff zu entbinden ist. Um sie davon zu überzeugen, wird die Reaktion des Kohlenstoffdioxids mit brennendem Magnesium durchgeführt.

Material: Standzylinder mit Deckglas, Tiegelzange; Magnesiumband (F), Kohlenstoffdioxid, Sand.

Durchführung: In den Standzylinder wird zum Schutz des Zylinderbodens wenig Sand gegeben. Er wird durch Verdrängen der Luft mit Kohlenstoffdioxid gefüllt und abgedeckt. Ein etwa 10 cm langes Band von Magnesium ist mit Hilfe einer Tiegelzange zu entzünden und tief in den Zylinder zu tauchen.

Beobachtung: Die Flamme erlischt nicht, sondern brennt knatternd weiter. An der Innenseite des Zylinders sind schwarze Punkte zu beobachten, die sich beim Abwischen mit einem Finger als Ruß erweisen.

V1.9 Dichte von Luft und Kohlenstoffdioxid

Problem: Schülern ist die Existenz der Lufthülle unserer Erde sicher bekannt, in viel geringerem Maße identifizieren sie jedoch die Luft als einen raumerfüllenden Stoff oder als ein Stoffgemisch mit einer charakteristischen und messbaren Dichte als Stoffeigenschaft. Diese Dichte soll bestimmt und mit der eines anderen Gases verglichen werden. Die Dichte der Luft kann ebenfalls in den Zusammenhang mit dem Luftdruck (vgl. V1.1) diskutiert werden.

Material: Analysenwaage, 200-mL-Glaskugel mit Hahn, Kolbenprober, Wasserstrahlpumpe, Schlauch; Kohlenstoffdioxid.

Durchführung: Der Kolbenprober wird genau mit 100 mL Luft gefüllt und verschlossen. Die Glaskugel wird mit der Pumpe evakuiert und genau gewogen. Der Kolbenprober wird angeschlossen, die Luftportion wird durch Öffnen der Hähne in die Glaskugel überführt. Sie wird erneut gewogen. Aus der Massendifferenz und dem vorgegebenen Volumen ist die Dichte der Luft zu berechnen. Das Experiment ist mit Kohlenstoffdioxid zu wiederholen.

Beobachtung: 100 mL Luft wiegen 0,13 g, 100 mL Kohlenstoffdioxid 0,20 g. Die Dichten errechnen sich zu 1,3 g/L (Tabellenwert 1,29 g/L) bzw. zu 2,0 g/L (Tabellenwert 1,97 g/L).

Hinweis: Das Experiment kann auch mit Hilfe einer leeren Kunststoffflasche (Aquadest-Flasche) mit Stopfen und Hahn durchgeführt werden: Die Flasche wird genau gewogen, die Portion von 100 mL Gas mit dem Kolbenprober hineingepumpt und die Flasche erneut gewogen.

V1.10 Eigenschaften von Wasserstoff und anderen farblosen Gasen

Problem: Schüler identifizieren farblose Gase meist unkritisch mit der Luft. Es sind aus diesem Grund einige farblose Gase und entsprechende Nachweisreaktionen vorzustellen, die deutlich die Unterschiede in den Eigenschaften verschiedener Gase hervorheben. Da insbesondere die Eigenschaften des Wasserstoffs für Schüler neu sind, sollen diese detailliert demonstriert werden.

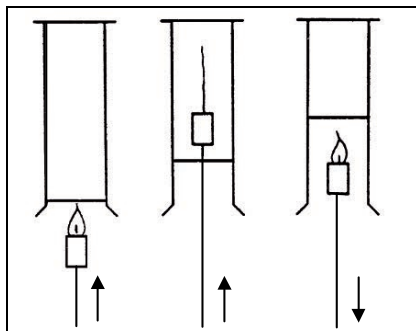
Material: 5 Standzylinder mit Deckglas, Holzspan, Luftballon, Verbrennungslöffel, Glasrohr, Becherglas, leere Konservenbüchse mit konzentrischem Loch von etwa 1 mm Durchmesser; Wasserstoff (F^+), Sauerstoff (O), Stickstoff, Kohlenstoffdioxid, Methan (F^+), Kalkwasser (Xi).

Durchführung: Die Gase werden durch Luftverdrängung in die Zylinder gefüllt, abgedeckt und gekennzeichnet. In alle Zylinder wird zunächst ein brennender Holzspan getaucht, danach ein nur noch glimmender Holzspan. Zur Unterscheidung von Stickstoff und Kohlenstoffdioxid werden beide Zylinder mit Kalkwasser versetzt und geschüttelt.

Beobachtung: Wasserstoff entzündet sich mit einem Knall und brennt mit farbloser Flamme. In Sauerstoff brennt der Span sehr hell und ein glimmender Span entzündet sich (Glimmspanprobe). In Stickstoff und Kohlenstoffdioxid gehen sowohl Flamme als auch Glimmspan aus, in Kohlenstoffdioxid fällt aus dem farblosen Kalkwasser ein weißer Stoff milchig aus (Kalkwasserprobe). Methan wird entzündet und brennt ruhig mit gelber Flamme.

Durchführung weiterer Wasserstoff-Experimente:

- a) Ein Luftballon wird mit Wasserstoff gefüllt, er wird am Mundstück zugebunden und losgelassen.
- b) Eine Kerze, die am Verbrennungslöffel befestigt ist, wird dem Luftballon genähert, bis die Reaktion einsetzt (Vorsicht, Knall).
- c) Aus der Stahlflasche strömender Wasserstoff wird an einem Glasrohr entzündet, eine kleine Flamme eingestellt und ein trockenes Becherglas darüber gehalten.
- d) In einen umgekehrt aufgehängten Standzylinder wird durch Luftverdrängung Wasserstoff gefüllt, eine brennende Kerze eingeführt, die an einem Verbrennungslöffel befestigt ist (Bild). Die Kerze wird langsam herausgezogen und wieder hineingeführt.
- e) Ein Standzylinder wird mit Wasserstoff gefüllt (Öffnung nach unten!) und auf einen gleich großen Standzylinder gesetzt, der Luft enthält. Beide Gase werden durch Drehen gemischt. Mit Deckgläsern werden die Zylinder voneinander getrennt und die Gasgemische mit dem brennenden Holzspan geprüft (Knall!).

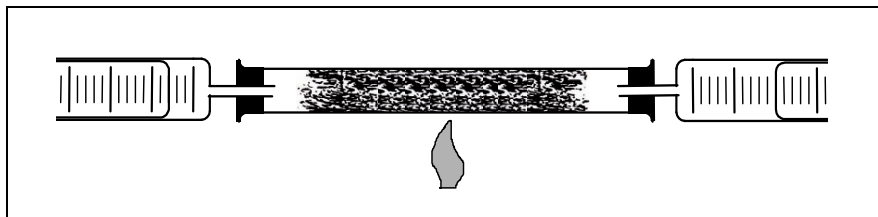


f) Die Blechbüchse wird mit der Öffnung nach unten aufgestellt und von unten durch Luftverdrängung mit Wasserstoff gefüllt. Das Gas ist an dem Loch im Deckel der Dose zu entzünden: Vorsicht, lauter Knall nach etwa 20 s.

Beobachtung: a) Der Luftballon steigt nach oben, b) der Ballon verbrennt unter lautem Knall, c) der reine Wasserstoff verbrennt ganz ruhig, das Becherglas beschlägt, d) die Kerze geht im Zylinder aus, entzündet sich aber jeweils erneut, wenn sie herausgezogen wird, e) das Gemisch von Wasserstoff und Luft verbrennt sehr schnell unter lautem Knall (Knallgas!), f) der Wasserstoff verbrennt zunächst vollkommen ruhig (man kann ein Papier zur Kontrolle über das Loch halten: Es entzündet sich), nach etwa 20 s ist ein leises Sirren zu hören und kurz danach ein sehr heftiger Knall (Zuschauer darauf unbedingt hinweisen!).

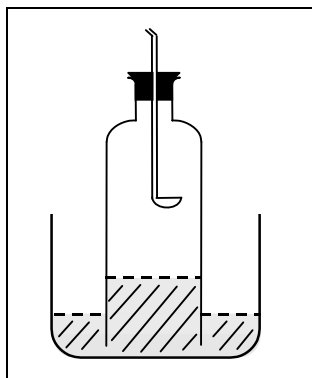
V1.11 Zusammensetzung der Luft

Problem: Die Schüler benutzen aus der Alltagssprache die Begriffe „gute Luft“ und „verbrauchte Luft“, stellen sich dabei aber nicht den Sauerstoffgehalt der Luft vor. Es ist deshalb schon aus diesem Grund wichtig, Experimente zur Zusammensetzung der Luft durchzuführen. Zur Frage, warum man entweder ein Metall oder Phosphor verwendet, ist zu erläutern, dass in diesen Fällen ein Feststoff entsteht, der den Sauerstoff der Luft bindet und ihn somit aus dem Luftvolumen entzieht. Beim Einsatz etwa von Kohlenstoff entstünde Kohlenstoffdioxid – also ein Gas in derselben Menge, die dem Sauerstoffvolumen entspricht.



Material: Zwei 100-mL-Kolbenprober, Verbrennungsrohr, Glaswanne, kleiner Standzylinder mit Deckglas, Holzspan, Glasglocke, Verbrennungslöffel mit Stopfen, Zollstock; Phosphor (rot) (F), Eisenwolle.

Durchführung: a) Eine Verbrennungsapparatur wird aufgebaut (siehe Bild). Die eingeschlossene Luftportion von 100 mL wird mehrmals über die erhitzte Eisenwolle geschoben und das Volumen des erkalteten Restgases bestimmt. Das Restgas wird im kleinen Zylinder pneumatisch aufgefangen und mit einem brennenden Holzspan geprüft. b) Eine Glasglocke mit Tubus befindet sich im Sperrwasser der Glaswanne (Bild). Eine Spatelspitze Phosphor wird in den Verbrennungslöffel gegeben und entzündet, der Verbrennungslöffel in die Glasglocke eingeführt und diese mit dem Stopfen des Verbrennungslöffels verschlossen. Der Anstieg des Flüssigkeitsspiegels in der Glasglocke wird beobachtet, der verbleibende Anteil an Restgas abgeschätzt (Zollstock).



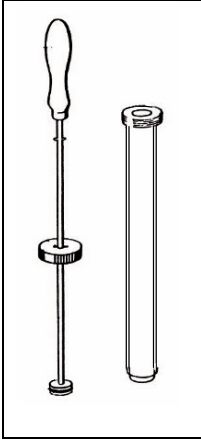
Beobachtung: a) Die Eisenwolle glüht auf und wird zu einem schwarzen Produkt, das Gasvolumen verringert sich auf 80 mL, dieses Restgas erstickt einen brennenden Holzspan. b) Der Phosphor brennt einige Zeit weiter unter Bildung eines weißen Rauches, die Flamme erlischt, der Wasserspiegel in der Glasglocke steigt an, das Volumen des Restgases beträgt etwa 80 Vol% vom Anfangsvolumen.

V1.12 Kondensation von Butangas unter Druck

Problem: Schüler kennen Butan-Feuerzeuge und den Begriff „Flüssiggas“. Vielleicht haben sie bei einem durchsichtigen Feuerzeug einmal die flüssige Butanphase und die darüber befindliche gasförmige Butanphase beobachtet: Trotz solcher Beobachtungen bleibt der Begriff „Flüssiggas“ meist in der Vorstellung bestehen und soll durch folgendes Experiment reflektiert werden. Das Experiment zeigt zusätzlich die stofflichen Eigenschaften des Gases Butan: Es kann durch Druck kondensiert und damit zur sichtbaren Flüssigkeit mit spezifischer Siedetemperatur werden.

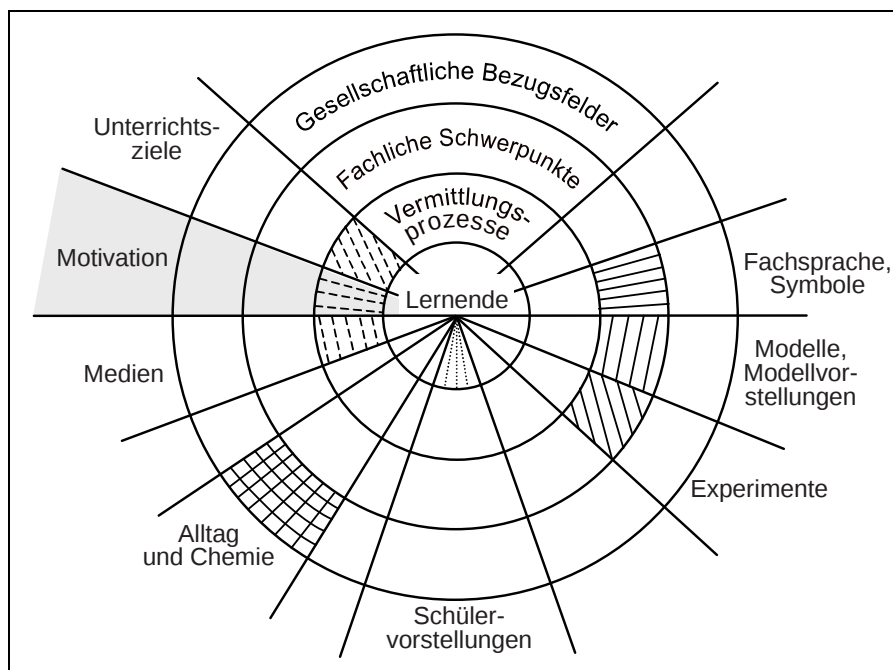
Material: Gasverflüssigungspumpe, Schlauch; Butan (F⁺) (Campinggaskartusche).

Durchführung: Die Pumpe wird geöffnet und durch Luftverdrängung vollständig mit Butan aus der Kartusche gefüllt (Schlauch benutzen). Der Kolben wird aufgesetzt, mit kräftigem Druck in die Hülse gepresst und arretiert. Die Arretierung wird wieder gelöst und der Kolben beobachtet. Dieser Vorgang kann beliebig oft wiederholt werden.



Beobachtung: Beim Zusammendrücken des Gases bildet sich ein großer Tropfen Flüssigkeit, das Gasvolumen beträgt nur noch etwa ein Zehntel. Wird die Arretierung gelöst, so bewegt sich der Kolben aus der Hülse heraus, der Flüssigkeitstropfen verschwindet unter starker Abkühlung vollkommen, dasselbe Gasvolumen wie zuvor ist festzustellen.

2 Motivation



„Rechnet bitte zum Test am nächsten Dienstag alle Aufgaben noch einmal durch, wer sie nicht kann, muss mit einer Fünf rechnen“. „Janna hat als Einzige richtige Hausaufgaben abgeliefert, ich werde eine Eins ins Notizbuch eintragen“. „Stephan – wenn du nicht bis zum Ende der Woche alle fehlenden Protokolle nachlieferst, rufe ich deine Eltern an“.

Solche und ähnliche Äußerungen hören die Jugendlichen in der Schule recht häufig. Insbesondere die große Bedeutung der Noten für Schülerleistungen in der Gesellschaft veranlassen oftmals Lehrer und Lehrerinnen, mit der Vergabe schlechter Noten zu drohen und damit die Schüler und Schülerinnen zu disziplinieren.

Manche Lehrer und Eltern glauben, sie könnten mit diesem Notendruck auch motivieren und sehen darin den einzigen Weg, um ihre Schützlinge „zum Lernen zu bringen“. Sie sehen nicht, dass die Schüler auf der Grundlage dieser kurz anhaltenden *extrinsischen Motivation* nur bis zum nächsten Test, bis zur Belohnung durch Lehrer oder Eltern, bis zum Erreichen des Klassenziels mitarbeiten, um danach alles zu vergessen: Ein gewünschtes, langfristiges Lernen findet nicht statt!

Eine wichtige Aufgabe des Lehrers ist es, sich andere Maßnahmen zu überlegen, die die Schüler zum Lernen anregen und sie nicht einfach nur zwingen. Zur

Vorbereitung von Unterricht sind deshalb der Kreativität von Lehrern und Lehrerinnen keine Grenzen gesetzt, um Schüler über einen längeren Zeitraum sachbezogen zu motivieren, um eine *intrinsische Motivation* zu erzeugen. Die Grundfrage jeder Fachdidaktik lautet diesbezüglich, welche Möglichkeiten es gibt, intrinsisch zu motivieren und nachhaltiges Interesse am Fach zu wecken.

Es ist gerade in den naturwissenschaftlichen Fächern relativ einfach, durch Natur- oder Labor-Phänome zu motivieren und *Neugier* bzw. *Interesse* bei Schülern und Schülerinnen zu entfachen. Führt das kurzfristige Interesse an einzelnen Zusammenhängen gar zu einem länger andauernden Interesse für das Schulfach, leitet man also den Lernenden vom „situationalen zum persönlichen Interesse“ [1], so erreicht man die sachbezogene Motivation über lange Zeiträume und hat es nicht nötig, mit Lob und Tadel, mit guten oder schlechten Noten extrinsisch zu motivieren.

Interesse entfaltet sich zugunsten einer kognitiven Auseinandersetzung allerdings leichter, wenn sie durch positiv erlebte Affekte begleitet wird: Der Mensch ist bestrebt, „Konsistenz zwischen Affektion und Kognition herzustellen“ [2]. Spricht man also bei der gewünschten Erzeugung einer langfristigen Motivation auch positive *Emotionen* der Lernenden an, so wird man über das Interesse hinaus positive *Einstellungen* hervorrufen können. In diesem Zusammenhang hat es der Lehrer im Schulfach Chemie nicht schwer: Experimente und noch weitergehend von den Schülern selbst durchgeführte Schülerversuche rufen in den allermeisten Fällen positive Emotionen hervor und sind hervorragend geeignet, über eine diesbezügliche positive Emotion die gewünschte langfristige intrinsische Motivation zu erzeugen. Die folgenden Ausführungen sollen das im Einzelnen und an vielen Beispielen erläutern.

2.1 Lernende – Entwicklungsstand, Einstellungen und ursprüngliche Vorstellungen

Die diesbezügliche Grundfrage der Chemiedidaktik besteht zunächst darin, die Bedingungen zu reflektieren, die beachtet werden müssen, um die gewünschte intrinsische Motivation aufzubauen:

- Stand der geistigen Entwicklung der Lernenden,
- vorliegende Einstellungen zur Chemie bzw. zum Chemieunterricht,
- ursprüngliche Vorstellungen zu Natur- oder Laborphänomenen.

Entwicklungsstand. Nach der Theorie von Piaget [3] befinden sich Lernende der Sekundarstufe I hinsichtlich ihrer kognitiven Fähigkeiten im Stadium konkreter oder formaler Denkopoperationen (vgl. auch Abschn. 3.2). Die diesbezüglich anzunehmenden Altersgrenzen können erheblich schwanken: So wurde beispielsweise festgestellt, dass nur 25 % der 16-jährigen Schüler und Schülerinnen der Klassenstufe 10 das Stadium formaler Denkopoperationen erreichen [3].

Maßnahmen zur Motivierung müssen sich nach solchen Entwicklungsstadien richten. Dementsprechend sind für Jugendliche der konkret operationalen Denkstufe die Einzelfphänomene vorzuziehen. Es kann etwa die Konstanz der Schmelztemperatur einer Eis-Wasser-Mischung untersucht (vgl. V2.1) oder die Absenkung

der Siedetemperatur des Wassers mit fallendem Druck (vgl. V2.2) motivierend eingesetzt und ausgewertet werden. Nach Demonstration dieser Einzelphänomene mögen die Schüler eher motiviert sein, etwa über die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck zu diskutieren als nach einem bloßen Hinweis auf die Dampfdruckkurve des Wassers. Diese Kurve könnte für Schüler auf der Stufe der formalen Denkopoperationen motivierend genug sein, um über diesen Sachverhalt nachzudenken. Aber auch für diese Gruppe von Lernenden ist das Demonstrationsexperiment zur Anschauung zusätzlich motivierend und wichtig.

Einstellungen. Eine Motivierung kann nur sinnvoll stattfinden, wenn eine neutrale oder gar positive Einstellung zu dem entsprechenden Schulfach oder hinsichtlich des zu lernenden Sachverhalts vorhanden ist. Bei negativer Einstellung wären die Jugendlichen nicht ohne weiteres bereit, sich dem gewünschten Sachverhalt zuzuwenden oder darüber nachzudenken.

Zur empirischen Erhebung von Einstellungen haben Heilbronner und Wyss [5] zu Beginn der achtziger Jahre vielen Schweizer Jugendlichen im Alter von 11–15 Jahren die Aufgabe gestellt, „ihr Bild von der Chemie“ zu malen. Die Bilder zeigten rauchende Industrieschornsteine, verseuchte Flüsse, Behälter giftiger Chemikalien mit Totenkopfsymbolen, durch Tierversuche verendende Tiere. Die Autoren [5] stellten durch die Dominanz dieser Bilder eine äußerst negative Einstellung zur Chemie und gar eine Bedrohung durch die Chemie fest (vgl. auch Kap. 8).

Barke und Hilbing [6] prüften dieses Ergebnis für das Ende der neunziger Jahre an Jugendlichen derselben Altersgruppe aus Nordrhein-Westfalen und Brandenburg, ließen ebenfalls Einstellungen von Jugendlichen durch zu malende Bilder ausdrücken und hinterfragten diese Bilder durch einen Fragebogen. Die Auswertung zeigt, dass bei etwa 75 % der Bilder mindestens ein Motiv zu finden ist, das eine eher positive Einstellung zur Chemie darstellt (vgl. auch Kap. 8).

Insofern haben sich die Einstellungen gegenüber den siebziger und achtziger Jahren verbessert. Allerdings ist immer wieder durch Gespräche mit Jugendlichen zu prüfen, inwieweit sich Einstellungen ändern und Maßnahmen zur Motivation zu überdenken sind.

Die Einstellungen der Jugendlichen sind ebenfalls durch *schöne und attraktive Experimente* positiv zu beeinflussen, auch wenn diese nicht immer zur Auswertung im Unterricht herangezogen werden können. Aus diesem Grund wird empfohlen, die Schüler von Zeit zu Zeit mit einem Showexperiment zu überraschen, oder sie es selbst durchführen zu lassen. So sind beispielsweise Farbbilder sehr motivierend, die Jugendliche in Schülerexperimenten durch Fällung aus verschiedenen zusammengegebenen Lösungen auf Filterpapier entstehen lassen können. Die Herstellung solcher ästhetisch ansprechenden „Runge-Bilder“ wird in Kapitel 11 beschrieben.

Spektakuläre Experimente allein reichen allerdings nicht aus, um Schüler dauerhaft zu motivieren: Die schönsten Effekte verpuffen rasch und werden in unserer mediengesättigten Welt durch Reizüberflutung und Gewöhnung allzu rasch entwertet. Es ist deshalb erforderlich, durch einfache, aber untereinander *vernetzte Experimente* Zusammenhänge erfahrbar zu machen, die von den Schülern selbst entdeckt werden können. Hierauf wird im Kapitel 12 im Zusammenhang mit dem Phänomenologisch-Integrativen Netzwerk-Konzept (PIN-Konzept) vertieft eingegangen.

Ursprüngliche Schülervorstellungen. Wie in Kapitel 1 ausgeführt, bevorzugen Jugendliche für viele Sachverhalte eigene Erklärungen, die sich nicht mit wissenschaftlichen Vorstellungen von heute decken: Stoffveränderung, Erhaltungssatz, Energieumsatz, Gasbegriff, Verbrennung, u.a. Es wurde darauf hingewiesen, dass es für ein gutes Verständnis der Sachverhalte günstig ist, die ursprünglichen Vorstellungen aufzugreifen und in die Erarbeitung der wissenschaftlichen Vorstellungen mit einzubeziehen (vgl. Kap. 1).

Dieses Vorgehen im Unterricht ist gerade für den Aufbau sachbezogener Motivation vorteilhaft: Durch den *kognitiven Konflikt* zwischen bestehender, eigener ursprünglicher Vorstellung und den experimentell demonstrierten Phänomenen, die der Lehrer bezüglich der wissenschaftlichen Fakten vorstellt, können Neugier und Interesse entstehen. Die Schüler erkennen auf diesem Weg das Problem als für sich selbst bedeutsam an und sind motiviert, die Lösung für dieses Problem zu finden. Eine Reihe experimenteller Beispiele soll das konkretisieren.

2.2 Vermittlungsprozesse – Möglichkeiten zum Aufbau sachbezogener Motivation

Motivation ist nicht zu verstehen als einmaliger Akt, der zu Beginn einer Unterrichtsstunde stattfindet: Vielfach versuchen Lehrer, ihren Schülern ein Problem schmackhaft zu machen, indem sie zunächst auf Erfahrungen der Schüler zurückgreifen, dann aber diesen Rückgriff ausschließlich als Vehikel benutzen, um für die Schüler nicht einsichtige Inhalte zu vermitteln. So mag der Lehrer fragen, was denn die Schüler über das Rosten eines Eisennagels wissen, um nach einigen Minuten den Zusammenhang von elektrochemischen Standardpotentialen und Lokalelementen zur Korrosion von Metallen zu behandeln. Ein solches Vorgehen wird bald von den Schülern durchschaut und abgelehnt, es wirkt einem Versuch zur Motivation geradezu contraproduktiv entgegen.

Erfolgreiche *Motivation* gründet sich auf andere Maßnahmen:

1. Chemieunterricht für Lernende nachvollziehbar gestalten,
2. Einstieg und genetisches Lernen nach Wagenschein realisieren,
3. durchgehende Bezüge zu Alltag und Lebenswelt der Jugendlichen herstellen,
4. kognitive Konflikte in den Vorstellungen der Jugendlichen erzeugen und produktiv nutzen,
5. auffallende experimentelle Effekte (Showexperimente) vorführen,
6. handelnden Umgang mit Experimentier- oder Modellbaumaterial ermöglichen.

Nachvollziehbarer Unterricht. Hinsichtlich des Schulfachs Chemie hört man sehr oft das Argument, „man habe die Chemie nicht verstanden, das Arbeiten mit Formeln und Reaktionsgleichungen sei unverständlich, das Berechnen von Stoffumsätzen sei undurchschaubar gewesen“.

Solange Schüler und Schülerinnen das Vorgehen des Lehrers nicht nachvollziehen können und damit den Unterricht nicht verstehen, wird keinerlei Motivation zur weiteren Mitarbeit aufgebaut: Lernende arbeiten dann nur noch mit, um

den nächsten Test zu überstehen oder durch Auswendiglernen der Merksätze noch ausreichende Leistungen zur Chemiezensur nachzuweisen.

Um eine langfristige Motivation zu erreichen, ist es dementsprechend erstes und wichtigstes Gebot, einen durch Schüler und Schülerinnen nachvollziehbaren Weg im Unterricht zu gehen: Sie sollen das Gefühl haben, durch den Unterricht einen chemischen Sachverhalt zu verstehen, also erfolgreich zu lernen. Sie sind dadurch motiviert, für das Fach Chemie weiterhin gerne zu arbeiten. Die nachfolgenden Kapitel zu Experimenten, Modellen und Symbolen werden konkrete Hilfen anbieten, eine verstehbare, also nachvollziehbare Einführung in die Chemie zu konzipieren.

Einstieg nach Wagenschein. Beim Lesen der Schriften von Wagenschein [7] spürt man, in welcher ungewöhnlich motivierender Weise eine gestellte Frage als Einstieg benutzt wird, um lange anhaltend zum Nachdenken – zum Lernen – anzuregen. Ein Einstieg soll „nicht zu komplex und nicht zu wenig komplex“ in das Problem eindringen, die gedankliche Arbeit soll „exemplarisch“ gestaltet werden, zu „Elementen hinunter führen und zu den komplizierten Fragen hinauf“ [7].

Ein Beispiel aus der Schulphysik mag das mit Wagenschein's eigenen Worten erläutern:

„Ein von mir oft erprobter Einstieg in die Mechanik ist die harmlos aussehende Frage: Wohin fällt ein Stein, der aus dem Fenster eines hohen Turmes gehalten und dann losgelassen wird? Sie erscheint anfangs trivial. Sie verwirrt sich aber sofort in einer höchst fesselnden Weise, wenn einem allmählich die Erdkrümmung und die – angebliche – Erdrotation einfallen und wenn man dann zunächst ein Zurückbleiben nach Westen für selbstverständlich hält, dann an der Erdrotation zweifelt, dann die mitrotierende Luft verantwortlich macht für das Mitgehen des Steines. Aber warum geht sie mit? Warum ist nicht ständiger Ostwind? Analoge Erfahrungen im Eisenbahnwagen, im offenen und im geschlossenen, fallen ein ... Diese Fragen können stundenlange erbitterte Diskussionen auslösen. Sie enden mit der Entdeckung des Beharrungsgesetzes und schließlich – und das ist nun eine Sensation – mit der Ostabweichung. Zum Schluss glauben die Schüler wirklich, dass die Erde sich dreht. Ich habe dieses Thema 1946 in Abiturientenkursen für heimgekehrte junge Soldaten und ebenso als ein Thema von wochenlangem Atem mit Obersekundarern erprobt. Man kann die ganze Mechanik damit aufbrechen und dann in sie eintreten“ [7].

Diese *exemplarische* (d.h. an konkreten Erfahrungen ansetzende), *sokratische* (d.h. durch ein ständiges Frage-Antwort-Spiel in Gang gehaltene) oder *genetische* (also psychologisch schrittweise aufeinander aufbauende, entwickelnde) Art und Weise, das angeblich Selbstverständliche zu hinterfragen, anzuzweifeln, die Verwirrung der Schüler zu begünstigen und dadurch eine produktive Spannung zu erzeugen, kennzeichnet den Ansatz von Wagenschein. Dabei will er nicht nur Erkenntnisse motivierend vermitteln, sondern auch den Weg der Erkenntnisgewinnung:

„Es sind zwei ganz verschiedene Unterrichts-Stile: ob der Lehrer dem Schüler nur beweisen will, daß es so ist wie es ist, oder: ob er ihn zugleich erfahren lassen will, wie der Mensch, die Menschheit, auf so etwas kommen konnte und mußte. Nur die zweite, die genetische Art hat mit dem, im strengen Sinne verstandenen, exemplarischen Lehren zu tun“ [7].

Es darf allerdings nicht unterschätzt werden, dass diese Unterrichtsmethode hohe Anforderungen an Lehrer und Schüler stellt.

Bezüge zu Alltag und Lebenswelt. Üblicher Chemieunterricht – vor allem an den Gymnasien – realisiert meistens eine begriffliche Struktur: Diese Begriffsorientierung bringen Lehrer aus ihrer Vorlesung an der Universität mit und legen entsprechend diesen Erfahrungen die fertige Fachsystematik auch ihrem Chemieunterricht zugrunde. Die Jugendlichen, die pflichtgemäß in die Schule kommen und vielleicht daran denken, etwas aus ihrem Alltag zu erfahren, erkennen auf dem begriffsorientierten Weg keinen oder wenig Bezug zu ihrer Lebenswelt. Sie sind gezwungen, ziemlich formal das neue Fach zu lernen, um die gewünschten guten Zensuren zu erhalten: Eine Motivation auf diesem Weg wäre nahezu extrinsisch.

Um die erforderliche begriffliche Struktur auch intrinsisch motiviert zu vermitteln, ist es für den Chemieunterricht hilfreich, Alltag und Lebenswelt der Schüler zu integrieren: Es sollten zu den üblichen Substanzen des Labors auch Substanzen und Reaktionen aus Küche, Badezimmer, Garten und Garage hinzukommen, bezüglich der Lebenswelt aus Schule, Hobby, Reise oder Sport. Das Kapitel 8 „Chemie und Alltag“ bietet diesbezüglich viele experimentelle Beispiele an, stellt Alltagsbezüge zur Motivation am Anfang einer Unterrichtseinheit her oder an dessen Ende zur Vertiefung und Wiederholung. Viele Schulbücher, z. B. „Chemie heute“ [8], bieten Exkurse zu Fragen des Alltags und der Umwelt an, die begleitend zu klassischen Unterrichtsthemen im Unterricht aufgegriffen oder von den Schülern und Schülerinnen zuhause studiert werden können.

Bei manchen Themen besteht die Möglichkeit, den Unterricht zwar begriffsorientiert zu belassen, aber durchgehend mit Stoffen aus dem Alltag zu bestreiten – in solchen Fällen sind die Voraussetzungen für einen motivierenden Chemieunterricht optimal. Wanjek [9] konnte bei einer wissenschaftlichen Begleitung der Unterrichtseinheit „Säuren und Laugen“ zeigen, dass Lebensmittel und Reinigungssubstanzen als Säuren und Laugen das Interesse an der Chemie und somit die Motivation steigern. Insbesondere Mädchen, die in einem Fragebogen vor dieser Einheit viel weniger Interesse an der Chemie äußerten als die Jungen, steigerten ihr Interesse nach diesem Unterricht auf das Niveau der Jungen [9].

Nicht immer wird es allerdings möglich sein, Alltagsstoffe und Bezüge zur Lebenswelt so stark in den Vordergrund zu rücken, dass eine tragfähige Sachstruktur aus ihnen allein heraus entwickelt werden kann. Das ist auch keineswegs nötig. Harsch und Heimann [10] zeigen im Rahmen des PIN-Konzepts an vielen Beispielen, wie sich Alltagsbezüge motivationssteigernd in eine genetisch wachsende Fachsystematik integrieren lassen: Nachweis von grundlegenden organischen Stoffen in Lebensmitteln und Haushaltsprodukten, Zusammenhänge zwischen Reagenzglassynthesen und biochemischen Stoffwechselprozessen, Modellexperimente zum Verständnis des chemischen Recyclings unter Einschluss von Stoff- und Energiebilanzen.

Erzeugung kognitiver Konflikte. Die klassische Möglichkeit der intrinsischen Motivation nennt Piaget „Äquilibrationvorgang durch Erzeugung eines kognitiven Konflikts“, als „fruchtbaren Moment durch Erschütterung von Selbstverständlichkeiten“ beschreibt sie Copei, die „originale Begegnung durch einen anomalen Ausgangspunkt“ heißt sie nach Roth.

Lind [11] formuliert denselben Zusammenhang mit der *Inkongruenztheorie*: Der Unterschied zwischen einem wahrgenommenen Reiz und dem vom Individuum erwarteten Reiz wird als Inkongruenz bezeichnet. Diese Inkongruenz kann Ur-

sache für sachmotiviertes Verhalten sein, denn Schüler sind bestrebt, die so erlebte Anomalie zu beseitigen, also die Kluft zwischen Erwartung und tatsächlicher Beobachtung zu schließen.

In der diesbezüglichen Unterrichtsvorbereitung muss die Lehrperson

- das Vorwissen oder die Vorstellungen der Schüler kennen oder richtig einschätzen,
- das zu präsentierende Ereignis so auswählen, dass es zur Schülererwartung inkongruent ist,
- den Präsentationsmodus der Anomalie bestimmen,
- Typ und Stärke der Inkongruenz festlegen [11].

Im Chemieunterricht ist es nun möglich, Inkongruenzen durch Beobachtungen bestimmter Naturphänomene oder Laborexperimente zu erzeugen und damit die Schüler in besonderem Maße zu motivieren. Es ist der Kreativität jeder Lehrperson überlassen, für eine Thematik passende Phänomene oder Experimente auszuwählen – einige Beispiele seien skizziert.

Schmelztemperatur von Eis. Schüler äußern ihre Vorstellung, dass jedes Erhitzen einer Substanz zu einer gewissen Temperaturerhöhung führt. Sie erhitzen ein Gemisch aus Eis und Wasser, rühren dabei mit dem Thermometer gut um und lesen die Temperatur laufend ab (vgl. V2.1). Die Beobachtung, dass die Temperatur trotz Erhitzens bei 0°C verbleibt, erwarten sie nicht und sind motiviert, darüber – mit der Hilfe des Lehrers – nachzudenken.

Siedetemperaturen von Wasser. Schüler kennen meistens den Wert 100°C als die Siedetemperatur von Wasser, achten aber nicht darauf, dass dieser Wert immer nur für den Normaldruck gilt. Um diese wichtige Bedingung deutlich zu machen, können zwei Inkongruenzen erzeugt werden. Man erzählt entweder die Geschichte von Gipfelstürmern, die beim Kochen von Wasser in 5000 Meter Höhe eine Siedetemperatur von 92°C feststellen, oder man macht ein entsprechendes Experiment, das die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck zeigt: man legt den „Präsentationsmodus der Anomalie, Typ oder Stärke der Inkongruenz“ fest. Dies ist ebenfalls bezüglich des experimentellen Vorgehens möglich: Der Zusammenhang zwischen Druck und Siedetemperatur kann durch den direkten Anschluss der Wasserstrahlpumpe an eine Siedeapparatur für Wasser demonstriert werden, oder man führt in einer geschlossenen, mit Wasserdampf gefüllten Apparatur etwas komplexer das „Kochen durch Abkühlen“ vor – eine noch weitergehende Inkongruenz tritt für die Schüler auf (vgl. V2.2).

Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid. Schüler kennen das sprudelnde Auftreten von „Kohlensäure“ beim Lösen einer Brausetablette in Wasser und haben die Vorstellung, dass jeweils ein bestimmtes Gasvolumen pro Tablette erzeugt wird. Man löst in einem pneumatisch in der Wasserwanne stehenden Messzylinder eine Brausetablette und beobachtet ein Gasvolumen von ca. 70 mL (vgl. V2.3). An dieser Stelle lässt man die Schüler voraussagen, welches Gasvolumen die zweite Tablette ergeben wird und sie sagen wohl: „dasselbe Volumen“. Die zweite Tablette entwickelt allerdings fast 200 mL Kohlenstoffdioxid – die Erwartung der Schüler tritt nicht ein, sie beginnen nachzudenken, um die auftretende Anomalie zu beseitigen.

Verbrennung. Der bereits im Kap. 1 beschriebene Versuch zur „Eisenwolle am Waagebalken“ (V1.6) zeigt klassisch einen kognitiven Konflikt der Jugendlichen, die in ihrer Erfahrung immer das „Leichterwerden“ von Substanzen bei der Verbrennung beobachtet haben. Man wiegt einen Eisenwollebausch, glüht ihn durch und fordert die Schüler zur Vorhersage auf: „Ist der Bausch schwerer geworden, leichter geworden, oder gleich schwer wie zuvor“? Die Erwartung „leichter“ wird nach Durchführung der zweiten Messung nicht erfüllt, man stellt das Gegenteil fest: der Bausch wird „schwerer“. Die Schüler sind nun hoch motiviert, diese Inkongruenz zu beseitigen.

Löschen von Bränden. Das Löschen von Bränden mit Wasser ist den Schülern gut bekannt. Auf die Frage, wie etwa brennendes Fett einer Friteuse oder brennende Metallspäne in einer Metallwerkstatt gelöscht werden, wird die Antwort der meisten Schüler aufgrund ihrer Erfahrungen selbstverständlich sein: „mit Wasser“. Bei der tatsächlichen Durchführung (V2.4) sind die Schüler über die sehr heftigen Stichflammen sehr erstaunt: Das haben sie nicht erwartet und überlegen sich hoch motiviert sachlich angemessene Antworten.

Auffallende experimentelle Effekte. „Keine Motivation ohne Emotion“ heißt verkürzt die bereits beschriebene Erkenntnis, dass sich Interessen und Einstellungen mit positiven Emotionen optimal entwickeln. Gerade in den Naturwissenschaften lassen sich durch experimentelle Effekte solche positiven Emotionen leicht auslösen und zu allen Zeiten fanden Veranstaltungen statt, auf denen Showexperimente gezeigt wurden. Auch die Liebigschen Abendvorlesungen in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts gehören dazu, sie wurden oftmals sogar vom Königspaar besucht.

Ein Ereignis zeigt exemplarisch, welche Emotionen solche Experimente gar bei einer Königin auszulösen vermögen: Sie war so überrascht von dem schönen, blauen Blitz der Stickstoffmonoxid-Schwefelkohlenstoff-Reaktion (V2.5), dass sie ihn noch einmal sehen wollte. Sie forderte Liebig zur Wiederholung des Experiments auf, allerdings explodierte der Glaskolben aufgrund eines Fehlers des Assistenten und sowohl das Königspaar als auch Liebig wurden verwundet [12].

Unsere Schüler wollen ebenfalls schöne Experimente meist mehrfach sehen, sodass deren (sichere!) Wiederholung für den Unterricht immer auch mitgeplant werden sollte.

Bezüglich dieser Effekte gibt es zwei unterschiedliche Konzepte. Zum einen werden die bekannten *Showexperimente* wie die oben erwähnte Stickstoffmonoxid-Schwefelkohlenstoff-Reaktion als schöne Versuche empfunden, allerdings wird keinerlei Auswertung zugrunde gelegt: Die Experimente dienen nicht zur sachbezogenen Motivation, sondern stellen eher eine Art der extrinsischen Motivation dar. Zu „Weihnachtsvorlesungen“ sind sie sehr geeignet und werden in vielen Experimentierbüchern vorgestellt, etwa in Form der „Jahrmarktschemie“ bei Krätz [12] oder als „Chemische Kabinettstücke“ bei Roesky [13]. Auch unsere Schüler und Schülerinnen sehen effektvolle Experimente sehr gern und empfinden sie geradezu als schöne Erlebnisse.

Aus diesem Grund wird in Kapitel 11 die Herstellung der Runge-Bilder vorgeschlagen.

Zum anderen können Showexperimente auch sachbezogen eingesetzt werden. Da es sich etwa bei der Herstellung von Runge-Bildern um die Fällung oder Komplexbildung aus wässrigen Lösungen handelt, lassen sie sich als *sachbezogen motivierende Effekte* ansehen, die Neugier und Interesse auslösen und zu einer Diskussion bzw. Erklärung motivieren.

Ein weiteres Beispiel verdeutlicht das: Soll etwa in den Sachverhalt „Dichte unterschiedlicher Stoffe“ eingeführt werden, so können übliche Wägungen und Volumenmessungen an Metallproben durchgeführt und ausgewertet und die Metalle anhand der Dichtetabelle identifiziert werden. Dieser Weg ist wichtig, wenn begriffsorientiert direkt entsprechende Lernziele erreicht oder durch Schülerexperimente die Fertigkeiten zum Experimentieren geübt werden sollen.

Zur besser motivierenden Einführung in die Dichte-Thematik kann auch ein Effekt gezeigt werden, den die Schüler wahrscheinlich nicht kennen. Eine Dose „Coca Cola“ und „Cola light“ gleicher Größe (330 mL) werden in Eiswasser gegeben: erstere geht unter, die zweite schwimmt (V2.6). Wird mit diesem Effekt die kleine Geschichte erzählt, dass man auf der letzten Party immer tief ins kalte Wasser langen musste, wenn jemand „Coca Cola“ wünschte, während „Cola light“ einfach von der Wasseroberfläche zu nehmen war, dann werden die Schüler noch weitergehend motiviert, über diesen Effekt nachzudenken: Er löst nicht nur eine sachbezogene Motivation aus, sondern stellt ebenfalls einen Alltagsbezug her. Die Diskussion über die Zuckergehalte beider Cola-Sorten kann die verschiedenen Dichten schließlich erklären.

Drei weitere Effekte seien aufgeführt, die eine sachbezogene Motivation auslösen können: Das Experiment „Eis sprengt eine Flasche“ (V2.7) ist ein Versuch, der die Anomalie des Wassers zeigen und zur Diskussion der Struktur von Eis führen kann. „Schwarzer Kohlenstoff aus weißem Zucker“ (V2.8) mag die Thematik Zucker und Zusammensetzung der Kohlenhydrate einleiten, der erstaunliche Effekt „Strom aus der Zitrone“ (V2.9) motiviert zur Diskussion der Spannungsreihe der Metalle. Ähnlich effektvolle Experimente lassen sich für ziemlich jede Problematik finden – der Kreativität der Lehrer sind keine Grenzen gesetzt!

Handelnder Umgang mit Experimentier- oder Modellbaumaterial. Vor allem für Kinder, aber auch noch für Jugendliche ist es immer interessant, wenn sie in der Schule nicht still auf ihren Stühlen sitzen müssen, sondern sich bewegen, etwa laufen oder manuell etwas tun können: Motivation im *psychomotorischen Bereich*. Aus diesem Grund haben selbst durchgeführte Schülerexperimente ihre große Bedeutung. Die Schüler sind nicht nur motiviert, durch abwechslungsreiches Bewegen und eigenes Tun etwas zu lernen, sondern sie verstehen und behalten die Chemie auf handlungsorientiertem Weg weit besser als durch eine vom Lehrer durchgeführte Demonstration oder gar ohne jedes Experiment. Die Diskussion von Schülerexperimenten in Planung und Durchführung findet exemplarisch in Kapitel 5 „Experimente“ statt. Werden Schülerexperimente nicht vereinzelt angeboten, sondern vernetzt, so stützen sie sich wechselseitig hinsichtlich Aussagekraft und Motivationsfunktion. Hierauf wird im Kapitel 12 „Organische Chemie nach dem PIN-Konzept“ näher eingegangen.

Auch der *Bau von Strukturmodellen*, etwa von Kugelpackungen oder Raumgittern für Kristallstrukturen und von Molekülmodellen für den Aufbau von Molekülen, wird von Schülern als wohltuend empfunden: Die Motivation bezüglich der

Psychomotorik kann genutzt werden, um ihnen fachlich die Strukturen verschiedener Substanzen anschaulich zu machen. Wenn von solchen Strukturmodellen ausgehend die Formeln der entsprechenden Substanzen deutlich werden, dann fördert in diesem Fall die psychomotorische Motivation sogar das Verständnis der chemischen Symbolsprache. Diesbezügliche Beispiele sind dem Kapitel 6 „Modelle, Modellvorstellungen“ oder dem Kapitel 13 „Strukturorientierter Chemieunterricht“ zu entnehmen. Auch die Betrachtung von Stereobildern, die im Kapitel 14 vorgestellt werden, ermöglicht psychomotorische Aktivitäten: Die virtuellen Raumbilder können mit einem Bleistift abgetastet werden, so dass der optische Eindruck wirkungsvoll haptisch unterstützt wird.

Fertigen Schüler und Schülerinnen in einem handlungsorientierten Unterricht sogar bestimmte *Produkte* an, die sie mit nach Haus nehmen können, dann ist der Motivierungseffekt besonders stark. Werden die Schüler beim Thema „Säuren“ beispielsweise aufgefordert, ein Messingschild für ihre Haustür mit ihrem Namen zu versehen und es mit nach Haus zu nehmen, so sind sie sehr stark motiviert, dieses Schild herzustellen. Sie bestreichen die Messingplatte mit Wachs, schreiben ihren Namen sorgfältig in die Wachsfläche und ätzen die freien Metallstellen mit Salpetersäure (V2.10). Ein solches Schild zeigen sie gern der Familie und Freunden und können allen genau erklären, wie man so etwas macht: Die Motivation reicht über den Unterricht weit hinaus.

Dasselbe gilt für den Bau von Strukturmodellen. Fordert man die Schüler auf, eine Kugelpackung als Modell für die Natriumchlorid-Struktur zu bauen (M2.1) und dieses etwa als Briefbeschwerer für den eigenen Schreibtisch mitzunehmen, so werden sie die Kugelpackung nicht nur sorgfältig bauen, sondern Freunden und Bekannten die entsprechende Struktur auch erklären – in solchen Fällen reicht die Motivation in den privaten Bereich von Schülern und Familien hinein. Selbst Lehrerinnen und Lehrer, die unsere Fortbildungskurse „Strukturmodelle und Chemieverständnis“ besuchen, geben zu, dass die treibende Motivation für den Besuch des Kurses das Angebot ist, die gebauten Modelle für ihren Unterricht mitnehmen zu können!

2.3 Fachliche Schwerpunkte – experimentelle Fertigkeiten

Die Reflexion auf der Ebene „Vermittlungsprozesse“ hat die Möglichkeiten aufgezeigt, Schüler auf experimentellem Weg sowohl intrinsisch motivieren zu können, als auch extrinsische Aspekte – etwa Showexperimente – zum Zuge kommen zu lassen. In beiden Kategorien werden effektvolle Experimente vorgeschlagen und damit oftmals *gefährliche Versuche*: Sogar einem Experimentator vom Schlage Liebig's sind solche Fehler in Abendvorlesungen unterlaufen, die für das bayerische Königspaar und ihn selbst hätten zur Katastrophe führen können [12].

Experimentatoren müssen deshalb *gute experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten* besitzen, um etwa schnelle Verbrennungen (vgl. V2.4) oder Explosionserscheinungen (vgl. V2.5) gefahrlos vorführen zu können. In einem Experimentalpraktikum zu Schulversuchen sind diese Fähigkeiten von Studierenden nachzuweisen, möglichst in Form von Experimentalvorträgen.

Auch bereits im Unterricht arbeitende Lehrer sollten neue spektakuläre Experimente ausprobieren, ehe sie gefahrlos für den Experimentator selbst und für die Zuschauer vorgeführt werden. Erst nach Beseitigung der Gefährdungspotenziale kann man vor die Schulklasse treten und unter Berücksichtigung aller Hilfsmittel (Schutzbrillen, Schutzscheibe, Abzug, Splitterkorb) gefährliche Erscheinungen vorführen. Um eine ganze „Weihnachtsvorlesung“ unverletzt zu überstehen, gehört eine lange Erfahrung des Experimentierens vor Schulklassen. Schließlich sind die einschlägigen Vorschriften hinsichtlich der *Gefahrstoffverordnung* zu beachten (vgl. Kap. 5).

Um viele Möglichkeiten der Motivation auszuschöpfen, ist neben der experimentellen Sicherheit auch die *fachwissenschaftlich fundierte Grundausbildung* erforderlich. Man will nicht nur spontane Schüleräußerungen fachlich richtig einschätzen können, um ggf. einen passenden kognitiven Konflikt zur Motivation zu erzeugen, sondern möchte flexibel sein und in vielen Unterrichtssituationen motivierende Gedanken äußern oder motivierende Experimente durchführen. Der junge Lehrer wird zunächst nur an geplanten Stellen des Unterrichts ein vorher ausprobiertes Motivationsexperiment demonstrieren – erst erfahrene Lehrer vermögen einer spontan geäußerten falschen Schülervorstellung mit einem Experiment gegenüber zu treten oder zu einer spontanen Diskussion mit einem Versuch bezüglich des strittigen Sachverhalts zu motivieren.

2.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder

– Motivation durch Alltagssprache und Medien

Formulierungen der Alltagssprache verdecken oftmals den sachlich zutreffenden Zusammenhang, ergeben andererseits allerdings motivierende Anlässe, über diese Sachverhalte nachzudenken.

So sagt man in der Alltagssprache beispielsweise: „das Kupferdach wird grün“ – und verleitet zu der Vorstellung, Kupfer könne einmal rotbraun und ein anderes mal grün erscheinen. Geht man von dem Wissen über spezifische Eigenschaften aus, die bestimmte Substanzen auszeichnen, so ist festzustellen, dass nur eine der Farben für Kupfer spezifisch sein kann. Auf diesem Weg ist der kognitive Konflikt oder die Inkongruenz hergestellt und Lernende mögen motiviert sein, über den „Wechsel der Kupferfarbe“ nachzudenken. Das Ergebnis der Reflexion sollte die Feststellung sein, dass die grüne Substanz eine Verbindung des Kupfers – etwa basisches Kupfercarbonat – darstellt und eine Schicht auf dem Metall bildet. Eine experimentelle Überprüfung dieser Vermutung kann sich anschließen und die Inkongruenz beseitigen.

Auch die Medien liefern – meistens unbeabsichtigt – Aussagen, die zu motivierenden Diskussionen führen können. Kommentiert etwa ein Journalist einen Fabrikbrand mit den Worten: „Bei dem Brand sind keine Chemikalien beteiligt gewesen“ (Beispiel aus dem amerikanischen Fernsehen, der Journalist meinte mit dem Wort „Chemikalie“ vielleicht Gefahrstoffe), so können Schüler ihr Wissen einbringen und je nach Kenntnis korrigieren, dass alle Brennstoffe auch immer Chemikalien sind und dass ebenfalls der beteiligte Sauerstoff der Luft eine am Brand beteiligte Chemikalie ist. Die Inkongruenz zwischen der Aussage des Jour-

nalisten und des eigenen Wissens kann motivierend sein, den Fehler aufzudecken und als junger Schüler einem gestandenen Reporter des Fernsehens einen fehlerhaften Bericht nachzuweisen.

Haupt [14] hat eine Sammlung von Zeitungsausschnitten zu vielen Themen der Chemie zusammengetragen. Viele Artikel weisen spektakuläre Überschriften auf, die „die Chemie“ geheimnisvoll oder gefährlich erscheinen lassen (vgl. (a) in Abb. 2.1). Lehrer und Schüler mögen motiviert sein, entsprechende Texte genau zu lesen und zu interpretieren.

Eine Auswahl von Zeitungsartikeln fehlerhafter journalistischer Recherche (vgl. (b) in Abb. 2.1) nimmt Haupt zum Anlass, um auf ihrer Grundlage Aufgaben für die Schüler zu formulieren und sie zu motivieren, die Fehler zu finden und korrigierte Formulierungen vorzuschlagen [15].

Ein Wasch-Wunder blieb geheim – weil es Chemie ist
 Dabei ist das neue Mittel von Hoechst nicht nur sparsamer, sondern bedeutend umweltfreundlicher als frühere

(a) **Dünnsäure steckt Fischen noch immer in den Gräten**
Untersuchung: Krankheitsbefall im ehemaligen Verklappungsgebiet ist leicht erhöht

Weltweit einmaliges Vorhaben
Sprit fürs Auto aus der Luft

Amerikaner drehen Hahn für Trinkwasser zu
Zuviel Chemie im kostbaren Naß

(b) **2 Feuerlöcher:** 1 x mit Pulver, 1 x mit Sauerstoff gef. Dunst-abzugshaube 150 cm lang, kpl. neuw.
■ 14–18 Uhr.

Verpestet „Bleifrei“ die Luft?
dpa. Bonn/Frankfurt. Bleifreies Benzin enthält nach Darstellung des Öko-Testmagazins (Oktober-Ausgabe) zur Zeit durchschnittlich doppelt soviel krebserregendes Benzol und zweieinhalbmal soviel Toluol wie verbleiter Kraftstoff. Benzol werde im Motor nicht verbrannt, sondern durch den Auspuff weitgehend an die Atemluft abgegeben. Ferner

Strom soll aus der Pflanze kommen
Duderstadt plant bundesweit erstes Pilotprojekt mit Biomasse

Natrium explodierte
Unfall bei Degussa – Ein Arbeiter verletzt

27 Verletzte bei Chlorgasunfall
hi Ganderkesee. Nach einem Arbeitsunfall in einem Galvanisierungsbetrieb in Ganderkesee (Landkreis Oldenburg) wurden gestern mittag durch austretendes Chlorgas 27 Personen verletzt. Wie die Polizei mitteilte, geschah der Unfall beim Abfüllen eines Tanks. Aus bisher ungeklärter Ursache gelangte dabei Salzsäure in den Behälter, der zu einem Teil mit Natronlauge gefüllt war. Durch die Reaktion beider Stoffe entstand die Chlorgaswolke. Am Unfallort selbst wurden zwei Arbeiter verletzt, einer davon schwer. Auf dem Gelände eines benachbarten Betriebes atmeten 25 Beschäftigte das Gas ein, sie mußten wegen Verätzungen der Atemwege ins Krankenhaus eingeliefert werden. Während des Giftgasalarms wurde die Bevölkerung über Rundfunk und Lautsprecher dazu aufgerufen, in den Häusern zu bleiben. Gegen 15 Uhr konnte die Absperrung des Unfallortes aufgehoben werden.

dpa Lausanne. Die Autobahn Lausanne-Genf mußte am Montag mehrere Stunden in beiden Richtungen gesperrt werden, nachdem sich der Inhalt mehrerer Fässer mit Salzsäure und Schwefelsäure auf die Fahrbahn ergossen hatte und in Brand geraten war. Ein Lastwagen, der die Fässer transportierte, war wegen eines geplatzten Reifens umgekippt.

werde der benzolähnliche Stoff Toluol beim Verbrennen in Benzol umgewandelt, so daß sich die Benzolwerte in der Atemluft stark erhöhten, wenn bleifreies Benzin ohne Katalysator gefahren werde.

Das Bundesinnenministerium hat die Darstellung des Öko-Testmagazins als falsch zurückgewiesen.

Abb. 2.1: Mit Journalistenfehlern behaftete Zeitungsartikel zur Motivation im Unterricht [14, 15]

Literatur

- [1] Prenzel, M., Krapp, A.: *Interessen, Lernen und Leistung*. Münster 1992 (Aschendorff).
- [2] Schiefele, U.: *Einstellung, Selbstkonsistenz und Verhalten*. Göttingen 1990 (Hogreve).
- [3] Gräber, W., Stork, H.: *Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin im naturwissenschaftlichen Unterricht*. MNU 37 (1984), 257.
- [4] Duit, R.: *Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: Lernen in den Naturwissenschaften. Kiel 1996 (IPN).
- [5] Heilbronner, E., Wyss, E.: *Bild einer Wissenschaft: Chemie*. ChiuZ 17 (1983), 69.
- [6] Barke, H.-D., Hilbing, C.H.: *Image von Chemie und Chemieunterrichts*. ChiuZ 34 (2000), 16.
- [7] Wagenschein, M.: *Die Pädagogische Dimension der Physik*. Braunschweig 1971 (Westermann).
- [8] Jäckel, M., Risch, K.H.: *Chemie heute*. Hannover 1994 (Schroedel).
- [9] Wanjek, J., Barke, H.-D.: *Einfluß eines alltagsorientierten Chemieunterrichts auf die Entwicklung von Interessen und Einstellungen*. In: Behrendt, H.: *Zur Didaktik der Chemie und Physik*. Kiel 1998 (Leuchtturm).
- [10] Harsch, G., Heimann, R.: *Didaktik der Organischen Chemie nach dem PIN-Konzept. Vom Ordnen der Phänomene zum vernetzten Denken*. Braunschweig 1998 (Vieweg).
- [11] Lind, G.: *Sachbezogene Motivation*. Weinheim 1975 (Beltz).
- [12] Krätz, O.: *Historische chemische Versuche*. Köln 1997 (Aulis).
- [13] Roesky, H.W., Möckel, K.: *Chemische Kabinettstücke*. Weinheim 1994 (VCH).
- [14] Haupt, P.: *Die Chemie im Spiegel einer Tageszeitung*. Bände 1–4. Oldenburg 1985–1997.
- [15] Haupt, P.: *Da schmunzelt der Chemiker!* NiU-Chemie 11 (2000), 92.

Übungsaufgaben zu „2 Motivation“

A2.1 Geben Sie Beispiele für extrinsische Motivation und intrinsische Motivation an und diskutieren Sie die Unterschiede beider Motivationsarten. Auf welchen Wegen ist im Chemieunterricht eine intrinsische Motivation zu erreichen? Schildern Sie drei Unterrichtssituationen und entsprechende Beispiele zur Motivation.

A2.2 Ursprüngliche Schülervorstellungen eignen sich besonders, Inkongruenzen und Anomalien und damit eine motivierende, sachbezogene Diskussion im Unterricht zu eröffnen. Erläutern Sie diesen Zusammenhang an drei selbst gewählten Beispielen und verdeutlichen Sie die Inkongruenz.

A2.3 Durch auffallende experimentelle Effekte lassen sich Schüler leicht zum aufmerksamen Zuschauen motivieren. Erläutern Sie an Experimenten Ihrer Wahl, inwieweit lediglich eine extrinsische Motivation vorliegt und in welchen Fällen eine sachbezogene Motivation herzustellen ist.

A2.4 Der Einstieg in ein neues Unterrichtsthema sollte motivierend sein. Wählen Sie übliche Schulbuchthemen aus und zeigen Sie jeweils einen Einstieg auf, der a) durch Anknüpfen an das Vorwissen der Schüler, b) durch eine Inkongruenz, c) durch einen Alltagsbezug, d) durch Selbsttätigkeit der Schüler besonders motivierend ist.

A2.5 Die Alltagssprache enthält Redewendungen, die sachlich nicht immer einwandfrei sind und gerade deshalb zum Nachdenken und zum Korrigieren motivieren. Erläutern Sie das an drei Beispielen Ihrer Wahl und schlagen Sie korrekte Formulierungen zu den Sachverhalten vor.

Experimente zu „2 Motivation“

V2.1 Konstante Schmelztemperaturen

Problem: Schüler und Schülerinnen beobachten in ihrem Alltag, dass das Erhitzen einer Substanz zu dessen Temperaturerhöhung führt. Schmilzt ein Reinstoff allerdings während des Erhitzens, so bleibt die Temperatur solange konstant, bis die Substanz vollständig geschmolzen ist: Während des Schmelzens wird zugeführte Energie zur Zerstörung des Kristallgitters der festen Substanz benötigt (Schmelzwärme). Diesen Zusammenhang sollen die Schüler mit folgenden Experimenten erkennen.

Material: Thermometer (Thermofühler und Digitalanzeige), Dreibein und Drahtnetz, Reagenz- und Bechergläser, Holzklammer; Eis, Naphthalin (N) oder Stearinsäure.

Durchführung: Im Becherglas wird Eis erhitzt, nach gutem Rühren mit dem Thermometer die Temperatur abgelesen. Ein Reagenzglas wird zu einem Viertel mit Naphthalin gefüllt, in der Brennerflamme vorsichtig geschmolzen, die Schmelze mit dem Thermometer gerührt und beobachtet (Vorsicht: Beim Eintauchen des Thermometers darf die ablesbare Maximaltemperatur nicht überschritten werden! Thermometerbruch!). Die Temperatur wird alle 30 s notiert, bis die Substanz vollkommen erstarrt ist.

Beobachtung: Solange das Eis schmilzt, bleibt die Temperatur konstant bei 0°C. Solange ein Gemisch aus Naphthalinschmelze und festem Naphthalin vorliegt, bleibt die Temperatur konstant bei 80°C.

Das Naphthalin riecht stark nach Mottenkugeln (tatsächlich enthalten Mottenkugeln diese Substanz).

Entsorgung: Die Reagenzgläser mit festem Naphthalin werden mit Stopfen verschlossen und in der Sammlung bis zum nächsten Experiment aufbewahrt.

V2.2 Siedetemperaturen des Wassers

Problem: Die Schüler kennen oftmals nur die verkürzte Formulierung „Wasser siedet bei 100°C“. Um den Druckzusammenhang herzustellen, können durch Anschluss einer Pumpe bei erniedrigten Drucken Siedetemperaturen ermittelt und Zusammenhänge von Siedetemperatur und Druck formuliert werden.

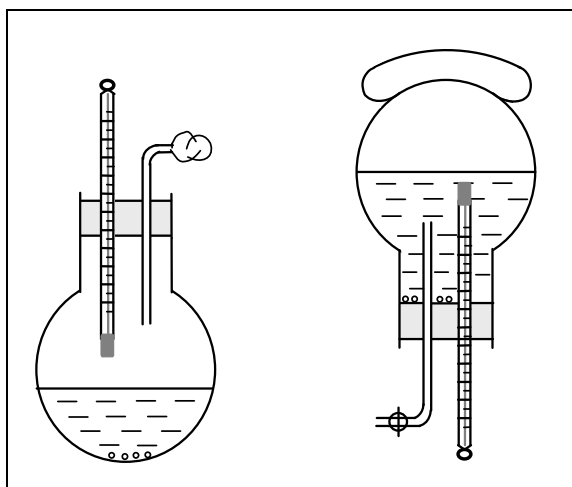
Es gibt auch die Möglichkeit, die Luft im Siedekolben durch Wasserdampf zu ersetzen, ihn durch Abkühlen zu kondensieren und bei dem entsprechenden Unterdruck die absinkenden Siedetemperaturen zu messen: Für den Schüler ergibt sich

die motivierende Inkongruenz, dass nicht wie üblich durch Erhitzen, sondern durch „Abkühlen“ das Kochen von Wasser erreicht wird.

Material: Rundkolben mit Seitenrohr und Hahn, Stopfen mit Thermometer (Thermofühler), Wasserstrahlpumpe, Stativ, Siedesteinchen.

Durchführung: a) Der Rundkolben wird zu einem Viertel mit Wasser gefüllt, das Wasser wird zum Sieden gebracht (Siedesteine) und die Siedetemperatur bestimmt. Die Wasserstrahlpumpe wird angeschlossen, die Siedetemperatur wird während der Luftabsaugung erneut gemessen (Vorsicht Vakuum, Schutzbrille!).

b) Das Wasser im Kolben wird eine Minute lang zum Sieden erhitzt, bis die Luft aus dem Kolben vollständig durch Wasserdampf ersetzt worden ist (Bild). Der Hahn wird geschlossen. Der Kolben ist um 180° zu drehen, ein nasses Tuch darauf zu legen und das Thermometer abzulesen. Der Vorgang wird einige Male wiederholt, schließlich der Kolben aufgerichtet und vorsichtig der Hahn geöffnet (Vorsicht Vakuum, Schutzbrille!).



Beobachtung: Das Thermometer zeigt unter verringertem Druck Siedetemperaturen unter 100°C an. Beim Kühlen des entlüfteten, umgedrehten Kolbens fängt das Wasser jeweils erneut an zu sieden, Temperaturen bis zu 70°C und darunter lassen sich messen. Schließlich dringt pfeifend Luft in den Kolben.

V2.3 Verschiedene Gasvolumina gleicher Brausetabletten

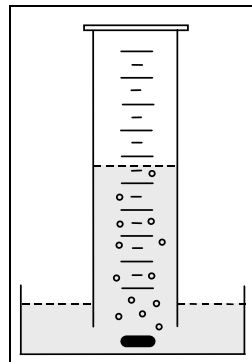
Problem: Schüler wissen, dass in Mineralwasser Kohlenstoffdioxidgas („Kohlensäure“) gelöst vorliegt und kennen das Gas, wenn es in Form kleiner Gasbläschen beim Lösen von Brausetabletten in Wasser frei wird. Beim pneumatischen Auffangen des Gases durch Lösen einer Brausetablette übersehen sie aber trotzdem, dass nur ein Teil des frei werdenden Gases in dem Zylinder auftritt, der andere Teil sich bis zur Sättigung im Wasser löst. Wird zusätzlich eine zweite, gleiche Tablette in Anwesenheit dieser gesättigten Lösung gelöst, tritt ein weitaus größeres Gasvolumen auf. Diese Inkongruenz zu den Vorstellungen der Schüler mo-

tiviert sie, über die Beobachtungen nachzudenken und selbständig die Phänomene der Löslichkeit von Gasen in Wasser und der gesättigten Lösung zu finden.

Material: Messzylinder (250 mL) und passender Stopfen, Glaswanne; Brause-tabletten (Typ „Carbonat/Citronensäure“).

Durchführung: Der Messzylinder wird vollständig mit Wasser gefüllt und mit Hilfe des Stopfens pneumatisch in die halb mit Wasser gefüllte Glaswanne gestellt. Unter die Zylinderöffnung wird eine Tablette gebracht und das entwickelte Gasvolumen markiert. Eine zweite Tablette wird hineingegeben, dieses Volumen ebenfalls festgehalten.

Beobachtung: Das Gasvolumen beträgt im ersten Fall etwa 70 mL, im zweiten Fall 70 mL + 130 mL, also insgesamt 200 mL (auftretende Volumina der Tablettentypen sind vorher zu testen).



V2.4 Löschen von Fett- und Metallbränden

Problem: Durch entsprechende Erfahrungen ist das Löschen von Bränden mit Wasser so sehr Alltagsvorstellung, dass man auch bei Fett- oder Metallbränden selbstverständlich zu Wasser greift – und damit schlimme Unfälle riskiert! Die Experimente können demonstriert werden sowohl zwecks einer Diskussion dieser Sicherheitsaspekte als auch zur Möglichkeit, für Schüler einen kognitiven Konflikt zu schaffen und ihn lösen zu lassen: Sie sollen erkennen, dass das bei hoher Temperatur (ca. 300°C) entzündete Fett das Löschwasser augenblicklich verdampft und mit dem Dampf mitgerissene Fett-Tröpfchen in Luft ein explosives Gemisch bilden. Im Fall des Metallbrandes reagiert das brennende Metall mit Wasser unter Bildung von Metallhydroxiden und Wasserstoff: Wasserstoff und Metall verbrennen mit heller Stichflamme.

Material: Dreibein mit Drahtnetz; Teelicht, Magnesiumspäne (F), Spritzflasche mit Wasser.

Durchführung: Der Docht eines Teelichts wird abgeschnitten, das Paraffin im Aluminiumbehälter sehr stark erhitzt, bis sich der durch Zersetzung entstehende Qualm entzünden lässt. Ein Wasserstrahl wird gezielt auf das ohne Docht brennende Paraffin geleitet (Vorsicht Stichflamme, Schutzbrille).

Ein Kegel Magnesiumspäne wird auf dem Drahtnetz entzündet und das Aufglühen für 10–20 Sekunden beobachtet. In die Glut wird der Wasserstrahl gehalten (Vorsicht Stichflamme, Schutzbrille).

Beobachtung: Über dem brennenden Fett entsteht eine bis zu einem Meter hohe, gelbe Stichflamme. Das glühende Magnesium bildet eine hohe, weiß glänzende Stichflamme.

V2.5 Blauer Blitz von Schwefelkohlenstoff in Stickoxid

Problem: Ein historisches Showexperiment soll zeigen, dass mit effektvollen Experimenten meist große Emotionen verknüpft sind: Sogar die bayerische Königin wünschte sich den „schönen blauen Blitz“ zum zweiten Mal und Liebig wollte die Reaktion nochmals durchführen. Dabei verwendete er allerdings Schwefelkohlenstoff und Sauerstoff in einer bauchigen Flasche und löste eine Explosion des Glasgefäßes aus. In Standzylindern mit parallelen Glaswänden sind diese Reaktionen gefahrlos durchzuführen.

Material: Standzylinder mit Deckglas, großes Reagenzglas mit Ableitungsrohr, pneumatische Wanne, Glasspritze (5 mL), Butangasbrenner (F^+); Ammoniumnitrat (O), Kohlenstoffdisulfid (F/T), Sauerstoff (O).

Durchführung: In der Vorbereitung wird im Reagenzglas Ammoniumnitrat durch vorsichtiges Erhitzen zersetzt, das dabei entstehende farblose Distickstoffoxidgas pneumatisch in den Standzylinder eingefüllt (Schutzbrille, Abzug!). Die Glasspritze ist mit 2 mL Kohlenstoffdisulfid zu füllen und in den Standzylinder zu entleeren, der Zylinder mit dem Deckglas abzudecken (Abzug). Nach dem Entfernen des Deckglases ist das Gemisch mit der Flamme des Butangasbrenners zu entzünden. Der Versuch wird mit Sauerstoff und Kohlenstoffdisulfid wiederholt.

Beobachtung: Ein hellblauer Blitz erscheint, das an einen bellenden Hund erinnernde Geräusch ist wahrzunehmen (der Versuch wird deshalb auch gern „Bellender Hund“ genannt). Im zweiten Experiment ist ein weißer Blitz zu sehen, der durch einen harten Knall begleitet wird.

V2.6 Cola-light ist „leichter“ als Coca-Cola

Problem: Der Dichte-Begriff kann durch einen Effekt in den Unterricht eingeführt werden, der die meisten Schüler überrascht und deshalb zur Erklärung des Effekts herausfordert: Eine Dose Coca-Cola sinkt in Eiswasser unter, die Dose Cola-light schwimmt. Sie werden den hohen Zuckergehalt der Coca-Cola-Lösung diskutieren und auf das „höhere Gewicht“, auf die höhere Dichte kommen und folgern, dass zuckerfreie Cola-light-Lösung wohl eine kleinere Dichte besitzt. Im Übrigen meint der Cola-Hersteller mit dem Zusatz „light“ nicht die geringere Dichte, sondern den geringeren Nährstoffgehalt gegenüber normaler Cola.

Material: Großer Standzylinder, Waage, Aräometer; Dose „Coca-Cola“, Dose „Cola-light“, Eiswasser.

Durchführung: Der Standzylinder wird zu drei Vierteln mit Eiswasser gefüllt, die Getränkedosen in der angegebenen Reihenfolge hineingegeben. Die Dosen werden gewogen. Die Dichten der Cola-Lösungen werden durch Wiegen bestimmter Volumina oder mit Hilfe des Aräometers bestimmt.

Beobachtung: Die Coca-Cola-Dose geht unter, die Cola-light-Dose schwimmt oben. Die Cola-Dose wiegt etwa 20 g mehr als die Light-Dose. Die Dichte von Coca-Cola-Lösung ist größer als 1,00 g/L.

Hinweis: Die Herstellungstechnik der Dosen bedingt jeweils einen Lufteinschluss in der Dose. Dieser Einschluss kann unterschiedlich sein, und es kann deshalb vorkommen, dass auch die Light-Dose untergeht.

V2.7 Eis sprengt eine Flasche

Problem: Ein anderes Dichte-Phänomen ist die Dichte-Anomalie des Wassers: Eis nimmt ein größeres Volumen ein als Wasser derselben Stoffportion. Das auf Wasser schwimmende Eis ist uns allen sehr vertraut und wir denken nicht darüber nach, dass im Normalfall der Feststoff in seiner Schmelze untergeht, also etwa eine Kerze im flüssigen Wachs oder ein Metallgegenstand in der Schmelze des Metalls versinkt.

Um die Anomalie deutlich zu machen, kann ein Behälter randvoll mit Wasser gefüllt, verschlossen und unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden: Der Behälter wird durch das größere Eisvolumen gesprengt.

Material: Kleine Glasflasche mit Schraubverschluss, Thermometer (-20 bis 100°C); Eiswasser, Eis-Kochsalz-Kältemischung.

Durchführung: Die Kältemischung wird hergestellt, die deutlich unter dem Gefrierpunkt liegende Temperatur mit dem Thermometer demonstriert. Die Flasche wird randvoll mit Eiswasser gefüllt, fest verschlossen in die Kältemischung getaucht und nach einigen Minuten wieder herausgenommen.

Beobachtung: Das Wasser gefriert zu Eis, die Flasche zerplatzt.

V2.8 Schwarzer Kohlenstoff aus weißem Zucker

Problem: Ein höchst erstaunliches Phänomen für Schüler jeder Alters- oder Klassenstufe ist die Reaktion von weißem Zucker und farbloser Schwefelsäure zu schwarzem Kohlenstoff: Es lässt sich zeigen, dass Zucker eine Kohlenstoff-Verbindung ist. Ausgehend vom Zucker könnte somit motivierend in die Chemie der Kohlenstoff-Verbindungen bzw. in die Organische Chemie eingeführt werden.

Material: Becherglas (250 mL), Glasstab; Haushaltszucker, konzentrierte Schwefelsäure (C), Wasser.

Durchführung: In das Becherglas wird etwa 3 cm hoch Zucker gegeben und mit wenig Wasser zu einem Brei vermischt. Man überschichtet etwa 3 cm hoch mit Schwefelsäure, verrührt kurz mit dem Glasstab, stellt das Becherglas auf eine hitzebeständige Unterlage oder auf den Fliesentisch und wartet ab.

Beobachtung: Ein kräftiges Zischen und Aufblähen des Gemischs verrät eine Reaktion, dabei erhitzt es sich sehr stark. Es bildet sich eine schwarze, poröse Substanz in Form einer Wurst, die bis zu 20 cm lang werden kann. Ein süßlicher Zersetzungseruch macht sich bemerkbar.

Entsorgung: Die schwarze Substanz, die mit konzentrierter Schwefelsäure behaftet ist, wird vorsichtig in Papier gewickelt und in das Gefäß für feste Abfälle entsorgt. Das Becherglas wird mit viel Wasser gespült und gereinigt.

V2.9 Strom aus der Zitrone

Problem: Um sachbezogen für Elektrochemie oder die Spannungsreihe der Metalle zu motivieren, lassen sich zwei verschiedene Metallstreifen in eine Salzlösung eintauchen und mit einem Spannungsmesser elektrische Spannungen bis zu zwei Volt zwischen ihnen feststellen. Man überzeugt sich ebenfalls, dass bei gleichen Metallen keine Spannung zu messen ist. Noch motivierender ist es, eine Zitrone zu verwenden: Der Saft der Zitrone ist als Elektrolytlösung geeignet, dieselben Phänomene zu erzeugen.

Material: Becherglas, Spannungsmesser, 2-V-Elektromotor, Kabelschnüre und Krokodilklemmen; Natriumchlorid-Lösung, Blechstreifen von Kupfer, Zink und Magnesiumband (F), Zitrone.

Durchführung: Das Becherglas wird zur Hälfte mit der Salzlösung gefüllt. Zwei verschiedene Metallstreifen werden mit Krokodilklemmen und Kabelschnüre versehen und über die Kabel mit dem Spannungsmesser verbunden. Die Metallstreifen werden in die Lösung eingetaucht, Spannungen gemessen. Das Experiment wird mit anderen Metall-Kombinationen und auch mit gleichen Metallen wiederholt. Der Elektromotor wird jeweils angeschlossen.

Die Metallstreifen führt man auch in die Zitrone ein und wiederholt die Versuche (ggf. Trennwände in der Zitrone vorher mit einem Messer zerstören).

Beobachtung: Zwischen Kupfer und Zink bzw. Kupfer und Magnesium sind Spannungen von etwa 1,5 V festzustellen, der Elektromotor arbeitet. Zwischen Zink und Magnesium sind wesentlich kleinere Spannungswerte, zwischen gleichen Metallen Spannungen um den Wert 0 V abzulesen, der Motor arbeitet nicht.

Hinweis: Der Saft der Zitrone ist eine zu schwache Elektrolytlösung, um die Stromdichte für das Laufen des Elektromotors zu erreichen. Es gelingt, wenn zwei oder drei Zitronen hintereinander geschaltet werden.

V2.10 Namensschild aus Messing

Problem: Schüler werden immer sehr stark motiviert, wenn sie selbst etwas herstellen und nach Haus mitnehmen dürfen. So können sie etwa zur Einführung in die Thematik „Säuren lösen Metalle“ ein Metallschild mit eigenem Namen herstellen, indem sie ihren Namen auf ein mit Wachs präpariertes Metallblech ritzen und diese Stellen mit einer geeigneten Säure anätzen. Dieses Schild lässt sich nicht nur zu Hause verwenden, sondern die Schüler können auch in Familie und Freundeskreis berichten, wie sie es hergestellt haben.

Material: Kristallisierschale, Becherglas, Pipette; Messingplatte oder Kupferblech, Teelicht, Eisennagel, konzentrierte Salpetersäure (C), Siedesteine, Benzin (Xn/F/N), Filterpapier.

Durchführung: Eine Seite der Metallplatte wird dünn mit flüssigem Paraffin eines brennenden Teelichts bestrichen und in diese Wachsschicht mit dem Nagel kräftig ein Name oder die gewünschte Figur hineingeritzt.

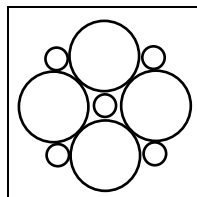
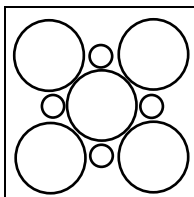
Man legt die Platte mit der Wachsschicht nach oben auf einige Siedesteine in die Kristallisierschale und stellt sie in den Abzug. Im Becherglas mischt man 5 mL Wasser mit 10 mL Salpetersäure und tropft die Lösung mit der Pipette auf die verletzten Stellen der Wachsschicht. Nach einigen Minuten spült man mit viel Wasser und entfernt mit Spatel bzw. mit Hilfe von Papier und Benzin die Wachsschicht.

Beobachtung: Die Säurelösung reagiert mit den Ritzstellen des Metalls unter Gasentwicklung, es entsteht eine blaue Lösung und ein braunes Gas (Abzug!). Nach Entfernen des restlichen Wachses ist der Name oder die Markierung deutlich im Metallblech zu erkennen.

M2.1 Kugelpackungsmodell eines Salzkristalls

Problem: Der selbsttätige Bau von Strukturmodellen ist sehr motivierend für viele Schüler und Schülerinnen – insbesondere wenn sie diese Modelle nach Hause mitnehmen dürfen. So ist es etwa möglich, beim Thema „Zusammensetzung der Salze“ am Beispiel des Natriumchlorid-Kristalls dessen Aufbau aus Natrium- und Chlorid-Ionen im Zahlenverhältnis 1 : 1 zu veranschaulichen (vgl. auch ausführliche Bauvorschriften zum Kapitel 6 „Modelle und Modellvorstellungen“).

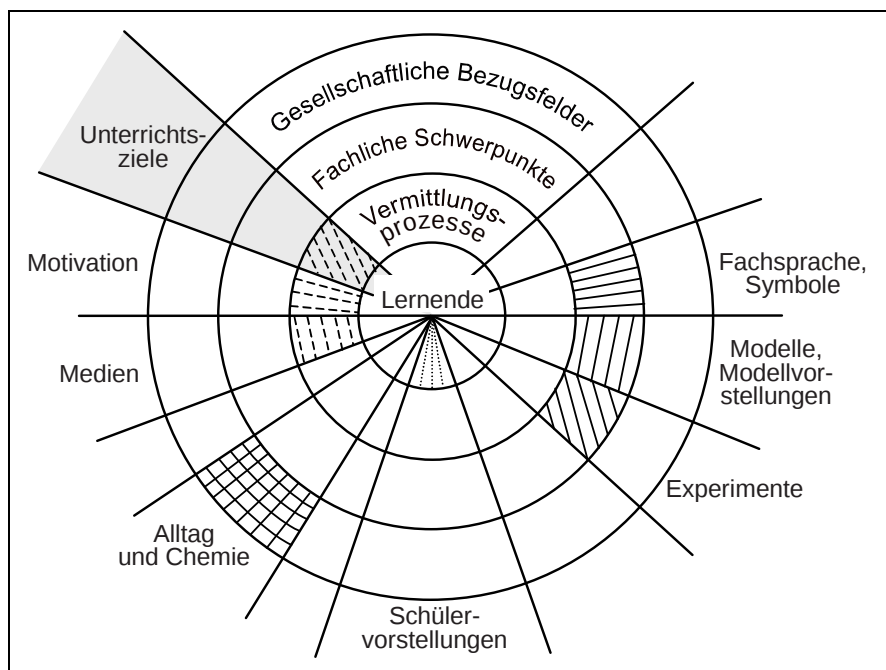
Material: Natriumchlorid- oder Steinsalzkristalle, Zellstoffkugeln (pro Schüler etwa 18 weiße Kugeln Ø 30 mm und 18 rote Kugeln Ø 12 mm), Klebstoff



Durchführung: Die Kugeln werden in Form von zwei mal zwei Schichten verklebt (Bild) und umschichtig zu einer quadratischen Säule aufeinander gesetzt. Es wird ermittelt, wie viel kleine Kugeln eine große Kugel berühren und wie viel große Kugeln eine kleine Kugel berühren. Abbildungsmerkmale und Grenzen des Modells werden im Vergleich mit einem Natriumchlorid-Kristall als Original diskutiert.

Beobachtung: Die Schichten rasten dicht ineinander ein und bilden eine quadratische Säule. Eine große Kugel wird im Inneren der Kugelpackung von sechs kleinen Kugeln berührt, eine kleine Kugel von sechs großen Kugeln. Das Zahlenverhältnis der Kugelsorten in der Packung beträgt 1 : 1.

3 Unterrichtsziele



„Wenn wir Erwachsene fragen, was sie von ihrer chemischen Schulzeit noch in Erinnerung haben, so erkennen wir eine Schwierigkeit, die vielfach auch schon unsere Schüler plagt. Man erhält nämlich meist die Antwort: ‚Ach, da waren so Formeln‘, und man ist stolz, wenn man noch weiß, was H_2SO_4 ist – nicht was es bedeutet –, denn so viel chemisches Wissen ist meist nicht hängen geblieben. Ein hoher Beamter eines Oberschulamtes, er war sogar Naturwissenschaftler, sagte mir: ‚Gehen Sie mir weg mit dem Bildungswert der Chemie, das ist doch nur Formelkram‘ “ [1].

In unseren Curricula stehen „Formeln“ oft sehr im Vordergrund. Solange die Lernenden den Informationsgehalt dieser Symbole nicht durchschauen, verstehen sie auch die Inhalte des Fachs Chemie nicht. Oftmals kokettieren sie auch mit ihrem Unverständnis des Fachs:

„Wie oft habe ich von Erwachsenen gehört: ‚Ich habe es nie begriffen‘. Die meisten taten dann so, als wären sie noch stolz darauf. Immerhin sind sie ja ‚trotzdem etwas geworden‘ “ [2].

Es ist offensichtlich vielen Lehrern nicht gelungen, Ziele naturwissenschaftlicher Bildung aus der Sicht des Faches Chemie so zu vermitteln, wie es Experten wichtiger Berufsverbände sehen:

„Die mathematische und naturwissenschaftliche Bildung ist ein essentieller Bestandteil der Allgemeinbildung; sie dient der Persönlichkeitsentwicklung durch Vermittlung von Methodenkompetenz, Sachwissen und Haltungen, und sie ermöglicht ein grundlegendes fachliches Verständnis für Fragen der Technik und bietet somit die Basis für eine verantwortungsvolle Teilnahme an der gesellschaftlichen Diskussion um Möglichkeiten und Grenzen der technischen Entwicklung. Jedes der Fächer Mathematik, Physik, Chemie und Biologie liefert dazu einen spezifischen Beitrag an disziplinärem Fachwissen. Nur auf der verlässlichen Basis von Fachunterricht trägt fachübergreifendes Lernen dazu bei, Problemstellungen aus Natur und Technik in ihrer Komplexität und Verflechtung begreifbar zu machen“ [3].

Um in diesem Sinne mit Inhalten des Faches Chemie zur Allgemeinbildung beitragen zu können, müssen die Ziele des Chemieunterrichts ständig reflektiert und nach neuesten Erkenntnissen so formuliert werden, dass ein gutes Chemieverständnis bei Lernenden resultieren kann. Zur sinnvollen Diskussion dieser Grundfrage der Chemiedidaktik sind zuvor allgemeine erziehungswissenschaftliche und schulpädagogische Bereiche zu reflektieren. Dazu gehören:

- Ziele von Erziehung und Unterricht, ihre Dimensionen und Taxonomien,
- Ziele auf der Grundlage verschiedener „Didaktischer Modelle“,
- Unterrichtsziele und Unterrichtsanalyse aufgrund dieser Modelle.

Allgemeindidaktische Einführung

Unterrichtsziele und ihre Dimensionen. In den Naturwissenschaften verdoppelt sich etwa alle 10 Jahre der Wissensbestand. Es ist dementsprechend die Diskussion darüber zu führen, welche Einstellungen, Verhaltensweisen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Kenntnisse von Lernenden heute verlangt werden müssen. Der Deutsche Bildungsrat [4] fragt deshalb:

„Mit welchen Gegenständen und Inhalten soll der Schüler konfrontiert werden? Was soll er lernen? In welchen Lernschritten, in welcher Weise und anhand welcher Materialien soll er lernen? Wie soll das Erreichen der Lernziele festgestellt werden?“.

Zu Lernzielen sind zunächst unterschiedliche Stufen von Zielen zu unterscheiden. Allgemeine *Leitziele* oder *Erziehungsziele* umfassen alle Bereiche von Erziehung an Schulen oder zur Schulbildung als Ganzes. *Grobziele* betreffen spezifische Unterrichtsintentionen der Fächer, *Feinziele* beziehen sich auf einzelne Lernschritte in einer bestimmten Unterrichtseinheit.

Operationalisierte Lernziele spezifizieren detailliert die Operationen der Lernenden, die im Unterricht erworben werden sollen. Sie geben präzise beobachtbare *Verhaltensdispositionen* an, die erwartet werden, beispielsweise: „Die Schüler sollen von fünf angegebenen Säure-Base-Indikatoren drei Indikatoren auswählen und deren Farben im sauren und alkalischen Bereich nennen“. Da solch konkrete Operationalisierungen ständige Lernzielkontrollen erfordern, um das jeweils erwartete Verhalten der Lernenden zu erheben, hat sich diese Art von Zielen nicht durchgesetzt.

In Lernzielen sollten Aspekte der Unterrichtsinhalte allerdings schon mit Aspekten des Verhaltens verknüpft sein. Verhaltensänderungen können in drei bestimmten Dimensionen stattfinden [5]:

- im Wahrnehmungs-, Gedächtnis- und Denkbereich: *kognitive Dimension*,
- im Interesse-, Einstellungs- und Wertbereich: *affektive Dimension*,
- im Bereich der manuellen und motorischen Fertigkeiten: *psychomotorische D.*

Lernziele dieser drei Dimensionen lassen sich hierarchisieren bzw. in eine Lerntaxonomie überführen. Insbesondere für die Lernziele der kognitiven Dimension wurden *Lernziel-Hierarchien* nach steigender Komplexität vorgeschlagen, etwa von Bloom [6]:

1. *Wissen*: konkrete Daten und Fakten kennen, Regeln, Gesetze oder Symbole wissen.
2. *Verstehen*: Fakten verknüpfen, Daten interpretieren und extrapolieren, Folgerungen daraus ableiten.
3. *Anwenden*: Wissen in neuen Situationen anwenden können, Transfer auf neue Sachverhalte durchführen.
4. *Analyse*: komplexe Informationen zerlegen, Daten analysieren, Kausalbeziehungen und Muster erkennen.
5. *Synthese*: Einzelinformationen zu einem Komplex zusammenfügen, Daten koordinieren, systematisch denken.
6. *Bewertung*: komplexe Sachverhalte beurteilen, ein Fazit ziehen.

Der Deutsche Bildungsrat [4] schlägt folgende Hierarchie vor:

1. *Reproduktion*: Wiedergabe von Kenntnissen aus dem Gedächtnis,
2. *Reorganisation*: selbstständige Neuordnung bekannter Sachverhalte zu neuer Struktur,
3. *Transfer*: Übertragen bekannter Sachstrukturen auf neue Sachverhalte,
4. *Problemlösen*: Lösen neuartiger Aufgaben, Finden neuer Erklärungen.

Die verschiedenen Lernzielstufen sind jeweils nur auf dem Hintergrund des vorhergegangenen Lernens und des Wissensstandes des jeweiligen Schülers zu beurteilen – es ist nicht möglich, unabhängig davon isolierte Unterrichtsziele diesen Stufen zuzuordnen.

Didaktische Modelle. Es sind im Wesentlichen fünf didaktische Modelle entwickelt worden:

- Die bildungstheoretische Didaktik von Klafki [7],
- die lerntheoretische Didaktik von Schulz [8],
- die curriculare Didaktik von Möller [9],
- die kritisch-kommunikative Didaktik von Winkel [10],
- die informationstheoretisch-kybernetische Didaktik von Cube [11].

Im Gegensatz zur *normativen Didaktik* vergangener Jahrhunderte, die Handlungsanweisungen mit Zielen formulierte, was bei der Erziehung herauskommen *soll*, orientieren sich die gegenwärtigen didaktischen Modelle am *Ist* der Erziehungswirklichkeit. Unterschiedliche Modelle zur Didaktik [12] sind deshalb ent-

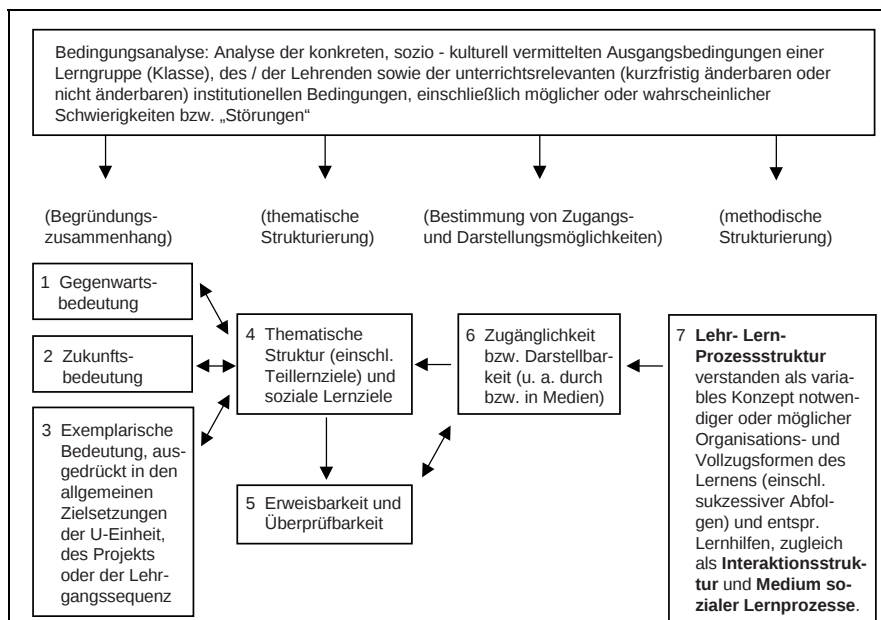


Abb. 3.1: Perspektivenschema zur bildungstheoretischen Didaktik nach Klafki [7]

wickelt worden, weil sich Unterrichtsgeschehen so komplex darstellt, dass von einem Modell allein das Wesentliche nicht erfasst werden kann. Die Modelle stehen also nicht im Widerspruch zueinander, sondern ergänzen sich: „In der Didaktik leben wir in einer pluralistisch perspektivischen Welt. Die einzelnen Perspektiven werden durch die verschiedenen Modelle der Didaktik repräsentiert“ [13]. Es sollen im Folgenden die beiden erstgenannten Modelle exemplarisch skizziert und verglichen werden.

Die *bildungstheoretische Didaktik* geht von der „Didaktischen Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung“ [14] aus und entwickelt über Begründungen zur Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung eine „thematische Struktur“. Erst auf dieser Grundlage findet die Reflexion der „Darstellbarkeit durch Medien“ und „methodischen Strukturierung“ statt (vgl. Abb. 3.1). Während das vorgenannte Modell vom *Primat* der Inhalte ausgeht, favorisieren die Begründer der *lerntheoretischen Didaktik* die These von der *Interdependenz* der Entscheidungsfelder: Intentionen, Inhalte, Methoden und Medien gehören zusammen und bedingen sich auch gegenseitig, die didaktische Analyse kann von jedem dieser Felder ausgehen [15]. In seinem Beitrag hat Schulz [8] später die Entscheidungsfelder verändert, die Interdependenz allerdings beibehalten (vgl. Abb. 3.2).

Unterrichtsplanung und -analyse. Auf der Grundlage der lerntheoretischen Didaktik und der Interdependenz von Voraussetzungen, Zielen, Inhalten, Methoden und Medien stellt Bönsch [16] eine Übersicht zur Unterrichtsplanung zusammen (vgl. Abb. 3.3). Für die spezifischen Belange des Chemieunterrichts mag ein Block „Medium: Experiment/Modell“ angefügt werden: Welche Experimente/Modelle sind vorgesehen, welche Alternativen möglich? Wie wird die Auswahl der Experi-

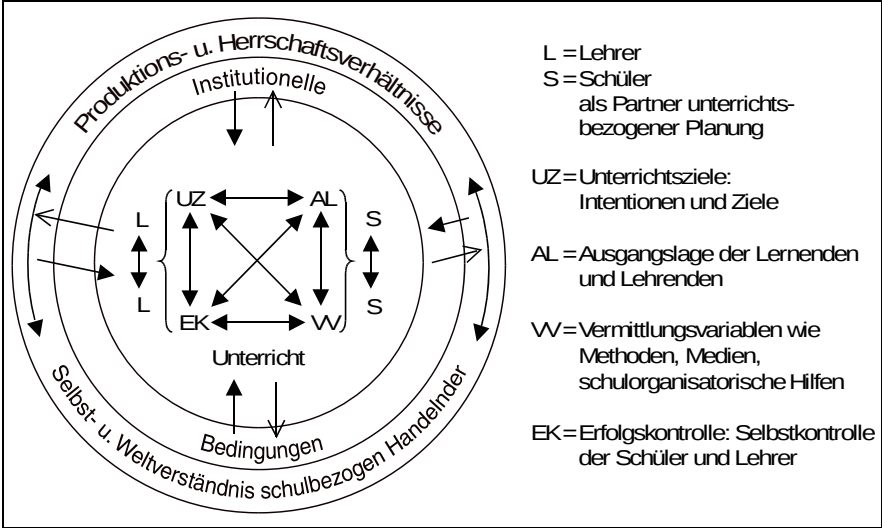


Abb. 3.2: Handlungsmomente der lerntheoretischen Didaktik nach Schulz [8]

mente/Modelle begründet? Werden die Experimente gemäß ihrer spezifischen Funktion (Einstieg, Datengewinnung, Hypothesenprüfung, Wiederholung, etc.) angemessen eingesetzt? Ist das Experiment als Lehrer-, Schüler- oder Gruppenversuch (arbeitsgleich oder arbeitsteilig) geplant? Sind notwendige Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen?

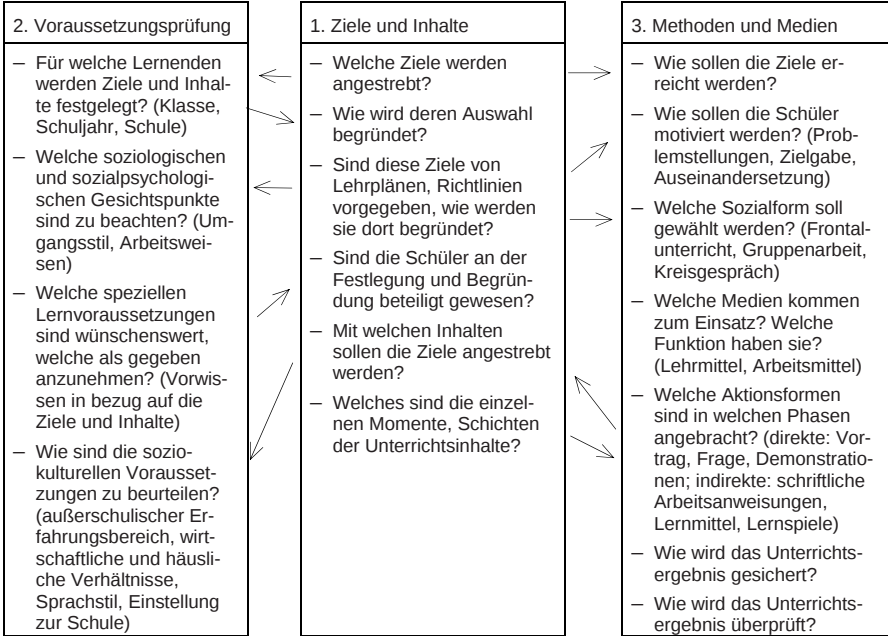


Abb. 3.3: Planungsanalyse aufgrund der lerntheoretischen Didaktik nach Bönsch [16]

Die Planungsanalyse ist Grundlage für die *Prozessanalyse* von Unterricht – auch in diesem Fall ist eine vierte Fragenkategorie zum Experimentalunterricht und eine fünfte Fragenkategorie zum Einsatz von Modellen ergänzt worden (vgl. Tabelle 3.1).

Zur Unterrichtsplanung unterscheidet Meyer [17] in seinem „Raster für die schülerorientierte Unterrichtsvorbereitung“ Lehrziele des Lehrers und *Handlungsziele der Schüler*. Auf dieser Grundlage wird der „Faktor Schüler“ stärker berücksichtigt als bei anderen Übersichten: „Sozialisierungsprobleme im Kurssystem, Alltagsbewußtsein der Schüler, Interesse am Kurs (Wahlmöglichkeiten, Zwangszuweisung), Leistungs- und Punkte-Orientierung, zeitliche Belastbarkeit“ sind Beispiele.

Tabelle 3.1: Prozessanalyse auf der Grundlage der Planungsanalyse nach Bönsch [16]

1. Generell: *Vergleich des beobachteten Unterrichtsprozesses mit der Unterrichtsplanung*

Hat sich der Unterricht der Planung entsprechend realisieren lassen? Wenn nein, warum nicht? Welche unerwarteten Ereignisse waren zu beobachten?

Waren die Ziele zu hoch, zu niedrig gesteckt? Waren die Inhalte eventuell schon bekannt? Waren Methoden, Medien den Zielen/Inhalten wie den Schülern angemessen? Was hätte man gegebenenfalls anders machen sollen?

Sind die Ziele des Unterrichts erreicht worden? Ist das überprüft worden oder kann man nur Vermutungen anstellen?

2. Speziell: *Unterricht in Klassen ist immer auch ein komplexes Kontaktgeschehen*

Wie stark (und störend) ist die Dominanz des Lehrers gewesen (Sprachanteile, Führungsstil)? Wieweit sind alle Schüler am Gespräch, an der Auseinandersetzung beteiligt gewesen? Wieweit waren Gespräche möglich? Hat sich die Dominanz einiger Schüler störend oder anregend bemerkbar gemacht?

Welcher Art waren die spontan zu gebenden methodischen Hilfen wie Ermunterungen des Lehrers? Wieweit waren die Schüler an Entscheidungen zur Zielbestimmung, -erreichung beteiligt?

Wieweit waren Selbstständigkeit und Mitbestimmung möglich?

3. Speziell: *Unterricht will immer Lernprozesse bei Lernenden initiieren, steuern, erfolgreich gestalten*

Wie sind Schüler motiviert worden? Welche Problemstellungen wurden gewählt?

Was ist von den Lernprozessen einzelner zu beobachten gewesen? (Unterrichtsgeschehen ist nicht gleich individuelles Lerngeschehen.) Wieweit war individuelles Lernen möglich? Sind Ausgangslage und Endverhalten erhoben worden, und lässt sich damit das Ergebnis, der Lernzuwachs beim Einzelnen, angeben?

Ist der Lernende im wesentlichen Objekt organisierten Lernens oder ist er Subjekt im Sinne einer Mitbestimmung über Lernziele, -inhalte, -methoden, -medien, -erfolgskontrollen?

Welche Art von Lernprozessen ist beabsichtigt gewesen, welche realisiert worden?

Welche Medien sind eingesetzt worden, zu welchem Zweck, mit welchem Effekt?

4. Speziell: *Chemieunterricht ist Experimentalunterricht (vgl. Kap. 5 „Experimente“)*

Haben die Schüler die Problemstellung für das Experiment verstanden? Ist die Durchführung des Experiments gelungen? Wurde die Versuchsanordnung angezeichnet, wurde sie von den Schülern durchschaut? Hat das Experiment tatsächlich zur Problemlösung beigetragen? Welche Fragen blieben offen?

Sind die Beobachtungen für alle Schüler – ggf. durch Projektion des Experiments – sichtbar gewesen? Sind Anweisungen für Gruppen- und Schülerversuche verständlich und vollständig gewesen? Ist die Auswertung des Experiments aufgrund der beobachteten Phänomene oder Messwerte erfolgt?

Haben die Schüler die Gelegenheit gehabt, Durchführung, Beobachtungen und Auswertung des Experiments schriftlich zu fixieren? Sind Messfehler diskutiert worden?

5. Speziell: *Chemieunterricht und der Einsatz von Modellen (vgl. Kap. 6 „Modelle“)*

Konnten die Schüler Gründe und Sinn für den Einsatz von Modellen erkennen und nachvollziehen?

Haben sie alle Abbildungsmerkmale des Modells verstanden? Sind ihnen irrelevante Zitate des Modells – etwa durch den vergleichenden Einsatz zweier oder dreier Strukturmodelle zum gleichen Sachverhalt – deutlich geworden?

Hatten die Schüler Gelegenheit, die submikroskopische Struktur der Materie durch den eigentätigen Bau von Strukturmodellen – etwa von Kugelpackungen, Raumgittern oder Molekülmodellen – zu erfassen?

Wurden Struktur- und Bindungsmodelle nur verbal vermittelt? Oder sind sie durch Zeichnungen, Raummodelle oder andere Medien für Lernende anschaulich geworden?

Haben die Schüler diese Medien hinsichtlich der Abbildungs- und Verkürzungsmerkmale diskutiert? Sind Unterschiede von konkreten Anschauungsmodellen und Denkmodellen deutlich geworden? Wurden Experimente und Modelle aufeinander bezogen?

3.1 Gesellschaftliche Bezugsfelder – Richtlinien und Lehrpläne

Schule – und damit auch Chemieunterricht – ist in hohem Maße von gesellschaftlich vorgegebenen Prämissen abhängig. Die Gesellschaft nimmt Einfluss auf die Ziele des Chemieunterrichts, die Umweltproblematik wirkt sich in Forderungen an den Chemieunterricht aus; politische, ökonomische, technologische, wissenschaftliche und kulturelle Entwicklungen wirken auf den Unterricht zurück.

Diese Zusammenhänge sollten Lehrern und Lehrerinnen bewusst sein – sie finden sich auch in Präambeln und Leitziele der Lehrpläne in den Bundesländern wieder. Die „*Richtlinien und Lehrpläne, Chemie, Gymnasium, Sekundarstufe I*“ des Landes Nordrhein-Westfalen [18] besagen:

„Das Gymnasium vermittelt eine allgemeine Bildung mit dem Ziel, die Schülerinnen und Schüler zur mündigen Gestaltung des Lebens in einer demokratisch verfassten Gesellschaft zu befähigen. Es bietet ihnen Anregungen und Hilfen, ihre individuellen Anlagen zu entfalten und eigene handlungsbestimmende Werthaltungen aufzubauen. ... Eine solche Bildung wird in Auseinandersetzung mit den Phänomenen der Natur und der Gesellschaft, ihren

Strukturen und Gesetzmäßigkeiten, den kulturellen Traditionen und der gegenwärtigen kulturellen Wirklichkeit entwickelt“.

Der Deutsche Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts (MNU) hat in seinen „*Empfehlungen zur Gestaltung von Lehrplänen bzw. Richtlinien für den Chemieunterricht*“ [19] pädagogische Leitlinien entwickelt und zur Diskussion gestellt:

- „Komplexes Denken üben,
- Kommunikationsfähigkeit entwickeln,
- Schülervorstellungen berücksichtigen“.

In diesen Empfehlungen [19] heißt es weiter: „Zur Konzeption des Chemieunterrichts an der *Sekundarstufe I*“ sind folgende fachlichen Leitlinien zu beachten:

- Arbeitsweisen der Chemie,
- Stoffe, Eigenschaften und Stoffgruppen,
- Struktur und Eigenschaften,
- Teilchen zwischen Vorstellung und Realität; erste differenzierte Atom- und Bindungsmodelle,
- chemische Reaktion: Veränderung auf Stoff- und Teilchenebene, Formelsprache, energetischer und zeitlicher Verlauf,
- Erkennen von Ordnungsprinzipien für Stoffe und Reaktionen“ [19].

Zu Kriterien für die Gestaltung von Lehrplänen an der *Sekundarstufe II* werden Erschließungsbereiche, Fachkonzepte und Leitthemen diskutiert (vgl. Abb. 3.4):

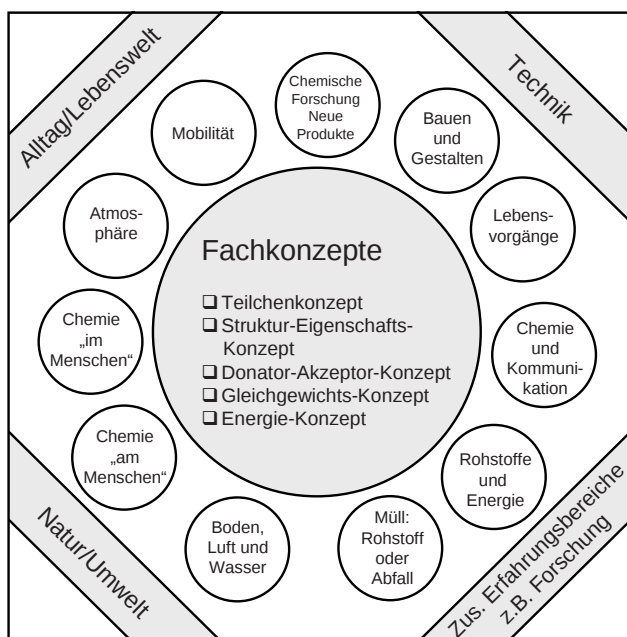


Abb. 3.4: Zusammenhang zwischen Erschließungsbereichen, Fachkonzepten und möglichen Leitthemen [19]

„Der Orientierung an fachsystematischen Kriterien wird mit der Berücksichtigung von Erschließungsbereichen wie Alltag, Umwelt, Technik und Forschung eine zweite Orientierungsleitlinie gleichberechtigt an die Seite gestellt. Es wird für sinnvoll gehalten, die inhaltliche Konkretisierung an Themenfeldern vorzunehmen, die jeweils unter einem gemeinsamen Leitthema stehen“ [19]

„Die fachwissenschaftlichen Inhalte sollen auf wenige zentrale *Basiskonzepte* (vgl. Abb. 3.4) zurückgeführt werden. Es sind dies: a) das Teilchenkonzept, b) das Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehung, c) das Donator-Akzeptor-Konzept, d) das Gleichgewichtskonzept, e) das Energiekonzept. Diese Basiskonzepte werden an möglichst vielen Stellen des Curriculums gezielt angesteuert. Sie werden damit nicht nur im Sinne eines klassischen Spiralcurriculums aufeinander folgend angeordnet, vielmehr wird diese starre Struktur zugunsten eines offeneren Systems aufgegeben, in dem möglichst von unterschiedlichen Stellen auf diese Fachkonzepte zurückgegriffen wird“ [19].

Zur „Entwicklung der *Methodenkompetenz*“ werden „Mindmapping und Clustering, Stationenlernen (Lernzirkel), Gruppenpuzzle, Projektarbeit, Planspiel und Facharbeit“ skizziert, schließlich „Überprüfungen durch Tests und Klausuren“ erläutert [19].

Um diese Inhalte in das Gesamtcurriculum einordnen zu können, soll eine Skizze des deutschen Schulsystems aufgenommen werden (vgl. Abb. 3.5), darin ist die Zuordnung von *Primarbereich*, *Sekundarbereich I* und *II* und *Tertiärbereich* zu erkennen. Für die Sekundarstufe I findet in den meisten Bundesländern eine Differenzierung in *Gymnasium*, *Gesamtschule*, *Realschule* und *Hauptschule* statt, der Zugang zu den Schulformen ist unterschiedlich: Im Allgemeinen entscheiden ihn die Eltern. In einigen Bundesländern wird der Zugang durch Besuch und Lehrurteil der *Orientierungsstufe* bestimmt, die die Klassenstufen 5 und 6 umfasst.

Sachunterricht im Primarbereich. Der Vollständigkeit halber soll ein Überblick über Inhalte erfolgen, die bereits im Sachunterricht der Grundschule angesprochen werden. Das Interesse der Sechs- bis Zehnjährigen an biologischen, chemischen, physikalischen und technischen Phänomenen ist – oftmals im Gegensatz zu älteren Schülern – sehr groß. Es gilt dieses Interesse zu nutzen und Kindern viele Phänomene „in den Klassenraum zu bringen“, falls sie in der Umwelt nicht mehr beobachtbar sind..

Die Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) schlägt fünf „Perspektivbereiche“ vor. „I. Sozial- und kulturwissenschaftliches Lernen, II. Raumbezogenes Lernen, III. Naturbezogenes Lernen, IV. Technisches Lernen, V. Historisches Lernen“. Unter „III. Naturbezogenes Lernen“ werden u. a. folgende „inhaltsbezogene Beispiele“ skizziert, die chemische Sachverhalte betreffen [20]:

„Eigenschaften von Stoffen, Wirkungen der Wärme, Schmelzen und Erstarren, Verbrennungsprozesse, Sauerstoff und Atmung, beständige und unbeständige Stoffe, Nutzung der Elektrizität, Naturkräfte, Wind und Wasser, Wetter, mein Körper, Gesundheit, Umweltgefährdung und Umweltschutz, gesunde Ernährung“.

Diese Inhalte sollen verknüpft werden mit „verfahrensbezogenen“ Prozessen, u.a.:

„Betrachten und beobachten; sammeln, ordnen und klassifizieren; messen und vergleichen; Probleme identifizieren und mit Versuchen bearbeiten; Vermutungen und Deutungen for-

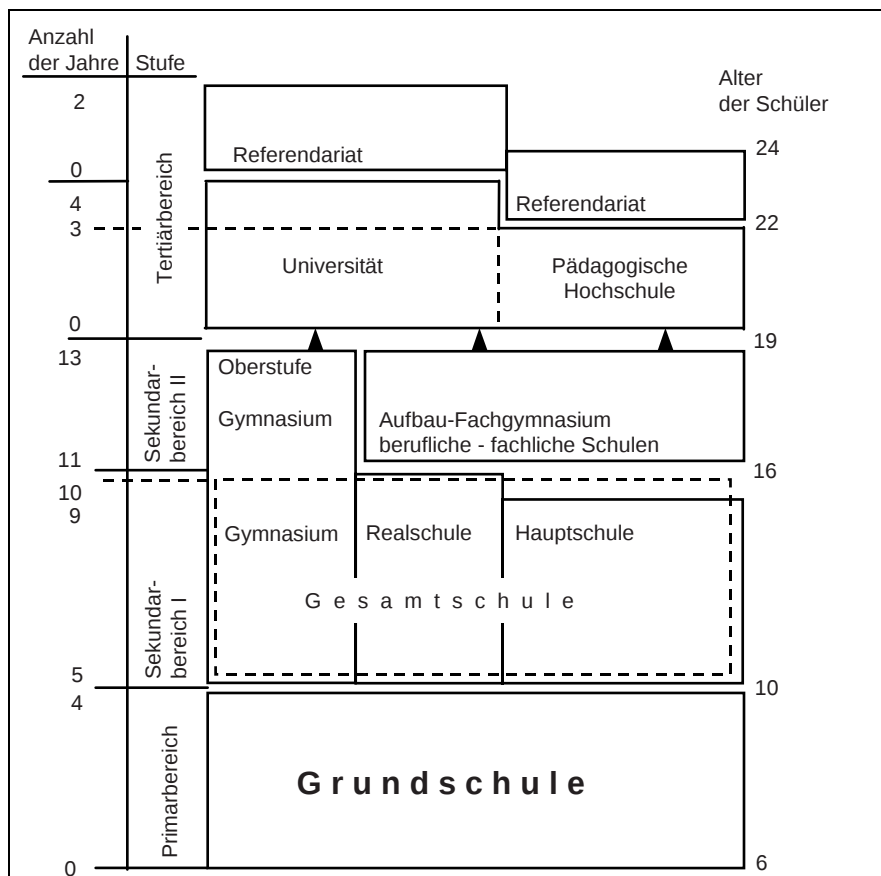


Abb. 3.5: Das derzeitige Ausbildungssystem in der Bundesrepublik Deutschland

mulieren, begründen und überprüfen; Versuche planen, durchführen, auswerten und interpretieren; Tabellen und Diagramme anfertigen und auswerten; Erklärungen bewerten; sachkundig zeichnen“[20].

Im Sachunterricht spielen insbesondere Handlungsprozesse eine wichtige Rolle für das Lernen. Möller konnte mit ihren Untersuchungen zeigen,

„daß kognitive Leistungen sich nicht in der Sprache alleine äußern und auch nicht durch diese alleine zustande kommen, sondern auf Handlung, Geste und Zeichnung angewiesen sind. Deshalb muß der Unterricht Gelegenheit geben, alle Ebenen der Darstellung zu nutzen“[21].

Der alle Naturwissenschaften integrierende Sachunterricht wird vielfach in den Klassenstufen 5 und 6 fortgeführt, hat dann oftmals Namen wie „Welt- und Umweltkunde“. Die Differenzierung in die naturwissenschaftlichen Fächer findet in den Klassenstufen 7 oder 8 statt. Eine Besonderheit ist derzeit für den Chemieunterricht an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen zu verzeichnen: Der Unterricht beginnt mit der Klassenstufe 7, setzt für ein Jahr aus und wird erst ab Klassenstufe 9 weitergeführt – eine unbefriedigende Situation, die geändert werden sollte!

3.2 Lernende – kognitive Entwicklung, Präkonzepte, Einstellungen, Interessen

Die „schülerorientierte Unterrichtsvorbereitung“ von Meyer [17] zeigt am deutlichsten, dass auch der Lernende selbst bei den Zielen von Unterricht und bei der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen ist. Es sind vor allem die Einstellungen, Interessen und ursprünglichen Vorstellungen der Jugendlichen, die einen großen Einfluss auf die erfolgreiche Gestaltung von Unterricht haben. Zuvor sollen allerdings entwicklungspsychologische Aspekte referiert werden.

Lernziele und Entwicklungspsychologie. Ziele und Inhalte der Schulchemie unterscheiden sich in verschiedenen Schulstufen aufgrund entwicklungspsychologischer Bedingungen. So unterscheidet Piaget aufgrund seiner Erhebungen folgende vier Denkstadien:

- Stadium der sensumotorischen Intelligenz (0–2 Jahre)
- Stadium des vorbegrifflich-symbolischen Denkens (2–7 Jahre)
- Stadium der konkreten Denkopoperationen (7–13 Jahre)
- Stadium der formalen Denkopoperationen (ab 13 Jahre).

Der Übergang von den konkreten zu den formalen Denkopoperationen ist dadurch gekennzeichnet, dass der Lernende sich in zunehmendem Maße von Handlungen am konkreten Gegenstand löst und mehr und mehr abstrakt denkt: Variablen berücksichtigt, potenzielle Beziehungen ableitet, formal-mathematische Beschreibungen versteht. Neuere Untersuchungen zeigen allerdings, dass das Alter von 13 Jahren für diesen Übergang eine sehr willkürliche Festlegung ist: es kann erheblich variieren. Untersuchungen weisen nach, dass oftmals nur 25 % der 16-jährigen Gymnasiasten in der Klassenstufe 10 das letzte Stadium erreichen [22].

Zur Beschreibung der *Entwicklung kognitiver Strukturen* geht Piaget von den Begriffen Assimilation, Akkomodation und Äquilibration aus. Neue Wahrnehmungen werden von Lernenden zunächst in die bestehende kognitive Struktur übernommen bzw. zum bereits vorhandenen Vorwissen vergleichend in Bezug gesetzt. Solange neue Erfahrungen in die bestehende kognitive Struktur eingeordnet werden, ohne diese zu verändern, spricht man von *Assimilation*. Kommt es zu einem Konflikt zwischen neuer Information und Vorwissen, muss also das Individuum seine kognitive Struktur ändern und die neue Erscheinung mit veränderter kognitiver Struktur verarbeiten, wird von der *Akkomodation* gesprochen. Die Tendenz des Lernenden, dieses Gleichgewicht zwischen Strukturhaltung und Neuanpassung ständig herzustellen, wird auch *Äquilibration* oder *Äquilibration* genannt.

Gegenwärtige Theorien des Lernens gehen von einer *konstruktivistischen Sichtweise* aus: Jeder Lernende muss seine eigene kognitive Struktur individuell aufbauen, Änderungen im Wissen werden individuell ständig neu konstruiert. Je nachdem, welche Art von Wissensänderung stattfindet, wird im Konzept des Konstruktivismus von *Conceptual Growth* und *Conceptual Change* gesprochen [23]. *Conceptual Growth* ist vergleichbar mit der Assimilation bei Piaget und vollzieht sich auf kontinuierlichem Lernweg. Dem *Conceptual Change* liegen diskontinuierliche Lernwege zugrunde, auf denen Revisionen der bereits bestehenden Denkstrukturen stattfinden: Oftmals müssen ganze Vorstellungskonzepte („Präkonzept-

te“) aufgegeben und radikale Umstrukturierungen vollzogen werden. Conceptual Growth und Conceptual Change stehen dabei in einem Wechselspiel wie Assimilation und Akkomodation.

Präkonzepte. Wie es die Begriffe Schüler- und Alltagsvorstellungen oder auch ‘Misconceptions’ andeuten, liegen zu Beginn des Chemieunterrichts bei den Lernenden Denkstrukturen vor, die im Sinne des Konstruktivismus von den Lernenden aufgrund ihrer Erfahrungen über viele Jahre hinweg konstruiert worden sind. Es handelt sich um fest verwurzelte Präkonzepte, wie sie etwa für den Verbrennungsprozess existieren (vgl. Kap. 1). Es werden aber auch spontane Vorstellungen – etwa während des Unterrichtsgesprächs – geäußert, die sich relativ rasch wieder abbauen lassen.

Den Präkonzepten, die fest in der kognitiven Struktur der Schüler und Schülerinnen verankert sind, muss für die Festlegung von Unterrichtszielen und -inhalten eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden: zum Verbrennungsprozess, zum Erhaltungssatz, zu Eigenschaften der Gase, zum Aufbau der Materie, etc. (vgl. Kap. 1). Die entsprechenden Schülervorstellungen sind im Unterricht sorgsam zu diskutieren, ehe durch überzeugende Experimente und Modelle das wissenschaftliche Konzept nachvollziehbar vermittelt wird. Auch sogenannte „common-sense-Erklärungen“ oder „lebensweltliche Redeweisen“ gehören zu dem Typ fest verwurzelter Präkonzepte: Sie sind oftmals auch „gesellschaftlich anerkannte Fehlvorstellungen“ [22].

Einstellungen und Interessen. Zur Formulierung von Unterrichtszielen sind möglichst Einstellungen und Interessen zu berücksichtigen. Liegen negative Einstellungen der Lernenden gegenüber einem Schulfach vor, so ist es ungleich schwieriger, in diesem Fach festgelegte Ziele zu erreichen, als in einem anderen Fach, zu dem die Einstellungen positiv sind. Das gilt ebenfalls für alle Fragen der Motivation von Jugendlichen (vgl. Kap. 2).

Heilbronner [24] konnte 1983 durch Bilder von Jugendlichen aus der Schweiz zeigen, dass die Einstellungen zur Chemie und zum Chemieunterricht sehr negativ ausfielen: „Die große Mehrheit der Kinder betrachtet sich und ihre Umwelt von der Chemie bedroht“. Etwa 40 % der Bilder zeigten Vorstellungen von einer zerstörten Umwelt, 15 % die direkte Bedrohung des Individuums durch die Chemie, 10 % der Bilder wenden sich gegen Tierversuche.

Barke und Hilbing [25] haben die Aufgabe an die Schüler „Male Dein Bild von der Chemie“ aufgegriffen und 1998 die Untersuchung wiederholt: Der Anteil negativer Motive, der bei Heilbronner noch 65 % ausmachte, reduzierte sich auf 40 % (vgl. auch Kap. 8).

Müller-Harbach, Bader und Wenck [26] untersuchten die Einstellungen von Realschülern. Sie fanden eine neutrale bis ablehnende Haltung der Jugendlichen vor, ein signifikanter Unterschied der Geschlechter konnte nicht festgestellt werden. Der Wohnort hatte einen signifikanten Einfluss auf die Einstellungen: Schüler aus Wohnorten des Ruhrgebietes mit relativ massiver Gegenwart chemischer Industrie zeigen eine negativere Einstellung als Jugendliche, die nicht aus Industriestandorten stammen.

Liegen positive Einstellungen zu einem Schulfach vor, so kann sich bei Jugendlichen leichter ein *Interesse* für Inhalte dieses Faches entwickeln als bei negativer

Einstellung. Sind wiederum spezifische Interessen der Jugendlichen bekannt, so ist es für einen erfolgreichen Unterricht vorteilhaft, diese Interessen bei der Festlegung von Unterrichtszielen zu berücksichtigen.

Gräber [27] untersuchte Interessen der Jugendlichen und konnte nachweisen, dass rund die Hälfte aller Schüler und Schülerinnen den Chemieunterricht interessant finden. „Bemerkenswert ist der Verlauf insofern, als mit Beginn des Chemieunterrichts in der 8. Klasse ein Ansteigen zu verzeichnen ist und nach einem ‚Loch‘ in der 9. Klasse wieder ein Anstieg in der 10. Klasse“.

Nach dem Interesse an Kontexten in Chemie und verschiedenen Tätigkeiten gefragt, ergaben sich Unterschiede zwischen diesen Items und ebenfalls zwischen Jungen und Mädchen (vgl. Abb. 3.6). Bei den Tätigkeiten galt die Zustimmung überwiegend dem Item „Versuche durchführen“, auch die Items „Versuche planen

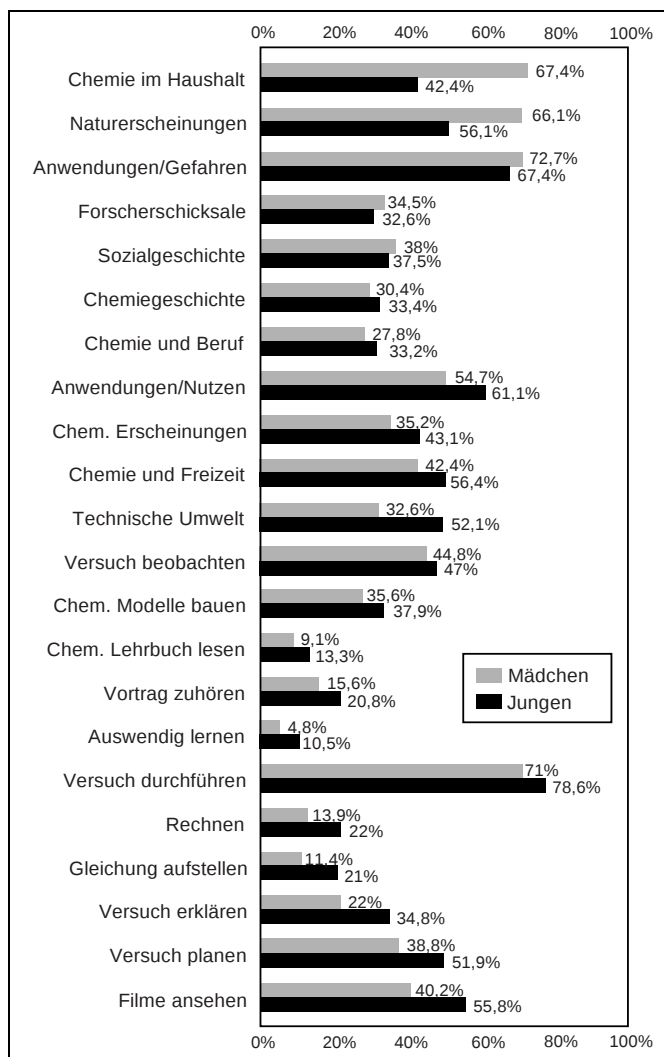


Abb. 3.6: Interesse an Kontexten in Chemie und an verschiedenen Tätigkeiten [27]

und beobachten“, „Filme ansehen“ und „Chemische Modelle bauen“ wurden als interessant eingestuft.

Barke und Wanjek [28] konnten dieses positive Interesse an Schülerexperimenten bestätigen. Es wurden zur Thematik „Säuren und Laugen“ statt der Laborchemikalien die den Jugendlichen bekannten Substanzen aus Küche und Badezimmer verwendet und in Form von Schülerexperimenten eingesetzt. Diese Unterrichtseinheit fand nicht nur hohe Zustimmung aller Schüler und Schülerinnen, sondern insbesondere die Mädchen äußerten ein höheres Interesse an diesem Unterricht mit Alltagschemikalien als zuvor zum üblichen Chemieunterricht.

3.3 Fachliche Schwerpunkte – Chemieunterricht als Spiralcurriculum

Zu der Frage, welche Phänomene und wie viel Theorie die Lernenden im Chemieunterricht erarbeiten sollen, gab und gibt es immer wieder heftige Diskussionen. „Rettet die Phänomene“, rufen die einen, „Modellvorstellungen sind die eigentliche Domäne der Chemie“ die anderen. Wie so oft liegt die Wahrheit in der Mitte, die Phänomene überwiegen naturgemäß am Anfang.

Richtlinien und Lehrpläne (vgl. den Abschnitt „Einführung“ dieses Kapitels) zielen deshalb für den Anfangsunterricht im Fach Chemie immer auf die *Bedeutung von Phänomenen*: Eine Beschreibung erster Stoffe und chemischer Reaktionen findet mit Wortsymbolen statt, ehe chemische Symbole hinzukommen. Harsch und Heimann [29] bauen den Zugang zur Organischen Chemie phänomenal und handlungsorientiert auf. Ihr Curriculum ist so angelegt, dass die Schüler zunächst durch das Ordnen von Phänomenen viele Zusammenhänge selbst entdecken können, ehe Strukturvorstellungen und Formeln eine Rolle spielen. Neue Stoffe, Phänomene, Reaktionen und Formeln kommen dann fortlaufend hinzu und werden in das wachsende System integriert und so problemlos assimiliert: „Phänomenologisch Integratives Netzwerk“. Dieses PIN-Konzept wird in Kapitel 12 vorgestellt.

Inwieweit man anfangs ein einfaches *Teilchenmodell* einführt, um damit Aggregatzustandsänderungen, Lösevorgänge, Diffusion oder einfache chemische Reaktionen zu interpretieren, muss jede Lehrkraft für die jeweilige Schülergruppe entscheiden. Solange Teilchenverbände – etwa durch Kugelpackungsmodelle für den Aufbau von Metallkristallen – anschaulich gemacht werden und Schüler gar handlungsorientiert einfache Strukturmodelle selbst bauen, ist dieses vorläufige Modell sehr sinnvoll für das Verständnis (vgl. auch Kap. 6). Untersuchungen in den Klassenstufen 3 und 4 der Primarstufe zeigen, dass die üblichen Zeichnungen für Teilchenanordnungen durchaus verstanden und auch noch Jahre später erfolgreich reproduziert werden.

Je weiter die Jugendlichen in das Stadium der formalen Denkopoperationen übergehen, können im Curriculum *Daltonsches Atommodell* und die Begriffe Element, Verbindung, Atom, Ion und Molekül hinzukommen, erste Modelle zum Aufbau von Elementen und Verbindungen eingeführt und Atom-, Ionen- und Molekülsymbole oder Reaktionssymbole formuliert werden. Schließlich folgen die Themen *Atombau und chemische Bindung*, ebenfalls entsprechende Symbole (vgl. Abb. 3.7, siehe auch Kap. 7).

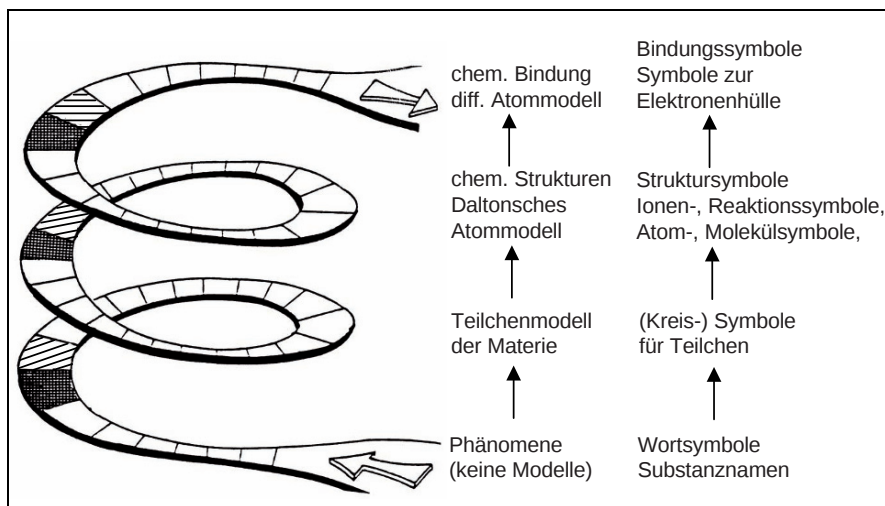


Abb. 3.7: Modelle und chemische Symbole in der Curriculumschnecke

Modelle, insbesondere *Strukturmodelle* auf der Basis des Daltonschen Atommodells, sind sehr hilfreich für das Verständnis von Formeln und Reaktionssymbolen – einem wichtigen Ziel des Chemieunterrichts. Strukturmodelle – wie etwa Kugelpackungen für den Aufbau von Kristallen oder Molekülmodelle für Molekülstrukturen – sind sehr geeignet, auf einer Ebene mittlerer Abstraktion den Aufbau der beteiligten Substanzen zu vermitteln, ehe auf der abstrakten Ebene die chemischen Symbole und deren unterschiedliche Informationsgehalte eingeführt werden (vgl. Abb. 3.8, siehe auch Kap. 6 und 7). Im „Strukturorientierten Chemieunterricht“ wird durchgängig die Struktur der Materie zur Interpretation von Phänomenen zugrunde gelegt (vgl. Kap. 13).

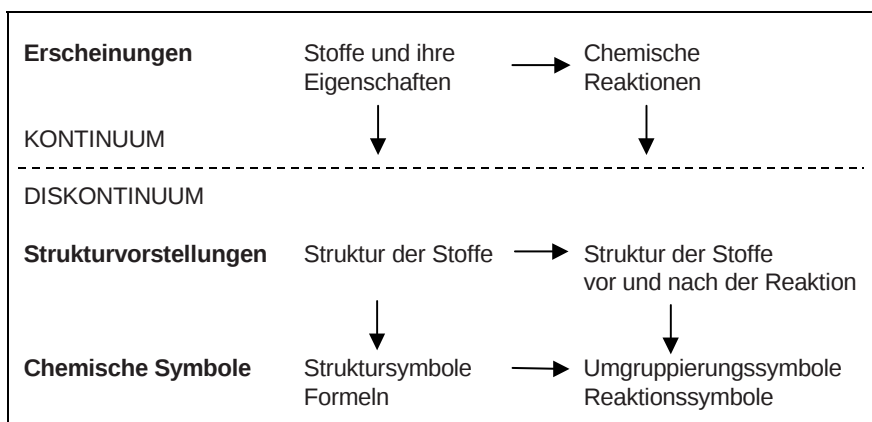


Abb. 3.8: Strukturvorstellungen als Mittler zwischen Phänomenen und Symbolen

Die Strukturierung von Unterricht auf der Grundlage von Modellen und Symbolen hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen lassen sie sich in einer *Curriculumspirale* anordnen und eröffnen eine übergreifende Unterrichtskonzeption, die auf der konkret-operationalen Denkstufe in der Primarstufe beginnt und auf abstraktem Niveau in der Sekundarstufe II endet (vgl. Abb. 3.7). Zum anderen sind die unterschiedlichen Modelle und Symbole sehr gut dazu geeignet, bei der groben Fixierung von Unterrichtszielen die Zeitpunkte oder Klassenstufen festzulegen, wann diese Modelle und Symbole zum Einsatz kommen sollen bzw. welche Erscheinungen und Reaktionen auf der Grundlage welcher Modellvorstellungen gedeutet werden sollen. Diese Entscheidungen sind je nach Schulform, Klassenstufe, Vorwissen und Qualität der Schülergruppe zu treffen und müssen immer wieder neu getroffen werden.

In Abb. 6.8 sind zu den Begriffen Löslichkeit und Säuren zwei weitere Beispiele spiralcurricularen Vorgehens zu finden, die vom Alltagswissen – den Präkonzepten – ausgehen und jeweils über verschiedene Lernebenen immer weitergehender ausgeschärft werden, bis die Beschreibungen das zunächst höchste Abstraktionsniveau in der Schule erreichen. Schmidkunz und Büttner [30] haben versucht, den gesamten Unterricht, der das Fach Chemie betrifft, mit Hilfe einer Curriculumspirale darzustellen (vgl. Abb. 3.9).

Schließlich ist neben allen Begriffen und deren spiralcurricularer Anordnung ein wichtiges Ziel des Chemieunterrichts, den Lernenden das naturwissenschaftliche Erkenntnisverfahren zu verdeutlichen. In der Chemie werden Erkenntnisse vorwiegend mit Hilfe der empirischen Methode gewonnen. Das Verständnis für diese Arbeitsweise wird den Schülern erleichtert, wenn auch im Unterricht möglichst häufig empirisch gearbeitet wird. Die *empirisch-induktive Methode* ist eng mit der *hypothetisch-deduktiven Methode* verknüpft, wie die folgenden Arbeitsschritte zeigen (vgl. auch Kap. 5):

- Beobachten einer Erscheinung,
- Sammeln weiterer empirischer Befunde, Finden einer Gesetzmäßigkeit,
- Aufstellen einer *Hypothese* zur Erklärung der Befunde oder Gesetzmäßigkeit,
- Aufsuchen und experimentelles Überprüfen von Folgerungen aus der Hypothese,
- Entwickeln von Theorien und Modellen durch Verknüpfen bestätigter Hypothesen.

Im Unterricht sind sicher nicht immer alle genannten Schritte an jedem Beispiel nachvollziehbar. Es ist jedoch wenig sinnvoll, beliebig Schritte auszulassen und allzu schnell von einer einzigen Erscheinung auf einen allgemein gültigen Zusammenhang zu schließen.

Als *induktives* Vorgehen wird auch der Weg ausgehend von einzelnen Erscheinungen zu einer Hypothese oder empirischen Gesetzmäßigkeit benannt; der Weg von der Theorie über die daraus abgeleiteten Hypothesen bis hin zu den prognostizierten Einzelphänomenen wird als *deduktiv* bezeichnet. Beide Methoden sind komplementär.

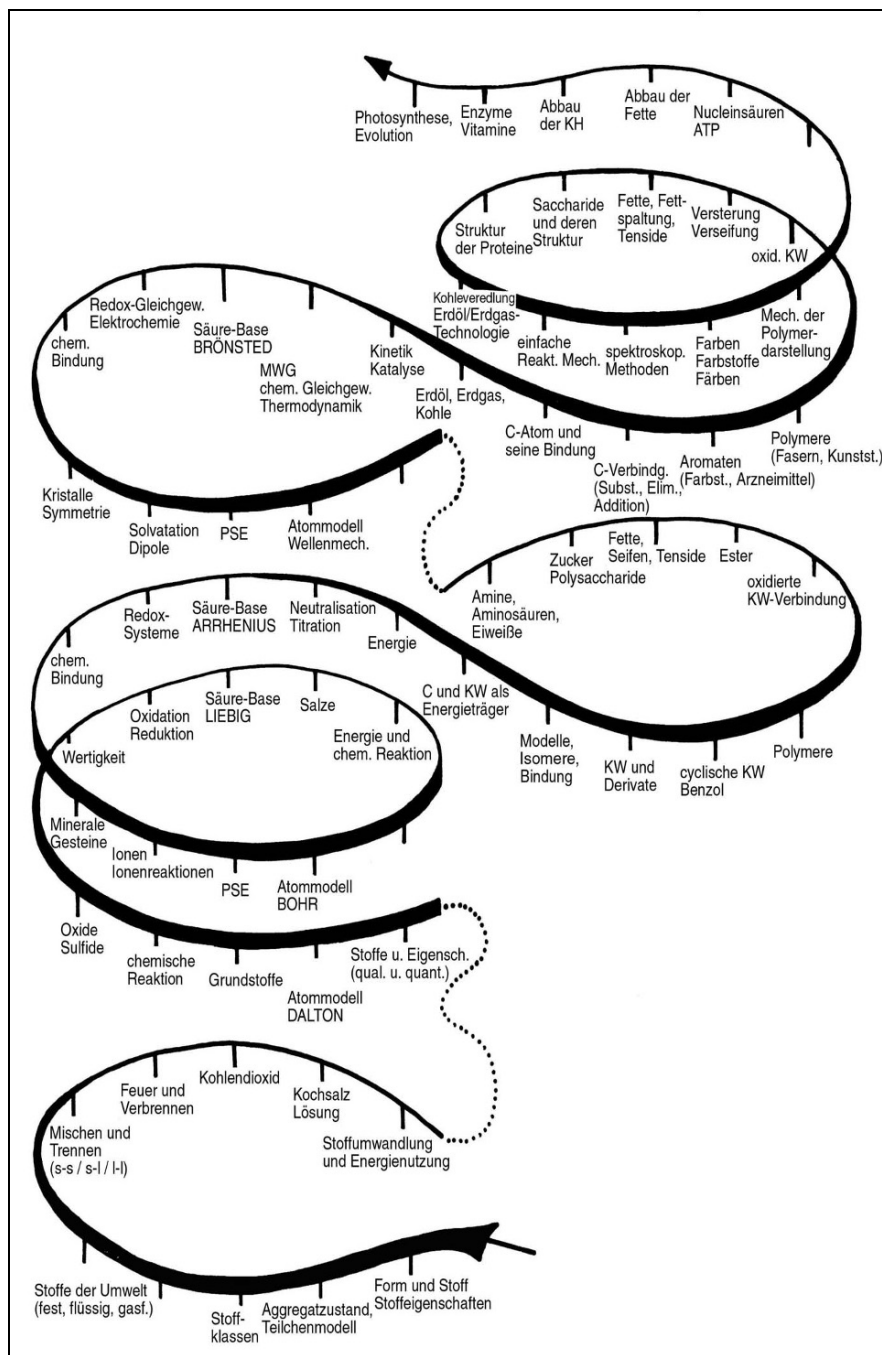


Abb. 3.9: Spiralcurriculum für das Unterrichtsfach Chemie [30]

3.4 Vermittlungsprozesse – Methodenvielfalt zur Realisierung von Unterrichtszielen

„Unterricht muß als bedeutsam erlebt werden, sonst ist er bedeutungslos. Lernen muß auf einem Interesse aufbauen, sonst geht es an den Schülern vorbei. ‚Langweilig zu sein‘, schrieb Johann Friedrich Herbart schon 1806, ‚ist die ärgste Sünde des Unterrichts.‘ Deshalb müssen wir Lehrenden den starren Frontalunterricht (aber auch Fehlformen des ‚Offenen Unterrichts‘) zugunsten eines Unterrichts überwinden, der auf vielfältige Lernanlässe mit einer reichhaltigen Choreographie des Lehrens antwortet“ [31].

Um die Vielfalt von Zielen im Unterricht auf möglichst interessanten Wegen zu erreichen, ist es dementsprechend notwendig, in der Vermittlung der Inhalte möglichst methodisch zu variieren. Es gibt zur Vermittlung von Inhalten im Chemieunterricht verschiedene fachdidaktische Ansätze: Etwa den begriffsorientierten Ansatz, dem Fachbegriffe und ihre spiralcurriculare Anordnung zugrunde liegen, oder den an Erkenntnisverfahren des Fachs orientierten Ansatz, beispielsweise die empirische Methode, bei der Formulierung und Prüfung von Hypothesen im Vordergrund stehen.

Zur Realisierung von Unterrichtszielen sollen derartige Unterrichtsverfahren und chemiedidaktische Ansätze neben den wichtigsten Unterrichts- und Sozialformen reflektiert werden und dazu verhelfen, eine „reichhaltige Choreographie des Lehrens“ zur Verfügung zu haben.

Fachdidaktische Ansätze. Problemstellungen können im Unterricht aus unterschiedlichen Blickwinkeln aufgebaut werden. Dementsprechend sind verschiedene fachdidaktische Schwerpunkte und deren Kombinationen möglich, sie werden kurz mit folgenden Stichworten gekennzeichnet:

<i>begriffsorientiert:</i>	Begriffe oder Begriffsstruktur des Faches
<i>verfahrensorientiert:</i>	Verfahren zur Erkenntnisgewinnung, Hypothesenprüfung
<i>strukturorientiert:</i>	chemische Struktur der Materie, Modellvorstellungen
<i>historisch orientiert</i>	Geschichte der Naturwissenschaften
<i>anwendungsorientiert:</i>	Anwendungen aus Alltag und Lebenswelt der Lernenden
<i>umweltorientiert:</i>	Fragen der Umweltbelastung und des Umweltschutzes
<i>handlungsorientiert:</i>	aktive Handlungen der Lernenden
<i>projektorientiert:</i>	Interdisziplinarität, Handlungsorientierung, Kooperation.

Das problemorientierte Unterrichten wird oftmals als Unterrichtsverfahren oder didaktischer Ansatz aufgeführt. Es kann allerdings nur ein Oberbegriff zu allen Ansätzen sein, da für *jeden* Unterricht eine *Problemstellung* vorliegen sollte. Sie sollte nicht immer durch die Lehrperson vorgegeben sein, sondern vorrangig eine Problemstellung durch die Schüler oder für die Schüler: erst dann kann wahres Interesse geweckt und aufrecht erhalten werden.

Die verschiedenen fachdidaktischen Ansätze sollen zur Veranschaulichung durch Beispiele aus dem Chemieunterricht erläutert und mit Unterrichts- und Sozialformen verknüpft werden. Diese werden zuvor aufgelistet. Bei den Unterrichtsformen steht eher der organisatorische Aspekt von Unterricht im Vordergrund, bei den Sozialformen der kommunikative Aspekt.

Unterrichtsformen. Der *Frontalunterricht* (der darbietende Unterricht) ist die bekannteste und häufigste, allerdings umstrittenste Unterrichtsform: „Die gesamte internationale Forschung zur Schulqualität ist sich einig darin, dass der starre Frontalunterricht den Schülern am wenigsten bekommt“ [31]. Deshalb sind andere Unterrichtsformen zu favorisieren und werden heute überwiegend für die Lehrproben während der Referendarausbildung in Schule und Seminar erwartet:

Erarbeitender Unterricht (problemlösend, fragend-entwickelnd, forschend-entwickelnd nach Schmidkunz-Lindemann [32]), *aufgebender Unterricht* (Gruppenarbeit, Hausaufgaben), differenzierender Unterricht, programmierter Unterricht, Workshop, Praktikum, Exkursion, etc.

Sozialformen. Man unterscheidet folgende Formen der Kommunikation zwischen Lehrern und Schülern: Lehrervortrag, Schülervortrag, Lehrerdemonstration, Schülerdemonstration, Unterrichtsgespräch, Diskussion, Gruppenarbeit, Partnerarbeit, Einzelarbeit, Stillarbeit, Rollenspiel, Planspiel, Simulation, Stehgreifspiel, freies Spiel, etc. Memmert [33] hat in einer Übersicht Unterrichts- und Sozialformen zusammengefasst (vgl. Abb. 3.10).

An Beispielen der Einführung in die Organische Chemie und der Säure-Base-Reaktionen sollen fachdidaktische Ansätze, Unterrichtsformen und Sozialformen miteinander verschränkt und dadurch mögliche, vielfältige Methoden erläutert werden.

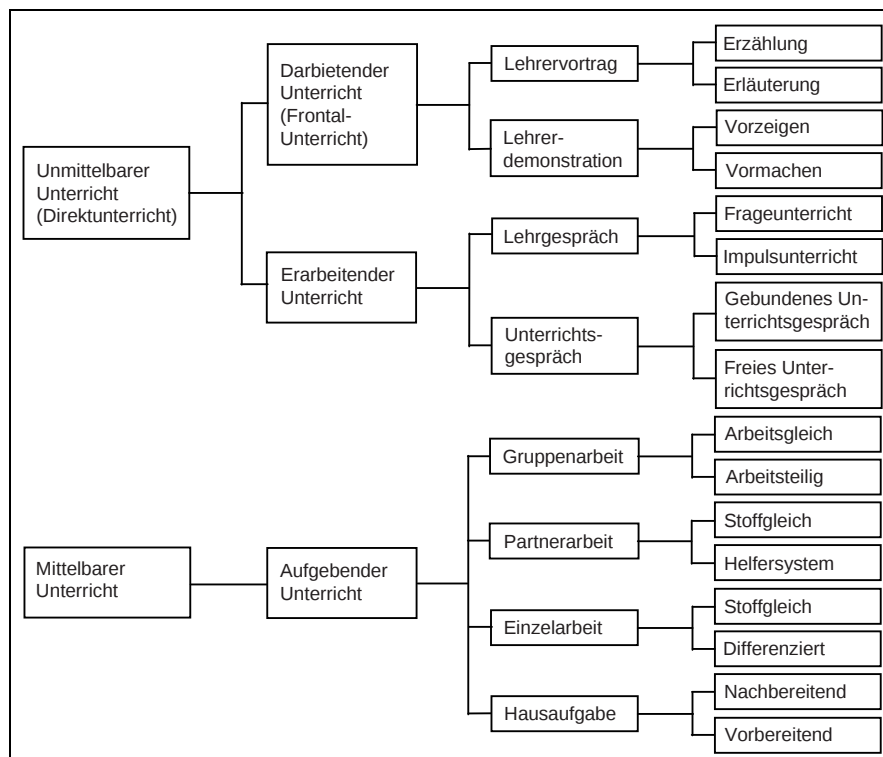


Abb. 3.10: Unterrichts- und Sozialformen nach Memmert [33]

Fachdidaktische Ansätze zu *verschiedenen Themen der Organischen Chemie*:

<i>begriffsorientiert:</i>	Nomenklatur org. Substanzen	(Lehrervortrag)
<i>verfahrensorientiert:</i>	Zusammensetzung von Methan	(Gruppenarbeit)
<i>strukturorientiert:</i>	Aufbau der Butan-Moleküle	(Partnerarbeit)
<i>historisch orientiert:</i>	Benzol und die Idee von Kekulé	(Schülervortrag)
<i>anwendungsorientiert:</i>	Ohne Alkane fährt kein Auto	(Unterr.gespräch)
<i>umweltorientiert:</i>	Funktion des Abgaskatalysators	(Schülerdemo)
<i>handlungsorientiert:</i>	Wir gießen Paraffinkerzen	(Gruppenarbeit)
<i>projektorientiert:</i>	Was sind fossile Energieträger ?	(Partnerarbeit)

Fachdidaktische Ansätze zum *Einstieg in ein und dasselbe Thema „Säuren“*

<i>begriffsorientiert:</i>	Die Theorie von Brönsted	(Lehrerdemo)
<i>verfahrensorientiert:</i>	Zusammensetzung von Salzsäure	(Unterr.gespräch)
<i>strukturorientiert:</i>	Aufbau v. Schwefelsäure-Molekülen	(Partnerarbeit)
<i>historisch orientiert:</i>	Lavoisier und der „Säure“-stoff	(Schülervortrag)
<i>anwendungsorientiert:</i>	Kalkentferner im Haushalt	(Gruppenarbeit)
<i>umweltorientiert:</i>	Schwefelsäure-Recycling	(Exkursion)
<i>handlungsorientiert:</i>	Gravieren v. Metallplatten m. Säuren	(Gruppenarbeit)
<i>projektorientiert:</i>	Saurer Regen	(Partnerarbeit)

Der Oberbegriff aller fachdidaktischen Ansätze sollte der problemorientierte Unterricht sein. Unter problemorientiertem Vorgehen wird allerdings auch die Schrittfolge des *forschend-entwickelnden* Unterrichtsverfahrens nach Schmidkunz-Lindemann [32] verstanden. Dieses „Dortmunder Modell“ zur Strategie des Problemlösens im naturwissenschaftlichen Unterricht unterscheidet *fünf Denkstufen* und zugehörige Denkphasen:

1. Problemgewinnung,
2. Überlegungen zur Problemlösung,
3. Durchführung eines Lösungsvorschlages,
4. Abstraktion der gewonnenen Erkenntnisse,
5. Wissenssicherung.

Experimente spielen naturgemäß eine zentrale Rolle in dem Verfahren: Einstiegsexperimente zur Problemgewinnung, weiterführende Experimente zur Hypothesengewinnung, „Bestätigungsexperimente“ (besser: Überprüfungsexperimente) zur Verifizierung oder Falsifizierung von Hypothesen, Wiederholungsexperimente zur Wissenssicherung.

Zur Orientierung an der Geschichte der Chemie ist das *historisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren* von Jansen [34] entworfen worden. Dieser fachdidaktische Ansatz geht davon aus, dass

„die Geschichte der Chemie nicht als bloßes Anhängsel betrachtet wird oder als überflüssiger Ballast, den man beim jetzigen Stand der Wissenschaft über Bord werfen kann. Die Geschichte der Chemie muß in direktem Bezug zu den Inhalten stehen. Es geht darum, dem Schüler grundlegende Einsichten eines naturwissenschaftlichen Weltverständnisses zu vermitteln. Der Lehrer muß deutlich machen, daß sich Theorien häufig nicht in einfachen Kausalketten empirisch-induktiv herleiten lassen, sondern erfunden werden und somit spekulative Züge tragen müssen. Ältere Theorien berühren sehr oft latent vorhandene Vorstellungen der Schüler“ [34].

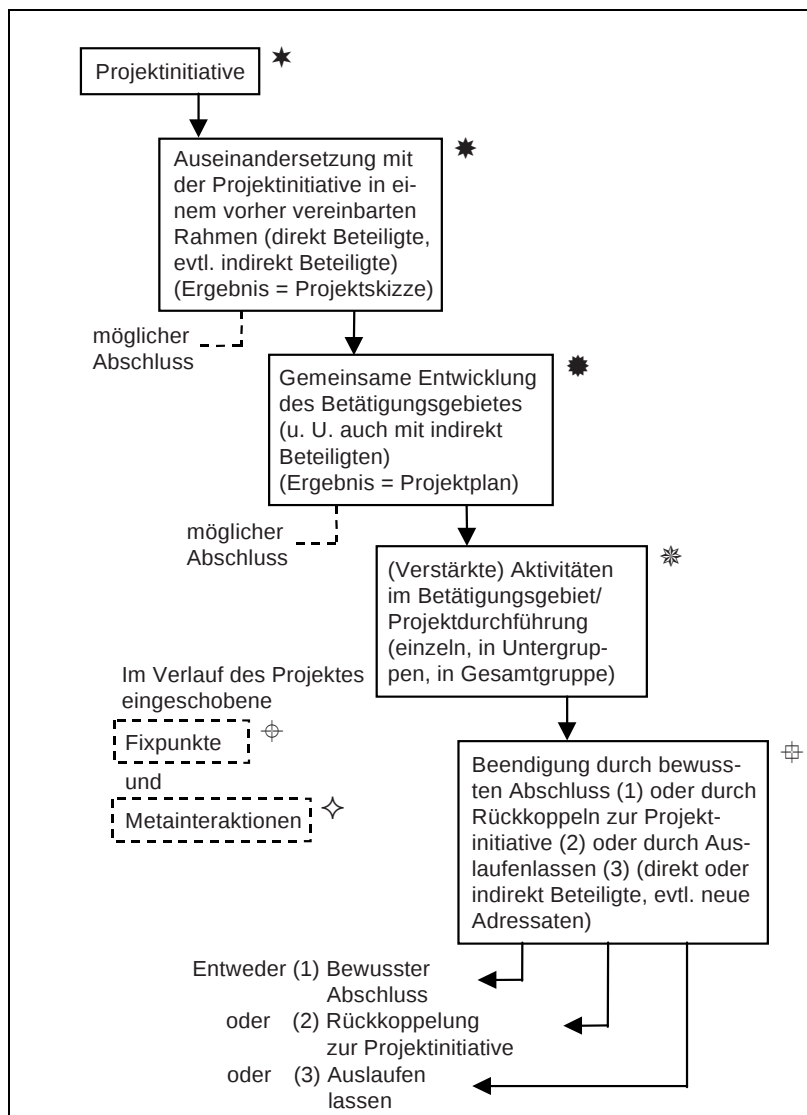


Abb. 3.11: Grundmuster der Projektmethode nach Frey [35]

Schließlich sei der *projektorientierte Ansatz* näher betrachtet. *Schulische Projekte* sind seit Anfang des 20. Jahrhunderts diskutiert worden, erlebten in den 60er Jahren mit der Gesamtschulentwicklung einen gewissen Höhepunkt und haben seitdem auch Eingang in den Unterricht des Gymnasiums gefunden. Entweder steht während des Schuljahres eine ganze Woche für ein Projekt zur Verfügung („Projektwoche“ vor Beginn der Sommerferien), oder es wird ein *projektorientiertes Vorgehen* im Einklang mit dem üblichen Stundenplan realisiert: Das Projekt beansprucht dann einen langen Zeitraum von 6–8 Wochen. Ein solches Beispiel zeigt das Projekt „Wasser und Umwelt“ einer Gymnasialklasse von Barke [36].

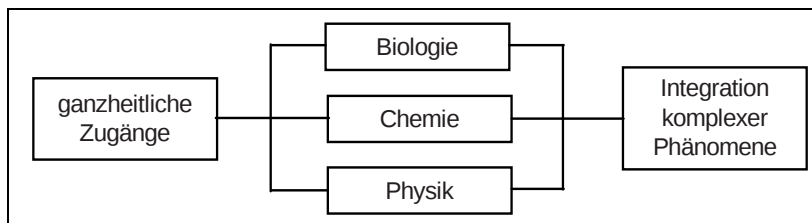


Abb. 3.12: Interdisziplinäres Vorgehen zur Integration komplexer Phänomene nach erfolgtem Unterricht in den einzelnen Fächern [38]

Münzinger und Frey [37] führen folgende *Merkmale eines Projekts* aus:

1. *Bedürfnisbezogenheit*: Die Interessen der Lernenden lösen das Projekt aus.
2. *Situationsbezogenheit*: Die Alltagssituation der Schüler ist Ausgangspunkt.
3. *Interdisziplinarität*: Fachliche Grenzen zu Nachbarfächern überschreiten.
4. *Selbstorganisation*: Lernende bestimmen Ziele, Planung und Durchführung.
5. *Produktorientiertheit*: Das Projekt ist auf ein Handlungsergebnis orientiert.
6. *Kollektive Realisierung*: Arbeitsteiliges Vorgehen und soziales Lernen.

Frey [35] gibt mit einem „Grundmuster der Projektmethode“ eine Planungshilfe, um von der Projektinitiative durch die Schüler und Schülerinnen bis zum Projektabschluss ein mögliches Projekt in etwa sieben Schritten zu durchlaufen (vgl. Abb. 3.11).

Bruhn [38] diskutiert das projektorientierte Vorgehen im Zusammenhang mit „Schlüsselproblemen als zentrale Bildungsinhalte“. Das Projektmerkmal „Interdisziplinarität“ wird zum Anlass genommen, um nach erfolgtem Fachunterricht in den Fächern Biologie, Chemie und Physik eine Integration der Fächer – etwa in Kursen der Klassenstufen 12 oder 13 – herbeizuführen (vgl. Abb. 3.12):

„Zahlreiche positive Erfahrungen liegen zu projektorientiertem Unterricht über Teilprobleme der Schlüsselfragen vor, z.B. Vegetationsuntersuchungen in Ballungsgebieten, Untersuchungen von Wasserproben, Messung der Lärmbelastung an Straßen, Radioaktivitätsmessungen in gelüfteten und ungelüfteten Räumen, Energienutzung, Photosmog, Rüstungsfragen, Müllverbrennung, Stickstoffüberdüngung, usw. Diese Projekte führen zu einem ersten Verständnis der Schlüsselprobleme unserer Zeit und haben zugleich motivierende Wirkungen auf den normalen Unterricht ... Aber eine *durchgehende* Projektorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts kann es grundsätzlich nicht geben. Ein Projekt kann Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern nur ergänzen“ [38].

Literatur

- [1] Scheible, A.: *Ist unser Chemieunterricht noch zeitgemäß?* MNU 22 (1969), 449
- [2] Erhart, H.: *Chemie – einer der unbeliebtesten Unterrichtsgegenstände?* Chem. Sch 4 (1998), 29
- [3] MNU, GDCh, GDCh, u.a.: *Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung an der Schwelle zu einem neuen Jahrhundert.* CHEMKON 5 (1998), 209
- [4] Deutscher Bildungsrat: *Empfehlungen der Bildungskommission. Strukturplan für das Bildungswesen.* Stuttgart 1971 (Beltz)
- [5] Möller, Ch.: *Technik der Lehrplanung.* Weinheim 1973 (Beltz)
- [6] Bloom, B. S.: *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich.* Weinheim 1972 (Beltz)
- [7] Klafki, W.: *Die bildungstheoretische Didaktik.* Westerm. Päd. Beitr. 1 (1980), 32
- [8] Schulz, W.: *Die lerntheoretische Didaktik.* Westerm. Päd. Beitr. 1 (1980), 80
- [9] Möller, Ch.: *Die curriculare Didaktik.* Westerm. Päd. Beitr. 1 (1980), 164
- [10] Winkel, R.: *Die kritisch-kommunikative Didaktik.* Westerm. Päd. Beitr. 1 (1980), 200
- [11] Cube, F.v.: *Die informationstheoretisch-kybernetische Didaktik.* WPB 1 (1980), 120
- [12] Blankertz, H.: *Theorien und Modelle der Didaktik.* München 1973 (Juventa)
- [13] Ruprecht, H.: *Modelle grundlegender didaktischer Theorien.* Hannover 1976 (Schroedel)
- [14] Klafki, W.: *Didaktische Analyse.* Hannover 1964 (Schroedel)
- [15] Heimann, P., Otto, G., Schulz, W.: *Unterricht. Analyse und Planung.* Hannover 1965 (Schroedel)
- [16] Bönsch, M.: *Unterrichtsanalyse.* Erziehung und Unterricht 10 (1976), 676
- [17] Meyer, H.-L.: *Leitfaden zur Unterrichtsvorbereitung.* Frankfurt 1984 (Scriptor)
- [18] Kultusminister NRW: *Richtlinien und Lehrpläne, Chemie, Gymnasium SI.* Düsseldorf 1993
- [19] MNU: *Empfehlungen zur Gestaltung von Lehrplänen bzw. Richtlinien für den Chemieunterricht.* MNU 53 (2000), 161
- [20] Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU): *Fünf Perspektiven für den Sachunterricht.* Arbeitspapier. Münster 2001
- [21] Möller, K.: *Handeln, denken und verstehen. Untersuchung zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht in der Grundschule.* Essen 1991 (Westarp)
- [22] Gräber, W., Stork, H.: *Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin im naturwissenschaftlichen Unterricht.* MNU 37 (1984), 257
- [23] Duit, R.: *Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Kiel 1996
- [24] Heilbronner, E., Wyss, E.: *Bild einer Wissenschaft: Chemie.* ChiuZ 17 (1983), 69
- [25] Barke, H.-D., Hilbing, C.H.: *Image von Chemie und Chemieunterricht.* ChiuZ 34 (2000), 16
- [26] Müller-Harbach, G., Wenck, H., Bader, H.-J.: *Die Einstellung von Realschülern zum Chemieunterricht, zu Umweltproblemen und zur Chemie.* Chim.did. 16 (1990), 150
- [27] Gräber, W.: *Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht.* Chem.Sch. 39 (1992), 270, 354
- [28] Wanjek, J., Barke, H.-D.: *Einfluß eines alltagsorientierten Chemieunterrichts auf die Entwicklung von Interessen und Einstellungen.* In: Behrendt, H.: *Zur Didaktik der Physik und Chemie.* Kiel 1998 (Leuchtturm)
- [29] Harsch, G., Heimann, R.: *Didaktik der Organischen Chemie nach dem PIN-Konzept. Vom Ordnen der Phänomene zum vernetzten Denken.* Wiesbaden 1998 (Vieweg)
- [30] Schmidkunz, H., Büttner, D.: *Chemieunterricht im Spiralcurriculum.* NiU PC 33 (1985), 19

- [31] Winkel, R.: *Langweilig sein, die ärgste Sünde des Unterrichts*. DLZ 11 (1993), März
- [32] Schmidkunz, H., Lindemann, H.: *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren*. München 1973
- [33] Memmert, W.: *Didaktik in Graphiken und Tabellen*. Bad Heilbrunn 1977
- [34] Jansen, W., u.a.: *Geschichte der Chemie im Chemieunterricht – das historisch-problemlorientierte Unterrichtsverfahren*. Teile 1 und 2. MNU 39 (1986), 321, 391
- [35] Frey, K.: *Die Projektmethode*. Weinheim 1982 (Beltz)
- [36] Barke, H.-D.: *Wasser und Umwelt*. In: Münzinger, Frey: *Chemie in Projekten* [37]
- [37] Münzinger, W., Frey, K.: *Chemie in Projekten*. Kiel 1986 (IPN)
- [38] Bruhn, J.: *Probleme unserer Zeit als Herausforderung für den naturwissenschaftlichen Unterricht*. MNU 46 (1993), 195

Übungsaufgaben zu „3 Unterrichtsziele“

A3.1 Man unterscheidet Lernziele hinsichtlich der kognitiven, affektiven und psychomotorischen Dimension. Geben Sie an Sachverhalten Ihrer Wahl jeweils drei Lernziele zu den drei Dimensionen an.

A3.2 Operationalisierte Lernziele geben sehr detailliert Operationen der Lernenden an, die im Unterricht erreicht werden sollen. Überführen Sie drei Lernziele, die Sie in A3.1 genannt haben, in operationalisierte Lernziele.

A3.3 Lernziele können differenziert und Lernzielhierarchien zugeordnet werden. Wählen Sie einen Sachverhalt aus, formulieren Sie einige Lernziele und differenzieren Sie sie bezüglich der Lernzielhierarchie nach Bloom. Wählen Sie einen zweiten Sachverhalt und geben Sie Lernziele nach der Taxonomie des Deutschen Bildungsrats an.

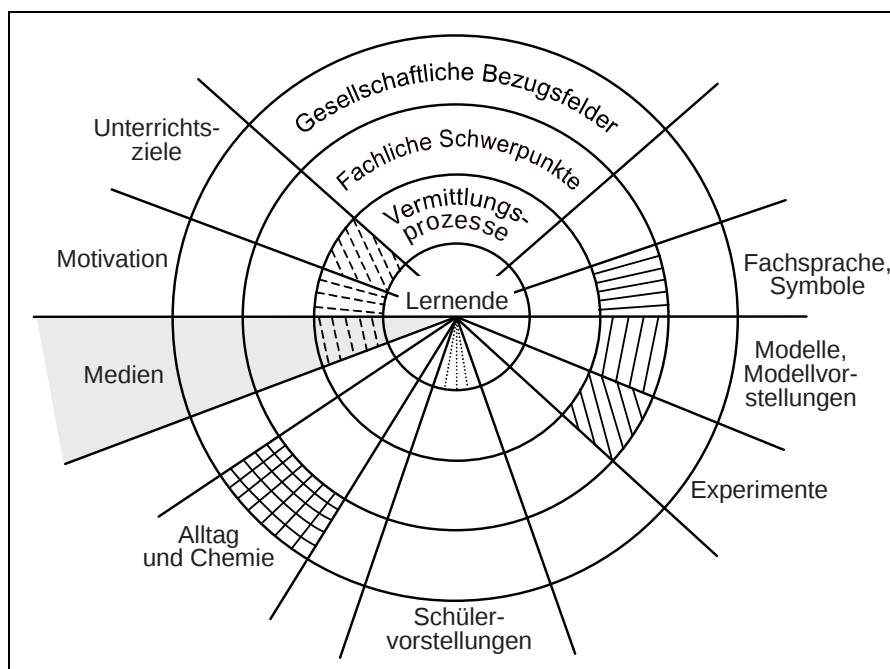
A3.4 Es gibt verschiedene fachdidaktische Ansätze, um Unterrichtsziele nicht nur auf einem Weg zu realisieren, sondern durch Methodenvielfalt interessant für die Schüler zu unterrichten. Führen Sie die Ihnen bekannten Ansätze auf und ordnen Sie jeweils am Beispiel des Themas Redoxreaktionen stichwortartig passende Einstiege zu.

A3.5 Es gibt verschiedene Schemata, um die Unterrichtsplanung für eine Stunde oder Doppelstunde schriftlich zu entwerfen. Skizzieren Sie für ein Stundenthema und eine Lerngruppe Ihrer Wahl einen solchen Unterrichtsentwurf, der an einer Stelle die fachdidaktische Diskussion zweier Unterrichtswege aufzeigt und die Entscheidung für einen Weg begründet (vgl. auch das folgende „Schema für einen Unterrichtsentwurf“).

Schema für einen Unterrichtsentwurf (Vorschlag)

1. Thema, Problemstellung, Lernziele
2. Sachliche Grundlagen zur Thematik
3. Voraussetzungen für die Lernenden
4. Didaktisch-methodische Überlegungen (Skizze und Diskussion zweier Unterrichtsalternativen, Begründung der Entscheidung für eine Alternative)
5. Unterrichtsverlauf (ggf. mit folgendem Raster: Zeit, geplantes Lehrerverhalten, erwartetes Schülerverhalten, Medien/Kommentare)

4 Medien



Über den Einsatz von Medien lässt es sich trefflich streiten. In der Frage, ob ein eingeführtes Schulbuch benutzt werden muss oder nicht, wurde gar die Justiz bemüht:

„Der Streit dauert schon acht Jahre. Der Herr Studienrat wandte sich mit einer Petition an den Landtag und forderte, kein Geld für ‚unnütze‘ Bücher auszugeben, sondern die vorgesehenen Millionen für Versuche zur Verfügung zu stellen. Mit seiner Verweigerung eckte er jedoch bei seinen Kollegen an: ‚Der Chemielehrer versuche, seine persönlichen Vorstellungen ohne Rücksicht auf Kollegen und Schüler durchzusetzen. Schüler könnten Erlerntes nicht nachlesen und bekämen später beim Lehrerwechsel Probleme‘. Der Studienrat, der gar vors Bundesverwaltungsgericht zog, mußte sich verpflichten, das Lehrbuch zu benutzen und dies in den Klassenbüchern vermerken“ [1].

Schulbuch und Schultafel sind die klassischen Medien jeden Unterrichts in jeder Schulform. Der Begriff Medien kann sowohl unter Aspekten der Medienerziehung als auch unter Aspekten der Mediendidaktik reflektiert werden (vgl. Abb. 4.1). Im vorliegenden Text soll die fachdidaktische Grundfrage an die *Mediendidaktik* gerichtet sein: „Sie befasst sich mit den Funktionen und Wirkungen von Medien in

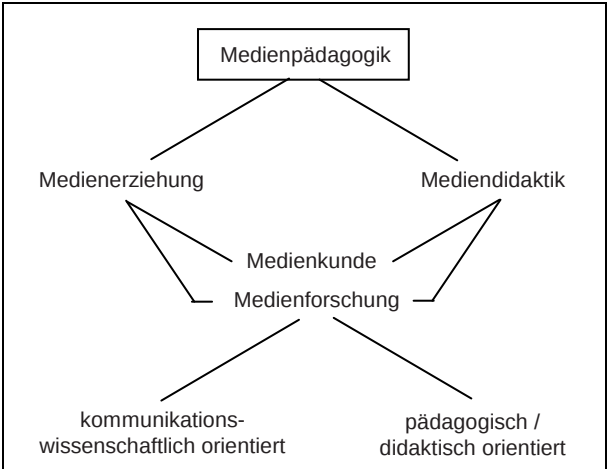


Abb. 4.1: Mediendidaktik als Aspekt der Medienpädagogik [2]

Lehr- und Lernprozessen, d. h. also mit medienvermitteltem Lernen. Ihr Ziel ist die Förderung des Lernens durch eine didaktisch geeignete Gestaltung und methodisch wirksame Verwendung von Medien. Die Auswahl und der Einsatz von Medien soll dabei in Abstimmung mit den Unterrichtszielen, den -inhalten und -methoden erfolgen“ [2].

Klassifizierung von Medien. Man spricht von „personalen Medien wie zum Beispiel Sprache, Gestik, Blicke, Bewegungen, die im Medienbegriff mit einbezogen sind. Diese Medien, bei denen der Lehrer selbst Träger der Information ist, sind auch in einem nicht typisch medienorientierten Unterricht vorhanden und spielen in jedem Unterricht eine überaus bedeutsame Rolle“ [3]. Über die Lehrer, die auch ihre Person als Medium in den Unterricht einbringen, wird hier nicht näher reflektiert, vielmehr sollen die apersonalen Unterrichtsmedien betrachtet werden (vgl. Abb. 4.2).

Unterrichtsmedien				
Art der Sinneserfahrungen			Art der Erfahrungsebenen	
visuell	auditiv	audiovisuell	Primär- erfahrungen	Sekundär- erfahrungen
Dia, Foto	Radio	Ton-Dia-Serie	Tiere, Pflanzen	Präparate
Schulbuch	Tonband	Tonfilm	Substanzen, Kristalle	Nachbildungen
Transparent	CD	Fernsehen	Experimente	Aufzeichnungen
Schultafel	Kassette	Video	Sternenhimmel	Planetarium
Computer	Sprachlabor	Multimedia	Exkursion	Film, Video

Abb. 4.2: Mögliche Klassifizierung von Unterrichtsmedien

Beurteilungskriterien. Medien sind der jeweiligen Lernsituation angemessen einzusetzen:

- bezogen auf das kognitive Entwicklungsstadium der Lernenden,
- auf Vorkenntnisse und Interessen der Lernenden,
- auf die beabsichtigten Ziele des Unterrichts,
- auf die geplanten Sozialformen des Unterrichts,
- auf Aspekte der Gestalt- und Wahrnehmungspsychologie,
- auf technische Durchführbarkeit und Beherrschung der technischen Geräte.

Wirkung von Medien. Ergebnisse von Untersuchungen der experimentellen Psychologie haben ergeben, dass „der Mensch seine Information etwa zu

78 % über das Auge, zu

13 % über das Ohr und zu je

3 % über den Geruchs-, Geschmacks- und Tastsinn aufnimmt“ [3].

Da das Aufnahmevermögen von Informationen noch nichts über das *Behalten* aussagt, seien auch diesbezügliche Untersuchungsergebnisse aufgeführt. Danach „behalte der Mensch

10 % von dem, was er liest,

50 % von dem, was er sieht und hört,

20 % von dem, was er hört,

80 % von dem, was er selbst sagt,

30 % von dem, was er sieht,

90 % von dem, was er selbst tut“ [3].

Schließlich sind auch empirische Untersuchungen über das „*Vergessen* ohne Nacharbeit“ durchgeführt worden [3]. Sie weisen aus, „daß

Gehörtes nach 3 Stunden zu 30 %, nach 3 Tagen zu 90 % vergessen wird,

Gesehenes nach 3 Stunden zu 28 %, nach 3 Tagen zu 80 % vergessen wird,

Gehörtes und

Gesehenes nach 3 Stunden zu 15 %, nach 3 Tagen zu 35 % vergessen wird.“

4.1 Vermittlungsprozesse – Vielfalt der Medien für den Chemieunterricht

Fachgerechte Medien für den Chemieunterricht sind solche, die sich entweder in besonderer Weise eignen, fachangemessen eingesetzt zu werden, oder die für das Fach Chemie in ihrer Art originell und spezifisch sind.

Funktionen und Eigengesetzlichkeiten vieler Medien. Die Prozentzahlen zum Behalten und Vergessen weisen aus, dass der Einsatz von Medien notwendig und vorteilhaft ist. Es ist allerdings jeweils zu reflektieren, inwieweit welche Medien welche Funktionen im Chemieunterricht haben können und welche Eigengesetzlichkeiten zu beachten sind. *Funktionen* können folgende sein:

- Motivation: Medien können zur Motivation im Chemieunterricht angeboten werden, wenn keine Primärerfahrungen aus der Lebenswelt der Lernenden vorliegen,

- Erkenntnisprozess: Falls zur Prüfung einer Hypothese kein Experiment möglich ist, können sachgerechte Abbildungen, Messwerttabellen oder Grafiken eingesetzt werden,
- Problemorientierung: Sowohl zu Problemen des Alltags und der Umwelt als auch zur Geschichte der Chemie können Bilder, Tabellen, Diagramme u. ä. das Problem stellen,
- Informationsvermittlung, Vertiefung, Wiederholung, Lernerfolgskontrolle, etc.

Es sind *Eigengesetzlichkeiten* verschiedener Medien zu reflektieren:

- Fertige Transparente, Diaserien oder Filme können den Frontalunterricht zementieren,
- sie können Passivität und unkritische Übernahme von Informationen bei Lernenden fördern,
- Medien, insbesondere Transparente, die über Jahre eingesetzt und nicht fachgerecht vor jedem Einsatz erneuert werden, können überholte Sachverhalte vermitteln,
- legt man den Lernenden fertige Transparente, Tabellen oder Grafiken vor und entwickelt sie nicht im Unterrichtsgespräch, so haben die Schüler meist nicht genügend Zeit, die Informationen durch Diskussion, Abschreiben bzw. Abzeichnen zu übernehmen,
- zeigt man Filme oder Videos, so liefern sie oft Informationen, die weit über das eigentliche Unterrichtsziel hinausgehen: Es ist zu entscheiden, ob man nur beabsichtigte Sequenzen zeigt oder nach einem Durchlauf des ganzen Films auf diese Sequenzen zurückkommt.

Diese und andere Aspekte sollen im Folgenden anhand der einzelnen Medien chemiedidaktisch reflektiert werden (vgl. Abb. 4.3).

Schulbuch. Ein Schulbuch ist von der Landesregierung des entsprechenden Bundeslandes zu genehmigen, wenn es offiziell im Unterricht eingesetzt werden soll. Eine Kommission des Ministeriums untersucht, inwieweit die Richtlinien des Bundeslandes eingehalten werden (es dürfen durchaus Inhalte vorkommen, die darüber hinaus gehen). Bei positivem Ergebnis der Kommission kommt das Buch auf die Liste der für das Land genehmigten Schulbücher.

Medien für den Chemieunterricht			
visuell	audiovisuell	zu Experimenten	zu Modellen
Schulbuch	Tonfilm	Experimentiergerät	Strukturmodelle
Schultafel	Video	Messgeräte	Modellzeichnungen
Transparent	Fernsehen	Apparaturen	Modellexperimente
Dia, Foto	Computer	Projektion	Funktionsmodelle
Zeitungsmeldung	Multimedia	Computerunterstützung	Computermodelle

Abb. 4.3: Klassifizierung von fachgerechten Medien für den Chemieunterricht

An Schulen entscheiden Schulkonferenzen auf Vorschlag der Chemie-Fachkonferenzen über die Einführung eines bestimmten Schulbuchs. *Kriterien zur Entscheidung* können sein:

- chemische Begriffsstruktur und sachliche Richtigkeit, Adressatenadäquatheit;
- didaktisches Konzept: Motivation, Problemorientierung, Einsatz von Experimenten und Modellen, naturwissenschaftliches Erkenntnisverfahren, Alltagsbezogenheit der Inhalte, spiralcurriculares Vorgehen, Vertiefungen, Übungsaufgaben, etc.
- methodisches Konzept: Text- und Bildspalte, farbige Fotos, Experimentiervorschriften, Abbildungen von Modellen, Tabellen und Diagramme, Merksätze und Zusammenfassungen, etc.
- Vorliegen eines Lehrerbandes, einer Aufgabensammlung mit (getrenntem) Lösungsheft, Preis u. a.

Weitere Beurteilungskriterien von Schulbüchern für das Fach Chemie sind – auch für Schulbücher der Sekundarstufe II – bei Becker und Pastille [4] zu finden.

Schultafel. Eine Tafel gibt es fast in jedem Klassenraum und meistens an exponierter Stelle, sodass sie von allen Schülerplätzen gut zu sehen ist. Sie wird deshalb in jedem Unterricht benutzt, und man sollte sich der Wichtigkeit ihrer Funktion als Medium bewusst sein. Oftmals ist das Tafelbild auch Vorbild für den Hefteintrag der Lernenden – aus diesem Grund ist es sorgfältig zu planen und gut zu gliedern, auch wenn der Tafelanschrieb oftmals spontan erfolgen muss.

Gerade im Experimentalunterricht ist die Tafel unumgänglich, wenn die Einzelschritte von der Problemstellung bis zur Problemlösung nachvollzogen werden sollen. In diesem Fall mag sich das *Tafelbild* in folgende Unterpunkte gliedern:

1. Unterrichtsthema,
2. Problemstellung,
3. Planung und Durchführung des Experiments,
4. Beobachtungen und Messwerte,
5. Auswertung und Fehlerdiskussion.

Insbesondere ist der Punkt 1 zu beachten: kein Tafelanschrieb ohne Überschrift!

Graf [5] führt weitere Argumente für „Schlüsselfunktionen“ der Schultafel auf: „Da das Tafelbild in der Regel Zug um Zug vor den Augen der Schüler bzw. (was lernpsychologisch äußerst sinnvoll ist) sogar gemeinsam mit den Schülern entwickelt wird und damit die Tafelbildgestaltung – und gleichzeitig auch der Lerngegenstand – in überschaubare Lernschritte sequenziert ist, können sich die Sachverhalte den Schülern gut einprägen. Hat man eine Klapptafel im Chemiesaal zur Verfügung, so bietet es sich an, eine oder beide klappbare Seitentafeln als ‘Steinbruchfläche’ zu benutzen, um etwa die Fragen und Vermutungen der Schüler zu fixieren oder zentrale Fachbegriffe (bekannte oder neu eingeführte) festzuhalten“. *Vor- und Nachteile der Wandtafel* werden von Graf aufgelistet (vgl. Abb. 4.4).

Einige Vorteile der Wandtafel sind u. a.:

- in jedem Fachraum vorhanden
- schnell einsetzbar (keine Verdunklung, kein elektrischer Anschluss nötig)
- methodisch vielfältig verwendbar
- gezielte Anpassung des Tafelbildes an den Entwicklungsstand der Schüler
- differenzierte Abstimmung des Tafelbildes auf den Unterricht (Unterrichtsfortschritt)
- schrittweise Entwicklung des Tafelbildes unter Beteiligung und vor den Augen der Schüler
- Hervorhebung wichtiger Elemente bzw. Schwerpunkte des Unterrichts ohne großen Aufwand möglich
- Vorbildwirkung des Lehrers bei der Gestaltung des Tafelbildes als Lernhilfe
- sukzessive Ergänzung des Tafelbildes (auch über die Einzelstunde hinaus) möglich
- vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten des Tafelbildes (Gliederung des Tafelbildes = Gliederung der Stunde, Mind-maps neben Versuchsskizzen, vorgefertigten Magnetmodellen, Versuchsbeobachtungen und Versuchsdeutungen etc.)
- Mitgestaltungsmöglichkeiten für die Schüler
- von jedem Schülerplatz gut einsehbar
- Korrekturen am Tafelbild sind relativ leicht vorzunehmen
- kontrastreich, d. h. fast jede Farbe ist gut zu sehen (Ausnahme: dünne Pastellfarbkreide und dunkle Farben)
- Konzentration der Aufmerksamkeit der Schüler „auf einen Punkt“
- Anregung der Schüler zur aktiven Mitarbeit und Nacharbeit
- von der Ökobilanz her ist der Einsatz der Tafel zweifellos als recht günstig zu bewerten
- sehr viele verschiedene Wandtafel-Kreide-Farben verfügbar (ästhetische Gestaltung des Tafelbildes)

Einige Nachteile der Wandtafel sind u. a.:

- begrenzte Fläche
- nasse Tafeln kaum einsetzbar
- Tafelbild steht nur begrenzte Zeit zur Verfügung
- Tafelbild muss sorgfältig geplant sein (Größenverhältnisse, Beziehung von Skizze und Text etc.)
- aufwendige Versuchsaufbauten und technische Einrichtungen zu skizzieren, kostet viel Zeit
- an der Tafel zeichnen will gelernt sein
- während der Lehrer eine Tafelskizze anfertigt, dreht er der Klasse den Rücken zu und verdeckt einen Teil der Tafel, auch wenn er sich etwas seitlich zur Tafelskizze stellt
- Tafel muss zu Beginn der Stunde oftmals erst gereinigt werden
- auch eine Tafel richtig reinigen, will gelernt sein und braucht Zeit und Sorgfalt
- große Tafelfläche verführt zu viel Text
- Schiebetafelflächen entsprechen eher einer DIN A 4-Heft-Doppelseite im Querformat
- Übernehmen des Tafelbildes ins Schülerheft benötigt bei einzelnen Schülern viel Zeit
- wenn Schüler an die Tafel schreiben, so haben sie den Text bzw. die Abbildung noch nicht im Ordner bzw. Heft
- Tafel ist nur zweidimensional, d. h. beispielsweise der „Methan-Tetraeder“ ist schwer darstellbar
- Verschmutzung der Hände und Kleidung (beim Zeichnen bzw. Wischen)
- Tafelanschriften, die über die gesamte ca. 2 m breite Schiebetafel hinweg im Laufe des Unterrichts entwickelt werden, sind vom Schüler meist nur mit erheblichen Schwierigkeiten ins Heft übernehmbar
- Abschreiben des vorgefertigten Tafelbildes macht die Schüler unselbstständig

Abb. 4.4: Vor- und Nachteile der Wandtafel nach Graf [5]

Transparente. Ähnlich der Wandtafel trifft man auch einen Arbeitsprojektor zur Overheadprojektion in den meisten Klassenräumen an. Man kann zunächst den Overheadprojektor wie eine Tafel benutzen, deshalb gilt für die projizierte Folie dasselbe wie für die Wandtafel. Es ergeben sich folgende *Vorteile* gegenüber der Tafel: Man schreibt mit dem Gesicht zur Klasse, die verfügbare Schreibfläche ist beliebig groß, das in einer Unterrichtsstunde erarbeitete Folienbild kann zur Wiederholung in der nächsten Stunde wieder projiziert werden, eigene Folien kann man durch passende Folien des Lehrmittelhandels ergänzen.

Einzige *Nachteile* gegenüber der Tafel sind: Die Folienstifte trocknen leicht aus und sind deshalb ständig nach dem Schreiben zu schließen, die Lampe des Projektors kann durchbrennen (ggf. ist eine Reservelampe einschaltbar).

Man kann grundsätzlich – auch ergänzend zum Tafelbild – Overheadfolien selbst herstellen oder bei Lehrmittelfirmen erwerben (vgl. Abb. 4.5). Bei *fertigen Transparenten* und *Aufbausätzen* ist besonders darauf zu achten, den Schülern genug Zeit zu geben, um alle wichtigen Informationen aufzunehmen oder ins Heft zu übertragen. Abbildungen, die der jeweiligen Lerngruppe nicht angemessen sind, können bei der Projektion abgedeckt oder gesondert diskutiert werden.

Industriefirmen wie Mineralöl- oder Energie-Konzerne bieten über ihre Produkte oftmals auch *Transparentmappen* an. Speziell für den Chemieunterricht hält der Fonds der Chemischen Industrie umfangreiche Medienpakete mit Foliensätzen und Begleittexten bereit. Themen sind u. a. Ammoniaksynthese, Arzneimittel, Edelmetalle, Farbstoffe, Gentechnik, Katalyse, Korrosion, Pflanzenschutz, Tenside, Umweltbereich Luft, Umweltbereich Wasser.

Dia, Foto. Fotos werden heute auch auf Transparenten angeboten, man kann sich geradezu von jeder Farbvorlage ein farbiges Transparent für den Unterricht herstellen. Trotzdem bleiben kontrastreiche gute Dias, die im verdunkelten Raum gezeigt werden, ein besonderes Erlebnis, insbesondere wenn ästhetische Aspekte (z. B. Kristalle, Runge-Bilder) eine Rolle spielen. Dia-Serien lassen sich gut einsetzen, wenn chemische Verfahren oder Techniken im Unterricht zu veranschaulichen sind. Da meistens kein Ton angeboten wird, kann der Lehrer seinen Kommentar zu den Dias jeweils nach den Voraussetzungen der Zuhörer ausrichten. Er bestimmt auch, in welcher Geschwindigkeit die Bilder gezeigt werden.

Im Zeitalter der Digitalkameras besteht auch die Möglichkeit, *digitalisierte Fotos* auf dem Computer-Bildschirm – etwa mit bestimmter Beschriftung – zu verändern und mit dem Daten-Videoprojektor (Beamer) zu projizieren. Insbesondere können die Schüler selbst Fotos auf ihren PC laden und ihrer Intention gemäß bearbeiten. Durch die Möglichkeit, die Bilder während des Unterrichts zu verändern, resultieren ganz neue methodische Herausforderungen.

Arbeitstransparente					
selbst erstellte Folien			käufliche Transparente		
mit Farbstiften (wasserlöslich oder permanent)	durch Fotokopie (schwarz-weiß oder farbig)	durch Computer- ausdruck	Transparent- mappen	Aufbau- Foliensätze	Stereo- folien
			mit Begleittexten und Arbeitsblättern		

Abb. 4.5: Arten von Arbeitstransparenten für den Chemieunterricht

Zeitungsmeldung. Unterricht zu aktuellen Themen des Alltags und der Umwelt kann interessant gestaltet werden, wenn jeweils aktuelle Zeitungsmeldungen zugrunde gelegt und interpretiert werden. Es ist sehr oft auch motivierend, sachliche Fehler der Journalisten aufzudecken und entsprechend fehlerhaft beschriebene Sachverhalte im Unterrichtsgespräch aufzuklären. Es wäre günstig, sich aus diesem Grund eine Sammlung diesbezüglicher Zeitungsmeldungen anzulegen und sie für den Einsatz im Unterricht bereit zu halten. Haupt [6] hat seit den 70er Jahren Artikel aus den Zeitungen der Oldenburger Region gesammelt und nach Themen geordnet: Karikaturen, spezielle Substanzen, Belastungen von Wasser, Luft und Boden, chemische Technik und Chemieunfälle, Nahrungsmittel und Gentechnik, Energie, Radioaktivität, etc.

Tonfilm, Video. Es wird in naher Zukunft nur noch in Ausnahmefällen Tonfilme alter Art geben – sie werden in den meisten Fällen auf Videobänder überspielt. Lehrmittelfirmen bieten Videos zum Kauf an, große Chemiefirmen versenden sie kostenlos, Bildstellen am Schulort leihen sie aus. Sie sind vor allem erhältlich zu Themen wie chemische Technik, Alltag und Umwelt, Biochemie, Chemiegeschichte. Die Filme und Videos bieten nicht nur das laufende Bild und kommentierende Worte, sondern oftmals auch Animationen zu Modellvorstellungen an, zu Umgruppierungen und Veränderungen von Atomen, Ionen und Molekülen bei Reaktionen. Insbesondere diese Passagen muss sich die Lehrkraft vor der Projektion im Unterricht ansehen und entscheiden, welche Animationen dem Vorwissen adäquat sind und welche nicht; sie sind in jedem Fall in Form einer Modelldiskussion kritisch zu reflektieren. Das *FWU-Institut* für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht bietet insbesondere auch Filme für unanschauliche Themen des Chemieunterrichts für die Ausleihe an: Radioaktivität und Radiochemie, Periodensystem, Atombau und chemische Bindung, Energetik und Kinetik; Modellvorstellungen zum Aufbau der Materie, zu Säuren und Basen, zur Elektrochemie und Korrosion, zum chemischen Gleichgewicht. Der aktuelle Katalog kann angefordert werden: FWU, Bavariafilmplatz 3, 82031 Grünwald.

Fernsehen. Die verschiedenen Fernsehprogramme senden oftmals gute naturwissenschaftliche Dokumentationen oder kritische Berichte, meistens zu Fragen der Umweltschädigung und des Umweltschutzes. Manchmal werden sogar didaktisch sehr gut aufbereitete Unterrichtseinheiten angeboten, wie im ZDF-Studienprogramm Chemie, das in den 80er Jahren ausgestrahlt worden und vielleicht noch in Form von Videos zu erhalten ist [7]. Es gibt ebenfalls Spielfilme über bestimmte Entdeckungen oder Abschnitte in der Geschichte der Naturwissenschaften: Sie können für Schüler sehr lebensnah die Forscherpersönlichkeiten oder wichtige Sachverhalte veranschaulichen. Solche Sendungen können ausgezeichnet und an passender Stelle im Unterricht gezeigt werden.

Computer. Der PC hat sich als universelles Medium entwickelt, das so ziemlich alles kann (vgl. Abb. 4.6): Texte werden gescannt und verarbeitet, Tabellen und Grafiken erstellt, Zeichnungen oder Fotos eingegeben und verändert. Stehen entsprechende Programme auf Disketten oder CD's zur Verfügung, können Simulationen realer Vorgänge nachvollzogen werden, Messwerte beim Experimentieren erfasst und in kürzester Zeit verarbeitet und gespeichert werden, in Zusammenarbeit mit dem Informatikunterricht Programme entwickelt und Fragestellungen

Einsatz des Computers		
übliche Programme auf der Festplatte	Laufwerke für CD-ROM, Diskette	Internet-Zugang, Netzwerkprogramme
Textverarbeitung	Simulationen	Datenbanken
Tabellen, Grafiken	Messwerterfassung	E-mail
Zeichnungen, Fotos	Programmierung	Homepage

Abb. 4.6: Möglichkeiten zum Einsatz des Computers im Chemieunterricht

gelöst werden. Mit einem Zugang zum Internet sind Lehrer und Schüler in der Lage, Informationen und Daten zu fast allen Substanzen, Herstellungsprozessen und Umweltfragen aus aller Welt zu erhalten, durch die E-mail mit anderen Institutionen Kontakt aufzunehmen oder durch die Homepage eigene Projekte der Öffentlichkeit vorzustellen.

Die mit der Handlungsmöglichkeit der Schüler einhergehende *Computer-simulation* ist wohl die herausragende Fähigkeit neuer Programme. So kann beispielsweise in einem Programm des Fonds der Chemischen Industrie zur Klärung von Abwasser in einer Kläranlage [8] der Schüler selbstständig die Parameter wie Sauerstoffzufuhr oder Verweilzeit in den Klärbecken vorgeben und durchrechnen lassen, zu welchem Prozentsatz die Schmutzanteile im Wasser entfernt werden und welche Kosten dem Unternehmen entstehen. Für chemische Sachverhalte dieser Art, die nicht im direkten Experiment im Labor nachvollzogen werden können, sind Computersimulationen sinnvoll und angemessen. Übersteigt der Gebrauch solcher Simulationsprogramme allerdings ein normales Maß und finden Experimente an realen Substanzen mit realen Apparaturen kaum mehr statt, so läuft der Unterricht Gefahr, die unmittelbare Begegnung mit Substanzen und Apparaturen durch die Begegnung am Bildschirm zu ersetzen: Der allseits beklagte Realitätsverlust könnte eintreten.

Multimedia. Diesbezügliche Lernprogramme – meist auf einer CD-ROM – haben den großen Vorteil, dass sie den Einsatz von Texten in Bild und Ton, Bildern mit oder ohne Kommentar, Filmsequenzen oder Modellanimationen vereinen und beliebig schnell von einer Anwendung zur anderen umschalten, sie wiederholen oder eine andere überspringen können. Dabei ist es möglich, dass jeder Schüler *interaktiv* an seinem PC gemäß seines Lernfortschritts seine individuellen Lernschritte geht oder dass durch Projektion des Programms mit einem Videodatenprojektor eine ganze Schülergruppe – dann allerdings im Gleichschritt – vom Lehrer unterwiesen wird. Da es bei dem großen Angebot an Zusatzinformationen zu Orientierungsschwierigkeiten kommen kann („Lost in Hyperspace“), muss anfangs eine passende Auswahl von Multimedia-Lernprogrammen stattfinden. Es sind zu dieser Frage auch Untersuchungen abzuwarten, inwieweit solche Lernprogramme ohne Begleitunterricht durch Lehrer erfolgreich eingesetzt werden können.

Experimente. Experimentiergerät, Messgeräte und Apparaturen (vgl. Abb. 4.3) sind in Experimentalvorschriften der Lehr- oder Schulbücher abgebildet und in Katalogen der Lehrmittelfirmen zu finden, zu vergleichen und zu bestellen. Beim

Zusammenbau von Apparaturen sind bestimmte Gesetze der Gestaltpsychologie zu beachten (vgl. Abschn. 5.2). Im Übrigen sei auf das *Kapitel 5* verwiesen, das das Experiment zum zentralen Anliegen macht.

Da die *Projektion* von Experimenten einen spezifischen medialen Aspekt aufweist, seien an dieser Stelle entsprechende Hinweise gegeben. Es gibt spezielle Zusatzgeräte, um mit Tageslicht- und Diaprojektor bestimmte Phänomene zu projizieren.

Der *Tageslichtprojektor* spielt wegen der ständigen Präsenz im Chemiesaal eine große Rolle für den Einsatz beim Experimentieren:

1. Der Tageslichtprojektor kann zum Beleuchten einer Apparatur verwendet werden, etwa um eine Gasentwicklung für alle Schüler besser sichtbar zu machen (V4.1). Es kann auch nur ein Teil der Apparatur beleuchtet werden.
2. Die Projektorfläche kann ebenfalls ausgenutzt werden, um Effekte besser für alle Schüler im Raum sichtbar zu machen, etwa für das Heber-Experiment zum Gleichgewicht (V4.2).
3. Glasschalen oder Petrischalen sind gut zur Projektion an die Leinwand geeignet, beispielsweise sind Phänomene zur Elektrolyse von Zinkbromid-Lösung gut zu beobachten (V4.3).
4. Im Laborhandel sind auch dreigeteilte Petrischalen erhältlich, die den farblichen Vergleich dreier Lösungen, etwa von Indikatorfarbstoffen in neutralen, sauren und alkalischen Lösungen gestatten (V4.4). Viele weitere Experimentiervorschläge dieser Art bietet Full [9].
5. Der Lehrmittelhandel bietet schließlich Projektionsaufsätze für den Tageslichtprojektor an, die entweder mit Küvetten für Projektionsversuche arbeiten (V4.5) oder Experimentierzellen für Elektrolyse-Versuche beinhalten (V4.6).

Für *Diaprojektoren* gibt es Vorrichtungen, die Küvette oder Reagenzglas projizieren: Alle möglichen Farbreaktionen in Lösungen oder ausfallende Niederschläge werden stark vergrößert. Die Farben von Lösungen werden dabei real projiziert, die von Niederschlägen allerdings nicht: Sie erscheinen zwangsläufig immer schwarz auf der Leinwand.

Eine andere Art der Vergrößerung von Experimentieranordnungen bieten *Fernsehkamera* und angeschlossener Monitor. Eine „Schwanenhals-Zoom-Kamera“ ist handlich und so klein, dass man an alle Apparaturteile nah heran gehen und Phänomene sehr stark vergrößert zeigen kann, insbesondere werden reale Farben abgebildet (V4.7). Eine solche „Chemie en miniature“ beschreibt Roesky [10] mit vielen Experimentiervorschlägen. Ein generelles Experimentieren „en miniature“ würde zudem die Kosten für Chemikalien erheblich senken und Abfälle minimieren – allerdings unter Verlust eines Teils der Realität.

Der *Computereinsatz* zum Experimentieren bietet wiederum andere Vorteile. Dabei ist nicht daran gedacht, Experimente durch Bilder am Computerbildschirm zu ersetzen: Wenn es möglich ist, sollte das Realexperiment entweder in Form der Demonstration oder des Schülerversuchs stattfinden. Sobald es aber um die schnelle Erfassung und Auswertung von Messdaten, um das Erstellen von Tabellen und Grafiken, um den Vergleich verschiedener Messkurven geht, kann dies der Computer übernehmen. Deshalb ist diesbezüglich eher von der *Computer-unterstützten Messwerterfassung* die Rede. Sie kann in mehrfacher Funktion gegeben sein:

1. Die Großanzeige kann Messwerte in großen Zahlen anzeigen, die von allen Schülern während des Messvorgangs gut zu sehen und zu verfolgen sind, etwa zur Massenabnahme beim Verdunsten eines leicht flüchtigen Lösungsmittels auf der Waage (V4.8).
2. Sehr langsame und sehr schnelle Reaktionen können mit Hilfe des angeschlossenen PC's anschaulicher werden als auf traditionellem Weg. So wird etwa der sehr schnelle Anstieg der pH-Werte bei der Neutralisation von Säurelösungen direkt am Bildschirm deutlich (V4.9).
3. Serien von Messdaten ein und desselben Sachverhalts, etwa zu Analysen von Belastungstoffen in Wasser- oder Luftproben zu verschiedenen Tageszeiten, können mit wenig Aufwand realisiert, die Ergebnisse der Messungen durch geeignete Software verglichen werden.
4. Messdaten, die man durch ein Realexperiment gewinnt, können zu Tabellen oder Grafiken verarbeitet werden. Auch Berechnungen von Mittelwerten, Abweichungen, Ausgleichskurven oder Fehlerrechnungen können durchgeführt und auf dem Bildschirm dargestellt werden.
5. Das Steuern und Regeln ist im Computer-unterstützten Experiment möglich, allerdings ist für Aufbau und Bedienung eines Regelkreises eine gewisse Programmiererfahrung notwendig.

Im Übrigen kann im Zusammenhang mit dem Informatikunterricht an der Schule das Programmieren eines Experimentalproblems ein motivierendes und spannendes Thema sein. Beispiele sind bei Steiner [11] zu finden.

Für das Computer-unterstützte Experimentieren sind Kenntnisse zur Hardware und Software notwendig. Zur *Hardware* gehört neben Computer und Monitor selbst der Analog-Digital-Wandler (AD-Wandler), der die analogen Spannungsdaten eines üblichen Messgeräts der Sammlung in digitale Informationen umwandelt. Geeignete *Software* ist nötig für Empfang und Aufzeichnung der digitalen Daten, für die Auswertung der Daten und für weitere Berechnungen hinsichtlich der Mittelwerte oder Ausgleichskurven (vgl. auch [12] und [13]).

Modelle. Reale Anschauungsmodelle, Modellzeichnungen, Modellexperimente oder Funktionsmodelle sind wichtige Medien eines jeden Chemieunterrichts, vor allem wenn erste Modellvorstellungen für den Verband kleinster Teilchen (Teilchenmodell) oder der Atome und Ionen (Daltonsches Atommodell) eingeführt wurden. Modelle dieser Art und deren Reflexion sind Inhalt des *Kapitels 6*. Mit dem Computer durchführbare Modellrechnungen oder *Modelldarstellungen* sind besondere Medien des Chemieunterrichts, die an dieser Stelle erläutert seien. Bei der Vielzahl von gegenwärtigen und zukünftigen Programmen werden folgende exemplarisch vorgestellt:

1. Um die Struktur von Molekülen zwei- oder dreidimensional aufzuzeichnen und auszudrucken, sind übliche Zeichenprogramme wie CHEMDRAW und andere vorhanden. Man muss mit der Auswahl an Strukturelementen vertraut werden, um diese Programme zu bedienen.
2. Bei gleichem Summensymbol sind häufig verschiedene isomere Moleküle möglich. Um entsprechende Molekülstrukturen darzustellen, ist in diesbezüglicher

- chen Programmen (etwa MOLGEN) eine Formel einzugeben und die Generierung möglicher Strukturen abzurufen.
3. Kristallgitter-Strukturen können mit Hilfe bestimmter Programme (CRYSTAL oder XTAL-DRAW) aus Daten der Kristallsymmetrie generiert oder als fertige Kugelpackungs- oder Gittermodelle aufgerufen, dreidimensional betrachtet und verändert werden.

4.2 Fachliche Schwerpunkte – sachliche Angemessenheit von Medien

Sowohl die Lernmittelindustrie als auch Schulbuchverlage liefern eine Vielzahl an Transparenten, Foliensätzen, Videos, Zeichnungen und Bilder – oftmals sind es verschiedene Medien zu ein und demselben Sachverhalt. Vor dem Einsatz solcher Medien ist deren fachliche Angemessenheit zu reflektieren. Es lassen sich folgende Kriterien der Reflexion finden:

Richtigkeit. Vor dem Einsatz vieler Medien ist zu prüfen, inwieweit sie sachlich korrekt sind oder wie sie auf den neuesten Stand der wissenschaftlichen Vorstellungen gebracht werden können.

Ist etwa der Einsatz von Bildern oder Transparenten zum Bau der Atomhülle geplant, die im Sinne der Bohrschen Vorstellung isolierte Kugeln als Modelle für Elektronen und Kreisbahnen für deren Bewegung zeigen („Schützenscheiben“), so sind Zusatzinformationen vorzubereiten, die vom Welle-Teilchen-Dualismus ausgehen und Begriffe wie Aufenthaltswahrscheinlichkeiten oder Energiestufen in die Diskussion bringen. Oder es sind diesbezügliche Filme zusätzlich zu zeigen und zu erläutern, die eine Fixierung auf das „Schützenscheibenmodell“ vermeiden. Da der Bereich der Protonen, Neutronen und Elektronen grundsätzlich nicht anschaulich zu machen ist, kann auch darauf verzichtet werden, solche oft missverständlichen Medien einzusetzen.

Didaktische Reduktion. Viele Sachverhalte müssen entsprechend der Lerngruppe didaktisch reduziert werden. Reiners [14] spricht in diesem Zusammenhang von Wissenstransformation und der „Fachdidaktik als Transformationswissenschaft“.

Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob solche Reduktionen sachlich vertretbar sind oder nicht. Vor einigen Jahrzehnten konnte man in Schulbüchern Modellzeichnungen finden, die von der vereinfachten Vorstellung ausgingen, Elemente seien aus Atomen aufgebaut und Verbindungen aus Molekülen (vgl. Abb. 4.7, oben). Autoren dieser Zeichnungen wussten, dass das Element Schwefel aus S_8 -Molekülen aufgebaut ist und kannten den Aufbau von Eisensulfid aus Ionen: Trotzdem hielten sie ihre Aussagen und Zeichnungen für tragbare didaktische Reduktionen. Auch die Merksätze der Autoren, insbesondere Moleküle als „kleinste Mengen“ der Verbindungen, sind aus sachlicher Sicht sehr fragwürdig und keine tragbaren Reduktionen. Heute legt man eher Wert darauf, didaktische Reduktionen nur soweit zuzulassen, dass die fachliche Korrektheit bestehen bleibt. So ist es zulässig, die Reaktion von Kupferoxid und Wasserstoff sachgerecht mit prinzipiell angemessenen Modellen zu Gittern und Molekülen zu beschreiben (vgl. Abb. 4.7, unten).

Die chemischen Formeln stehen für chemische Verbindungen und für deren kleinste Mengen, die Moleküle.

Die Vereinigung der Atome zu einem Molekül geschieht stets so, dass kein Bindearm frei bleibt.

Eisen	+	Schwefel	→	Schwefeleisen
	+		→	
1 Atom Eisen	+	1 Atom Schwefel	→	1 Molekül Schwefeleisen
Fe	+	S	→	FeS

+

→

+

Kupferoxid Wasserstoff Kupfer Wasser

Abb. 4.7: Fachdidaktische Reduktionen früher [15] und heute [16]

(a)

Laden

Entladen

(b)

(c)

Abb. 4.8: (a) Realgegenstand, (b) Experiment, (c) Transparent zum Thema „Autobatterie“

Realgegenstände, Realvorgänge. Falls die Gelegenheit besteht, zu einem Sachverhalt reale Gegenstände anstelle von Abbildungen oder Transparenten einzusetzen, so ist zunächst den Realgegenständen der Vorzug zu geben. Allerdings sind die realen Gegenstände mit Fotos oder Modellzeichnungen zu kombinieren, um mit diesen zusätzlichen Medien einen optimalen Lerneffekt zu erzielen. Wird beispielsweise das Thema „Autobatterie“ behandelt, ist nicht nur die Demonstration des Realgegenstandes möglich und notwendig, sondern es kann sogar ein Experiment zum Realvorgang gezeigt werden (V 4.10). Erst nach Realgegenstand und Experiment sind zusätzlich Folien und Bilder als Medien für Erklärungen anzubieten (vgl. Abb. 4.8).

Da sich etwa zum Thema „Kernkraftwerke“ keine Möglichkeiten bieten, im Schullabor Realgegenstände oder Modellexperimente zu realisieren, muss dieses Thema ausschließlich mit Hilfe von Folien oder Filmen als Medien vermittelt werden – der Besuch eines Kernkraftwerkes mag sich an den Unterricht anschließen und außerhalb der Schule den Realgegenstand vermitteln.

4.3 Lernende – Medien und Abstraktionsfähigkeit

Medien als Vermittlern von Informationen kommt naturgemäß ein bestimmter Grad der Abstraktion zu. Geplante Medien müssen deshalb dem Entwicklungsstand der jeweils Lernenden, insbesondere deren Abstraktionsfähigkeit entsprechen. Es ist insbesondere zur Art und Weise des Medieneinsatzes zu reflektieren, ob die Alters- und Entwicklungsstufe der Lernenden angemessen berücksichtigt wird, welche Darstellungsformen schülergerecht sind und ob durch die vorgesehenen Medien etwa unzutreffende Vorstellungen geweckt oder zementiert werden.

Abstraktionsebenen. Ausgehend von der Realbegegnung (vgl. Abschn. 4.2) muss nicht ein einziger Schritt auf die höchste Abstraktionsebene führen, sondern es können zunächst geeignete Medien mittlerer Abstraktion eingesetzt werden. So kann bei der Einführung chemischer Symbole, die auf der submikroskopischen Ebene eine hohe Abstraktion beinhalten, eine ikonische Darstellung vor der symbolischen Verkürzung stattfinden (vgl. Abb. 4.9): Ausgehend von der Realbegegnung mit dem würfelförmigen Steinsalzkristall können Kugelpackung und Elementarzelle als Medien mittlerer Abstraktion diskutiert werden, ehe aus diesen konkreten Modellen Symbole wie $\text{Na}_3\text{Cl}_{32}$, Na_4Cl_4 , Na_1Cl_1 oder NaCl abgeleitet werden. Kapitel 6 und 7 vertiefen diese Problematik.

So erlangen die Lernenden Vorstellungen vom Aufbau entsprechender Substanzen und stellen sich beim Arbeiten mit solchen Symbolen immer auch deren prinzipiellen Aufbau vor. Bei der Verwendung von ikonischen Darstellungen wie den Strukturmodellen oder Strukturzeichnungen müssen die Lernenden den Modellcharakter erfassen, keinesfalls dürfen sie die Modelle als getreues, vergrößertes Abbild der Wirklichkeit missverstehen. Durch gleichzeitigen Einsatz unterschiedlicher konkreter Modelle zu derselben Struktur – etwa Kugelpackung neben Raumgitter und Elementarzelle (vgl. Abb. 4.9) – ist diese Gefährdung zu mindern. Zusätzlich sind Rot-Grün-Zeichnungen möglich, wie Harsch und Schmidt [17] sie vorschlagen und durch mitgelieferte 3D-Brillen viele Strukturen dreidimensional erscheinen lassen. Kapitel 14 zeigt einige dieser Modelle.

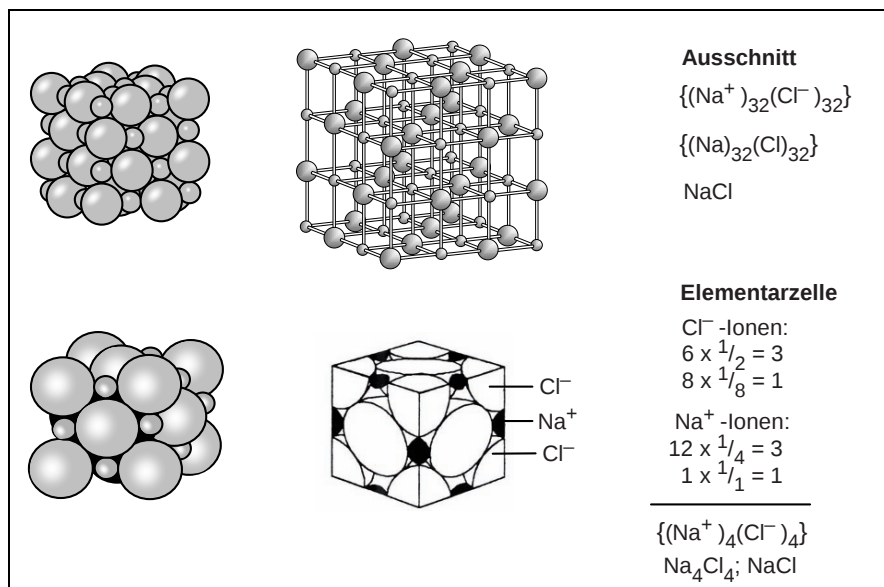


Abb. 4.9: Verschiedene Modelle und Symbole für die Natriumchlorid-Struktur

Vorwissen. Die Lernenden bringen nicht nur Kenntnisse und Vorstellungen aus ihrer Lebenswelt in den Unterricht mit (vgl. Kap. 1), sondern haben in Sachbüchern, Kinderzeitschriften oder Fernsehsendungen manches naturwissenschaftliche Thema bereits medial erlebt. Lehrer sollten diese Medien für Kinder kennen, um diesbezüglich angemessen reagieren zu können.

Experimentierkästen. Es gibt sogar einen kleinen Teil von Schülern und Schülerinnen, die vor Beginn des Sach- oder Chemieunterrichts mit Experimentierkästen gespielt haben. Eltern, die besonders an den Naturwissenschaften interessiert sind oder den starken Wünschen ihrer Kinder folgen, kaufen ihnen oftmals Experimentierkästen. Diese Kinder kommen dann mit einem erheblichen Vorwissen und guten experimentellen Erfahrungen in den Chemieunterricht, können Unterrichtsgespräch und Praktikum dadurch sehr bereichern.

Ein solcher Experimentierkasten der Firma Kosmos [18] vermittelt „240 spannende, gefahrlose Experimente“ für einen „Streifzug durch die anorganische und organische Chemie“. Aus der Liste der Teile des Experimentierkastens (vgl. Abb. 4.10) lässt sich rekonstruieren, welche Art von Experimenten die Kinder bereits zu Haus durchführen. Wegen der hohen Kosten eines solchen Kastens ist der Anteil der Schüler und Schülerinnen klein, die mit diesbezüglichen Erfahrungen tatsächlich in den Unterricht kommen.

Medienkoffer. Um dem Handlungsbedürfnis der Schüler – wie hinsichtlich der Experimentierkästen – entgegen zu kommen, sind Medienkoffer entwickelt worden. Sie enthalten neben Substanzen und Nachweisreagenzien auch Broschüren, Dias, Transparente oder gar Videos. Ein Beispiel ist das Medienpaket „Herstellung von Eisen und Stahl“ [19], das neben Proben der Eisenerze auch Filme, Dias,

Transparente und Begleithefte zum Produktionsprozess enthält. Weitere *Medienkoffer* sind entwickelt worden und im Lehrmittelhandel erhältlich: etwa zu Themen wie Seifen und Waschmittel, Fettchemie, Klebstoffe, Papierherstellung, Kunststoffchemie, Farbstoffchemie, Biochemie, Lebensmittelchemie.

Ein *Umweltkoffer* ist zur Untersuchung von Gewässern oder Bodenproben entwickelt worden: Er enthält Batterie-betriebene Messgeräte wie pH-Meter, Sauerstoff-Messelektrode, Temperaturfühler, Leitfähigkeitsmessgerät, Luxmeter, Photometer. Für den Betrieb des Photometers gibt es eine kleine Sammlung von Nachweisreagenzien und Chemikalien, zum Anschluss an die Messwerterfassung geeignete Computerkabel, zur Bedienungsanleitung eine Broschüre [20].

Wasser-Untersuchungssets sind ebenfalls geeignet, Lernende handlungsorientiert in die Untersuchung von Gewässern einzuführen, etwa die Gesamt- und Carbonathärte, pH-Wert, Ammonium-, Nitrat-, Nitrit- und Sauerstoffgehalt zu bestimmen [21]. Einzelsets für die Bestimmung weiterer Metall-Ionen oder Schadstoff-Teilchen sind im Handel erhältlich.

1	Spiritusbrenner (Unterteil)	21	Trichter
2	Brennerkappe	22	Grundplatte
3	Probierglasbürste	23	Zinkpulver
4	Lackmuspapier, blau	24	Kobalt(II)-chlorid
5	Siedestab	25	Schwefel
6	Gerades Glasrohr	26	Kaliumhexacyanoferrat(II)
7	Winkelglasrohr bzw. Winkelrohr	27	Natriumthiosulfat
8	Spitzes Glasrohr	28	Weinsäure
9	Abdampfschale	29	Eisenfeilspäne und Eisendraht
10	Fünf Probiergläser (FIOLAX®)	30	Aktivkohle
11	Gummischlauch	31	Calciumhydroxid
12	Probierglashalter	32	Ammoniumchlorid
13	Dochthalter (2 Teile) + Isolierstück	33	Kupfersulfat
14	Docht	34	Kaliumpermanganat
15	Filterpapier	35	Natriumhydrogensulfat
16	Brenneraufsatz	36	Natriumcarbonat
17	Doppellöffel (Spatel)	37	Zwei Streifen Magnesiumband
18	Korkstopfen mit 2 Bohrungen	38	Kunststoffprobe Polyvinylchlorid
19	Korkstopfen ohne Bohrungen	39	Metallfolie
20	2 Korkstopfen mit 1 Bohrung	40	Experimentierbuch

Abb. 4.10: Teile des Kosmos Experimentierkastens „All-Chemist“ [18]

4.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – Massenmedien

Der Einfluss von Medien – im Sinne von Massenmedien – auf Lernende ist durch ihre technische Perfektion sowie durch die ständige Wiederholung oft stärker, als es Unterrichtsmedien sein können. Massenmedien wie Zeitungen, Illustrierte, Rundfunk- und Fernsehsendungen wirken als *außerschulische Informationsträger* im positiven wie im negativen Sinne.

Im Fall von chemiebezogenen Inhalten können außerschulische Medien *positiv* wirken durch:

- *Wecken von Interesse und Neugier*: Finden die Schüler und Schülerinnen in Zeitungen Berichte zur Bedeutung von Memorymetallen für den Bau von Motoren und zu vielen anderen technischen Anwendungen, so mag das Phänomen des „Form-Erinnerungsvermögens“ von bestimmten Legierungen so interessant sein, dass es im Chemieunterricht thematisiert und anhand diesbezüglicher Aufsätze aus Fachzeitschriften diskutiert wird.
- *Anregungen zur kritischen Auseinandersetzung*: Zeitungsmeldungen und Fernsehberichte über Smog-Alarm oder Castor-Transporte können Anlass dazu sein, dieses Thema im Unterricht sachlich aufzubereiten und sich daraufhin kritisch mit diesen Meldungen auseinander zu setzen, ebenfalls fachliche Fehler in den Meldungen aufzufinden und zu korrigieren.
- *Darstellungen mit Mitteln von Film und Fernsehen*: Haben viele Schüler einen Fernsehbericht etwa zur Geschichte der Entdeckung des Dynamits oder einen Spielfilm zur Forscherpersönlichkeit Alfred Nobel gesehen, so kann das bei Interesse aller Schüler zu einem Exkurs im Chemieunterricht führen, der sachliche Informationen zu Nitroglycerin liefert, das Experiment zur Veresterung von Glycerin mit Nitriersäure realisiert, die Verarbeitung zu Dynamit erläutert.

Massenmedien wirken allerdings auch in *negativem* Sinne durch:

- *Übertragen negativer Einstellungen*: Einseitige Berichterstattungen über giftige Substanzen in Lebensmitteln oder über unerwünschte Nebenwirkungen von Arzneimitteln führen allzu schnell dazu, „der Chemie“ eine diesbezügliche Schuld zuzuweisen – mit der Auswirkung, dass Schüler und Schülerinnen die negative Einstellung zur Chemie von den Journalisten übernehmen und damit ihre Lernbereitschaft für den Chemieunterricht einschränken.
- *Vermitteln falscher Vorstellungen*: Zeitungs- und Fernsehmeldungen über den *Energieverbrauch* wie etwa den *Kraftstoffverbrauch* oder den *Stromverbrauch* vertiefen die Alltagsvorstellung, dass Energie „verschwinden“ kann. Wird im Unterricht das Prinzip von der Energieerhaltung behandelt und von der *Umwandlung* bestimmter Energieformen in andere Energieformen gesprochen, so steht oftmals diesem Unterricht das durch die Medien vermittelte „Vernichtungskonzept“ entgegen (vgl. Kap. 1).
- *Irreführen durch Reklame und Werbung*: Bei vielen Werbespots – etwa zu Waschmitteln – wird vielfach magisch-animistisch argumentiert, wenn Substanzen die Eigenschaften zugesprochen werden, „Wunder“ zu vollbringen. Die Wäsche wird „weißer als weiß“ oder „porentief rein“, Waschmittel haben die „Kraft des weißen Riesen“ oder vermögen „citrusfrisch“ zu machen. Be-

richtet eine Zeitung [6], „Bio-Waschmittel darf keine Chemie enthalten“, so ist die Irreführung des Lesers perfekt: Zum einen wird der vermeintliche, völlig unsinnige Gegensatz „Biologie gut – Chemie schlecht“ hervorgehoben, zum anderen verschleiert man bewusst, dass jedes Waschmittel waschaktive Substanzen und damit Chemikalien enthalten muss.

Der Chemieunterricht hat aus Gründen dieser möglichen Irreführung durch die Massenmedien die große Aufgabe, Jugendliche sachlich gut auszubilden und in die Lage zu versetzen, die Zeitungs- und Fernsehmeldungen auf der Grundlage eigener Kenntnisse und Fähigkeiten kritisch zu prüfen, selbstständig zu interpretieren und entsprechend eigene Schlüsse zu ziehen. Dieser Beitrag zur Allgemeinbildung von Jugendlichen ist nicht hoch genug einzuschätzen.

Literatur

- [1] NEUE PRESSE vom 1.12.93: *Lehrer wollte schlechte Bücher nicht verwenden – er wurde nach Hannover versetzt*. Hannover 1993
- [2] Issing, L.J.: *Medienpädagogik im Informationszeitalter*. Weinheim 1987 (Studienverlag)
- [3] Stumpf, K.: *Das Lernen mit Medien*. CU 10 (1979), 1
- [4] Becker, H.J., Pastille, R.: *Kriterien zur Auswahl von Chemielehrbüchern*. PdN 36 (1987), 32
- [5] Graf, E.: *Die Wandtafel im Chemieunterricht*. NiU-Chemie 38 (1997), 74
- [6] Haupt, P.: *Die Chemie im Spiegel einer Tageszeitung*. Bd. 1–4. Oldenburg 1996
- [7] Buß, V., u.a.: *Einführung in die Chemie*. Teil 1 des Begeleitbuchs für das ZDF-Studienprogramm Chemie. Köln 1975 (Schulfernsehen)
- [8] Fonds der Chemischen Industrie: *Computerprogramm „Biologische Reinigung chemischer Abwässer“*. Frankfurt 1990
- [9] Full, R.: *Lichtblicke – Petrischalenexperimente in der Overhead-Projektion*. ChiuZ 30 (1996), 286
- [10] Roesky, H.W.: *Chemie en miniature*. Weinheim 1998 (Wiley-VCH)
- [11] Steiner, D.: *Molecular Modelling mittels Elektronendichteoberflächen – ein neuer Weg zu einem besseren Chemieverständnis*. PdN-Chemie 48 (1999) Heft 6, 38
- [12] Domke, B.: *CEC – Computerunterstütztes Experimentieren im Chemieunterricht*. Stuttgart 1990 (Klett)
- [13] Kappenberg, F.: *Der Computer im chemischen Experiment*. PdN-Chemie 44 (1995), Heft 4, 12
- [14] Reiners, C.: *Chemiedidaktik – Quo vadis?* Chemkon 7 (2000), 91
- [15] Halberstadt, E., Wältermann, T.: *Chemie für Mädchen*. Frankfurt 1967 (Diesterweg)
- [16] Klett, E.: *Folie 10. Stoff – Teilchen – Reaktion*. Stuttgart 1979 (Klett)
- [17] Harsch, G., Schmidt, R.: *Kristallgeometrie. Packungen und Symmetrie in Stereodarstellungen*. Frankfurt 1981 (Diesterweg)
- [18] Kosmos: *Chemie-Praktikum All-Chemist*. Stuttgart (Franckh)
- [19] Fladt, R., u.a.: *Unterrichtseinheit Eisen und Stahl*. Stuttgart 1975 (Klett)
- [20] Engler, R., u.a.: *Ökologie. Theoretische Grundlagen und Versuche mit dem Umwelt-Messkoffer*. Hürth 1996 (Leybold Didactic)
- [21] Aquamerck: *Kompaktlabor für die Aquaristik, Sauerstoff-Test*. Darmstadt 2000 (Merck)

Übungsaufgaben zu „4 Medien“

A4.1 Medien können verschiedene Funktionen im Chemieunterricht haben. Wählen Sie drei Funktionen und erläutern Sie an Sachverhalten Ihrer Wahl den Einsatz bestimmter Medien gemäß der gewählten Funktionen.

A4.2 Ein für Lehrer und Schüler gleichsam wichtiges Medium ist das Schulbuch. Wählen Sie drei aktuelle Schulbücher aus und entscheiden Sie, welches Buch Sie in Ihrem Chemieunterricht einsetzen würden. Begründen Sie und geben Sie die Kriterien für ihre Entscheidung an.

A4.3 Schultafel und Tageslichtprojektor sind die wichtigsten Medien im Klassenraum. Nennen Sie Vorteile und Nachteile für deren Gebrauch. Welches Medium würden Sie auswählen, wenn Sie sich für eines von beiden entscheiden müssten?

A4.4 Der Computer erlangt durch seine universelle Verwendungsmöglichkeit eine immer weitergehende Bedeutung als Medium im Unterricht. Erläutern Sie drei Unterrichtssituationen, in denen Sie den Computer sinnvoll einsetzen würden.

A4.5 Die Massenmedien wie Fernsehen und Zeitschriften haben einen Einfluss auf das Denken und Handeln von Jugendlichen. In welcher Weise lässt sich dieser Einfluss positiv für den Unterricht nutzen, in welcher Weise kann der Einfluss negativ sein?

Experimente zu „4 Medien“

V4.1: Beleuchten von Apparaturen mit dem Tageslichtprojektor

Problem: Demonstrationsexperimente sind oftmals nicht für alle Schüler ausreichend zu beobachten. Um die Beobachtungsmöglichkeiten zu verbessern, kann das Licht des Tageslichtprojektors über das Spiegelsystem auf die Apparatur gelenkt werden.

Material: Kolbenprober, Reagenzglas mit Seitenrohr und Stopfen, Gummischlauch; Salzsäure (C), Magnesiumband (F).

Durchführung: Kolbenprober und Reagenzglas werden eingespannt und verbunden. Das Reagenzglas wird mit wenig Salzsäure gefüllt und nach Einwerfen eines Stückchens Metall mit dem Stopfen verschlossen. Das Projektorlicht wird auf die Apparatur gelenkt.

Beobachtung: In der hell beleuchteten Apparatur sind Gasentwicklung und Reaktion des Metalls gut zu erkennen, ebenfalls Volumina am Kolbenprober gut abzulesen.

V4.2: Experimentieren auf der hellen Projektorfläche

Problem: Die helle Projektorfläche selbst stellt zusätzlich einen Experimentiertisch dar, auf dem kleine Experimente durchgeführt und gut beobachtet werden können. So ist das Modellexperiment zur Veranschaulichung der Dynamik des chemischen Gleichgewichts – das sogenannte Heber-Experiment – auf der hellen Projektorarbeitsfläche gut durchzuführen und aus der letzten Zuschauerreihe bestens beobachtbar.

Material: zwei 50-mL-Messzylinder, gleichlange Glasrohre ($\varnothing$ 8 mm und 6 mm); Kupfersulfat (Xn).

Durchführung: Ein Zylinder wird bis zur 50-mL-Marke mit Wasser gefüllt (zur Anfärbung einige Kristalle Kupfersulfat hinzugeben), der andere Zylinder bleibt leer. Zunächst ist mit zwei gleichen Glasrohren als „Heber“ das Wasser jeweils von einem zum anderen Zylinder hin und her zu transportieren, bis die Volumina in beiden Zylindern konstant bleiben. Der Versuch ist mit Glasrohren unterschiedlichen Durchmessers zu wiederholen. Die Volumina können abhängig von der Zahl der Hebevorgänge grafisch aufgetragen werden.

Beobachtung: Im ersten Fall stellen sich gleich große Volumina in beiden Messzylindern ein, im zweiten Fall resultiert das Volumenverhältnis 35 : 15. Die Volumina bleiben auch bei fortgesetzten Hebevorgängen gleich.

V4.3: Projizieren von Experimenten

Problem: Wenn das Beleuchten von Apparaturen die Beobachtungsmöglichkeiten nicht mehr zu verbessern vermag, können Erscheinungen mit dem Tageslichtprojektor projiziert werden, sobald sie in durchsichtigen Lösungen stattfinden. Insbesondere wenn neue Stoffe – wie bei Elektrolysen – nur in kleinen Mengen auftreten, kann die Projektion sehr gut helfen.

Material: Petrischale, zwei Platindrähte, Transformator und Kabel; Zinkbromid-Lösung (C).

Durchführung: Die beiden Platindrähte werden als Elektroden in der Petrischale befestigt und auf der Arbeitsfläche des eingeschalteten Projektors über die Kabel mit den Gleichspannungspolen des Transformators verbunden. Der Boden der Schale wird mit Zinkbromid-Lösung bedeckt und eine geeignete Gleichspannung von etwa 5–10 V einreguliert.

Beobachtung: Man erkennt sofort die Abscheidung der braunen Brom-Lösung am Pluspol, etwas später die Bildung von Zinkkristallen am Minuspol. Bei geeigneter Spannung wird ein ständig wachsender „Zinkbaum“ beobachtet: Diese Beobachtung ist nur durch die Projektion der Metallabscheidung einer größeren Zuschauerzahl zugänglich zu machen.

V4.4: Experimentieren in der projizierten Petrischale

Problem: Viele Reaktionen laufen in farbigen Lösungen ab, die Farben dieser Lösungen können bei Durchleuchten mit Licht etwa vor einem „Lichtkasten“ deutlich werden. Seit der Tageslichtprojektor in jedem Chemiesaal steht, sollte er die Funktion des Lichtkastens übernehmen. Petrischalen und insbesondere dreigeteilte Petrischalen dürfen deshalb in der Sammlung nicht fehlen: Darin können bis zu drei verschiedenfarbige Lösungen direkt verglichen und alle projizierten Reaktionen sehr gut beobachtet werden.

Material: dreigeteilte Petrischale, Pipette; Säure-Base-Indikatoren (F), Salzsäure (C), Natronlauge (C).

Durchführung: Die drei Kammern der Petrischale werden mit Lösungen eines Indikatorfarbstoffs gefüllt, etwa mit Universalindikator in Leitungswasser gelöst: Diese Lösung ist grün gefärbt. In eine Kammer wird ein Tropfen Salzsäure gegeben, in die zweite ein Tropfen Natronlauge. Zur Neutralisation wird noch einmal die jeweils andere Lösung zugetropft.

Beobachtung: Die zunächst grün gefärbten Lösungen zeigen einen Farbumschlag nach rot und blau. In der Projektion ist zusätzlich die Schlierenbildung und das prächtige Farbenspiel zu beobachten, ehe die Farben der Lösungen sich vollständig ändern. Sie können jeweils mit der grünen Farbe der unveränderten Indikatorlösung in der dritten Kammer der Petrischale verglichen werden.

V4.5: Spezialküvette zur Projektion auf dem Tageslichtprojektor

Problem: Neben der Möglichkeit, Petrischalen-Experimente zu projizieren, gibt es Spezialgeräte, mit denen man auch Reaktionen in Reagenzgläsern oder Küvetten projizieren kann. Neue Geräte projizieren den Reagenzglasinhalt durch ein Spiegelsystem aufrecht stehend, ältere Geräte nicht: Ein Niederschlag fällt in der Projektion von unten nach oben aus.

Material: Spezialgerät zur Projektion, Küvette; Phenolphthalein-Lösung (1%-ig in Ethanol) (F), Benzin (F/Xn/N), Natrium (C/F).

Durchführung: Die Küvette wird bei eingeschaltetem Tageslichtprojektor halb mit verdünnter Indikatorlösung gefüllt und etwa 2 cm hoch mit Benzin überschichtet. Ein kleines Stück Natrium wird hineingeworfen.

Beobachtung: Das Metallstück taucht in die Indikatorlösung ein, sie färbt sich rot, eine Gasentwicklung ist kurzzeitig beobachtbar. Das Natrium steigt kurz in die Benzinphase, fällt aber wieder in die Lösung zurück und reagiert unter Gasbildung. Die Vorgänge wiederholen sich, bis kein Natrium mehr zu sehen ist.

V4.6: Messzelle zur Projektion auf dem Tageslichtprojektor

Problem: Kleine Gasportionen – insbesondere quantitativ zu messende – sind besser zu beobachten, wenn die entsprechende Apparatur im Großformat projiziert wird. Die quantitative Wasserzersetzung ist ein solches Beispiel.

Material: Messzelle, Transformator, Kabel; Schwefelsäure-Lösung (C).

Durchführung: Die Messzelle wird auf der eingeschalteten Arbeitsfläche des Tageslichtprojektors mit Schwefelsäure-Lösung gefüllt, der Transformator wird angeschlossen und so eine Gleichspannung von etwa 5 V einreguliert, dass eine konstante Gasentwicklung erfolgt. Sind die Gasvolumina groß genug, lassen sich durch die bekannten Reaktionen Wasserstoff und Sauerstoff nachweisen.

Beobachtung: Von den Elektroden ausgehend bilden sich Gasbläschen, am Minuspol wird ein doppelt so großes Gasvolumen erreicht wie am Pluspol. Am Minuspol tritt Wasserstoff auf, am Pluspol Sauerstoff.

V4.7: Experimentieren mit Hilfe der Schwanenhals-Fernsehkamera

Problem: Nicht alle Reaktionen in Lösungen lassen sich gut mit dem Tageslichtprojektor projizieren und beobachten – Niederschläge werden beispielsweise in allen Fällen schwarz wiedergegeben. Eine Möglichkeit, die echten Farben der Niederschläge oder viele andere Beobachtungen originalgetreu abzubilden, bietet eine Fernsehkamera mit angeschlossenem Monitor.

Material: Fernsehkamera, Monitor, Reagenzgläser; Eisen(II)chlorid (Xn), Eisen(III)chlorid (Xn), verdünnte Natronlauge (C).

Durchführung: Zwei Reagenzgläser werden jeweils zu einem Drittel mit einer verdünnten Eisenchlorid-Lösung gefüllt, eingespannt und mit Hilfe der Fernsehkamera auf dem Monitor vergrößert. Beide Lösungen versetzt man mit wenigen Tropfen Natronlauge.

Beobachtung: Das Ausfallen von einerseits grünem und andererseits braunem Eisenhydroxid ist zu beobachten. Die Farben können auf dem Monitor direkt verglichen werden.

V4.8: Großanzeige von Messwerten durch den Computerbildschirm

Problem: Digital anzeigende Messgeräte mit großen Ziffern sind sehr teuer, ebenfalls Messgeräte einer Firma, die für alle Geräte eine Großanzeige liefert. Der kostengünstigste Weg zur Großanzeige ist der vorhandene Computer und sein Bildschirm: über einen AD-Wandler und mit geeigneter Software lassen sich übliche Messgeräte der Sammlung anschließen und digitale Messwerte anzeigen.

Material: Computer und AD-Wandler, Software, Waage, Petrischale; Aceton (F).

Durchführung: Die Waage wird über den AD-Wandler an den Computer angeschlossen und die Großanzeige der Messwerte mit geeigneter Software vorbe-

reitet. Man füllt wenig Aceton in die Petrischale und stellt sie ohne Abdeckung auf die Waage.

Beobachtung: Die Messwerte der Waage werden groß auf dem Bildschirm wiedergegeben, sie zeigen immer geringer werdende Massen der Aceton-Portion an.

V4.9: Aufnahme und Verarbeitung von Messwerten durch den Computer

Problem: Es gibt derart schnelle Reaktionen, dass man sie mit traditionellen Methoden nicht aufzeichnen kann. Soll etwa bei der Neutralisationsreaktion einer sauren mit einer alkalischen Lösung der pH-Sprung um den Äquivalenzpunkt herum erfasst werden, so ist die Titration mit angeschlossenem Computer eine sehr gute Möglichkeit. Vielleicht sollten die Schüler zuvor eine Titration und die Auswertung bis hin zur Titrationskurve auf traditionellem Weg durchführen, um mit dem Computer vergleichen zu können.

Material: Computer, Software, AD-Wandler, geeichtes pH-Meter mit Glaselektrode, Magnetrührer, Erlenmeyerkolben, Bürette oder Gleichlaufbürette; 0,1 molare Lösungen von Salzsäure und Natronlauge (C).

Durchführung: Das pH-Meter wird über den AD-Wandler an den Computer angeschlossen, die Titration mit geeigneter Software vorbereitet. Der Erlenmeyerkolben wird mit 50 mL Salzsäure versehen, der Magnetrührer eingeschaltet, die Glaselektrode eingetaucht und mit Natronlauge titriert.

Beobachtung: Zu Beginn der Titration wird der pH-Wert 1,0 angezeigt. Der Bildschirm des Computers baut während der Titration die Titrationskurve auf und zeigt nach erfolgter Zugabe von 50 mL Natronlauge den pH-Sprung von etwa pH 3 bis pH 10. Nach Zugabe einiger weiterer Milliliter Natronlauge nähert sich die Kurve dem pH-Wert 13.

V4.10: Modellexperiment als Medium für den Blei-Akkumulator

Problem: Die Vorgänge des Ladens und Entladens eines Bleiakkus sollten zunächst an der Autobatterie beobachtet und in den Zusammenhang mit der Funktion im Auto gebracht werden. Im Modellexperiment wird nachvollzogen, auf welche Weise die Aufladung und Entladung stattfindet und wie sich jeweils beide Bleielektroden verhalten. Schließlich können die Erklärungen durch andere Medien wie Transparente oder Schulbuchabbildungen erfolgen.

Material: Becherglas, Transformator, Spannungsmessgerät, Elektromotor (2 V), Kabel und Krokodilklemmen; zwei frisch geschmirgelte Bleiplatten (T), Schwefelsäure(C)-Lösung (20 %).

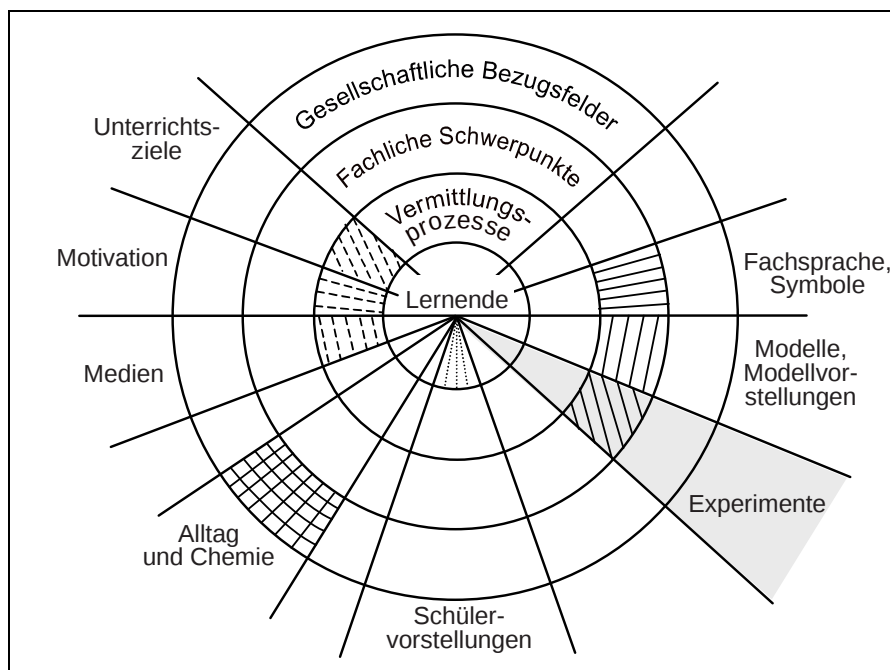
Durchführung: Das Becherglas ist zur Hälfte mit der Schwefelsäure-Lösung zu füllen. Beide Bleiplatten werden so hineingestellt und befestigt, dass sie sich nicht berühren, sie sind mit Kabeln an den Transformator anzuschließen (vgl. Abb. 4.8). Eine Gleichspannung ist so einzuregulieren, dass einige Minuten lang eine Gas-

entwicklung zu beobachten ist. Der Transformator wird entfernt, zwischen beiden Platten die Spannung gemessen und schließlich der Elektromotor angeschlossen.

Beobachtung: Auf einer Bleiplatte bildet sich während der Stromzufuhr eine tiefbraune Substanz, wie sie an jeweils einer Platte einer Batteriezelle in der Autobatterie zu erkennen ist. Nach Beendigung der Stromzufuhr ist zwischen beiden Platten eine Spannung von 2 V festzustellen. Der danach angeschlossene Elektromotor dreht zunächst schnell, wird immer langsamer und bleibt schließlich stehen.

Hinweis: Die Schwefelsäure-Lösung ist durch Bleisulfat verunreinigt und giftig. Sie wird möglichst in eine Vorratsflasche gefüllt, mit einem Etikett versehen und für den späteren Einsatz desselben Experiments aufbewahrt. Anderenfalls ist die Lösung in den Behälter für Schwermetallabfälle zu entsorgen.

5 Experimente



„Eine Masse von ganz unterrichteten Leuten betrachten die Chemie als eine in Regeln gebrachte Experimentierkunst, nützlich um Soda und Seife zu machen, besseren Stahl zu fabrizieren, um gute solide Farben auf Seide und Baumwolle zu liefern“ [1].

Wie Liebig es bereits 1840 beklagte, glauben Laien oftmals, dass es sich bei der Chemie um eine Probierkunst handelt, die von Zeit zu Zeit zufällig ein neues Produkt liefert. Man erkennt nicht ohne weiteres, dass dem klassischen Experiment in den Naturwissenschaften eine Idee oder gar eine ganze Philosophie vorausgeht. Um diesen Zusammenhang zu erläutern, soll als Beispiel die Ausschärfung des Elementbegriffs dienen.

Ein vorläufiger Begriff des chemischen Elements tauchte bereits in den Philosophieschulen des griechischen Altertums auf: Empedokles „redet von den vier Wurzeln aller Dinge, die er in mythischer Weise als Gottheiten faßt. Diese vier Gottheiten stellen das Feuer, die Erde, die Luft und das Wasser dar, aus denen alles Seiende zusammengesetzt gedacht wird. Der Begriff des Elements geht auf ihn zurück“ [2]. Beim näheren Studium dieser Idee erkennt man, dass die griechi-

schen Philosophen solche und andere Gedankengebäude ohne jedes Experiment errichtet hatten: „Zwar beruhten die damaligen Leistungen gewiß auf einer Reihe sorgfältiger und geordneter Beobachtungen an der Natur, doch kann hier von einem Experimentieren im wissenschaftlichen Sinne noch keine Rede sein“ [2].

Die Alchemie des Mittelalters wurde vor allem von dem Gedanken beherrscht, aus unedlen Metallen Gold herzustellen: Bei der Aufbereitung von Erzen wurden zufällig kleine Mengen an Gold oder Silber ausgeschieden, und man probierte in vieler Hinsicht aus, Gold und Silber durch „Metallveredlung“ oder „Transmutation“ zu erhalten. Bei diesen „Probierkünsten“ beobachtete man, dass sich metallisches Kupfer abscheidet, wenn man eine Vitriollösung – heute nennen wir sie Kupfersulfat-Lösung – mit Eisen versetzt. Der Alchemist van Helmont fand allerdings heraus, dass er aus Vitriollösung auch auf anderen Wegen Kupfer herzustellen vermochte, dass Kupfer „irgendwie“ in der Vitriollösung enthalten war und nur abgetrennt werden musste. Diesen Zerlegungsgedanken griff Boyle in seinem Werk „The Sceptical Chymist“ auf, um zu seiner Theorie zu gelangen: Elemente sind Grundsubstanzen, die sich nicht weiter zerlegen lassen. „Immer wieder betont Boyle, daß es solange nicht angeht, Theorien über chemische Stoffe für gültig zu nehmen, als sie nicht durch die experimentelle Erfahrung gestützt werden“ [2].

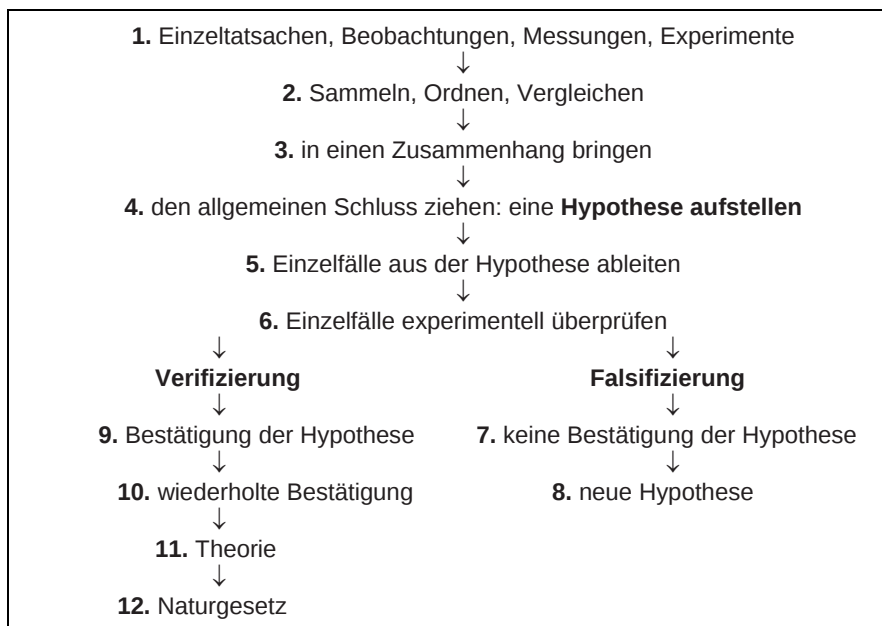
Allerdings ist es erst Lavoisier gelungen, durch den konsequenten Einsatz der Waage die Phlogistontheorie zu stürzen und zu zeigen, dass die reinen Metalle die unzerlegbaren Elemente sind, während die „Metallkalke“ im Experiment Metall und Sauerstoff liefern und deshalb keine Elemente darstellen. Lavoisier erkannte deutlich, dass zwar zerlegbare Substanzen keine Elemente sind, umgekehrt dieser Schluss aber nicht gilt: Substanzen, die zunächst als unzerlegbar galten, mochten sich durch verbesserte Techniken später als zerlegbar erweisen: „Gewisse Stoffe sind als Elemente chemisch bestimmt, sofern und solange wir keine Mittel haben, sie weiter zu zerlegen. Sie sind Elemente für uns und unsere Aspekte, pour nous, à notre égard“ [2].

Die vorläufige Theorie des Elementbegriffs, eine Philosophie, war die Basis des Denkens und Handelns in der Zeit von Lavoisier; Experimente leiteten sich aus dieser Hypothese ab und bestätigten sie nach und nach. Das Experiment erhielt die wissenschaftliche Bedeutung eines Instruments, das über die Gültigkeit von Annahmen, Gesetzmäßigkeiten und Theorien befindet!

5.1 Fachliche Schwerpunkte

– Experiment, Experimentierfähigkeiten, Sicherheit

Im Sinne der Einleitung hat sich die Chemie als experimentelle Naturwissenschaft entwickelt. Als eine weitere Grundfrage der Chemiedidaktik ist entsprechend zu reflektieren, welche Funktionen das Experiment in der Fachwissenschaft hat, in welcher Weise diese auch für den Chemieunterricht gelten und welche weiteren Funktionen für den Unterricht hinzukommen.

Tabelle 5.1: Schritte der empirischen Erkenntnismethode in den Naturwissenschaften [3]

Experiment und Prozess der Erkenntnisgewinnung. Eine der wichtigsten Funktionen des Experiments in der Chemie ist die empirische Erkenntnisgewinnung durch das *Formulieren und experimentelle Überprüfen von Hypothesen unter kontrollierten und systematisch variierten Bedingungen*. In der Einleitung wird die Ausschärfung des Elementbegriffs als historisches Beispiel skizziert, es seien anschließend drei weitere historische Beispiele genannt. Zunächst soll die empirische Erkenntnismethode durch wesentliche Erkenntnisschritte formalisiert werden (vgl. Tabelle 5.1).

Torricelli hatte gemeinsam mit Galilei auf der Basis von Überlegungen zum „Horror vacui“ die *Hypothese zum Luftdruck* entwickelt, das bekannte Quecksilber-Experiment (vgl. V1.1 in Kap. 1) im Jahre 1648 zur Prüfung der Hypothese abgeleitet und durch weitere Experimente die Hypothese verifiziert: Luft ist eine Substanz mit spezifischer Dichte, die uns umgebende Atmosphäre weist einen bestimmten Luftdruck auf, der Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe über dem Erdboden ab. Dieser Erkenntnisweg wird ausführlich in *Kapitel 9* dargelegt.

Kekulé beschäftigte sich ausgehend von empirischen Analysen zu Massenverhältnissen der Elemente in vielen organischen Substanzen mit der Beschreibung dieser Analyseergebnisse durch Formeln. Dabei dachte er immer auch an den Aufbau entsprechender Moleküle aus Atomen. Bei dem Versuch, das Benzol-Molekül mit seinen Mitteln zu beschreiben, scheiterte er zunächst, stellte dann 1865 die *Hypothese zur ringförmigen Struktur des Benzol-Moleküls* auf und postulierte 1867 das räumliche Tetraedermodell zur Struktur des Methan-Moleküls. Aus den Hypothesen abgeleitete Einzelfälle konnten alle experimentell bestätigt werden: Beide Hypothesen – die Vierbindigkeit des Kohlenstoff-Atoms und die

Struktur der Aromaten – wurden nach und nach zu noch heute gültigen Theorien ausgeschärft. Dieser Sachverhalt wird in *Kapitel 18* ausgeführt.

Seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahre 1895 arbeiteten viele Wissenschaftler fieberhaft an der *Hypothese der Röntgenstrahlenbeugung*. Max von Laue gelang der Nachweis schließlich im Jahre 1912, und er selbst kommentierte seinen entscheidenden Gedanken folgendermaßen: „Die Entdeckungsgeschichte der Röntgenstrahlerinterferenz kennzeichnet so recht den Wert der wissenschaftlichen Hypothese. Viele haben schon lange vor Friedrich und Knipping Röntgenstrahlen durch Kristalle gesandt. Aber ihre Beobachtungen beschränkten sich auf den direkt hindurchgehenden Strahl, an welchem außer der Schwächung durch den Kristall nichts Bemerkenswerthes zu sehen war; die viel weniger intensiven abgelenkten Strahlen entgingen ihnen. Erst die Hypothese der Raumgitter brachte die Idee, doch einmal dessen Umgebung zu durchforschen“ [4]. Eine detaillierte Darstellung dieses Erkenntnisweges ist Inhalt von *Kapitel 16*.

Gewinnung von Daten. Neben der wohl wichtigsten Funktion der Hypothesenprüfung ist es eine weitere Funktion des Experiments, Messungen zur Beschreibung von *Substanzen* durchzuführen und damit den Vergleich mit anderen Stoffen zu ermöglichen. Die Messungen beziehen sich traditionell auf Dichten, Schmelz- und Siedetemperaturen, um mit jeweils drei Parametern eine erste Kennzeichnung von Substanzen zu erhalten. Des Weiteren können hinzu kommen: Löslichkeit in Wasser und anderen Lösemitteln, Brechungsindex, Viskosität, optische Aktivität, Wärmeleitfähigkeit, elektrische Leitfähigkeit, pH-Abhängigkeiten, Redoxpotentiale, Gleichgewichts- und Stabilitätskonstanten, spektroskopisches Verhalten, etc.

Eine entsprechende Beschreibung für *chemische Prozesse* kann erfolgen durch die Ermittlung von Massen- und Volumenverhältnissen bei Reaktionen, durch die Stöchiometrie von umgesetzten Stoffmengen der Atome, Ionen oder Moleküle, durch entsprechend daraus ermittelte Summen- bzw. Struktursymbole und Reaktionssymbole. Auch Löslichkeitsprodukte, Gleichgewichtskonstanten oder Standardpotentiale sowie Energieumsätze und Geschwindigkeitskonstanten kennzeichnen chemische Reaktionen.

In heutigen Laboratorien findet die Beschreibung von Substanzen und Reaktionen überwiegend durch *Verfahren der instrumentellen Analytik* statt: etwa Papier-, Dünnschicht- oder Säulen-Chromatographie, Gaschromatographie (GC), Massenspektroskopie (MS), Kombinationen von GC und MS, Atomabsorptionsspektroskopie (AAS), Infrarotspektroskopie (IR), Magnetische Kernresonanzspektroskopie (NMR), Röntgenstrukturanalyse, etc.

Die entsprechenden Großgeräte sind nicht nur sehr teuer, sondern erfordern auch die fachliche Betreuung durch besonders ausgebildetes Personal. Chemiestudenten lernen die Großgeräte im Experimentalpraktikum kennen, Lehrer und Schüler können sie in den Instituten eines Fachbereichs Chemie bei einer Führung besichtigen. Es sind allerdings auch Schulgeräte entwickelt worden, die diese Verfahren anschaulich und didaktisch reduziert vermitteln: beispielsweise von Wiederholt [5] zur *Gaschromatographie* und von Brockmeyer [6] zur *Röntgenstrukturanalyse*. Entsprechende Modellversuche zur Gaschromatographie (V5.1) und zur Röntgenstrukturanalyse (V5.2) veranschaulichen die Verfahren.

Tabelle 5.2: Gewinnung oder Synthese einiger Substanzen in der Geschichte der Menschheit [7]

8000 v. Ch.	Keramiken	1648	Salzsäure, Salpetersäure
3700 v. Ch.	Schmuck aus Kupfer, Silber u. Gold	1669	Phosphor
3000 v. Ch.	Antimon und Blei in Babylonien, Bronze in Ägypten	1671	Lackmus als Indikator
2900 v. Ch.	Glas in Ägypten	1710	Weißporzellan in Meißen
2400 v. Ch.	Indigofarben in Ägypten	1727	Silbernitrat für erste Fotos
2000 v. Ch.	Schwefel aus heißen Quellen	1746	Schwefelsäure (Bleikammer)
1200 v. Ch.	Zinn und Zink in Indien	1747	Zucker aus Rüben
1000 v. Ch.	Eisen durch Rennfeuerofen	1766	Wasserstoff
500 v. Ch.	Purpur- und Krappfarben, Soda, Pottasche, Gips, Mörtel, Alaun, Ätzkali in Rom	1773	Sauerstoff, Stickstoff
400 v. Ch.	Quecksilber in Griechenland	1808	Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium
20–80	Seife, Mineralfarben, Legierungen in Rom	1810	Chlor
500	Borax, Salpeter, Schwermetall-Verbindungen in Indien	1827	Aluminium
600	Porzellan in China	1855	Lithium
850	Salmiak, Essigsäure und Bleiweiß (Bleihydroxidcarbonat)	1867	Dynamit
900	Papier in Kairo	1884	Kunstseide
1100	Tinten und Malerfarben	1894	Argon, Edelgase
1227	Weingeist (Ethanol) als Heilmittel	1898	Polonium, Radium
1230	Schießpulver in China	1901	Indigo
1300	Schwefelsäure	1909	Bakelit
1565	Zinkvitriol (Zinksulfat)	1913	Ammoniak
1580	Benzoessäure	1924	Insulin
		1928	Penicillin, u.a.

Synthese neuer Substanzen. Die wohl älteste Funktion des „Experimentierens“ war die mehr oder weniger ausgeprägte „Probierkunst“ zur Darstellung von Substanzen, die es in reiner Form in der Natur meist nicht gibt. Nach Schwedt [7] seien in Tabelle 5.2 einige Substanzen mit der ungefähren Zeit angegeben, wann sie erstmals dargestellt wurden.

Experimentelle Fähigkeiten und Fertigkeiten. Zukünftige Chemielehrer und -lehrerinnen müssen nicht nur selbst experimentieren können, sondern tun es zum einen eingebunden in das Unterrichtsgespräch mit einer Schulklassse, zum anderen sollen sie es möglichst auch den Lernenden vermitteln. Sie verfügen deshalb über

Fähigkeiten, Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten, sie besitzen ebenfalls die manuellen *Fertigkeiten*, um mit entsprechenden Apparaturen, Geräten und Chemikalien der Schulchemie sachgemäß umzugehen.

Über die übliche experimentelle Ausbildung hinaus sollen deshalb die Lehramtsstudenten in fachdidaktischen Experimentalpraktika ein Repertoire an Schulversuchen zu unterrichtsbedeutsamen Themen erarbeiten. Insbesondere müssen sie Erfahrungen im Umgang mit Experimenten gewinnen, die spezielle Sicherheitsanforderungen verlangen. Dazu gehören u. a. der Umgang mit

- Wasserstoff, Knallgasgemischen und der Knallgasprobe,
- Alkalimetallen, deren Aufbewahrung, Reaktionen mit Wasser oder Halogenen sowie deren Entsorgung,
- Halogenen, der Erzeugung von Chlor im Gasentwickler, Aufbewahrung in Standzylindern, deren Wasserstoff- und Metallreaktionen,
- weißem und roten Phosphor und der Beseitigung von Resten,
- Messgeräten für quantitative Experimente wie Waage, Bürette, Vollpipette, Aräometer, pH-Meter, Geräte der instrumentellen Analytik,
- Stromkreisen, Leitfähigkeitsprüfer und entsprechendem Zubehör wie Trafo, Spannungs- und Strommessern.

In den *Versuchen V5.3 bis V5.10* wird exemplarisch am Thema „Alkalimetalle“ der Umgang mit diesen Metallen demonstriert, es werden Reaktionen mit Luft, Wasser und Halogenen gezeigt. Wichtige Schulversuche zu wesentlichen Schulthemen sind der Experimentalliteratur zu entnehmen (etwa [8] bis [14]). Sollen die Studierenden auch Schauversuche mit besonderen Effekten selbständig durchführen können, so sind diese wegen der spezifischen Gefährdungspotenziale sorgfältig unter Aufsicht auszuprobieren (siehe auch Kap. 2).

Bei der praktischen Durchführung der Schulexperimente lernen die Studierenden eine Vielzahl *laborspezifischer Geräte* kennen. Diese Gerätekenntnis ist zum einen wichtig, um Experimente für den Unterricht planen zu können oder spontan Versuche ergänzend zum Unterrichtsgespräch durchzuführen, zum anderen ist sie vorteilhaft, um später die Schulsammlung sachgerecht zu organisieren. Um Messreihen aufzunehmen und simultan grafische Darstellungen zu erhalten, eignet sich der Anschluss von Messgeräten an den *Computer*. Mit geeigneter Hard- und Software werden Messgeräte und Rechner verbunden, Messwerte in geeigneter Weise aufgenommen und in vielfältiger Weise ausgewertet (vgl. auch Kap. 4). Da sich Hard- und Software ziemlich schnell weiterentwickeln, wird an dieser Stelle darauf verzichtet, die zu dieser Zeit gerade aktuelle Literatur oder Geräteliste aufzuführen.

Sicherheit und Entsorgung. Es ist selbstverständlich, dass es beim Experimentieren zu Ausbildungszwecken keine Unfälle geben darf, dass Fahrlässigkeiten oder zumindest grobe Fahrlässigkeiten ausgeschlossen werden: Laborleiter und Lehrer können dem Vorwurf der groben Fahrlässigkeit dadurch entgehen, dass sie alle Praktikanten laut und deutlich auf Gefahren hinweisen oder konkrete Sicherheitsmaßnahmen anordnen. Eine gute fachliche und praktisch-experimentelle Ausbildung der Chemielehrer und -lehrerinnen an Universitäten und Seminaren ist die beste Gewährleistung für sachgerechtes und unfallfreies Experimentieren. Außerdem müssen sie mit Sammlung und *Sicherheitseinrichtungen* ihrer Schule bzw.

des Labors vertraut sein, den Platz und Gebrauch von Feuerlöscher, Feuerlöschdecke, Löschsand, Notdusche und Verbandkasten kennen. Sie haben sich ebenfalls davon zu überzeugen, dass eine sachgerechte *Entsorgung* von Abfällen und Restchemikalien möglich ist, oder sie müssen die Voraussetzungen dafür schaffen.

Einheitlich für alle Bundesländer ist die „*Verordnung über gefährliche Stoffe*“ (Gefahrstoffverordnung, GefStoffV): Sie legt insbesondere die Auszeichnung aller Chemikaliengefäße mit den bekannten Gefahrensymbolen fest (vgl. Abb. 5.1), mit Gefahrenhinweisen und Sicherheitsratschlägen (R- und S-Sätze). Die TRGS 450 regelt darüber hinaus den „*Umgang mit Gefahrstoffen im Schulbereich*“. Aus deren Anlagen geht hervor, dass beispielsweise folgende Substanzen zwar im Lehrerexperiment, aber nicht für Schülerexperimente eingesetzt werden dürfen:

	F⁺	Hochentzündliche Stoffe Gefahr: Flüssigkeiten mit Flammpunkt unter 0°C Beispiele: Diethylether, Pentan, Hexan Vorsicht: Offene Flammen fernhalten
	F	Leichtentzündliche Stoffe Gefahr: Stoffe lassen sich leicht entzünden Beispiele: Ethanol, Alkalimetalle, Phosphor Vorsicht: Offene Flammen fernhalten
	E	Explosionsgefährliche Stoffe Gefahr: Stoffe können leicht explodieren Beispiele: Trinitrotoluol (TNT), Chloratgemische Vorsicht: Schlag, Stoß und Hitze vermeiden
	O	Brandfördernde Stoffe Gefahr: Brennbare Stoffe können entzündet werden Beispiele: Nitrate, Chlorate, Kaliumpermanganat Vorsicht: Kontakt mit brennbaren Stoffen vermeiden
	T	Giftige Stoffe Gefahr: Tod durch Einatmen/Schlucken Beispiele: weißer Phosphor, Cyanide Vorsicht: Kontakt mit Körper vermeiden
	Xn	Mindergiftige Stoffe Gefahr: Schäden durch Schlucken Beispiele: Schwermetallsalze, Halogenalkane Vorsicht: Kontakt mit Körper vermeiden
	Xi	Reizend wirkende Stoffe Gefahr: Schäden an Haut, Augen und Lunge Beispiele: konz. Ammoniak- und Salzsäure-Lösung Vorsicht: Dämpfe nicht einatmen
	C	Ätzende Stoffe Gefahr: Schäden an Haut und Augen Beispiele: konzentrierte Säuren und Laugen Vorsicht: Berührung vermeiden

Abb. 5.1: Gefahrensymbole und Beispiele für gefährliche Chemikalien

- Sehr giftige Stoffe (T+) wie Kohlenstoffdisulfid (Schwefelkohlenstoff), Nitrobenzol, Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff), weißer Phosphor, Kaliumcyanid, etc.
- krebserzeugende oder fruchtschädigende Stoffe (T) wie Benzol, Chrom(VI)-Verbindungen in Form von Stäuben und Aerosolen, 1,2-Dibromethan, Nickel oder Cobalt, etc.
- explosionsgefährliche Stoffe (E) wie Sprengmittel, Schwarzpulver, Mischungen von oxidierbaren Substanzen mit Kalium- oder Natriumchlorat, etc.
- Stoffgemische, die Krankheitserreger enthalten, wie pathogene Bakterien- und Pilzkulturen, fäkale Abwässer, u. a.

Entsorgung. Die Bundesländer haben auf dieser Grundlage spezifische Handreichungen für Lehrer herausgegeben – Lehrende müssen sich vor Dienstantritt mit diesen landesspezifischen Regelungen zu Gefahrstoffen und deren Entsorgung vertraut machen. Sie beginnen mit Überlegungen, bei welcher Experimentierdurchführung gefährliche Abfälle erst gar nicht entstehen. Diese Überlegungen können zusammen mit den Schülern stattfinden und Teil der aktiven Umwelterziehung sein. Wenn eine alternative Durchführung nicht realisiert werden kann, ist danach zu fragen, wie anfallende problematische Chemikalienreste sachgerecht entsorgt werden. Zur Entsorgung können *drei Wege* unterschieden werden:

1. Die Umsetzung gefährlicher Stoffe in harmlose Stoffe und deren Beseitigung in das Abwasser: Beispielsweise sind Alkalimetallreste in Spiritus umzusetzen, diese Lösungen mit Wasser zu verdünnen und die verdünnten Lösungen ins Abwasser zu geben,
2. die Umsetzung gefährlicher Stoffe und Beseitigung der Produkte in Sammelgefäßen: anfallende Chromat-Abfälle können etwa mit Natriumsulfit-Lösung reduziert und grünfarbene Chrom(III)-salzlösungen in den Schwermetallsalz-Behälter gegeben werden,
3. die sofortige Beseitigung in spezifische Sammelgefäße: beispielsweise werden Kohlenwasserstoffe oder halogenierte Kohlenwasserstoffe in entsprechende Behälter gegeben (vgl. Abb. 5.2).

Es haben sich 5 *Sammelbehälter* für Laboratorien in Universitäten und Schulen bewährt (vgl. Abb. 5.2):

1. für feste Abfälle, die in Filtertüten oder in Papier eingewickelt sind,
2. für konzentrierte Lösungen von Säuren, Laugen und Schwermetallsalzen,
3. für halogenierte Kohlenwasserstoffe,
4. für Kohlenwasserstoffe und andere nichthalogenierte organische Flüssigkeiten,
5. für verunreinigte Quecksilber-Reste, die zur Reinigung bestimmt sind.

Diese Sammelbehälter werden von Zeit zu Zeit einer Entsorgungsstelle zugeführt, die durch den Schulträger nachzuweisen ist. Vor dem Abtransport sind die Schwermetallsalz-Lösungen des Behälters (2) bis zur deutlich alkalischen Reaktion mit Laugen zu versetzen, die ausgefallenen, festen Hydroxide zu filtrieren und dem Sammelbehälter (1) zu zuführen.

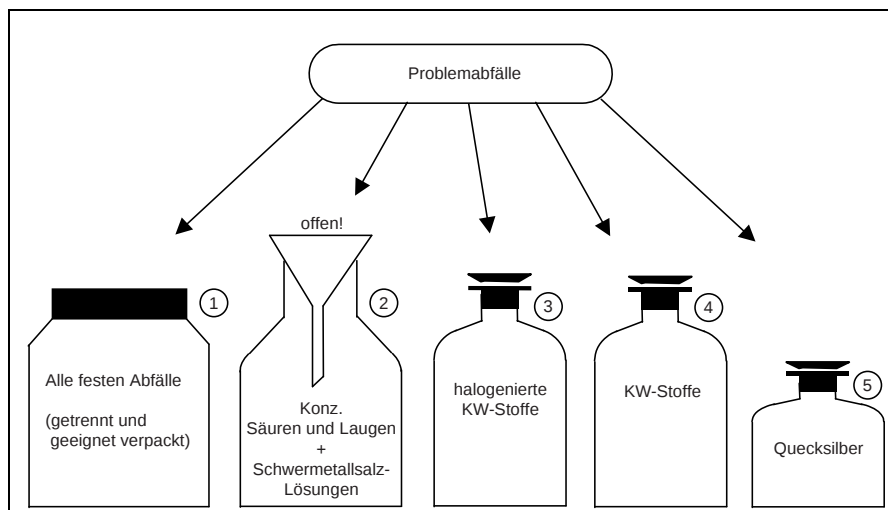


Abb. 5.2: Mögliches Konzept zur Entsorgung gefährlicher Abfälle in Schulen

5.2 Vermittlungsprozesse – Funktionen, Auswahlkriterien und Formen des Experiments

Die fachwissenschaftlichen Funktionen des Experiments sind auch fachdidaktische Funktionen, etwa die Erkenntnisgewinnung durch das Aufstellen und Prüfen von Hypothesen. So können Sachverhalte, die Schülern unbekannt sind, durch sie „nachentdeckt“ werden – sie lernen dabei die naturwissenschaftliche Erkenntnis-methode kennen. Dieses „*entdeckende Lernen*“ verlangt das Aufstellen von Hypothesen, die Ableitung von Einzelfällen und deren Prüfung durch Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten. Eine detaillierte Beschreibung des „forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahrens“ ist bei Schmidkunz und Lindemann [15] zu erarbeiten. Im didaktischen Bereich gibt es darüber hinaus allerdings viele andere Funktionen, die meist keine Entsprechung in der Fachwissenschaft aufweisen. Diese Funktionen sollen exemplarisch durch Experimente der Thematik „Alkalimetalle“ anschaulich werden.

1. Einstieg und sachbezogene Motivation

V5.11: Natrium-Wasser-Reaktion (Overhead-Projektion)

Das Bild der auf der Wasseroberfläche dahingleitenden Natrium-Kugel (oder mehrerer Kugeln) ist allein schon ein Erlebnis für die Schüler und motivierend, genauer zu beobachten. Bei genauerem Hinsehen sind Schlieren zu erkennen, die die Kugeln hinterlassen (sie sind mit Phenolphthalein-Indikatorlösung sogar rot gefärbt zu zeigen). Das zischende Geräusch (oder auch die Netzlöffel-Version des Versuchs) weist auf eine Gasentwicklung hin. Sowohl die Fragen nach Eigenschaften dieses Gases als auch nach der Art der entstehenden Lösung stellen sich von ganz allein: sachbezogene Motivation (vgl. auch Kap. 2).

2. Wecken einer Fragestellung

V5.12: Natriumhydroxid-Zink-Reaktion

Lernende können aus den geschilderten Beobachtungen allein nicht schließen, wie die entstandene Lösung zusammengesetzt ist. Durch Eindampfen der Lösung erhält man zwar zunächst einen weißen Feststoff, es stellt sich allerdings die Frage, ob es Natriumoxid ist oder nicht. Nach dem Wecken dieser Fragestellung kann ein experimenteller Hinweis gegeben werden, indem der weiße Feststoff mit Zink- oder Eisenpulver umgesetzt und das Freiwerden von Wasserstoff beobachtet wird. Mit diesem Ergebnis ist die Vermutung hinsichtlich des Natriumoxids zu verwerfen und das Natriumhydroxid plausibel zu machen.

3. Überprüfen von Hypothesen

V5.13: Quantitative Natrium-Wasser-Reaktion

Aufgrund der Beobachtungen in V5.12 lautet die bisherige Hypothese in Form des Reaktionssymbols: $2 \text{Na (s)} + 2 \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow 2 \text{NaOH(aq)} + \text{H}_2 \text{(g)}$; exotherm

Um diese Hypothese experimentell zu prüfen, kann als Folgerung aus der Hypothese die Reaktion quantitativ durchgeführt werden und ein Stoffmengen-Vergleich stattfinden: aus 2 mol H_2O -Molekülen sollte sich 1 mol H_2 -Moleküle entwickeln. Dementsprechend ist eine bestimmte Wassermasse mit einem Überschuss an Natrium in der geschlossenen Apparatur umzusetzen. Die Schüler können diese Idee erarbeiten, die notwendige Apparatur entwerfen und die Durchführung bzw. Auswertung des Experiments planen.

4. Sammeln von Daten

V5.14: pH-Wert und Konzentration der entstandenen Natronlauge

Um etwa zu wissen, welcher pH-Wert und welche Konzentration für die bei V5.11 erhaltene Natronlauge vorliegt, kann man mit dem geeichten pH-Meter messen und die Lauge mit einer Säure-Maßlösung titrieren. Dazu werden beispielsweise 50 mL der Lauge in den Erlenmeyerkolben überführt, mit einem Farbindikator versetzt und gegen 0,1 molare Salzsäure titriert. Messwert und pH-Wert sind Daten, die verglichen und diskutiert werden können.

5. Veranschaulichen eines theoretischen Zusammenhangs

V5.15: Verdünnungsreihe zur Veranschaulichung von pH-Werten

Den in V5.14 erhaltenen pH-Wert können die Lernenden nicht ohne weiteres einordnen und mit der Konzentration der OH^- (aq)-Ionen in der Lösung korrelieren. Um diesen Zusammenhang deutlich zu machen, wird eine 1-molare Natronlauge-Lösung vorgegeben und der pH-Wert 14 zugeordnet. Diese Lösung wird um die Faktoren 1:10, 1:100 und 1:1000 verdünnt, pH-Werte 13, 12 und 11 werden gemessen. Damit ist anschaulich, dass sich der pH-Wert um eine Einheit verändert, wenn die Konzentration der Lösungen um den Faktor 10 variiert. Aufgrund der vorliegenden Messreihe kann auch die Konzentration an OH^- (aq)-Ionen eingeschätzt werden, die dem in V5.14 gemessenen pH-Wert entspricht.

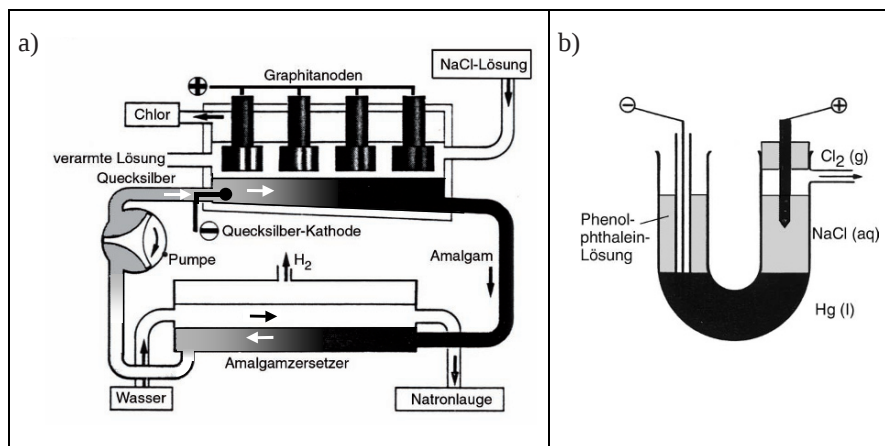


Abb. 5.3: Schemata zum Amalgamverfahren in Industrie [16] und Unterricht [11]

6. Simulieren technischer Verfahren

V5.16: Modellexperiment zum Amalgamverfahren

Die Industrie hat das Amalgamverfahren entwickelt, um bei der Elektrolyse von billiger Steinsalz-Lösung reine, Natriumchlorid-freie Natronlauge zu erhalten. Bei der Elektrolyse wird jeweils Natriumamalgam gebildet und im Gegenstrom mit Wasser wieder zersetzt (vgl. (a) in Abb. 5.3). Bildung und Zersetzung des Natriumamalgams können im Modellexperiment zur Elektrolyse der Kochsalzlösung simuliert werden, wie es (b) in Abbildung 5.3 vorschlägt.

7. Nachvollziehen historischer Experimente

V5.17: Elementaranalyse nach Liebig

Natronlauge sowie Kalilauge und „Ätzkali“ spielten bei der historischen Verbrennungsanalyse eine große Rolle – insbesondere hat Liebig mit großem Erfolg den von ihm entwickelten „Kaliapparat“ eingesetzt, der gebildetes Kohlenstoffdioxid vollständig aus dem Gasstrom absorbierte (vgl. Abb. 5.4). Eine ähnliche Apparatur kann schematisch zum Nachvollzug dieses Analyseverfahrens demonstriert werden. Es ist in V5.17 allerdings eine Version vorgesehen, bei der gebildetes Kohlenstoffdioxid im Kolbenprober quantitativ aufgefangen, nicht aber Wasser nachgewiesen wird.

8. Wiederholen und Vertiefen von Sachverhalten

V5.18: Reaktion von Rohrreinigern des „NaOH-Al-Typs“

Um behandelte Sachverhalte zu Substanzen wie Alkalimetallhydroxiden und Laugen sinnvoll zu wiederholen und zu vertiefen, kann die Badezimmerchemikalie „Rohrreiniger“ vorgestellt und untersucht werden. Bereits das Lesen des Etiketts (vgl. Abb. 5.5) verrät die Inhaltsstoffe Natriumhydroxid und Aluminium, man

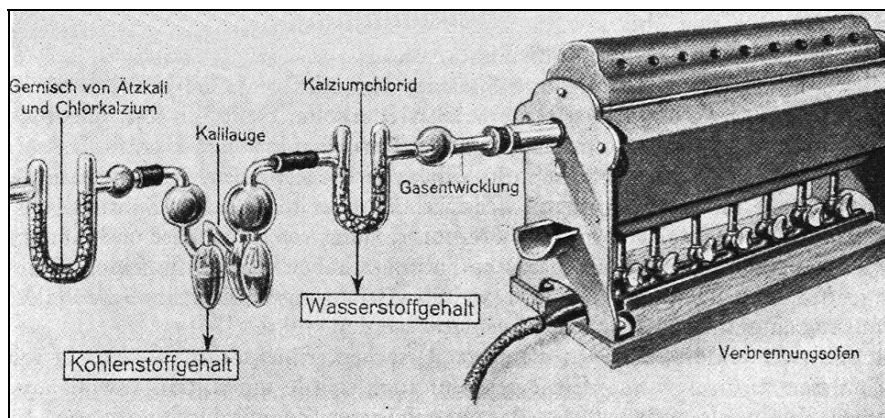


Abb. 5.4: Schema der historischen Elementaranalyse nach Liebig [17]

erkennt in der Tat silberfarbene Metallsplitter neben der bekannten weißen Substanz in körniger Form. Das Zusammengeben mit Wasser führt zur stark exothermen und alkalischen Reaktion, Hinzugeben von Papier macht auch die Zersetzungswirkung von heißer, konzentrierter Natronlauge anschaulich. Die Bildung eines Gases wird untersucht und dessen Funktion diskutiert (vgl. Kap. 8).

9. Überprüfen des Lernerfolgs

V5.19: Reaktion von Erdalkalimetallen mit Wasser

Es kann zum Lernerfolg geprüft werden, inwieweit die Schüler die bekannten Reaktionen der Alkalimetalle mit Wasser auf die ähnlichen Reaktionen von Magnesium und Calcium mit Wasser zu übertragen vermögen. Die Bildung von Hydroxiden und Wasserstoff ist bekannt, allerdings fallen die festen Hydroxide in Form von Suspensionen an. Zur Formulierung der Reaktionssymbole ist nur die Zusammensetzung der Erdalkalimetallhydroxide neu.

10. Einüben experimenteller Fertigkeiten

V5.20: Schülerexperimente zur Lithium-Wasser-Reaktion

Um auch zu den gefährlichen Alkalimetallen und ätzenden Laugen an einer Stelle Schülerexperimente realisieren zu können, ist das Experimentieren mit Lithium möglich. Es lässt sich im Gegensatz zu Natrium oder gar Kalium sicherer handhaben: Die Reaktion mit Wasser ist nicht nur im Becherglas möglich, sondern auch quantitativ in einer geschlossenen Apparatur wie etwa in einem pneumatisch mit Wasser gefüllten Standzylinder (Natrium und Kalium dürfen auf diese Weise nicht zur Reaktion gebracht werden!).

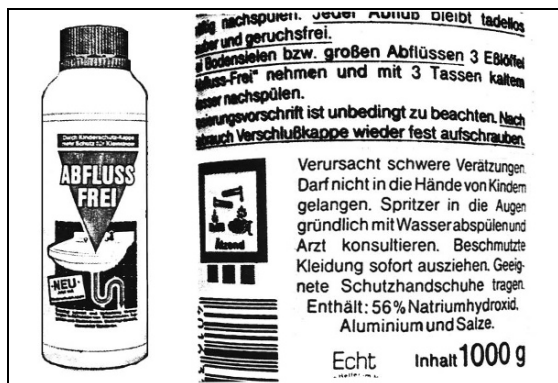


Abb. 5.5: Etikett eines Rohrreinigers vom „NaOH-Al-Typ“ [18]

Das *Schülerarbeitsblatt* (siehe V5.20 am Ende des Kapitels) soll nicht nur aufzeigen, welche Experimente in welcher harmlosen Form möglich und von den Lernenden auswertbar sind, sondern ebenfalls als Beispiel dienen, wie ein Arbeitsblatt für Schülerexperimente generell abgefasst werden kann.

Auswahlkriterien für Experimente. Nachdem die verschiedenen Funktionen von Experimenten deutlich geworden sind, sollen weitere Kriterien zur Auswahl von Experimenten im Chemieunterricht angeboten und reflektiert werden: Das jeweilige Experiment soll möglichst

- für die Altersstufe geeignet sein,
- auf vorhandene Kenntnisse der Schüler aufbauen,
- fachwissenschaftlich und didaktisch „ergiebig“ und
- auf die Gegebenheiten der Schulsammlung zugeschnitten sein,
- eine hohe Wahrscheinlichkeit des Gelingens aufweisen,
- bei der Ausführung kein Sicherheitsrisiko mit sich bringen,
- innerhalb einer angemessenen Zeitspanne enden,
- mit einem deutlich erkennbaren Effekt beendet werden,
- als Schülerversuch einsetzbar sein.

Für einen konkreten Unterrichtssachverhalt lassen sich ebenfalls Auswahlkriterien finden, etwa für ein *erstes* Experiment zur Einführung der chemischen Reaktion (vgl. Tabelle 5.3):



1. A, B, AB sollen den Schülern aus dem Alltag bekannt sein.
2. Die Reaktion soll als Schülerversuch durchführbar sein.
3. Die Reaktion soll in brauchbarer Zeit ablaufen.
4. Der Geräteaufwand soll gering sein.
5. A, B, AB sollen sichtbar feste oder flüssige Stoffe sein.
6. A, B, AB sollen sich in den Eigenschaften deutlich unterscheiden.
7. Das Gemisch aus A und B soll gut trennbar sein.
8. AB soll in die Ausgangsstoffe zerlegbar sein.

Tabelle 5.3: Erfüllung der Kriterien 1–12 zur Auswahl des ersten Experiments zur chemischen Reaktion

Beispiele der Schulbuchliteratur	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bildung von Eisensulfid		×	×	×	×		×		×	×	×	
Kupfersulfid		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
Metalloxiden	×	×	×	×		×		×	×	×	×	×
Nichtmetalloxiden	×	×	×	×		×			×	×	×	×
Metallchloriden	×		×	×		×			×	×	×	×
Aluminiumbromid			×	×	×	×			×	×	×	
Silberiodid		×	×	×	×	×	×	×		×	×	×
Natriumamalgam			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

9. Die Reaktion soll einen deutlichen Energieumsatz zeigen.
10. Sicherheitsanforderungen sollen erfüllt sein.
11. A und B sollen durch Strukturmodelle sachlich korrekt wiederzugeben sein.
12. AB soll durch Strukturmodelle sachlich korrekt wiederzugeben sein.

Ausführungsformen des Experiments. Die am häufigsten verwendete Form zur Durchführung von Experimenten ist das Demonstrationsexperiment. Das Schülerexperiment wird zwar als didaktisch wichtig und wertvoll erachtet, allerdings mit dem Argument der fehlenden Unterrichtszeit oder der fehlenden materiellen Ausstattung nicht immer realisiert. Eine Mischform aus beiden kann das Schülerdemonstrationsexperiment sein, das der Lehrer mit einer Schülergruppe verabredet und durch diese vorführen lässt (vgl. Tabelle 5.4).

Insbesondere bei Demonstrationsexperimenten sind einige *Grundsätze der Gestaltpsychologie* [19] zu beachten, um für den Betrachter die Aufmerksamkeit auf das Wesentliche zu lenken und damit die Wahrnehmung zu optimieren. Beabsichtigte Beobachtungen werden so erleichtert und Auswertungen der Experimente erfolgreicher ermöglicht:

- Teile einer Apparatur sind für den Betrachter so anzuordnen, dass beteiligte Stoffe von links nach rechts fließen,
- Stativmaterial soll die Beobachtung geplanter Effekte nicht stören: Es wird deshalb vom Betrachter aus hinter der Apparatur angeordnet,
- es werden möglichst einfache Apparaturen ausgewählt, unnötig komplizierte und schwer durchschaubare Geräte oder Gefäße sind zu vermeiden,
- Verbindungsschläuche oder Rohre laufen möglichst glatt in waagerechter Anordnung, Substanzströme soweit als möglich in einer geraden Linie,
- nicht unmittelbar zum Experiment gehörende Gegenstände und Chemikalien sollen auf dem Experimentiertisch nicht stören, sie sind möglichst aus dem Blickfeld zu entfernen,
- der geplante Effekt ist visuell, akustisch, geruchs- oder tastwirksam zu verstärken, wenn er von weitem nur ungenügend erkannt wird.

Tabelle 5.4: Einige Ausführungsformen des Experiments

– Lehrerdemonstration	– Realexperiment
– Schülerdemonstration	– Gedankenexperiment
– Schülerexperiment	– medial vermitteltes Experiment
– arbeitsgleich	– qualitativ, quantitativ
– arbeitsteilig	– verschieden nach Substanzmenge:
– selbständig	– Makromaßstab
	– Halbmikromaßstab
	– Mikromaßstab

Es ist insbesondere der *Tageslichtprojektor* zur Verstärkung geplanter Effekte einzusetzen: sowohl durch eine Projektion und Vergrößerung etwa von Petrischalen und darin enthaltene Lösungen, als auch durch das hellere Licht des Projektors, wenn man auf der beleuchteten Glasplatte experimentiert. Durch Einstellen des Spiegels kann auch mit dem Licht des Tageslichtprojektors die Apparatur auf dem Experimentiertisch direkt beleuchtet oder auch nur der Teil der Apparatur erhellt werden, der den Effekt liefert (vgl. Kap. 4).

Steht eine kleine *Fernsehkamera* (Schwanenhalskamera) zur Verfügung, so ist es auch möglich, einen ungenügend beobachtbaren Effekt vergrößert auf den Monitor zu übertragen oder mit dem Videodatenprojektor zu projizieren. Diese Experimentiermethode ist geeignet, mit kleinen Mengen an Chemikalien auszukommen: „Chemie en miniature“ [20]. Auch die Halbmikrotechnik von Häusler [21] oder die Küvettentechnik von Kometz [22] machen das Experimentieren mit wenig Substanz möglich.

Organisatorischer Ablauf des Experimentalunterrichts. Die Vorbereitung von Experimentalunterricht im Fach Chemie beschränkt sich oftmals nicht auf eine singuläre Unterrichtsstunde. Es ist meist eine Reihe von Experimenten einer Unterrichtseinheit auf mehrere Unterrichtsstunden zu verteilen, einzelne Experimente sind zuvor auszuprobieren, Folien für den Tageslichtprojektor oder Arbeitsblätter für Schülerexperimente vorzubereiten und für den Unterricht zu vervielfältigen. Die einzelnen Schritte der Vorbereitung lassen sich wie folgt gliedern:

Vorbereitung:
(am Tag zuvor)

- Durchführen des geplanten Schülerexperiments,
- Konzipieren eines Arbeitsblattes für Schülerexperimente,
- Ausprobieren geplanter Demonstrationsexperimente,
- Zeichnen einer Folie für die verwendete Apparatur,
- Bereitstellen von Geräten und Chemikalien,
- Vorbereiten von Sicherheitsmaßnahmen.

Durchführung:

- Problem stellen, Schüler diskutieren lassen,
- Geräte (durch Schüler) erläutern und zusammensetzen,
- Apparatur (durch Schüler) zeichnen (Tafel oder Folie),
- Schülern Zeit lassen, Schema abzuzeichnen (Schablone),
- Sicherheitsmaßnahmen erläutern, durchführen,

	– Experiment (durch Schüler) realisieren, – zu beobachtende Effekte deutlich machen, – Ablesen der Messgeräte ermöglichen, – Experiment deutlich beenden (Sicherheit).
<i>Beobachtung, Messwerte:</i>	– Beobachtungen sammeln, durch Schüler formulieren, – Beobachtungen notieren (Tafel, zeitliche Reihenfolge), – ggf. Durchführung teilweise wiederholen, – Messwerte tabellarisch und/oder grafisch wiedergeben, – Messfehler und Fehlerquellen diskutieren.
<i>Erklärung (Auswertung):</i>	– Einzelne Beobachtungen durch Schüler auswerten, – ggf. Versuchsteile (durch Schüler) wiederholen, – Hilfen zur Erklärung anbieten und diskutieren, – auf Vorkenntnisse, auf bekannte Versuche verweisen, – Beobachtungen insgesamt diskutieren und erklären, – Modellvorstellungen zum Aufbau der Stoffe und – Reaktionssymbole von Schülern entwickeln lassen, – Versuchsprotokoll an der Tafel durch Schüler entwerfen – und von allen Schülern ins Heft übertragen lassen, – Protokoll ggf. als Hausaufgabe stellen, – <i>Gliederung des Protokolls</i>: Problemstellung, Durchführung, Beobachtung, Auswertung (Fehlerdiskussion).
<i>Nachbereitung: (nächste Unterrichtsstunde)</i>	– Fragen zum Experiment/Protokoll beantworten, – Ergänzungen ins Protokoll übertragen, – auf die Problemstellung zurückkommen und – das Problem abschließen, – ggf. aus dem Ergebnis neue Thematik ableiten.

5.3 Lernende – Spieltrieb und Neugierverhalten, experimentelle Fertigkeiten

Für junge Schüler und Schülerinnen kommt dem Experiment im Chemieunterricht eine besondere Bedeutung zu, da Spieltrieb und Neugierverhalten eine große Aufgeschlossenheit für Experimente erwarten lassen. Deshalb sind einfache Phänomene und Messungen wie etwa zur Dichte, Löslichkeit, Schmelz- und Siedetemperatur von Stoffen von diesen Jugendlichen hochwillkommen und zur Durchführung als Schülerversuch zu empfehlen. Oftmals besitzen ganz interessierte Schüler bereits einen käuflichen *Experimentierkasten* (vgl. Kap. 4) und kennen viele einfache Experimente: Diese Schüler fallen durch ihre Kenntnisse und experimentellen Fertigkeiten besonders auf. Für die Lernenden ist insbesondere zu reflektieren:

- *Erste beginnende manuelle Fertigkeiten im Umgang mit Experimentiergerät:* Im Sachunterricht der Primarstufe sind erste Schülerexperimente etwa zu den Themengebieten Luft und Verbrennung oder Wasser und Lösungen durchgeführt worden, allerdings meist nicht mit Glasgeräten des chemischen Labors,

sondern eher mit bekannten Gegenständen aus der Küche. Deshalb ist der sachgemäße Umgang mit Experimentiergerät und Chemikalien unter Beachtung erster Sicherheitsvorschriften zu üben, um Schritt für Schritt die Fertigkeiten für ein problemorientiertes, selbständiges Experimentieren zu erreichen. Eine Besonderheit ist zu beachten: Jungen drängen sich gern in den Vordergrund, übernehmen das Experimentieren und weisen den Mädchen die Beobachter- oder Protokollantenrolle zu. Lehrer sollten einen Ausgleich versuchen oder in getrennten Gruppen experimentieren lassen.

- *Die Gewöhnung an genaues Beobachten:* Bisher zufälliges Hinschauen ist nach und nach zu ändern zugunsten eines gezielten Beobachtens, das bereits bei der Planung des Experiments festzulegen ist. Bei quantitativen Messungen sind Messgrößen und Einheiten deutlich zu machen, alle Messgeräte sind besonders anschaulich vorzustellen und sorgfältig zu demonstrieren, bevor sie bei Schülern und Schülerinnen im selbständigen Experiment zum Einsatz kommen.
- *Das Protokollieren von Denkschritten:* Die Fähigkeiten zum Experimentieren werden optimiert, wenn Schüler und Schülerinnen zunächst einfache Protokolle im Unterricht vor Ort oder als Hausaufgabe erstellen. Es wird nicht nur die Abfolge der Einzelschritte beim Experimentieren reflektiert und bis zur Routine erlernt, sondern Messwerte können zusätzlich in Tabellenform oder durch grafische Darstellungen wiedergegeben werden. Die letztgenannte Fähigkeit ist für den Anfänger besonders schwierig und an ersten Messreihen zu üben.

5.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder

– Umwelt- und Alltagsbezüge, historische Entwicklungen

Schüler und Schülerinnen kennen Substanzen und deren Umwandlungen aus dem Alltag und wissen – etwa durch Fragen zur Sortierung und Behandlung des Hausmülls – um die Gefährdung der Umwelt durch problematische Stoffe. Deshalb sind in Bezug auf gesellschaftlicher Bezugsfelder folgende Reflexionen inhaltlicher und handlungsorientierter Art möglich und sinnvoll:

- *Experimente zu Fragen des Umweltschutzes:* Sobald mit der Behandlung einer bestimmten Thematik (etwa Luft, Wasser, Erdboden, Ökologie) die Problematik des Umweltschutzes tangiert wird, sollten diesbezüglich zusätzliche Experimente demonstriert und diskutiert werden. Auch hinsichtlich einer praxisnahen *Umwelterziehung* können zur Planung und Durchführung von Experimenten mit den Lernenden gemeinsam Wege reflektiert werden, auf denen möglichst keine Schadstoffe entstehen oder eine Entsorgung von Schadstoffen unproblematisch ist (vgl. Kap. 8).
- *Experimente zur Anwendung in Alltag und Technik:* Sobald von einem Experiment ausgehend ein Alltagsbezug möglich ist, sollte dieser hergestellt oder zur sachbezogenen Motivierung aufgezeigt werden. Falls am Schulort die industrielle Herstellung bestimmter Stoffe stattfindet (Zucker, Düngesalze, Kohle, Metalle, etc.) oder die chemische Industrie präsent ist, sollten sich Experimente an

passender Stelle auch auf diese Techniken beziehen und damit enge Verknüpfungen mit der Chemie in Alltag und Technik vor Ort ausweisen (vgl. Kap. 8). Exkursionen und Betriebserkundungen geben den Schülern und Schülerinnen zudem Einblicke in Probleme der wechselseitigen Beeinflussung von Labor-experiment und technischer Realisierung im Großmaßstab (beispielsweise Weindestillation im Unterricht und großtechnische Branntweinproduktion, galvanische Zelle im Unterricht und großtechnische Batterieherstellung).

- *Historische experimentelle Entwicklungen für die Gesellschaft:* Schüler und Schülerinnen sollen erfahren, welche große Bedeutung die Herstellungsverfahren vieler Stoffe auf das gesellschaftliche Leben hatten (Steinzeit, Bronze-, Eisen-, Silicium-Zeitalter) oder inwieweit bestimmte Stoffgruppen das gesellschaftliche Leben verändert haben (Liebig's Forschungen und die Bedeutung mineralischer Düngemittel für Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion, Brennstoffe und Kunststoffe aus Erdöl, Textilien, Medikamente, Farbstoffe, Baumaterialien, etc).

In bestimmter Weise war auch der „Krieg Vater vieler Dinge“ und hat die Entwicklung bzw. Herstellung vieler Stoffe beschleunigt (Zucker aus Rüben nach der Kontinentalsperre durch Napoleon und damit der Einfuhrsperre von Zuckerrohr aus Übersee, Ammoniak-Synthese zur Herstellung von Sprengmitteln für den 1. Weltkrieg, synthetisches Benzin und Kautschuk zur Kriegsführung im 2. Weltkrieg, Entwicklung von kernwaffenfähigem Uran und Abwurf erster Atombomben am Ende des 2. Weltkriegs). Solche Zusammenhänge sollten im Unterricht nicht unterschlagen werden, vielmehr kann deren Kenntnis bei den Jugendlichen dazu beitragen, auch andere kriegsbedingte, bedrohliche Entwicklungen zu erkennen und zu diskutieren.

- *Gruppendynamische Prozesse bei der Lösung experimenteller Aufgaben:* Durch die Arbeitsteilung beim Experimentieren in Schülergruppen werden soziales Verhalten der Gruppenmitglieder, gemeinsame Interessen bzw. Abstimmungen innerhalb der Gruppe und Rücksichtnahme des Einzelnen zugunsten der Gruppenziele gefördert. Insbesondere die gemeinsame Abstimmung zwischen Jungen und Mädchen in einer Experimentiergruppe kann deren Zusammenarbeit positiv beeinflussen und etwaige Vorbehalte abbauen. Schließlich ist es auch die Sicherheit beim Experimentieren, die die Diskussion in der Gruppe beansprucht, den umweltbewussten Umgang mit Chemikalien fördert und damit Umweltbewusstsein und Fähigkeiten zum umweltgerechten Handeln erweitert.

Werden Ausstellungen experimenteller Ergebnisse von Schülergruppen realisiert, etwa eigene Untersuchungsergebnisse von Qualitäten der Luft, des Erdbodens oder des Fluss- bzw. des Trinkwassers im Wohnort durch Plakate veröffentlicht, so können sich sachbezogene Diskussionen der „Experten“ mit den Mitschülern anschließen, können sich Kontakte zu schulfremden Besuchern und zu anderen Gesellschaftsgruppen anbahnen. Diese Form der Erziehung zu Kompetenz, zu Kritikfähigkeit und demokratischer Aufgeschlossenheit unserer Jugendlichen ist zweifelsfrei ein wichtiges Ziel des Chemieunterrichts!

Literatur

- [1] Liebig, J.: *Der Zustand der Chemie in Preußen*. Ann. Chem. Pharm. 34 (1840), 97
- [2] Ströker, E.: *Denkwege der Chemie*. Freiburg 1967 (Alber)
- [3] Vossen, H.: *Kompendium Didaktik Chemie*. München 1979 (Ehrenwirth)
- [4] Von Laue, M.: *Mein physikalischer Werdegang. Eine Selbstdarstellung*. Braunschweig 1961 (Vieweg)
- [5] Wiederholt, E.: *Gaschromatographie – Nachweis von in Wasser gelöstem Sauerstoff und Stickstoff*. MNU 52 (1999), 92
- [6] Brockmeyer, H.: *Röntgenstrahlen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. Köln 1973 (Aulis)
- [7] Schwedt, G.: *Chemie zwischen Magie und Wissenschaft*. Weinheim 1991 (VCI)
- [8] Glöckner, W., u.a.: *Handbuch der Experimentellen Chemie*. Köln 1994 (Aulis)
- [9] Gilbert, L., u.a.: *Tested Demonstrations in Chemistry*. Granville 1994 (ACS)
- [10] Häusler, K., u.a.: *Experimente für den Chemieunterricht*. München 1991 (Oldenbourg)
- [11] Barke, H-D., u.a.: *Chemische Experimente*. Hannover 1988 (Schroedel)
- [12] Shakhshiri, B.: *Chemical Demonstrations*. Madison 1983 (University of Wisconsin Press)
- [13] Arendt, R., Dörmer, L.: *Technik der Experimentalchemie*. Heidelberg 1980 (Quelle+Meyer)
- [14] Meyendorf, G., u.a.: *Chemische Schulexperimente*. 5 Bd. Frankfurt 1979 (Deutsch)
- [15] Schmidkunz, H., Lindemann, H.: *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren*. Essen 1992 (Westarp)
- [16] Dehnert, K., Jäckel, M.: *Allgemeine Chemie*. Hannover 1979 (Schroedel)
- [17] Strube, W.: *Der historische Weg der Chemie*. Leipzig 1981 (Deutscher Verlag)
- [18] Eisner, K., u.a.: *Elemente Chemie I*. Stuttgart 1992 (Klett)
- [19] Schmidkunz, H.: *Die Gestaltung chemischer Demonstrationsexperimente nach wahrnehmungs-psychologischen Erkenntnissen*. NiU-P/C 31 (1983) 131
- [20] Roesky, H.: *Chemie en miniature*. Weinheim 1997 (VCI)
- [21] Häusler, K. G.: *Die Halbmikrotechnik*. NiU-Chemie 41 (1993), Heft 2, 10
- [22] Kometz, A., Krech, K.: *Küvettentchnik und Mikroglasbaukasten*. Chem. Sch. 45 (1998), 348

Übungsaufgaben zu „5 Experimente“

A5.1 Experimente erfüllen im Chemieunterricht meist bestimmte Funktionen. Nennen Sie fünf Funktionen und skizzieren Sie jeweils Experiment und Unterrichtszusammenhang Ihrer Wahl.

A5.2 Zur Durchführung von Schülerexperimenten ist die arbeitsgleiche und die arbeitsteilige Form des Experimentierens üblich. Erläutern Sie jeweils drei unterrichtliche Beispiele Ihrer Wahl.

A5.3 Die Hypothesenprüfung dient sowohl zur Erkenntnis in der Fachwissenschaft als auch zur Erkenntnis im Chemieunterricht. Beschreiben Sie eine historische Hypothese der Naturwissenschaften und deren Prüfung. Entwerfen Sie eine Situation im Chemieunterricht, die zu einer Hypothese führt, skizzieren Sie den Weg und mögliche Experimente zu deren Prüfung.

A5.4 Eine besondere Bedeutung haben Experimente zu quantitativen Messungen. Nennen Sie fünf für den Chemieunterricht geeignete Größen zur Messwerterfassung, beschreiben Sie diesbezügliche Messgeräte und zeichnen Sie entsprechende Experimentieranordnungen auf.

A5.5 Sicherheitsmaßnahmen und Entsorgung spielen für einen Experimentalunterricht eine große Rolle. Nennen Sie fünf wichtige Maßnahmen zur Sicherheit jeweils am Beispiel eines gefährlichen Schulexperiments. Beschreiben Sie wichtige Entsorgungsmaßnahmen und führen Sie wesentliche Sammelbehälter für Chemikalienreste auf.

Praktikum zu „5 Experimente“

V5.1: Gaschromatographie im Schulversuch

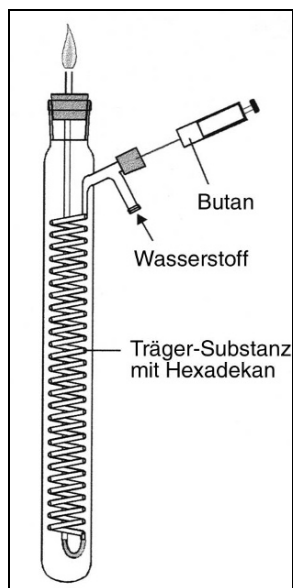
Problem: Übliche Chromatographen der Forschungslaboratorien sind geschlossene Apparaturen, in die man nicht hineinschauen kann („black boxes“). Zur Anschaulichkeit des Analyseverfahrens ist es deshalb didaktisch sinnvoll, eine Apparatur zu demonstrieren, die durch Verwendung eines gläsernen Schlangenkühlers alle Funktionen offen zeigt (Bild). Mit der vorgestellten Apparatur lassen sich etwa die beiden Isomere des Butans trennen und durch leuchtende Flammen anzeigen.

Material: Gaschromatograph, Gasspritze (10 mL), Butangasbrenner (F^+); Wasserstoff (F^+).

Durchführung: Der Schlangenkühler enthält eine weiße Trägersubstanz, deren Oberfläche mit schwer flüchtigem Hexadekan ($C_{16}H_{34}$) versehen worden ist und sich deshalb zur Trennung von Kohlenwasserstoffen eignet. Wasserstoff wird angeschlossen und als Trägergas solange hindurchgeleitet, bis die Knallgasprobe negativ verläuft. Er wird an der Glasspitze entzündet.

Die Gasspritze wird mit dem Gas aus dem Butanbrenner gefüllt, 5 mL werden durch das Septum in den Strom des Wasserstoffs eingespritzt. Das Experiment wird beendet, indem der Wasserstoffstrom abgestellt wird. Vorsicht: nach einiger Zeit befindet sich ein Knallgas-Gemisch im Schlangenkühler! Erst mit Wasserstoff spülen, dann erneut entzünden!

Beobachtung: Nach etwa 30 s brennt die zunächst farblose Wasserstoffflamme hell leuchtend auf und verlöscht, nach weiteren 5 s leuchtet sie nochmals auf.



V5.2: Schulröntgengerät zur Kristallanalyse

Problem: Die meisten Apparaturen zur instrumentellen Analytik sind sehr teure Großgeräte und können in Forschungsinstituten besichtigt werden. Zur Röntgenstrukturanalyse hat die Lehrmittelindustrie ein Schulgerät entwickelt, mit dem – neben den bekannten Schattenaufnahmen – die Interferenzmuster von Einkristallen (Laue-Diagramme) oder von Kristallpulvern (Debye-Scherrer-Aufnahmen) und Glanzwinkel der Kristalle (Braggsche Winkel) demonstriert werden können (vgl. Kap. 16).

Material: Röntgenschulgerät, Zubehör wie Röntgenfilm oder Polaroid-Röntgen-Diffraktionskassette, Filmentwickler und Fixierer; Lithiumfluorid-Einkristall (T), Natriumchlorid-Pulver.

Durchführung: Nachdem mit der Demonstration von Schattenaufnahmen das Gerät vorgestellt wurde, wird es zur Aufnahme von Lauediagrammen umgebaut: Der Einkristall wird justiert, dahinter die Fotoplate oder eine Polaroid-Röntgen-Diffraktionskassette angeordnet. Ein feiner Röntgenstrahl ist auszublenden und auf den Einkristall zu lenken. Nach ausreichender Belichtungszeit wird die Fotoplate entwickelt oder das Polaroidbild aus der Kassette gezogen. Mit dem Kristallpulver wird ähnlich verfahren (vgl. Kap. 16).

Beobachtung: Im ersten Fall ist neben dem Primärstrahl ein symmetrisches Muster von Beugungspunkten zu erkennen, im zweiten Fall ein Muster von Beugungsringen.

Experimente zu Alkalimetallen

Vorsichtsmaßnahmen für den Umgang mit Alkalimetallen

1. Schutzbrille aufsetzen.
2. Alkalimetalle nicht mit bloßen Händen anfassen, sondern mit der Pinzette.
3. Vor dem Entrinden das anhaftende Petroleum mit Filterpapier abtupfen.
4. Mit Messer und Pinzette Rinden sorgfältig abschneiden.
5. Alkalimetallrinden und Reste in Spiritus geben.
6. Erbsengroße Stücke der Metalle zur Reaktion bringen.
7. Brände von Alkalimetallen nicht mit Wasser, sondern mit Sand löschen.
8. Alkalische Lösungen mit Wasser verdünnen und wegspülen.

V5.3: Schnittflächen der Alkalimetalle

Problem: Alkalimetalle werden unter Petroleum aufbewahrt. Um den Schülern den Grund dafür zu veranschaulichen, sollen Metallstücke angeschnitten und die Schnittflächen an der Luft beobachtet werden.

Material: 3 Uhrgläser, Pinzette und Messer, Filterpapier; Lithium (C/F), Natrium (C/F) und Kalium (C/F).

Durchführung: Jeweils ein Stück des Metalls wird mit Filterpapier vom Petroleum befreit und durchgeschnitten. Die Schnittflächen werden beobachtet.

Beobachtung: In der Reihenfolge Lithium, Natrium und Kalium läuft die silber glänzende Schnittfläche immer schneller an und färbt sich dunkel.

V5.4: Reaktionen der Alkalimetalle mit Sauerstoff

Problem: Das Anlaufen der Alkalimetalle wird von den Schülern als Reaktion mit Luft bzw. mit dem Sauerstoff der Luft interpretiert, sodass ein Verbrennen an der Luft vorausgesagt und die Vermutung durch Entzünden überprüft werden kann. Es ist festzuhalten, dass die Metalle auch mit Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid der Luft reagieren.

Material: Dreibein mit Drahtnetz, Brenner, Stücke der drei Alkalimetalle (C/F).

Durchführung: Jeweils ein Metallstück wird unter dem Abzug auf das Drahtnetz gegeben und mit der rauschenden Flamme des Brenners entzündet.

Beobachtung: Lithium brennt mit rötlicher Flamme, Natrium mit gelber und Kalium mit violetter Farbe, weißer Rauch steigt auf, der sehr ätzend in der Nase stechen kann. Es bleibt jeweils ein weißes Verbrennungsprodukt zurück (im Fall der Verunreinigung mit Petroleum ist das Produkt auch schwarz gefärbt).

V5.5: Reaktionen der Alkalimetalle mit Wasser

Problem: Wie für V5.4 diskutiert, vermuten die Schüler gegebenenfalls auch den Wasserdampf der Luft als Grund dafür, dass die Schnittflächen der Metalle an der Luft reagieren. Eine Reaktion mit Wasser lässt sich deshalb als Hypothese formulieren und im Experiment prüfen.

Material: 3 Bechergläser, 3 Uhrgläser, Universalindikator-Papier; Stücke der drei Alkalimetalle (C/F).

Durchführung: Die Bechergläser werden zur Hälfte mit Wasser gefüllt. In jeweils ein Glas wird eines der Metallstücke gegeben und mit einem Uhrglas abgedeckt (Vorsicht: ätzende Substanz kann herausspritzen!). Nach den Reaktionen werden die Lösungen mit Universalindikator-Papier geprüft. Ein Teil der Lösungen wird eingedampft, die auftretenden weißen Feststoffe werden mit feuchtem Indikatorpapier geprüft.

Beobachtung: Alle drei Metalle reagieren mit Wasser, die Heftigkeit nimmt von Lithium über Natrium und Kalium zu. Natrium schmilzt bei der Reaktion, Kalium schmilzt und entzündet sich.

Alle drei Lösungen reagieren stark alkalisch. Nach Abdampfen des Wassers bleibt ein weißer Feststoff zurück, der wiederum mit feuchtem Indikatorpapier die alkalische Reaktion aufweist.

Hinweis: Das Abdecken mit dem Uhrglas dient zur Sicherheit: Die bei der Reaktion oft am Rand des Glases hängen bleibende Natrium- oder Kaliumkugel kann platzen und aus dem Glas herausschleudern.

Die Metallstücke können auch auf feuchtes Filterpapier gegeben werden (Abzug): In diesem Fall reagieren sie direkt zum weißen Feststoff. Vorsicht: Natrium und Kalium entzünden sich dabei, und es besteht auch hierbei die Gefahr des Umherspritzens ätzender Substanzen. Schutzbrille!

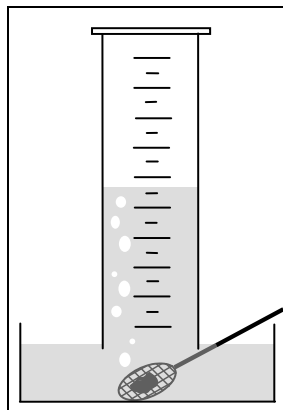
V5.6: Nachweis des Wasserstoffs bei der Natrium-Wasser-Reaktion

Problem: Das zischende Geräusch und die brennende Kaliumflamme weisen bereits auf das brennbare Gas hin, das bei der Reaktion an der Wasseroberfläche entsteht. Lässt man die Reaktion unter Wasser ablaufen, so kann man das Gas pneumatisch auffangen und als Wasserstoff nachweisen.

Material: Glasschale, Standzylinder mit Deckglas, Netzlöffel, Holzspan; Natriumstücke (C/F).

Durchführung: Der Standzylinder wird mit Wasser gefüllt und pneumatisch in die zur Hälfte mit Wasser gefüllte Glasschale gestellt. In den Netzlöffel wird ein Stück gut entrindetes Natrium gegeben und unter die Öffnung des Zylinders getaucht. Der Vorgang kann mit weiteren Stücken wiederholt werden, bis der Zylinder mit Gas gefüllt ist. Er wird mit Hilfe des Deckglases herausgehoben und aufrecht hingestellt, das enthaltende farblose Gas mit dem brennenden Holzspan geprüft. Vorsicht: Knall!

Beobachtung: Es ist die lebhafteste Entwicklung eines farblosen Gases zu beobachten, das Gas lässt sich entzünden und brennt beginnend mit einem Knall ruhig ab. Die Flamme ist farblos.



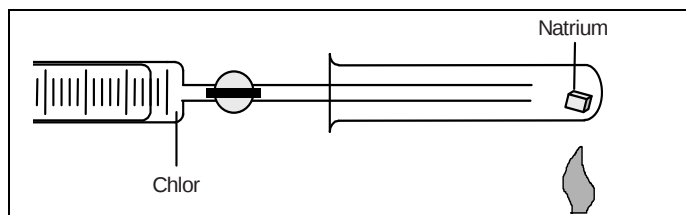
V5.7: Reaktion von Natrium mit Chlor

Problem: Die Reaktionsfähigkeit der Metalle gegenüber Sauerstoff und Wasser lässt sich ebenfalls bezüglich der Halogene vermuten. Sie soll exemplarisch durch die Reaktion von Natrium mit Chlor durchgeführt, das Reaktionsprodukt ausnahmsweise vorsichtig geschmeckt werden. Das Produkt aus zwei aggressiven, giftigen Stoffen ist interessanterweise Natriumchlorid – ein essentielles Lebensmittel!

Material: Gasentwickler, Kolbenprober mit angeschlossenem Glasrohr, Reagenzglas; Kaliumpermanganat (O/Xn), konz. Salzsäure (C), Natriumstücke (F/C).

Durchführung: Unter dem Abzug wird aus Kaliumpermanganat und Salzsäure im Gasentwickler Chlor entwickelt und der Kolbenprober mit dem Gas gefüllt. Das gut entrindete, von Benzinresten befreite Natriumstück wird im eingespannten Reagenzglas solange erhitzt, bis es gelb aufleuchtet (Bild).

Das Chlor wird mit Hilfe von Kolbenprober und Glasrohr langsam so über das Natrium geleitet, dass die gelbe Flamme erhalten bleibt. Die weiße Substanz am herausgezogenen Glasrohr kann unbedenklich geschmeckt werden (nicht der Reagenzglasinhalt! Er kann Natrium enthalten!).



Beobachtung: Das Natrium reagiert mit grell gelber Flamme, weißes Kristallpulver setzt sich am Glasrohr ab. Es schmeckt deutlich nach Kochsalz.

Hinweis: Das meist beschädigte Reagenzglas kann Reste von Natrium enthalten, – es ist vorsichtig mit Ethanol zu versetzen und mit Wasser zu spülen, danach in den Glasabfall zu entsorgen.

V5.8: Flammenfarben der Alkalimetall-Salze

Problem: Die Flammen bei der Verbrennung der Alkalimetalle an der Luft weisen bereits Färbungen auf, die charakteristisch für viele Salze sind, wenn sie in der heißen Brennerflamme verdampft werden. Die Farben können deshalb auf einfachem Wege zu analytischen Zwecken dienen und das jeweilige Metall in seiner Verbindung anzeigen.

Material: 3 Uhrgläser, Kobaltglas; Magnesiastäbchen, Lithiumchlorid (Xn), Natrium- und Kaliumchlorid.

Durchführung: In ein Uhrglas gibt man wenig Lithiumchlorid, in ein weiteres Natriumchlorid und in ein drittes Kaliumchlorid. Diese Proben werden mit Wasser befeuchtet. Man glüht in der nichtleuchtenden Gasbrennerflamme ein Magnesiastäbchen so lange, bis die Flamme nicht mehr leuchtet. Mit dem Stäbchen taucht man nun in das jeweilige Salz und hält es in die Flamme, für jeden neuen Test wird das Stäbchen abgebrochen und erneut ausgeglüht. Die Kaliumflamme wird durch ein Kobaltglas betrachtet.

Beobachtung: Die Brennerflamme ist durch die Salze in der angegebenen Reihenfolge tiefrot, gelb und violett gefärbt. Die letzte Farbe ist besser zu erkennen, wenn die Flamme durch das blaue Kobaltglas beobachtet wird: Die durch Spuren von Natriumsalzen in der Probe verursachte gelbe Flammenfarbe wird absorbiert.

V5.9: Elektrolyse einer Lithiumchlorid-Schmelze

Problem: Lösungen der Alkalimetallsalze lassen sich zwar einwandfrei elektrolysieren, aber anstelle des bei anderen Elektrolysen erwarteten Metalls scheidet sich Wasserstoff an der Kathode ab. Das gilt für viele unedle Metalle – der Wasserstoff wird in der Spannungsreihe deshalb an entsprechender Stelle angeordnet.

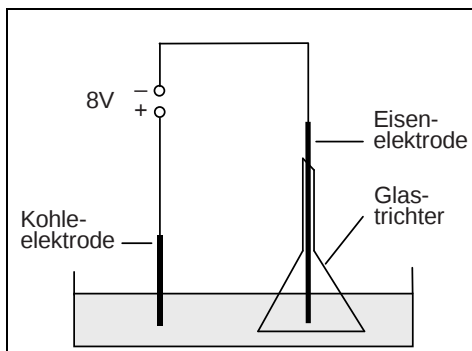
Dieser Versuch soll exemplarisch zeigen, dass anstelle der Lösung eine Schmelze genommen werden muss, um das unedle Metall elementar zu erhalten. Bei einer solchen Schmelzflusselektrolyse treten allerdings die technischen Probleme des Arbeitens bei hohen Temperaturen und großen Stromdichten auf: Um die Schmelztemperatur zu senken, wird ein Salzgemisch verwendet, die Gleichspannungsquelle muss für den hohen Stromfluss von bis zu 10 A abgesichert sein.

Material: Abdampfschale (Pyrexglas), Uhrglas, Trichter, Eisen- und Kohle-Elektrode, Brenner, Gleichspannungsquelle mit hoher Ampere-Absicherung, Dreibein mit Drahtnetz; Lithiumchlorid (Xn), Kaliumchlorid.

Durchführung: Ein Gemisch aus 21 g wasserfreiem Lithiumchlorid und 7 g Kaliumchlorid wird hergestellt, in die Abdampfschale gefüllt und – wie die Zeichnung es angibt – mit Elektroden versehen. Eine Gleichspannung von 8 V ist einzustellen. Auf dem Dreibein mit Drahtnetz wird das Gemisch geschmolzen und elektrolysiert (Abzug, rauschende Brennerflamme). Nach etwa 10 Minuten wird unterbrochen und das erstarrte Lithium herauspräpariert (eine Chloridschicht schützt das Metall). Nach dem Abkühlen kann die Probe untersucht werden, insbesondere wird die Reaktion mit Wasser und der dabei entstehende Wasserstoff demonstriert.

Hinweis: Falls das Lithium sich entzündet, **nicht mit Wasser löschen!!** – Sand oder Kochsalz verwenden.

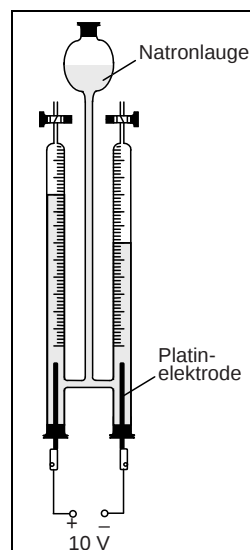
Beobachtung: An der Kathode entsteht das gewünschte Metall Lithium, an der Anode Chlorgas. Das Lithium reagiert wie bekannt mit Wasser, der entstehende Wasserstoff verbrennt mit roter Flamme.



V5.10: Elektrolyse von Natronlauge

Problem: Nachdem in V5.9 die Elektrolyse der Schmelze mit dem Auftreten des Metalls interpretiert worden ist, soll hier gezeigt werden, dass sich bei der Elektrolyse von Natronlauge anstelle des Metalls das Gas Wasserstoff an der Kathode, das Gas Sauerstoff an der Anode abscheidet. Da Wasserstoff und Sauerstoff im Volumenverhältnis 2:1 entstehen, wird in diesem Zusammenhang auch von der Zersetzung des Wassers und von einem speziellen „Wasserzersetzungsgesetz“ gesprochen. Er kann auch für die Elektrolyse vieler anderer Lösungen verwendet werden, die an beiden Elektroden Gase entwickeln.

Material: Hofmannscher Zersetzungsgesetz mit Platin-Elektroden, Gleichspannungsquelle mit Kabel, Reagenzgläser, Holzspan; verdünnte Natronlauge (C).



Durchführung: Der Zersetzungsapparat wird mit Natronlauge gefüllt, an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen, die Elektrolyse bei einer Spannung von etwa 5–10 V durchgeführt. Es wird elektrolysiert, bis das Kathodenmessrohr (Minuspol) mit Gas gefüllt ist. Das Volumen in beiden Messrohren wird abgelesen. Über das Glasrohr am Minuspol wird ein Reagenzglas gestülpt, der Hahn geöffnet, das ausströmende Gas aufgefangen und auf Brennbarkeit geprüft. Der Hahn des Glasrohres über dem Pluspol wird geöffnet und an die Öffnung ein glimmender Holzspan gehalten. Die Hähne sind wieder zu schließen.

Beobachtung: Es entwickeln sich Gase im Volumenverhältnis 2 : 1. Das erste Gas verbrennt beginnend mit einem Knall: Wasserstoff. Das zweite Gas entzündet einen glimmenden Holzspan: Sauerstoff.

V5.11: Reaktion von Natrium mit Wasser in der Projektion

Problem: Das Bild der auf der Wasseroberfläche dahingleitenden Natrium-Kugel (oder mehrerer Kugeln) ist allein schon ein Erlebnis für die Schüler und motivierend, genauer zu beobachten. Bei genauerem Hinsehen sind Schlieren zu erkennen, die die Kugeln hinterlassen (sie sind mit Phenolphthalein-Lösung sogar rot gefärbt zu zeigen). Das zischende Geräusch (oder auch die Netzlöffel-Version des Versuchs) weist auf eine Gasentwicklung hin. Sowohl die Fragen nach Eigenschaften dieses Gases als auch nach der Art der entstehenden Lösung stellen sich von ganz allein: sachbezogene Motivation (vgl. auch Kap. 2).

Material: Runde, große Glasschale, Reagenzgläser; Natriumstücke (C/F), Phenolphthalein-Lösung (0,1%-ig in Ethanol) (F), Spülmittel.

Durchführung: Die Glasschale wird auf den Tageslichtprojektor gestellt, 1–2 cm hoch mit Wasser gefüllt und Spülmittel zugetropft (es verhindert ein Haften der Natriumstücke an der Glaswand). Erst eines, dann mehrere Natriumstücke werden auf die Wasseroberfläche gegeben und Schlieren in der Projektion beobachtet. Nach Ausspülen der Schale wird das Experiment wiederholt, nachdem einige Tropfen des Indikators Phenolphthalein zugegeben wurden.

Beobachtung: Die Metallstücke formen sich zu Kugeln, fahren zischend auf der Wasseroberfläche hin und her und lösen sich auf, dabei hinterlassen sie Schlieren einer Lösung. Bei der Wiederholung färben sich diese Schlieren weinrot.

V5.12: Reaktion von Natriumhydroxid mit Eisen (Zink)

Problem: Lernende können aus den geschilderten Beobachtungen allein nicht schließen, wie die entstandene Lösung zusammengesetzt ist. Durch Eindampfen der Lösung erhält man zwar zunächst einen weißen Feststoff, es stellt sich allerdings die Frage, ob es Natriumoxid ist oder nicht. Nach Wecken dieser Fragestellung kann ein experimenteller Hinweis gegeben werden, indem der weiße Feststoff mit Zink- oder Eisenpulver umgesetzt und das Freiwerden von Wasserstoff beobachtet wird. Mit diesem Ergebnis ist die Vermutung hinsichtlich des Natriumoxids zu verwerfen und das Natriumhydroxid plausibel zu machen.

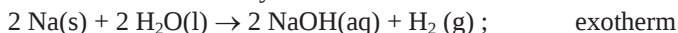
Material: Reagenzgläser, Reibschale mit Pistill, pneumatische Wanne, Glasrohr, Schlauch; Eisenpulver (F), Zinkpulver (F), Natriumhydroxid (Plättchen) (C).

Durchführung: Ein Teil der Lösung von V5.11 wird bis zur Trockne eingedampft. Ein Löffel Eisenpulver wird im Reagenzglas durch Erhitzen getrocknet. In der Reibschale ist der erhaltene weiße Feststoff (falls es zu wenig ist, wird ein Löffel Natriumhydroxid hinzugenommen) mit dem erkalteten getrockneten Eisenpulver zu verreiben. Einige Spatelspitzen des Gemischs sind ins Reagenzglas zu füllen, das durch einen Stopfen mit dem Gasableitungsrohr verschlossen ist. Dann wird kräftig erhitzt, das entweichende Gas pneumatisch aufgefangen, auf seine Brennbarkeit geprüft.

Beobachtung: Ein weißer Feststoff scheidet sich beim Eindampfen ab. Beim Erhitzen des Gemischs mit Eisenpulver entsteht ein Gas, es füllt pneumatisch das Reagenzglas. Es brennt beginnend mit einem Knall ruhig ab: Wasserstoff.

V5.13: Quantitative Natrium-Wasser-Reaktion

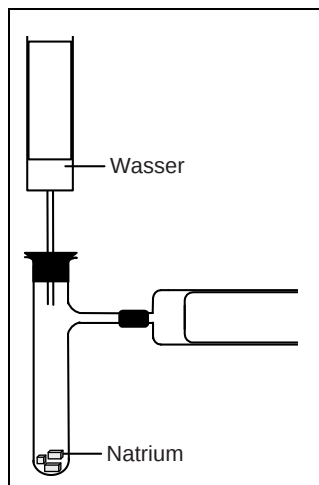
Problem: Aufgrund der Beobachtungen in V5.12 lautet die bisherige Hypothese in Form des Reaktionssymbols:



Um diese Hypothese experimentell zu prüfen, kann als Folgerung aus der Hypothese die Reaktion quantitativ durchgeführt werden und ein Stoffmengen-Vergleich stattfinden: Aus 2 mol H_2O -Molekülen sollte sich 1 mol H_2 -Moleküle ergeben. Dementsprechend ist eine bestimmte Wassermasse mit einem Überschuss an Natrium in der geschlossenen Apparatur umzusetzen. Die Schüler können diese Idee entwickeln, die notwendige Apparatur entwerfen und die Durchführung bzw. Auswertung des Experiments planen.

Material: Reagenzglas mit Seitenrohr, Stopfen mit durchgestoßener Nadel einer Glasspritze (1 mL), Kolbenprober; etwa 10 kleine, gut entrindete Natriumstücke (C/F).

Durchführung: In das Reagenzglas werden alle Natriumstücke gegeben, es wird mit dem leeren Kolbenprober verbunden (Bild). Die Glasspritze ist mit 0,15 mL Wasser zu füllen, mit Stopfen und Glasspritze die Apparatur zu verschließen. Das Wasser wird nach und nach zum Metall getropft, das Gemisch geschmolzen und bis zur Volumenkonstanz vorsichtig erhitzt. Entstandenes Wasserstoff-Luft-Gemisch wird aus dem Kolbenprober in ein Reagenzglas gefüllt und dort entzündet.



Beobachtung: Metall und Wasser reagieren unter Gasentwicklung. Nach dem Erhitzen haben sich etwa 95 mL Wasserstoff gebildet.

Hinweis: Das Reagenzglas enthält eine relativ große Portion Natrium, die nicht umgesetzt wurde. Sie ist mit einem Spatel in ein Becherglas zu überführen und unter dem Abzug mit Ethanol zu versetzen. Das Wasserstoff-Luft-Gemisch darf nicht im Kolbenprober gezündet werden: Knallgas!

V5.14: pH-Wert und Konzentration der entstandenen Natronlauge

Problem: Um etwa zu wissen, welcher pH-Wert und welche Konzentration für die bei V5.11 erhaltene Natronlauge vorliegt, kann man mit dem geeichten pH-Meter messen und die Lauge mit einer Säure-Maßlösung titrieren. Dazu werden beispielsweise 20 mL der Lauge in den Erlenmeyerkolben überführt, mit Farbindikator versetzt und gegen 0,1 molare Salzsäure titriert. Messwert und pH-Wert sind Daten, die verglichen und diskutiert werden können.

Material: pH-Meter, Bürette, Vollpipette (20 mL), Erlenmeyerkolben; verd. Natronlauge (C) (V5.11), Salzsäure-Maßlösung ($c = 0,1 \text{ mol/L}$), Universalindikator-Lösung (F).

Durchführung: Der pH-Wert der Natronlauge wird mit einem geeichten pH-Meter bestimmt. 20 mL Natronlauge werden in den Erlenmeyerkolben überführt, verdünnt und mit einigen Tropfen Indikatorlösung versetzt. Mit der Salzsäure wird bis zum Farbumschlag titriert.

Beobachtung: pH-Wert und Salzsäure-Volumen werden ermittelt, beide Messwerte interpretiert.

V5.15: Verdünnungsreihe zur Veranschaulichung von pH-Werten

Problem: Den in V5.14 erhaltenen pH-Wert können die Lernenden nicht ohne weiteres einordnen und mit der Konzentration der $\text{OH}^-(\text{aq})$ -Ionen in der Lösung korrelieren. Um diesen Zusammenhang zu veranschaulichen, wird eine 1-molare Natronlauge-Maßlösung vorgegeben und der pH-Wert 14 zugeordnet. Durch dreimaliges Verdünnen dieser Lösung um die Faktoren 1:10, 1:100 und 1:1000 und das Messen der pH-Werte 13, 12 und 11 wird der Faktor 10 in der Konzentration veranschaulicht, der dem Anstieg um eine pH-Einheit entspricht. Der in V5.14 gemessene pH-Wert ist nun ebenfalls anschaulicher, die Konzentration an $\text{OH}^-(\text{aq})$ -Ionen kann aus der hier vorliegenden Messreihe abgeschätzt werden.

Material: pH-Meter, drei Messzylinder (100 mL), Vollpipette (10 mL); Spezialindikator-Papier (zur Abschätzung von pH-Werten im Bereich 11–14), Natronlauge-Maßlösung ($c = 1 \text{ mol/L}$) (C).

Durchführung: Die Natronlauge-Maßlösung wird mit Indikatorpapier getestet. 10 mL Maßlösung werden in den ersten Messzylinder gegeben, mit Wasser auf genau 100 mL verdünnt und durch Umschütteln gut gemischt. Diese Lösung wird wiederum 1:10 und die entstehende nochmals 1:10 verdünnt. Alle Lösungen werden mit pH-Meter und Indikatorpapier geprüft, pH-Werte und Konzentrationen der Lösungen verglichen.

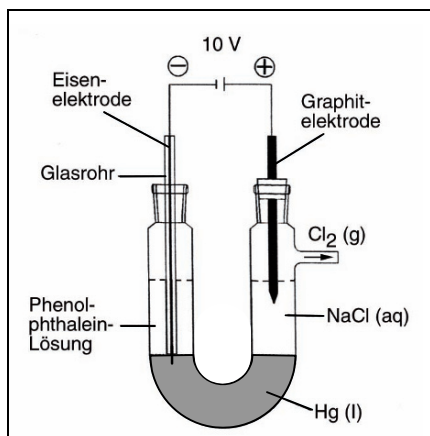
Beobachtung: Die pH-Werte lauten 14, 13, 12 und 11. Der pH-Wert verändert sich um eine Einheit, wenn um den Faktor 1:10 verdünnt wird.

V5.16: Modellexperiment zum Amalgamverfahren

Problem: Die Industrie hat das Amalgamverfahren entwickelt, um bei der Elektrolyse von billiger Steinsalz-Lösung reine, Natriumchlorid-freie Natronlauge zu erhalten. Bei der Elektrolyse wird das Natriumamalgam gebildet und im Gegenstrom mit Wasser wieder zersetzt. Bildung und Zersetzung der Natrium-Quecksilber-Legierung können im Modellexperiment simuliert werden (vgl. Bild).

Material: Stelltrafo, Eisen- und Graphitelektrode, Kabel und Krokodilklemmen, U-Rohr, Glasrohr, Sicherheitswanne; Quecksilber (T), Natriumchlorid, Phenolphthalein-Lösung (0,1%-ig in Ethanol) (F).

Durchführung: In das über der Sicherheitswanne eingespannte U-Rohr wird Quecksilber gefüllt (Bild). In einem Schenkel wird die im Glasrohr befindliche Eisenelektrode als Minus-Pol geschaltet und mit Phenolphthalein versetztes Wasser hinein gegeben. Der andere Schenkel wird mit konzentrierter Natriumchlorid-Lösung gefüllt und mit der Graphitelektrode versehen. Eine Gleichspannung von etwa 10 V wird angelegt.



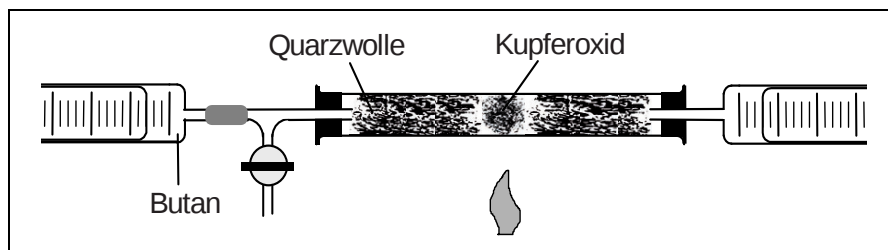
Beobachtung: Am Plus-Pol entsteht das charakteristisch riechende gelb-grüne Gas: Chlor. Am Minus-Pol färbt sich nach einigen Minuten die Indikatorlösung vom Quecksilber ausgehend weinrot, Gasbläschen steigen auf: Natronlauge.

Hinweis: Nach Dekantieren der wässrigen Lösungen wird die Natrium-Quecksilber-Legierung mit Wasser versetzt und stehen gelassen, bis die Entwicklung von Wasserstoff aufhört. Danach kann die wässrige Lösung dekantiert und das Quecksilber wieder in die Vorratsflasche zurück gegeben werden.

V5.17: Elementaranalyse nach Liebig

Problem: Natronlauge sowie Kalilauge und „Ätzkali“ spielten bei der historischen Verbrennungsanalyse eine große Rolle – insbesondere hat Liebig mit großem Erfolg den von ihm entwickelten „Kaliapparat“ eingesetzt, der gebildetes Kohlenstoffdioxid vollständig aus dem Gastrom absorbierte. Eine ähnliche Apparatur kann schematisch mit Verbrennungsrohr und zwei U-Röhren zur Absorption für den Nachvollzug dieses Analyseverfahrens demonstriert werden. Hier wird eine Version gezeigt, bei der gebildetes Kohlenstoffdioxid im Kolbenprober quantitativ aufgefangen, nicht aber Wasser nachgewiesen wird.

Material: Zwei Kolbenprober, Verbrennungsrohr mit in Quarzwolle eingeschlossenem Kupferoxid (Drahtform) (Xn), Verbindungsschläuche; Butangas (F⁺), Kalkwasser (Xi).



Durchführung: Ein Kolbenprober wird mit 20 mL Butangas gefüllt, die Apparatur zusammengesetzt und eingespannt (Bild). Das Kupferoxid wird kräftig mit der rauschenden Flamme erhitzt, darüber langsam – bis zur Volumenkonstanz – das Butangas hin und her geleitet. Das Volumen des entstandenen Gases wird abgelesen und das Gas durch wenig Kalkwasser geleitet.

Beobachtung: Das Kupferoxid wird zu rot glänzendem Kupfer. Es bilden sich etwa 80 mL eines farblosen Gases, die Prüfung mit Kalkwasser zeigt erwartungsgemäß Kohlenstoffdioxid an.

V5.18: Reaktion von Rohrreinigern des „NaOH-Al-Typs“

Problem: Um behandelte Sachverhalte zu Substanzen wie Alkalimetallhydroxide und Laugen sinnvoll zu wiederholen und zu vertiefen, kann die Badezimmerchemikalie „Rohrreiniger“ vorgestellt und untersucht werden. Bereits das Lesen des Etiketts verrät die Inhaltsstoffe Natriumhydroxid und Aluminium, man erkennt in der Tat silberfarbene Metallsplitter neben der bekannten weißen Substanz in körniger Form. Das Zusammengeben mit Wasser zeigt die stark exotherme und alkalische Reaktion, durch Hinzugeben von Papier ist auch die Zersetzungswirkung von heißer, konzentrierter Natronlauge anschaulich zu machen. Die Bildung eines Gases bei der Reaktion mit Wasser wird untersucht und dessen Funktion diskutiert: Es kann Wasserstoff sein, bei Anwesenheit von Natriumnitrat in dem Rohrreinigergemisch auch Ammoniak (vgl. Kap. 8).

Material: Rohrreiniger „Abflussfrei“ (NaOH-Al-Typ, (C)) o. ä., Reagenzgläser; Universalindikator-Papier, Salzsäure (C), Holzspan, Zeitungspapier.

Durchführung: Das Substanzgemisch wird optisch untersucht, weißes Pulver von Metallsplittern getrennt. Das Pulver wird in Wasser gelöst, die Lösung mit Indikatorpapier getestet. Das Metall wird in Salzsäure gegeben, das entstehende Gas mit einem zweiten Reagenzglas aufgefangen und mit einem brennenden Holzspan auf Wasserstoff geprüft. Das Gemisch wird mit wenig Wasser versetzt und beobachtet. In die konzentrierte Lösung wird Zeitungspapier gegeben.

Beobachtung: Die Lösung färbt Indikatorpapier tief blau, das Metall löst sich unter Bildung eines farblosen Gases, das an der Luft mit einem Pfeifgeräusch verbrennt: Wasserstoff. Das Gemisch reagiert mit Wasser unter Gasbildung. Die konzentrierte Lösung zersetzt Zeitungspapier.

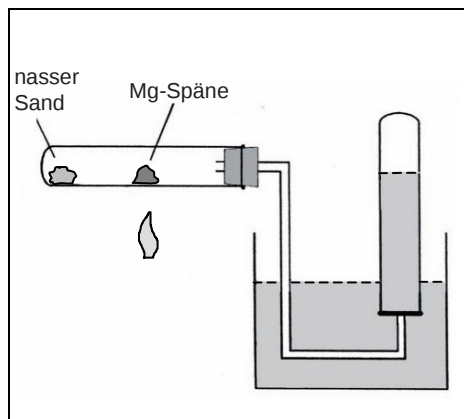
V5.19: Reaktion von Erdalkalimetallen mit Wasser

Problem: Es kann zum Lernerfolg geprüft werden, inwieweit die Schüler die bekannten Reaktionen der Alkalimetalle mit Wasser auf die ähnlichen Reaktionen von Magnesium und Calcium mit Wasser zu übertragen vermögen. Die Bildung von Hydroxiden und Wasserstoff ist bekannt, allerdings fallen die festen Hydroxide in Form von Suspensionen an. Bei der Formulierung der Reaktionssymbole ist die Zusammensetzung $\text{Me}(\text{OH})_2$ zugrunde zu legen.

Material: Glaswanne, Standzylinder, Ableitungsrohr, schwer schmelzbares Reagenzglas, Magnesiumrinne, Reagenzgläser, durchbohrter Stopfen, Glasrohr; Universalindikator-Papier, Magnesiumspäne (F), Calciumspäne (F), Sand

Durchführung: Das schwerschmelzbare Reagenzglas wird mit einem Löffel nassen Sand versehen und waagrecht eingespannt. Im mittleren Teil des Reagenzglases wird die Magnesiumrinne mit Magnesiumspänen gefüllt, das Glas mit Stopfen und Ableitungsrohr verschlossen (Bild). Das Metall wird kräftig erhitzt, dann durch Erwärmen des Sandes Wasserdampf darüber geleitet. Das sich bildende Gas wird pneumatisch aufgefangen, später entzündet. Nach der Reaktion wird der Stopfen entfernt, um ein Zurücksteigen des Sperrwassers zu vermeiden.

Calcium wird im Reagenzglas mit Wasser versetzt, während der Reaktion ein zweites Reagenzglas mit der Öffnung nach unten darüber gehalten. Die milchige Suspension des ersten Glases wird mit Indikatorpapier geprüft, die Öffnung des zweiten Glases einer Flamme genähert: Vorsicht, Knall.



Beobachtung: Das Magnesium reagiert in der Hitze unter hellem Aufleuchten, eine rasche Gasentwicklung beginnt, der Standzylinder füllt sich, das Gas verbrennt mit einem Pfeifton: Wasserstoff-Luft-Gemisch.

Das Calcium reagiert bereits bei Zimmertemperatur zu einer Lösung, die alkalisch reagiert: Calciumhydroxid-Lösung („Kalkwasser“). Es entsteht ebenfalls festes, weißes Calciumhydroxid und bildet die milchige Suspension. Das beobachtete Gasgemisch verbrennt mit dem bekannten Pfeifton: Wasserstoff.

V5.20: Schülerexperimente zur Lithium-Wasser-Reaktion

Schülerarbeitsblatt „Die Reaktion von Lithium mit Wasser“

Problem: Wie lässt sich die Reaktion der Alkalimetalle mit Wasser erklären?

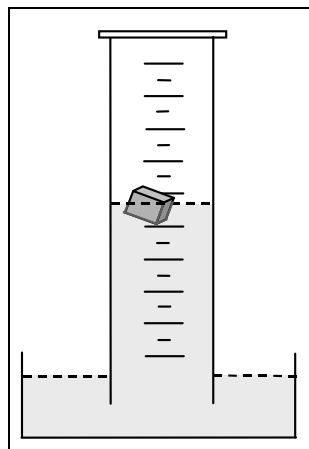
Arbeitsmaterial pro Gruppe: Bechergläser, Glasschale, kleiner Standzylinder mit Deckglas, Pinzette; 3 Stücke Lithium (C/F), Universalindikator-Papier, Phenolphthalein-Lösung (0,1%-ig in Ethanol) (F), Streichhölzer

SCHUTZBRILLE AUFSETZEN!!!

Versuch 1: Fülle die Glasschale halb voll Wasser und wirf eines der Lithiumstücke hinein (nur mit der Pinzette anfassen!). Notiere deine Beobachtungen!

Versuch 2: Du hast bei Versuch 1 eine Gasentwicklung festgestellt: Es wird vermutet, dass das entstandene Gas Wasserstoff ist. Versuche den Wasserstoff aufzufangen und nachzuweisen. Dazu spüle die Glasschale aus und fülle sie halb mit Wasser. Dann fülle den Standzylinder randvoll mit Wasser, verschließe ihn mit dem Deckglas, halte die Platte fest darauf, drehe ihn um und tauche ihn so in die Schale ein, dass sich die Öffnung unter der Wasseroberfläche befindet. Nun ziehe das Deckglas weg.

Nimm das zweite Lithiumstück mit der Pinzette, halte es unter die Öffnung des Standzylinders und lass es im Standzylinder nach oben gleiten. Decke nach Beendigung der Reaktion den Standzylinder unter Wasser mit der Glasplatte ab (fest andrücken!), nimm ihn aus der Schale heraus und drehe ihn wieder um. Entzünde das Gas! Notiere Deine Beobachtungen!



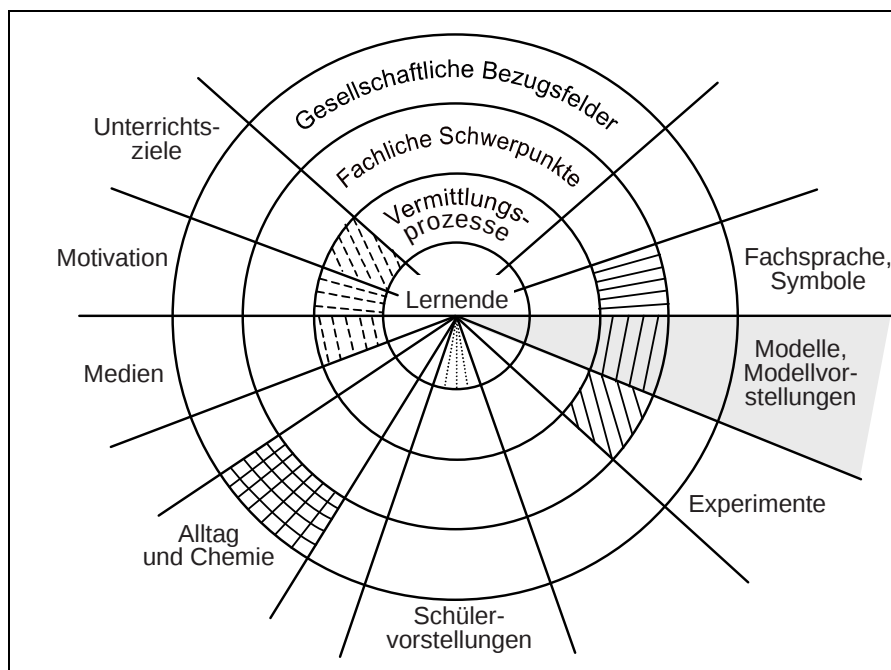
Versuch 3: Die entstandene Lösung heißt Lithiumlauge. Laugen können mit Indikatorpapier erkannt werden. Prüfe reines Wasser und Lithiumlauge mit Indikatorpapier, indem du es jeweils kurz eintauchst, herausnimmst und mit der Skala vergleichst. Notiere die beiden pH-Werte.

Versuch 4: Ein weiterer Indikator, der Lithiumlauge anzeigen kann, ist Phenolphthalein-Lösung. Tropfe einige Tropfen in reines Wasser und in die Lauge. Notiere die Beobachtungen.

Versuch 5: Spüle die Schale aus, fülle sie halb voll mit Wasser und füge einige Tropfen Phenolphthalein-Lösung hinzu. Wirf das dritte Lithiumstück hinein. Notiere deine Beobachtungen.

Aufgabe: Erkläre alle Beobachtungen. Notiere Reaktionssymbole in Worten und in Formeln! Zeichne Deine Teilchenvorstellung auf!

6 Modelle, Modellvorstellungen



In San Diego / Kalifornien war ich eingeladen, um einen Lichtbildervortrag über Deutschland zu halten. In einem Bildband „Germany“ fand ich eine Menge schöner Ansichten, auch zum bekannten Schloss Neuschwanstein bei Füssen in Bayern. Da es die Amerikaner mögen, projizierte ich dieses Bild als erstes. Sobald es zu sehen war, unterbrach mich eine Dame laut: „Beautiful – like the castle in our Disneyland“. Ich wollte korrigieren: „In Disneyland you’ll find a copy of the castle – this photo shows the original near Füssen in Bavaria“ – aber die Dame hörte gar nicht zu. Der Unterschied von Original und Modell war ihr nicht so wichtig!

Im genannten Beispiel sind Original und beide Modelle prinzipiell zu vergleichen: Sowohl das Foto des Schlosses als auch das Modellschloss in Disneyland können mit dem bayerischen Original Detail für Detail verglichen werden. In den Naturwissenschaften sind Modelle zu chemischen Strukturen oder Teilchen nicht mit den submikroskopischen Originalen zu vergleichen, weil diese grundsätzlich nicht – weder mit der Lupe noch mit dem Mikroskop – zu sehen sind.

Da Teilchen nicht sichtbar sind, versuchte man zu allen Zeiten, passende Modellvorstellungen zu entwerfen. So hatte Lémery im 17. Jahrhundert zur Wirkung von Säuren modellmäßig folgende Teilchenvorstellung:

„Man kann eine verborgene Sache nicht besser erklären, als wenn man ihren Theilchen, daraus sie bestehen, solche Figuren, die mit ihren Würckungen übereinstimmen, zumisset: so will ich sagen, es bestehen die säuerliche Schärfe eines flüssigen Dinges in den spitzigen Theilchen, welche in Bewegung sind: und verhoffentlich wird mich niemand überreden wollen, es habe das Acidum keine Spitzen, dieweil dies alle Experienz bezeuget: denn es verursacht auf der Zunge solche Stiche, die entweder gantz gleich oder doch sehr nahe an denen kommen, welche man von gantz scharff zugespitzten Materialien empfängt“ [1].

Lémery hatte Säure-Teilchen nie sehen können, erlag aber der Versuchung, durch spekulative Übertragung makroskopischer Eigenschaften die zitierte Modellvorstellung zu entwerfen.

Trotzdem haben Modelle und Modellvorstellungen eine große Bedeutung für das Verständnis der Naturwissenschaften, insbesondere der Chemie. Eine der Grundfragen der Chemiedidaktik betrifft deshalb den naturwissenschaftlichen Modellbegriff und wie er Lernenden zu vermitteln ist. Um den Begriff optimal zu erfassen, sollen zunächst allgemeine Merkmale von Modellen zu Grunde gelegt und später auf naturwissenschaftliche Modelle übertragen werden.

Hauptmerkmale des Modellbegriffs. Nach einer empirischen Analyse des allgemein verwendeten Modellbegriffs unterscheidet Stachowiak [2] drei grundsätzliche Merkmale.

- *Abbildungsmerkmal:* „Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen und damit Repräsentationen gewisser natürlicher oder künstlicher Originale“.
- *Verkürzungsmerkmal:* „Modelle erfassen nicht alle Eigenschaften des durch sie repräsentierten Originalsystems, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und -benutzern relevant scheinen“.
- *Subjektivierungsmerkmal:* „Modelle erfüllen ihre Repräsentations- und Ersetzungsfunktion immer nur für bestimmte Subjekte unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen und innerhalb bestimmter Zeitspannen“.

Nimmt man als Beispiel das Foto des Schlosses Neuschwanstein, so bildet es das Gebäude und die umgebende Landschaft mit Feldern, Bäumen, Wegen und Bergen im Hintergrund verkleinert ab: das *Abbildungsmerkmal* ist erfüllt. Einige von vielen Verkürzungen des Originals sind die fehlende räumliche Dimension, das nicht vorhandene Spiel von Licht und Schatten auf Mauern und Fenstern des Schlosses oder das Fehlen der Bewegungen von Bäumen und Ästen im Wind: *Verkürzungsmerkmal*. Die spezifische Ansicht des Schlosses auf dem Foto oder der Ausschnitt aus der Landschaft werden vom Fotografen jeweils seinen Zwecken entsprechend subjektiv ausgewählt: *Subjektivierungsmerkmal*.

Legt man das Säure-Modell des Herrn Lémery zu Grunde, so sieht man die Absicht, mit den Spitzen die Wirkung von Säure-Teilchen *abzubilden*. In seiner Vorstellung *verkürzt* er das Modell allerdings auf die generelle Wirkung aller Säuren und differenziert die verschiedenen Säuren nicht (unsere heutigen Modelle und Symbole vermögen das!). Die Form einer Spitze als Modell für das Säure-Teilchen ist von ihm völlig *subjektiv* gewählt worden.

6.1 Fachliche Schwerpunkte – Modelle und deren Funktionen

Die Chemie fand als Wissenschaft Anerkennung und Erfolg, als sie das Stadium der Probierkunst in der Alchemie des Mittelalters überwand und über Laborexperimente zur bloßen Beschreibung von Substanzen hinaus *erste Modellvorstellungen zum Aufbau der Stoffe* im 18. und 19. Jahrhundert entwickelte. Exemplarische Stationen der Erkenntnis sind die Folgenden:

Dalton postulierte im Jahr 1808, dass es so viele Atomarten wie Elemente gibt, und schlug die erste Atommassentabelle vor, die im folgenden Jahrzehnt vor allem von *Berzelius* korrigiert und erweitert wurde. Durch den Vergleich von experimentell ermittelten Massenverhältnissen in Substanzen und den Atommassen ist die empirische Analyse möglich geworden und führte zur Erkenntnis der Zusammensetzung vieler Stoffe (empirische Formeln).

Kekulé leitete 1865 aus seinen Erfahrungen die Valenzlehre ab: Mit der Vierbindigkeit bzw. mit dem Tetraedermodell des Kohlenstoff-Atoms schuf er erste Vorstellungen von Molekülstrukturen. Mit diesen Modellvorstellungen wurde es möglich, die Struktur vieler Moleküle vorauszusagen, im Experiment zu bestätigen und gezielte Synthesen neuartiger Substanzen zu planen.

Laue erkannte 1912 durch die Beugung eines ausgeblendeten Röntgenstrahls an Kristallen die dreidimensionale Struktur von Kristallgittern und schuf damit diesbezügliche Strukturvorstellungen. Alle folgenden, darauf basierenden Strukturuntersuchungen lieferten Modelle vom Aufbau vieler kristalliner Substanzen, die die Synthesen weiterer neuer Substanzen ermöglichten. Die genannten Sachverhalte werden in den Kapiteln 16 und 18 sehr ausführlich dargestellt.

6.1.1 Modellbegriff und Erkenntnis in den Naturwissenschaften

Der Modellbegriff und damit verknüpfte Erkenntnisprozesse lassen sich an folgendem Schema von Steinbuch [3] nachvollziehen (vgl. Abb. 6.1):

„Irgendein komplexer Sachverhalt der *Realität*, ein *Original*, wird durch Vermittlung der Wahrnehmung in ein *abstraktes* Modell, ein *Denkmodell* abgebildet, in dem nur das ‚Wesentliche‘ benutzt wird, das im gegebenen Zusammenhang Relevante. Diesem werden hierzu gewisse Informationen, zum Beispiel allgemein anerkannte Gesetze der Logik oder Physik, hinzugefügt. Es steht damit dem *Bewußtsein* ein Denkmodell für zukünftige Denkprozesse zur Verfügung. Dieses abstrakte Denkmodell kann zwecks Veranschaulichung in die Realität zurückprojiziert werden durch den Bau eines *konkreten Anschauungsmodells* oder auch durch künstlerische Darstellung. Diese enthalten aber unvermeidbar irrelevantes Beiwerk, also solches, das das darzustellende Denkmodell nicht enthält“.

Dieses „Denken in Modellen“ lässt sich auf *Laue's* Erkenntnisweg übertragen (vgl. Abb. 6.2): Das *Interferenzmuster* (Original), das durch das *Laue-Experiment* am Salzkristall entsteht, wird als das Wesentliche durch das „Sieb“ hindurchgelassen. Interferenzen von Licht an zweidimensionalen Beugungsgittern und deren Berechnungen sind bekannt (Zusatzinformationen).

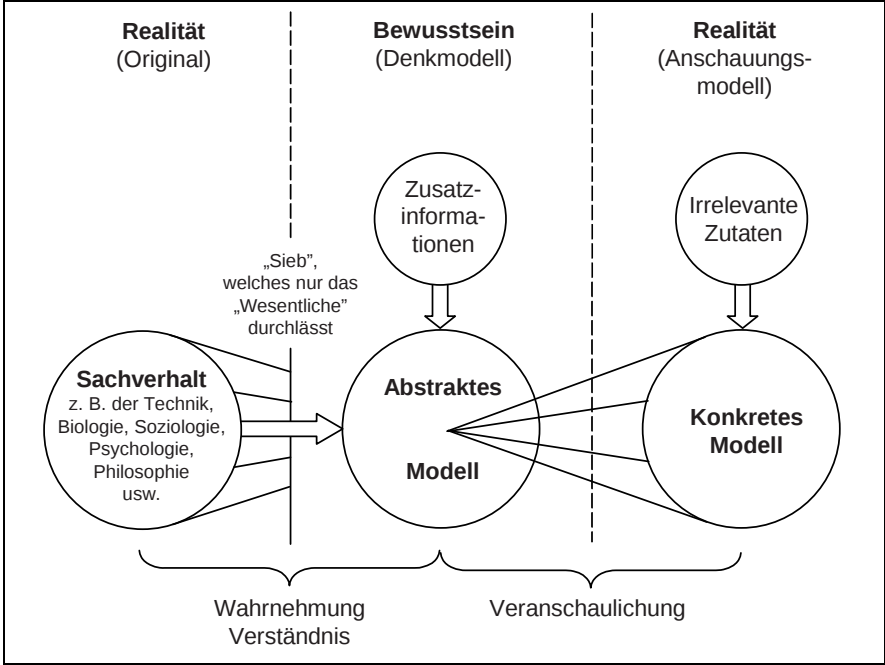


Abb. 6.1: Schema „Denken in Modellen“ nach Steinbuch [3]

Sie werden den Berechnungen dreidimensionaler Beugungsgitter zu Grunde gelegt – es resultiert als Ergebnis eine Modellvorstellung für den räumlich symmetrischen Aufbau des Kristalls aus Teilchen, die als *Beugungszentren* für den Röntgenstrahl wirken (abstraktes Denkmodell). Man kann zur Veranschaulichung des Denkmodells irrelevante Zutaten wie Kugeln, Stäbe und Klebstoff verwenden, um konkrete *Kugelpackungs- oder Raumgittermodelle* zu konstruieren (Anschauungsmodelle). Kapitel 16 erläutert diesen Sachverhalt ausführlicher.

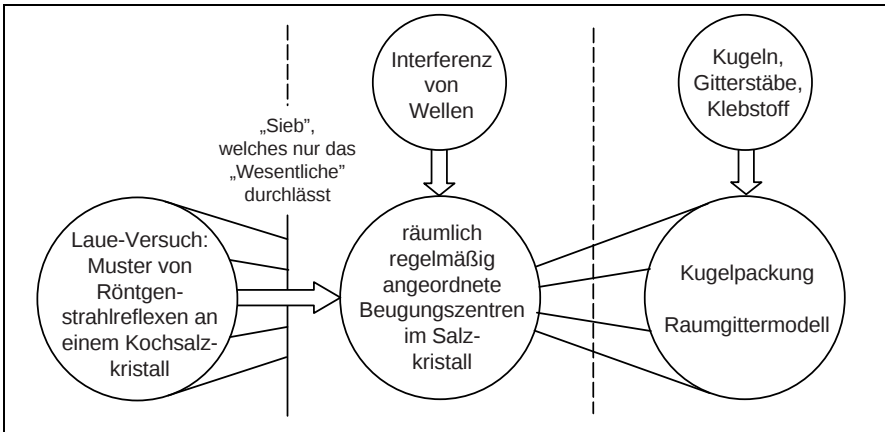


Abb. 6.2: Schema „Denken in Modellen“, angewendet auf Laue's Erkenntnisweg (Kap. 16)

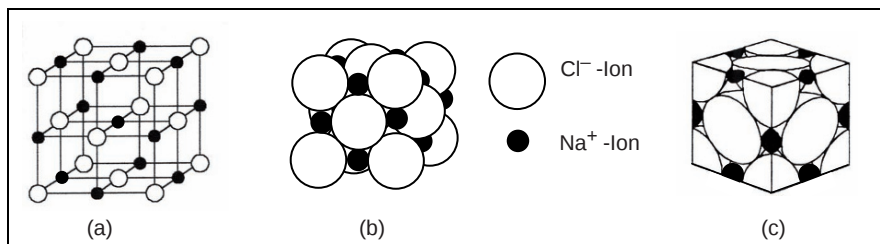


Abb. 6.3: Raumgitter, Kugelpackung und Elementarzelle der Natriumchlorid-Struktur

Die resultierenden Anschauungsmodelle zur Struktur von Kristallen können neben Raumgittermodellen und Kugelpackungen auch daraus ableitbare Elementarzellen sein. Am Beispiel der bekannten Natriumchlorid-Struktur seien die drei Typen von Modellen in Abbildung 6.3 gezeigt.

Der *Erkenntnisprozess durch Modelle* wird auch von Kircher formalisiert [4], sein Schema sei am Natriumchlorid-Kristall und entsprechenden Modellen erläutert (vgl. Abb. 6.3 und 6.4):

- Das Original **O** sei ein natürlicher Steinsalzkristall mit gut ausgebildeter würfelförmiger Form, mit glatten Flächen, geraden Kanten und rechten Winkeln.
- Als Modell **M** wird die Kugelpackung gewählt (vgl. (b) der Abb. 6.3), in der die Chlorid-Ionen durch die großen Kugeln und die Natrium-Ionen durch die kleinen Kugeln dargestellt werden.
- Der Schüler oder das Subjekt **S** kann nun das Original **O** durchschauen, indem das Modell **M** zur Erkenntnis mit heran gezogen wird – das Kugelpackungsmodell wird so zum Vermittler zwischen dem Subjekt **S** und Original **O**:

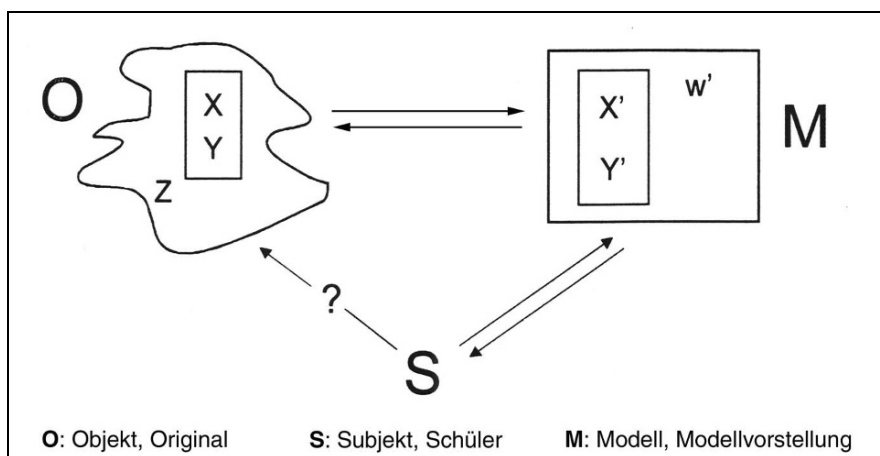


Abb. 6.4: Schema zum Erkenntnisprozess durch Modelle nach Kircher [4]

1. Es gibt *Eigenschaften* x und y des Kristalls, die im Modell entsprechende Modelleigenschaften x' und y' besitzen. Wenn etwa x für die räumliche Anordnung der Natrium- und Chlorid-Ionen im Kristall gewählt wird, so stellt x' eine entsprechende Anordnung der großen und kleinen Kugeln mit der Koordinationszahl 6 im Modell dar. Repräsentiert y das Radienverhältnis der beiden Ionenarten im Natriumchlorid-Kristall, so ist mit y' das entsprechende Größenverhältnis der gewählten Kugeln im Kugelpackungsmodell gemeint. x und y stellen die durch das Modell abgebildeten Parameter dar, die nach Stachowiak die *Abbildungsmerkmale* sind oder nach Steinbuch das Wesentliche ausmachen, das vom „Sieb“ durchgelassen wird.
2. Es gibt die *Eigenschaft* z im Original, die keine Entsprechung im Modell findet. So kann etwa der salzige Geschmack des Kristalls nicht im Modell wiedergegeben werden, das Modell ist um diese Eigenschaft verkürzt: *Verkürzungsmerkmal* nach Stachowiak. Weitere solcher Verkürzungen sind Dichte oder Schmelztemperatur des Kristalls – allerdings hatte der Modellbauer auch nie die Absicht, solche Originaleigenschaften auf das Modell zu übertragen.
3. Es kann die *Eigenschaft* w' im Modell geben, die keine Entsprechung im Original findet. So ist etwa die Wahl der Farben – beispielsweise weiß für die großen Kugeln und schwarz für die kleinen Kugeln – eine Modelleigenschaft, die völlig irrelevant ist und subjektiv vom Modellbauer entschieden wird: *Irrelevante Zutaten* nach Steinbuch. Weitere solcher irrelevanten Zutaten sind Modellmaterialien wie Holz, Zellstoff oder Styropor und Haftstoffe zwischen den Kugeln wie Klebstoff oder Klettenband.

Das *Raumgitter-Modell* (vgl. (a) der Abb. 6.3) weist als Abbildungsmerkmal ausschließlich die kubische Anordnung der Ionen im Kristall aus, allerdings zeigt es durch die Möglichkeit, in das Modell hineinsehen zu können, eine bessere Anschaulichkeit der Koordinationszahlen 6. Die Verbindungsstäbe zwischen den Kreuzungspunkten sind nur für den Modellbau erforderlich, bezüglich des Originals sind sie völlig irrelevante Zutaten und haben keine Abbildungsfunktion.

Das *Modell der Elementarzelle* (vgl. (c) der Abb. 6.3) weist drei Abbildungsmerkmale auf: die kubische Struktur des Ionengitters, das Größenverhältnis der Ionen und das zutreffende Anzahlenverhältnis der Ionen. Zählt man alle Teilstücke der großen und kleinen Kugeln des Modells zusammen, so erhält man 4 große und 4 kleine Kugeln. Auf das Original übertragen wird ein Aggregat aus 4 Na^+ -Ionen und 4 Cl^- -Ionen dargestellt, dem das Symbol $\{(\text{Na}^+)_4(\text{Cl}^-)_4\}$ entspricht.

Die Elementarzelle mit diesem Symbol kann als *kleinste Einheit der NaCl-Struktur* aufgefasst werden – wie etwa das $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ -Molekül als kleinste Einheit des Ethanols gilt (vgl. Kap. 7). Aus $\{(\text{Na}^+)_4(\text{Cl}^-)_4\}$ lassen sich Symbole wie $\{(\text{Na}^+)_1(\text{Cl}^-)_1\}$ oder $(\text{Na}^+)(\text{Cl}^-)$ oder gar NaCl ableiten – all diese Symbole stellen auch verkürzte Modelle der NaCl-Struktur dar.

6.1.2 Denkmodelle in der Chemie

In der Fachwissenschaft werden Denkmodelle ständig durch neue Erfahrungen verändert, sodass es für einen größeren Zeitraum kaum möglich ist, *das* aktuelle Atommodell oder *das* aktuelle Modell zur chemischen Bindung anzugeben.

Quantenmechanisches Atommodell. Der Aufbau der Elektronenhülle des Atoms oder Ions wird durch die Hauptquantenzahl n („K-, L-Schale“) beschrieben, durch die Nebenquantenzahl l (s-, p-, d- und f- „Unterschalen“), durch die Magnetquantenzahl m und die Spinquantenzahl s . Maximal zwei Elektronen unterschiedlichen Spins können eine gemeinsame Elektronenwolke, ein *Orbital* bilden (Pauli-Prinzip). Ausgehend vom Welle-Teilchen-Dualismus wurden Wellenfunktionen entwickelt, die Aussagen über Energieverhältnisse und Elektronenaufenthaltswahrscheinlichkeiten machen (Schrödinger-Gleichung). Die Verknüpfung von Wellenfunktionen führt zur Beschreibung von Atomen durch Atomorbitale, von Molekülen durch Molekülorbitale – entsprechend können Elektronenpaarbindungen in Molekülen mathematisch erfasst werden.

Historische Modelle zum Aufbau des Atoms. In der Lehre bzw. im Unterricht des Faches Chemie werden aus didaktischen Gründen häufig historische Modelle verwendet, etwa das

- Masse-Modell (Dalton, 1808),
- Masse-Ladungs-Modell (Thomson, 1897),
- Kern-Hülle-Modell (Rutherford, 1911),
- Schalenmodell der Elektronenhülle (Bohr, 1913),
- Elektronenwolkenabstoßungsmodell (Gillespie, Kimball, 1966).

Modelle zur chemischen Bindung. Diesbezügliche Modellvorstellungen sind aus zwei Blickwinkeln zu betrachten:

1. Die *Wirkungen* von Bindungskräften in den Raum sind durch Modellmaterial anschaulich zu machen, indem
 - a) *gerichtete* Bindekräfte, die in bestimmte Richtungen des Raumes wirken, durch Druckknöpfe oder Stäbe dargestellt werden,
 - b) *ungerichtete* Bindekräfte, die gleichmäßig symmetrisch um ein Teilchen herum wirken, durch „nackte“ Kugeln symbolisiert werden.
2. Die *Art* der Kräfte ist unanschaulich und wird in der Regel durch mathematische Modelle anhand der Verteilung der Elektronendichte beschrieben. Man unterscheidet folgende *Grenzfälle der chemischen Bindung*:
 - Elektronenpaarbindung (kovalente Bindung, Atombindung),
 - Ionenbindung (ionische Bindung, Ionenbeziehungen),
 - Metallbindung (metallische Bindung),
 - Wasserstoffbrückenbindung (Wasserstoffbindung) und
 - van-der-Waals-Kräfte (zwischenmolekulare Kräfte).

Modelle zur chemischen Struktur. Die mathematische Erfassung von Atombau und chemischer Bindung ist oft nur Mittel zum Zweck, Aussagen zur chemischen Struktur zu erhalten. Auf dieser Grundlage ist es das Ziel vieler Verfahren der

instrumentellen Analytik, die Anordnung von Atomen oder Ionen in vorgegebenen Stoffen aufzuspüren und zu beschreiben. Aus den ermittelten Strukturen leiten sich als Verkürzungen die *Struktursymbole* ab.

Grenzfälle von chemischen Strukturen lassen sich folgendermaßen skizzieren:

- Molekül-Struktur
(Angabe von Atomarten, Bindungslängen und Bindungswinkel),
- Atomgitter-Struktur
(Angabe der Atomarten und Gitterkonstanten, Elementarzelle),
- Metallgitter-Struktur
(Angabe der Atomarten und Gitterkonstanten, Elementarzelle),
- Ionengitter-Struktur
(Angabe der Ionenarten und Gitterkonstanten, Elementarzelle),
- Molekülgitter-Struktur
(Angabe der Molekülarten und Gitterkonstanten, Elementarzelle).

Modelle zur chemischen Reaktion. Teilchenumgruppierungen bei chemischen Reaktionen werden sowohl durch *Modellvorstellungen* als auch verkürzt durch *Reaktionssymbole* beschrieben:

- Atom-Umgruppierungen bei Reaktionen von Metallen zu Legierungen,
- Ionen-Umgruppierungen bei Hydrations- und Fällungsreaktionen,
- Protonenübertragungen bei Säure-Base-Reaktionen,
- Elektronenübertragungen bei Redoxreaktionen,
- Ligandenübertragungen bei Komplexreaktionen,
- Additions-, Substitutions- und Eliminierungsreaktionen, u. a.

6.1.3 Anschauungsmodelle in der Chemie

Meistens arbeitet man in der Chemie mit abstrakten Denkmodellen. Sobald es gewünscht ist, werden aus didaktischen Gründen passende Anschauungsmodelle entwickelt (vgl. Abb. 6.2): Beispielsweise lassen sich hinsichtlich vieler Denkmodelle zur *chemischen Struktur* konkrete Anschauungsmodelle bauen, etwa zu Molekül- und Kristallgitterstrukturen.

Modelle zu Molekülstrukturen. Die räumliche Anordnung von Atomen in einem Molekül wird mit Hilfe von Raumkoordinaten, Bindungslängen und Bindungswinkeln angegeben, die im Labor experimentell zu ermitteln sind. Die Veranschaulichung ist auf verschiedene Weise möglich (vgl. Abb. 6.5):

- *Kalottenmodell:* Die Raumerfüllung durch die Atome wird berücksichtigt, Atomkalotten werden gemäß der Bindungslängen und -winkel zum Molekülmodell zusammengefügt (a),
- *Kugel-Stab-Modell:* Verwendete Kugeln für die Atomsorten sind alle gleich groß und farbig, sie werden durch Verbindungsstäbe oder Druckknöpfe zusammengehalten (b),
- *Stabmodell:* Es werden keine Kugeln verwendet, sondern nur Stäbe in sachgemäßer Länge und mit zutreffenden Winkeln zueinander (c).

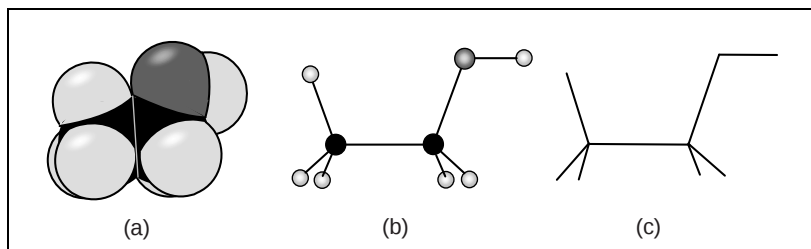


Abb. 6.5: Kalottenmodell, Kugel-Stab- und Stabmodell zur Struktur des $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ -Moleküls

Modelle zu Kristallgitterstrukturen. Fachlich wäre jeweils das Modell zur Elementarzelle einer jeden Struktur ausreichend und der Experte könnte sich daraus die gesamte Struktur ableiten. Um für Lernende anschaulich vorzugehen, werden zunächst bestimmte Gitterausschnitte gewählt und durch Modelle wie Raumgitter oder Kugelpackungen dargestellt (vgl. Abb. 6.3):

- *Raumgittermodell:* gleichgroße Kugeln – ggf. verschiedener Farbe – werden durch Verbindungsstäbe mit Nachbarkugeln verbunden, bis der gewünschte Ausschnitt aus der Struktur erreicht ist – etwa der der Elementarzelle entsprechende Ausschnitt (a),
- *Kugelpackungsmodell:* das Größenverhältnis der beteiligten Atom- oder Ionenarten wird berücksichtigt, die Kugeln werden nach bekannten Strukturparametern fest verklebt oder aufeinander aufgeschichtet, bis sich der gewünschte Ausschnitt – etwa der Elementarwürfel – zeigt (b),
- *Elementarzelle:* sie wird aus dem entsprechenden Elementarwürfel-Modell abgeleitet und gewährleistet ein zutreffendes Zahlenverhältnis der Atome oder Ionen (c), durch gedankliche Translation in alle drei Raumrichtungen kann man beliebig große Strukturausschnitte erhalten,
- *3D-Zeichnung:* Rot-Grün-Zeichnungen werden mit der entsprechenden Rot-Grün-Brille fixiert und räumlich interpretiert [5]. Solche Zeichnungen werden in Kapitel 14 angeboten.

Neben den allseits bekannten Molekülbaukästen gibt es verschiedene Baukästen, die den Bau und Vergleich von Kugelpackungen ermöglichen:

- „Strukturen von Metallen“ (vgl. Abb. 6.6): Dieser Baukasten erlaubt es, die drei Grundstrukturen der Metalle in Form von Kugelpackungen mit Holzkugeln ($\varnothing$ 3 cm) nachzubauen,
- „Modellbausatz zur Kristallgitterstruktur“ (vgl. Abb. 6.7): Eine Kunststoff-Grundplatte mit Vertiefungen im Dreiecksmuster erlaubt das Aufschichten von Kunststoffkugeln ($\varnothing$ 1 cm),
- „Solid-State Model Kit“ (vgl. Abb. 6.8): Grundplatten mit Bohrungen verschiedener Muster sind geeignet, Stifte aufzunehmen, auf die man durchbohrte Glaskugeln verschiedener Durchmesser schichten kann.

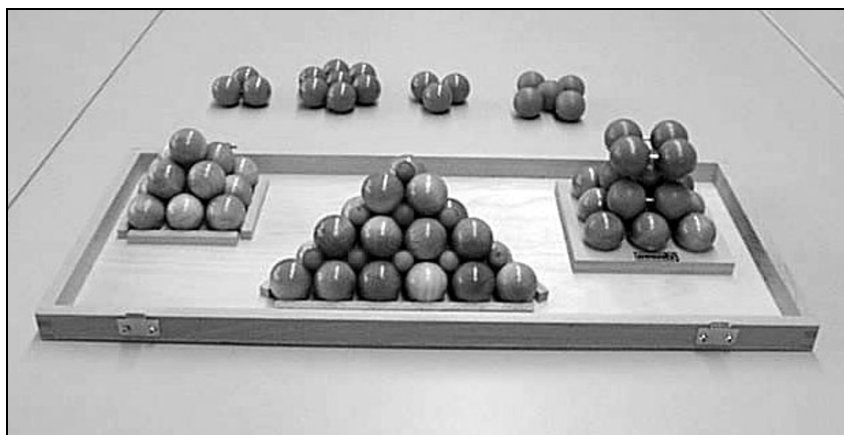


Abb. 6.6: Baukasten „Strukturen der Metalle“ der Firma GEOMIX [6]

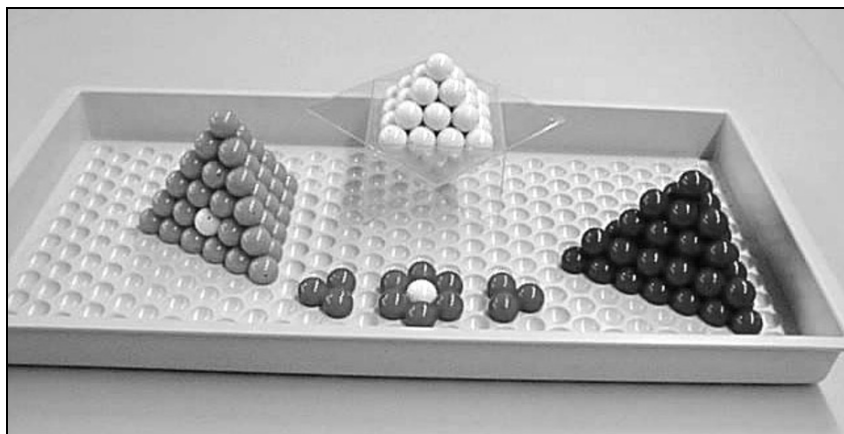


Abb. 6.7: „Modellbausatz zur Kristallgitterstruktur“ der Firma LEYBOLD [7]

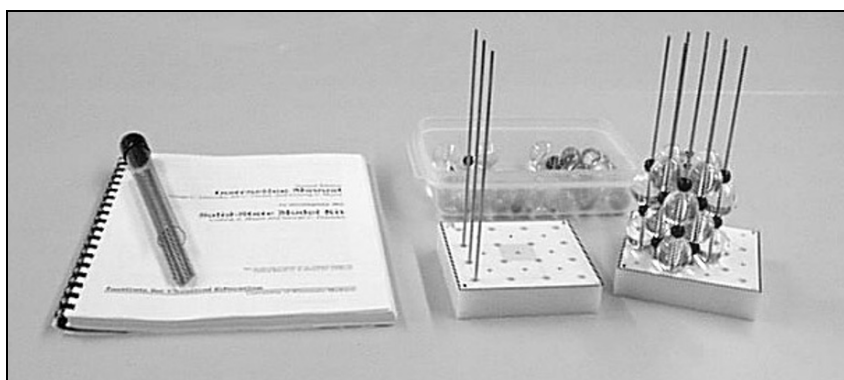


Abb. 6.8: „Solid-State Model Kit“ des Inst. for Chem. Education, Univ. of Madison [8]

6.2 Vermittlungsprozesse

– Modelle und deren fachdidaktische Funktionen

Im Bereich der Naturphänomene haben Schüler und Schülerinnen bereits viele Erfahrungen gesammelt, dieser Bereich ist anschaulich für sie. Deshalb mögen sie meist auch den Anfangsunterricht in den Fächern Biologie, Chemie, Geographie und Physik: Sie bleiben im vertrauten Bereich der direkten Anschauung und der erfahrbaren Phänomene.

Sobald im Chemieunterricht Formeln und Reaktionssymbole behandelt werden, lässt das Interesse an der Chemie nach: Das Fach wird unanschaulich und deshalb schwer verstehbar. Ein Grund ist, dass Formeln und Gleichungen zu den *abstrakten Denkmodellen* gehören (vgl. Abschn. 6.1).

Es ist für den Vermittlungsprozess dementsprechend zu fragen, welche Anschauungsmodelle wie Molekülmodelle, Kugelpackungen und Raumgitter zur chemischen Struktur einsetzbar sind, ehe die Denkmodelle hinzukommen. Alle Bindungsmodelle oder Modelle zum Aufbau des einzelnen Atoms sind abstrakte Denkkonstrukte – ihre Behandlung muss solange zurückstehen, bis mit den anschaulichen Strukturmodellen ein erstes Verständnis zur Struktur der Stoffe erreicht worden ist: Erst die chemische Struktur, dann die chemische Bindung!

Allerdings wird von manchen Chemie- und Physikdidaktikern die Anschaulichkeit von Teilchenmodell und Kugelmodell für chemische Strukturen sehr kritisch betrachtet. So bezeichnet Buck [9] die Teilchenvorstellung als „Unmodell“ und wendet sich gegen die üblichen Darstellungen von Kreisen oder Kugeln und deren Anordnungen zur Veranschaulichung der Aggregatzustände oder Lösungen:

„Die Kugeln dürften wir gar nicht zeichnen, wir haben es eigentlich mit Kraftzentren zu tun. ... Lehrer und Autoren, die es wissen müssten, nehmen problemlos hin, dass Atom- und Molekülorbitale asymptotisch sind, sich prinzipiell in den gesamten Weltraum erstrecken und dass die Begrenzungslinien willkürlich gezogen werden, meist bei 85 %. Die Anschaulichkeit der Abbildungen ist – zusammenfassend gesagt – der entscheidende Fehler“ [9].

An anderer Stelle schlägt er vor, den „Sprung zu den Atomen“ durch eine Abfolge von Dias zunehmender und abnehmender Komplexität auszulösen und jeweils Systemeigenschaften zu diskutieren:

„Ei → Hühnerstall → Bauernhof → Dorf → Land → Erde → Universum → Erde → Stadt → Schule → Schüler → Haar → Haarfaser → ? Das nächste Dia? Es gibt keines, weil solche Dias nicht existieren“ [10].

Diese Diskussion ist sicher sehr reizvoll und könnte in der Tat vor der Einführung kleinster Teilchen im Unterricht stattfinden. Die Schlussfolgerung aus der „Nichtexistenz des nächsten Dias“ kann aber nicht lauten, mit den Schülern gleich den Sprung zu abstrakten „Kraftzentren“ oder „unendlich ausgedehnten Kern-Hülle-Systemen“ anzugehen. Es müssen aus entwicklungspsychologischen Gründen zunächst anschauliche Kreise oder Kugeln, oder auch Würfel oder Legosteine, als Modelle für kleinste Teilchen gewählt werden. Gerade die Diskussion der Form, der Farbe oder des Materials der Modelle als „irrelevante Zutaten“ eröffnet die Chance, den naturwissenschaftlichen Modellbegriff schon auf dieser Ebene zu vermitteln. Wird anfangs das Teilchenmodell als vorläufige Modellvorstellung

angewendet und im Laufe des folgenden Unterrichts über das Daltonsche Atommodell zum Kern-Hülle-Modell weiterentwickelt, dann können am *Ende* dieses Unterrichts die „willkürlich gezogenen Begrenzungslinien“ mit Schülern sinnvoll diskutiert und die Anschauungen an Kugeln und Kreisen relativiert werden.

6.2.1 Vermittlung chemischer Sachverhalte durch Modellvorstellungen

Die Abbildung 6.1 zeigt das Schema „Denken in Modellen“ und damit den Erkenntnisprozess der Chemie „von links nach rechts“: Der Chemiker erarbeitet sich durch „Zusatzinformationen“ ein „Denkmodell“ und überträgt es zu Anschauungszwecken in ein „konkretes Modell“. Der Lernende kann diesen Weg naturgemäß nicht gehen, es ist für ihn aber möglich, sich durch den Umgang mit Anschauungsmodellen den Weg im Schema „von rechts nach links“ zu bahnen: Er arbeitet mit den konkreten Modellen und entwickelt in seinem Bewusstsein immer weitergehend Denkmodelle entsprechender Sachverhalte (vgl. auch eine diesbezügliche Konzeption [11]). Dabei wird in Kauf genommen, dass diese ersten Denkmodelle zunächst mit den Anschauungsmodellen „interferieren“ – eine sachlich angemessene Abstraktion aber nach und nach immer weiter gehend stattfindet.

Nach der Einführung erster Modellvorstellungen, etwa des Teilchen- oder Daltonmodells, sollten Sachverhalte mit diesem Modell interpretiert werden, soweit es auf dieser Ebene möglich ist. Der Chemieunterricht sollte ab diesem Zeitpunkt „zweischienig“ verlaufen, er sollte *strukturorientiert* sein:

1. Schiene: Phänomene und Laborerfahrungen,
2. Schiene: Strukturmodelle und Modellvorstellungen (vgl. [11] und Kap. 13).

Zur Unterrichtsplanung ist entsprechend frühzeitig zu entscheiden, welche Phänomene in den ersten Wochen des Chemieunterrichts ohne jede Modellinterpretation zu behandeln und zunächst in der Alltagssprache zu erläutern sind. Nach Einführung der ersten Modellvorstellung – etwa des Teilchenmodells – sollten dann konsequent Erscheinungen und Experimente so ausgewählt werden, dass sie zur Interpretation mit dem Teilchenmodell geeignet sind. Wird zur Einführung des Atombegriffs danach das Dalton-Modell behandelt, ist ab diesem Zeitpunkt konsequent dieses Modell den Erklärungen zu Grunde zu legen (vgl. Beispiele in Abb. 6.9).

1. Schiene: Phänomene und Laborerfahrungen	Lösungsvorgang, Diffusion, Destillation	Chemische Reak- tionen von Gasen, Gasgesetze	Redoxreaktionen von Metallen und Salzlösungen
↓	↓	↓	↓
2. Schiene: Strukturmodelle und Modellvorstellungen	Teilchenvorstellung: Anordnung der klein- sten Teilchen vorher und nachher	Daltonmodell: Modelle für die Moleküle vorher und nachher	Kern-Hülle-Modell: Elektronenübergang von Metall-Atom zu Ion und umgekehrt

Abb. 6.9: Beispiele für „zweischieniges“ Vorgehen im Chemieunterricht

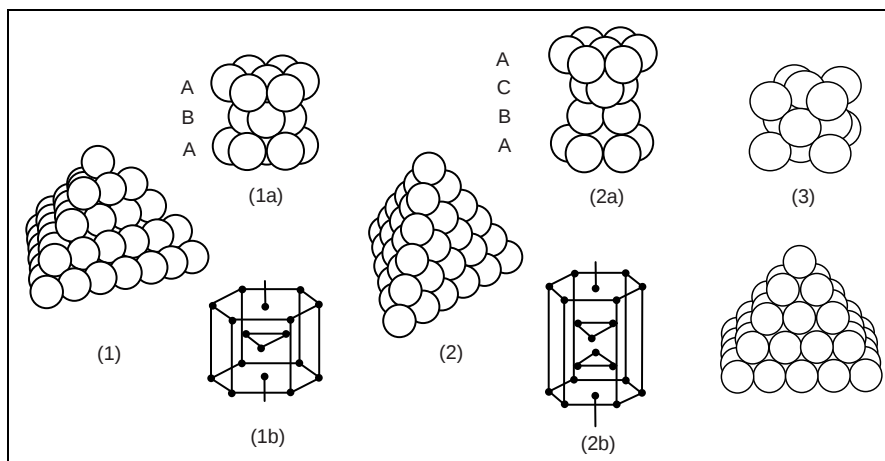


Abb. 6.10: Hexagonal und kubisch dichteste Packungen als Modelle für verschiedene Metallstrukturen [12]

Kugelpackungen. Da zu Beginn des Chemieunterrichts oftmals die Arbeit mit Metallen im Vordergrund steht, mögen bereits auf der Grundlage des Teilchenmodells die *Strukturen der Metalle* in Form von Kugelpackungen als erste Modelle eine Rolle spielen (vgl. Abb. 6.10): Lernende akzeptieren sie „spielend“, wenn sie Gelegenheit erhalten, durch Aufeinanderpacken von Kugeln diese Modelle selbst herzustellen. Im Praktikum wird deshalb mit M6.1 bis M6.7 der Bau von Kugelpackungen vorgeschlagen, weitere Informationen zu Metallstrukturen sind an anderer Stelle zu finden [12].

Wird mit den Lücken in der kubisch dichtesten Kugelpackung gearbeitet, so erhält man durch das Füllen aller Oktaederlücken die Natriumchlorid-Struktur (vgl. Abb. 6.11). Werden die Tetraederlücken alle gefüllt, so resultiert die Lithiumoxid-Struktur, werden sie zur Hälfte besetzt, handelt es sich um die Zinkblende-Struktur (vgl. Abb. 6.11). Im Praktikum wird mit M6.8 bis M6.15 der Bau dieser *Strukturen der Salze* vorgeschlagen (vgl. auch [5] oder [13]).

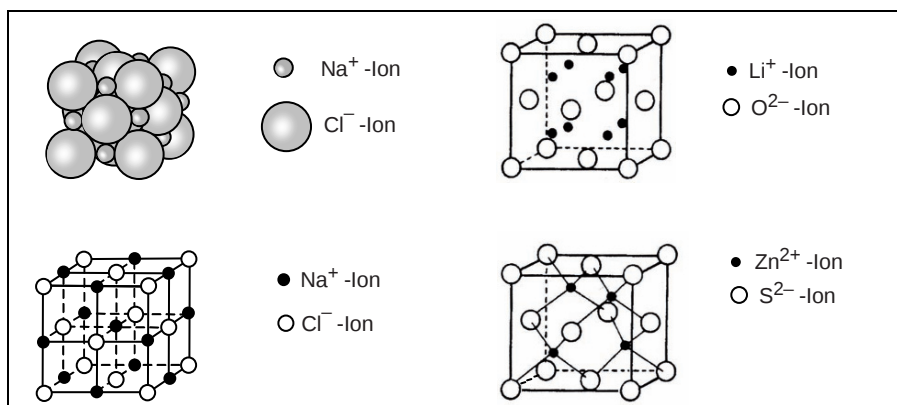


Abb. 6.11: Die kubisch dichteste Packung als Grundstruktur für viele Salzstrukturen [13]

Molekülmodelle. Sobald Gase strukturell interpretiert werden sollen, ist der Aufbau entsprechender Moleküle durch Molekülmodelle zu veranschaulichen. Da die Bindigkeiten der Nichtmetall-Atome in Baukästen meist durch Druckknöpfe von Kugeln vorgegeben werden, ist es für die Lernenden relativ einfach, solche Molekülmodelle selbständig herzustellen und mit den Bindigkeiten der Atome im Laufe der Zeit vertraut zu werden (vgl. auch Abb. 6.5 und [14]).

Erkennen die Lernenden in den Molekülmodellen die gerichteten Stäbe von Kugel zu Kugel, so kann diese Modellvorstellung als *gerichtete Bindung* zwischen den Atomen interpretiert werden. Im Nachhinein ist es dann auch möglich, den Zusammenhalt der Metall-Atome in Metallen oder der Ionen in Salzen als *ungerichtete Bindung* anzusehen und von der andersartigen Bindung in Molekülen abzugrenzen [11]. Es ist ebenfalls möglich, *finite* Atomverbände der Moleküle von *infiniten* Verbänden der Atome oder Ionen in Kristallen zu unterscheiden.

Stehen wenigstens zwei verschiedene Baukästen zur Verfügung und werden für ein und dasselbe Molekül zwei Modelle gebaut, so vermeidet man die *Prägung auf ein einziges Modell* mit allen irrelevanten Zutaten – die Lernenden müssen in der Modelldiskussion das Gemeinsame an beiden Modellen herausfinden und als Abbildungsmerkmal erkennen. Das Gleiche gilt auch im Nachhinein für Kugelpackungen: Werden für ein und dieselbe Metallstruktur zwei Modelle verschiedener Materialien und Farben verwendet, so findet keine einseitige Prägung auf Material oder auf Farbe statt. Schließlich sei darauf hingewiesen, dass durch den Umgang mit diesen räumlichen Strukturmodellen das *Raumvorstellungsvermögen* der Jugendlichen trainiert wird (vgl. auch Kap. 10).

6.2.2 Anpassung und Erweiterung von Modellen im Chemieunterricht

Der Chemieunterricht beginnt in den meisten Fällen mit dem einfachen Teilchenmodell, für jede reine Substanz wird ein kleinstes Teilchen verabredet: für die Substanz Kupfer das Kupfer-Teilchen, für das Wasser das Wasser-Teilchen, für den Zucker das Zucker-Teilchen.

Die Zuordnung von Kohlenstoff-Teilchen bereitet Schwierigkeiten – als Substanzen gibt es sowohl *Diamant* als auch *Graphit*. Es existieren allerdings keine spezifischen Graphit-Teilchen und davon verschiedene Diamant-Teilchen. Kohlenstoff-Teilchen sind in beiden Stoffen vorhanden, sie bauen in spezifischer Weise das Diamant-Gitter auf, in anderer räumlicher Anordnung das Graphit-Gitter (vgl. Abb. 6.12). Die Kohlenstoff-Teilchen sind dementsprechend weder farblos noch schwarz – Farben sind Eigenschaften der Substanzen, Farbe ist *keine* Teilchen-Eigenschaft. Das gilt auch für Dichten oder Schmelztemperaturen: Es sind *keine* Eigenschaften der Teilchen, sondern Eigenschaften der Substanzen!

Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Modelle. Es wird in Tabelle 6.1 gezeigt, dass der Modellbegriff im Vermittlungsprozess nicht einmalig festgelegt wird, sondern *spiralcurricular* je nach Zweck und Erkenntnisstand wechseln kann und wechseln sollte. Damit vermittelt man den Lernenden im Chemieunterricht, dass – wie es historisch auch der Fall war – Modelle und Modellvorstellungen neuen Einsichten und Kenntnissen gemäß zu erweitern sind.

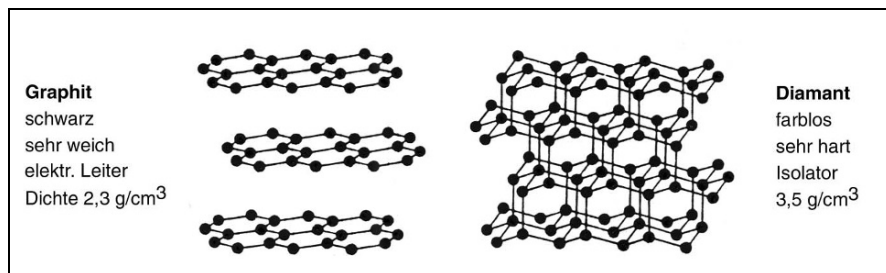


Abb. 6.12: Anordnung der Kohlenstoff-Teilchen im Graphit- und Diamant-Gitter [14]

Tabelle 6.1: Modelle und Modellvorstellungen, deren Einsatzmöglichkeiten und Grenzen

Teilchenmodell (Partikelmodell)	Interpretation: Aggregatzustände, Zustandsänderungen, kinetische Gastheorie, Diffusion, Lösungsvorgänge, chemische Reaktion ohne Änderung der Teilchenart (etwa bei der Bildung von Legierungen), Satz von der Erhaltung der Masse bei chemischen Reaktionen, etc. Grenzen: ↓
Dalton-Modell (Masse-Modell, Masse-Ladungs-Modell)	Atom, Atommasse, Element, Verbindung, Periodensystem, Chemische Reaktion: Umgruppierung von Atomen und Ionen, Ion, Ionensymbol, Ionengitter, ungerichtete Bindung (Kap. 13) Molekül, Molekülsymbol, Molekülstruktur, gerichtete Bindung, Summen- und Struktursymbol, Reaktionssymbol, etc. Grenzen: ↓
Kern-Hülle-Modell (Rutherford-Modell)	Atomkern, Protonen, Neutronen, Radioaktivität, Atomhülle, schnell bewegte Elektronen, Elektronenwolken, Elektrolyse, Metall-Nichtmetall-Reaktion, Redoxreaktion, Elektronenübertragung, etc. Grenzen: ↓
Schalenmodell der Atomhülle (Bohrsches Atommodell)	Ladungszahlen der Ionen, Periodensystem und Oktettregel, chemische Bindung, Ionenbindung, Elektronenpaarbindung, etc. Grenzen: ↓
Elektronenpaarabstoßungsmodell (VSEPR)	Elektronenwolke, Bindungswinkel, Bindungslänge, räumliche Struktur von Molekülen, etc. Grenzen: ↓
Orbitalmodell (wellenmechanisches Modell)	Orbital, Hybridisierung, Struktur des Benzol-Moleküls, Voraussage von Gitter- oder Molekülstrukturen, etc.

Horror vacui. Bei Diskussion und Interpretation mit dem Teilchenmodell oder mit dem Daltonschen Massemodell tritt für die Lernenden ein Problem auf: Sie unterliegen dem „Horror vacui“ und denken in ihrer Vorstellung an Luft oder an andere Materie zwischen den kleinsten Teilchen. Im Unterricht ist entsprechend nicht nur der Aufbau der Materie aus Atomen oder Ionen zu vermitteln, sondern ebenfalls der materiefreie Raum zwischen den Teilchen. Historische Parallelen, empirische Untersuchungen und evaluierte Unterrichtswege, auf welchen der „Horror vacui“ thematisiert und überwunden werden kann, stellt Kapitel 9 ausführlich dar.

6.2.3 Weitere Funktionen von Modellen und Modellvorstellungen

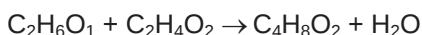
Über die Vermittlungsfunktionen der Modelle zum Verständnis des Aufbaus der Materie und damit zum Verständnis chemischer Sachverhalte hinaus gibt es weitere Funktionen.

Abbau anthropomorpher Vorstellungen bei den Lernenden. In Kapitel 1 sind zur Thematik „Schülervorstellungen“ vorläufige Vorstellungen beschrieben worden wie „Sonnenstrahlen entfernen die Regenpfütze“ oder „Säuren fressen Metalle auf“. Diese Aussagen können durch die Verwendung von Modellen und Modellvorstellungen diskutiert und in Frage gestellt werden. Trotz anfänglicher Schwierigkeiten mit dem naturwissenschaftlichen Modellbegriff sind die Lernenden bereit, ihre ursprünglichen Vorstellungen durch neue Modellvorstellungen zu ersetzen, wenn zunächst anschauliche Modelle zur Struktur der Materie zum Einsatz kommen. Darauf aufbauend werden immer weitergehende Denkmodelle entwickelt und im Bewusstsein verankert.

Reduktion komplexer Zusammenhänge. Die fachdidaktische Reduktion schwieriger Zusammenhänge ist eine wesentliche Aufgabe der Lehrer und Lehrerinnen: Wo immer möglich, versucht man komplexe Zusammenhänge so zu reduzieren, dass die beabsichtigte Aussage noch sachlich angemessen bleibt. Reduziert man die Element- und Verbindungsdefinition – wie in den 50er Jahren geschehen – auf die Modellvorstellung, dass Elemente aus Atomen, Verbindungen aus Molekülen aufgebaut seien, so ist diese Reduktion sachlich falsch und später zu korrigieren. Reduziert man den komplexen Aufbau der Atome auf die Modellvorstellung der Bindigkeiten und spricht von der Bindigkeit 4 des C-Atoms bzw. von der Bindigkeit 1 des H-Atoms, so ist diese Reduktion vertretbar und etwa auf Zusammensetzung und Struktur des Methan-Moleküls anwendbar. Diese Vorstellung ist *nicht* falsch und später *nicht* zu korrigieren – sie ist im späteren Unterricht sinnvoll auf Vorstellungen zum Schalenmodell der Elektronenhülle erweiterbar.

Generalisierung von Sachverhalten. Von der Verwendung eines Modells ausgehend können Schüler oftmals einen übergreifenden Sachverhalt generalisieren. Wird etwa der CH_4 -Tetraeder als Modell für das Methan-Molekül vorgestellt und mit dem Molekülbaukasten die Erweiterung zum Ethan-Molekül demonstriert, so können die Schüler durch eine Generalisierung alle Homologen der Alkane ableiten. Sie entwickeln dabei räumliche Vorstellungen vom Aufbau dieser Moleküle und sind in der Lage, übliche Struktursymbole oder Halbstruktursymbole zu verstehen und mit den räumlichen Vorstellungen sachgerecht zu verknüpfen.

Veranschaulichung von Reaktionen. Soll eine chemische Reaktion anschaulich werden, so sind den Lernenden möglichst Strukturmodelle der Substanzen vor und nach der Reaktion zu demonstrieren (vgl. auch Kap. 7). So ist etwa eine Esterbildung dadurch anschaulich zu machen, dass die Strukturen der beteiligten Carbonsäure- und Alkohol-Moleküle vor der Reaktion durch Molekülmodelle vorgestellt werden. Nach der Beobachtung des Esters kann dann die Abspaltung von Wasser-Molekülen am Modell anschaulich und damit das übliche Reaktionsymbol mit Halbstrukturformeln gut verständlich werden. Anders formuliert: Kein Eingeweihter wird die Esterbildung mit reinen Summensymbolen folgender Art beschreiben:



Für Reaktionen der organischen Chemie ist man sich also schnell einig: Die Molekülstrukturen vor und nach der Reaktion sind zu unterrichten und ggf. Halbstruktursymbole daraus abzuleiten –, anderenfalls müssten Summenformeln der angegebenen Art auswendig gelernt werden.

Für Feststoffreaktionen der anorganischen Chemie meint man oftmals, mit Symbolen wie Na, Zn oder Al für entsprechende Metalle, mit NaCl, ZnS oder Al_2O_3 für diese Salze auszukommen –, auch diesbezüglich sind die informationsarmen Summensymbole nicht geeignet, entsprechende Reaktionen zu verstehen: Es müssen ebenfalls Modellvorstellungen vom Aufbau der Metalle und Metallverbindungen hinzukommen (vgl. [15, 16] und Kap. 7).

Veranschaulichung mathematisch-logischer Sachverhalte. Beschreibungen vieler Sachverhalte gehen auf unanschauliche mathematische Terme zurück. Für Ableitung und Verwendung von Gleichgewichtskonstanten sind beispielsweise erhebliche mathematisch-logische Fähigkeiten erforderlich – etwa um zu erkennen, dass Säure-Gleichgewichte fast ganz auf der Seite der Ausgangsstoffe liegen. Ehe Gleichgewichtskonstanten ins Spiel kommen, sollte man am bekannten „Hebermodell“ (vgl. V4.2) anschaulich machen, dass diesem Modell entsprechende Volumen-Gleichgewichte nicht nur im Verhältnis 50 : 50 (gleichgroße Glasrohre) vorkommen, sondern durchaus solche wie 20 : 80 oder 10 : 90 (Glasrohre verschiedenen Durchmessers). Diskutiert man diesbezüglich die Einzelschritte, zeichnet die Graphen der Volumina auf und wertet sie mathematisch aus, so lassen sich auf dieser Grundlage die Gleichgewichte und entsprechende Gleichgewichtskonstanten anschaulicher erfassen als ohne dieses Modellexperiment. Für die Veranschaulichung statistisch-dynamischer Aspekte des Gleichgewichtsbegriffs sind Simulationsspiele geeignet (vgl. Kap. 15).

Veranschaulichung von Verfahren der chemischen Technik. Soll etwa ein Verfahren zur Herstellung von Kunststoffen exemplarisch diskutiert werden, so übernimmt ein Experiment die Funktion eines Modells. So kann beispielsweise die experimentelle Herstellung eines Nylonfadens aus den grundlegenden Substanzen Adipinsäure und Hexamethyldiamin gezeigt werden, indem nach Überschichtung beider Substanzen das sich bildende Polyamid fadenförmig aus dem Becherglas herausgezogen wird. Dieses Modellexperiment dient dann als sachliche Grundlage für die Schilderung der tatsächlichen Herstellung von Nylon in der chemischen Technik.

Aufstellen von Prognosen und Hypothesen. Modellvorstellungen erlauben die Vorhersage von Eigenschaften und Reaktionen. Sind beispielsweise im Unterricht die Strukturen der Alkan- und der Alkanol-Homologen bekannt, so können mit Hilfe entsprechender Strukturvorstellungen Prognosen zur Löslichkeit dieser Homologen aufgestellt werden: Alkohole, deren Moleküle kurze C-Ketten besitzen, sind nicht in Benzin, aber in Wasser löslich; Alkohole mit Molekülen sehr langer C-Ketten sind nicht in Wasser, aber in Benzin löslich. Entsprechende Experimente können geplant und zur Prüfung dieser Hypothesen herangezogen werden.

Auch die Geschichte der Naturwissenschaften bietet viele solcher Beispiele. So hatte Watson [17] zur Prognose der Basen-Kombinationen in der vermuteten DNS-Doppelhelix die Form der Basen-Moleküle aus Pappe ausgeschnitten:

„Die metallenen Purin- und Pyrimidinmodelle, die ich brauchte, waren nicht rechtzeitig fertig geworden. Also verbrachte ich den Rest des Nachmittags damit, aus dicker Pappe genaue Modelle der Basen auszuschneiden. Ich begann die Basen hin und her zu schieben und jeweils auf eine andere, ebenfalls mögliche Weise paarweise anzuordnen. Plötzlich merkte ich, dass ein durch zwei Wasserstoffbrücken zusammengehaltenes Adenin-Thymin-Paar dieselbe Gestalt hatte wie ein Guanin-Cytosin-Paar“ [17].

Diese Sätze lassen erahnen, welche große Bedeutung die sehr einfachen Pappmodelle für die Erkenntnisse zu Aufbau und Funktion der Nucleinsäuren hatten. Watson und Crick waren aufgrund dieser Modellvorstellungen in der Lage, ein komplettes Strukturmodell der DNS zu bauen und Prognosen bzw. Hypothesen zu formulieren, die mit allen bekannten Sachverhalten im Einklang standen und neue Sachverhalte lieferten, etwa zutreffende Modellvorstellungen für die Reduplikation der DNS und die Prozesse zur Entstehung des Lebens. Die wesentlichen Schritte dieser Erkenntnisse werden ausführlich in Kapitel 17 dargestellt.

6.3 Lernende – Erfahrungen mit Modellen

Die Schüler und Schülerinnen kommen in dreifacher Hinsicht mit ihren Erfahrungen in den Chemieunterricht: Sie besitzen Spielzeugmodelle etwa in Form der Barbiepuppen, Auto- oder Schiffsmodelle, sie haben durch den Spielzeugcharakter Spaß mit diesen Modellen und kennen aus anderen Schulfächern Modelle und Modellvorstellungen.

Spielzeug. Kinder interessieren sich dafür, ihre Barbiepuppe mit sich selbst oder mit einem anderen Menschen zu vergleichen. Sie finden heraus, dass viele Eigenschaften an Modell und Original übereinstimmen: beispielsweise Lage und Form von Mund, Nase, Augen und Ohren. Sie erkennen allerdings ebenfalls viele Funktionen, die das Puppen-Modell *nicht* zeigt, etwa zur Aufnahme von Speisen oder zum Ein- und Ausatmen von Atemluft.

Diese Erfahrungen sind dem Verständnis naturwissenschaftlicher Modelle entgegengerichtet. Nimmt der junge Schüler etwa ein Strukturmodell zur Hand, kann er es mit dem Original naturgemäß nicht vergleichen. Er ist beispielsweise nicht in der Lage, die Koordinationszahlen 6/6 am Kochsalz-Kristall nachzuzäh-

len, die er am Raumgittermodell des Natriumchlorids findet. Aus den Erfahrungen der Lernenden mit konkreten Spielzeugmodellen ist der naturwissenschaftliche Modellbegriff erst nach und nach zu entwickeln und abzugrenzen.

Spaß mit Modellen. Die affektive Komponente im Umgang mit Modellen, die bei Kindern immer positiv ausgebildet ist, lässt sich wirksam auf die Arbeit mit Modellen zur Struktur der Materie übertragen, wenn sie mit dem *handlungsorientierten Einstieg* in die naturwissenschaftliche Modellwelt verknüpft wird – beispielsweise mit dem Bauen dichter Kugelpackungen.

Zeigt man Schülern und Schülerinnen etwa die Kugelpackung zur Natriumchlorid-Struktur und fordert sie auf, das Modell mit weißen Zellstoffkugeln ($\varnothing$ 30 mm) und roten Kugeln ($\varnothing$ 12 mm) nachzubauen, so tun sie das erfahrungsgemäß mit großem Spaß und zeigen dieses Modell stolz zu Hause. Sie werden das Modell ggf. sogar mit Eltern und Geschwistern diskutieren und erklären, wofür es ein Modell ist: Mit dem Bewusstsein von „Experten“ geben sie chemische Sachverhalte an andere Personen weiter! Die genannten Zellstoffkugeln sind bei der Firma Faita [18] günstig zu erwerben, Vorschriften zu einem Modellbau-Praktikum am Ende des Kapitels zu finden.

Nach unseren Erfahrungen schätzen auch ältere Schüler und Studenten oder gar Lehrer auf Lehrerfortbildungstagungen den Umgang mit Strukturmodellen aller Art: Sie überzeugen sich beispielsweise sehr gern von der Zahl und der Art der Isomeren bei Alkan-Molekülen oder mehrwertigen Alkohol-Molekülen, indem sie entsprechende Molekülmodelle mit Hilfe von Baukästen zusammensetzen. Wird gestandenen Lehrern und Lehrerinnen das Baumaterial in Form von Schaumstoff-, Styropor- oder Plexiglaskugeln geliefert, so konstruieren sie sogar die diffizilen Elementarzellen-Modelle sehr gern. Der Spaß am Bau von Strukturmodellen scheint keiner Altersgrenze zu unterliegen!

Modelle aus anderen Schulfächern. Die Lernenden bringen zum Thema „Modelle“ oftmals reiche Erfahrungen aus anderen Schulfächern mit. Einige Schulfächer seien aufgeführt:

Biologie: Die Schulsammlungen enthalten meistens Modelle für das Auge, für das Ohr oder für das Skelett des Menschen (selten ist das Skelett wiederum ein Original). In diesen Fällen ist der Modellcharakter, sind Verkürzungen und irrelevante Zutaten der Modelle sehr evident. Es sind sehr anschauliche und – wegen der Bedeutung für die eigene Person – sehr motivierende Modelle, die als Beispiele gut zur Diskussion des Modellbegriffs geeignet sind. Da dieser anhand von sichtbaren Körperteilen vom direkten Vergleich von Original und Modell ausgeht, trifft er aber für chemische Sachverhalte nicht zu.

Geographie: Landkarten sind für Lernende ebenfalls gut nachvollziehbare Modelle, beispielsweise solche für ihre Heimatstadt oder für bekannte Wanderwege. Auch der Globus ist im Zeitalter der Weltraumfahrt als Modell vergleichbar mit dem Original, wenn die Erde von der Weltraumkapsel aus als Foto oder als Film gezeigt wird (für die Zeit vor der Weltraumfahrt war der Globus ein Modell, das nicht mit dem Original direkt und als Ganzes vergleichbar war).

Modelle zum Erdinneren sind wiederum solche, die nicht direkt durch den optischen Vergleich mit der Erde zu erhalten sind, sondern durch empirische Auswertung von Experimenten an der Erdoberfläche abgeleitet werden. Dieses Vorgehen entspricht dem naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess und liefert Modelle, die wiederum naturwissenschaftlicher Art sind.

Mathematik: Geometrische Zeichnungen können als Modelle verstanden werden. So sind etwa bestimmte Dreiecke Modelle für das rechtwinklige Dreieck, andere Dreiecke Modelle für das gleichschenklige Dreieck: sie erfüllen spezifische Abbildungsmerkmale. Bauen die Schüler gar Raummodelle von Würfel, Quader, Oktaeder oder Tetraeder mit Hilfe vorgegebener Netze aus Karton und beschreiben sie diese mathematisch, so werden gute Voraussetzungen dafür geliefert, diese Modelle auch für den Chemieunterricht wirksam einzusetzen und auf ihrer Grundlage etwa Strukturmodelle kubischer Symmetrie erfolgreich zu vermitteln.

Zeichnen die Schüler im Mathematikunterricht die Raummodelle schließlich perspektivisch, so können diese Fertigkeiten nicht nur im Chemieunterricht aufgenommen und beim Zeichnen von Strukturmodellen weiterentwickelt werden, sondern es wird darüber hinaus das Raumvorstellungsvermögen der Schüler und Schülerinnen trainiert und verbessert. Die Förderung dieser Fähigkeit ist sowohl im Mathematik- als auch im Chemieunterricht eine wichtige interdisziplinäre Aufgabe, da ein gutes Raumvorstellungsvermögen bedeutsam für viele Berufe ist. Dieses Thema wird in Kapitel 10 ausführlich dargestellt und ein Raumvorstellungstest angeboten.

6.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – interdisziplinäre Modellvorstellungen

Das Arbeiten mit Modellen hat einen ausgeprägten fächerübergreifenden Charakter und stellt einen kaum zu überschätzenden Beitrag zur Allgemeinbildung dar: Neben der Einsicht, welchen hohen Stellenwert der Modellbegriff speziell in der Chemie und darüber hinaus in allen Naturwissenschaften hat, lässt sich auch die Bedeutung von Modellen in vielen anderen Bereichen reflektieren. Eine große Bedeutung haben Modelle und Modellvorstellungen beispielsweise in der

- Industrie: Stoffkreisläufe oder Verbundsysteme,
- Wirtschaft: Modelle für Geld- oder Warenkreisläufe,
- Soziologie: Verhaltensmuster von bestimmten Personengruppen,
- Politik: Abstimmungsverhalten von Interessengruppen,
- Ökologie: Kreisläufe von Substanzen in der Natur und ökologische Systeme.

Literatur

- [1] Häusler, K.: *Highlights in der Chemie*. Köln 1998 (Aulis)
- [2] Stachowiak, H.: *Gedanken zu einer allgemeinen Theorie der Modelle*. Studium Generale 18 (1965), 432
- [3] Steinbuch, K.: *Denken in Modellen*. In: Schäfer, G., u. a.: *Denken in Modellen*. Braunschweig 1977 (Westermann)
- [4] Kircher, E.: *Einige erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Auffassungen zur Fachdidaktik*. Chim. did. 3 (1977), 61
- [5] Harsch, G.: *Kristallgeometrie. Packungen und Symmetrie in Stereodarstellungen*. Frankfurt 1981 (Diesterweg)
- [6] Geomix, Rateg: Körberstr. 15, 60433 Frankfurt
- [7] Leybold Didactic: Postfach 1365, 50330 Hürth
- [8] Institute for Chemical Education: University, 1101 University Av., Madison WI 53707, USA
- [9] Buck, P.: *Die Teilchenvorstellung – ein „Unmodell“*. Chem.Sch. 41 (1994), 412
- [10] Buck, P.: *Wie kann man die „Andersartigkeit der Atome“ lehren?* Chem. Sch. 41 (1994), 11
- [11] Sauer mann, D., Barke, H.-D.: *Chemie für Quereinsteiger*. Münster 1998 (Schöningh):
Band 1: *Strukturchemie und Teilchensystematik*
- [12] Band 2: *Struktur der Metalle und Legierungen*
- [13] Band 4: *Ionenkristalle mit einfachen Gitterbausteinen*
- [14] Band 3: *Moleküle und Molekülstrukturen*
- [15] Barke, H.-D.: *Die Unverzichtbarkeit der Strukturmodelle für das Verständnis der chemischen Reaktion*. PdN-Ch 29 (1980), 372
- [16] Barke, H.-D., Wirbs, H.: *Chemische Symbole für kleinste Struktureinheiten*. PdN-Ch 49 (2000)
- [17] Watson, J.D.: *Die Doppel-Helix*. Hamburg 1969 (Rowohlt)
- [18] Faita: Postfach 1146, 83402 Mitterfelden

Übungsaufgaben zu „6 Modelle und Modellvorstellungen“

A6.1 Die kubisch dichteste Kugelpackung kann durch Ausschnitte aus Oktaedern und Tetraedern im Zahlenverhältnis 1 : 2 oder durch das Anordnen von Elementarzellen in alle drei Raumrichtungen beschrieben werden. Stellen Sie entsprechende Raumkörper mit Hilfe der Netze her (vgl. Abb. 6.13) und demonstrieren Sie jeweils die lückenlose Anordnung.

A6.2 Sie finden in der Schulsammlung eine NaCl-Kugelpackung, ein NaCl-Raumgitter und eine NaCl-Elementarzelle. Geben Sie jeweils die Abbildungsmerkmale der drei Modelle an. Diskutieren Sie die wesentlichen irrelevanten Zutaten zu solchen Modellen.

A6.3 Das Teilchenmodell ist für den Anfangsunterricht von besonderer Bedeutung. Erläutern Sie fünf Erscheinungen, die sich sachlich zutreffend mit diesem Modell erklären lassen. Welche Phänomene sind nicht sachgerecht zu beschreiben und zeigen die Grenzen dieses Modells auf?

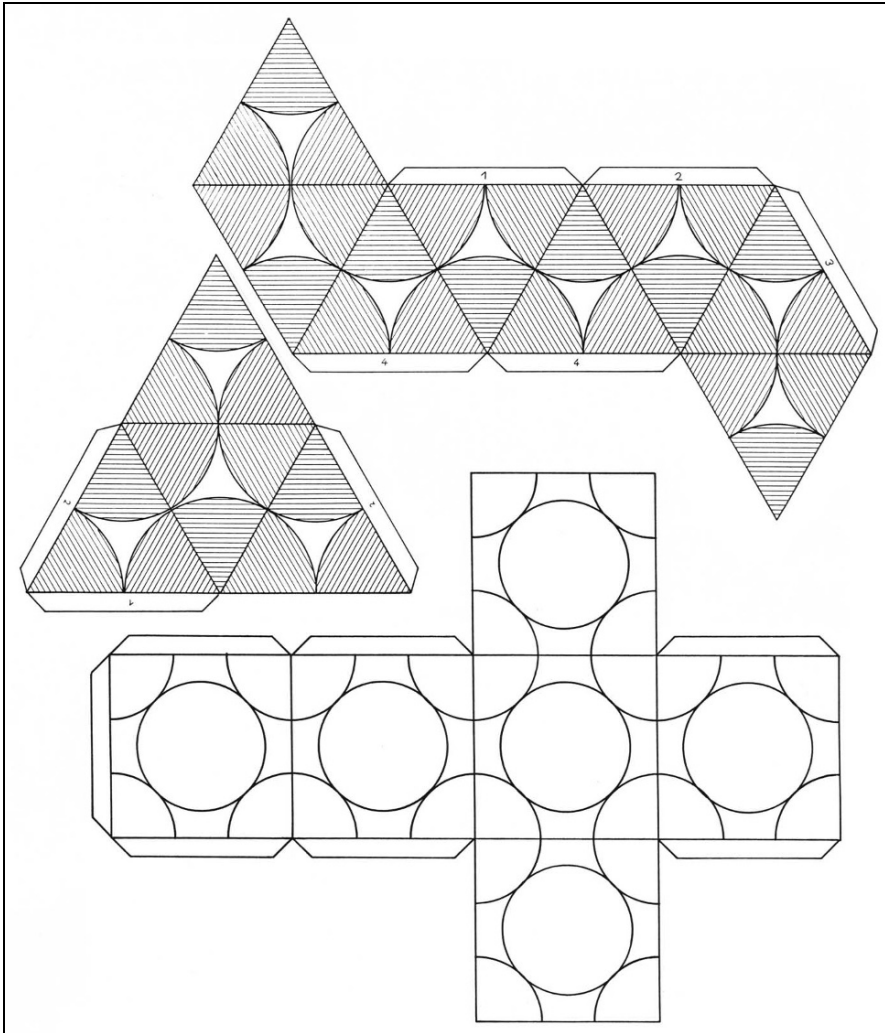


Abb. 6.13: Netze von Oktaeder, Tetraeder und Elementarzelle als Vorlagen für den Bau von räumlichen Ausschnitten aus der kubisch dichtesten Kugelpackung

A6.4 Im üblichen Chemieunterricht werden als Modellvorstellungen nacheinander das Teilchenmodell, das Daltonsche Atommodell und das Schalenmodell des Atoms eingeführt. Wählen Sie (a) eine Substanz und (b) eine chemische Reaktion aus und fertigen Sie Modellskizzen auf der Grundlage aller drei Modelle an. Diskutieren Sie die Unterschiede.

A6.5 Das chemische Gleichgewicht lässt sich durch Modell-Experimente, aber auch durch Modelle „aus dem Alltag“ veranschaulichen. Geben Sie jeweils ein Beispiel an, und stellen Sie Zusammenhänge zum chemischen Gleichgewicht her.

Praktikum: Strukturen der Metalle und Salze

Material: 100 Kugeln $d = 30$ mm [18], 50 Kugeln $d = 12$ mm [18], dreieckiger Holzrahmen ($a = 17,5$ cm), quadratischer Holzrahmen ($a = 15$ cm), Knetmasse, Klebstoff, zwei gleichseitige Kugeldreiecke (jeweils aus sechs Kugeln mit $d = 30$ mm).

Strukturen der Metalle. Um den Aufbau von Metallkristallen aus kleinsten Teilchen mit Strukturmodellen zu beschreiben, eignen sich dichteste Kugelpackungen (1 Metall-Teilchen $\equiv$ 1 Kugel):

M 6.1: Füllen Sie den dreieckigen Holzrahmen dicht mit einer Schicht Kugeln im Dreiecksmuster. Packen Sie möglichst viele Kugelschichten darauf. Zeichnen Sie die Kugelschichten auf.

M 6.2: Unter der *Koordinationszahl* versteht man die Zahl der Kugeln, die eine Kugel im Inneren der Packung berühren. Ermitteln Sie die Koordinationszahl in der dichtesten Kugelpackung! Zeichnen Sie drei Kugelschichten so auf, dass diese Zahl erkennbar ist.

M 6.3: Es sind zwei Arten dichtester Kugelpackungen mit der Koordinationszahl 12 möglich:

a) in der Schichtenfolge ABCABC.....,

b) in der Schichtenfolge ABAB.....

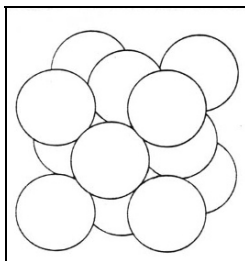
Bauen Sie beide Packungen auf!

Zeichnen Sie die Kugelschichten mit Dreiecksmuster so auf, dass (a) und (b) deutlich werden.

Definition: Eine *Schichtenfolge* ABCA... liegt vor, wenn die 4. Schicht Kugeln mit der 1. Schicht bei senkrechter Draufsicht deckungsgleich ist. Die *Schichtenfolge* ABA... liegt vor, wenn bereits die 3. Schicht Kugeln mit der 1. Schicht deckungsgleich ist (es sind immer die Schichten im Dreiecksmuster gemeint!).

Information: In der ABCA-Kugelpackung ist als Elementarkörper ein würfelförmiger Ausschnitt zu finden. Deshalb wird diese Packung auch *kubisch dichteste Kugelpackung* (cubus: Würfel) genannt.

M 6.4: Zeichnen Sie neben die abgebildete Packung das *Raumgitter*, indem Sie perspektivisch einen Würfel zeichnen, anstelle der Kugeln nur die Mittelpunkte der Kugeln angeben und diese Punkte verbinden.



M 6.5: Kleben Sie den abgebildeten *Elementarwürfel* mit Hilfe der beiden Kugeldreiecke und zweier weiterer Kugeln zusammen. Versuchen Sie, ihn in die kubisch dichteste Packung ausgehend vom Dreiecksmuster (M 6.1) einzubauen. Zeichnen Sie zwei Möglichkeiten für den Bau des Elementarwürfels auf:

a) Verknüpfung von Schichten im Dreiecksmuster ($1 + 6 + 6 + 1$),

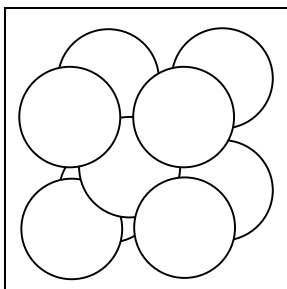
b) von Schichten im Quadratmuster ($5 + 4 + 5$).

M 6.6: Nehmen Sie den quadratischen Holzrahmen, stellen Sie die kubisch dichteste Packung ausgehend vom Quadratmuster her und bauen Sie den Elementarwürfel ebenfalls hinein. Stellen Sie die *Koordinationszahl* fest. Zeichnen Sie Kugelschichten so auf, dass diese Zahl zu erkennen ist.

Information: Den Aufbau von Metallkristallen aus kleinsten Teilchen zeigen folgende Modelle:

1. Die *hexagonal dichteste Kugelpackung* mit den Schichtenfolge ABA: Sie stellt dar, in welcher Weise Kristalle von *Magnesium, Zink, u. a.* aus ihren kleinsten Teilchen aufgebaut sind. Man sagt auch, sie bilden Kristalle *hexagonaler Symmetrie* oder Kristalle des *Mg-Typs*.
2. Die *kubisch dichteste Kugelpackung* mit der Schichtenfolge ABCA: Sie stellt dar, in welcher Weise Kristalle von *Kupfer, Silber, Gold, u. a.* aus ihren Teilchen aufgebaut sind. Man sagt auch, sie bilden Kristalle *kubischer Symmetrie* oder Kristalle des *Cu-Typs*. Der Elementarwürfel weist in jedem Flächenzentrum eine Kugel auf, er wird deshalb *kubisch flächenzentriert* genannt.
3. Der Name „kubisch flächenzentriert“ soll den Unterschied zur kubisch raumzentrierten Kugelpackung herausstellen: Sie ist keine dichteste Packung mehr, die Koordinationszahl beträgt 8. Metallkristalle des Wolframs und der Alkalimetalle realisieren diese Struktur: *W-Typ*.

M 6.7: Die Kugelpackung aus neun Kugeln zeigt den Elementarwürfel der kubisch raumzentrierten Metallstruktur. Zeichnen Sie neben die Packung das Raumgitter, indem Sie perspektivisch einen Würfel zeichnen, anstelle der Kugeln nur die Mittelpunkte der Kugeln angeben und diese Punkte verbinden.



Strukturen der Salze. Der Aufbau vieler Metallkristalle lässt sich modellmäßig durch Packungen von Kugeln *einer Sorte* darstellen, der Aufbau von Salzkristallen durch Packungen von mindestens *zwei Sorten* Kugeln. Im Folgenden werden zunächst Modelle für den Aufbau des *Natriumchlorid-Kristalls* (Kochsalz) gebaut, am Schluss die dreier anderer Salze.

M 6.8: Die Na^+ -Ionen des Natriumchlorids seien durch Kugeln mit $d = 12 \text{ mm}$, die Cl^- -Ionen durch Kugeln mit $d = 30 \text{ mm}$ repräsentiert. Stellen Sie mit Hilfe des Dreiecksrahmens eine möglichst dichte Kugelpackung mit beiden Kugelsorten her. Zeichnen Sie die Kugelschichten auf.

M 6.9: Ermitteln Sie die Koordinationszahlen für beide Kugelarten! Zeichnen Sie Kugelschichten so auf, dass die Koordinationszahlen für beide Kugelarten erkennbar sind.

M 6.10: In der dichtesten Kugelpackung gibt es zwei verschieden große Arten von Lücken. Stellen Sie die Zahl der Kugeln fest, die die Lücken formen, und zeichnen

Sie für beiden Lückenarten die lückenbildenden Kugeln auf (perspektivisch oder in Form der Kugelschichten): a) große Lücke, b) kleine Lücke.

Information: In dichtesten Kugelpackungen sind zwei unterschiedliche Lückenarten zu finden, überzeugen sie sich anhand des Modells M.6.8.:

1. Die großen Lücken werden von 6 Kugeln in Oktaederanordnung geformt:

Oktaederlücken (OL)

2. Die kleinen Lücken werden von 4 Kugeln in Tetraederanordnung geformt:

Tetraederlücken (TL)

3. In dichtesten Kugelpackungen sind Kugeln, OL und TL im *Zahlenverhältnis* 1 : 1 : 2 vorhanden.

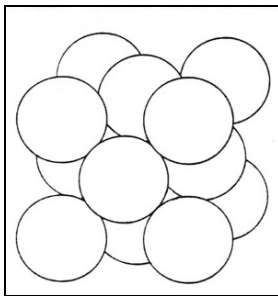
Der Aufbau des Kochsalzkristalls aus kleinsten Teilchen kann deshalb so beschrieben werden: Die Cl^- -Ionen bilden die kubisch dichteste Packung, alle Oktaederlücken sind durch die kleineren Na^+ -Ionen besetzt. Die Koordination ist 6/6, das Zahlenverhältnis der Ionen lautet 1 : 1, die Formel $(\text{Na}^+)_1(\text{Cl}^-)_1$.

Wie erklärt sich die *Würfel*form der Kochsalzkristalle?

M 6.11: Nehmen Sie den *Elementarwürfel* aus M6.5, füllen Sie die Oktaederlücken mit kleineren Kugeln.

a) Vervollständigen Sie die Modellzeichnung (Bild).

b) Zeichnen Sie daneben das Raumgitter auf (vgl. M6.4).



M 6.12: Stellen Sie die kubisch dichteste Packung mit Hilfe des Quadraträhmens und beider Kugelsorten her. Zeichnen Sie die Schichtenfolge auf.

M 6.13: Überzeugen Sie sich davon, dass sich der Elementarwürfel sowohl in die Kugelpackung ausgehend vom Dreiecksmuster (M 6.8) als auch in die ausgehend vom Quadratmuster (M 6.12) einbauen lässt. Welche Lage nimmt er jeweils ein?

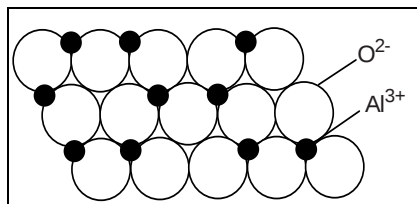
Zeichnen Sie den Elementarwürfel mit Hilfe von a) Kugelschichten im Dreiecksmuster, b) Kugelschichten im Quadratmuster.

M 6.14: Ein Modell für die *Aluminiumoxid-Struktur*:

a) Kleben Sie 3 Schichten von je 15 Kugeln zusammen (Bild).

b) Heften Sie nach angegebenem Muster jeweils 10 kleine Kugeln darauf (Bild).

c) Legen Sie die drei Schichten so aufeinander, dass die Schichtenfolge ABA lautet. Achten Sie darauf, dass die Koordinationszahl kleiner Kugeln 6, die großer Kugeln 4 lautet. Welches Zahlenverhältnis der Kugeln liegt vor?

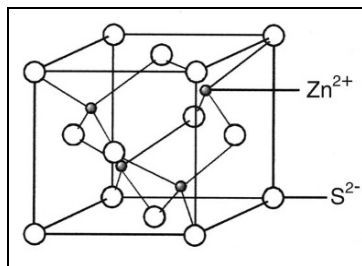


Information: Im *Aluminiumoxid* bilden die O^{2-} -Ionen eine hexagonal dichteste Packung, die Oktaederlücken sind nur zu $2/3$ mit Al^{3+} -Ionen besetzt. Die Koordination lautet $6/4$, das Zahlenverhältnis der Ionen $2 : 3$, die Modelle sind dementsprechend zu Formeln wie $\{(Al^{3+})_2(O^{2-})_3\}$ bzw. Al_2O_3 zu verkürzen.

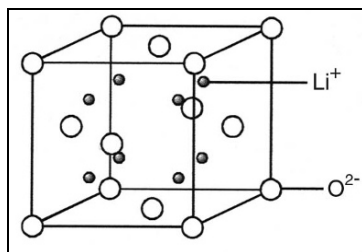
M 6.15: Formen Sie aus Knetmasse einige kleine Kugeln, die in die Tetraederlücken großer Kugeln passen. Bauen Sie mit großen und kleinen Kugeln den entsprechenden Elementarwürfel

a) für die Zinkblende-Struktur, b) für die Lithiumoxid-Struktur.

Information: *Zinkblende* lässt sich beschreiben als kubisch dichteste Packung von S^{2-} -Ionen, deren Tetraederlücken zur Hälfte mit Zn^{2+} -Ionen besetzt sind. Die Koordination lautet $4/4$, die Formel für die Elementarzelle $\{(Zn^{2+})_4(S^{2-})_4\}$, die Summenformel ZnS .

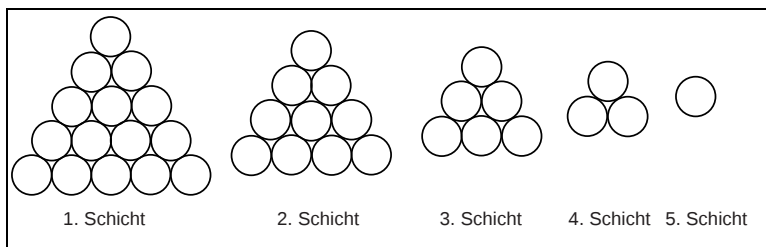


Lithiumoxid lässt sich beschreiben als kubisch dichteste Packung von O^{2-} -Ionen, deren Tetraederlücken vollständig mit Li^+ -Ionen besetzt sind. Die Koordination lautet $4/8$, die Formel für die Elementarzelle $\{(Li^+)_8(O^{2-})_4\}$, die Summenformel Li_2O .

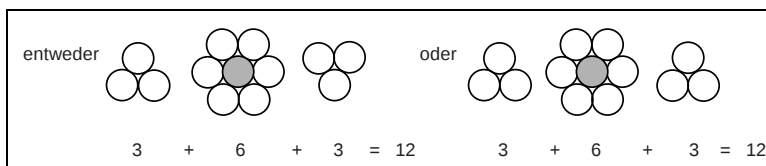


Lösungen und Zeichnungen zu den Aufgaben

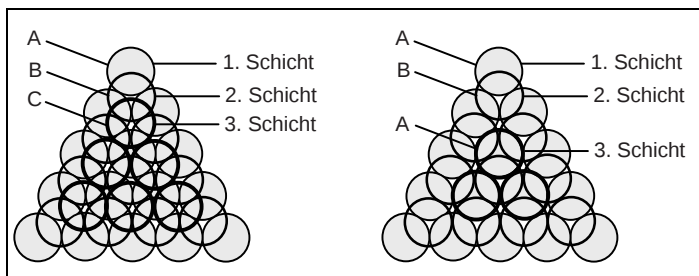
M 6.1:



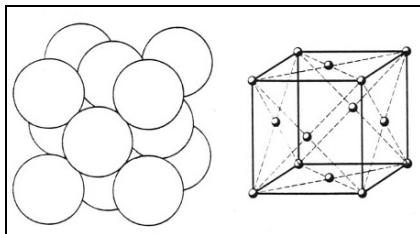
M 6.2:



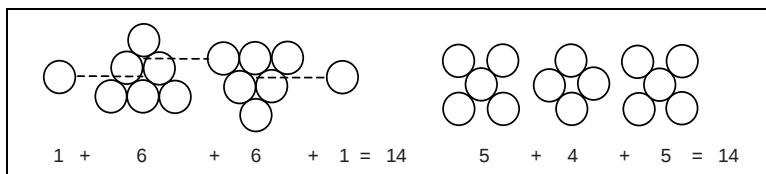
M 6.3:



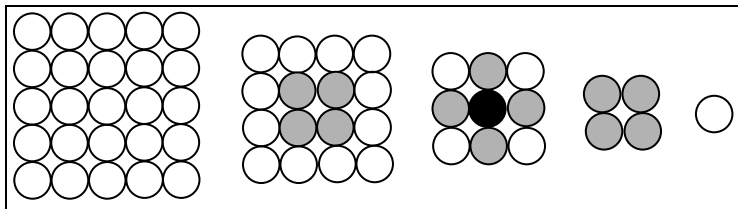
M 6.4:

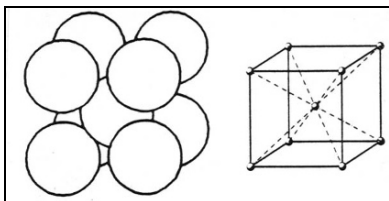
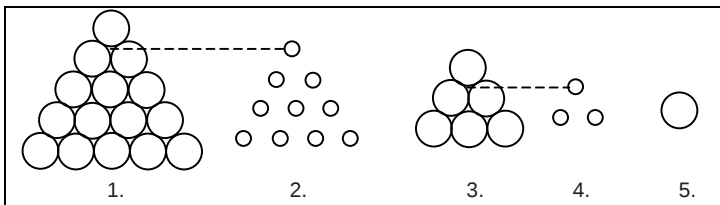
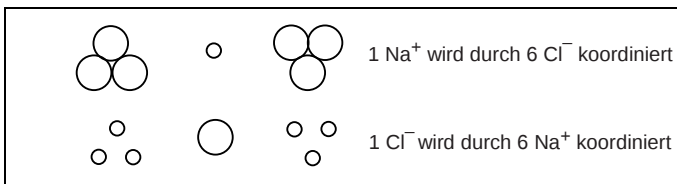
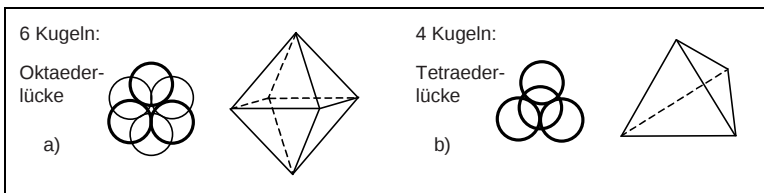
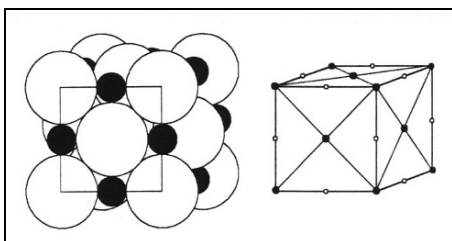
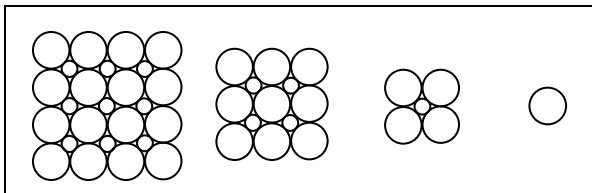
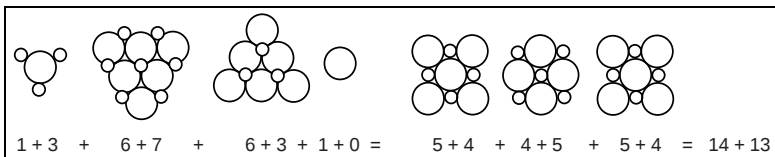


M 6.5:

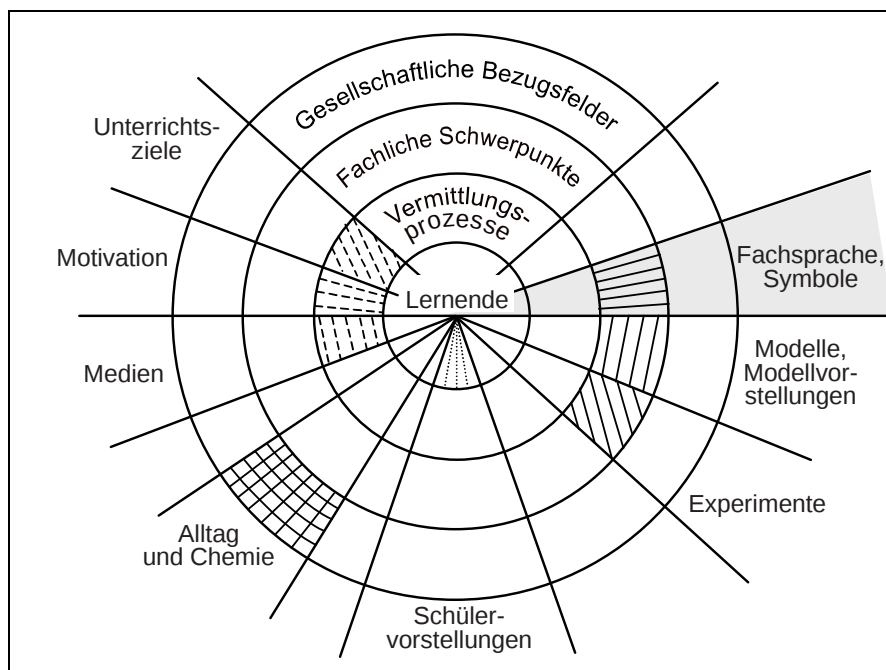


M 6.6:



M 6.7:**M 6.8:****M 6.9:****M 6.10:****M 6.11:****M 6.12:****M 6.13:**

7 Fachsprache und Symbole



„Formeln sind das Gelehrtenlatein der Chemie. Ohne sie wäre Verständigung über die Ländergrenzen hinweg nicht denkbar und wäre die Darstellung chemischer Prozesse so umständlich, als müssten wir unseren Lebenslauf in Keilschrift abfassen“. Peter von Zahn [1] stellt mit dieser Aussage die große Bedeutung von chemischen Symbolen heraus, kennzeichnet sie als einzigartiges Kommunikationsmittel für Chemiker – gleichgültig ob sie in Europa oder Amerika, in China oder Japan arbeiten.

In diesem Sinne ist es auch ein Ziel des Chemieunterrichts, Jugendliche in diese Symbolsprache einzuweihen und sie in die Lage zu versetzen, Errungenschaften von Naturwissenschaften und Technik in Zeitschriften und Magazinen nachlesen und verstehen zu können. Andererseits wird vehement gefordert, dass Wissenschaftler ihre Methoden und Erkenntnisse auf dem Niveau des gebildeten Laien verständlich machen sollen:

„Forscher und Erfinder können nicht isoliert in einem elfenbeinernen Turm leben. Sie bedürfen des Resonanzbodens. Sie brauchen ein breites Fundament von Zustimmung derer, denen letzten Endes die Technik zugute kommt“ [1].

Viele Begriffe der Technik sind in der Alltagssprache bekannt, aber auch Begriffe der Chemie sind Teil der Alltagssprache: Stoff, Metall, Lösung, Säure, Lauge, Gas, Verbrennung, u. a. Die Bedeutung solcher Begriffe ist in der Fachsprache allerdings vielfach eine andere oder weitergehende, immer eine präzisere als in der Alltagssprache. Um mit den Lernenden angemessen über chemische Sachverhalte sprechen zu können, Beobachtungen zu formulieren und Erklärungen zu diskutieren, die von allen Beteiligten in gleicher Weise verstanden werden, ist es unerlässlich, von der Alltagssprache ausgehend zur Fachsprache und Symbolik hinzuführen. Welche fachdidaktischen Probleme dabei zu berücksichtigen sind und welche Lösungsvorschläge es gibt, ist die diesbezügliche Grundfrage der Chemiedidaktik.

7.1 Fachliche Schwerpunkte – Begriffe, Symbole, Größen, Einheiten

Viele Begriffe der Fachsprache und Nomenklatur, der Größen und Einheiten sind historisch gewachsen und nach und nach von Normenausschüssen wie etwa der IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) immer wieder neu definiert worden, um eine weiter gehende Präzisierung und Vereinheitlichung zu erreichen. Diese Nomenklaturprobleme und historischen Änderungen in der Bedeutung von Begriffen, Symbolen, Größen und Einheiten sind zu reflektieren. Insbesondere soll herausgestellt werden, dass chemische Symbole keine Abkürzungen von Stoffnamen sind, sondern über Zusammensetzung und chemische Struktur informieren.

7.1.1 Système Internationale und abgeleitete Einheiten

Drei Beispiele von Größen und Einheiten sollen den historischen Wandel veranschaulichen.

Länge. Das Meter als Einheit der Länge wurde im 18. Jahrhundert definiert als 10.000.000ster Teil des Erdquadranten (1/4 des Erdumfangs, heutiger mittlerer Wert: 10.000,09 km). 1889 legte man das Meter durch zwei Markierungsstriche an einem in Sèvres bei Paris deponierten Platin-Iridium-Stab fest. Um mit Hilfe neuer Methoden eine noch genauere Definition zur Verfügung zu haben, bestimmte man 1960 als Meter das 1.650.763,73-fache der Wellenlänge der orange-roten Strahlung, die unter spezifischen Bedingungen vom Isotop Krypton 86 ausgeht.

Zeit. Der mittleren Sonnensekunde entsprach vor dem Jahr 1964 der allseits bekannte Teil eines Sonnentages bzw. einer vollständigen Drehung der Erde um die Erdachse. Man benötigte wegen der beginnenden Raumfahrt allerdings eine größere Genauigkeit und definierte die Sekunde auf der Grundlage der Absorption von Schwingungen bei inneratomaren Prozessen des Isotops Cs 133: die Zeit für 9.192.631.770 Schwingungen dieses Cäsium-Isotops.

Tabelle 7.1: Grundgrößen und SI-Einheiten, deren Symbole, Umrechnungsfaktoren

Größe	Symbol	SI-Einheit	Symbol	Definition					
Länge	l	Meter	m	Wellenlänge Krypton 86					
Masse	m	Kilogramm	kg	1 dm ³ Wasser (4°C)					
Zeit	t	Sekunde	s	Frequenz Cäsium 133					
Temperatur	T	Kelvin	K	0 K = −273,15°C					
Stromstärke	I	Ampère	A	0,19 cm ³ Knallgas pro 1 s					
Stoffmenge	n	Mol	mol	Avogadro-Konstante N_A					
Lichtstärke	I	Candela	cd	spez. Amylacetat-Flamme					
Zur Angabe von Vielfachen oder Teilen der SI-Einheiten sind folgende Vorsilben üblich:									
10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ²	10 ^{−1}	10 ^{−2}	10 ^{−3}	10 ^{−6}	10 ^{−9}	10 ^{−12}
G	M	k	h	d	c	m	μ	n	p
Giga	Mega	Kilo	Hekto	Dezi	Zenti	Milli	Mikro	Nano	Pico

Wärmeenergie. Die ursprüngliche Einheit für die Wärmeenergie war die Kalorie. Sie beschreibt die Energiemenge, die 1 g Wasser zur Erwärmung um 1 K zuzuführen ist, genauer: von 14,5°C auf 15,5°C. Um diese Energiemenge mit anderen Energien vergleichen und im Größenkalkül umrechnen zu können, hat man die Einheit Joule (J) eingeführt: 1 J = 1 Nm = 1 kg m²/s².

Nach dieser Festlegung auf Grundlage der SI-Einheiten gilt zur Umrechnung von alter und neuer Einheit für die Wärmeenergie: 1 cal = 4,18 J.

SI-Einheiten. Das letzte Beispiel zeigt eine Besonderheit auf: Die Einheit J ist durch einen Term der Grundeinheiten kg, m und s definiert worden. Diese Einheiten unterliegen seit 1968 dem *Système Internationale*, man nennt sie deshalb SI-Einheiten. Es gibt viele andere Größen, die sich von den SI-Einheiten ableiten bzw. auf dieser Grundlage neu definiert worden sind: Fläche, Volumen, Dichte, Druck, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Konzentration, Kraft, Energie, Enthalpie, Entropie, Leistung, elektrische Ladung, Spannung, Widerstand, Kapazität, u. a. Tabelle 7.1 gibt die sieben Grundgrößen und entsprechenden SI-Einheiten an.

7.1.2 Schulrelevante Größen und Einheiten

Masse und Dichte. Legt man konsequent die SI-Einheiten zugrunde, so müssten alle Massen in kg und die Dichten in kg/m³ angegeben werden. Zum einen ist es aber sinnvoll, wegen der Größenordnung von Stoffportionen Angaben in g und mg zu verwenden, zum anderen sollten die üblichen Dichten in g/mL bzw. g/cm³ für Feststoffe und Flüssigkeiten bzw. in g/L für Gase beibehalten werden.

In der Literatur werden als Symbole für Liter oder Milliliter anstelle von L bzw. mL auch l bzw. ml verwendet, bei ersterem hebt sich aber der Großbuchstabe L besser lesbar von der Zahl Eins ab und wird daher auch hier bevorzugt.

Atommasse. Eine völlig andere Masseneinheit als das kg ist überdies in der Chemie üblich: die Einheit u für die Atommasse. Die früheren „relativen Atomgewichte“ waren dimensionslos und wurden zunächst durch den Vergleich mit der Masse des H-Atoms, dann mit der Masse des O-Atoms in ersten Atommassentabellen festgelegt. Um Atommassen ins Größenskalkül mit einbeziehen zu können, ist die Einheit u definiert worden: $1\text{ u} = 1/12$ der Masse des Isotops C-12. Sie wird mit Hilfe der Avogadro-Konstante auch mit der Einheit g verknüpft:

$$1\text{ g} = N_A \cdot 1\text{ u}.$$

Die Molekülmassen leiten sich in bekannter Weise durch Verrechnung der Massen beteiligter Atome ab, die *molare Masse* M ebenfalls. Beispiele:

$$\begin{array}{lll} m_{1\text{ C-Atom}} = 12\text{ u}, & m_{1\text{ mol C-Atome}} = 12\text{ g}, & M(\text{C}) = 12\text{ g/mol} \\ m_{1\text{ C}_2\text{H}_5\text{OH-Molekül}} = 46\text{ u}, & m_{1\text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH-Moleküle}} = 46\text{ g}, & M(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 46\text{ g/mol} \end{array}$$

Mol. Die Einheit für die Stoffmenge n ist das Mol mit dem Einheitsymbol *mol*. Für diese Einheit ist ein besonders drastischer Bedeutungswandel erfolgt. In früheren Jahrzehnten sprach man vom „Mol als dem Molekulargewicht in g“ und verwendete den Zahlenwert der relativen Molekülmasse mit der Einheit g. Heute gilt folgende IUPAC-Definition: „Ein Mol ist die Stoffmenge einer Stoffportion, die ebenso viele Teilchen enthält wie 12 g Kohlenstoff, der ausschließlich aus C-12-Isotopen besteht. Die Teilchen der betrachteten Stoffportion sind näher zu charakterisieren, es kann sich um Atome, Moleküle, Ionen, Elektronen und andere Teilchen handeln“ [2].

Der klare Vorteil dieser Definition ist, dass die unpräzise Angabe „1 mol Sauerstoff“ ersetzt wird durch „1 mol O-Atome“ oder „1 mol O₂-Moleküle“ oder „1 mol O₃-Moleküle“:

$$m_{1\text{ mol O-Atome}} = 16\text{ g}, \quad m_{1\text{ mol O}_2\text{-Moleküle}} = 32\text{ g}, \quad m_{1\text{ mol O}_3\text{-Moleküle}} = 48\text{ g}$$

32 g Schwefel enthalten entweder 1 mol S-Atome oder 1/8 mol S₈-Moleküle

Abgeleitet vom Molbegriff definiert man die molare Masse M (g/mol), das molare Volumen V_m (L/mol), die molare Teilchenzahl N_A (1/mol), die molare Ladung F (C/mol), die Stoffmengenkonzentrationen Molarität (mol/L) oder Molalität (mol/kg). Die übliche Konzentrationsangabe in mol/L erlaubt nach der derzeitigen Stoffmengen-Definition ebenfalls präzise Angaben. So wird die unpräzise Angabe „1-molare Schwefelsäure“ ersetzt durch präzise Angaben:

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{SO}_4 = 1\text{ mol/L} \quad \text{oder } \text{C}_2\text{H}_5^+(\text{aq}) = 2\text{ mol/L} \quad \text{bzw. } \text{C}_2\text{H}_5\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) = 1\text{ mol/L}$$

Temperatur. Die aus dem Alltag übliche Einheit °C bleibt selbstverständlich für Ausbildungszwecke relevant. Die Einheit K (nicht °K!) kann für Temperaturdifferenzen gewählt, muss allerdings in jedem Fall für Terme der Gasgesetze verwendet werden. Es gilt: $0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$.

7.1.3 Schulrelevante Fachbegriffe

Es gibt wichtige Begriffe, die einen Bedeutungswandel erfahren haben und deshalb reflektiert werden sollen: Formel, Gleichung, Teilchen, Wertigkeit, Energie, Säure und Base, Isomerie, etc.

Formeln und Gleichungen. Es hat sich eingebürgert, Symbole wie CH_3COOH als Formeln zu bezeichnen. Geht man davon aus, dass in Begriffssystemen der Mathematik und Physik unter Formeln Terme verstanden werden, in die Zahlenwerte einzusetzen sind und neue Zahlenwerte resultieren, dann sollte man es in Lehre und Unterricht konsequent bei dieser Bedeutung belassen. Auch Gleichungen haben eine andere Bedeutung in Mathematik und Physik – chemische Reaktionsgleichungen können lediglich meinen, dass die Summen der Massen links und rechts des Pfeils identisch sind. Da Stoffe bzw. Eigenschaften oder Energieinhalte auf beiden Seiten des Pfeils definitiv unterschiedlich sind, ist der Begriff Gleichung für den Anfänger sehr irreführend und sollte aus diesem Grund durch Reaktionsschema oder Reaktionssymbol ersetzt werden.

Chemische Symbole. Spricht man vom CH_3COOH -Symbol bzw. Molekülsymbol, so umgeht man nicht nur den unzutreffenden Formelbegriff, sondern verwendet einen Grundgedanken der modernen Philosophie: „Symbole sind nicht Stellvertretung ihrer Gegenstände, sondern Vehikel für die Vorstellung von Gegenständen. In der Denotation der gewöhnlichen Art von Symbolfunktion müssen es vier Glieder sein: *Subjekt, Symbol, Vorstellung* und *Objekt*“ [3]. Der Chemiker (Subjekt) nimmt das Schriftzeichen CH_3COOH (Symbol) zur Kenntnis und denkt sich den Aufbau des Essigsäure-Moleküls (Vorstellung). Er weiß, dass die Struktur dieses Moleküls (Objekt) jederzeit durch Methoden der instrumentellen Analytik bestätigt werden kann. Ausführlicher können diese Zusammenhänge bei Langer [3] und Barke [4] nachgelesen werden.

Der *Symbolbegriff* kann konsequent in folgender Weise angewendet werden (vgl. Abb. 7.1): Atomsymbol (auch Elementsymbol), Ionensymbol, Molekülsymbol, Verbindungssymbol, Summensymbol, Halbstruktursymbol, Struktursymbol, Molekülstruktursymbol, Konstitutions-, Konfigurations-, Konformations- bzw. Stereosymbol, Ionenaggregat-Struktursymbol (Niggli- oder Parthé-Symbol), Ionenanzahlenverhältnissymbol, Reaktionssymbol oder Umgruppierungssymbol.

Nähere Details – insbesondere unterschiedliche Symbole infiniten und finiten Teilchenverbände – zeigen die Beispiele in der Abbildung 7.1. Man erkennt speziell, mit welchen informationsarmen Symbolen wie CaF_2 , NaCl oder Al_2O_3 man im Unterricht arbeitet: Sie vermitteln – im Gegensatz zu Struktursymbolen für Moleküle – keinerlei Vorstellungen zum Aufbau dieser Verbindungen!

Mit dem verabredeten Symbolbegriff wird auch deutlich, dass Symbole wie NaCl bzw. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ Teilchenaggregate bzw. Moleküle repräsentieren, deshalb nicht dem Kontinuumsbereich angehören und nicht als Abkürzung für Substanznamen zu wählen sind (EtOH wäre eine willkürliche Abkürzung für Ethanol). Symbole wie C, H, O oder $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ beziehen sich auf den *Diskontinuumsbereich* und bedeuten zunächst 1 C-Atom, 1 H-Atom, 1 O-Atom und 1 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ -Molekül. In Reaktionssymbolen können solche Symbole auch für eine große Zahl von Teilchen stehen, im besonderen Fall für 1 mol der entsprechenden Teilchen.

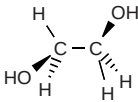
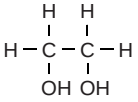
Kristallgittersymbole		Molekülsymbole	
$\{\text{Ca}^{2+} [8c + 12c] \text{F}_2^- [4t + 6o]\}$ $\{\text{Ca}^{2+} \text{F}_2^- 8/4\} \text{G}$	Parthé-Symbol und Niggli-Symbol für die Ionenaggregatstruktur		Stereosymbol zur Molekülstruktur
↑	↑	↑	↑
$\{(\text{Ca}^{2+})_4(\text{F}^-)_8\}$	Symbol für die Elementarzelle		Konstitutionsymbol
↑	↑	↑	↑
$\{(\text{Ca}^{2+})_1(\text{F}^-)_2\}$	Symbol für das Ionenanzahlverhältnis	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$	Halbstruktursymbole
↑	↑	↑	↑
$\text{Ca}^{2+} (\text{F}^-)_2$ CaF_2	Summensymbole	CH_2OH CH_3O	Summensymbole

Abb. 7.1: Typen chemischer Symbole (Beispiele Calciumfluorid und Ethandiol)

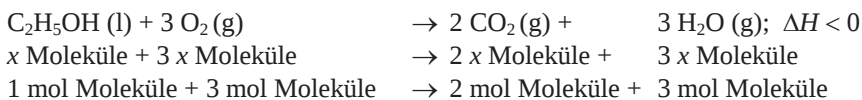
Um für den submikroskopischen Bereich möglichst doppeldeutige Bezeichnungen zu vermeiden, sollten Atom-, Ionen- oder Molekülsymbole mit den bekannten Zeichen für Massen, Volumina oder Konzentrationen folgendermaßen verknüpft werden:

$$m_{1 \text{ mol Ar-Atome}} = 39,95 \text{ g}, V_{1 \text{ mol Ar-Atome}} = 22,4 \text{ L (Normbed.)}, c_{\text{H}^+(\text{aq})} = 0,1 \text{ mol/L}$$

Konsequent wäre es, für den *Kontinuumsbereich* die Namen für Substanzen der makroskopisch beobachtbaren Stoffe auszuschreiben – auch auf Etiketten der Vorratsflaschen in Chemikaliensammlungen oder für messbare Eigenschaften der Substanzen:

$$\text{Dichte}_{\text{Ethanol}} = 0,79 \text{ g/mL}, \quad \text{Siedetemperatur}_{\text{Ethanol}} = 78^\circ\text{C (Normbed.)}$$

Reaktionssymbole. In Reaktionssymbolen ist eine Doppeldeutigkeit der chemischen Symbole nicht zu vermeiden. Als Beispiel sei die Verbrennungsreaktion von Ethanol notiert:



Wollte man Symbole eindeutig verwenden und einem Atomsymbol genau ein Teilchen zuordnen, müsste man für stöchiometrische Betrachtungen mit dem Buchstaben x kennzeichnen, dass große Zahlen von Teilchen oder molare Stoff-

mengen gemeint sind. Das kann zur Einführung zunächst geschehen, fortgeschrittenen Chemie-Lernenden ist es allerdings zuzumuten, aus dem Zusammenhang zu folgern, ob ein Symbol für genau 1 Teilchen oder für 1 mol Teilchen steht.

Solange im Anfangsunterricht der Diskontinuumsbereich noch nicht zugrunde liegt und keine Betrachtungen zur Stöchiometrie oder zur Struktur der Teilchenaggregate eine Rolle spielen, sollten ausschließlich *Reaktionssymbole in Worten* verwendet werden:

Ethanol (l) + Sauerstoff (g) → Kohlenstoffdioxid (g) + Wasser (g); exotherm

Möchte man den Symbolbegriff konsequent im Diskontinuumsbereich belassen, kann man Begriffe wie *Reaktionsschema* oder *Wortschema* einführen – in keinem Falle den nicht zutreffenden Begriff „Wortgleichung“: gerade die *Unterschiede* der Ausgangsstoffe und Reaktionsprodukte sollen im Anfangsunterricht im Vordergrund stehen! Es ist ebenfalls die Bedeutung des *Pluszeichens* als „aufzählendes und“ sowie die Bedeutung des *Reaktionspfeiles* zu klären: Er kann gelesen werden als „reagieren unter Bildung von“, „aus bilden sich“, o. ä.

Teilchen. Der Teilchenbegriff wird in Lehre und Unterricht oftmals als erste vorläufige Modellvorstellung eingeführt, wenn etwa der schematische Aufbau eines Zuckerkristalls aus Zucker-Teilchen oder einer Ethanol-Lösung aus Ethanol- und Wasser-Teilchen veranschaulicht werden sollen. Selbstverständlich ist mit der ersten Einführung eines Modells grundsätzlich über den naturwissenschaftlichen Modellbegriff zu reflektieren (vgl. Kap. 6). Es ergeben sich allerdings in zweifacher Hinsicht fachdidaktische Probleme.

Solange man den Teilchenbegriff auf Beispiele wie Metall-Atome oder Gas-Moleküle anwendet, wird man auf keinerlei Schwierigkeiten stoßen: Eine Kugel ist Modell für jeweils ein Metall-Atom bzw. für ein Gas-Molekül. Wendet man den Teilchenbegriff auf Salze oder Salzlösungen an, so stößt man an Grenzen dieser Modellvorstellung. Gemäß der Verabredung, einem Teilchen eines Reinstoffes eine Kugel als Modell zuzuordnen, müsste die Kugel am Beispiel des Natriumchlorids für die Ionengruppe Na^+Cl^- oder gar für die Elementarzelle $\{(\text{Na}^+)_4(\text{Cl}^-)_4\}$ stehen. Sachlich zutreffend sind Salze oder Salzlösungen aber mindestens aus zwei Ionensorten aufgebaut und ein Modell sollte von zwei Kugelsorten ausgehen. Aufgrund dieser Problematik wird der Teilchenbegriff meistens nicht auf salzartige Substanzen angewendet.

Die zweite Schwierigkeit liegt in der Beobachtung sehr kleiner Partikel in Pulvermischungen, Suspensionen oder Aerosolen. Lernende beschreiben beispielsweise ein Gemisch aus Eisen- und Schwefelpulver gern mit „Eisen-Teilchen und Schwefel-Teilchen“, benutzen damit den Teilchenbegriff für sichtbare Kristalle – wohl wissend, dass jeder kleine Kristall aus Milliarden von Teilchen besteht. Legt man Wert darauf, den Begriff des kleinsten Teilchens konsequent dem submikroskopischen Bereich der Atome, Ionen und Moleküle zuzuordnen, dann sollte man für winzige Stoffportionen die Bezeichnungen „Kristalle, Körner, Tröpfchen“ o. ä. wählen und nur ihnen Stoffeigenschaften zuordnen – nicht den Teilchen!

Wertigkeit. Es wird immer noch ein allgemeiner Wertigkeitsbegriff verwendet, der historisch hilfreich für Hypothesen zur Zusammensetzung von Substanzen war. Solange man im 19. Jahrhundert davon ausging, dass alle Verbindungen aus Molekülen aufgebaut sind, interpretierte man die Aussage „Aluminium ist dreiwertig“ dahingehend, dass Al-Atome drei „Valenzen“ im Sinne von Kekulé aufweisen und entsprechend Molekül-Verbindungen bilden, die dann folgerichtig etwa mit Symbolen wie AlF_3 oder Al_2O_3 gekennzeichnet wurden.

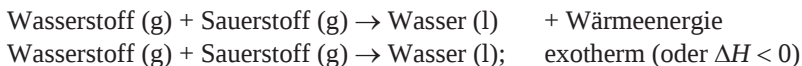
Dieser allgemeine Wertigkeitsbegriff ist heute sinnlos geworden und deshalb entbehrlich. Zum einen steht der Ionenbegriff zur Verfügung und man kann für die ionischen Verbindungen die *Ladungszahlen* der Ionen verwenden: etwa von Al^{3+} -Ionen, F^- -Ionen oder O^{2-} -Ionen ausgehend, entsprechende Verbindungssymbole wie $\{(\text{Al}^{3+})_1(\text{F}^-)_3\}$ oder $\{(\text{Al}^{3+})_2(\text{O}^{2-})_3\}$ formulieren und ggf. zu AlF_3 oder Al_2O_3 verkürzen. Zum anderen sind für viele molekulare Substanzen *Bindigkeiten* der sie aufbauenden Nichtmetall-Atome üblich: C-Atome stellt man sich als vierbindig vor, H-Atome als einbindig und sagt diesbezügliche Molekülsymbole wie CH_4 oder C_2H_6 voraus. In beiden Fällen sind die Begriffe Ladungszahl und Bindigkeit strukturellchemisch interpretierbar, führen zu sachlich zutreffenden Strukturvorstellungen und angemessenem Chemieverständnis.

Energie. Man unterscheidet die Begriffe Energie, Enthalpie und „freie Enthalpie“. Hinsichtlich chemischer Reaktionen wird von *Enthalpien* gesprochen, wenn konstante Druckverhältnisse zugrunde liegen, von *Energien*, wenn es konstante Volumina sind. Da übliche Messungen im Schullabor meist bei konstantem Druck stattfinden, kann man es bei dem Begriff Enthalpie belassen. Meist wird allerdings die thermodynamische Unterscheidung nicht übermäßig strapaziert und unpräzise auch von Reaktionswärme, Wärmeenergie oder Energiemenge gesprochen.

Die *freie Reaktionsenthalpie* ΔG wird im Zusammenhang mit der „Triebkraft“ oder „Freiwilligkeit“ chemischer Reaktionen diskutiert, die sowohl von der *Reaktionsenthalpie* ΔH als auch von der *Reaktionsentropie* ΔS abhängt: Die Gleichung von Gibbs-Helmholtz stellt die quantitative Beziehung her: $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$

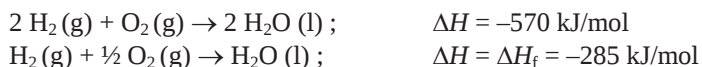
Die Schulchemie versucht oftmals, *chemische und physikalische Vorgänge* zu unterscheiden. Da allerdings auch beim Schmelzen, Verdampfen oder Lösen entsprechende Enthalpien gemessen werden, die sich in keiner Weise von den Reaktionsenthalpien üblicher Reaktionen unterscheiden, macht es keinen Sinn, diese Abgrenzung konstruieren zu wollen.

Zur *qualitativen Angabe des Energieumsatzes* sind verschiedene Reaktionssymbole üblich, Begriffe wie exotherm bzw. endotherm oder die Angaben $\Delta H < 0$ bzw. $\Delta H > 0$ möglich:



Wird – wie im ersten Reaktionssymbol – die Wärmeenergie mit einem Pluszeichen in die Reihe der Stoffsymbole gestellt, so mögen Lernende zur Vorstellung gelangen, dass es sich bei der Wärmeenergie um einen an der Reaktion beteiligten „Wärmestoff“ handelt, wie er historisch diskutiert worden ist. Es ist deshalb zu empfehlen, die Angabe der Stoffe von der Angabe des Energieumsatzes deutlich durch ein Semikolon zu trennen, wie es das zweite Reaktionssymbol zeigt.

Bei *quantitativen Angaben von Enthalpien* ist zu beachten, dass Zahlenwerte in kJ/mol für den Stoffumsatz des *formulierten Reaktionssymbols* gelten, dagegen beziehen sich Zahlenwerte für ΔH_f (f: formation) zur Angabe der Bildungsenthalpien immer auf 1 mol gebildeter Teilchen (unter Standardbedingungen):



Säuren und Basen. Gemäß der historischen Entwicklung gibt es wenigstens drei verschiedene Ebenen der Definition des Säurebegriffs (und analog auch drei Ebenen des Basebegriffs):

1. Die älteste Auffassung war *substanzbezogen*: „Eine Säure ist ein Stoff, der einen Indikatorfarbstoff spezifisch färbt oder Kalkstein unter Gasentwicklung auflöst“ (Boyle, 1663).
2. Es folgten *strukturbezogene* Definitionen, als die Zusammensetzungen unterschiedlicher Säuren nach und nach bekannt wurden: „Säuren sind Wasserstoff-Verbindungen, in denen der Wasserstoff durch Metalle ersetzbar ist“ (Liebig, 1838), oder „Säuren dissoziieren in Wasser, es liegen in wässriger Lösung H^+ -Ionen und Säurerest-Ionen vor“ (Arrhenius, 1884).
3. Schließlich ergab sich eine *funktionsbezogene* Definition: „*Teilchen*, die Protonen abgeben können, werden Säuren genannt“ (Brönsted, 1923). Teilchen – etwa das H_2O -Molekül oder das HSO_4^- -Ion – können in diesem Sinne je nach Reaktionspartner Säure oder Base sein bzw. beide Funktionen erfüllen.

Die *Arrhenius-Definition* bedeutete einen revolutionären Fortschritt gegenüber allen früheren Definitionen: Man erkannte, dass in sauren Lösungen das $\text{H}^+(\text{aq})$ -Ion verantwortlich ist für die sauren Eigenschaften, in alkalischen Lösungen das $\text{OH}(\text{aq})$ -Ion für die alkalischen Eigenschaften. Dieser Vorzüge wegen wird sie heute noch in vielen Curricula verwendet.

Es gab allerdings auch offene Fragen. So war völlig unklar, aus welchen Gründen Säure-Moleküle in Ionen gespalten werden, also *dissoziieren*, und warum es manche Säuren nur zu einem gewissen Grad tun und mit dem sogenannten Dissoziationsgrad beschrieben werden mussten. Zum zweiten war die Substanz Ammoniak und deren alkalische Lösung in Wasser nicht mit der Definition in Einklang zu bringen: OH^- -Ionen spalten sich formal nicht von NH_3 -Molekülen ab. Man erfand *Ammoniumhydroxid* NH_4OH und beschrieb die wässrige Lösung mit den entsprechenden Ionen. Allerdings existiert diese Substanz nicht als Feststoff und kann deshalb nicht wie die anderen festen Hydroxide durch Dissoziation in Wasser die Ionen liefern. Noch heute findet man alte Flaschen mit der Aufschrift „ NH_4OH “ oder „Ammoniumhydroxid“ für eine fiktive Substanz.

Schließlich war die Arrhenius-Definition auf das *Lösungsmittel Wasser* beschränkt. Man kannte nämlich eine Reihe anderer Substanzen, die etwa mit Indikatorfarbstoffen Säuren und Laugen anzeigen, aber nicht in wässrigen Lösungen vorliegen. So zeigte man etwa in flüssigem Ammoniak die Neutralisation von

Ammoniumsalzen und Metallamiden unter Verwendung üblicher Indikatorfarbstoffe und formulierte sie analog der Neutralisation in wässriger Lösung:



Mit der *Brönsted-Definition* wurden diese Widersprüche beseitigt: ein ausgezeichnetes Beispiel für die konstruktive Erweiterung von Modellvorstellungen auf der einen Seite, für die Koexistenz zweier Theorien auf der anderen Seite. Denn auch heute hat die Arrhenius-Definition im Bereich wässriger Lösungen ihre Gültigkeit und kann nicht „falsch“ genannt werden – eine Problematik, die auch mit Schülern im Chemieunterricht diskutiert werden sollte.

Hinsichtlich der Definition von Brönsted ist hervorzuheben, dass der Begriff Säure nicht so sehr die Substanz meint, als vielmehr ein *Säure-Teilchen*. Das zeigen diese Beispiele:

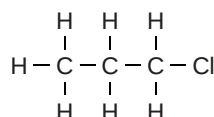
<i>Substanzen:</i>	<i>Säure-Teilchen:</i>
Salzsäure(aq)	H_3O^+ (aq)-Ionen
Schwefelsäure(aq)	H_3O^+ (aq)-Ionen
Schwefelsäure(l)	H_2SO_4 -Moleküle
Natriumhydrogensulfat(s)	HSO_4^- -Ionen

Im Bereich alkalischer Lösungen ist eine Unterscheidung beider Ebenen durch Begriffe möglich, man spricht von Natronlauge (Lösung) bzw. Natriumhydroxid (Feststoff) im Sinne von Substanzen; mit *Basen* dagegen kennzeichnet man *Teilchen*, die Protonen aufzunehmen vermögen: OH^- - oder NH_2^- -Ionen oder NH_3 -Moleküle. Im Bereich der *Säuren* ist jeweils aus dem Zusammenhang zu schließen, ob eine Substanz oder ein Säure-Teilchen gemeint ist. Teilchen können allerdings nicht generell in Säuren und Basen eingeteilt werden – je nach Reaktionspartner reagieren bestimmte Teilchen sowohl als Säure als auch als Base: H_2O - oder NH_3 -Moleküle, OH^- - oder HSO_4^- -Ionen. Man nennt sie auch *Ampholyte*. Es ist nützlich, entsprechende Symbole für *Protolysen* und *Säure-Base-Paare* anzugeben.

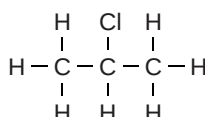
Isomerie. Unter Isomeren versteht man Substanzen gleicher empirischer Zusammensetzung, deren Moleküle aber unterschiedliche räumliche Anordnungen der Atome aufweisen. Es gibt verschiedene *Arten von Isomeren*: Hinsichtlich der Konstitutionsisomerie unterscheidet man Stellungs-, Funktionsisomerie, Tautomerie und Valenzisomerie, bezüglich der Stereoisomere können es Cis-trans-Isomere, Spiegelbild- oder Konformationsisomere sein (vgl. Abb. 7.2). Stereoisomere, deren Moleküle mehrere asymmetrische Kohlenstoffatome enthalten und die keine Spiegelbildisomere sind, bezeichnet man als Diastereoisomere (z. B. α -D-Glucose und β -D-Glucose).

1. Konstitutionsisomerie: unterschiedliche Verknüpfung von Atomen in Molekülen

- 1a)
- Stellungsisomerie*
- : unterschiedliche Verknüpfungen, aber gleiche funktionelle Gruppen

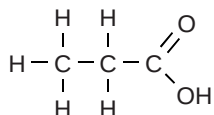


1-Chlorpropan

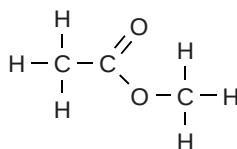


2-Chlorpropan

- 1b)
- Funktionsisomerie*
- : unterschiedliche funktionelle Gruppen

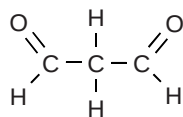


Propansäure



Ethansäuremethylester

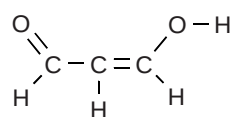
- 1c)
- Keto-Enol-Tautomerie*
- : unterschiedliche Position von H-Atomen im Molekül. Beide Formen wandeln sich leicht ineinander um.



Keto-Form

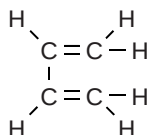


Propandial

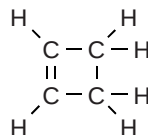


Enol-Form

- 1d)
- Valenzisomerie*
- : unterschiedliche Zahl von Einfach- und Mehrfachbindungen



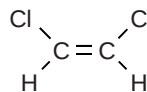
Buta-1,3-dien



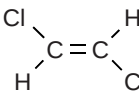
Cyclobuten

2. Stereoisomerie: gleiche Verknüpfung der Atome, aber verschiedene räumliche Lage

- 2a)
- Cis-trans-Isomerie*
- : unterschiedliche Lage von Atomen bei Doppelbindungen und in Ringen

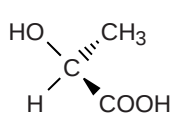


cis-1,2-Dichlorethen

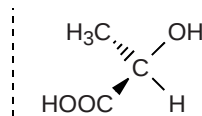


trans-1,2-Dichlorethen

- 2b)
- Spiegelbildisomerie*
- : unterschiedliche Orientierung bei vier verschiedenen Atomgruppen um ein C-Atom

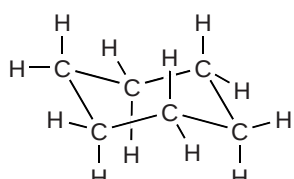


L-Milchsäure

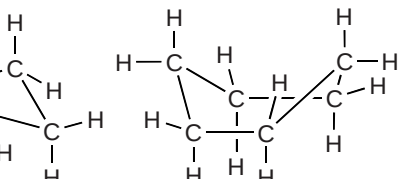


D-Milchsäure

- 2c)
- Konformationsisomerie*
- : unterschiedliche Atompositionen durch Drehung um die Einfachbindung



Sesselform



Cyclohexan

Wannenform

Abb. 7.2: Unterschiedliche Isomerien und entsprechende Fachbegriffe [5]

7.2 Vermittlungsprozesse

– Alltagssprache → Fachsprache → Symbolsprache

„Aller Unterricht hat bei der Erfahrung der Kinder anzufangen“ (Dewey). „Alle neuen Erfahrungen, die Lernende im Unterricht machen, werden mit Hilfe bereits vorhandener Vorstellungen organisiert“ (Ausubel).

Diese bekannten Aussagen werden heute von Lernpsychologen, die den Konstruktivismus vertreten, dahingehend empirisch bestätigt, dass sich jedes Individuum seine Wissensstruktur auf der Grundlage von Vorerfahrungen und der vorhandenen kognitiven Struktur selbst konstruiert. Diese lernpsychologischen Fakten gelten insbesondere für die Erweiterung der Alltagssprache zur Fachsprache und schließlich zur chemischen Symbolsprache.

7.2.1 Verknüpfung von Alltagssprache und Fachsprache

Sobald im Chemieunterricht eine neue Thematik begonnen wird, sollten erste Erscheinungen in der Alltagssprache umschrieben und erste Reaktionssymbole in Worten verwendet werden, ehe später Summensymbole oder Struktursymbole folgen (vgl. Tabelle 7.2). Ist ein gewisses Maß an Fachsprache erfolgreich erlernt worden, sind entsprechende Begriffe bei neuen Beschreibungen mit zu verwenden, um vorhandenes Wissen mit diesen neuen Begriffen zu verknüpfen und damit die vorhandene kognitive Struktur der Lernenden zur neuen Wissensstruktur zu erweitern. Liegen etwa Begriffe wie Säure und Lauge, sauer und alkalisch bzw. Hydronium- und Hydroxid-Ion im Sinne des Arrhenius-Konzeptes vor, so können diese bei der Einführung des Brönsted-Konzeptes wieder aufgegriffen, in diesem

Tabelle 7.2: Beschreibungen chemischer Vorgänge auf der Ebene der Alltagssprache, der Fachsprache, der chemischen Symbolsprache

Alltagssprache	Fachsprache	Symbolsprache
Kalk löst sich in Wasser, bis etwas am Boden ungelöst liegen bleibt	gesättigte Lösung von Calciumhydroxid steht im Gleichgewicht mit dem Bodenkörper, Löslichkeit bei 20°C: 0,96 g/L Wasser	$\{\text{Ca}^{2+}(\text{OH}^-)_2\} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq})$ $L(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 8 \cdot 10^{-6} (\text{mol}^3/\text{L}^3)$ $c(\text{Ca}^{2+}) = 0,013 \text{ mol/L}$; $c(\text{OH}^-) = 0,026 \text{ mol/L}$ (Normbed.)
Kalkwasser schmeckt seifig	Calciumhydroxid-Lösung färbt Universalindikatorpapier blau, der pH-Wert ist größer als 7	für 0,005-molare Calciumhydroxid-Lösung gilt: $c(\text{OH}^-) = 0,01 \text{ mol/L}$, $\text{pH} = 12,0$
Kalkstein Brannkalk	Calciumcarbonat Calciumoxid	$\{\text{Ca}^{2+}\text{CO}_3^{2-}\}$, CaCO_3 $\{\text{Ca}^{2+}\text{O}^{2-}\}$, CaO
Brannkalk löschen, Löschkalk herstellen	Calciumoxid (s) + Wasser → Calciumhydroxid (s); exotherm	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$; $\Delta H < 0$ $\text{O}^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{OH}^-$; $\Delta H < 0$ (Säure-Base-Reaktion)

neuen Sinne verknüpft und mit alten Bedeutungen verglichen werden. Sind Begriffe wie Donator und Akzeptor aus Beschreibungen von Säure-Base-Reaktionen bekannt, so können sie auch bei Redoxreaktionen verwendet und beide Reaktionstypen unter „Donator-Akzeptor-Reaktionen“ begrifflich zusammengeführt werden.

Begriffsnetze. Sumfleth [6] hat die Vernetzung von Grundbegriffen des Chemieunterrichts beschrieben, entsprechende Begriffsnetze vorgeschlagen und untersucht. Abbildung 7.3 zeigt solche „Systematisierungshilfen“ bezüglich der Thematik „Säure-Base-Reaktionen“ und „Reaktionstypen“. Schemata dieser Art sind allerdings nur dann wirkliche Lernhilfen, wenn die Schüler die jeweils unterschiedlichen Bedeutungen der Pfeile zwischen den Begriffen erkennen und verstehen.

Zur Lernzielkontrolle können wiederum Schüler aufgefordert werden, solche Begriffsnetze oder auch *Concept Maps* zu erstellen. Dazu werden Schüler gebeten, vorgegebene Begriffe sinnvoll zu ordnen, zusammenhängende Begriffe mit einem Beziehungspfeil zu versehen und passend zu beschriften. Ein anspruchsvolles Netz zum Thema „Säuren und Basen“ zeigt Abbildung 7.3. Weitere Ausführungen zu dieser Bewertungsmethode skizziert Behrendt [7].

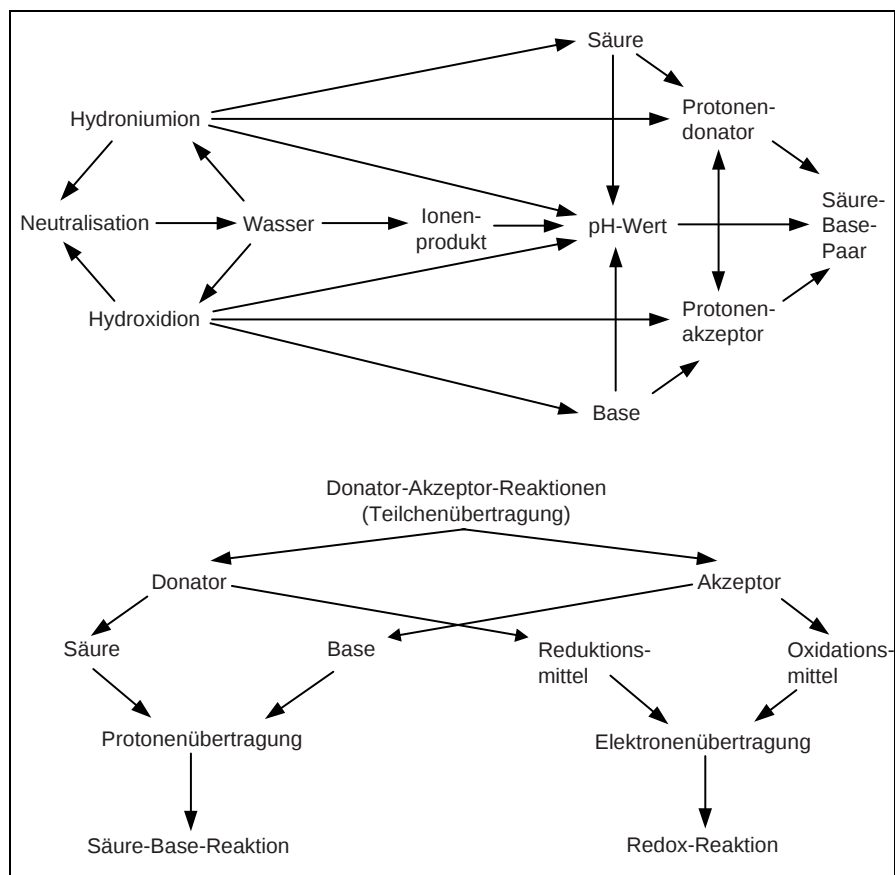


Abb. 7.3: Begriffsnetze zu „Säure-Base-Reaktionen“ und „Reaktionstypen“ [6]

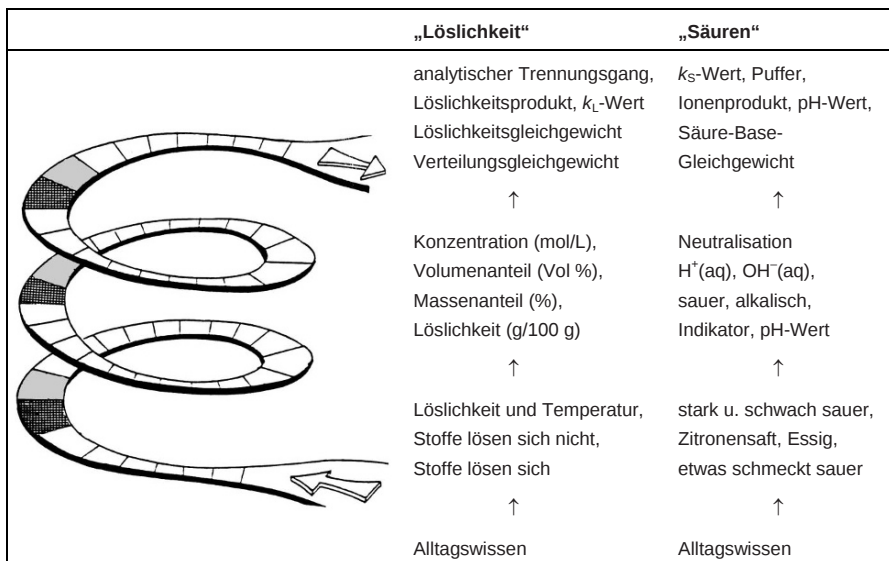


Abb. 7.4: Die Begriffe „Löslichkeit“ und „Säuren“ in der Curriculumspirale

Curriculumspirale. Die Erweiterung von Bedeutungen bestimmter Begriffe, Modelle oder Symbole und die damit fortschreitende Abstraktion wird auch gern als spirallcurriculares Vorgehen oder als Lernen in Form einer Curriculumspirale bezeichnet. Der Anfang einer Curriculumspirale sollte immer auch die Verwendung der Alltagssprache einschließen, der Aufstieg von Lernstufe zu Lernstufe konsequent die Verknüpfung vorhandener Begriffe mit neuen Begriffen gewährleisten. Beispiele aus dem Bereich „Löslichkeit“ und „Säuren“ zeigt Abbildung 7.4. Über diese Beispiele hinaus stellen Schmidkunz und Büttner zur besseren Abstimmung von Unterrichtsthemen den gesamten „Chemieunterricht im Spiralcurriculum“ [8] dar (vgl. Abb. 3.9 in Kap. 3).

Begriffsebenen. Im Kapitel 6 wurde die Arbeit mit Denkmodellen im Bewusstsein des Menschen und mit konkreten Anschauungsmodellen wie Kugelpackungen und Gittermodellen reflektiert, ein Schema von Steinbuch [9] abgebildet (vgl. Abb. 6.2). Den dort diskutierten drei Ebenen entsprechen auch drei Begriffsebenen: Begriffe der Substanzebene, der Ebene der Denkmodelle und der Sachmodelle. Ein Beispiel zur Lösung von Zucker und der Interpretation auf der Basis des Teilchenmodells zeigt Abbildung 7.5. Es soll in Unterrichtsgesprächen möglichst erreicht werden, Begriffe jeweils einer Ebene sinnvoll zu verknüpfen: Zucker löst sich in Wasser unter Bildung einer Zuckerlösung, wir denken uns als Modellvorstellung stark bewegte Zucker- und Wasser-Teilchen, zur Anschauung können rote Kugeln und blaue Kreuze für eine Modellzeichnung gewählt werden. Vermengt man beliebig die Begriffe aus den verschiedenen Ebenen, so resultieren sinnlose Zusammenhänge und falsche Modellvorstellungen wie „Zuckerlösung besteht aus roten Kugeln und blauen Kreuzen“ oder „Zucker-Teilchen sind rote Kugeln und schmecken süß“.

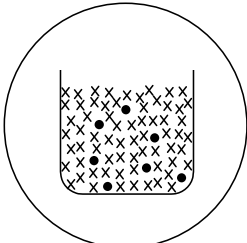
Realität (Original)	Bewusstsein (Denkmodell)	Realität (Anschauungsmodell)
 Lösung von Zucker in Wasser	 große Zucker-Teilchen und kleine Wasser-Teilchen in ständiger Bewegung	 Kugel, Scheibe, Kreuz, große und kleine Kugeln, bewegte Kugeln, rote und blaue Farbe, Strukturmodell, Kugelpackung, Gittermodell, Molekülmodell, Simulationsmodell
Stoff, Substanz, Zucker, Wasser, Zucker-Lösung, Kandiszucker-Kristalle, Rübenzucker, Puderzucker, süßer Geschmack, Sirup, Zuckerschmelze	Teilchen, Kugelteilchen, Teilchengröße, -bewegung, Zucker- und Wasser-Teilchen, Teilchenanordnung, -gitter, C-, H- und O-Atome im Zucker-Molekül	

Abb. 7.5: Begriffe auf der Ebene der Substanzen, Denkmodelle, Sachmodelle (nach [9])

7.2.2 Die chemische Symbolsprache

„Wenn wir Erwachsene fragen, was sie von ihrer chemischen Schulzeit noch in Erinnerung haben, so erkennen wir eine Schwierigkeit, die vielfach auch schon unsere Schüler plagt. Man erhält nämlich meist die Antwort: ‚Ach, da waren so Formeln‘, und man ist stolz, wenn man noch weiß, was H_2SO_4 ist – nicht was es bedeutet –, denn so viel chemisches Wissen ist meist nicht hängen geblieben. Ein hoher Beamter eines Oberschulamtes, er war sogar Naturwissenschaftler, sagte mir einmal: ‚Gehen Sie mir weg mit dem Bildungswert der Chemie, das ist doch nur Formelkram!‘“ [10].

An anderer Stelle trifft Scheible [10] gar die Feststellung: „Die chemische Formel hat uns in Verruf gebracht“. Diese Zitate sollen aufzeigen, dass es im Chemieunterricht schwierig zu sein scheint, ein ausreichendes Verständnis für chemische Formeln zu wecken.

Unterricht ohne Formeln. Zunächst kann man die Probleme mit der Symbolsprache im Anfangsunterricht umgehen, indem man Alltagsbezeichnungen oder Namen für Substanzen ausschreibt, Reaktionssymbole in Worten formuliert, die Symbole (s), (l), (g) oder (aq) verwendet:

Chlorwasserstoff (g) + Wasser (l) → Chlorwasserstoff (aq) (= Salzsäure)

Salzsäure + Magnesium (s) → Magnesiumchlorid (aq) + Wasserstoff(g); exotherm

Die Unterschiede der Zeichen (l) und (aq) müssen anfangs erläutert werden, indem man etwa auf flüssigen Chlorwasserstoff (l) der Siedetemperatur von -85°C verweist und abgrenzt von der bei 20°C wässrigen Lösung Chlorwasserstoff (aq), die man gewöhnlich Salzsäure nennt.

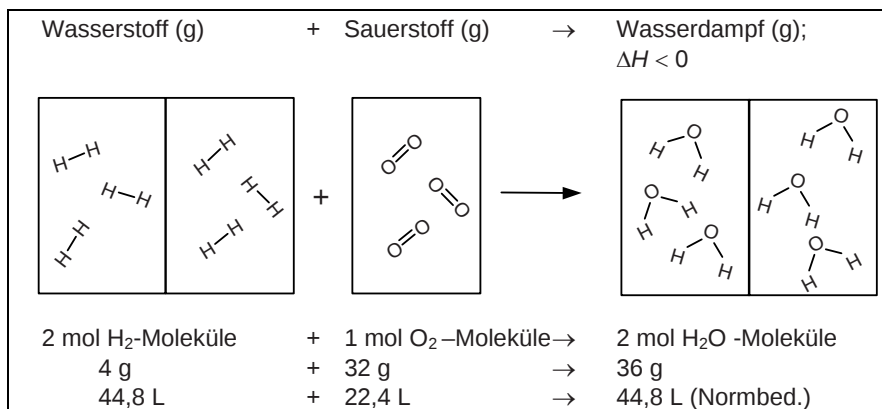


Abb. 7.6: Modellvorstellungen zur Umgruppierung von Atomen in Molekülen

Symbole auf der Ebene des Teilchenmodells. Ist das Teilchenmodell eingeführt worden, so können auf der Grundlage dieser Modellvorstellung zusätzlich zu Reaktionssymbolen in Worten angemessene Modelle gebaut oder Modellzeichnungen zum Verständnis chemischer Vorgänge angeboten werden (vgl. auch Abb. 7.5). Zur Legende einer solchen Zeichnung müssen die Namen der Teilchen ausgeschrieben werden: Zucker-Teilchen, Wasser-Teilchen.

Um mit räumlichen Anschauungsmodellen die Räumlichkeit der Teilchenaggregate zu demonstrieren, können auf der Ebene des Teilchenbegriffs auch dichte Kugelpackungen gebaut werden, wie sie in Kapitel 6 vorgeschlagen worden sind. Es kann auf den Zusammenhang von beispielsweise Formen der Zuckerkristalle („Kandiszucker“) verwiesen und mit Kugelpackungsmodellen verglichen werden, in denen jeder Kugel ein Zucker-Teilchen entspricht: Gleiche Formen, gerade Kanten oder glatte Flächen des Originals spiegeln sich in geeigneten Kugelpackungsmodellen wieder.

Symbole auf der Ebene des Daltonschen Atommodells. Die im Jahre 1808 veröffentlichte Philosophie Daltons beinhaltete die Verknüpfung des Elementbegriffs mit dem Atombegriff: Es existieren soviel unterschiedliche Atomsorten wie Elemente; die Atomsorten differieren in der Masse. Mit den *Atommassen* wurden erste Atommassentabellen entwickelt, erste *Atomsymbole* verwendet. Dalton hatte mit seiner Idee die Jahrtausende alte Suche der griechischen Naturphilosophen nach den Grundbausteinen der Materie zu einem ersten Resultat geführt und konnte durch ein *Kombinieren der Atome* neue, zusammengesetzte Atomverbände vorschlagen. Leider hatte er dem Wasser-Molekül den Atomverband HO zugewiesen, in ersten Tabellen resultierten deshalb für das H-Atom und für das O-Atom die relativen Atommassen 1 und 8 statt 1 und 16. Erst die Hypothese von Avogadro führte in Verbindung mit dem experimentellen Befund von Gay-Lussac zum Molekülsymbol H₂O (vgl. Abb. 7.6).

Kombinationen von Metall-Atomen einer Sorte ergeben im einfachsten Fall dichteste Packungen von Metall-Atomen, ein *Metallgitter*. In Modellen können

Kugeln zu Kugelpackungen geschichtet und Koordinationszahlen wie 12 und 8 festgestellt werden (vgl. Kap. 6). Weiterhin ist es möglich, Metall-Atome im Metallgitter durch Atome eines anderen Metalls zu substituieren, gedanklich *Legierungskristalle* zu erhalten. Sie sind durch Packungen mit gleich großen Kugeln zweier Farben zu veranschaulichen. Hinweise zu Metallstrukturen und Modellbau sind bei Sauermann und Barke [11] zu finden.

Kombinationen der Nichtmetall-Atome führen meist zu *Molekülen*: H_2 , O_2 , Cl_2 , P_4 oder S_8 in elementaren Substanzen, Moleküle wie H_2O , HCl , H_2SO_4 , P_4O_{10} oder H_3PO_4 in Verbindungen. Die Bindigkeiten der Nichtmetall-Atome sind in Kugeln der üblichen Molekülbaukästen durch Druckknöpfe u. ä. vorgegeben. Sie sind geeignet, Molekülmodelle in Form von Kugel-Stab- oder Kalotten-Modellen zu konstruieren und für die Veranschaulichung von Umgruppierungen der Atome bei chemischen Reaktionen zu verwenden (vgl. Abb. 7.6). Ähnlich diesem Beispiel sind viele Reaktionen der organischen Schulchemie mit Molekülmodellen zu veranschaulichen, mit Zeichnungen der angegebenen Art zu visualisieren und mit Struktursymbolen zu symbolisieren.

Will man nach heutigen Kenntnissen den „Baukasten zu Grundbausteinen der Materie“ komplettieren, so sind zu den Atomen die *Ionen* hinzuzunehmen. Den Lernenden wird dazu eine Modelldarstellung der wichtigsten Atome und Ionen in Form des Periodensystems angeboten, wie sie Abbildung 7.7 zeigt. Ionen, die aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen wurden (z. B. Cu^{2+} , Pb^{2+}), können bei Bedarf hinzugefügt werden.

Metalle										Nichtmetalle									
Li	Be									B	C	N	O	F	Ne				
Li ⁺	Be ²⁺											N ³⁻	O ²⁻	F ⁻					
Na	Mg									Al	Si	P	S	Cl	Ar				
Na ⁺	Mg ²⁺									Al ³⁺	Si ⁴⁺		S ²⁻	Cl ⁻					
K	Ca	Sc								Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
K ⁺	Ca ²⁺	Sc ³⁺								Cu ⁺	Zn ²⁺	Ga ³⁺	Ge ⁴⁺		Se ²⁻	Br ⁻			
Rb	Sr	Y								Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Rb ⁺	Sr ²⁺	Y ³⁺								Ag ⁺	Cd ²⁺	In ³⁺	Sn ⁴⁺		Te ²⁻	I ⁻			
Cs	Ba	La								Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Cs ⁺	Ba ²⁺	La ³⁺								Au ⁺	Hg ²⁺	Tl ³⁺	Pb ⁴⁺						

Abb. 7.7: Atome und Ionen als Grundbausteine der Materie [11]

Tabelle 7.3: Verknüpfungsregeln für Ionen, Metall- und Nichtmetall-Atome (vgl. Abb. 7.7)

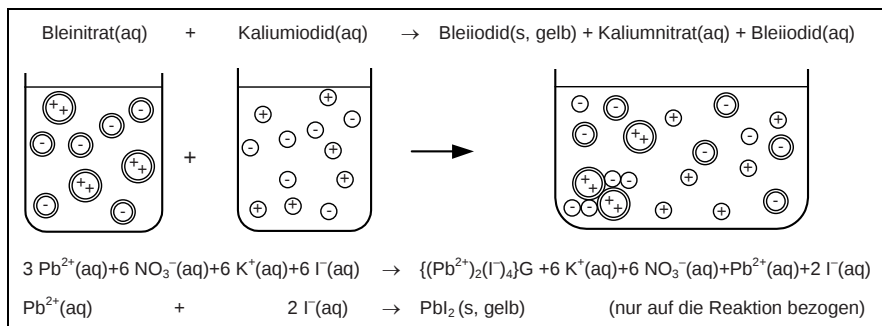
Verknüpfung nach Standort im PSE	Teilchenart	Bindungsart	Struktur
„links und links“	Metall-Atome	räumlich ungerichtet	Metallgitter
„links und rechts“	Ionen	räumlich ungerichtet	Ionengitter
„rechts und rechts“	Nichtmetall-Atome	räumlich gerichtet	Moleküle, Atomgitter

Durch gedankliche Kombinationen der Ionen „links und rechts im PSE“ sind Salzstrukturen als Denkmodelle zu erzeugen und chemische Symbole der Salze aus den Ladungszahlen der Ionen abzuleiten: So kombinieren die Lernenden gedanklich etwa Al^{3+} -Ionen und O^{2-} -Ionen zu einem elektrisch ausgeglichenen Ionengitter mit dem Ionenzahlenverhältnis 2 : 3 und finden die Symbole $\{(\text{Al}^{3+})_2(\text{O}^{2-})_3\}$ oder Al_2O_3 .

Es ist generell möglich, Atome und Ionen systematisch zu kombinieren, wenn bestimmte Vereinbarungen getroffen werden [11]:

- Metall-Atome „links und links im PSE“ lassen sich mit *ungerichteten Bindefähigkeiten* so kombinieren, dass gedanklich große Atomverbände entstehen: Kristalle von Metallen und Legierungen. Sie können etwa durch Kugelpackungen veranschaulicht werden (vgl. auch Kap. 6).
- Nichtmetall-Atome „rechts und rechts im PSE“ binden sich mit *gerichteter Bindung*, es resultieren Moleküle oder Atomgitter.
- Ionen „links und rechts im PSE“ binden sich *ungerichtet* zu Ionenverbänden, die auch Ionengitter genannt werden (vgl. Tabelle 7.3).

Auf der Grundlage des Daltonmodells lassen sich *chemische Reaktionen* nur für die Fälle beschreiben, bei denen sich *die Teilchenart nicht ändert*. So können Metall-Metall-Reaktionen zu Legierungen, Nichtmetall-Nichtmetall-Reaktionen zu flüchtigen Stoffen oder Lösungs- und Fällungsreaktionen zwischen Salzen anschaulich werden: etwa zur Ausfällung von schwerlöslichem Bleiiodid aus entsprechenden Salzlösungen (vgl. Abb. 7.8: Es wird im Modell auch der Teil an Blei- und Iodid-Ionen symbolisiert, der nach Ausfällung des Bleiiodids gelöst verbleibt). In diesen Fällen ändert sich die Teilchenart bei der Reaktion nicht. Metall-Nichtmetall-Reaktionen oder Elektrolysen sind nicht zu erfassen, weil sich

**Abb. 7.8:** Modellvorstellungen zur Ausfällung von Bleiiodid aus Salzlösungen

Atome in Ionen umwandeln oder umgekehrt. Diese Veränderungen können erst mit der Modellvorstellung vom Aufbau der Atome aus Atomkern und Hülle beschrieben werden und sind dann als Redoxreaktionen zu interpretieren.

Symbolik auf der Ebene des Kern-Hülle-Modells. Solange Strukturen von Atom- und Ionenverbänden im Vordergrund stehen, lassen sie sich auf der Ebene der Daltonschen Modellvorstellung ausreichend veranschaulichen – ein differenziertes Atommodell ist nicht erforderlich. Soll über die Unterscheidung von räumlich ungerichteter und gerichteter Bindefähigkeit hinaus die *chemische Bindung* behandelt werden, so ist das Kern-Hülle-Modell einschließlich des Schalen- oder Energiestufenmodells der Atomhülle nicht zu umgehen. Einerseits sind Begriffe wie Atomkern, Proton, Neutron und Isotop einzuführen, andererseits Elektron und Elektronenhülle mit K-, L- und M-Schale, Elektronenpaar und Ladungswolke im Sinne des Elektronenpaarabstoßungs-Modells. Die Diskussion der chemischen Bindung führt zu Vorstellungen von der Ionenbindung und Elektronenpaarbindung, die mit Hilfe des Begriffs der Elektronegativität abgegrenzt werden können. Über polarisierte Bindungen und Dipol-Moleküle lassen sich auch Wasserstoffbrückenbindungen und van-der-Waals-Bindungskräfte veranschaulichen.

Auf der Grundlage des Kern-Hülle-Modells ist es möglich, Struktur und Bindung einfach aufgebauter Teilchenaggregate aus Elementen der ersten drei Perioden des Periodensystems zu beschreiben und *chemische Reaktionen* zu deuten, bei denen die *Änderung der Teilchenart* stattfindet:

- Säure-Base-Reaktionen: Übergang von Protonen,
- Redoxreaktionen: Übergang von Elektronen,
- Komplexeaktionen: Austausch von Liganden.

Begriffe auf der Ebene des Orbitalmodells. Einfache Kern-Hülle-Modelle reichen aus, solange man den Aufbau von Substanzen diskutiert, die sich aus Elementen der ersten drei Perioden aufbauen: Bis zum Element Calcium ist der sukzessive Einbau von Elektronen von Schale zu Schale zu erklären. Sobald man den Bau von Atomen der Nebengruppen oder Übergangsmetalle vertieft erläutern will, benötigt man die Differenzierung der Hauptschalen in *Unterschalen*: s-, p- d- und f-Niveaus und die Verteilung von Elektronen auf diese Unterschalen.

Zielt man zusätzlich auf die Vermittlung des Welle-Teilchen-Dualismus von Elektronen ab und will sie als Materiewellen verstehen, so ist die Theorie der *Wellenmechanik* zu reflektieren. In ihrem Sinne kann man Elektronensysteme als stehende Wellen auffassen, jeder stehenden Welle einen bestimmten Energiezustand zuordnen und mit Quantenzahlen beschreiben: Hauptquantenzahl n , Nebenquantenzahl l , Magnetquantenzahl m , Spinquantenzahl s .

Energiezustände lassen sich ausgehend von den Quantenzahlen mit Hilfe von *Wellenfunktionen* berechnen, diese Berechnungen führen zu spezifischen Wahrscheinlichkeitsdichten oder Aufenthaltsbereichen von Elektronen: s-, p-, d- und f-Elektronenwolken oder Orbitale. Man unterscheidet Atom- und Molekülorbitale, bindende und antibindende Orbitale: Es ist festzuhalten, dass diese Orbitale rein formal durch mathematische Kombinationen von Wellenfunktionen erhalten und dann mit Messungen verglichen werden, messbar sind allerdings nicht Dichten einzelner Elektronenwolken, sondern lediglich die Gesamtelektronendichten eines

Atoms oder Moleküls. Umgekehrt lassen sich durch mathematische Kombinationen von Wellenfunktionen Struktur und Bindung von Elektronensystemen voraussagen: Molecular Modelling oder Moleküldesign sind erfolgreich möglich geworden.

Für Vermittlungsprozesse im Chemieunterricht soll damit deutlich werden: Es ist schwierig, das Orbitalmodell anschaulich zu machen, weil es auf formalen mathematischen Annahmen und auf formalen Kombinationen von Wellenfunktionen beruht – unter einem Elektron ist in diesem Sinne ein mathematischer Rechen-term zu verstehen. Das Elektron lässt sich auch weder als Welle noch als Teilchen fassen: Je nach Experimentieranordnung, die man wählt, kann man die eine oder die andere Beschreibungsweise verwenden. Der Welle-Teilchen-Dualismus drückt dementsprechend aus, dass sich das Elektron weder ausschließlich als Welle noch ausschließlich als Teilchen verhält. Wegen dieser prinzipiellen Unanschaulichkeit müssen sich Lehrende genau überlegen, inwieweit Phänomene zu wählen sind, die mit einfacheren Modellvorstellungen erklärt werden können. Erst wenn experimentelle Befunde nicht anderweitig erklärbar sind, mag die wellenmechanische Atomvorstellung eine Rolle spielen.

7.2.3 Ableitung erster chemischer Symbole im Unterricht

Wegen der überragenden Bedeutung der chemischen Symbole als einzigartiges Kommunikationsmittel unter Chemikern kommt der Einführung und der Verwendung der Symbole im Chemieunterricht ein besonderer Stellenwert zu. Zur Art und Weise ihrer Einführung ist deshalb in allen chemiedidaktischen Zeitschriften zu allen Zeiten ausführlich argumentiert worden: Die historisch-empirische Herleitung von Formeln aus dem Vergleich von Massenverhältnissen und die Grundlegung von Strukturmodellen sind gegenwärtig die am meisten diskutierten Wege. Die Entwicklung chemischer Symbole in der Geschichte der Chemie zeigt ausführlich Kapitel 18.

Historisch-empirische Herleitung chemischer Symbole. Auf der Ebene des Daltonmodells ist es auf historischem Wege möglich, aus Massenverhältnissen der reagierenden Substanzen und durch den Vergleich mit Atommassen die „empirische Formel“, das Summensymbol, abzuleiten. Wie bei der klassischen Elementaranalyse nach Liebig wiegt man die Massen der eingesetzten Substanzen und die Massen der bei der vollständigen Reaktion entstehenden Produkte.

Nach Umrechnung der Massen in Stoffmengen lässt sich das Zahlenverhältnis von Atomen in der Ausgangssubstanz und damit die Zusammensetzung als empirische Formel angeben. Ist die Substanz aus Molekülen aufgebaut, so schließt sich eine Molekülmassenbestimmung an. Um zu Strukturaussagen zu gelangen, sind spezifische Reaktionen durchzuführen und im Sinne einer Strukturaufklärung auszuwerten. Dieser Analyseweg ist abstrakt, weil er empirisch ermittelte Massenverhältnisse mit den theoretischen Atommassen verrechnet und über einen Massenvergleich zum Atomanzahlenverhältnis führt. Die meisten Lernenden der Sekundarstufe I sind auf diesem Weg überfordert. Kaminski und Jansen [12] schlagen deshalb vor, die pro 1 mg Substanz vorliegenden Atomzahlen zu verwenden und direkt zu verrechnen. Dies ist eine sinnvolle Vereinfachung –, es

bleibt allerdings das Problem, dass es sich naturgemäß um Zahlen in der Größenordnung von 10^{17} handelt und Schüler im Umgang mit Zehnerpotenzen nicht geübt sind.

Die Verwendung von Analysewaagen zur Ableitung chemischer Symbole ist und bleibt auch historisch –, entsprechende Analysemethoden sind in der Mitte des 19. Jahrhunderts von Liebig und Berzelius entwickelt worden und eine lange Zeit üblich gewesen. Ab 1960 standen nach und nach die Methoden der instrumentellen Analytik in vielen chemischen Instituten zur Verfügung: Spektralanalyse, Gaschromatographie, Röntgenstrukturanalyse, Atomabsorptionsspektroskopie, UV-, IR-, NMR- und Massen-Spektroskopie. Heute finden Analysen von Substanzen ausschließlich mit Hilfe dieser und weiterer instrumenteller Untersuchungsmethoden statt.

Ableitung von Symbolen aus Strukturmodellen. Mit Hilfe der Röntgenstrukturanalyse kann der Fachmann beispielsweise die Struktur kristalliner Substanzen ermitteln. Aus Computer-Ausdrucken bzw. räumlichen Darstellungen der Struktur lassen sich Bindungswinkel und -längen, Gitterkonstanten oder alle Formen von Symbolen bestimmen: sowohl Struktur- als auch Summensymbole.

Werden im Chemieunterricht an einigen Beispielen Laue-Diagramme gezeigt und die zu Grunde liegenden Beugungserscheinungen mit Laserstrahl-Modellexperimenten veranschaulicht, so ist das *Prinzip* der Röntgenstrukturanalyse interessant zu vermitteln [13]. Legt man für eine gewünschte Substanz das fertige, von Fachleuten ermittelte Strukturmodell eines Moleküls bzw. Kristallgitters zugrunde, so können sich die Schüler die Struktur vorstellen und am Modell das Summensymbol durch Auszählen des Zahlenverhältnisses von Atomen oder Ionen herleiten [14]. Dieser Vermittlungsweg entspricht auch der fachdidaktischen Forderung, zum Verständnis chemischer Symbole die Ebene der Strukturvorstellungen einzufügen, wie es in Abbildung 3.8 (vgl. Kap. 3) bereits erläutert wurde und in Abbildung 7.9 etwas verändert nochmals dargestellt wird.

Die Veränderung entspricht einigen Überlegungen zur modernen Strukturanalyse: Ihre Ergebnisse führen in allen Fällen zu *kleinsten Struktureinheiten* der Substanzen. Bei molekularen Stoffen erweist sich das Molekül zwangsläufig als eine solche Einheit, und das chemische Symbol wird für das *Molekül* angegeben. Beispielsweise resultieren – exemplarisch an Substanzen der Schulchemie erläutert – die Symbole CH_3COOH bzw. C_6H_6 für Essigsäure- bzw. Benzol-Moleküle und niemand würde diese Symbole verkürzen zu CH_2O bzw. C_1H_1 oder CH .

Die Verabredung mag auf die Symbolik von Salzkristallen bzw. auf Ionengitter übertragen werden, auch diesbezüglich sollte die kleinste Struktureinheit symbolisiert werden: in diesem Falle die *Elementarzelle*. Legt man das Beispiel Natriumchlorid zu Grunde, so lässt sich dessen Elementarzelle mit der Formel $\{(\text{Na}^+)_4(\text{Cl}^-)_4\}$ bzw. Na_4Cl_4 beschreiben (vgl. Abb. 4.9 in Kap.4).

Im Vermittlungsprozess sollten dementsprechend ausgehend von der Demonstration und dem Auszählen von Elementarzelle-Modellen zunächst Symbole wie Na_4Cl_4 , Li_8O_4 oder Zn_4S_4 für die kleinsten Struktureinheiten formuliert werden [14] – wie die Symbole CH_3COOH oder C_6H_6 für Moleküle als kleinste Struktureinheiten der entsprechenden Substanzen.

<i>Erscheinungen</i>	Substanzen	→	Chemische Reaktionen
Kontinuum			
	↓		↓
<i>Strukturvorstellungen</i>	Modelle für kleinste Struktureinheiten	→	Strukturmodelle für Stoffe vor und nach der Reaktion
	↓		↓
<i>Chemische Symbole</i>	Symbole für kleinste Struktureinheiten	→	Umgruppierungssymbole, Reaktionssymbole

Abb. 7.9: Kleinste Struktureinheiten zum Verständnis chemischer Symbole [14]

Im zweiten Schritt kann man die Verkürzung auf die üblichen – allerdings informationsärmsten – Symbole wie NaCl, Li₂O oder ZnS zulassen, weil sie international üblich sind. Auf diesem Weg lernen die Schüler durch konkretes Auszählen am Strukturmodell die Bedeutung einer Formel kennen, stellen sich dabei die Elementarzelle oder das endlose Kristallgitter vor und entwickeln ein modernes Chemieverständnis. Nicht zuletzt wurde durch Tests zum *Raumvorstellungsvermögen* festgestellt, dass die Mehrheit der Schüler und Schülerinnen in der Sekundarstufe I in der Lage ist, zweidimensional abgebildete Elementarzellen räumlich zu erkennen und erfolgreich auszuzählen (vgl. Kap. 10).

7.3 Lernende – Schülervorstellungen zu Strukturen und Symbolen

Abkürzungen durch Buchstaben sind allen Schülern sehr vertraut – etwa LKW oder PKW für die entsprechenden Autotypen. Aus diesem Grund kann bei Schülern das Missverständnis entstehen, chemische Symbole seien ähnlich formale Abkürzungen von Substanznamen: Beispiele wie NaCl, CaO oder MgO bestärken sie in dieser Ansicht. Besitzen Schüler keinerlei Strukturvorstellungen, so können sie die Indizes in Symbolen wie H₂O oder Al₂O₃ auch nicht strukturell interpretieren und lernen diese Symbole auswendig. Damit bleiben sie bei unverstandenen oder widersprüchlichen Vorstellungen und betrachten deshalb die chemische Symbolik als Geheimsprache der Chemiker.

Vorstellungen zur Verbrennung. Bereits in Kapitel 1 wurde die Vorstellung eines Schülers zur Magnesium-Verbrennung exemplarisch vorgestellt und diskutiert: Dieser Schüler hatte das zutreffende Reaktionssymbol „2 Mg + O₂ → 2 MgO“ formuliert, als Vorstellung allerdings geschrieben: „Magnesium besteht aus zwei Teilchenarten, eine verdampft beim Verbrennen, die andere bleibt als Magnesiumoxid zurück“, und fertigte passend dazu eine Zeichnung an (vgl. Abb. 1.6). Eine Erhebung bei etwa 300 Jugendlichen ergab, dass fast alle ein richtiges Reaktionssymbol notierten, aber 70 % der Probanden sachlich unangemessene Vorstellungen äußerten oder falsche Modellvorstellungen zeichneten [15]. Es wird deutlich, dass Alltagsvorstellungen, die sich Jugendliche über Jahre hinweg aus der

Beobachtung in ihrer Lebenswelt gebildet haben, nicht mit der Formulierung von Reaktionssymbolen in wissenschaftliche Vorstellungen überführt werden können. Erst Demonstration oder Bau entsprechender Modelle zur Struktur der Teilchenaggregate vor und nach der Verbrennung können zum einen das Verständnis für den Verbrennungsvorgang fördern, zum anderen das Reaktionssymbol nachvollziehbar und damit verstehbar werden lassen.

Vorstellungen zum Ionenbegriff. In einer Schülergruppe, die in der 10. Klassenstufe eines Gymnasiums bereits den Ionenbegriff und den Begriff der Redoxreaktion erworben und Fällungsreaktionen mit Reaktionssymbolen beschrieben hatte, wurde folgender Test durchgeführt:

1. Die Reaktion von Nickeloxid mit Aluminium und der entsprechend beobachtbare helle Lichtblitz wurden gezeigt und die Schüler zur Interpretation aufgefordert, ihre Vorstellungen vom Aufbau des Nickeloxid-Kristalls und des Aluminiumkristalls zu zeichnen, Reaktionssymbole in Worten, in Strukturen und Formeln anzugeben.
2. Konzentrierte Lösungen von Calciumchlorid und Natriumsulfat wurden zusammengegeben und weiße Kristalle als Niederschlag beobachtet. Es sollten Modellzeichnungen der beiden Lösungen und die Reaktionssymbole in Worten, Strukturen und Formeln angegeben werden. Zusätzlich war den Schülern durch Beispiele deutlich gemacht worden, dass mit den „Strukturen“ das Kennzeichnen von Ionensymbolen im Falle vorliegender Ionen gemeint ist, das Kennzeichnen von Molekülstrukturen im Falle vorliegender Moleküle.

Nur wenige Schüler und Schülerinnen lösten die Aufgaben vollständig. Die Statistik zeigt [4], dass Reaktionssymbole in Worten wohl von fast allen Teilnehmern richtig formuliert wurden, aber nur höchstens 20 % gaben Strukturen oder Formeln richtig an. Bis zu 80 % der Probanden haben Vorstellungen, wie sie in Abbildung 7.10 ausgewählt worden sind. Zentrales Ergebnis der Studie ist, dass Schüler sehr oft nicht Ionen der bekannten Metalloxide notieren, sondern auf Moleküle ausweichen oder Ionen- und Molekül-Beschreibungen gemeinsam vornehmen (mit gestricheltem Kästchen markiert). Auch die Vorstellung des Entstehens von Ionen aus den entsprechenden Atomen tritt sehr häufig unsachgemäß in Fällen auf, wo in Salzlösungen die Ionen fertig vorliegen und nicht erst gebildet werden. Diese Vorstellungen sind „*hausgemacht*“ und durch Mängel im Unterricht aufgetreten – es liegen keine ursprünglichen Alltagsvorstellungen vor, wie sie zuvor zur Verbrennung dargestellt wurden. Es scheint vorteilhaft zu sein, den Lernenden eine Liste der Atome und Ionen als „Grundbausteine der Materie“ zur Verfügung zu stellen, wie sie Abbildung 7.7. zeigt.

Vorstellungen zur Stöchiometrie. Schmidt [16] hat durch empirische Erhebungen im Bereich des stöchiometrischen Rechnens zeigen können, dass es nur einem kleinen Teil der Lernenden gelingt, diese Fähigkeiten zu erwerben. Er stellte folgende „Falschvorstellungen“ [16] fest: „Keine Unterscheidung zwischen Gleichungskoeffizienten und Formelindizes, zum Beispiel zwischen 2 O und O_2 , keine Unterscheidung zwischen dem Stoffmengenverhältnis und dem Massenverhältnis, Gleichheit der Stoffmengen von Edukten und Produkten, bei Gasreaktionen Gleichheit der Volumina von Edukten und Produkten, u. a.“.

1a) Zeichne Deine Vorstellung vom Aufbau eines **Nickeloxid-Kristalls** und **Aluminium-Kristalls**:

Nickeloxid-Kristalls:

$\text{Ni}^{2+} \text{O}^{2-}$
 $\text{Ni} - \text{O}$
 NiO
 $\text{Ni} = \text{O}$
 $\text{Ni} : \text{O}$
 $\text{Ni} + \text{O}_2$
 NiO NiO NiO

Aluminium-Kristalls:

Al^{3+}
 $\text{Al} - \text{Al}$
 Al
 Al
 Al
 Al
 Al^{3+}

1b) Formuliere 3 Reaktionsgleichungen (Worte, Strukturen, Formeln):

Nickeloxid(s) + Aluminium(s) → Nickel(s) + Aluminiumoxid(s)

S.o. S.o.

3Ni^{2+}
 3Ni^{2+}

$\text{Al} = \text{O}$
 $\text{Al} - \text{O}$
 $\text{Al} = \text{O}$
 Al_2O_3

$2 \text{Al}^{3+} + \text{O}_3^{2-}$
 $2 \text{Al} + \text{O}_3$
 $(\text{Al}^{3+})_2 (\text{O}^{2-})_3$
 Al_2O_3

2a) Zeichne oder beschreibe Deine Vorstellung vom Aufbau der **Calciumchlorid-Lösung** und **Natriumsulfat-Lösung**:

Calciumchlorid-Lösung:

CaCl_2
 CaCl_2
 Ca Cl_2
 $\text{Ca}^{2+} + 2 \text{Cl}^-$
 $\text{Ca} + \text{Cl}_2$
 $\text{Ca} \rightarrow \text{Cl}$

Natriumsulfat-Lösung:

$\text{Na}_2 \text{SO}_4$
 Na_2 SO_4
 $\text{Na} = \text{SO}_4$
 $\text{Na} \rightarrow \text{SO}_4$

2b) Formuliere 3 Reaktionsgleichungen (Worte, Strukturen, Formeln):

Calciumchlorid(aq) + Natriumsulfat(aq) → Calciumsulfat(s) + Natriumchlorid(aq)

S.o. S.o.

$\text{Ca} = \text{SO}_4$
 $\text{Ca} : : \text{SO}_4$
 $\text{Ca} \rightarrow \text{SO}_4$

$2 \text{Na}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}_2^{-}(\text{aq})$
 $\text{Na}^{+}(\text{aq}) + \text{Cl}_2^{-}(\text{aq})$
 $\text{Na}^{+} + \text{Cl}_2^{-}$
 $\text{Na} + \text{Cl} - (\text{Na}^{+})_2 + (\text{Cl}^{-})_2$

Abb. 7.10: Ausgewählte fehlerhafte Antworten von Lernenden der Klassenstufe 10 eines Gymnasiums (gestrichelt umrahmte Antworten stammen von einem einzigen Schüler) [4]

Die „Falschvorstellungen“ fand Schmidt durch Konstruktion und Auswertung spezifischer Mehrfachwahlaufgaben mit geeigneten Distraktoren: „Die Distraktoren waren so beschaffen, dass die Schüler beim Lösen der Aufgaben mit Zahlen umgehen mussten, die sowohl zur richtigen Antwort als auch zu einer Falschantwort gut passen“. Als Beispiel sei „Aufgabe 91.000“ zitiert: „In 2 g einer Verbindung sind 1 g Kupfer enthalten, der Rest ist Schwefel. Welche chemische Formel passt zu diesen Angaben? CuS (A), CuS_2 (B), Cu_2S (C) oder Cu_2S_2 (D)?“

Schmidt versuchte bestimmte Strategien zu finden, nach denen die Schüler typische Fehler machen und zu falschen Lösungen gelangen:

„Im Chemieunterricht kommt man um diese Falschvorstellungen nicht herum. Man sollte sie nicht unterdrücken, sondern den Schülern bewusst machen und dadurch überwinden, dass man gemeinsam mit ihnen über die Fehler in ihren Strategien nachdenkt“.

Gelingt es im Unterricht nicht, stöchiometrische Aufgaben nachvollziehbar zu lösen, dann könnten sich die Schüler von der Chemie abwenden:

„Vielleicht ist die Stöchiometrie die Wegkreuzung, an der es sich entscheidet, ob ein Schüler den Weg in die Chemie findet oder nicht. Es ist deshalb wichtig zu wissen, woher die Schwierigkeiten kommen“ [16].

7.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder

– Wie weit versteht der Laie die Fachsprache?

Fachsprache und Symbole dienen innerhalb einer Wissenschaft als Mittel einfacher und rationeller Verständigung, als Kommunikationsmittel von hohem Informationsgehalt, das unabhängig von Kulturkreisen, Landessprachen, Schriftformen und Gesellschaftssystemen weltweit gleichermaßen verstanden wird. Gleichzeitig bewirkt jede Fachsprache aber eine Abgrenzung gegenüber allen, die mit ihr nicht vertraut sind. Aus dem hohen Entwicklungsstand der verschiedenen Fachsprachen resultieren sogar gravierende Probleme für die Verständigung der Wissenschaften untereinander: Nur wer die Fachsprache einer Wissenschaft beherrscht, kann sich mit deren Vertretern über Sachfragen verständigen.

Darüber hinaus erschwert die Fachsprache die Kommunikation mit der breiten Öffentlichkeit und das Verständnis für wissenschaftliche Probleme [17]. Sie erzeugt in der öffentlichen Diskussion häufig Misstrauen gegenüber den Experten, wenn diese nicht in der Lage sind, Fachbegriffe in die Alltagssprache zu übersetzen. Diese Situation hat zur Entwicklung von *populärwissenschaftlichen Publikationen* geführt, die Wissenschaft für Laien verständlich machen wollen.

Lehrerinnen und Lehrer sollten sich in ihrer Rolle nicht nur als Konkurrenten dieser Popularisierungen in Zeitschriften, Rundfunk, Fernsehen und Internet verstehen, sondern vor allem als konstruktive Vermittler, die auf diesbezügliche Fragen der Schüler und Schülerinnen eingehen. Sie können auch Alltagsdialoge [18] als fächeraufweitendes Stilmittel in den Fachunterricht integrieren, um den Schülern Hilfen zu geben, die in den Medien vorgestellten naturwissenschaftlichen Sachverhalte allein zu verstehen und kritisch zu betrachten: ein anspruchsvolles Ziel der Vermittlung chemischer Fachsprache.

Literatur

- [1] Zahn, P.v.: *Freund und Helfer oder heimlicher Feind? Chemie im Kreuzfeuer der öffentlichen Meinung*. CU 12 (1981), 1
- [2] Dörrenbächer, A.: *IUPAC-Regeln und DIN-Normen im Chemieunterricht*. Köln 1995 (Aulis)
- [3] Langer, S.: *Philosophie auf neuen Wegen*. Mittenwald 1979
- [4] Barke, H.-D.: *Chemiedidaktik zwischen Philosophie und Geschichte der Chemie*. Frankfurt 1988 (Lang)
- [5] Jäckel, M., u. a.: *Chemie heute Sekundarstufe II*. Hannover 1998 (Schroedel)
- [6] Sumfleth, E., u. a.: *Stoffe: Eigenschaften und Reaktionen, Modelle: Teilchenanordnungen und -umordnungen. Eine mit Lernhilfen gestützte Einführung in die Chemie*. MNU 42 (1989), 411
- [7] Behrendt, H.: *Concept mapping. Schülerinnen und Schüler konstruieren eigene Begriffsnetze*. NiU-Physik 8 (1997), 18
- [8] Schmidkunz, H., Büttner, D.: *Chemieunterricht im Spiralcurriculum*. NiU-P/C 33 (1985), 19
- [9] Steinbuch, K.: *Denken in Modellen*. In: Schäfer, G., u. a.: *Denken in Modellen*. Braunschweig 1977 (Westermann)
- [10] Scheible, A.: *Ist unser Chemieunterricht noch zeitgemäß?* MNU 22 (1969), 449
- [11] Sauermann, D., Barke, H.-D.: *Chemie für Quereinsteiger*. Münster 1998 (Schöling)
- [12] Kaminski, M., Jansen, W.: *Die Ermittlung der chemischen Formel im Anfangsunterricht*. NiU-Chemie 25 (1994), 12
- [13] Barke, H.-D., Rölleke, R.: *Max von Laue: ein einziger Gedanke – zwei große Theorien*. PdN-Ch 48 (1999), 16
- [14] Barke, H.-D., Wirbs, H.: *Chemische Symbole für kleinste Struktureinheiten*. PdN-Ch 49 (2000)
- [15] Barke, H.-D.: *Probleme bei der Verwendung von Symbolen im Chemieunterricht*. NiU – P/C 30 (1982), 131
- [16] Schmidt, H.J.: *Stolpersteine im Chemieunterricht*. Frankfurt 1990 (Diesterweg)
- [17] Becker, H.-J.: *Verbraucherfragen im RIAS-Telefonstudio: Gegenstand fachdidaktischer Forschung?* chim. did. 14 (1988), 69
- [18] Becker, H.-J.: *Ein Alltagsdialog über „Joghurt“ – Chance für fächeraufweitenden Chemieunterricht*. PdN-Ch 44 (1995), 17

Übungsaufgaben zu „7 Fachsprache und Symbole“

A7.1 Man hat in der Chemie eine Vielzahl von Formeltypen verabredet. Geben Sie jeweils verschiedene Typen an a) für jeweils drei kristalline Feststoffe, b) für jeweils drei flüchtige Stoffe. Welcher Informationsgehalt verbirgt sich hinter den verschiedenen Symbolen?

A7.2 In der Entwicklung der chemischen Symbolsprache ist es sinnvoll, Lernende zunächst in der Alltagssprache zu unterrichten, erst danach zur Fachsprache zu wechseln und schließlich chemische Symbole einzuführen. Erläutern Sie diesen Weg an drei Sachverhalten.

A7.3 Chemische Symbole können auf verschiedenen Stufen der Curriculumspirale sehr unterschiedlich aussehen: es können etwa Worte, Summensymbole oder Struktursymbole sein. Wählen Sie zwei unterschiedliche Reaktionen aus und formulieren Sie Reaktionssymbole auf diesen drei genannten Ebenen.

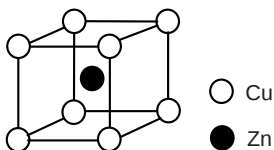
A7.4 Kombinieren Sie gedanklich „Ionen links und rechts im PSE“ (vgl. Abb. 7.7), geben Sie die Formeln von drei verschiedenen Salzkristallen an und zeichnen Sie so gut als möglich entsprechende Raumgitter. Ermitteln Sie chemische Symbole für Ionengitter auf Grund der Ladungszahlen von Ionen an Beispielen des Arbeitsblatts von Abbildung 7.11.

A7.5 Kombinieren Sie gedanklich „Metall-Atome links und links im PSE“ (vgl. Abb. 7.7), geben Sie drei Beispiele für Legierungen an und zeichnen Sie Ihre Modellvorstellungen dazu auf. Ermitteln Sie chemische Symbole für Metallgitter aus Elementarzellen an Beispielen des Arbeitsblatts von Abbildung 7.12.

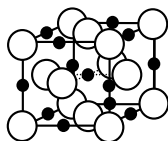
Name des Salzes	beteiligte Ionen	Zahlenverhältnis der Ionen	Summensymbol
Calciumfluorid	Ca^{2+} , F^-	$\{(\text{Ca}^{2+})_1(\text{F}^-)_2\}$	CaF_2
Calciumnitrid			
Bariumchlorid			
Aluminiumfluorid			
Lithiumoxid			
Natriumhydroxid			
Calciumhydroxid			
Magnesiumnitrat			
Natriumcarbonat			
Calciumsulfat			
Aluminiumsulfat			
Kaliumaluminiumsulfat			

Abb. 7.11: Arbeitsblatt zur Formulierung von Symbolen für Ionengitter

1. Cu-Atome bilden ein kubisch primitives Gitter, Zn-Atomen besetzen Raumzentren:



2. Cr-Atome bilden kubisch flächenzentriertes (kfz) Gitter, N-Atome besetzen Oktaederlücken:



Cr-Atome:

$$\begin{array}{r} 6 \times 1/2 = 3 \\ 8 \times 1/8 = 1 \\ \hline 4 \end{array}$$

N-Atome:

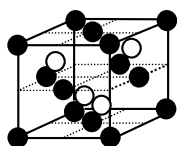
$$\begin{array}{r} 12 \times 1/4 = 3 \\ 1 \times 1/1 = 1 \\ \hline 4 \end{array}$$

Cr₄N₄

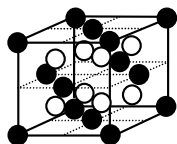
Cr₁N₁

CrN

3. Al-Atome bilden kfz-Gitter, Sb-Atome besetzen die Plätze jeder zweiten Tetraederlücke:



4. Pb-Atome bilden kfz-Gitter, Mg-Atome besetzen die Plätze aller Tetraederlücken:



5. Überstrukturen des Kupfer-Gold-Systems:

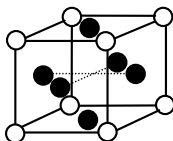
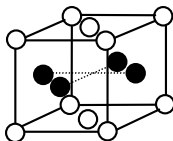
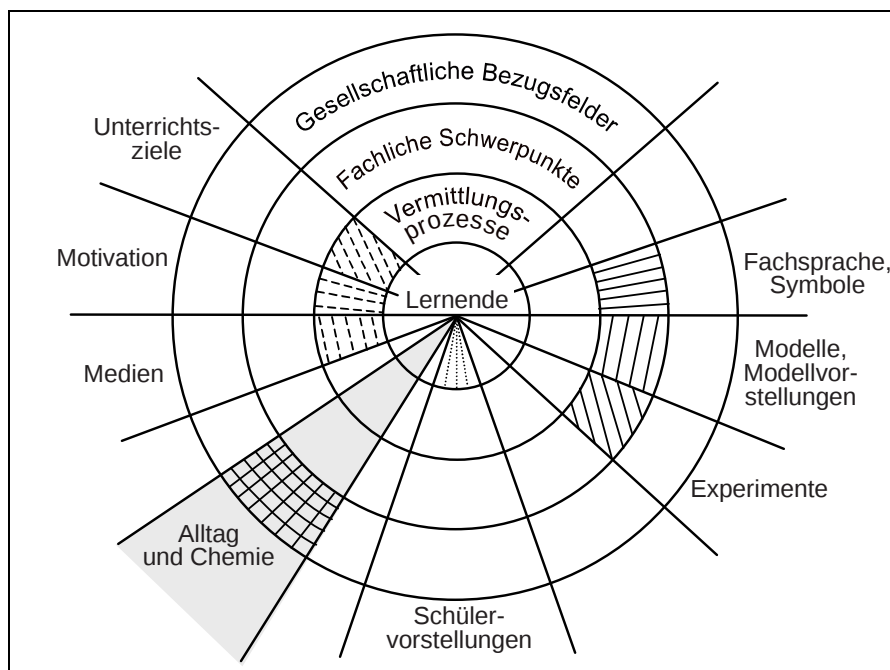


Abb. 7.12: Arbeitsblatt zur Formulierung von Symbolen für Metallgitter auf der Grundlage von Elementarkörpern der chemischen Strukturen und Auszählen der gedachten Elementarzellen

8 Alltag und Chemie



„Sarah hört im Chemieunterricht ihres Lehrers viel über Schwefeldioxid und die katalytische Oxidation zu Schwefeltrioxid, über das Kontaktverfahren zur Herstellung und die Bedeutung der Schwefelsäure für die chemische Technik. Eines Abends liest ihr Vater in der Zeitung etwas über die Zunahme des Sauren Regens und fragt Sarah: ‚Du hast doch schon lange das Fach Chemie. Sag mal – was ist denn Saurer Regen? Wie erklären Fachleute dieses Phänomen?‘ Sarah’s Antwort: ‚Das weiß ich nicht, darüber hat der Lehrer nichts gesagt‘“.

David Waddington [1] karikierte damit Chemieunterricht aus seiner Sicht.

„Chemieunterricht erscheint nicht so sinnlos, wenn man den Stoff auch im Alltag anwenden kann“. „Man hätte Bezüge zur Praxis, und der Chemieunterricht wäre kein abstrakter Formelkomplex“. „Gerade solche Alltagsbezüge sind gut für die Allgemeinbildung und bringen auch den Leuten etwas, die später keinen Chemieberuf wählen“ [2].

Solche und ähnliche Kommentare äußerten Jugendliche der Klassenstufen 9–11 eines Gymnasiums in Niedersachsen.

Die Gesellschaft Deutscher Chemiker formuliert ihren Standpunkt so:

„Aufgabe des Chemieunterrichts ist es, die zentrale Bedeutung chemischer Kenntnisse für die heutige Lebenswelt einsichtig und erfahrbar zu machen. Die Verbindung zwischen Chemie und Lebensbereich der Lernenden muss genutzt bzw. hergestellt werden, um auf einen verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt vorzubereiten. Die Lernenden müssen in die Lage versetzt werden, Kenntnisse aus Chemie und Technik sinnvoll mit einzubeziehen“ [3].

Die große Bedeutung, Alltagsbezüge zu nutzen oder herzustellen, ist den meisten Lehrern, Schulbuchautoren oder Richtlinienexperten schon immer bewusst gewesen – der Umfang der Alltagschemie im Gesamtcurriculum und die Stellung zur Fachsystematik sind eher umstritten. Diese Diskussion soll als achte Grundfrage der Chemiedidaktik im Folgenden wiedergegeben werden.

8.1 Lernende – Neugier und Interesse

Jugendliche haben ein natürliches Interesse daran, mehr über sich sowie die Gegenstände und Vorgänge ihrer unmittelbaren Lebenswelt zu erfahren. Der Chemieunterricht kann mit sinnvollen Fragestellungen aus der Alltagswelt an dieses Neugierverhalten anknüpfen und altersgemäß bearbeiten – diesbezügliche Fragen werden aufgeworfen und reflektiert.

1. Aus welchen Bereichen stammen Alltagserfahrungen von Lernenden?

Sicherlich sind es zunächst Erfahrungen aus dem Elternhaus, aus Küche, Badezimmer, Garage oder Garten. In einer Übersicht fassen Pfeifer, Häusler und Lutz [4] weitere Bereiche zusammen, aus denen mögliche Alltagserfahrungen der Jugendlichen stammen können (vgl. Abb. 8.1).

2. Wie beeinflusst das spezifische Umfeld der Lernenden ihre Vorstellungen?

Befindet sich im Wohnort etwa ein großer Industriekomplex und arbeiten dort viele Väter oder Mütter, so haben sich bestimmte Vorstellungen zu dieser Industrieanlage entwickelt. Wohnen Jugendliche wiederum auf dem Land, so werden sie eine andere Einstellung zu Fragen der Landwirtschaft, zu Düngemitteln oder Schädlingsbekämpfungsmitteln mitbringen als Jugendliche aus der Stadt.

3. Welche stofflichen Phänomene erleben Schüler täglich?

Sie erleben oftmals das Vernichtungskonzept, wenn sie vom Fleck-„entferner“, Tinten-„killer“ oder Strom-„verbrauch“ sprechen (vgl. auch Kap. 1). Sie hören auch täglich etwas zu Umweltproblemen hinsichtlich der Lebensmittel, des Wassers, der Luft und des Erdbodens und entwickeln entsprechende Einstellungen gegen „die Chemie“, die im Unterricht möglichst problematisiert werden sollten.

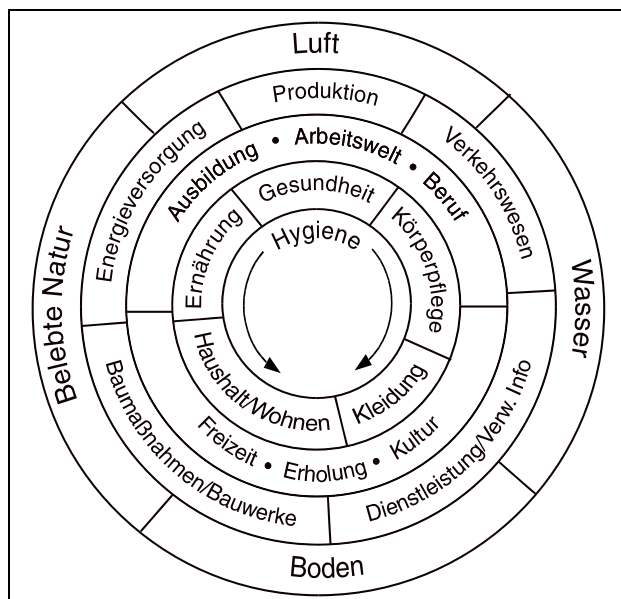


Abb. 8.1: Bereiche der Lebenswelt Jugendlicher, aus denen ihre Erfahrungen stammen [4]

4. Wie werden Stoffe des Alltags von der Erwachsenenwelt nahe gebracht?

Fernsehen, Radio, Zeitschriften und Zeitungen verbreiten durch ihre Werbung ein einseitiges Bild von Stoffen und Materialien, die die Schüler und Schülerinnen in bestimmter Weise prägen. Solche Prägungen sollten im Unterricht herausgefunden und thematisiert werden.

5. Wie können sachliche Kritik und Verhaltensänderungen gefördert werden?

Ein Chemieunterricht, der Alltags- und Umweltthemen angemessen berücksichtigt, würde – neben einer entsprechenden Erziehung durch die Eltern – zu Kritikfähigkeit und Verhaltensänderungen beitragen. Auch vorbereitete Exkursionen zu Betrieben wie Kläranlage, Recycling-Station oder Mülldeponie sind geeignet, vorgefasste Meinungen zu revidieren und neue Vorstellungen zu entwickeln.

Schülerinteressen. Eine andere Frage ergibt sich aus den Fragekomplexen zuvor: Welche Interessen haben Schüler und Schülerinnen an bestimmten Themen der Alltags- und Umweltchemie?

Die Antwort auf diese Frage kann deshalb für die Lehrer interessant sein, weil ein geplantes Projekt, das oftmals das einzige Projekt im Schuljahr ist, die Interessen der Schüler oder Schülerinnen ansprechen soll – anderenfalls unterrichtet der Lehrer vielleicht gegen die Interessen aller Schüler oder gegen die der Jungen oder gegen die der Mädchen.

Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein Fragebogen [2] entwickelt (vgl. Abb. 8.2). Er wurde im Jahr 1986 an Gymnasien um Hannover und im Jahr 1995 an

1. Im Einzelnen wünsche ich mir, dass im Unterricht zu „*Alltag und Umwelt*“ folgende Themen behandelt werden (bitte alle Ziffern 1–4 für genau vier Lieblingsthemen zuordnen, 1 bedeutet „am meisten gewünscht“, etc.):

☐ Lebensmittel	☐ WC-Reiniger	☐ Benzin, Kraftstoffe
☐ Konservierungsmittel	☐ Waschmittel	☐ Zement, Baustoffe
☐ Alkohol, -Getränke	☐ Kosmetika	☐ Düngemittel

2. Im Einzelnen wünsche ich mir, dass im Unterricht zu „*Umweltschutz*“ folgende Themen behandelt werden (Ziffern 1–4 für genau vier Themen zuordnen):

☐ Belastungsstoffe im Wasser	☐ Saurer Regen und Waldsterben	☐ Behandlung von Hausmüll
☐ Belastungsstoffe in der Luft	☐ Abgas und Abgaskatalysatoren	☐ Recycling von Papier und Glas
☐ Belastungsstoffe im Erdboden	☐ Überdüngung und Eutrophierung	☐ Aufbereitung von Altöl

3. Im Einzelnen wünsche ich mir, dass im Unterricht zu „*chemischer Technik*“ folgende Themen behandelt werden (Ziffern 1–4 zuordnen):

☐ Fotos herstellen	☐ Klebstoffe	☐ Akku und Batterie
☐ Galvanisieren	☐ Sprengstoffe	☐ Brennstoffzelle
☐ Färben	☐ Metall-Legierungen	☐ Raketenantrieb

4. Im Einzelnen wünsche ich mir, dass im Unterricht zu „*chemischer Industrie*“ folgende Themen behandelt werden (Ziffern 1–4 zuordnen): Die fabrikmäßige Herstellung von:

☐ Stahl und Metallen	☐ Zucker aus Rüben	☐ Kunststoffen
☐ Benzin und Heizöl	☐ Salz im Bergwerk	☐ Farbstoffen
☐ Schwefelsäure	☐ Papier aus Holz	☐ Arzneimitteln

Abb. 8.2: Auszug aus einem Fragebogen zur Erkundung der Interessenlage [2]

Gymnasien in Jena bei etwa 200 Jugendlichen der Klassenstufen 9–11 eingesetzt und geschlechtsspezifisch ausgewertet. Das Ergebnis der Auswertung zeigt Tabelle 8.1. Es wird deutlich, dass es Bereiche gibt, die gleichermaßen interessant für Jungen und für Mädchen sind: Themen wie Lebensmittel, Alkohol, Sprengstoffe, die Herstellung von Fotos oder Papier gehören dazu [5].

Andere Themen sind nur für Jungen oder nur für Mädchen von Interesse, viele Themen weisen sehr geringes Interesse sowohl bei Jungen als bei Mädchen aus (vgl. Tabelle 8.1). Da die Interessenlage sehr von der Region der Schule abhängt, macht jeder Lehrer möglichst seine eigene spezifische Befragung vor Ort und kann dann einschätzen, welches Projektthema für den Unterricht geeignet ist oder welche Exkursion von den Schülern gewünscht wird. Er muss damit rechnen, dass ein Projektthema zur Zuckerfabrik am Schulort oder zum Salzbergwerk am Schulort für die Jugendlichen nicht interessant genug ist, wie es die Befragung am Gymnasium in Lehrte ergab.

Tabelle 8.1: Ergebnisse einer Befragung 1995 in Jena, Vergleich mit Ergebnissen 1986 in Hannover, Klassenstufen 9–11 [5]

1. <i>Großes Interesse bei Jungen und Mädchen</i>	
– Lebensmittel	
– Alkohol, -Getränke	(auch 1986)
– Fotos herstellen	(auch 1986)
– Sprengstoffe	(auch 1986)
– Papier aus Holz	
2. <i>Großes Interesse bei Mädchen</i>	
– Kosmetika	(auch 1986)
– Behandlung von Hausmüll	(auch 1986)
– Färben	(auch 1986)
– Arzneimittel	(auch 1986)
3. <i>Großes Interesse bei Jungen</i>	
– Benzin, Kraftstoffe	(auch 1986)
– Abgas, -Katalysatoren	(auch 1986)
– Raketenantrieb	(auch 1986)
– Benzin und Heizöl	
4. <i>Gemischtes Interesse bei Jungen und Mädchen</i>	
Konservierungsmittel, Belastung Wasser, Belastung Luft, Saurer Regen und Waldsterben, Recycling von Papier und Glas, Akku und Batterie, Brennstoffzelle, Stahl und Metalle, Kunststoffe	
5. <i>Sehr geringes Interesse bei Jungen und Mädchen</i>	
WC-Reiniger (auch 1986), Waschmittel, Zement und Baustoffe (auch 1986), Düngemittel (auch 1986), Belastung Erdboden (auch 1986), Überdüngung und Eutrophierung (auch 1986), Aufbereitung von Altöl (auch 1986), Galvanisieren (auch 1986), Metalllegierungen (auch 1986), Schwefelsäure (auch 1986), Zucker aus Rüben (auch 1986), Salz aus dem Bergwerk (auch 1986)	

Haushaltschemikalien und Interesse. Eine weitere Pilotstudie zeigt, inwieweit ein Interesse der Jugendlichen für das Schulfach Chemie vorliegt und sich das Interesse beeinflussen lässt, wenn im Unterricht anstelle der Laborchemikalien Substanzen aus dem Haushalt verwendet werden. Wanjek [6] plante die Einheit „Säuren und Laugen“ für mehrere Schulklassen der Klassenstufe 9 einer Gesamtschule in Münster: In Schülerexperimenten wurden Haushaltschemikalien mit Universalindikator getestet, die Verwendung saurer und alkalischer Reiniger untersucht und die Neutralisation dieser Lösungen erarbeitet. Der gesamte Unterricht wurde von verschiedenen Lehrkräften der Schule erteilt und dauerte nur sechs Stunden. Die 120 Jugendlichen in fünf Klassen sind vorher und nachher hinsichtlich des Interesses – auch zu Schülerexperimenten – befragt worden.

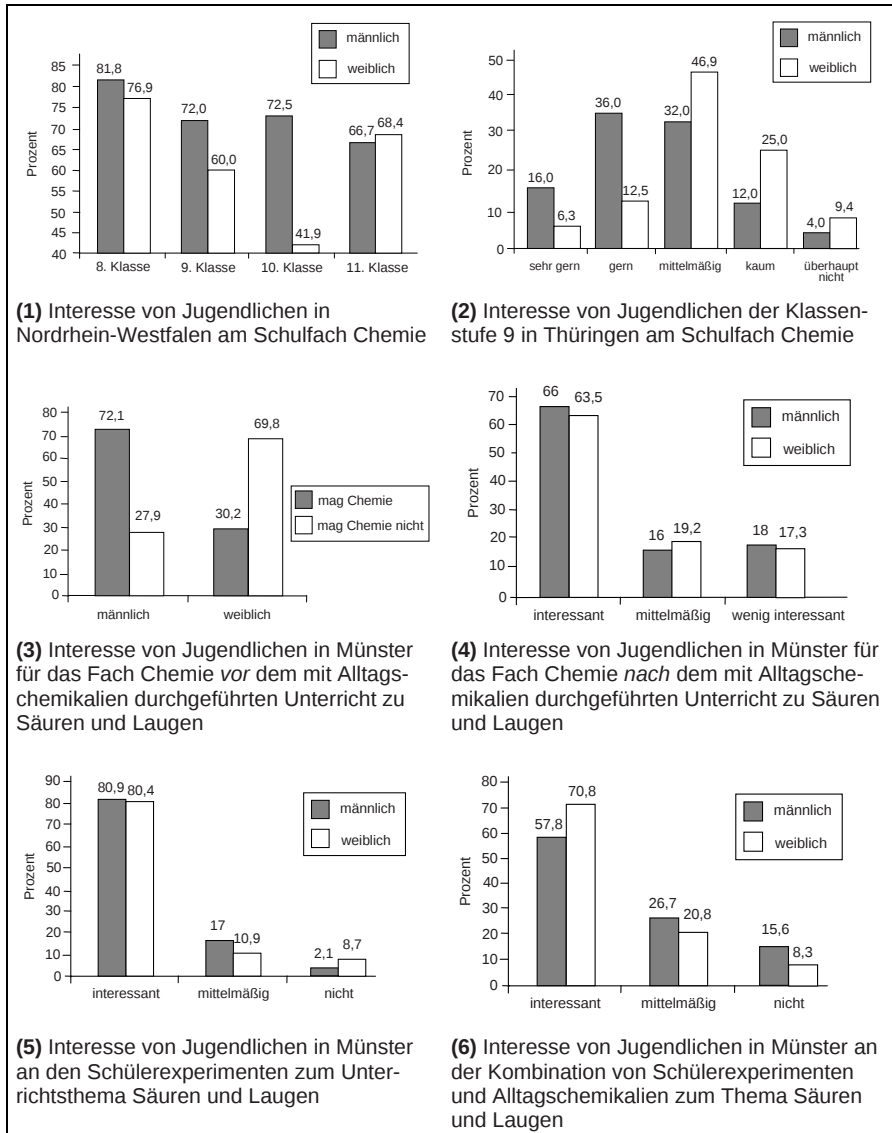


Abb. 8.3: Ergebnisse einer Interessenerhebung vor und nach einer Unterrichtseinheit [6]

Befragungsergebnisse an ca. 300 Probanden zeigen, dass das Interesse am Fach Chemie durchaus vorhanden ist, allerdings fällt es bei den Mädchen an einigen Schulen in Nordrhein-Westfalen von der Klassenstufe 8 bis zur Klassenstufe 10 stark ab (vgl. (1) in Abb. 8.3). In den Chemiekursen der Klassenstufe 11 ist es naturgemäß wieder stärker vorhanden, weil Schüler mit geringem Interesse das Fach Chemie ausgewählt haben. An einer Schule in Thüringen konnte ebenfalls festgestellt werden, dass eher die Jungen ein Interesse am Chemieunterricht zeigen und die Mädchen überwiegend mittelmäßig interessiert sind (vgl. (2) in Abb. 8.3).

Weitere Erhebungen beziehen sich auf das Interesse vor und nach der Unterrichtseinheit „Säuren und Laugen“. Auch hier äußerten vor dem Unterricht die Mädchen noch mangelndes Interesse, nach dem Unterricht stieg es allerdings merklich an (vgl. (3) und (4) in Abb. 8.3). Der Einfluss der Schülerexperimente war erheblich: Mädchen wie Jungen äußerten hohes Interesse an Schülerexperimenten (5). Nach der Kombination von Haushaltschemikalien und Schülerexperimenten befragt, ergab sich gar ein höheres Interesse der Mädchen als der Jungen: Für die Mädchen spielten die Haushaltschemikalien die doch ausschlaggebende Rolle an ihrem Interesse (6).

Einstellungen zur Chemie und zum Chemieunterricht. In einer Studie mit großer Probandenzahl stellten Müller-Harbach, Wenck und Bader [7] fest, dass die Schüler zwischen Einstellungen zur Chemie und zum Chemieunterricht kaum differenzieren: „Schüler, die eine positive Einstellung zum Chemieunterricht haben, zeigen auch der Chemie gegenüber eine aufgeschlossene Haltung. Dagegen haben besonders Schülerinnen mit einer positiven affektiven Haltung gegenüber Umweltproblemen eine negative Haltung gegenüber der Chemie und umgekehrt. Die bei den Mädchen beobachtete Einstellung entspricht der landläufigen Meinung: Wer sich ökologisch engagiert, lehnt die Chemie ab“ [7].

Zur Ermittlung von Einstellungen hinsichtlich der Chemie ließen Heilbronner und Wyss [8] Jugendliche aus der Schweiz Bilder zur Chemie malen. Die häufigen Katastrophen in chemischen Betrieben am Ende der 70er Jahre spiegeln sich in den Ergebnissen wieder: Zwei Drittel der Bilder weisen negative Motive zur Umweltzerstörung, zur Bedrohung der Menschen und zu Tierversuchen auf. Fazit der Autoren: „Der Chemielehrer ist vermutlich der einzige, der zu Beginn seines Unterrichts vor eine Klasse treten muß, die sich ihre Meinung über den Wert oder besser Unwert des Faches gemacht hat, welches nun auf sie zukommt“ [8].

Um am Ende der 90er Jahre zu überprüfen, inwieweit diese These noch stehen bleiben kann, wurden Jugendliche im Raum Münster aufgefordert, „ihr Bild“ von der Chemie zu malen [9].

Einige Beispiele von etwa 160 Kunstwerken zeigt Abbildung 8.4 (siehe Farbtafel). Viele Bilder weisen sowohl positive als auch negative Motive gleichzeitig auf, sodass zur Frage, inwieweit positive und negative Einstellungen wiedergegeben werden, nicht die Zahl der abgegebenen Bilder, sondern die Zahl der enthaltenen Motive zu Grunde gelegt wird. Hilbing [9] konnte feststellen, dass nur 35 % der Jungen und 16,6 % der Mädchen ausschließlich Motive gemalt hatten, die überwiegend negative Einstellungen widerspiegeln. Gegenüber der Untersuchung aus der Schweiz hat sich der Prozentsatz von etwa 66 % negativer Motive fast halbiert.

In einem Fragebogen für die Klassenstufen 6–9 bezüglich der Einstellung zur Chemie [9] konnte festgestellt werden, dass sich 65 % der Jungen positiv äußern, Mädchen allerdings nur zu 33 %. Auf Fragen hinsichtlich der Einstellung zum Chemieunterricht kamen von den Jungen nur noch die Hälfte positiver Äußerungen wie zuvor, nämlich 31 %, von den Mädchen nur 18 %. Die Einstellungen zur Chemie sind also unerwartet positiver als die zum Chemieunterricht.

Das Ergebnis korreliert mit den Motiven der Bilder, die von denselben Jugendlichen gemalt worden sind: Auch hier wurde eine durchaus positive Grundhaltung zur Chemie festgestellt. Auf dieser positiven Grundhaltung sollte man erfolg-

reichen *Chemieunterricht* aufbauen können. Die negative Einstellung zum Chemieunterricht muss also aus der Art und Weise resultieren, wie das Schulfach Chemie unterrichtet wird: Lehrer und Chemiedidaktiker haben hier Wege und Mittel zu finden, diesen als negativ empfundenen Zustand zu verbessern.

8.2 Fachliche Schwerpunkte – Fachsystematik versus Alltagschemie

Zur Kontroverse Fachsystematik versus Alltagschemie stellt Just [10] fest:

„Alltagschemie arbeitet mit chemischen Stoffen oder Prozessen des Alltags. Alltagsorientierter Chemieunterricht meint dagegen mehr, nämlich den Chemieunterricht – soweit dies sinnvoll möglich ist – durchgängig auf den Alltag hin auszurichten“.

Christen [11] antwortet darauf:

„Meine Feststellung ‚Die Alltags- oder Umweltchemie stellt keine Alternative zur Fachsystematik dar‘ meint genau das, was Herr Just nachher schreibt: entweder orientiert sich der CU an der Wissenschaft ‚Chemie‘ (am Fach!) oder eben am Alltagsbezug. Und da bleibe ich bei meiner Meinung: das Fach Chemie soll als Leitlinie für den Unterrichtsaufbau dienen“.

Dieser Disput zieht sich durch die gesamte chemiedidaktische Literatur – er wird auch im Abschnitt „Vermittlungsprozesse“ noch tiefergehend reflektiert. Um die fachliche Seite des Themas besser kennen zu lernen, werden im Folgenden einige Aspekte vorgestellt.

Alltagsphänomene und Chemie. Der Chemieunterricht kann Schülern und Schülerinnen dazu verhelfen, fachliche Aspekte zu erarbeiten, die bisher zur Erklärung von Alltagsphänomenen nicht zur Verfügung standen. Insbesondere ist es möglich, Alltagsphänomene ihrer „Verpackung“ zu entkleiden und in chemische Vorgänge zu „übersetzen“. Einige Beispiele:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| – Kaffeekochen: | Extraktion |
| – Fleck entfernen: | Löslichkeit |
| – Waschen: | Emulgieren und Dispergieren |
| – Tintenkiller: | Redoxreaktion |
| – Schwarz-Weiß-Fotografie: | Redoxreaktion, Komplexreaktion |
| – Silberputzen: | Redoxreaktion |
| – Brausetabletten: | Säure-Base-Reaktion |
| – Backpulver: | Säure-Base-Reaktion |
| – Entkalker: | Säure-Base-Reaktion |
| – Maurermörtel: | Säure-Base-Reaktion |
| – Backofenspray: | Verseifung, Löslichkeit |

Wechselseitige fachliche Beziehungen. Im Chemieunterricht können auch die wechselseitigen Beziehungen zwischen chemischer Erkenntnis, technologischem Fortschritt und individuellen Lebensgewohnheiten reflektiert und in der historischen Entwicklung verfolgt werden. Beispiele:

- Seifen, Waschmittel und Kosmetik,
- Konservierung von Lebensmitteln,
- Düngung und Schädlingsbekämpfung,
- Arzneimittel und Pharmaka, etc.

Fachliche Interpretationen, Experimente. Legt man die Übersicht von Pfeifer, Häusler und Lutz [4] zu den Erfahrungsbereichen von Jugendlichen zu Grunde (vgl. Abb. 8.1), so sind gemäß der Übersicht eine Vielzahl von Sachverhalten und diesbezüglichen Alltagschemikalien zu reflektieren: Sie seien im Folgenden an Beispielen vorgestellt und die Wirkung der Substanzen mit Reaktionssymbolen skizziert. Dazu wird jeweils angegeben, ob Redoxreaktionen (RR), Säure-Base-Reaktionen (SBR) oder Komplexreaktionen (KR) zu Grunde liegen, welcher „Verpackung“ sich entsprechend „ein Phänomen entkleiden lässt“.

Experimente hinsichtlich der diskutierten Alltagschemikalien ergänzen oftmals anschaulich die sachlichen Ausführungen: Sie werden im Text skizziert und am Schluss des Kapitels ausführlich beschrieben.

1. Hygiene: Beispiel „Badezimmerchemikalien“

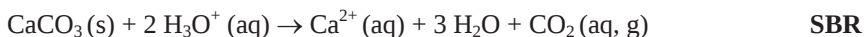
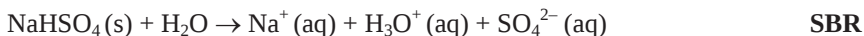
Abflussreiniger „NaOH/Al-Typ“ (V8.1): Dieser Reiniger soll durch die stark alkalische Reaktion organische Stoffe zersetzen und Verstopfungen in Wasch- oder WC-Becken beseitigen. Durch die Beimengung von Aluminiumspänen ist eine Reaktion mit Wasser zu Wasserstoff beabsichtigt –, ein Wirbeleffekt tritt ein und erhöht die Wirkung:



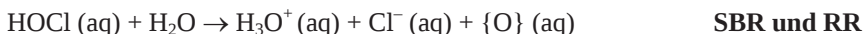
Wasserstoff ist im ersten Augenblick als Gas nachweisbar, „nascierende“ H-Atome reagieren allerdings mit Nitrat-Ionen des Natriumnitrats, das aus Sicherheitsgründen beigelegt wird:



WC-Reiniger „HSO₄⁻-Typ“ (V8.2): Dieser Reiniger enthält festes Natriumhydrogensulfat, das mit Wasser stark sauer reagiert und Kalkreste von Leitungswasser-Spritzern umsetzt:



Sanitärreiniger „HOCl/Cl-Typ“ (V8.3): Diese auch Bleichlauge genannte Lösung bildet atomaren – nascierenden – Sauerstoff und vermag so zu bleichen bzw. keimtötend zu wirken:



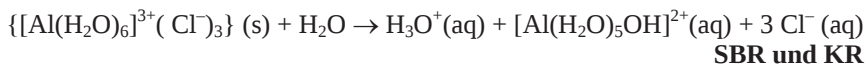
Bei Erhöhung der Säurekonzentration wird gelöstes und gasförmiges Chlor gebildet; wegen der Giftigkeit freien Chlors wird vor einem Zusammengeben dieses

Reinigers mit einem sauren Reiniger – etwa Natriumhydrogensulfat – auf dem Etikett gewarnt:



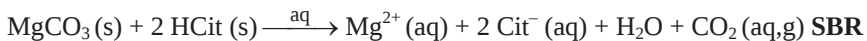
2. Körperpflege: Beispiel „Deodorantien“

Deodorant „Al³⁺-Typ“ (V8.4): Einige Deodorant-Substanzen – etwa das „Anti-Transpirant Hydrofugal“ – reagieren auf der Grundlage von Aluminiumchlorid-Hexahydrat. Sowohl die saure Reaktion als auch die Anwesenheit von Aluminium-Ionen wirken keimtötend:



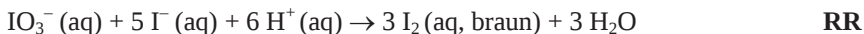
3. Gesundheit: Beispiel „Mineral-Tabletten“

Mineraltabletten „Ca²⁺- und Mg²⁺-Typ“ (V8.5): Calcium- und Magnesiumpräparate werden sowohl als Kautabletten als auch als Brausetabletten angeboten. Letztere enthalten die Carbonate im Gemisch mit Citronensäure-Kristallen (verkürzt: HCit-Moleküle). Bei der Reaktion entweicht sprudelnd gasförmiges Kohlendioxid, wirksame Ca²⁺(aq)- bzw. Mg²⁺(aq)-Ionen werden frei:



4. Ernährung: Beispiel „Speisesalze“

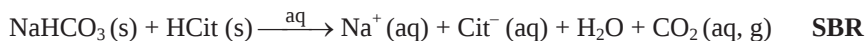
Speisesalz „Iod-Typ“ (V8.6): In heutigen Speisesalzen sind neben dem eigentlichen Natriumchlorid häufig Mineralsalze in kleinen Konzentrationen enthalten, etwa Calciumcarbonat, Natriumphosphat oder Natriumiodat („Iodsalz“). Sie dienen nicht nur als ergänzende Nährsalze (Förderung und Erhaltung der Zähne), sondern auch als technisches Mittel, um die Rieselfähigkeit zu verbessern. Säuert man Iodsalz-Lösung an und gibt Kaliumiodid-Lösung hinzu, so tritt eine braunfarbene Iod-Lösung auf. Ist die Braunfärbung nicht zu erkennen, so vermag Stärkelösung kleinste Iod-Konzentrationen durch die bekannte blaue Färbung anzuzeigen:



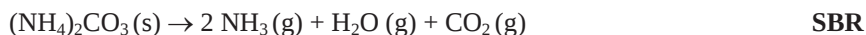
5. Haushalt: Beispiel „Backmittel“

Backpulver „Natron-Typ“ (V8.7): Zum Backen von Brot und Kuchen wird meistens Backpulver verwendet. Es hat die Aufgabe, in der Hitze ein Gas zu entwickeln, das den Teig mit Hohlräumen versieht und die lockere Brotstruktur erzeugt.

In den meisten Fällen verwendet man Natriumhydrogencarbonat („Natron“) und feste Säuren: Das Gas Kohlenstoffdioxid bildet sich:

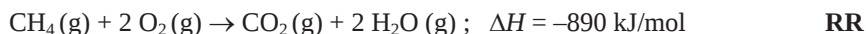


Backpulver „Hirschhornsalz-Typ“ (V8.8): Wird ein Ammoniumsalz („Hirschhornsalz“) eingesetzt, so entsteht – neben Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf – auch Ammoniak. In diesem Fall darf nur Flachgebäck hergestellt werden, damit das gebildete Ammoniak entweichen kann:



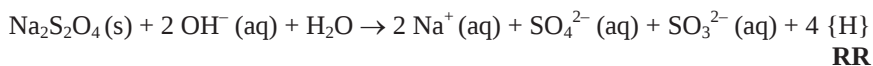
6. Wohnen: Beispiel „Brennstoffe für die Heizung“

Nahezu alle Wohnungen werden durch fossile Brennstoffe beheizt: Man verbrennt entweder Braunkohle oder Steinkohle in Kamin oder Ofen, man heizt mit Erdgas aus der Erdgasleitung oder mit Propan bzw. Heizöl aus Vorratsbehältern im Haus. In allen Fällen kontrolliert der Schornsteinfeger in bestimmten Zeitabständen sowohl Gehalte an Ruß, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid als auch Abgastemperaturen und Abgasverluste, um möglichst eine optimale und damit umweltschonende Verbrennung zu gewährleisten:



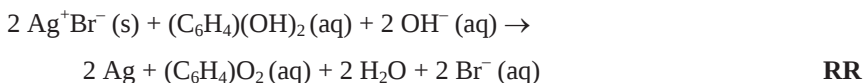
7. Kleidung: Beispiel „Textilentfärber“

Textilentfärber „Dithionit-Typ“ (V8.9): Zum Entfernen von Flecken oder zum Entfärben von Textilien wird vielfach Natriumdithionit als „Reduktionsbleiche“ verwendet. Die alkalische Lösung bildet naszierenden Wasserstoff, der Sauerstoffverbindungen (beispielsweise Farbstoffe oder Tinten) zerstört:

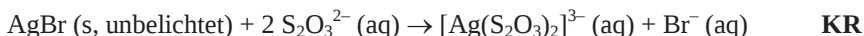


8. Freizeit: Beispiel „Schwarz-Weiß-Fotografie“

Entwickler „Hydrochinon-Typ“ (V8.10): Die Farbfotografie ist sehr komplex zu beschreiben, während die Schwarz-Weiß-Fotografie relativ einfach durch Reaktionen des auf dem Fotopapier aufgetragenen Silberbromids zu kennzeichnen ist. Das Belichten führt zu unsichtbaren Silber-Keimen, das Entwickeln mit alkalischer Hydrochinon-Lösung erzeugt an diesen Stellen sichtbare Mengen an fein verteiltem Silber und dadurch schwarz gefärbte Flächen auf dem Fotopapier:

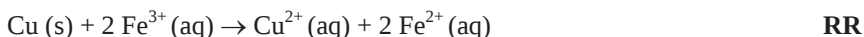


Fixierer „Thiosulfat-Typ“ (V8.11): Das Fixieren ist erforderlich, weil nach dem Entwickeln unbelichtetes Silberbromid auf dem Fotopapier haften und nachschwärzen würde. Es wird herausgelöst durch Komplexbildung mit Hilfe von Natriumthiosulfat-Lösung:



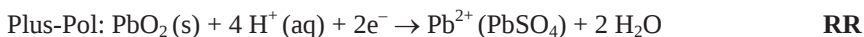
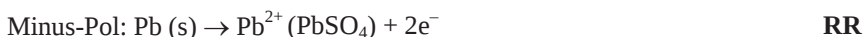
9. Arbeitswelt: Beispiel „Metallverarbeitung“

Ätzchemikalie „Fe³⁺-Typ“ (V8.12): Zur Herstellung von Leiterplatten für elektronische Bauteile werden mit Kupfer beschichtete Kunststoffplatten verwendet. Um bestimmte Leiterbahnen für den Stromfluss zu erzeugen, schützt man entsprechende Linien auf der Platte durch Wachs und bringt die restliche Kupferschicht in Lösung. Ein Weg ist der Einsatz von Eisen(III)-chlorid-Lösung:

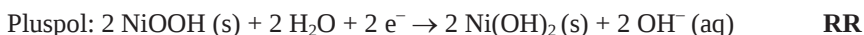


10. Energieversorgung: Beispiel „Akkumulatoren“

Akkumulator „Typ Pb/PbO₂“ (V8.13): Akkumulatoren vermögen Strom zu liefern und sich wieder aufladen zu lassen. Der bekannteste ist der „Bleiakku“ im Auto. Er stellt die elektrische Energie zur Verfügung, um den Anlasser zu starten, der wiederum den Motor laufen lässt. Die Elektroden bestehen im geladenen Zustand aus metallischem Blei bzw. aus rotbraunem Bleidioxid:

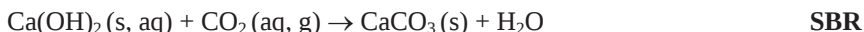


Akkumulator „Typ Cd/Ni“: Zur Energieversorgung im Haushalt sind Nickel-Cadmium-Zellen gebräuchlich, die mit einem Ladegerät wieder aufgeladen werden können und somit den Abfall an üblichen Batterien vermindern. Die Elektroden bestehen im geladenen Zustand aus fein verteiltem Cadmium (Minuspol) und festem Nickel(III)-oxidhydroxid:

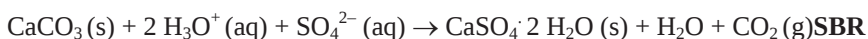


11. Baumaßnahmen: Beispiel „Abbinden von Mörtel“

Blitzement „Ca(OH)₂-Typ“ (V8.14): Der Kalk des Maurers wird chemisch als Calciumhydroxid bezeichnet, er kann durch das sogenannte „Löschen“ von Branntkalk – chemisch gesehen Calciumoxid – hergestellt werden. Beim Abbinden des Maurerkalks findet die Reaktion mit Kohlenstoffdioxid zu Calciumcarbonat statt –, je nach Wandstärken und Temperatur dauert es Monate oder Jahre, bis das Abbinden beendet ist:

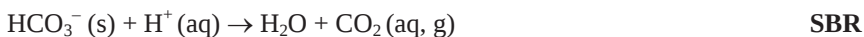
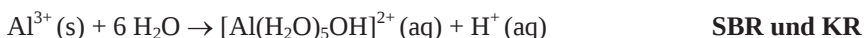


Zerstörung durch sauren Regen: Calciumcarbonat (etwa im Naturgestein von Bauwerken) wird durch „Sauren Regen“ angegriffen und zu Kristallwasser-haltigem Gips umgesetzt. Da sich dabei das Volumen vergrößert, verwittert das Naturgestein oberflächlich sehr stark:



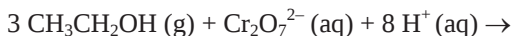
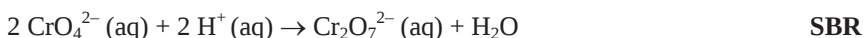
12. Dienstleistung: Beispiel „Brandbekämpfung“

Es gibt verschiedene Feuerlöschertypen, die meisten arbeiten auf der Basis von komprimiertem Kohlenstoffdioxid. Legt die Feuerwehr zur Vorsorge auf der Landebahn eines Flugplatzes einen Schaumteppich, so verbirgt sich dahinter die Reaktion von festem Aluminium- und Natriumhydrogencarbonat mit dem Löschwasser, das ein geeignetes Schaummittel enthält:



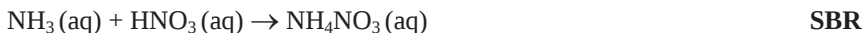
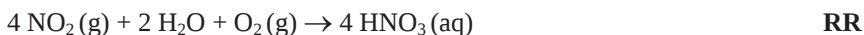
13. Verkehrswesen: Beispiel „Alkoholtests“

Alcotest „Chromat-Typ“ (V8.15): Zur Kontrolle des Blutalkoholgehaltes von Autofahrern im Straßenverkehr benutzt die Polizei Prüfröhrchen und Testgeräte auf der Basis der Infrarotspektroskopie. Die Prüfröhrchen dienen zur ersten Abschätzung des Alkoholgehaltes in der Atemluft, zur genaueren Bestimmung die Infrarotgeräte. Das Teströhrchen enthält gelbe Kaliumchromat-Kristalle gemischt mit Natriumhydrogensulfat. In Gegenwart von feuchtem Alkoholdampf der Atemluft findet eine Reduktion zu grünfarbenen Chrom(III)-Verbindungen, also ein Farbwechsel von gelb nach grün statt:

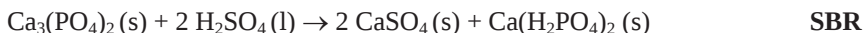


14. Produktion: Beispiel „Düngemittel“

Neben den natürlichen Düngemitteln (Mist, Gülle) gibt es Mineraldünger. Sie werden zum einen aus Salzlagern unter der Erde gewonnen: Kalium-, Calcium- und Magnesiumsalze, Nitrate, Phosphate, u. a. Zum anderen werden Nitrate und Ammoniumsalze künstlich durch die Haber-Bosch-Synthese und anschließende Reaktionen produziert:

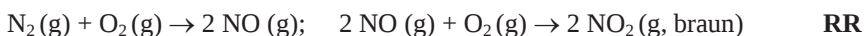


Unlösliches Calciumphosphat oberirdischer Lagerstätten setzt man mit reiner Schwefelsäure zu löslichen Dihydrogenphosphaten um, die erst dann zu Dünge zwecken geeignet sind:

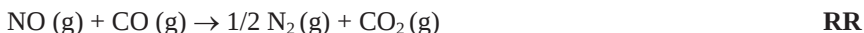


15. Luft: Beispiel „Smog“

Bei einer Inversionswetterlage liegt eine warme Luftschicht wie ein Deckel auf der kalten Luft am Boden: Die Luftschichten mischen sich nicht ausreichend, Gase wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenstoffmonoxid, Ruß und Staub (smoke and fog: Smog) können nicht entweichen. Sie belasten dadurch die Luft und folglich das Atmen erheblich. Stickoxide entstehen vornehmlich durch die Reaktion der Luft im heißen, hochtourig laufenden Automotor:

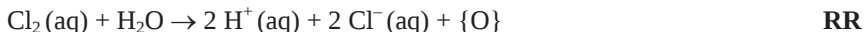


Funktioniert der Abgaskatalysator des Autos, so reduziert fein verteiltes Platinpulver als Katalysatormaterial auf dem Keramikkörper den Anteil an Stickoxiden und Kohlenstoffmonoxid erheblich:



16. Wasser: Beispiel „Trinkwasser“

Um Trinkwasser zu entkeimen, setzt man entweder Chlor oder Ozon ein – in beiden Fällen oxidiert naszierender Sauerstoff die enthaltenen organischen Verunreinigungen:



17. Boden: Beispiel „Bodenversauerung“

Saurer Regen bildet sich durch Industrie- und Autoabgase in der Luft: Tröpfchen von Salzsäure-, Schwefelsäure- oder Salpetersäure-Lösung entstehen und verursachen beim Abregnen eine Versauerung der Böden. Das hat zum einen zur Folge, dass Feinwurzeln geschädigt, Carbonate von Nährsalzen gelöst und ausgewaschen werden. Zum anderen können feste Aluminiumsalze, in denen Al^{3+} -Ionen gebunden und damit unschädlich vorliegen, gelöst werden und schädigen in dieser Form Bäume und Pflanzen („Waldsterben“):



8.3 Vermittlungsprozesse – Fachsystematik plus Alltagschemie

„Der Begriff Alltagschemie schließt alle chemischen Vorgänge und die davon berührten Substanzen und Materialien ein, die für uns im Alltag eine Rolle spielen. Daraus würde sich jedoch eine unüberschaubare Fülle von Stoffgebieten ergeben, die den individuellen Interessenlagen entsprechend noch differenziert werden müssten. Es ist daher klar, dass ein alltagsbezogener Chemieunterricht im unreflektierten Sinne keine Alternative zu einem klar strukturierten, verständlichen Fachunterricht sein kann. Andererseits sind größte Anstrengungen nötig, um die immer wieder festgestellte Kluft zwischen Chemieunterricht und Alltagswelt zu überbrücken, also Strategien zu entwickeln, wie Alltagswelt und beziehungsvolles Lernen zusammengeführt werden“.

Lutz und Pfeifer [12] haben diese Forderungen formuliert und in vielen Publikationen ihre Lösungsvorschläge angeboten. Welche Strategien zur Zusammenführung von Chemie und Alltag für den Chemieunterricht möglich sind, ist zu diskutieren. Davor wird eine Vielfalt von Methoden vorgestellt, mit denen Vermittlungsprozesse zur Alltagschemie realisiert werden können.

Methoden zu Vermittlungsprozessen. Die Vermittlung zwischen Alltag und Chemie kann im Chemieunterricht auf vielfältige Weise geschehen und damit zur Methodenvielfalt beitragen:

- Lernen durch aktives Handeln oder Experimentieren im *handlungsorientierten Unterricht*: Wasser- oder Bodenproben entnehmen und analysieren (etwa durch Einsatz der Aquamerck-Kästen), verschiedene Mörtelgemische herstellen und testen, u. ä.
- *Exkursionen* zu außerschulischen Lernorten: Besuch der regionalen Kläranlage, des Betriebes zur Trinkwasseraufbereitung, der Müllverarbeitung und Recycling-Station, Vorbereitung und Durchführung von Interviews, von Fotoreportagen, von Ausstellungsplakaten, u. ä.
- Lernen durch Vorträge und Diskussionen mit *außerschulischen Fachleuten*: Einladung von Feuerwehrmann, Lebensmittelkontrolleur, Malermeister oder Techniker aus der Industrie. Exkursionen in entsprechende Betriebe.

- Lernen mit *audiovisuellen Medien* oder auf *multimedialen Wegen*, auch Beschaffung der Materialien durch die Lernenden, kritische Durchsicht, Interpretation und Neuordnung, Entwicklung und Vorführung selbst gestalteter Materialien durch die Schülerinnen und Schüler.
- Lernen durch *Rollenspiele* zu Themen, die im Experimentalunterricht nicht behandelt werden können, etwa die Frage „Fleisch oder Körner?“ [13]: Es werden die angegebenen Rollentexte verteilt, von den Jugendlichen gespielt und im anschließenden Gespräch problematisiert.
- Lernen im *Projektunterricht* oder auch im *projektorientierten Unterricht* [14]: Für ein Projekt „Wasser und Umwelt“ [15], dessen Anlass der Besuch einer Kläranlage war, werden Themen verabredet, von Projektgruppen bearbeitet, diesbezügliche Plakate entworfen, vorgetragen und ausgestellt.

Schulbücher und Alltagschemie. Zu allen Zeiten haben sich Schulbuchautoren bemüht, die in Richtlinien und Lehrplänen vorgegebenen Unterrichtsthemen durch Bezüge zu Alltag und Umwelt zu bereichern. Beginnt man mit Themen ohne Alltagsbezug und sucht bei der Schulbuchanalyse Themen mit immer größer werdendem Ausmaß an Alltagsbezügen, so erhält man am Beispiel des Schulbuches „Chemie heute“ [16] folgende Ergebnisse (Seitenzahlen in Klammern):

- *Unterrichtsthemen ohne Alltagsbezug.* Chemische Grundgesetze, Gasgesetze, Daltonsches Atommodell, Atombau und Chemische Bindung.
- *Alltagsbezug zur Motivation am Anfang eines Themas.* „Chemische Reaktionen“: brennendes Streichholz, sich auflösende Brausetablette (49), „Luft, Verbrennung“: Gartengrill – Anzünden, Qualmbildung, Glut (63), „Wasser“: Wasservorräte, Wasserverbrauch, Wasser-Kreislauf, Trinkwasser (97), „Säuren“: Haushaltssessig, Milchsäure, Citronensäure (213).
- *Alltagsbezug zur Wiederholung oder Vertiefung am Ende von Unterrichtsthemen.* „Stofftrennung“: Wiederverwertung von Altautos, Recycling (45), „Redoxreaktionen“: Eisen aus Eisenerz, Hochofenprozess (89), „Alkali- und Erdalkalimetalle“: Magnesium im Flugzeugbau, für Blitzlichtlampen (145).
- *Alltagsbezug durch Exkurse im Chemieunterricht.* Trinkwasser aus Meerwasser (39), Vom Bleistift zum Graphitstift (56), So funktioniert ein Streichholz (72), Verbrennungen – vom TÜV kontrolliert (75), Brandbekämpfung (79), Kläranlage (101), Raketentreibstoff Wasserstoff (111), Salz gegen Eis (128), Magnesium sorgte für das rechte Licht (145), Die Leuchtspur der Elemente (147), Karies – ein Säureanschlag auf die Zähne (147), Bleichen mit Chlor – eine Gefahr für die Umwelt (S. 148), Fluor – ein extremes Element (155), Halogenlampen (155), Edelgase sorgen für edles Licht (157), Helium – gegen Tiefenrausch und Taucherkrankheit (157), Blitze an der Tankstelle verboten (164), Natrium aus Steinsalz (167), Gold aus Abfall (167), Marie Curie entdeckt die Radioaktivität (169), Radioaktive Isotope (172), Otto Hahn und die Kernspaltung (173), Batterien und Akkus (190), Citronensäure – ein Produkt der Biotechnologie (213), Sodbrennen (221), Weiches Wasser für den Haushalt (229), Tropfsteinhöhlen (229), Haushaltschemikalien (230).

- *Reine Alltags- und Umweltthemen im Chemieunterricht.* Chemie und Technik (238–253), Chemie und Umwelt (254–269), Anorganische Werkstoffe (270–283), Energie und Umwelt (284–305), Organische Werkstoffe (306–323), Chemie und Ernährung (324–355), Chemie im Badezimmer (356–371).

Vollständige Curricula auf der Basis von Alltagschemie. Seit einigen Jahren gibt es aus dem angloamerikanischen Sprachraum zwei neue Unterrichtswerke, die sich nicht in erster Linie an der chemischen Fachsystematik orientieren, sondern vorrangig Themen der Alltags- und Umweltchemie zu Grunde legen. Die Abbildungen 8.5–8.7 zeigen die Inhaltsverzeichnisse und lassen Rückschlüsse auf den beabsichtigten Unterricht zu.

ChemCom, Chemistry in the Community [17] ist ein Curriculum (vgl. Abb. 8.5), das zu den Alltagsthemen jeweils fachliche Informationen liefert, wie sie benötigt werden. So kommen im ersten Thema „The Quality of Our Water“ unter „Measurement and the metric system“ die Umrechnungen von inches und ounces zu üblichen Einheiten des metrischen System vor, an anderer Stelle Laboraktivitäten wie das Filtrieren, unter „Molecular View of Water“ Modelle des Wasser-Moleküls, die H_2O -Formel und weitere Element-, Verbindungs- und Reaktions-symbole. Unter „Electrical Nature of Matter“ wird sofort danach das Dipolmoment des Wasser-Moleküls eingeführt, der Ionen-Begriff zu Grunde gelegt, und es werden Tests zum Nachweis bestimmter Ionen experimentell durchgeführt. Diese fachlichen Informationen entbehren also – zumal sie für einen Anfangsunterricht gelten – völlig der üblichen Sachstruktur.

Preface To You, the Student Safety in the Laboratory Supplying Our Water Needs - I The Quality of Our Water - II A Look at Water and Its Contaminants - III Investigating the Cause of the Fish Kill - IV Water Purification and Treatment - V Putting It All Together: Fish Kill in Riverwood—Who Pays? Conserving Chemical Resources - I Use of Resources - II Why We Use What We Do - III Can We Continue to Use Things Up? - IV How Much Do We Have and for How Long? - V The Promise of New Materials Petroleum: To Build or to Burn? - I Petroleum in Our Lives - II Petroleum: What Is It? What Do We Do with It? - III Petroleum as a Source of Energy - IV Making Useful Materials from Petroleum - V Alternatives to Petroleum - VI Putting It All Together: Choosing Petroleum Futures Understanding Foods - I Foods: To Build or to Burn? - II Food as Energy - III Foods: The Builder Molecules - IV Essential Materials Needed in Small Amounts - V Food Additives - VI Putting It All Together: Nutrition in Many Cultures Acknowledgments	Preface To You, the Student Safety in the Laboratory Nuclear Chemistry in Our World - I Nuclear Phenomena in Everyday Life - II Discovering Atomic Energy - III Radioactive Decay - IV Nuclear Energy: Power of the Universe - V Living with Benefits and Risks - VI Putting It All Together: Separating Fact from Fiction Chemicals, Air, and Climate - I Life in a Sea of Air - II Investigating the Atmosphere - III Atmosphere and Climate - IV Human Alteration of the Atmosphere - V Putting It All Together: Is Air a Free Resource? Chemistry and Health - I Maintenance of Health - II Your Body as a Chemical Factory - III The Chemistry of Exercise - IV The Chemistry of Personal Health Care - V Chemical Control: Drugs and Toxins in the Human Body - VI Putting It All Together: Assessing Personal and Public Health Risks The Chemical Industry: Promise and Challenge - I A New Industry for Riverwood - II An Overview of the Chemical Industry - III Nitrogen Products and Their Chemistry - IV Chemical Energy ↔ Electrical Energy - V Pharmaceuticals - VI Putting It All Together: The Role of Chemical Industry Past, Present, and Future Acknowledgments
---	--

Abb. 8.5: Inhaltsverzeichnis „ChemCom. Chemistry in the Community“ [17]

Introduction for students

The Elements of Life

- EL1 What are we made of?
- EL2 Take two elements ...
- EL3 Looking for patterns in elements
- EL4 Where do the chemical elements come from?
- EL5 The molecules of life
- EL6 Summary

Developing Fuels

- DF1 Petrol is popular ...
- DF2 Getting energy from fuels
- DF3 Focus on petrol
- DF4 Making petrol – getting the right octane rating
- DF5 Trouble with emissions
- DF6 Methanol – the key to future fuels?
- DF7 What other solutions are there?
- DF8 Summary

From Minerals to Elements

- M1 Chemicals from the sea
- M2 Copper from deep in the ground
- M3 Mining Cornish tin
- M4 Summary

The Atmosphere

- A1 What's in the air?
- A2 Screening the Sun
- A3 Ozone: A vital sunscreen
- A4 The CFC story
- A5 How bad is the ozone crisis?
- A6 Trouble in the troposphere
- A7 Keeping the window open
- A8 Focus on carbon dioxide
- A9 Coping with carbon
- A10 Summary

The Polymer Revolution

- PR1 Designer polymers
- PR2 The polythene story
- PR3 Towards high density polymers
- PR4 Conducting polymers – breaking the rules
- PR5 The invention of nylon
- PR6 Kelvar
- PR7 Taking temperature into account
- PR8 Throwing it away... or not?
- PR9 Summary

What's in a Medicine?

- WM1 The development of modern ideas about medicines
- WM2 Medicines from nature
- WM3 Identifying the active chemical in willow bark
- WM4 Instrumental analysis
- WM5 The synthesis of salicylic acid and aspirin
- WM6 Delivering the product
- WM7 Development and safety testing of medicines
- WM8 Summary

Using Sunlight

- US1 The Sun: sustainer of life
- US2 Exciting light
- US3 Photosynthesis
- US4 Fuel for the future
- US5 Solar cells
- US6 The hydrogen economy
- US7 Summary

Engineering Proteins

- EP1 Christopher's story
- EP2 Protein building
- EP3 Genetic engineering
- EP4 Proteins in 3-D
- EP5 Giving evolution a push
- EP6 Enzymes
- EP7 Summary

The Steel Story

- SS1 What is steel?
- SS2 How is steel made?
- SS3 A closer look at the elements in steel
- SS4 Rusting
- SS5 What happens inside a 'tin' can?
- SS6 Recycled steel
- SS7 Summary

Aspects of Agriculture

- AA1 What do we want from agriculture?
- AA2 The world at your feet
- AA3 How does the soil remain fertile?
- AA4 Competition for food
- AA5 Summary

Colour by Design

- CD1 Ways of making colour
- CD2 The Monastral Blue story
- CD3 Chrome Yellow
- CD4 Chemistry in the art gallery
- CD5 At the start of the rainbow
- CD6 Chemists design colours
- CD7 Colour for cotton
- CD8 High-tech colour
- CD9 Summary

The Oceans

- O1 The edge of the land
- O2 Wider still and deeper
- O3 Oceans of energy
- O4 A safe place to grow
- O5 Summary

Medicines by Design

- MD1 Alcohol in the body
- MD2 The drug action of ethanol
- MD3 Medicines that send messages to nerves
- MD4 Enzyme inhibitors as medicines
- MD5 Targeting bacteria
- MD6 Summary

Visiting the Chemical Industry

- VC11 Introduction
- VC12 The operation of a chemical manufacturing process
- VC13 People
- VC14 Raw materials and feedstock preparation
- VC15 The best conditions for the process
- VC16 Safety matters
- VC17 Environmental issues
- VC18 Costs
- VC19 Location

Index

Abb. 8.6: Inhaltsverzeichnis „Salters Advanced Chemistry – Chemical Storylines“ [18]

Salters Advanced Chemistry teilt sich dagegen in drei Bände auf. *Chemical Storylines* [18] liefert ebenfalls dem Unterricht zu Grunde liegende Alltags- und Umweltthemen (vgl. Abb. 8.6).

Darüber hinaus gibt es allerdings den zweiten Band *Chemical Ideas* [19], der die wissenschaftlichen Ideen, also fachsystematisch aufbereitete Informationen zur Chemie in einem eigenen Fachbuch bereit hält (vgl. Abb. 8.7). Ein dritter Band *Activities and Assessment* stellt Anweisungen für Laborexperimente und Prüfungsaufgaben zu allen Themen zur Verfügung.

Im Unterricht zu den Alltagsthemen werden nun an geeigneten Stellen Querverweise zum einen zu den fachlichen Informationen gegeben, zum anderen zu entsprechenden Experimenten. Bei diesem Vorgehen ist also gewährleistet, dass die Schüler im Band der *Chemical Ideas* immer auch die Informationen eingebettet in die Fachstruktur erkennen. Da es sich um den „Advanced Level“, also um fortgeschrittenen Unterricht nach einem zweijährigen Einführungsunterricht auf dem „Ordinary Level“ handelt, sind die Zusatzinformationen für diese Schüler auch leichter zu erkennen und zu verarbeiten, als es im Curriculum „ChemCom“ möglich ist, das für den Anfangsunterricht im Fach Chemie konzipiert wurde.

Alltagsorientierter Chemieunterricht. „Welche Unterschiede sind zwischen Alltagsbezügen im Unterricht und Alltagsorientierung des Unterrichts auszumachen?“. Diese Frage von Just [20] zielt auf einen Chemieunterricht, dem Alltags- und Umweltfragen – wie auch für Lindemann [21] – als durchgängige Prinzipien zu Grunde liegen: „Während Chemieunterricht auch mit Alltagsbezügen nach der Logik des Faches ausgerichtet ist und an geeigneten Stellen gelungene Alltagsbezüge aufgreift, richtet sich die Struktur bei alltagsorientiertem Chemieunterricht vornehmlich nach den Notwendigkeiten, die ein Alltagsthema bedingt“ [20]. Um zu zeigen, wie sich Alltagsorientierung und chemische Systematik ergänzen können, verknüpft Just fachliche Konzepte mit Themen aus Alltag und Umwelt.

An anderer Stelle werden von Just „chemische Vertiefungen“ auf einer Theorieebene von Themen auf der Alltagsebene abgegrenzt, es sollen sich im Unterricht Theorietemen und Alltagsthemen abwechseln: „Die so gewonnenen chemischen Kenntnisse sollen in der Regel Voraussetzungen für ein folgendes ‚Alltagsthema‘ sein“ [20].

Chemie im Kontext. In Anlehnung an die Erfolge der angloamerikanischen Curricula wie „Chemistry in the Community“ [17], „Salters Advanced Chemistry“ [18] und auch „Chemistry in Context“ [22] hat sich eine Arbeitsgruppe gebildet, die diese Ideen aufgreifen und für den deutschen Sprachraum implementieren will: „Unser Konzept *Chemie im Kontext* soll

- ein breites Feld der Schülerinnen und Schüler erreichen;
- zum Aufbau eines rationalen Verständnisses im Umgang mit lebensweltlichen Problemsituationen beitragen;
- den Beitrag der Chemie zur Allgemeinbildung aufzeigen;
- eigenständiges Lernen im Umgang mit verschiedenen Methoden und neuen Medien schulen;
- Interesse an der Beschäftigung mit chemischen Fragestellungen anregen“ [23].

Introduction for Students**Chapter 1 Measuring amounts of substances**

- 1.1 Amount of substance
- 1.2 Balanced equations
- 1.3 Using equations to work out reacting masses
- 1.4 Calculations involving gases
- 1.5 The Ideal Gas law
- 1.6 Concentrations of solutions

Chapter 2 Atomic structure

- 2.1 A simple model of the atom
- 2.2 Radioactive decay
- 2.3 Electronic structure: shells
- 2.4 Electronic structure: sub-shells and orbitals

Chapter 3 Bonding, shapes and sizes

- 3.1 Chemical bonding
- 3.2 The size of ions
- 3.3 The shapes of molecules
- 3.4 Structural isomerism
- 3.5 Geometric isomerism
- 3.6 Optical isomerism

Chapter 4 Energy changes and chemical reactions

- 4.1 Energy out, energy in
- 4.2 Where does the energy come from?
- 4.3 Entropy and the direction of change
- 4.4 Energy, entropy and equilibrium
- 4.5 Energy changes in solutions

Chapter 5 Structure and properties

- 5.1 Ions in solids and solutions
- 5.2 Forces between molecules: induced dipoles
- 5.3 Forces between molecules: permanent dipoles and hydrogen bonding
- 5.4 The structure and properties of polymers
- 5.5 Water: hydrogen bonding in action
- 5.6 Bonding, structure and properties: a summary

Chapter 6 Radiation and matter

- 6.1 Light and electrons
- 6.2 What happens when radiation interacts with matter?
- 6.3 Radiation and radicals
- 6.4 Where does colour come from?
- 6.5 Ultra-violet and visible spectroscopy
- 6.6 Chemistry of colour
- 6.7 Infra-red spectroscopy
- 6.8 Nuclear magnetic resonance spectroscopy
- 6.9 Mass spectrometry

Chapter 7 Equilibrium in chemistry

- 7.1 Chemical equilibrium
- 7.2 Equilibrium constants
- 7.3 Partition equilibrium
- 7.4 What decides the position of equilibrium?
- 7.5 Ion exchange
- 7.6 Chromatography
- 7.7 Solubility equilibria

Chapter 8 Acids and bases

- 8.1 Acid-base reactions
- 8.2 Weak acids and pH
- 8.3 Buffer solutions

Chapter 9 Redox

- 9.1 Oxidation and reduction
- 9.2 Redox reactions and electrode potentials
- 9.3 Predicting the direction of redox reactions
- 9.4 The effect of complexing on redox reactions

Chapter 10 Rates of reactions

- 10.1 Factors affecting reaction rates
- 10.2 The effect of concentration on rate
- 10.3 The effect of temperature on rate
- 10.4 Catalysis

Chapter 11 The Periodic Table

- 11.1 Periodicity
- 11.2 The *s* block: Groups 1 and 2
- 11.3 The *p* block: Group 4
- 11.4 The *p* block: Group 5
- 11.5 The *p* block: Group 7
- 11.6 The *d* block: characteristics of transition elements
- 11.7 The *d* block: complex formation

Chapter 12 Organic chemistry: frameworks

- 12.1 Alkanes
- 12.2 Alkenes
- 12.3 Arenes
- 12.4 Reactions of arenes

Chapter 13 Organic chemistry: modifiers

- 13.1 Halogenoalkanes
- 13.2 Alcohols and ethers
- 13.3 Carboxylic acids and their derivatives
- 13.4 The -OH group in alcohols, phenols and acids
- 13.5 Esters
- 13.6 Oils and fats
- 13.7 Amines, amides and amino acids
- 13.8 Azo compounds

Chapter 14 Organic synthesis

- 14.1 Planning a synthesis
- 14.2 A summary of organic reactions

Index

Abb. 8.7: Inhaltsverzeichnis „Salters Advanced Chemistry – Chemical Ideas“ [19]

Bereits Muckenfuß [24] hat über „Lernen im sinnstiftenden Kontext“ nachgedacht und eine „Verknüpfung von Fachsystematik und Lebenspraxis“ für den Unterricht in Physik empfohlen. Es werden Themen wie „Kosmologie und Licht, Maschinen, Wettererscheinungen, Klimaprobleme, Energieübertragung, Kommunikations- und Informationstechnologie“ reflektiert.

Ralle [25] schlägt über die Verflechtung von Fachdisziplin und Alltagsorientierung hinaus *Basiskonzepte* vor: „Im Zentrum stehen aktuelle, alltagsbezogene Fragestellungen, die zwar in ihrer (komplexen) Umgebung belassen werden, aber so ausgewählt sind, dass die in ihnen behandelten und bearbeiteten Fragestellungen Bausteine eines Wissenskompendiums abgeben, das am Ende der Sekundarstufe verfügbar sein soll. Innerhalb der Kontexte sollen die sinnstiftenden Beiträge der Chemie als Wissenschaftsdisziplin einsichtig gemacht und Sachstrukturen erschlossen werden. Dem Beitrag der Wissenschaftsdisziplin wird durch folgende Basiskonzepte Rechnung getragen: Teilchenkonzept, Struktur-Eigenschafts-Konzept, Donator-Akzeptor-Konzept, Energie-Konzept, Gleichgewichts-Konzept, Reaktionsgeschwindigkeits-Konzept“.

Eine besondere *Methodenvielfalt* soll „die kreative Eigentätigkeit der Schüler ermöglichen sowie die Selbstverantwortung für das Lernen schulen. Auch der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien soll in dieser Konzeption stärker als bisher berücksichtigt werden. Die Unterrichtseinheiten werden in der Regel in vier Phasen unterteilt: Begegnungsphase, Neugierphase, Erarbeitungsphase, Vertiefungs- und Vernetzungsphase“ [23]. Konkrete Beispiele für einige „Lerncyclen“ sind in einer Kursstruktur zu finden, die für die Klassenstufe 11 in Niedersachsen erprobt wurde (vgl. Tabelle 8.2).

8.4 Gesellschaftliche Bezugsfelder – Rollenspiele und Umweltbildung

Der gesellschaftliche Bezug ist naturgemäß bereits in allen Texten dieses Kapitels angesprochen worden. Deshalb bleiben lediglich Hinweise darauf, dass gesellschaftliche Bezüge zur Chemie und Umweltbildung sinnvoll durch Rollenspiele vermittelt werden können. Für Hellweger [13] „handelt es sich bei Rollenspielen um Simulation von Diskussionsrunden, bei denen jeder aus der Gruppe aktiv werden kann bzw. muss. Je nachdem, ob einige Spieler hervorgehoben werden – sei es als Moderator oder Diskussionsleiter, sei es als Experte, der auf bestimmte Fragen ausführlicher zu antworten hat – oder ob alle Teilnehmer gleichgewichtig sind, hat das Spiel mehr den Charakter von Expertenbefragung oder die Form einer freien Diskussionsrunde, läuft das Spiel strenger gelenkt oder mehr frei und spontan ab“. Zu folgenden Themen wurden derartige *Rollenspiele*, *darstellende Spiele* oder *Entscheidungsspiele* ausgearbeitet [13]:

- „Chemieunterricht – wozu?“

Die Schüler diskutieren aus verschiedenen Rollen heraus das „Was und Wie“ eines sinnvollen Chemieunterrichts, sie suchen nach Rechtfertigungen, ob man weiterhin jedermann dazu zwingen soll, Chemie zu lernen, oder ob man das Fach Chemie zu Gunsten anderer Disziplinen, die nicht im Fächerkanon vertreten sind, abschaffen soll.

Tabelle 8.2: Chemie im Kontext: Beispiel einer Kursstruktur im 11. Jahrgang [23]

Kursthema	Kontext-Inhalte	Chemische Inhalte
Alkohol	– Wein- und Bierherstellung – Verwendung von Alkohol – Historische Experimente mit Alkohol – Unterschied Ethanol/Methanol – Physiologische Wirkung von Alkohol	– Alkoholische Gärung – Eigenschaften von Ethanol $\Rightarrow$ Erkenntnisse über den <i>Stoff</i> Alkohol – Elementaranalyse – Struktur-Eigenschafts-Beziehungen $\Rightarrow$ Erkenntnisse über das <i>Molekül</i> Ethanol – Homologe Reihe / Nomenklatur – (Dehydratisierung Ethen/Alkene) – (Hydrierung von Ethen, Ethan/Alkane) – Blutalkoholgehalt
Seifen und Waschmittel	– Der Seifensieder – Waschen früher und heute – „Saubere und rein“ – Waschmittel in der Werbung – Waschmittel – was ist drin? – Moderne Tenside	– Aufbau eines Tensidmoleküls – Oberflächenspannung, Benetzung, Schmutzlösung – Micellbildung – Tensidherstellung und -eigenschaften – Funktion der Zeolithe – Nachweis, Isolierung und Eigenschaften ausgewählter Begleitstoffe – Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen (Übergang zum Thema „Fette und Öle“)
Fette und Öle	– Geschichte der Margarineherstellung – Fette und Öle als nachwachsende Rohstoffe – Fett als Energie- und Nahrungsquelle	– Aufbau und Unterschiede der Fette und Öle – Carbonsäuren, Ester – Verseifung von Fetten – Seife – ein Tensid – Umesterung (Vernetzung mit Treibstoffen) – (Brennwerte von Fetten)
Treibstoffe in der Entwicklung	– Benzin und Erdöl – Kraftstoffeigenschaften – Umweltbelastungen (z. B. Ozon, Treibhauseffekt) – Alternative Kraftstoffe – Biologischer und atmosphärischer Kohlenstoffkreislauf	– Alkane, Alkene – Isomerie – Destillation, Cracken – (Gaschromatographie) – Kohlenhydrate – (Halogenierte Kohlenwasserstoffe)
wahlfreie Ergänzung:		
Kunststoffe	– Aufbau von Kunststoffen (PE, Polyester) – Biologisch abbaubare Kunststoffe	– Bindungs- und Reaktionstypen – Reaktionsmechanismen

– *Die Elbe kippt um!*

Ein Fluß ist so verschmutzt, daß schon lange kein Fisch mehr darin gesehen wurde. Lohnen da noch Anstrengungen, um zu verhindern, daß er endgültig ‚umkippt‘, wenn dadurch z. B. viele Arbeitsplätze gefährdet werden?

– *Fleisch oder Körner?*

Gibt es ernstzunehmende Argumente, daß auch wir in den hochindustrialisierten Ländern den Fleischkonsum zu Gunsten von mehr vegetarischen Produkten einschränken sollten?

– *„... und er hat doch gebohrt!“*

Es wird immer mehr Zahnpasta verbraucht, trotzdem werden die Zähne immer schlechter. Ist vielleicht gesunde Ernährung wichtiger als Zahnhygiene? Könnte man sogar auf das Zähneputzen verzichten, wenn man den Zucker als gefährliche Droge behandeln würde?

– *Alles in Butter mit Butter?*

Tut man wirklich etwas für seine Gesundheit, wenn man den Butterverzehr zu Gunsten von mehr Margarine einschränkt? Dazu wird den Zuschauern einmal in Form einer Expertenbefragung vorgeführt, daß es zwei widersprüchliche Theorien für die Entstehung des Herzinfarktes gibt, zum anderen wird an zwei Arztbesuchen demonstriert, wie sich diese Theorien im Alltag auswirken können.

– *Energieforum 2000.*

Kann die Bundesrepublik bis zum Jahr 2000 auf die umstrittene Kernenergie verzichten, ohne Lebensstandard und Arbeitsplätze zu gefährden? Die Schüler simulieren einen Sonderparteitag, auf dem zu diesem Fragenkomplex drei Anträge zu verabschieden sind. In den Rollen der Delegierten bringen sie Argumente, Fakten und Plädoyers für oder gegen den aufgerufenen Antrag vor, über den sie dann aber in einer geheimen Abstimmung entsprechend ihrer persönlichen Meinung abstimmen“ [13].

Otto [26] kommentiert die Rollenspiele in der Weise, dass sie

„offen sind für Fragen nach dem Zusammenhang von wissenschaftlicher Erkenntnis und deren Folgen für die Menschheit, von naturwissenschaftlicher Forschung und gesellschaftlicher Entwicklung, von wirtschaftlichen Interessen, Umweltbelastung und menschlicher Gesundheit“.

An anderer Stelle betont er, dass

„die Naturwissenschaften in den letzten 20 Jahren diejenigen Unterrichtsfächer geworden sind, denen der Nachweis am leichtesten fallen dürfte, daß es hier um Inhalte geht, die nicht ‚für die Schule‘, sondern ‚für das Leben‘ gelernt werden. Freilich stimmt das nur dann, wenn es einen inhaltlichen, für den Schüler erkennbaren Zusammenhang zwischen dem gibt, was im Unterricht vorkommt, und dem, was im Fernsehen, in der Zeitung, in der Bürgerinitiative diskutiert wird. ... Rollenspiele und Entscheidungsspiele gehen vom *vorhandenen* Problembewußtsein aus und erweitern es, stellen Positionen infrage, konfrontieren mit Gegenmeinungen, differenzieren Standpunkte. Chemieunterricht bedarf nicht nur der Schülermotivation, sondern muß auch zum Weiterlernen motivieren – insbesondere zum motivierten Lernen *außerhalb* der Schule“.

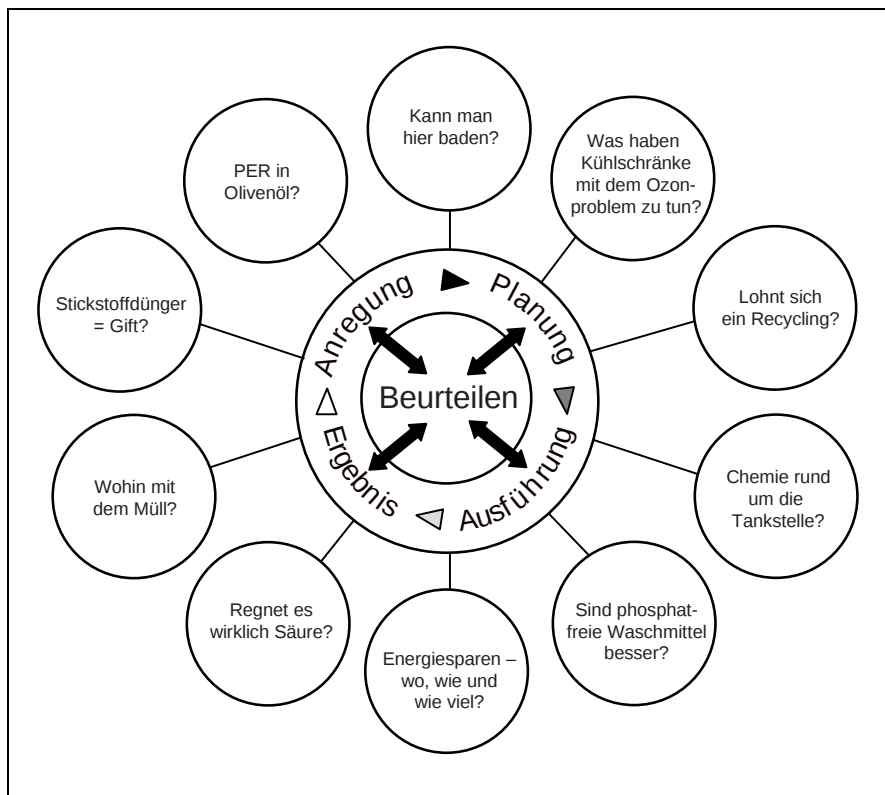


Abb. 8.8: Projektideen für eine Umweltbildung im Chemieunterricht [27]

Schließlich ist der gesellschaftliche Bezug von Alltagschemie auch für die *Umweltbildung* herzustellen. Demuth [27] formuliert: „Für eine Umweltbildung im Chemieunterricht, die sich an den bislang in wissenschaftlichen Untersuchungen ermittelten Kriterien für einen effektiven Umweltunterricht orientiert und auf den eingangs formulierten Prämissen basiert, ergibt sich: Nicht die möglichst lückenlose Behandlung aller ‚umweltrelevanten‘ Themen ist anzustreben, viel wichtiger ist es, sich in (einigen wenigen) ‚Umweltprojekten‘ intensiv mit den typischen Fragestellungen auseinander zu setzen“. Einige Projektideen werden skizziert (vgl. Abb. 8.8).

Im Projekt „Stickstoff-Analytik“ bietet Demuth [28] in Zusammenarbeit mit einigen Schulen an, in „einem Kleingartenverein Kompost und Gartenerde auf die Gehalte an Ammonium und Nitrat zu untersuchen, Untersuchungen von Ackerböden durchzuführen, damit der Landwirt je nach Art der Bewirtschaftung gezielt düngen kann, die Untersuchung der Nitrataufnahme von Spinat, Salat und Karotten bei unterschiedlichen Nitratgaben im Schulgarten zu realisieren“ [28].

Literatur

- [1] Waddington, D. (University of York): *The Salters Chemistry Projects: 15 years on*. Vortrag auf dem 15. Dortmunder Sommersymposium der Chemiedidaktik am 15.06.00
- [2] Barke, H.-D.: *Chemieunterricht erscheint nicht so sinnlos, wenn man den Stoff auch im Alltag anwenden kann*. In: Lindemann, H.: *Alltagschemie*. NiU P/C 35 (1987), Heft 25
- [3] Gesellschaft Deutscher Chemiker: *Denkschrift zur Lehrerausbildung für den Chemieunterricht auf der Sekundarstufe II*. Frankfurt 1992
- [4] Pfeifer, P., Häusler, K., Lutz, B. (Hrsg.): *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München 1992 (Oldenbourg)
- [5] Barke, H.-D.: *Lebenswelt und Alltag im Chemieunterricht*. In: Behrendt, H.: *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach 1996 (Leuchtturm)
- [6] Wanjek, J., Barke, H.-D.: *Einfluss eines alltagsorientierten Chemieunterrichts auf die Entwicklung von Interessen und Einstellungen*. In: Behrendt, H.: *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach 1998 (Leuchtturm)
- [7] Müller-Harbach, G., Wenck, H., Bader, H.J.: *Die Einstellung von Realschülern zum Chemieunterricht, zu Umweltproblemen und zur Chemie*. *Chim.did.* 16 (1990), 151 und 233
- [8] Heilbronner, E., Wyss, E.: *Bild einer Wissenschaft: Chemie*. *CiuZ* 17 (1983), 69
- [9] Hilbing, C., Barke, H.-D.: *Male dein Bild von der Chemie. Zum Image von Chemie und Chemieunterricht bei Jugendlichen*. *CiuZ* 34 (2000), 17
- [10] Just, E.: *Missverständnisse zur Aufgabe und zur Wirkung des Faches Chemie in allgemein- bildenden Schulen*. *CHEMKON* 5 (1998), 96
- [11] Christen, H.R.: *Chemie – faszinierend oder ein Horrorfach? Zur Akzeptanz des Chemieunterrichts*. *CHEMKON* 4 (1997), 175. Leserbrief. *CHEMKON* 5 (1998), 211
- [12] Lutz, B., Pfeifer, P.: *Chemie in Alltag und Chemieunterricht – Gegensatz oder Chance für ein besseres Chemieverständnis?* *MNU* 42 (1989), 281
- [13] Hellweger, S.: *Chemieunterricht 5–10*. München 1981 (Skriptor)
- [14] Frey, K.: *Die Projektmethode*. Weinheim 1982 (Beltz)
- [15] Barke, H.-D.: *Wasser und Umwelt*. In: Münzinger, W., Frey, K.: *Chemie in Projekten*. Köln 1999 (Aulis)
- [16] Jäckel, M., Risch, K.T.: *Chemie heute*. Hannover 1993 (Schroedel)
- [17] Am. Chem. Soc.: *ChemCom, Chemistry in the Community*. Washington 1985
- [18] *Salters Advanced Chemistry: Chemical Storylines*. York 1994 (Heinemann)
- [19] *Salters Advanced Chemistry: Chemical Ideas*. York 1994 (Heinemann)
- [20] Just, E.: *Alltagsorientierung im Chemieunterricht*. *NiU-Chemie* 8 (1997), 4
- [21] Lindemann, H.: *Alltagschemie als Orientierungshilfe zur Gestaltung von Chemieunterricht*. *NiU-Chemie* 5 (1994), 187
- [22] Stanitzki, C.L., u.a.: *Chemistry in Context. Applying Chemistry to Society*. Boston 1997 (Mc Graw Hill)
- [23] Huntemann, H., u.a.: *Chemie im Kontext – ein neues Konzept für den Chemieunterricht?* *CHEMKON* 6 (1999), 191
- [24] Muckenfuß, H.: *Lernen im sinnstiftenden Kontext*. Berlin 1995 (Cornelsen)
- [25] Ralle, B.: *Chemie im Kontext. Ein Positions- und Diskussionspapier* (unveröffentlicht)
- [26] Otto, G.: *Nachwort: Zur Problemlage in den naturwissenschaftlichen Didaktiken*. In: Hellweger, S.: *Chemieunterricht 5–10*. München 1981 (Skriptor)
- [27] Demuth, R.: *Umwelterziehung im Chemieunterricht – Ziele, Inhalte, Methoden*. *NiU-Chemie* 3 (1992), 47
- [28] Demuth, R.: *Stickstoffanalytik im Chemieunterricht der Sekundarstufe I*. *NiU-Chemie* 3 (1992), 67

Übungsaufgaben zu „8 Alltag und Chemie“

A8.1 Welche Bereiche aus Alltag und Lebenswelt der Jugendlichen würden Sie einem alltagsorientierten Chemieunterricht zu Grunde legen? Geben Sie fünf Beispiele an, und skizzieren Sie Ihre Intentionen für den Unterricht.

A8.2 Haushaltschemikalien können an geeigneten Stellen des Unterrichts die üblichen Laborchemikalien ersetzen. Nennen Sie fünf solcher Möglichkeiten, und schildern Sie den jeweiligen Unterrichtszusammenhang.

A8.3 Viele Alltagsphänomene lassen sich in chemische Vorgänge „übersetzen“. Wählen Sie fünf Reaktionen der Alltagschemie, formulieren Sie Reaktionssymbole, und erläutern Sie jeweils entsprechende Reaktionstypen.

A8.4 Als Motivation und Einstieg in ein Thema können Alltagsphänomene dienen. Nennen Sie fünf solcher Themen, und skizzieren Sie einen entsprechenden alltagsorientierten und zur Motivation geeigneten Einstieg.

A8.5 Einstellungen von Jugendlichen bezüglich der Chemie sind oftmals sehr distanziert. Welches sind Ihrer Meinung nach die Gründe dafür? Was würden Sie persönlich im Chemieunterricht tun, um das Image der Chemie zu verbessern?

Experimente zu „8 Alltag und Chemie“

Der Text zum Abschn. 8.2 erläutert Erscheinungen und Interpretationen von Reaktionen vieler Alltagschemikalien und bezieht sich auf Experimente, die an dieser Stelle vorgestellt und näher beschrieben werden. Da die Problematik für alle Experimente die gleiche ist und sich auf das Vorstellen von Alltagschemikalien mit einfachen Handexperimenten bezieht, soll die Rubrik „Problem“ entfallen. Ebenfalls kann die Rubrik „Material“ entfallen, da in den meisten Fällen nur Reagenzgläser und wenig spezifische Geräte oder Chemikalien eingesetzt werden. Es sind jeweils Durchführung und Beobachtungen direkt angegeben. Schließlich soll für alle Alltagschemikalien gelten, dass Inhaltsstoffe auf dem Etikett nachgesehen und deren Wirkungen im Zusammenhang mit den Experimenten diskutiert werden.

V8.1: Abflussreiniger „NaOH/Al-Typ“

Man gibt einen Löffel des Reinigers auf ein Uhrglas und beobachtet weiße Salzkristalle und silberfarbene Metallsplitter. Wenig Substanz wird mit wenig Wasser im Reagenzglas versetzt: Eine stark exotherme Reaktion setzt ein, Gasentwicklung und der Geruch nach Ammoniak sind zu beobachten. Stücke eines Wollstoffs werden hinzugegeben: Sie zersetzen sich langsam.

In einem zweiten Experiment wird reines Natriumhydroxid (C) mit Aluminiumspänen und wenig Wasser zur Reaktion gebracht und das entstehende Gas in einem zweiten Reagenzglas aufgefangen: Bei Entzündung zeigt ein Knall Wasserstoff als Reaktionsprodukt an.

V8.2 WC-Reiniger „ HSO_4^- -Typ“

Wenig Substanz wird in ein Reagenzglas gegeben, ein weißes Salz beobachtet. Es wird in Wasser gelöst, die Lösung mit Universalindikator-Papier geprüft: stark saure Reaktion. Wenig Calciumcarbonat wird zur Lösung gegeben: die Probe wird unter Entwicklung eines Gases gelöst. Ein brennender Span erlischt im Gasraum über der Lösung: Kohlenstoffdioxid.

V8.3 Sanitärreiniger „ ClO^- -Typ“

Ein wenig der Reinigerflüssigkeit wird ins Reagenzglas gegeben, ein Streifen Indikatorpapier hineingehalten, Methylenblaulösung (Xn) oder andere organische Farbstoffe dazu gegeben: Farbstoffe zersetzen sich.

Eine zweite Probe wird im Reagenzglas mit wenig WC-Reiniger (V8.2) versetzt: Farbe und Geruch des entstehenden Gases weisen auf Chlorgas hin (zum Beenden der Reaktion die Lösung unter dem Abzug verdünnen).

V8.4 Deodorant „ Al^{3+} -Typ“

Ein Fabrikat des Deodorant-Typs ist Hydrofugal-Spray. Indikatorpapier wird kräftig mit Hydrofugal-Spray benetzt: saure Reaktion. Wenig Aluminiumchlorid-Hexahydrat (Xi) wird im Reagenzglas in wenig Wasser gelöst und ebenfalls mit Indikatorpapier geprüft: saure Reaktion.

V8.5 Mineraltabletten „ Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Typ“

Eine Tablette wird in ein Glas Wasser gegeben: heftiges Aufbrausen, Bildung von Kohlenstoffdioxidgas. Die Reaktion wird wiederholt, in dem man ein Gemisch aus Calciumcarbonat und Citronensäure mit wenig Wasser versetzt.

Im Gasentwickler wird auf eine Tablette Wasser getropft, entstehendes Gas in einem Kolbenprober aufgefangen (sobald die 100-mL-Marke erreicht ist, wird schnell über einen Dreiwegehahn entleert und das Auffangen fortgesetzt). Die Gasmenge wird bestimmt, das Gas mit dem brennenden Holzspan geprüft.

In der pneumatischen Wanne wird zunächst die Reaktion einer Tablette so durchgeführt, dass sich alles Gas in einem vorher mit Wasser gefüllten 500-mL-Standzylinder sammelt. Das Volumen wird markiert. Eine zweite Tablette wird auf dieselbe Weise gelöst: Das entstehende Volumen der Gasportion ist bei gleicher Tablette viel größer als zuvor (vgl. V2.3).

V8.6 Speisesalz „Iod-Typ“

Inhaltsstoffe werden auf dem Etikett des Behälters nachgesehen. Iodiertes Speisesalz wird mit Kalium-iodid-Lösung zusammengegeben und mit verdünnter Schwefelsäure (C) angesäuert: braungefärbte Iodlösung. Gibt man Stärkelösung

hinzu, zeigt die spezifische Blaufärbung ebenfalls freies Iod an. Das Experiment wird mit reinem Natriumiodat (O) wiederholt.

V8.7 Backpulver „Natron-Typ“

Das Backpulver wird in wenig Wasser aufgeschlemmt und erhitzt: Gasentwicklung. Es wird im trockenen Reagenzglas stark erhitzt, das entstehende Gas im angeschlossenen Kolbenprober aufgefangen und mit dem brennenden Holzspan geprüft: Kohlenstoffdioxid.

V8.8 Backpulver „Hirschhornsalz-Typ“

Die Experimente von V8.7 werden mit diesem Backpulver und mit Ammoniumcarbonat (Xn) wiederholt. Das entstehende Gasgemisch wird mit feuchtem Indikatorpapier geprüft: alkalische Reaktion. Der stechende Geruch weist entstandenes Ammoniak aus.

V8.9 Textilentfärber „Dithionit-Typ“

Inhaltsstoffe werden auf dem Etikett des Behälters nachgesehen. Die Probe einer Methylenblau-Lösung (Xn) wird mit wenig Textilentfärber-Pulver versetzt, im zweiten Reagenzglas mit reinem Natriumdithionit (Xn): Reaktion der blauen Lösung bis zur Entfärbung.

V8.10 Entwickler „Hydrochinon-Typ“

In zwei Reagenzgläsern wird jeweils Silberchlorid frisch gefällt, ein Reagenzglas 10 Minuten lang im Dunklen aufbewahrt, das andere im Hellen: Letzteres zeigt eine wesentlich dunklere Farbe. In beide Reagenzgläser wird alkalische Hydrochinon-Lösung (Xn) gegeben: Der Inhalt färbt sich schwarz.

Im Fotolabor wird bei rotem Licht ein Schlüsselbund o. ä. auf ein Fotopapier gelegt und kurz belichtet. Es wird in die vorbereitete Entwicklerlösung gelegt: Das Bild entsteht innerhalb einer Minute. Das Foto ist mit verdünnter Essigsäure (C) als Stopppad zu spülen: Die Entwicklung wird beendet. Das Foto ist zu fixieren, ehe es im Licht betrachtet werden kann (V8.11).

V8.11 Fixierer „Thiosulfat-Typ“

In einem Reagenzglas wird wenig Silberchlorid frisch ausgefällt, die Suspension verdünnt. Der verdünnten Suspension wird konzentrierte Natriumthiosulfat-Lösung zugesetzt und geschüttelt: Das weiße Silberchlorid löst sich zu einer klaren Lösung.

Im Fotolabor wird das entwickelte Foto (V8.10) in Fixierlösung getaucht und einige Minuten dort belassen. Danach ist ein anderes frisch entwickeltes Fotopapier und das fixierte Foto in das Licht zu bringen: Das fixierte Foto bleibt erhalten, das nicht fixierte Foto wird vollkommen schwarz.

V8.12 Ätzchemikalie „Fe³⁺-Typ“

In einem großen Reagenzglas wird Eisen(III)-chlorid-Lösung (Xn) hergestellt. Ein Kupfer-beschichteter Kunststoffstreifen wird mit Hilfe eines Wachsstiftes mit einer willkürlichen Zeichnung oder mit einem Namen versehen und in die Lösung getaucht: Nach einigen Minuten sind nur noch Zeichnung oder Name zu sehen, das übrige Kupfer ist gelöst worden.

V8.13 Akkumulator „Typ Pb/PbO₂“

Eine Autobatterie wird demonstriert, die Spannung der einzelnen Zelle und aller Zellen gemessen.

Ein Becherglas wird zu drei Vierteln mit 20 %-iger Schwefelsäure-Lösung (C) gefüllt, zwei Bleiplatten (T) werden so hineingestellt und befestigt, dass sie sich nicht berühren. Die Bleiplatten sind mit Kabeln an den Transformator anzuschließen, eine Gleichspannung ist so einzuregulieren, dass eine Gasentwicklung zu beobachten ist: Auf einer der Platten bildet sich eine Schicht rotbrauner Substanz. Nach einigen Minuten wird der Trafo entfernt, zwischen beiden Platten die Spannung gemessen: etwa 2 V. Der Elektromotor wird angeschlossen: Er läuft einige Zeit und bleibt dann stehen. Vergleiche auch V4.10 des Kapitels 4.

V8.14 Blitzzement „Ca(OH)₂-Typ“

Inhaltsstoffe werden auf dem Etikett des Behälters nachgesehen. Die Schlemme des Baustoffs wird mit Indikatorpapier geprüft: alkalische Reaktion.

Zu frischem Calciumoxid (Xi) wird wenig Wasser gegeben (Schutzbrille!): Zunahme des Volumens unter Zischgeräuschen, stark exotherme Reaktion. Das weiße, abgekühlte Produkt wird mit einem Streifen feuchten Indikatorpapiers geprüft: stark alkalische Reaktion.

In einem Erlenmeyerkolben wird das Produkt (oder Calciumhydroxid (Xi) aus der Vorratsflasche) mit Wasser aufgeschlemmt, Kohlenstoffdioxid aus der Stahlflasche dazugegeben und ein mit demselben Gas gefüllter Kolbenprober gasdicht angeschlossen. Der Erlenmeyerkolben wird so bewegt, dass sich die Schlemme an der Glaswand verteilt: Der Kolben des Kolbenprobers bewegt sich schnell in die Hülse, das Gemisch erwärmt sich.

V8.15 Alcotest „Chromat-Typ“

Ein Alcotest-Röhrchen wird vorbereitet, wenig Schnaps im Mund verteilt und Alkoholdampf mit der Atemluft durch das Röhrchen hindurch in den Kunststoffbeutel geblasen: Die Farbe der Indikatorzone wechselt von gelb zu grün.

Eine gelbfarbene Kaliumchromat-Lösung (T/N) wird angesäuert, dazu wenig Ethanol (F) gegeben: Der Farbumschlag findet zunächst von gelb nach orange statt, dann von orange nach grün.

9 Der „Horror vacui“ in den Vorstellungen zum Teilchenkonzept

„Irgendwas muss doch da sein!“ – ist der hilfeschuchende Kommentar eines Schülers der 11. Klassenstufe eines Gymnasiums. Er hat die Antwort „Luft“ auf die Frage hin markiert, was sich zwischen den Teilchen eines Gases befände, und kommentierte diese Antwort mit dem zitierten Satz. Bei angemessener Vorstellung sollte er die Alternative „nichts“ ankreuzen und damit zum Ausdruck bringen, dass es keine Materie im Raum zwischen den Teilchen gibt – der zitierte Schüler aber unterstellt der Natur einen Horror vacui! Wie die Gelehrten der griechischen Philosophieschulen vor 2000 Jahren besitzen viele Schüler und Schülerinnen die Vorstellung von der „Scheu der Natur“, materiefreie Räume zuzulassen, obwohl sie heute „Vakuum-verpackte“ Lebensmittel oder evakuierte Bildröhren für Fernsehempfänger kennen. Sie haben gar Schulversuche aus dem Physikunterricht zum Vakuum beobachtet und wissen vielfach, dass der Schall im Vakuum nicht übertragen werden kann. Diese Kenntnisse über das Vakuum werden nicht auf die Zwischenräume von Gas-Teilchen übertragen, der diesbezügliche Horror vacui ist bei Schülern von heute ebenso nachweisbar, wie er in vergangenen Jahrhunderten bei Wissenschaftlern existierte.

Aus diesen Gründen ist es auch nur zu gut nachvollziehbar, dass viele Schüler mit dem Gasbegriff Verständnisschwierigkeiten haben, insbesondere farblose und geruchlose Gase als Substanzen zu akzeptieren. Die als so nützlich empfundene Avogadro-Beziehung zur Berechnung der Gasvolumina oder Stoffmengen kann von Schülern beispielsweise nicht begriffen und angewendet werden, wenn sie Vorstellungen von dicht gepackten Teilchen in Gasen haben und einen leeren Raum zwischen den sich bewegenden Teilchen gedanklich nicht zulassen.

Vielleicht ist es auch die Zweideutigkeit des Begriffes „leer“, die die Schwierigkeiten bereits programmiert: Mit einem „leeren Glas“ meint man umgangssprachlich nämlich eines, das meist mit Luft gefüllt ist – ein wirklich leerer Raum ist materiefrei. Dieser Widerspruch sollte im Unterricht zum Teilchenmodell besonders herausgestellt werden, denn

„gerade der leere Raum fehlt offensichtlich in unserem Teilchenmodell, d. h. von ihm ist nicht so ausdrücklich die Rede, wie das notwendig wäre, denn dieser leere Raum ist doch eigentlich das Unglaubliche an der Diskontinuumsvorstellung, viel mehr als die Stückelung der Materie“ [1].

Für die Fachdidaktik ist es nun interessant, den bei Schülern und Schülerinnen vermuteten Horror vacui empirisch nachzuweisen und diesbezügliche Schülervorstellungen möglichst detailliert zu ermitteln. In diesem Kapitel sollen verschiedene Untersuchungen herangezogen, verglichen und dementsprechend selbst durchgeführte empirische Erhebungen ausgewertet werden.

Davor wird in aller Kürze zusammengefasst, welchen Standpunkt der Physiker heute zur Frage einnimmt, ob und inwieweit es materiefreie Räume gibt. In einem zweiten Schritt erscheint es nützlich, historische Quellen zu studieren, die darüber Auskunft geben, welche Vorstellungen in der Geschichte der Naturwissenschaften vorlagen und auf welchen Wegen der Horror vacui zugunsten heutiger Vorstellungen abgebaut worden ist.

„Will man Aufschluß über die Entwicklungsgesetze des wissenschaftlichen Fortschritts erhalten, dann genügt es nicht, die Gegenwart zu analysieren. Man muß die Geschichte der Wissenschaft befragen, um ihre Zukunft prognostizieren zu können. Das bedeutet für die Retrospektive, Förderndes von Hemmendem, Progressives von Regressivem in den Entwicklungslinien der Wissenschaft zu scheiden, Nützlich aus der Vergangenheit für die Gegenwart und Zukunft zu aktualisieren“ [2].

Dementsprechend sollen schließlich auf Grund der Analyse des historischen Erkenntnisweges und hinsichtlich der Ergebnisse der aktuellen empirischen Untersuchungen einige Verbesserungen des naturwissenschaftlichen Unterrichts vorgeschlagen werden, die geeignet sind, Horror-vacui-ähnliche Vorstellungen abzubauen und den Schülern ein angemessenes Verständnis vom Aufbau der Materie – insbesondere der Gase – zu vermitteln.

9.1 Ist das Vakuum wirklich leer?

Wie verstehen die Physiker heute den Begriff des Vakuums und den Aufbau der Gase aus sich bewegenden Teilchen und leerem Raum? Schon die Schulweisheit, dass Materie aus kleinsten Teilchen bestehe, ist für einen Physiker so formuliert nicht haltbar. Seit der Entwicklung der Quantentheorie ist man auf der Suche nach immer kleineren Elementarteilchen und kann trotz fortschreitender Untersuchungstechnik und größer werdenden Teilchenbeschleunigern immer weniger sagen, welches die kleinsten Teilchen der Materie sind. Es wird auch immer deutlicher, dass Elementarteilchen „Erscheinungsformen der Materie sind, welche durchaus ineinander umgewandelt werden können, wobei der Unterschied von einfachen und zusammengesetzten Teilchen grundsätzlich hinfällig wird“ [3]. Deshalb sprechen Physiker heute nicht mehr ohne weiteres von der „Elementarteilchenphysik“, sondern zunehmend mehr von der „Hochenergiephysik“.

So ist die für die Schulphysik oder Schulchemie paradox erscheinende Situation entstanden, dass mit dem Erscheinen der Quantenmechanik „der Atomismus sein Ende gefunden hat. ... Atome und Elementarteilchen, so wie wir sie heute kennen und beschreiben, haben kaum irgend eine Ähnlichkeit mit den Vorstellungen aus dem Zeitraum von Dalton bis Bohr“ [3]. Und gerade diese Vorstellungen sind die Grundlage der Atommodelle in der Schule! Selbstverständlich ist es weiterhin legitim, von Atomen, Ionen oder Molekülen zu sprechen, allerdings muss man sich klar darüber sein, dass sie „Erscheinungsformen der Materie unter einer spezifizierten Klasse von Beobachtungsbedingungen sind“ [3].

Seit es die Quantentechnik gibt, sind Aussagen nicht zu verstehen, ohne zugleich die Art der Kenntnisnahme mitzuteilen. Sie hat damit ein neues Element der Relativität eingeführt: Die Relativität bezüglich der Beobachtungsmittel. Historisch ist diese Tatsache unter dem Namen „Welle-Teilchen-Dualismus“ bekannt

geworden: Bei einer bestimmten Experimentieranordnung stellt sich beispielsweise das Elektron als Teilchen dar, bei einer anderen als Welle.

Unter veränderten Beobachtungsbedingungen lässt sich das Verhalten von Teilchen deshalb auch auf der Grundlage von Energiefeldern diskutieren: Es lässt sich durch Gravitation und elektromagnetische Wechselwirkungen vollständig beschreiben, durch zwei der sogenannten vier „fundamentalen Wechselwirkungen“, die die theoretische Physik heute weitgehend allen Erklärungen zu Grunde legt. Diese Sichtweise kann beispielsweise dazu führen, den Energiegewinn bei chemischen Reaktionen als Gewinn elektrischer Feldenergie zu verstehen. „Wir sind heute sicher, dass es keine fundamentalen spezifisch chemischen Kräfte gibt“ [3]. „Alle eigentlichen chemischen Phänomene können im Rahmen der Quantenmechanik durch elektromagnetische Kräfte erklärt werden“ [4].

Insofern können kleinste Teilchen der Materie beschrieben werden als „elektrisch geladene Elementarsysteme (wie Elektronen und Atomkerne), die immer mit ihrem elektromagnetischen Strahlenfeld energetisch gekoppelt sind“ [3].

Aus dieser Sicht ist der Raum zwischen zwei Teilchen oder „Elementarsystemen“ eines Gases auch nicht als leer aufzufassen, sondern ist ausgefüllt durch elektromagnetische Felder.

„Da wir aus der speziellen Relativitätstheorie die Äquivalenz von Masse und Energie kennen, wäre das felddurchsetzte Raumgebiet nicht materiefrei. Andererseits lässt sich das Feld aber nicht wie Materie absaugen. Es ist infolgedessen sinnvoll, den Vakuumbegriff zu erweitern. ...Das Vakuum sei der Idealfall des Raumes, in dem sich keine realen Teilchen mit endlicher Ruhemasse befinden, der aber doch felddurchsetzt sein kann“ [5].

Da der Feldbegriff für den Schüler sehr abstrakt ist und der Begriff des elektromagnetischen Feldes sehr viele Erfahrungen mit den entsprechenden Experimentieranordnungen voraussetzt, sind diese Beschreibungen der Physiker dem naturwissenschaftlichen Unterricht an Schulen nicht zu Grunde zu legen: Es ist sinnvoller, vom „Nichts“ zwischen den Teilchen zu sprechen. Hier zeigt sich das Aufgabenfeld des Fachdidaktikers, der den aktuellen Stand der Wissenschaft kennt und eine Reduktion in der Schwierigkeit vornehmen muss. Dabei ist darauf zu achten, dass der Abstraktionsgrad verträglich ist und eine Erweiterung der vermittelten Vorstellung auf ein höheres Abstraktionsniveau möglich bleibt, ohne die bisherigen Kenntnisse revidieren zu müssen.

9.2 Vorstellungen aus vergangenen Jahrhunderten

Die Suche nach dem Aufbau der Materie, die die Physiker von heute immer noch beschäftigt, begann vor mehr als 2000 Jahren in den griechischen Philosophieschulen. Es gab prinzipiell zwei Richtungen des Denkens, in denen sich die damaligen Philosophen grundlegend unterschieden. Eine Gruppe war davon überzeugt, dass eine wiederholte Teilung einer Materieportion ein Ende hat und Materie aus kleinsten, nicht mehr weiter teilbaren Teilchen aufgebaut ist – sie entwarfen die *Diskontinuumshypothese* zum Aufbau der Materie. Andere Philosophen glaubten, dass eine ständige Teilung beliebig oft möglich ist und zu keinem Ende führt – sie stellten die *Kontinuumshypothese* auf.

Aristoteles. Er war der bekannteste und weit über ein Jahrtausend einflussreichste Vertreter der Kontinuums-hypothese. Aus der Analyse des Ortsbegriffes gelangte er zu seiner Überzeugung:

„Zugleich in bezug auf den Ort heißt das, was sich an ein und demselben Ort befindet. Gesondert ist dasjenige, was an verschiedenen Orten ist. Diejenigen Dinge berühren sich, deren äußerste Enden ‚zugleich‘ sind. Aufeinanderfolgend ist dasjenige, was sich an ein anderes reiht, ohne daß etwas anderes von der nämlichen Gattung dazwischen ist. Wenn sich das Aufeinanderfolgende auch berührt, so heißt es zusammenhängend. Das Zusammenhängende ist stetig (kontinuierlich), wenn die sich berührenden Grenzen der zusammenhängenden Teile ein und dieselben sind. Danach ist es unmöglich, daß aus Unteilbarem eine stetige Größe entsteht. Denn wenn unteilbare Größen sich berühren, so müssen sie gänzlich zusammenfallen. Wenn sie sich aber nicht berühren, so kann auch keine stetige Größe entstehen. Die Linie kann nicht aus Punkten bestehen“ [6].

Unverkennbar ist am letzten Satz, dass sich die Einwände des Aristoteles auf mathematische Überlegungen beziehen: Der Raum besteht in der Tat nicht aus endlich vielen isolierten Punkten. Es ist aber auch die Unmöglichkeit des Vakuums, die Aristoteles in seiner Auffassung verstärkt. Er definiert den

„Ort eines Körpers als die innere Grenze des ihn umfassenden Körpers: Der Ort des Weines in einem Fass ist die Innenseite des Fasses“ [7]. „Der Raum eines Körpers ist die Grenze des umschließenden Körpers gegen den umschlossenen. Daraus folgt sofort die Unmöglichkeit des leeren Raumes; denn der leere Raum wäre etwas Umschließendes, das nichts umschließt. Man sieht dagegen, daß dort, wo kein Körper ist, auch kein Raum sein kann“ [6].

Dabei meint Aristoteles mit „leerem Raum“ in der Tat den Raum, der nichts enthält, und unterscheidet davon den leeren Raum, der mit Luft erfüllt ist: „Daß Luft ein Körper sei, wird nicht bestritten“. Er wendet sich damit ganz deutlich gegen die Möglichkeit, dass zwei Körper durch „nichts“ getrennt sein könnten, „wodurch die Stetigkeit der Körperwelt unterbrochen würde: denn das behaupten Demokritos und Leukippos“ [6].

Somit ist die Unmöglichkeit des Vakuums für Aristoteles auch das Argument, mit dem er alle Philosophen seiner Zeit bekämpfte, die den diskontinuierlichen Aufbau der Materie postulierten und damit „Atome und leeren Raum“ [8] voraussetzten oder unteilbare Teilchen und leere Zwischenräume dachten, die „Empedokles als Poren bezeichnet“ [8]. „Aristoteles hatte dadurch jede atomistische Theorie der Materie niedergeschlagen, daß er Raum und Körper im Kontinuum identifiziert hatte“ [6]. Durch den großen Einfluss des Aristoteles trat die Diskontinuumstheorie des Empedokles, Leukipp und Demokrit in den Hintergrund und wurde erst im 17. Jahrhundert wieder aufgegriffen, um zu heutigen Vorstellungen zu gelangen.

Obwohl Aristoteles den leeren Raum ablehnte, so dachte er trotzdem darüber nach und unterschied zwei – für ihn wohl rein theoretisch gemeinte – Formen des Vakuums: „Das Vacuum intermixtum, das sich nach der Auffassung der Atomisten zwischen Atomen befindet, und das Vacuum coacervatum, unter dem man einen Raum von wahrnehmbarer endlicher oder sogar von unendlicher Ausdehnung versteht, in dem überhaupt keine Atome vorkommen“ [13]. Im Folgenden wird diesbezüglich vom *Mikrovakuum* bzw. *Makrovakuum* gesprochen.

Die Scholastiker des 13. Jahrhunderts, die sich vollkommen auf die aristotelischen Lehren stützten, unterschieden von beiden genannten Möglichkeiten des leeren Raums eine dritte: „Nämlich den außerweltlichen leeren Raum, welcher jenseits des äußeren Himmels gedacht werden könne“. Die Existenz dieses leeren Raumes wurde stark abgelehnt mit der Begründung der Einzigartigkeit der Welt, „denn mehrere Welten müssten leere Räume zwischen sich haben“ [6].

Man könnte spätestens an dieser Stelle einwenden, dass alle Argumente bis zur Zeit der Scholastiker auf der Grundlage reiner Denkmodelle zustande gekommen sind und wegen des Fehlens naturwissenschaftlicher Beobachtungen oder gar *Experimente* nicht ernst genommen werden können. Nun wurde man durch die in dieser Zeit bekannt gewordenen experimentellen Erfahrungen nicht etwa skeptisch, sondern die damals bekannten Erscheinungen in der Natur verstärkten geradezu die Vorstellungen von der Unmöglichkeit des Vakuums. Man hatte inzwischen nämlich Experimente mit Pipette oder Heber kennen gelernt und gesehen, dass Flüssigkeit aus einem Glasrohr nicht ausfließt, wenn nicht an anderer Stelle Luft hinzukommen kann. Auch alle weiteren pneumatischen Erscheinungen, beispielsweise des Saugens oder Pumpens, wiesen darauf hin, dass sobald ein Stoff einen Raum verlässt, ihn ein anderer einnimmt.

Immer wieder erwähnt werden zwei aneinandergedrückte Glasplatten, die zwar leicht gegeneinander verschoben, aber nur sehr schwer voneinander getrennt werden können. Mit einer plangeschliffenen Platte kann sogar eine andere viel schwerere Platte hochgehoben werden, ohne dass diese hinunterfällt. Die Erklärung dieser Phänomene lief immer darauf hinaus, dass „im Momente der Trennung, da doch die Luft nicht mit unendlicher Geschwindigkeit in den Zwischenraum stürzen kann, ein Vacuum entstehen müsse“ [6]. In diesem Zusammenhang ist von J. Canonicus eine Formulierung bekannt geworden, die besagt, „daß die Natur einen horror vacui (einen Abscheu vor dem Vakuum) hat“ [7].

Es ist damit die paradoxe Situation entstanden, dass Experimente einen Zusammenhang nicht erhellen müssen, sondern dessen richtige Beschreibung geradezu verdeckt haben. Der tiefere Grund dafür liegt darin, dass alle genannten Erscheinungen nur mit dem Druck der alles umgebenden Luft erklärt werden können und in der damaligen Zeit weder die Luft als wägbarer Stoff mit einer bestimmten Dichte noch der Luftdruck „denk-bar“ im wahrsten Sinne des Wortes waren. Der eigentliche Mangel der Theorie des Horror vacui war, dass man damals nicht versuchte, die Intensität des „Strebens der Natur nach Vermeidung des Vakuums“ zu messen und zu erforschen, ob ihm auch eine Grenze gesetzt sei. Im Übrigen ist es dieser Theorie ergangen wie so mancher Theorie des Mittelalters, etwa der Phlogistontheorie: Der Fehler lag nicht in dessen Entwurf, sondern darin, dass man zu lange an ihr festhielt. Als Tatsachen gefunden wurden, die sie nicht mehr zwanglos erklären konnten, hat man auf Grund von Tradition und Autorität versucht, sie aufrecht zu erhalten.

So hat noch Descartes als große Autorität im 17. Jahrhundert bei dem Versuch, ein Weltbild mit universeller Gültigkeit zu entwerfen, die Theorie des Horror vacui unterstützt. Aus der postulierten Identität von Materie und Raum folgte er: „1. die Welt ist unendlich ausgedehnt; 2. sie besteht überall aus der gleichen Materie; 3. die Materie ist unbegrenzt teilbar; 4. ein Vakuum, d. h. ein Raum, in dem keine Substanz wäre, ist ein Widerspruch in sich und kann daher nicht existieren“ [7]. Man erkennt, dass fast 2000 Jahre nach Aristoteles mit der Ablehnung eines

Vakuums auch die Ablehnung der Atomvorstellung einher schreitet, dass die Theorie des Horror vacui noch im 17. Jahrhundert die Kontinuumshypothese stützt.

Bevor man diese Theorien endgültig überwand, gab es noch letzte Versuche, einen Raum zu postulieren, der nicht wirklich leer sein sollte, sondern einen „Geist“ oder einen „Äther“ enthalten sollte. So ist nach v. Helmont der Begriff Gas von dem holländischen Wort „gahst“ für Geist („Wein-geist“) abgeleitet worden, und man hielt Luft und Wasserdampf für identische Substanzen – verschiedene Gase existierten in der damaligen Begriffswelt kaum. Verhängnisvoll wurde es zusätzlich dadurch, dass Giordano Bruno den Namen Äther mit „air“ synonym gebraucht, und damit die Luft begrifflich in die Nähe des Äthers brachte. Alle diese theoretischen Ansätze führten zu den Äthertheorien, die von Newton verstärkt wurden und hinaus bis in das 20. Jahrhundert lebendig blieben. Erst eine Idee von Galilei und die Entdeckung des Luftdrucks konnten den Horror vacui überwinden und damit den Weg zur Atomhypothese frei machen.

Galilei und Torricelli. Die bereits erwähnte Erscheinung zweier aneinander haftender Glasplatten diskutierte auch Galileo Galilei in seinem Discorsie, zusätzlich kannte er aber das Phänomen, dass Wasser mit einer Saugpumpe nicht höher als etwa 10 m gepumpt werden kann:

„Weder mit Pumpen noch mit anderen Maschinen, die das Wasser durch Attraction heben, sei es möglich, dasselbe ein Haar breit mehr als 18 Ellen ansteigen zu lassen, und seien die Pumpen weit oder eng, es bliebe dieses die äußerste Hubhöhe“ [9].

Das Aneinanderhaften zweier Glasplatten erklärte Galilei wie seine Vorgänger mit der damals gängigen Vorstellung vom „Abscheu der Natur, selbst auf kurze Zeit den leeren Raum entstehen zu lassen“. Etwas Neues kommt bei dem Versuch vor, das Problems der Saugpumpe zu interpretieren:

„Wir werden stets, wenn wir dieses Wasser wägen, welches in 18 Ellen Höhe enthalten war, einerlei ob der Querschnitt groß oder klein war, wir werden, sage ich, stets den Werth des Widerstandes haben, den das Vacuum darbietet“ [9].

Galilei schreibt der Natur weiterhin den Horror vacui zu, überlegt sich aber, dass eine solche Abneigung der Natur doch wohl überwunden werden kann und beschreibt sogar eine Apparatur, mit der diese Kraft, die „restistenza del vacuo“, zu messen wäre (vgl. Abb. 9.1). Eine solche „Kolbenprober-Apparatur“ wollte er konstruieren: Der bewegliche Zylinder sollte durchbohrt sein, um den Hohlraum mit Wasser füllen zu können; nach dem Füllen konnte der bewegliche Haken die Füllöffnung luftdicht schließen und sollte mit soviel Masse belastet werden, dass ein Vakuum im Zylinderraum entsteht. Man weiß nicht, „ob dieser Versuch nur auf dem Papier beschrieben wird oder ob er wirklich ausgeführt worden ist“ [7]: es ist eines der bekannten Gedankenexperimente des Herrn Galilei.

Diese Messapparatur inspirierte nun einen Schüler Galilei's dahingehend, das bekannte Quecksilber-Experiment durchzuführen: Torricelli plante, den Kolben der Messapparatur durch leicht gleitendes und gut abschließendes Quecksilber zu ersetzen. Wenn nur das Quecksilber genügend hoch in eine Röhre gefüllt würde, sollte es die von Galilei postulierte Kraft aufbringen und ein Vakuum im oberen Teil der Glasröhre erzeugen. Dieser Versuch wurde 1643 in Florenz realisiert, und Torricelli bemerkte (vgl. Abb. 9.2):

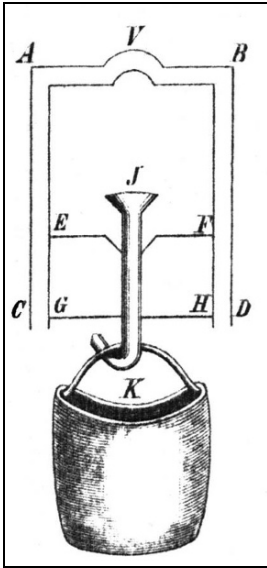


Abb. 9.1: Galilei's Apparat zur Messung des „Widerstandes der Natur gegen das Vacuum“, 1638 [9]

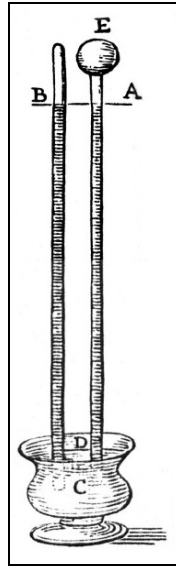


Abb. 9.2: Torricelli's Quecksilber-Experiment zum Nachweis des Luftdrucks, 1644 [11]

„Wir haben eine Anzahl Glasgefäße hergestellt – ähnlich den mit A und B bezeichneten in der obigen Figur – mit Hälsen in der Länge von 4 Fuß. Diese haben wir mit Quecksilber gefüllt, ihre Öffnungen mit dem Finger zugehalten und sie umgekehrt in ein mit Quecksilber gefülltes Becken (C) gestellt. Wie wir das taten, sahen wir, wie das Quecksilber das Gefäß verließ, und zudem blieb der Hals AD des Gefäßes in jedem Fall voll Quecksilber bis zu einer Höhe von 3 Fuß und 6 Zoll. Um zu zeigen, dass das Gefäß vollständig leer war, füllten wir das Becken darunter bis zu D mit Wasser und hoben es dann sehr behutsam hoch, bis seine Öffnung die Höhe des Wasserspiegels erreichte: Wie dieses geschah, sahen wir das Quecksilber dem Gefäßhals entlang abwärts rinnen und dann das Wasser mit gewaltiger Kraft emporsteigen und es füllen, bis zum Punkt E“ [10].

Die bekannten Erscheinungen, dass Flüssigkeiten aus derartig geschlossenen Apparaturen nicht auslaufen, hatte man bisher oft damit interpretiert, dass Luft die Gelegenheit haben müsse, nachströmen zu können. Erst Evangelista Torricelli erklärte die Beobachtungen in seinem Experiment konsequent mit dem Vorhandensein eines Luftdrucks:

„Die Luft, welche auf das Quecksilber im Becken drückt, erhebt sich in eine Höhe von 50 Meilen über die Erdoberfläche. Was Wunder, wenn im Glas CE dieses Quecksilber eine Höhe erreicht, in der es das Gewicht der Luft, das von außen darauf drückt, ausbalanciert“ [10].

Damit stellte er nicht nur eine völlige Übereinstimmung zwischen hydrostatischen und aerostatischen Erscheinungen her, sondern machte die Theorie des Horror vacui endlich überflüssig. Man fragte richtigerweise allerdings kritisch, ob ein absolutes Vakuum damit bewiesen sei oder ob der leere Raum über dem Quecksilber nicht mit einem „Geist“ oder „Äther“ erfüllt sei.

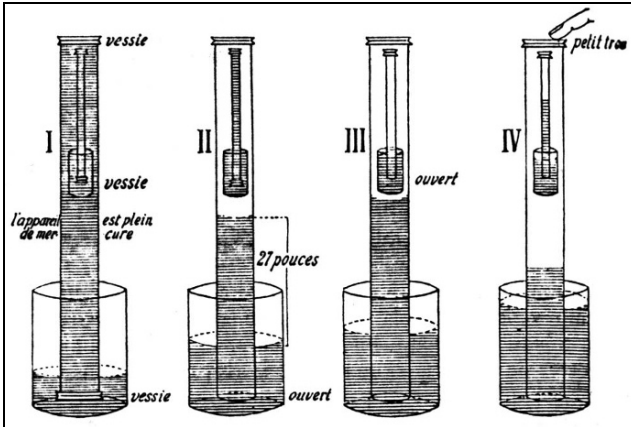


Abb. 9.3: Pascal's Experiment „du vide dans le vide“, 1647 [12]. Ein mit einer Harnblasenhaut (vessie) beiderseits geschlossenes, Quecksilber gefülltes Glasrohr wird in eine mit Quecksilber versehene Wanne gestellt (I), die untere Öffnung geöffnet (II), ebenfalls die der im großen Glasrohr enthaltenen kleinen Apparatur (III), schließlich lässt ein kleines Loch wenig Luft in das Glasrohr (IV) hinein.

So bildeten sich bei verschiedenen Forschern viele verschiedene Standpunkte: Man konnte bei der Interpretation des Barometerversuchs für oder gegen die Erklärung durch den Luftdruck sein (für oder gegen die „colonne d'air“) oder für oder gegen den leeren Raum oberhalb des Quecksilbers sein (für oder gegen „le vide“). Blaise Pascal setzte sich für die Verifizierung beider Hypothesen ein und führte eine Reihe von aufschlussreichen Experimenten durch. Er variierte Länge und Querschnitte der Glasrohre für den Barometerversuch und verwendete zusätzlich Wasser und Wein, um zu zeigen, dass die Dichte der Flüssigkeit ausschlaggebend für die Höhe der Flüssigkeitssäule ist. Er veranschaulichte mit dem berühmten Experiment „du vide dans le vide“, dass ein gefülltes Torricelli-Gefäßbarometer im Vakuum keinen Luftdruck erkennen lässt (Abb. 9.3, III) und somit weder Luft noch ein „Äther“ in der Apparatur die Höhe des Quecksilberspiegels beeinflusst.

Zur letzten Sicherheit ließ Pascal 1648 das Barometer-Experiment auf einem etwa 900 m hohen Berg bei Paris ausführen, um mit einem Absinken des Quecksilberspiegels endgültig die Existenz des atmosphärischen Luftdrucks nachzuweisen und die Theorie der „colonne d'air“, also den Einfluss einer je nach Höhe über dem Meeresspiegel vorhandenen Luftsäule, über jeden Zweifel zu erheben.

Den bekanntesten Versuch zur Existenz des Luftdrucks hat auf der Grundlage der bisherigen Kenntnisse Otto v. Guericke geplant. Nachdem er verschiedene Techniken zur Herstellung eines luftverdünnten Raumes – also eine Reihe von technisch ausgereiften Luftpumpen – erfand, führte er als Bürgermeister von Magdeburg das Experiment mit den „Magdeburger Halbkugeln“ durch (vgl. Abb. 9.4):

„Diese Schalen habe ich aufeinandergelegt und darauf die Luft schnell herausgepumpt. Ich sah, mit welcher Kraft die beiden Schalen vereinigt wurden. Von dem Druck der äußeren Luft zusammengepreßt, waren sie so fest verbunden, daß sechzehn Pferde sie nicht oder nur schwierig voneinanderreißen konnten. Gelang es aber endlich, mit Aufbietung aller Kraft, sie zu trennen, so verursachte dies ein Geräusch wie ein Büchschenschuß“ [13].

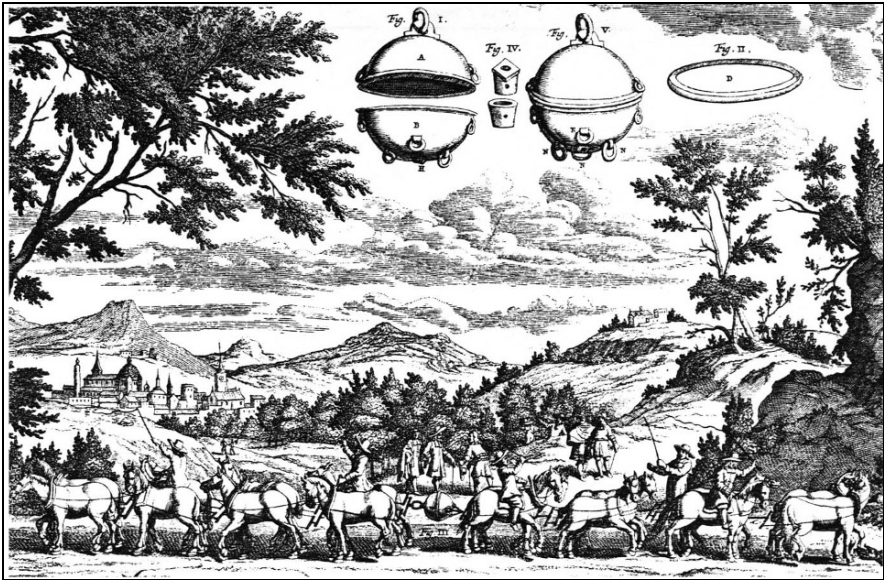


Abb. 9.4: Das Guericke-Experiment der „Magdeburger Halbkugeln“ [13]

Gassendi. Auf dem geschilderten Wege kam man in Bezug auf das Makrovakuum vom Horror vacui zur Theorie des Luftdrucks und brauchte nur noch den Begriff des Partialdruckes eines Stoffes, um alle pneumatischen Experimente exakt zu interpretieren. Pierre Gassendi kannte diesen Erkenntnisweg und vermochte deshalb die heute noch gültigen Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe entwickeln, weil er die Theorien des Horror vacui überwunden hatte: „Es war ein wesentliches Unterscheidungszeichen der Atomistik Gassendi's von allen bisherigen Erneuerungen von Korpuskulartheorien, daß er die Existenz eines leeren Raumes voraussetzte“ [6].

Gassendi reflektierte den Barometerversuch von Torricelli und stellte u. a. die beiden Fragen: „1. Ist der Raum oberhalb des Quecksilbers für vollständig leer zu erachten? 2. Wie ist es möglich, daß die Natur, welche sonst vor dem Leeren einen Abscheu zu haben scheint, hier ein Vacuum, wie auch immer es beschaffen sei, zulasse?“ [6]. Die Antworten führten ihn ausgehend von der Diskussion des Luftdrucks und der Komprimierbarkeit der Luft zu den „Poren“ und dem Mikrovakuum zwischen den kleinsten Teilchen der Materie: „Die bekannten Erscheinungen der Zusammendrückung und der Ausdehnung der Luft wären ohne Poren nicht möglich, da man sonst bei der Verdichtung eine Durchdringung der Teile annehmen, also den Satz aufgeben müßte, daß jeder Körper jeden anderen von dem Raum ausschließt, den er erfüllt“ [6].

So setzte sich Gassendi 1649 endgültig über die aristotelischen Auffassungen hinweg und postulierte auf der Grundlage der Vorstellungen des Demokrit und Epikur: „Die Atome und der leere Raum sind die einzigen Prinzipien der Natur, und neben den ersteren, als dem absolut Vollen, und dem absolut Leeren ist überhaupt nichts Drittes denkbar“ [6].

Wenn man auch in heutiger Zeit das „absolut Volle“ und das „absolut Leere“ relativieren muss, so blieb von ihm doch die Vorstellung sinnvoll, dass die Atome sich unterscheiden müssen „durch ihre Größe, durch ihre Gestalt und ihre Schwere. Dies sind aber zugleich die einzigen Eigenschaften, die ihnen zukommen, man kann sie aber nicht etwa warm oder kalt, farbig oder dgl. nennen; derartige Qualitäten besitzen sie nicht“ [6]. Hätten viele Forscher des 17. Jahrhunderts diese Vorstellung weiter ausgearbeitet, so wäre ein Konsens zur Diskontinuumstheorie 200 Jahre früher möglich gewesen, kein Schulbuchautor des 20. Jahrhunderts hätte die kleinsten Teilchen als Einheiten der Stoffe betrachtet, die „noch die Eigenschaften des Stoffes besitzen“!

Avogadro. Eine letzte Anmerkung zu historischen Vorstellungen, die bezüglich der Teilcheninterpretation zum Aufbau der Gase einen großen Schritt nach vorn bedeuteten: Lange vor dem Karlsruher Kongress von 1860, auf dem man noch über die Existenz der Atome und die Abgrenzung des Molekülbegriffs diskutierte, hatte Amedeo Avogadro bereits 1811 das nach ihm benannte Gesetz formuliert. Er konnte das Gesetz durch die zutreffende Interpretation Guy-Lussacscher Experimente finden, weil er die angemessene Vorstellung besaß, „Moleküle in einem Gase würden sich in solchen Entfernungen voneinander befinden, daß sie keine gegenseitige Anziehung auf einander ausüben“ [14].

Zu der Erkenntnis, „daß die Anzahl der zusammengesetzten Molekeln in jedem Gase bei gleichem Volum stets dieselbe sei, oder stets proportional dem Volum“, gelangte Avogadro [14], indem er sich den leeren Raum zwischen den Teilchen eines Gases vorstellen konnte und Vorstellungen über die relativ großen Abstände zwischen den Teilchen in Gasen entwickelte –, heute verwenden wir dafür den Begriff der statistisch mittleren freien Weglänge. Diese submikroskopische Interpretation des Aufbaus gasförmiger Stoffe war einzigartig und konkurrenzlos, da Avogadro die nach ihm benannte Gesetzmäßigkeit formulierte, als kaum ein anderer Wissenschaftler seiner Zeit diesen Gedanken zu folgen vermochte, geschweige denn das Gesetz hätte finden können.

Diese Interpretation eines Wissenschaftlers vergangener Jahrhunderte mag gegebenenfalls von heutigen Schülern und Schülerinnen übernommen werden – vor einer diesbezüglichen Diskussion sind zunächst ihre Vorstellungen zum Aufbau der Gase zu untersuchen und zu bewerten.

9.3 Horror-vacui-ähnliche Vorstellungen bei Schülern

Unter Fachdidaktikern der Naturwissenschaften gibt es bezüglich der großen Bedeutung von Schülervorstellungen und deren Berücksichtigung für die Konzeption von Unterricht einen breiten Konsens. Helga Pfundt hat richtig festgestellt:

„Der Unterricht muss die Schüler nicht lediglich von Unkenntnis zu Kenntnis leiten, er muss vielmehr auch vorhandene Kenntnis durch andersartige Kenntnis ersetzen. Wie man in Anknüpfung an Untersuchungen von Inhelder und Piaget nachweisen kann, werden ohne ausdrückliches Abbauen falscher Vorstellungen keine tragfähigen neuen Vorstellungen erworben“ [15].

Stellt man sich hinter diese Forderungen, so ist es die Aufgabe des Fachdidaktikers, vorliegende Schülervorstellungen zu verschiedenen Themen seiner Disziplin herauszufinden, um im Unterricht „vom Alltagsrahmen zum wissenschaftlichen Rahmen“ [16] führen zu können. Jung geht dabei so weit, dass er ein „Diagnostisches Handbuch für Schülervorstellungen“ fordert (persönliche Mitteilung auf einer Tagung).

Setzt man sich im Schulfach Chemie das Ziel, über die Modellvorstellungen zum Aufbau der Gase aus Teilchen hinaus etwa den Satz von Avogadro zu unterrichten und darauf aufbauend stöchiometrische Berechnungen durchzuführen, so sind vorher die Schüler nach ihren Vorstellungen über den Aufbau der Gase zu befragen. Sie haben das Teilchenmodell meistens im Unterricht zuvor kennen gelernt – vielfach sogar im Sachunterricht der Grundschule – und die „Stückelung der Materie“ [1] sicher akzeptiert. Inwieweit sie allerdings den materiefreien Zwischenraum zwischen den Teilchen gedanklich nachvollziehen oder dem „Horror vacui“ unterliegen, sollte in einer kurzen Befragung herausgefunden werden. Diesbezüglich können folgende exemplarisch bekannte Untersuchungen zitiert und danach eigene Untersuchungen vorgestellt werden.

Novic und Nussbaum. Beide haben im Jahre 1981 eine empirische Untersuchung über Schülervorstellungen zum Aufbau der Gase veröffentlicht [17]. Neben der Interpretation anderer Modellzeichnungen durch die Probanden sollten Aussagen bezüglich des Raumes zwischen den Teilchen eines Gases gemacht werden. Abbildung 9.5 zeigt Anteile an Probanden, die auf die Frage: „what is there between the particles?“ gewisse Antworten markiert hatten. Es standen Antworten wie „no material“, „vapor or oxygen“, „pollutant“ oder „air“ zur Auswahl.

Es ist zu erkennen, dass Schüler und Schülerinnen der Elementary School und der Junior Highschool (bis Klassenstufe 9) zu etwa 20 % die richtige Antwort „zwischen den Teilchen ist nichts“ angekreuzt haben, dass in der Senior Highschool und an Universitäten diese Antwort von bis zu 40 % der Probanden gegeben wurde. Der andere, weitaus größere Anteil an Befragten stellt sich vor, dass Luft, Sauerstoff, Dampf oder Schadstoffe die Zwischenräume zwischen den kleinsten Teilchen ausfüllen:

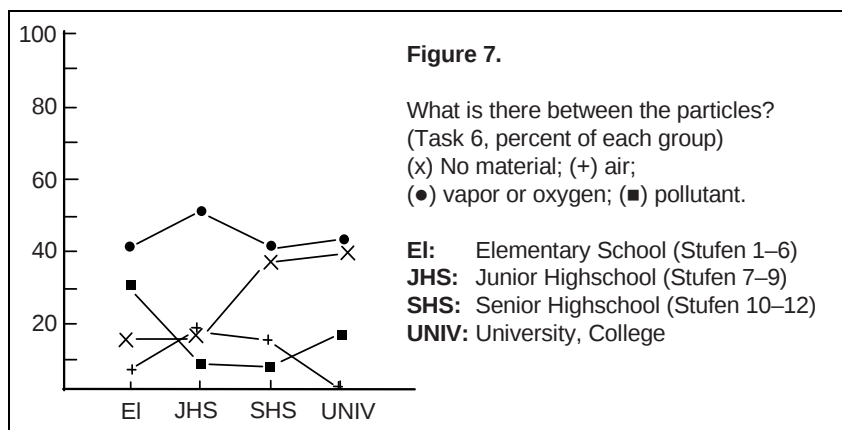


Abb. 9.5: Untersuchungsergebnisse von Novick und Nussbaum [17]

„It seems that the famous ‚nature abhors a vacuum‘ also applies to learners. The fact that over 60 % of the subjects beyond junior high do not picture empty space in a gaseous medium indicates a persistent and wide spread preconception of matter as essentially a continuous medium“ [17].

Kircher und Heinrich. Der Fragebogen von Novick und Nussbaum ist durch Kircher und Heinrich [18] auch in Deutschland benutzt worden, um mit der übersetzten Fassung deutsche Schülerinnen und Schüler zu befragen. Aufgabe 6 ist dabei die Frage danach, was sich im Raum zwischen den Teilchen befindet (vgl. Abb. 9.6). In ihrer Untersuchung erhielten sie 1984 etwa dieselben Ergebnisse, wie Novick und Nussbaum in den USA.

Über die Erfassung solcher Antworten hinaus wollten Kircher und Heinrich nun wissen, ob und inwieweit sich die Schülervorstellungen ändern, wenn ein diesem Problem adäquater Unterricht durchgeführt und danach derselbe Fragebogen noch einmal eingesetzt wird.

„Aus motivationalen und inhaltlichen Gründen entschieden wir uns für ein Videoband. ... Es wurde absichtlich nicht auf den Test abgestimmt, sondern enthielt die Deutung von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen im Teilchenmodell. ... Das Teilchenmodell wurde durch Versuche mit dem Luftkissentisch der Firma Phywe veranschaulicht: Kleine Magnetscheiben schweben infolge des Luftstroms auf einer waagerechten Platte und bewegen sich darauf infolge des Luftstroms und aufgrund der gegenseitigen Abstoßung“ [18].

Die Häufigkeit richtiger Antworten steigerte sich aufgrund des Unterrichts von 20 % auf 40 %, der Anteil der Schüler, die Luft zwischen Teilchen annahmen, bleibt allerdings konstant bei 30 %.

„Es kann durch Aufgabe 6 ein ‚horror vacui‘ vermutet werden. Durch das Videoband wurde eine signifikante Änderung der richtigen Antwort bewirkt. Unterstützt durch bildhafte Darstellungen wird gefolgert, daß ein ‚horror vacui‘ keine solche Stabilität aufweist, daß diese durch entsprechende methodische Maßnahmen nicht verändert werden könnte“ [19].

Aufgabe Nr. 6

Kreuze *einen* der Buchstaben (a,b,c,d,e,f) an, der den folgenden Satz richtig ergänzt:

Wenn wir die Luftteilchen sehen könnten, wie in Abb I. beschrieben, würden wir herausfinden, daß in den Räumen zwischen den Teilchen

- a).....Luft ist.
- b).....Schadstoffe sind.
- c).....Sauerstoff ist.
- d).....überhaupt keine Materie
(kein Stoff) ist.
- e).....Dampf ist.
- f)Staub ist.

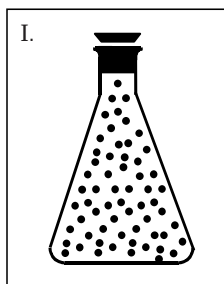


Abb. 9.6: Aufgabe 6 des Fragebogens der Kircher-Heinrich-Untersuchung [18]

Barke. Beide zitierten Befragungen wurden ausschließlich auf der Grundlage von Modellzeichnungen durchgeführt und bezogen sich ausschließlich auf Luft als vorgestelltes Gas. Das mag den Vorteil aufweisen, dass Erfahrungen mit der Luft durch die Schüler in größerem Maße vorliegen als mit anderen Gasen. Auf der anderen Seite kann es zu begrifflichen Interferenzen zwischen Luft als Gas, das für die Befragung vorgesehen ist, und der von den Schülern gedachten „fiktiven Luft zwischen den Teilchen der Luft“ kommen.

Deshalb ist es einerseits interessant, andere Gase als Luft zur Grundlage einer Befragung zu machen. Andererseits können Experimente vor der Befragung durchgeführt werden, um erst danach entsprechende Modellzeichnungen anzubieten und somit den wichtigen Bezug von Realität und Modell herzustellen. Beispielsweise ist es möglich, ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas in einer pneumatischen Wanne unter Wasser zu öffnen und dieses Reagenzglas mit dem Brenner zu erhitzen, bis Wasserdampf entsteht und das Wasser teilweise aus dem Reagenzglas drückt (V9.1). In einem zweiten Experiment mit Butangas lässt sich zeigen, dass sich dieses Gas in einer speziellen Handpumpe unter Druck verflüssigt, diese Flüssigkeit erheblich weniger Volumen einnimmt und nach Loslassen des Kolbens unter Verdampfen wieder genau dasselbe Gasvolumen herstellt wie zuvor (V9.2). In beiden Fällen sieht der Schüler, dass in die Apparaturen keine Luft von außen eindringen kann und sollte folgern, dass kein anderer Stoff – insbesondere keine Luft – in die Zwischenräume der Teilchen des Wasserdampfes oder des Butangases gelangen kann.

Um die Interpretation der Experimente zu vereinfachen und eine angemessene Beantwortung der Frage nach der Vorstellung des Raumes zwischen den Teilchen zu erleichtern, sind im Fragebogen (vgl. Abb. 9.7) noch zusätzlich Modellzeichnungen bezüglich der Versuchsergebnisse enthalten. Die zu markierenden Alternativen und weiteren Fragen bezüglich der Vorstellung vom Aufbau der Stoffe sind dem Fragebogen zu entnehmen. Insbesondere werden bei den Multiple-Choice-Antworten der Aufgaben 2 und 3 die Alternativen „leer“ und „nichts“ angeboten, um bei der Auswertung erkennen zu können, inwieweit die Schüler die Alternative „nichts“ wählen und somit zum Ausdruck bringen, dass sie sich materiefreie Räume vorstellen.

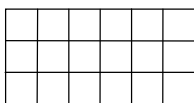
Nachdem der *Fragebogen* (Abb. 9.7) entworfen und bei zwei Schulklassen im Probelauf getestet worden war, wurde er im Jahre 1985 bei Schülern und Schülerinnen der Klassenstufen 9, 10 und 11 des Gymnasiums Lehrte eingesetzt. Sie hatten alle das Teilchenmodell zum Aufbau der Materie kennen gelernt, die Lernenden der Klassen 10 und 11 zusätzlich das differenzierte Schalenmodell zum Aufbau von Atomen, ebenfalls die Arten chemischer Bindung.

Insgesamt fünf Klassen 9, drei Klassen 10 und drei Klassen 11 sahen in etwa fünf Minuten beide skizzierten Experimente mit Wasserdampf und Butangas, erhielten danach ohne Kommentar den Fragebogen und gaben ihn nach etwa 15 Minuten ausgefüllt ab. Auf die Frage der Schüler nach dem Unterschied zwischen „leer“ und „nichts“ bei den Alternativantworten der Aufgaben 2 und 3 wurde sinngemäß geantwortet: „Mit leer bezeichnet man ein Glas, obwohl es Luft enthält, mit nichts ist gemeint, dass absolut keine Materie vorhanden ist“.

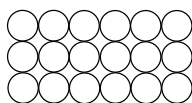
1. Modelle für den Aufbau von Feststoffen



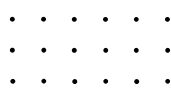
(a)



(b)



(c)



(d)

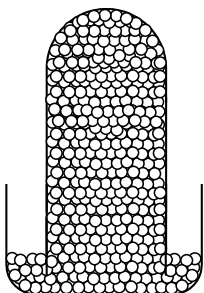
Die Zeichnungen (a) bis (d) sollen Modelle für den Aufbau eines Eiskristalls sein. Welches der vier Modelle findest Du am besten?

- ☐ Zeichnung (a) Begründe Deine Antwort:
- ☐ Zeichnung (b)
- ☐ Zeichnung (c).....
- ☐ Zeichnung (d)

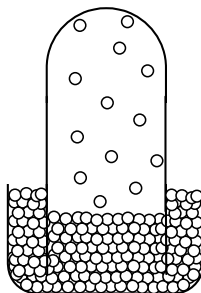
2. Modelle für das Verdampfen von Wasser

Wasser wird in einem umgestülpten Reagenzglas bis auf 100°C erhitzt, es bildet sich Wasserdampf. Folgende Modellzeichnung zeigt das Ergebnis:

vor
dem
Erhitzen:



beim
Erhitzen:



○ = Modell für 1 Wasserteilchen

Wie stellst Du Dir den Raum *zwischen den Teilchen im Wasserdampf* vor?

Ich stelle mir vor, dass

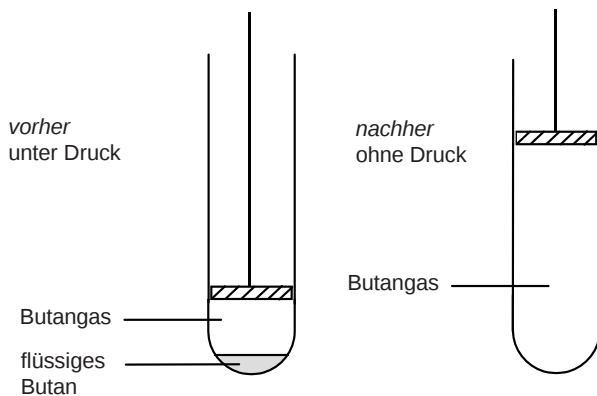
- ☐ zwischen den Teilchen auch *Wasserdampf* vorhanden ist,
- ☐ der Raum zwischen den Teilchen *leer* ist,
- ☐ zwischen den Teilchen *nichts* vorhanden ist,
- ☐ sich *Luft* zwischen den Teilchen befindet,
- ☐ ein besonderer unsichtbarer Stoff zwischen den Teilchen ist.
- ☐

Begründe Deine Antwort:

3. Modelle für das Verdampfen von Butan (Campinggas)

Die Hülse einer Handpumpe wird vollständig mit Butangas gefüllt. Das Gas wird mit der Handpumpe unter Druck in flüssiges Butan verwandelt. Wird der Kolben der Pumpe gelöst, so verdampft flüssiges Butan wieder.

Zeichne Deine Teilchenvorstellung auf:



Wie stellst Du Dir den Raum zwischen den Teilchen im Butangas vor?

Ich stelle mir vor, dass

- ☐ zwischen den Teilchen auch *Butangas* vorhanden ist,
- ☐ der Raum zwischen den Teilchen *leer* ist,
- ☐ zwischen den Teilchen *nichts* vorhanden ist,
- ☐ sich *Luft* zwischen den Teilchen befindet,
- ☐ ein besonderer unsichtbarer Stoff zwischen den Teilchen ist.
- ☐

Begründe Deine Antwort:

.....

.....

4. Erstarren von Butan

Würde man flüssiges Butan auf -138°C abkühlen, so könnte man feste Butan-Kristalle beobachten.

Zeichne auf, wie Du Dir den festen Kristall aus Butan-Teilchen aufgebaut vorstellst:

Tabelle 9.1: Art und Anteil der Schülerantworten, die bei Aufgabe 2 und 3 des Fragebogens abgegeben worden sind; Klassen 9, 10 und 11 des Gymnasiums Lehrte, Oktober 1985

		Aufgabe 2: „Wasser“					Aufgabe 3: „Butan“				
	Σ	nichts	leer	Dampf	Luft	Sonst.	nichts	leer	Butan	Luft	Sonst.
Kl. 9	120	23	25	32	31	9	31	26	38	15	10
in %		19	21	27	26	7	26	22	32	12	8
in %		40		60			48		52		
Kl. 10	62	24	16	12	8	2	38	10	10	3	1
in %		39	26	19	13	3	61	16	16	5	2
in %		65		35			77		23		
Kl. 11	62	18	10	11	21	2	22	14	9	13	4
in %		29	16	18	34	3	36	23	14	21	6
in %		45		55			59		41		
gesamt	244	65	51	55	60	13	91	50	57	31	15
in %		27	21	22	25	5	37	21	23	13	6
in %		48		52			58		42		

Die Befragung offenbarte folgende *Ergebnisse*: Bei der Beantwortung der Aufgabe 1 – als „warm-up-item“ – ist überwiegend Alternative (c) gewählt worden, da ähnliche Modellzeichnungen wohl auch im Unterricht üblich waren. Einige Schüler haben Alternative (b) gewählt und zum Ausdruck gebracht, dass eine solche lückenlose Packung „keinen Luftraum zwischen den Teilchen zulässt“ (Schüler einer Klasse 11) oder „keine Zwischenräume enthält, denn es gibt keine Luft zwischen den Teilchen“ (Schülerin einer Klasse 9). Weitere Daten zu Aufgabe 1 und die Interpretation liegen an anderer Stelle veröffentlicht vor [20].

Tabelle 9.1 zeigt die Ergebnisse zu den Aufgaben 2 und 3. Es ist zu erkennen, dass die richtigen Alternativen in den Klassen 9 zu nur 40 % bzw. 48 %, in den Klassen 10 zu 65 % bzw. 77 % und in den Klassen 11 zu 45 % bzw. 59 % gewählt wurden. Diese Zahlen zeigen zunächst, dass etwa bei der Hälfte der Schüler und Schülerinnen ein Horror vacui nicht festzustellen ist. Der andere Teil der Jugendlichen nimmt Luft, Wasserdampf bzw. Butan oder sonstige Materie zwischen den Teilchen von Wasserdampf bzw. Butangas an (vgl. Tab. 9.1).

Die Zahlen zeigen aber auch, dass der jeweilige Prozentsatz richtiger Antworten (Summe der Anteile beider Alternativen „leer“ und „nichts“) nicht mit den Klassenstufen ansteigt, sondern für die Klassen 10 ein Maximum aufweist und zu den Klassen 11 wieder abfällt. Vergleicht man die Zahlen bezüglich der Alternativen „nichts“ und „leer“, so stellt man zusätzlich fest, dass insbesondere in den Klassen 10 die Alternative „nichts“ bevorzugt und der Horror vacui weitergehender als in anderen Klassen abgebaut erscheint. Das weist darauf hin, dass der Unterricht zum Atommodell diesbezügliche Aussagen verstärkt („Das leere Atom

mit Atomkern und leerer Hülle“) und in den Klassen 11 dieser Unterricht weit mehr als ein Jahr zurück liegt. Auch andere Didaktiker beobachten „einen Leistungsabfall bei den Schülern höherer Klassen“ und deuten ihn als „Regressions-effekt: Eine Scheu, sich mit physikalischen Problemen auseinander zu setzen“ [21].

Schließlich zeigt ein Vergleich der Zahlen, dass der Anteil richtiger Antworten in der Butan-Aufgabe 3 durchweg um etwa 10 % höher liegt als in der Wasserdampf-Aufgabe 2. Vergleicht man zusätzlich den Rückgang der Antworten „Luft“ in gegenläufiger Weise, so lassen sich diese Zahlen dahingehend interpretieren, dass die Schüler wahrscheinlich Wasserdampf und Luft in größerem Maße miteinander identifizieren als das ihnen fremde Gas Butan und Luft. Die Schüler mögen auch wissen, dass mit dem Sieden von Wasser gleichzeitig gelöste Luft frei wird und dadurch der entstehende Wasserdampf mit Luft gemischt vorliegt. Im Falle des Butan-Experiments kann es einen solchen Zusammenhang nicht geben: „In die Butanpumpe kann keine Luft gekommen sein“.

Trotz der überzeugenden Experimente haben aber über die Hälfte der Schüler und Schülerinnen in den Klassen 9 die Vorstellung, dass zwischen den Teilchen noch Wasserdampf bzw. Butan oder Luft enthalten ist. Bei diesem Teil der Schüler ist von einem Horror vacui auszugehen, vor allem dann, wenn man die *Begründungen für diese Antworten* auswertet, die durchaus viele Parallelen zu Aussagen von Wissenschaftlern vergangener Zeiten aufweisen:

- „Der Raum zwischen den Teilchen kann nicht leer sein, bzw. ist nicht nichts vorhanden“,
- „ich kann mir nicht vorstellen, dass dort nichts ist“,
- „wenn keine Luft vorhanden wäre, müsste dort ein Vakuum sein, und das kann ich mir nicht vorstellen“,
- „es müsste etwas dazwischen sein, was man noch nicht entdeckt hat“,
- „irgendwas muss ja vorhanden sein, es gibt keinen Ort, wo überhaupt nichts ist“,
- „etwas muss sich da befinden, da ein Vakuum entstehen würde, wenn da nichts ist“,
- „der Raum kann ja nicht einfach gar nichts enthalten“,
- „irgendwas muss doch da sein“.

Voss. In seiner Staatsexamensarbeit im Jahre 1999 hat Dirk Voss [22] neben anderen Fragen zu Vorstellungen der Schüler einer Realschule die Frage gestellt, die der Aufgabe 2 in der Abbildung 9.7 entspricht. Nachdem das Experiment des pneumatischen Verdrängens von Wasser durch Wasserdampf den Schülern gezeigt wurde, hatten sie dieselbe Auswahl von Antworten, wie der Fragebogen sie für Aufgabe 2 ausweist (vgl. Abb. 9.7a). Es folgte ebenfalls die Aufforderung, ihre gewählte Antwort zu begründen.

Die Ergebnisse der Erhebung stellt Abbildung 9.8 dar. Sie zeigt – wie Tabelle 9.1 – ebenfalls einen ungewöhnlichen Befund: mit steigender Klassenstufe nimmt der Anteil richtiger Antworten (Summe der Antworten „leer“ und „nichts“) nicht wie erwartet zu, sondern ab. Die Klassen 10 der Realschule erreichen mit 19,5 % richtiger Antworten das Niveau, das Novick und Nussbaum in ihrer Untersuchung an Junior Highschools in den USA festgestellt haben, die Erhebung von Barke an Klassen 10 eines Gymnasiums wies immerhin 65 % richtiger Antworten aus.

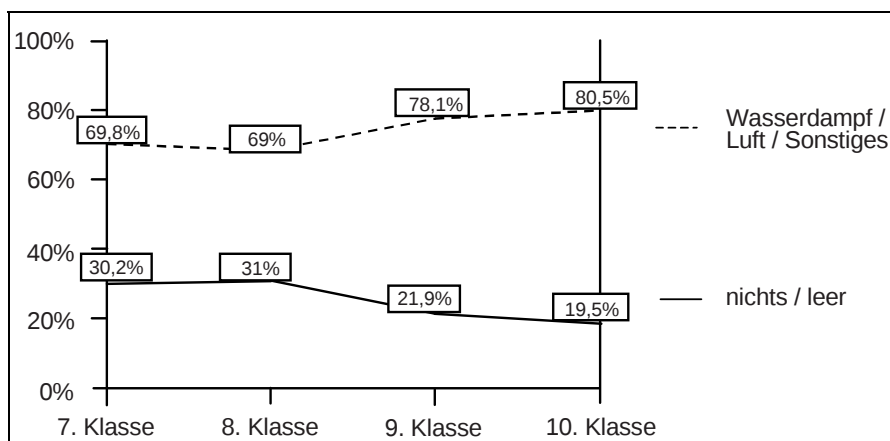


Abb. 9.8: Art und Anteil der Schülerantworten auf die Frage: „Wie stellst du dir den Raum zwischen den Teilchen des Wasserdampfs vor?“, Klassenstufen 7–10, Realschule, 1999 [22]

Die Tatsache, dass die Klassenstufen 7 und 8 im größeren Maß zutreffende Vorstellungen zeigen als die Klassen 9 und 10 kann entweder mit dem Regressionsseffekt erklärt werden – mit der zunehmenden Scheu, sich mit Problemen der Naturwissenschaften auseinanderzusetzen zu wollen [20]. Oder den Schülern ist der Unterricht zum Teilchenmodell, der vornehmlich in den Klassenstufen 7 und 8 stattfindet, in frischer Erinnerung und macht eine Diskussion über diese Problematik eher möglich als in den anderen Klassen.

Es bleibt allerdings festzuhalten, dass mit 30 % richtiger Antworten das Teilchenmodell auch in den Klassenstufen 7 oder 8 nicht sehr erfolgreich unterrichtet worden ist. Der Grund dafür ist wahrscheinlich der bereits von Fladt genannte: „Der leere Raum fehlt offensichtlich in unserem Teilchenmodell, dieser leere Raum ist doch eigentlich das Unglaubliche an der Diskontinuumsvorstellung, viel mehr als die Stückelung der Materie“ [1]. In welcher Weise ist Chemie- oder Physik-Unterricht zu verändern, damit dieses Unglaubliche überzeugend von den Schülern und Schülerinnen akzeptiert und verinnerlicht wird?

9.4 Folgerungen für den Unterricht

Es ist gezeigt worden, dass ein nicht unerheblicher Teil von Schülern und Schülerinnen Vorstellungen besitzt, die vergleichbar sind mit solchen, die auch Wissenschaftler vergangener Jahrhunderte besaßen und als Horror vacui diskutierten: Zwischen den Teilchen der Gase befände sich Luft oder ein besonderer „Äther“. Diese Parallelität der Denkweisen zwingt zu fachdidaktischen Reflexionen in zweifacher Hinsicht.

Es ist zum einen zu überlegen, ob dieser Irrtum in der *Geschichte* der Naturwissenschaften nicht Unterrichtsgegenstand werden sollte bzw. durch Schülerreferate zur Diskussion gestellt wird. Die Schüler mögen so feststellen, dass „ihre Schwie-

rigkeiten auch häufig die Probleme der Wissenschaftler waren” [23]. Aufgrund dieser sympathischen Erkenntnis sind sie eher bereit, ihre falschen Vorstellungen aufzugeben:

„If students are made aware of the misconceptions of earlier scientists, perhaps they might find their own misconceptions among them. If the teacher compares and contrasts the historical misconceptions with the current explanation, students may be convinced to discard their limited or inappropriate propositions and replace them with modern scientific ones” [24].

Die vorliegende Thematik kann dementsprechend nach Jansen [23] durchaus auch „historisch-problemorientiert“ unterrichtet werden, da gerade der Weg wissenschaftlicher Erkenntnis am Beispiel der Überwindung des Horror vacui durch den Schüler gut nachzuvollziehen ist.

Zum anderen ist die historische Entwicklung dahingehend zu analysieren, auf welchem Weg die Wissenschaftler von den historischen Horror-vacui-Vorstellungen zum angemessenen Teilchenkonzept gelangt sind. Die Ausführungen des Abschnitts 9.2 haben deutlich gemacht, dass der Horror vacui zwei Jahrtausende lang die Erkenntnis der Luft als wägbaren Stoff und des resultierenden Luftdrucks verhindert bzw. erschwert hat. Erst Torricelli und Pascal wiesen durch ihre Experimente nach, dass ein Vakuum durchaus erzeugbar ist, dass eine Quecksilbersäule bestimmter Höhe durch den Druck der alles umgebenden Luft getragen wird. Mit dem Wissen über die Existenz des Makrovakuums konnte Gassendi dann endgültig auch Vorstellungen durchsetzen, die von kleinsten Teilchen und dem Mikrovakuum, also dem leerem Raum zwischen ihnen ausgingen und viele Eigenschaften der Gase zu erklären vermochten. Avogadro erwarb schließlich die noch heute aktuellen Vorstellungen, die von der selbständigen, dauernden Bewegung der kleinsten Teilchen in Gasen ausgehen und auf Grund dieser Bewegung bestimmte freie Weglängen der Teilchen in einem Raum erfordern, der für diese Teilchenbewegung materiefrei gedacht werden muss.

Um „Nützliches aus der Vergangenheit für die Gegenwart und Zukunft zu aktualisieren“ [2], erscheint es auch für den Unterricht in den Fächern Chemie oder Physik Erfolg versprechend zu sein, die genannte Reihenfolge der Erkenntnisse in der geschichtlichen Entwicklung zu Grunde zu legen und den Gasbegriff folgendermaßen in Form eines *Spiralcurriculum*s zu unterrichten:

1. Luft ist ein Stoff im chemischen Sinn,
2. es gibt luftverdünnte, luftfreie und materiefreie Räume (Vakuum),
3. der Raum zwischen den Teilchen eines Gases ist materiefrei,
4. gleich viele Teilchen verschiedener Gase nehmen bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich große Volumina ein (Avogadro-Satz).

Punkt 1. Um Luft als Stoff zu demonstrieren, ist es im Anfangsunterricht überzeugend, die Dichte experimentell zu bestimmen (V 9.3): der Quotient aus Masse und Volumen führt zu dem Messwert 1,3 g/L. Die Dichte eines weiteren Gases, etwa der Messwert von 2,0 g/L für Kohlenstoffdioxid, wird auf demselben Weg bestimmt und mit dem Messwert zur Luft verglichen. Mit einer Dichtetabelle verschiedener Gase ist den Lernenden schließlich die Vorhersage möglich, welche Gase „schwerer“ oder „leichter“ als Luft sind, dass Wasserstoff und Helium etwa auf Grund der kleinen Dichten als „Ballongase“ verwendet werden können.

Zusätzlich ist es möglich, Verbrennungsreaktionen in der Luft abgeschlossener Apparaturen zu zeigen, Sauerstoff und Stickstoff zu unterscheiden und aus dem Messwert die Zusammensetzung der Luft abzuleiten (V 9.4): Der Messwert von etwa 80 Vol% Stickstoff veranschaulicht nicht nur den Gehalt dieses Gases in der Luft, sondern damit auch die Tatsache, dass Luft ein Gemisch aus mehreren Gasen – also Materie – ist.

Um letztlich auch die für andere Stoffe üblichen Messwerte wie etwa die Siedetemperatur zu kennzeichnen, kann flüssige Luft oder flüssiger Stickstoff demonstriert werden (V 9.5). In beiden Fällen werden die sehr tiefen Siedetemperaturen deutlich, Sauerstoff als blaue Flüssigkeit unterscheidet sich deutlich von farblosem, flüssigen Stickstoff. Man entnimmt die Werte für die Siedetemperaturen einer Tabelle und diskutiert gegebenenfalls die Praxis, Luft zu verflüssigen und in Sauerstoff und Stickstoff zu trennen.

Punkt 2. Macht man den Lernenden die Masse einer Luftportion durch Rückwägen eines zunächst evakuierten Glaskolbens anschaulich, so ist ein zentrales Experiment zu Punkt 2 schon durchgeführt worden (V 9.3): Sie haben die praktische Evakuierung des Glaskolbens erlebt. Diskutiert man darüber hinaus mit ihnen die Erfahrungen hinsichtlich „Vakuum-verpackter“ Lebensmittel oder evakuierter Fernsehbildröhren, so wird selbstverständlich, dass man durch Auspumpen der Luft „materiefreie“ Räume erzeugen kann. Inwieweit man den Dampfdruck des Wassers bei einer Wasserstrahlpumpe oder den Partialdruck des Öls bei einer Ölpumpe ins Spiel bringen und darauf zielen möchte, dass ein Rest Wasserdampf bzw. Öldampf in den ausgepumpten Gefäßen zurückbleiben muss und deshalb nur nahezu ein Vakuum existiert, ist für die jeweilige Klassenstufe zu reflektieren.

Darüber hinaus wäre es günstig, ein altes Quecksilberbarometer zu demonstrieren und dessen Funktionsweise zu erklären. Noch anschaulicher ist es, den historischen Torricelli-Versuch durchzuführen (V 9.6): Erfahrungsgemäß staunen selbst Erwachsene über die Erscheinung, dass die Quecksilbersäule sich bei einer Höhe von etwa 760 mm über dem Quecksilberspiegel einpendelt. Schüler und Schülerinnen lernen so die Wirkung der Luftmasse bzw. des Luftdrucks unmittelbar kennen: Moderne Barometer sind „black boxes“ und können das nicht leisten.

Es ist durch dieses Experiment auch leicht möglich, die alte Einheit „mm Quecksilbersäule“ oder „Torr“ für den Luftdruck konkret verständlich zu machen oder bezüglich der meteorologischen Begriffe „Hochdruckgebiet“ und „Tiefdruckgebiet“ zu diskutieren. Die heutigen Einheiten für den Druck wie P (1 Pascal) oder hP (1 Hektopascal = 100 P) bzw. 1013 hP für den Normdruck sind einzuführen und auf der Grundlage der SI-Einheiten zu begründen.

Mit dem Verständnis für die Existenz des Vakuums sind den Schülern luftverdünnte und auch luftfreie Räume anschaulich. Man diskutiert das Absenken des Luftdrucks in einem Kolbenprober durch Herausziehen der Hülse und macht auf den Widerstand durch den äußeren Luftdruck aufmerksam. Oder es wird im Kolbenprober ein Teil der enthaltenen Luft durch ein anderes Gas ersetzt: Auch in diesem Fall ist die Luft verdünnt worden. Luftfreie Räume können ebenfalls in zweierlei Hinsicht diskutiert werden: Entweder man meint das Vakuum, oder es wird an ein völlig anderes Gas gedacht, das die Luft in einem bestimmten Raum ersetzt.

In jedem Fall soll der Unterschied in dem Verständnis der Begriffe „leer“ und „nichts“ deutlich werden. Ein Becherglas, das man vor den Augen der Schüler pneumatisch mit Luft füllt (V 9.7), wird umgangssprachlich ein „leeres Glas“ genannt, obwohl es randvoll Luft enthält. Wollte man, dass es „nichts“ enthält, also materiefrei ist, müsste man es verschließen, mit einem Hahn versehen und auspumpen. „Enthielte dieser Glaskolben dann ein Vakuum“? – wäre eine diffizile Frage.

Punkt 3. Erst auf dieser Anschauung aufbauend hat es einen Sinn, materiefreie Räume zwischen den Teilchen eines Gases einzuführen. Ist das Teilchenmodell im Spiralcurriculum in der Form behandelt worden, dass die „Stückelung der Materie“ [1] wie üblich etwa durch Aggregatzustandsänderungen, Kristallisations- oder Diffusionsvorgänge eingeführt wurde, so ist es sinnvoll, auf den Raum zwischen den Teilchen zu zielen: „Dieser leere Raum ist doch eigentlich das Unglaubliche an der Diskontinuumsvorstellung“ [1]. Es ist dazu möglich, eine kleine Portion eines leicht verdampfenden Lösungsmittels, etwa Ethanol, in einem Kolbenprober einzuschließen und den gesamten Kolbenprober in ein siedendes Wasserbad zu stellen (V 9.8): Eine bemerkenswerte Volumenzunahme auf das etwa 1000-fache findet statt.

Die Schüler können nun in einem Unterrichtsgespräch folgern, dass es sich bei dem Kolbenprober um ein abgeschlossenes Gefäß handelt, aus dem weder Substanz entweichen noch hinzukommen kann, also dieselbe Ethanolportion vor und nach dem Verdampfen vorhanden ist. Dieselbe Anzahl von Ethanol-Teilchen hat sich also auf das sehr viel größere Dampfvolumen verteilt, die Teilchen müssen sich sehr stark bewegen und dadurch große Abstände voneinander einnehmen. Aus der Tatsache, dass sich das Volumen um den Faktor 1000 vergrößert hat, lässt sich zusätzlich schließen, dass die Abstände zwischen den Teilchen – die mittlere Weglänge vor dem nächsten Zusammenstoß – im Mittel das 10-fache des Teilchendurchmessers beträgt. Diese Zwischenräume werden also durch die starke Bewegung der Teilchen gebildet, keine Materie irgendeiner Art füllt sie aus: Die Zwischenräume sind materiefrei.

Die Volumenvergrößerung kann durch ein Modellexperiment zur Teilchenbewegung bei Gasen vertieft werden (M 9.9): Das „Gerät zur kinetischen Gastheorie“, das durch eine vibrierende Bodenplatte kleine Kugeln in einem durchsichtigen Zylinder in Bewegung setzt, zeigt bei Erhöhung der Bewegungsfrequenz der Bodenplatte ein größeres Volumen der sich bewegenden Kugeln an.

Dieses Modell muss allerdings in zweierlei Hinsicht diskutiert werden: Die Teilchen eines Gases bewegen sich selbständig und benötigen keinen „Vibrationsmotor“ zur Bewegung. Ebenso wenig enthalten sie Materie in den Zwischenräumen – im Modell befindet sich dagegen Luft zwischen den sich bewegenden Kugeln: hinsichtlich dieser Aspekte ein nicht zutreffendes Modell!

Ist ein solches „Gerät zur kinetischen Gastheorie“ nicht vorhanden, kann eine Petrischale mit vielen kleinen Kugeln fast gefüllt und durch Kreisen der Schale bewegt werden: Modell für die Teilchenbewegung in einer Flüssigkeit. Nun schüttet man zur Modellierung des Verdampfungsvorganges die Kugeln in eine große Glasschale und schüttelt kräftig, gegebenenfalls auf der Arbeitsfläche eines Tageslichtprojektors: Modellvorstellung eines Gases. Auch hier sind das Schütteln und die Luft zwischen den Kugeln als irrelevante Zutaten des Modells zu diskutieren.

Punkt 4. Werden schließlich Reaktionen zwischen Gasen demonstriert und die ganzzahligen Volumenverhältnisse bei der vollständigen Reaktion veranschaulicht, so kann die Auswertung zu einem Verständnis des Satzes von Avogadro führen. Lässt man beispielsweise unterschiedliche Volumina Wasserstoff und Sauerstoff in einem Eudiometerrohr reagieren, so stellt man fest, dass bei einem Volumenverhältnis von 2 : 1 die Reaktion zu Wasser ohne Rest, also vollständig verläuft (V 9.10.a). Findet die Reaktion von 2 Volumeneinheiten Wasserstoff und einer Volumeneinheit Sauerstoff im beheizbaren Eudiometer bei einer Temperatur von über 100°C statt, so ist ein Wasserdampfvolumen von 2 Volumeneinheiten zu beobachten (V 9.10.b).

Bei der Auswertung der Experimente ist das Reaktionssymbol zu entwickeln und die Zahl der beteiligten Moleküle zu betrachten: Aus dem Vergleich der reagierenden Volumina von Gasen vor und nach der Bildung von Wasser bzw. Wasserdampf und den Zahlenverhältnissen der beteiligten Moleküle lässt sich die Avogadro-Aussage ableiten. Diskutiert man die relativ große Entfernung zwischen den Teilchen der Gase bzw. deren freie Weglänge, so erleichtert man den Schülern auch die Vorstellung, dass gleich viele, aber in Masse und Größe unterschiedliche Moleküle durchaus dasselbe Volumen einnehmen können. Solche Vorstellungen sind durch Modellzeichnungen, die Größe und Abstand der Teilchen in einer gedachten Gasportion wiedergeben, zu unterstützen. Man kann auch zusätzlich den Impulssatz erläutern: Teilchen kleiner Masse (m) besitzen im Durchschnitt eine große Geschwindigkeit (v) und mit $I = m \times v$ dieselbe Kraftwirkung bzw. denselben Impuls I , den ein schweres, sich aber langsamer bewegendes Teilchen besitzt.

Es werden schließlich Modellzeichnungen erarbeitet, die Volumina und Teilchenzahl modellmäßig wiedergeben: Gleich große Kästen stellen gedanklich gleich große Volumina dar, sie enthalten in der Zeichnung in jedem Fall gleich viele Modellteilchen. Es ist bei einer solchen Darstellung grundsätzlich vorteilhaft, den Zusammenhang zwischen Phänomenen und chemischen Symbolen durch Hinzunahme von Strukturbetrachtungen herzustellen (vgl. Kap. 7).

Fazit. Auf dem vorgeschlagenen Weg können Schülervorstellungen, die oftmals den Horror-vacui-Theorien vergangener Zeiten vergleichbar sind, abgebaut und durch zutreffende Vorstellungen ersetzt werden. Zudem würde das Kontinuumsdenken, das bezüglich der Flüssigkeiten und Gase bei Schülern lange Zeit bestehen bleibt, in Diskontinuumsvorstellungen umgewandelt werden, ohne dass die Schüler die Gelegenheit erhalten, „die Kontinuumsvorstellung sozusagen ins Teilchenmodell hineinzu retten“ [1]. Detaillierte Ausführungen zur Methodik hinsichtlich dieses Problemkreises sind bei Fladt [1] nachzulesen.

Trotz aller methodisch richtigen Bemühungen muss man damit rechnen, dass der Horror vacui bei Schülern wie bei Erwachsenen immer wieder hervortreten kann – insbesondere verbal zeigen sich oft Schwierigkeiten in der Vorstellung vom „Nichts“. So formulierte ein gestandener Studienrat für Physik im Unterricht seiner Primaner: „Stellen Sie sich vor, der ganze Raum hier wäre mit Vakuum gefüllt!“ (Abiturzeitung des Jahrgangs 1965 am Gymnasium Lehrte).

Literatur

- [1] Fladt, R.: *Kurskorrektur im Chemieunterricht. Dargestellt an der Einführung und Anwendung des Teilchenmodells in der Sekundarstufe I*. MNU 37 (1984), 354
- [2] Girnus, W.: *Von Wolfgang Döbereiner zu Julius Lothar Meyer*. CiS 8/9 (1980), 330
- [3] Primas, H.: *Kann Chemie auf Physik reduziert werden?* CiuZ 19 (1985), 109
- [4] Primas, H., Müller-Herold, U.: *Elementare Quantenchemie*. Stuttgart 1984 (Teubner)
- [5] Greiner, W.: *Ist das Vakuum wirklich leer?* Wiesbaden 1980 (Steiner)
- [6] Lasswitz, K.: *Geschichte der Atomistik*. Bände 1 und 2. Hamburg 1890 (Voss)
- [7] Dijeiksterhuis, F.J.: *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin 1956 (Springer)
- [8] Capelle, W.: *Die Vorsokratiker*. – Stuttgart 1968 (Kröner)
- [9] Galilei, G.: *Unterredungen und mathematische Demonstrationen* (1638). In: *Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften*. Leipzig 1890 (Engelmann)
- [10] Torricelli, E.: *Brief an M. Ricci* vom 11.06.1644. Aus: Samburski, S.: *Der Weg der Physik*. München 1958 (Deutscher Taschenbuchverlag)
- [11] Ramsauer, S.: *Grundversuche der Physik in historischer Darstellung*. Berlin 1953 (Springer)
- [12] Pascal, B.: *Nouvelles expériences touchant le vide* (1647). *Oeuvres Complètes*, Paris 1970
- [13] Guericke, O.v.: *Neue „Magdeburgische“ Versuche über den leeren Raum* (1672). In: *Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften*. Leipzig 1894 (Engelmann)
- [14] Avogadro, A.: *Versuch einer Methode, die Massen der Elementarmolekeln der Stoffe zu bestimmen* (1811). In: *Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften*. Leipzig 1889
- [15] Pfundt, H.: *Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge*. MNU 28 (1975), 157
- [16] Pfundt, H.: *Vorunterrichtliche Vorstellungen von stofflicher Veränderung*. *Chim.did.* 8 (1982), 161
- [17] Novick, S., Nussbaum, J.: *Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age-Study*. *Sc.Ed.* 85 (1981), 187
- [18] Kircher, E., Heinrich, P.: *Eine empirische Untersuchung über Atomvorstellungen bei Hauptschülern im 8. und 9. Schuljahr*. *Chim.did.* 10 (1984), 199
- [19] Kircher, E.: *Schülervorstellungen und Lebenswelt*. In: GDGP, *Zur Didaktik der Physik und Chemie*. Alsbach 1984 (Leuchtturm)
- [20] Barke, H.-D.: *Einführung erster Modellvorstellungen unter Berücksichtigung des „Horror vacui“ bei Schülern*. In: Hammer, H.O., Reiners, Ch.: *Chemiedidaktik – Brücke zwischen Theorie und Unterrichtspraxis*. Köln 1990 (Festschrift)
- [21] Münch, R., u.a.: *Luft und Gewicht*. *NiU P/C* 30 (1982), 429
- [22] Voss, D.: *Gase in den Vorstellungen von Jugendlichen*. Staatsexamensarbeit. Münster 1999
- [23] Matuschek, C., Jansen, W.: *Chemieunterricht und Geschichte der Chemie*. *Praxis (Chemie)* 34 (1985), 3
- [24] Wandersee, J.H.: *Can the history of science help science educator anticipate student's misconceptions?* *J. of Research in Sc.Teaching* 23 (1985), 581, 594

Experimente zu „9 Horror vacui“

V 9.1: Luft zwischen den Teilchen des Wasserdampfs?

Problem: Jugendliche vermuten zwischen den kleinsten Teilchen von Gasen – auch denen von Luft – die Luft. Sie unterliegen dem „Horror vacui“, der Vorstellung, dass es keine materiefreien Räume zwischen den Teilchen eines Gases gibt. Mit dem Experiment soll in geschlossener Apparatur gezeigt werden, dass Wasser verdampft und zum gleichen Volumen kondensiert, dass also keine Luft von außerhalb hinzutreten kann, um die Zwischenräume zwischen den Wasserdampf-Teilchen ausfüllen zu können. Es ist allerdings die Diskussion möglich, inwieweit in Wasser gelöste Luft beim Erhitzen frei wird und zum Wasserdampf hinzu tritt.

Materialien: Großes Reagenzglas mit Stopfen, Glaswanne, Brenner

Durchführung: Ein randvoll mit Wasser gefülltes Reagenzglas wird mit Hilfe des Stopfens in einer pneumatischen Wanne unter Wasser geöffnet, es wird seitlich mit dem Brenner erhitzt, bis Wasserdampf entsteht und das Wasser teilweise nach unten aus dem Reagenzglas drückt. Nach Entfernen des Brenners wird solange gewartet, bis die Wassersäule nach oben steigt.

Beobachtung: Beim Erhitzen sinkt der Wasserspiegel nach unten, nach Entfernen des Brenners bewegt er sich nach oben. In der Reagenzglasspitze bleibt – auch bei Zimmertemperatur – eine kleine Gasblase übrig.

V 9.2: Luft zwischen den Teilchen des Butans?

Problem: Im Experiment mit dem Wasserdampf spielt in der Tat die gelöste Luft eine – wenn auch für die Problematik unbedeutende – Rolle. Um sowohl dieses Phänomen als auch die Identifizierung des Wasserdampfes mit Luft auszuschließen, soll ein Experiment mit dem Gas Butan durchgeführt werden. Auch in diesem Fall wird ein geschlossener Kolben verwendet, in den weder Gas hinein kommen oder heraus entweichen kann (vgl. auch V1.12).

Materialien: Gasverflüssigungspumpe (vgl. auch Bild in V1.12); Butan (F^+) (Campinggaskartusche)

Durchführung: Die Hülse der Pumpe wird restlos (durch Luftverdrängung) mit Butangas gefüllt. Der Kolben wird aufgesetzt, sehr kräftig hineingedrückt und in die Rasterung eingerastet. Der Kolben wird wiederum ausgerastet, losgelassen und beobachtet.

Beobachtung: Nach Hineindrücken des Kolbens ist ein großer Tropfen einer farblosen Flüssigkeit zu erkennen. Bei Loslassen des Kolbens bewegt sich dieser nach oben, der Flüssigkeitstropfen verschwindet langsam unter Abkühlung der Hülssenspitze, dasselbe Gasvolumen wie vorher ist zu beobachten.

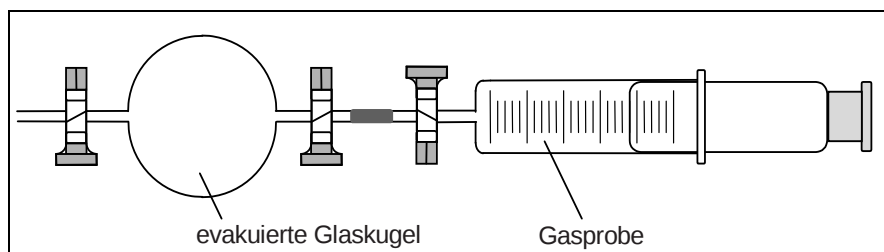
V 9.3: Luft hat eine spezifische Dichte

Problem: Schüler akzeptieren oftmals farblose Gase wie Luft, Sauerstoff oder Stickstoff nicht als chemische Substanzen, und man muss sie im Experiment davon überzeugen, dass Gase eine Dichte oder Schmelz- bzw. Siedetemperatur besitzen wie andere bekannte feste oder flüssige Substanzen auch. Die Dichte oder „Litermasse“ ist relativ einfach mit einer Gaswägekugel zu demonstrieren.

Materialien: Gaswägekugel mit zwei Hähnen, Wasserstrahlpumpe, Kolbenprober, Waage

Durchführung: Die Gaswägekugel wird mit der Wasserstrahlpumpe evakuiert und genau gewogen. Ein Kolbenprober, der mit 100 mL Luft gefüllt ist, wird angeschlossen, die Luft vollkommen in die Kugel überführt und die Kugel erneut gewogen.

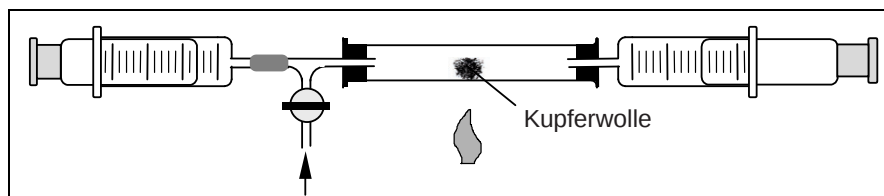
Beobachtung: 100 mL Luft wiegen 0,13 g, die Dichte beträgt entsprechend 1,3 g pro Liter.



V 9.4: Luft ist ein Gasgemisch aus Sauerstoff und Stickstoff

Problem: Um Luft noch weitergehend als Substanz oder noch konkreter als Gemisch verschiedener Stoffe zu demonstrieren, kann ein Luftbestandteil gebunden werden – etwa Sauerstoff an Kupfer – und der andere als übrig bleibendes Gas untersucht werden: Stickstoff. Um Sauerstoff als sehr reaktionsfreudiges Gas vorzustellen, wird zusätzlich Eisenwolle in reinem Sauerstoff entzündet. Durch Tabellen kann auch über die anderen Luftbestandteile wie Edelgase, Kohlenstoffdioxid oder Wasserdampf informiert werden.

Materialien: Zwei Kolbenprober, Verbrennungsrohr, großes Reagenzglas, Standzylinder mit Deckglas, Kerze, Holzspan; Kupferwolle, Eisenwolle (F), Sauerstoff (O), Sand



Durchführung: Eine Apparatur – aus zwei Kolbenprobern und einem Verbrennungsrohr bestehend – wird aufgebaut, ein Kolbenprober mit genau 100 mL Luft gefüllt. In das Verbrennungsrohr wird genügend Kupfer- oder Eisenwolle gegeben. Sie wird in der abgeschlossenen Apparatur stark mit dem Brenner erhitzt und die Luft darüber geleitet. Das Restgas wird pneumatisch in ein Reagenzglas überführt und eine brennende Kerze hinein getaucht.

Der Boden des Standzylinders wird mit Sand bedeckt, reiner Sauerstoff durch Luftverdrängung eingefüllt und abgedeckt. Ein Holzspan wird entzündet, der brennende Span ausgeblasen und der glimmende Span in den Sauerstoff gehalten („Glimmspanprobe“). Eine lange Spindel aus Eisenwolle wird entzündet und in den erneut mit Sauerstoff gefüllten Standzylinder getaucht.

Beobachtung: Die Wolle reagiert zu einer schwarzen Substanz, von 100 mL farblosem Gas bleiben nach Abkühlung nur 80 mL über. In diesem Restgas erlischt eine brennende Kerze.

Der glimmende Holzspan brennt hell in Sauerstoff auf, Eisenwolle reagiert mit gleißend weißer Flamme, eine schwarze Substanz bleibt zurück.

V 9.5: Luft, Sauerstoff und Stickstoff lassen sich zu Flüssigkeiten kondensieren

Problem: Farblose Gase sind mit den Sinnen zu beurteilen, wenn sie kondensiert als Flüssigkeiten vorliegen, als flüssige Luft oder als flüssiger Stickstoff mit Temperaturen von fast minus 200°C. Flüssiger Stickstoff ist in großen Industriebetrieben oder chemischen Instituten zu erhalten und in Dewar-Gefäßen zu transportieren. Er sollte den Schülern vorgestellt werden, um letzte Zweifel am Stoffbegriff bezüglich der Luft auszuräumen – auch weil es eine so außergewöhnliche Substanz ist. Neben dem Kennenlernen dieser Flüssigkeit sind zahlreiche Experimente möglich, die der Experimentalliteratur zu entnehmen sind.

Materialien: Dewar-Gefäß, Reagenzglas, Glasrohr; flüssiger Stickstoff, Sauerstoffflasche (O), Zigarette, Luftballon.

Durchführung: Flüssiger Stickstoff wird auf dem Fliesentisch ausgeschüttet. Ein Reagenzglas wird tief in die Flüssigkeit getaucht, mit einem Glasrohr gasförmiger Sauerstoff langsam durch das Reagenzglas geleitet. Die neu entstandene Flüssigkeit wird beobachtet. Eine Zigarette wird in die Flüssigkeit getaucht und an der Luft entzündet. Ein mit Atemluft aufgeblasener Luftballon wird in flüssigen Stickstoff getaucht; nachdem die Luft kondensiert ist, wird er heraus genommen.

Beobachtung: Der flüssige Stickstoff bildet kleine Kügelchen, die über den Fliesentisch rollen und schnell restlos verdampfen. Bei der tiefen Temperatur flüssigen Stickstoffs kondensiert gasförmiger Sauerstoff zu flüssigem Sauerstoff mit blauer Farbe. Die Zigarette verbrennt sehr schnell mit heller Flamme. Der im Stickstoff geschrumpfte Luftballon bläht sich an der Luft wieder zur ursprünglichen Größe auf.

V 9.6: Gibt es materiefreie Räume?

Problem: Um auf historisch-genetischem Weg zu demonstrieren, dass es materiefreie Räume gibt, ist das Experiment von Torricelli geeignet. Es zeigt neben dem Vakuum oberhalb der Quecksilbersäule auch den Luftdruck an und gibt eine Möglichkeit, von der Höhe der Quecksilbersäule ausgehend die alte, aber anschauliche Einheit Torr zu erarbeiten und heute übliche Druckeinheiten abzuleiten oder zu diskutieren.

Materialien: 1 m langes Glasrohr, das einseitig zugeschmolzen ist (vgl. V1.1), passender kleiner Stopfen, Kristallisierschale, kleiner Trichter, Sicherheitswanne, Zollstock; Quecksilber (T).

Durchführung: Die Kristallisierschale wird in eine Sicherheitswanne gestellt und zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt (vgl. Bild von V1.1). Das einseitig zugeschmolzene Glasrohr ist über der Sicherheitswanne mit Hilfe eines kleinen Trichters vollständig mit Quecksilber zu füllen, mit dem Stopfen zu verschließen und unter dem Quecksilber der Kristallisierschale zu öffnen. Die Höhe der Quecksilbersäule wird mit dem Zollstock gemessen. Das Rohr wird festgehalten und schräg gestellt, bis das Quecksilber das gesamte Glasrohr ausfüllt, das Rohr wird wieder senkrecht gestellt.

Beobachtung: Die Quecksilbersäule im Glasrohr sinkt nach dem Öffnen schlagartig ab, die Höhe wird mit etwa 76 cm (je nach herrschendem Luftdruck!) gemessen. In Schräglage füllt das Quecksilber das gesamte Glasrohr, in senkrechter Stellung ist wiederum dieselbe Höhe der Quecksilbersäule zu beobachten.

V 9.7: Ein leeres Glas ist mit Luft gefüllt

Problem: In der Umgangssprache spricht man vom leeren Glas und weiß, dass es mit Luft gefüllt ist. Der Ausdruck „leer“ ist deshalb ungeeignet, um das Vakuum zu kennzeichnen. Es ist besser vom „Nichts“ im Vakuum zu sprechen oder davon, dass ein Behälter frei von jeder Materie ist, dass er „materiefrei“ ist (vgl. evakuierte Glaskugel in V9.3). Zur Abgrenzung beider Zustände soll der leere, aber mit Luft gefüllte Raum eines Becherglases im Experiment ausdrücklich demonstriert werden.

Materialien: Glasschale, Becherglas (400 mL), Kolbenprober mit Hahn

Durchführung: Die Glasschale wird mit Wasser gefüllt, das leere Becherglas zunächst mit der Öffnung nach unten unter die Wasseroberfläche getaucht. Das Becherglas wird dann durch Umdrehen mit Wasser gefüllt, das mit Wasser gefüllte Becherglas herausgehoben und eingespannt. Der Inhalt des mit 100 mL Luft gefüllten Kolbenprobers wird in das Becherglas überführt.

Beobachtung: Das Becherglas füllt sich beim Eintauchen unter die Wasseroberfläche nicht mit Wasser, sondern es bleibt mit Luft gefüllt. Aus dem mit Wasser gefüllten Becherglas wird dasselbe Volumen Wasser herausgedrückt, wie Luft durch den Kolbenprober hinein kommt.

V 9.8: Volumenzunahme bei der Ethanol-Verdampfung

Problem: Der materiefreie Raum zwischen den Teilchen eines Gases kann auch in der Weise demonstriert werden, dass eine kleine Portion einer leicht verdampfenden Flüssigkeit durch Erhitzen in einer abgeschlossenen Apparatur in den gasförmigen Zustand überführt wird. Das sehr viel größere Dampfvolumen lässt sich beobachten und mit der Zunahme der freien Weglänge zwischen den Teilchen interpretieren. Kühlt man wieder ab, so bildet sich das kleine Flüssigkeitsvolumen zurück: Die freie Weglänge wird drastisch kleiner, es kann sich also nicht um Luft oder um ein anderes Gas zwischen den Teilchen handeln.

Materialien: Kolbenprober mit kurzem Schlauch, Glühröhrchen, großes Becherglas (passend für den gesamten Kolbenprober), Brenner; Ethanol (F).

Durchführung: Das Becherglas wird mit Wasser gefüllt, das Wasser bis zum Sieden erhitzt. Das Glühröhrchen wird verkürzt (Glasschneider), die Spitze mit 0,5 mL Ethanol gefüllt und luftdicht an den Kolbenprober angeschlossen. Diese Apparatur wird in das heiße Wasser gesenkt und beobachtet. Sie wird bald aus dem Wasserbad herausgeholt und zur Abkühlung waagerecht abgelegt.

Beobachtung: Die Flüssigkeit verdampft, der Kolben des Kolbenprobers bewegt sich aus der Hülse heraus und zeigt schließlich ein Volumen von bis zu 100 mL an. Mit dem Abkühlen kondensiert der Dampf zur Flüssigkeit, das Volumen sinkt auf den Ausgangswert zurück.

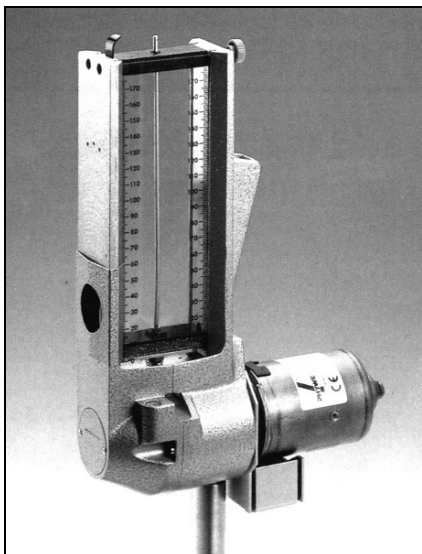
M 9.9: Modellexperiment zur Volumenzunahme beim Verdampfen

Problem: Um die Teilchen-Interpretation zur Volumenänderung anschaulich zu machen, können Modellexperimente hilfreich sein. Beispielsweise kann das im Lehrmittelhandel angebotene „Gerät zur kinetischen Gastheorie“ zum Einsatz kommen: Je höher die Frequenz der Vibrationsplatte des Gerätes eingestellt wird, desto größer werden die Abstände zwischen den Kugeln, das Volumen der sich bewegenden Kugeln vergrößert sich. Das Modellexperiment sollte hinsichtlich des Modellbegriffs diskutiert werden: Es zeigt zwar die Volumenzunahme beim Verdampfen einer Flüssigkeit, allerdings nicht die selbständige Teilchenbewegung (Vibrationsplatte und Motor sind irrelevante Zutaten), es zeigt ebenfalls nicht den Sachverhalt, dass der Raum zwischen den Teilchen materiefrei ist (im Modell befindet sich Luft zwischen den Kugeln).

Materialien: Gerät zur kinetischen Gastheorie, kleine Kugeln

Durchführung: Das Gerät wird mit einer geeigneten Anzahl kleiner Kugeln gefüllt. Die Vibrationsplatte wird auf niedrigster Stufe einreguliert: Modell der Flüssigkeit. Die Frequenz der Vibrationsplatte wird nach und nach bis zum Maximalwert erhöht: Modell des Dampfes. Die Frequenz wird variiert.

Beobachtung: Bei Erhöhung der Vibrationsfrequenz nimmt die Bewegung der Kugeln so stark zu, dass der Kolben des Gerätes nach oben gedrückt wird und die sich stark bewegenden Kugeln ein immer größer werdendes Volumen einnehmen. Nimmt die Frequenz ab, so verkleinert sich das Volumen der bewegten Kugeln, der Kolben sinkt nach unten.



Hinweis: Ist das beschriebene Gerät nicht verfügbar, können kreisend mit der Hand bewegte Kugeln eine Kristallisierschale zunächst ausfüllen, die Kugeln werden in eine sehr viel größere Glasschale umgefüllt und darin kräftig hin und her bewegt (mit dem Tageslichtprojektor projizieren).

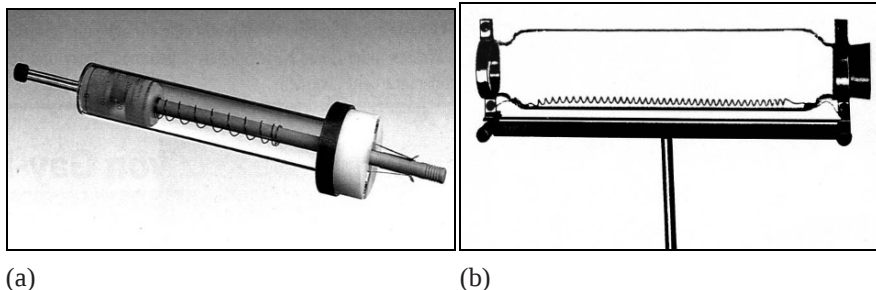
V 9.10: Anzahl der H_2 - und O_2 -Moleküle bei der Wassersynthese (Satz von Avogadro)

Problem: Durch die vorherigen Experimente ist deutlich geworden, dass das Volumen eines Gases nicht durch die Größe der Teilchen, sondern durch die starke Eigenbewegung der Teilchen bzw. deren freie Weglängen bestimmt wird. Diese Voraussetzung ist unerlässlich, um aus Volumenverhältnissen bei Gasreaktionen die Aussage des Satzes von Avogadro ableiten zu können. So ist es etwa möglich, die Bildung von Wasser bzw. Wasserdampf aus den Elementen in Eudiometerrohren zu beobachten und aus den beobachtbaren Volumina den Zusammenhang von Gasvolumen und Teilchenanzahl plausibel zu machen.

Materialien: Kolbeneudiometer für die Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff bei Zimmertemperatur (a), zwei Kolbenprober mit Hahn, passende Gummikappen, Zündfunkengeber, Kabel, Gasspritzen, Heizmantel für Kolbeneudiometer (b), Spannungsquelle für Heizmantel; Wasserstoff (F^+), Sauerstoff (O), Stickstoff (Stahlflaschen)

Durchführung: a) In zwei Kolbenprobern werden jeweils Wasserstoff und Sauerstoff abgefüllt und mit einer Gummikappe verschlossen: daraus sind mit je einer Gasspritze die Gasportionen zu entnehmen.

In das Eudiometer sind mit Hilfe der Gasspritzen jeweils Wasserstoff und Sauerstoff in verschiedenen Volumenverhältnissen zu füllen, die Gemische mit dem Zündfunkengeber zu zünden (zur Sicherheit ist nach Gebrauchsanweisung auf ein ausreichendes Stickstoff-Polster zu achten, das anfangs eingefüllt wird).

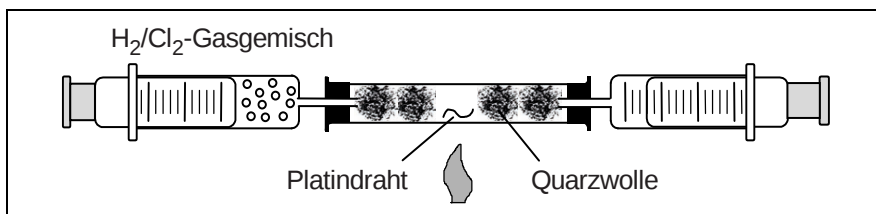


b) Das Kolbeneudiometer wird in den Heizmantel montiert, eine Spannung einreguliert, die eine Temperatur der eingeschlossenen Luft von etwa 110°C erlaubt. 2 mL Wasserstoff und 1 mL Sauerstoff werden – auf Grund der Beobachtung der Reaktionen in Versuch (a) – eingefüllt, das Gemisch wird mit dem Zündfunkengeber gezündet und das entstehende Gasvolumen abgelesen (der entstehende Wasserdampf bildet hier das Gaspolster, es ist kein Stickstoff notwendig).

Beobachtung: a) Nur das Gasgemisch mit dem Volumenverhältnis 2 : 1 der Gase Wasserstoff und Sauerstoff reagiert unter einem heftigen Knall vollständig ohne Restgas. b) Nach Zünden des stöchiometrischen Knallgases entsteht bei Temperaturen über 100°C ein farbloses Gas, das zwei Drittel des Knallgasvolumens einnimmt: aus beispielsweise 2 mL Wasserstoff und 1 mL Sauerstoff, also aus 3 mL Gasgemisch, bildet sich bei 100°C das Wasserdampf-Volumen von genau 2 mL.

Hinweis: Ein ähnlich auszuwertendes Experiment stellt die Synthese von Chlorwasserstoff aus den Elementen dar: Man mischt 50 mL Wasserstoff und 50 mL Chlor (T, N) im Kolbenprober und lässt ihn einige Stunden im diffusen Licht liegen (Chlor-Knallgas! Schutzbrille! Auf keinen Fall im hellen Sonnenlicht operieren: Explosionsgefahr). Nach der Reaktion des gelblichen Gasgemischs haben sich 100 mL farblosen Chlorwasserstoffs (C, T) gebildet, nach Einsaugen von wenig Wasser löst sich das Gas vollständig darin: Salzsäure (C).

Es ist auch möglich, das Chlor-Wasserstoff-Gemisch des Kolbenprobers innerhalb einer Minute während des Unterrichts kontrolliert zur Reaktion zu bringen: Über ein Quarzglasrohr (6 mm stark) wird ein zweiter, leerer Kolbenprober angeschlossen, der das gebildete Chlorwasserstoff-Gas aufnehmen soll. Das Quarzglasrohr ist mit einem Platindraht-Stückchen versehen, das durch fünf Quarzglaswolle-Bäusche eingeschlossen wird (Bild c). Der Draht wird erhitzt, das Gasgemisch so langsam darüber geleitet, dass die sichtbaren Miniexplosionen innerhalb der Bäusche bleiben. Vorsicht! Die Lichtblitze dürfen nicht den Kolbenprober mit dem Gasgemisch erreichen, es würde explodieren! Schutzbrille!



(c)

10 Raumvorstellung zur Struktur von Teilchenverbänden

„Imagination is more important than knowledge.“ Diese Aussage von Albert Einstein kennzeichnet die Wichtigkeit von Vorstellungen, die für ein erfolgreiches Lernen und Behalten unabdingbar sind und weit über das formale Wissen hinaus gehen. Zu allen Vorstellungen, die unsere Schüler und Schülerinnen besitzen oder entwickeln, gehört das Raumvorstellungsvermögen. Es wird ganz zweifelsfrei für die Geometrie und die Geographie benötigt und gefördert, es ist allerdings ebenso relevant für den erfolgreichen Unterricht im Fach Chemie als auch für ein Verstehen von Chemie ganz allgemein: Heute arbeitende Chemiker und Chemikerinnen verwenden fast ausschließlich drei-dimensionale Computerzeichnungen, die die instrumentelle Analytik liefert, und bauen räumliche Strukturvorstellungen zur Beurteilung und Entwicklung neuer Substanzen auf (vgl. Kap. 13).

Blättert man in Schulbüchern des Faches Chemie, so findet man bereits für die Sekundarstufe I Abbildungen, die dreidimensionale chemische Strukturen zeigen (vgl. Abb. 10.1): Kugelpackungen als Modelle für Metallstrukturen [1], Gitterdarstellung der Cäsiumchlorid-Struktur, aus der die Koordinationszahl 8 hervorgehen soll [2], Modelle zu Glucose- und Saccharose-Molekülen [2].

In Schulbüchern zum Unterricht in der Sekundarstufe II sind weit diffizilere Strukturen abgebildet, etwa die Stereo- oder Spiegelbild-Isomeren organischer Moleküle.

Erkennen die Jugendlichen in den zweidimensionalen Bildern die gewünschten dreidimensionalen Bezüge? Ab welchem Alter sind sie dazu in der Lage? Lässt sich das Raumvorstellungsvermögen trainieren? Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede? Gibt es Unterschiede in verschiedenen Kulturen? Diese und andere Fragen sollen anhand vorhandener Literatur diskutiert und auf der Grundlage eigener empirischer Erhebungen beantwortet werden.

Die Antworten sind auch deshalb wichtig, um den von den Autoren favorisierten Ansatz eines strukturorientierten Chemieunterrichts sinnvoll zu vertreten und entwicklungspsychologische Schwierigkeiten zu untersuchen, die bei der Arbeit von Jugendlichen mit dreidimensionalen Modellen zur Struktur der Materie auftreten können (vgl. auch Kap. 13).

10.1 „Raumvorstellung“ als Faktor der Intelligenz

Intelligenztests werden in großer Zahl konstruiert, vielerorts eingesetzt und ausgewertet, ohne einen Konsens unter Psychologen zu kennen, wie Intelligenz zu definieren ist. Dieser Zusammenhang wird gern ironisch kommentiert: „Eine beneidenswerte Situation: Sie wissen nicht, was es ist. Aber sie können es messen.“ [3]

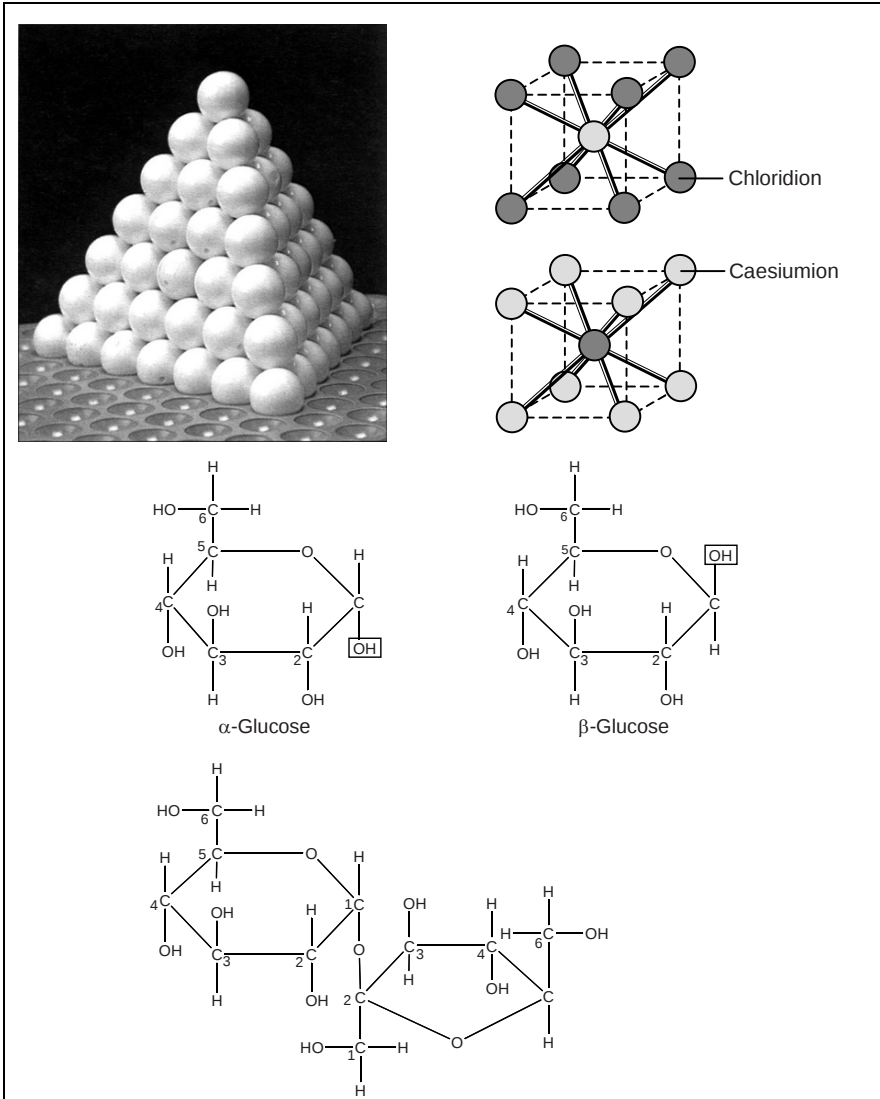


Abb. 10.1: Beispiele für räumliche chemische Strukturen in SI-Schulbüchern ([1], [2])

Man ist sich allerdings einig darin, dass Intelligenz strukturiert ist und mehrere Faktoren vorliegen. Darüber, wie viele und welche Faktoren es sind, gibt es mehrere Theorien, die alle auf Grund verschiedener Ergebnisse der Faktorenanalyse gefunden wurden. Schon im Jahre 1938 behauptete Thurstone [4] die Existenz von Primärfaktoren, von „primary abilities“, wie er sie nannte. Es sind im Wesentlichen folgende sieben Faktoren: *Space* (S) repräsentiert die Befähigung zur räumlichen Vorstellung, *Number* (N) zur Ausführung einfacher Rechenoperationen, *Verbal Comprehension* (V) zur Erfassung sprachlicher Bedeutungen und Beziehungen, *Verbal Fluency* (W) zur Wortflüssigkeit ohne besondere Berücksichtigung

der Wortbedeutungen, *Memory* (M) zur mechanischen Gedächtnisleistung, *Reasoning* (R) zu logischem Schließen und *Perceptual Speed* (P) zu raschem Erkennen von Details, die in irrelevantem Material eingebettet sind. Der Faktor Space wird in vielen Darstellungen der Intelligenzfaktoren an erster Stelle genannt und scheint deshalb der Primärfaktor der Intelligenz schlechthin zu sein.

Faktor Raumvorstellung. Rost [5] beschreibt diesen Faktor folgendermaßen:

„Der Faktor S (space, spatial, spatial perception, space relations, Raumvorstellung, räumliche Beziehung, Erfassen räumlicher Verhältnisse, räumliches Vorstellungsvermögen, räumliche Vorstellungsfähigkeit) beinhaltet die Fähigkeit, mit zwei- und dreidimensionalen Objekten auf der Vorstellungsebene zu operieren und trat mit als erster und breit fundierter Faktor hervor; er wurde immer wieder gefunden, teils als Ganzheit, teils auch in Unterkomponenten aufgegliedert. Thurstone sprach später von drei unterschiedlichen Faktoren S1, S2 und S3. Nach Thurstone handelt es sich bei S1 um die Fähigkeit, die Identität eines Objektes aus verschiedenen Winkeln oder eine Konfiguration, die in verschiedene Positionen gebracht wird, zu erkennen“.

Bei S2 geht es um die Fähigkeit, sich eine Konfiguration mit Bewegung zwischen Teilen dieser Konfiguration vorzustellen, S3 beinhaltet die Fähigkeit, räumliche Beziehungen, bei denen die Körperorientierung der Person eine wichtige Rolle spielt, zu erfassen. Die statistische Eigenständigkeit der Faktoren ließ sich allerdings nicht nachweisen, sondern führte zu weiteren Modellen der Unterfaktoren. So werden beispielsweise zwei Subfaktoren bezeichnet, nämlich *spatial relation* (räumliche Beziehungen) und *visualisation* (Veranschaulichung) [5]. Unter „räumlichen Beziehungen“ wird die Fähigkeit subsummiert, die räumliche Anordnung von Teilen innerhalb eines visuellen Reizes zu verstehen, unter „Veranschaulichung“ eine Fähigkeit, die die mentale Manipulation visueller Abbilder erfordert. Sollte entschieden werden, welcher der Fähigkeiten der *Arbeit mit Strukturmodellen im Chemieunterricht* zuzuordnen ist, so würde man den Subfaktor „spatial relation“ auswählen.

Als „die im Augenblick am besten gesicherte Grundlage zur Abschätzung der Genetik der Intelligenzfaktoren“ führt Pawlik [6] die Arbeit von Vandenberg an, die für den Faktor „Räumliche Beziehungen einen signifikanten F-Wert“, also ein Argument für die Vererbung des Raumvorstellungsvermögens ausweist. Und er erwähnt Untersuchungen von Stafford, „die für eine geschlechtsgekoppelte Vererbung der Faktoren Logisches Denken und Räumliche Beziehungen sprechen würden“. Hofstätter [7] bestätigt ebenfalls, „daß der Thurstone'sche S-Faktor (räumliches Vorstellungsvermögen) durch ein rezessives Gen im X-Chromosom vererbt wird“.

Die Bedeutung des Faktors Raumvorstellung sei zusammengefasst. Sie scheint darin zu liegen, dass diesbezügliche Items in einem Test „einen hohen prognostischen Wert besitzen“ [8], dass in der Industrie „Raumwahrnehmungstests häufig die höchste Korrelation mit der Leistung am Arbeitsplatz ausweisen und Intelligenztests vielfach an zweiter Stelle rangieren“ [9]. So spielen „Fähigkeiten der räumlichen Vorstellung die größte Rolle bei Bauberufen“, „Elektrizitätsarbeiter wiederum werden leistungsmäßig bei weitem relativ am besten durch Tests für räumliches Vorstellen eingestuft“ [10], und es erwies sich „räumliches Denken als brauchbar bei der Vorhersage des Erfolgs in Feinmechanik“ [11]. Außerdem zeig-

ten sich „Faktoren wie räumliches Vorstellungsvermögen als ziemlich umweltresistent“ [12] und stellen „erziehungsunabhängige Aspekte der Intelligenz dar“ [13].

Schließlich scheint das Raumvorstellungsvermögen auch für den *Schulerfolg* wichtig zu sein. Nach Rost [5] „belegen zahlreiche Forschungsarbeiten zweifelsfrei die Relevanz der Raumvorstellung für den Schulerfolg“. Auch Coleman und Gotch bestätigen: „There is a strong indication that spatial visualisation skills are related to science achievement“ [14].

Sturzebecher [15] geht von der Voraussetzung aus, „daß der Erfolg auf der weiterführenden Schule in entscheidendem Maße mitbestimmt wird von der Höhe der aktualisierbaren sprachlichen Befähigung“ und vergleicht die Fähigkeit mit dem Raumvorstellungsvermögen von Schülern verschiedener Schularten. Es zeigte sich, „daß Oberschüler im Durchschnitt dabei leistungsfähiger als auf dem Gebiet der Raumvorstellung sind, Hauptschüler dagegen auf diesem Sektor durchschnittlich viel mehr leisten als auf ihrem sprachlichen“.

Geschlechtsdifferenzen. Maier berichtet, dass im Zeitraum von 1932 bis 1991 mehr als 120 Studien zu Geschlechtsunterschieden in der Raumvorstellung vorgelegt wurden und resümiert: „Es manifestieren sich mehr oder weniger stark ausgeprägte Leistungsvorteile zugunsten von Männern (Jungen)“ [16].

Quaiser-Pohl [17] nennt zu den Einflüssen, die zu Geschlechterunterschieden führen, insbesondere „das Erziehverhalten der Eltern, die Medien, die schulische Umwelt, aber auch die Freizeitaktivitäten“. Insbesondere besteht ein „Zusammenhang zwischen räumlichem Vorstellungsvermögen und elterlichem Erziehverhalten mit dem Befund, daß die Kinder, vor allem Knaben, die sich bei Aufgaben aus dem Bereich der räumlichen Wahrnehmung besonders hervortaten, diejenigen waren, die sich weiter von zu Hause weg bewegten und von ihren Eltern weniger in ihren Aktivitäten beschränkt wurden“.

Schließlich sei der Frage nachgegangen, inwieweit Geschlechterunterschiede durch ein gezieltes *Training* des Raumvorstellungsvermögens nivelliert werden können. Quaiser-Pohl führt diesbezüglich eine amerikanische Studie an:

„Connor, Serbin und Schackman teilten 133 Schüler im Alter von sechs bis zehn Jahren nach dem Zufallsprinzip in Kontroll- und Experimentalgruppe ein, wobei die Experimentalgruppe in Aufgaben des *Children's Embedded Figures Test* trainiert wurde, während sich die Mitglieder der Kontrollgruppe in derselben Zeitdauer lediglich mit dem Versuchsleiter unterhielten. Nur die Mädchen konnten von dem Training in einer Weise profitieren, dass sich ihre Testleistungen signifikant verbesserten, und zwar so stark, dass im Nachtest im Gegensatz zum Vortest keine Geschlechterunterschiede im Raumvorstellungsvermögen mehr nachzuweisen waren. Bei Jungen blieben die Ergebnisse in beiden Gruppen konstant. Die Autoren erklären sich dieses Phänomen folgendermaßen: ‚The specific type of experience boys have in manipulating their environment may develop their visual-spatial ability to its full capacity prior to entering the experimental situation. Girls, with less experience of this type, may be able to use appropriately designed training procedures to more fully bring out their ability‘ “ [17].

10.2 Eigene Untersuchungsergebnisse

Mit einem ersten Testentwurf wurde bereits 1978 eine Untersuchung mit 250 Schülern und Schülerinnen der Klassenstufen 7–9 aller Schularten durchgeführt [18]. Es konnte durch die Korrelation von Raumvorstellungsvermögen und Intelligenzquotienten gezeigt werden, dass bei den Probanden der 7. Klassen große Unterschiede in den Raumvorstellungsleistungen vorhanden sind und deshalb ein Chemieunterricht mit Strukturmodellen noch nicht angebracht ist. In den Klassenstufen 8 und 9 liegen ausgewogene Raumvorstellungsleistungen vor, sodass diese Fähigkeit bei der Mehrzahl der Lernenden vorausgesetzt werden darf.

Mit einem revidierten Test wurde die Trainierbarkeit des Raumvorstellungsvermögens durch die Verwendung von Strukturmodellen im Chemieunterricht untersucht [19]. Mit Hilfe von Kontrollgruppen konnte gezeigt werden, dass der Anstieg der Raumvorstellungsleistungen zu einem Teil auf die Kenntnis des Tests beim zweiten Testdurchgang zurückzuführen ist, zum größeren Teil aber auf den strukturorientierten Chemieunterricht.

Es wurde bei allen Erhebungen festgestellt, dass Mädchen gegenüber Jungen Defizite in den Raumvorstellungsleistungen aufweisen [20]. Diese Ergebnisse waren deshalb auch der Anlass dafür, innerhalb eines Modellversuchs „Mädchen in Naturwissenschaften und Technik MINT“ [21] den Mädchen einen strukturorientierten Chemieunterricht anzubieten –, nicht nur um das Verständnis für den Aufbau der Stoffe und für chemische Reaktionen zu verbessern, sondern auch um das Raumvorstellungsvermögen für Schule und Beruf zu fördern.

10.3 Der Raumvorstellungstest (RVT)

Um das Raumvorstellungsvermögen (RVV) von Jugendlichen für die Belange eines strukturorientierten Chemieunterrichts (vgl. Kap. 13) zu erfassen, wurde ein spezifischer Test entwickelt [21]. Die Aufgaben des Tests verlangen vom Probanden das Erkennen räumlicher Beziehungen in räumlichen Strukturen, die im Testheft naturgemäß nur 2-dimensional abgebildet oder gezeichnet vorliegen: Einige Beispielaufgaben zeigt Abbildung 10.2. Der Raumvorstellungstest umfasst fünf Aufgabengruppen [21], die revidierte Fassung ist vollständig im Anhang dieses Kapitels enthalten.

- Aufgabengruppe 1 „Bausteine in Quadern“ zeigt Zeichnungen von Würfeln und Quadern, die in kleinere Polyeder zerteilt sind. Es soll jeweils die Anzahl kleiner Quader ermittelt werden, die die Körper aufbauen. Man kann einige kleine Quader in den Abbildungen räumlich sehen, andere muss man sich gedanklich vorstellen, weil sie verdeckt sind (vgl. Abb. 10.2).
- Gruppe 2 „Kugeln in Kugelpackungen“ weist dasselbe Testziel auf –, anstelle von Würfeln sind Kugeln in Kugelpackungen abgebildet. Sie sind räumlich zuzuordnen oder abzuzählen, solche Kugeln, die nicht sichtbar sind, müssen in der Vorstellung zugeordnet werden (vgl. Abb. 10.2).

	1.3. Aus wie viel Bausteinen besteht der abgebildete, hohle Körper ? 4 6 8 10 16 (20) 1.4. Wie viel Bausteine braucht man, um den Hohlraum vollkommen auszufüllen ? (4) 6 8 10 16 20
	2.5. Wie viel Kugeln enthält die abgebildete Kugelpackung ? 30 36 50 (55) 56 64 2.6. Wie viel Kugeln liegen ganz im Inneren der Kugelpackung ? 3 4 (5) 6 7 8 2.7. Von wie viel Kugeln wird eine Kugel im Inneren der Kugelpackung berührt ? 6 8 10 (12) 14 16

Abb. 10.2: Beispiele für Aufgaben des Raumvorstellungstests, Lösungen in Klammern

- Gruppe 3 „Stapeln von Kugelschichten“ verlangt vom Probanden den gedanklichen Aufbau von Packungen aus vorgegebenen Kugelschichten und das räumliche Zuordnen meist nicht sichtbarer Kugeln oder Lücken im Inneren sich vorzustellender Packungen (siehe Anhang).
- Gruppe 4 „Auszählen von Elementarzellen“ gibt verschiedene würfelförmige Modelle vor, in denen Teile von Kugeln erkannt und gedanklich zu vollen Kugeln zusammengesetzt sind. In der letzten Aufgabe müssen gar die Kugeln gedanklich durchgeschnitten werden (siehe Anhang).
- Gruppe 5 „Spiegeln und Drehen von Molekülen“ erwartet vom Probanden die Fähigkeit, zweidimensional gezeichnete Modelle von räumlichen Molekülstrukturen in der Vorstellung zu drehen oder zu spiegeln und einander gedanklich räumlich zuzuordnen (siehe Anhang).

Beschreibung des Raumvorstellungstests

Testziel: Ermittlung von Raumvorstellungsvermögen, das im strukturorientierten Chemieunterricht benötigt und weiterentwickelt werden soll.

Testaufbau: Es sind 5 Aufgabengruppen mit jeweils 8 Teilaufgaben, also insgesamt 40 Teilaufgaben (Items) in der angegebenen Zeit zu bearbeiten:

Tabelle 10.1: Aufgabengruppen, Instruktions- und Bearbeitungszeit

Aufgabengruppen	Instruktionszeit	Bearbeitungszeit
1. Bausteine in Quadern	2:00 min	4:00 min
2. Kugeln in Kugelpackungen	2:00 min	7:00 min
3. Stapeln von Kugelschichten	2:00 min	7:00 min
4. Auszählen von Elementarzellen	2:00 min	7:00 min
5. Spiegeln und Drehen von Molekülen	2:00 min	7:00 min
	10:00 min	32:00 min

Testmaterial: Testheft (5 S. zur Instruktion, 5 S. zur Bearbeitung), Antwortbogen (Markierungsbogen), Auswertungsschablone (vgl. Anhang)

Aufgabenart: Mehrfachwahlaufgaben (Auswahl aus 6 Zahlen oder Buchstaben)

Instruktion: schriftlich in jeweils 2:00 min durch je 2 Beispielaufgaben. Die Lösungen der Beispielaufgaben sind auf dem Antwortbogen zum Auffinden des richtigen Antwortfeldes zu markieren, spielen für die Auswertung aber keine Rolle. Es ist zu beachten, dass die Testteilnehmer nach der Instruktion gleichzeitig die Bearbeitung der jeweiligen Aufgabengruppe beginnen und beenden.

Testdauer: 1 Schulstunde:
Instruktionszeit: 10:00 min (2:00 min je Aufgabengruppe)
Bearbeitungszeit: 32:00 min

Auswertung: manuell durch die Auswertungsschablone. Für jedes richtig gelöste Item erhält der Proband 1 Punkt (40 Rohpunkte maximal für den gesamten Test).

Teststatistische Daten. Der Test wurde zur Einschätzung seiner Güte einer Gruppe Schülerinnen der Stufe 8 eines Gymnasiums in Neuss vorgelegt [21]. Es werden zunächst die Schwierigkeitsindizes und Trennschärfekoeffizienten aufgelistet und ausgewertet, danach Reliabilitätskoeffizienten berechnet: Für diesen Zweck wurde derselbe Test mit denselben Probanden nochmals 2 Monate später durchgeführt.

Tabelle 10.2: Schwierigkeitsindizes P der Testaufgaben, Mädchenklasse der Stufe 8

Aufg.	P	Aufg.	P	Aufg.	P	Aufg.	P	Aufg.	P
1.3.	93	2.3.	93	3.3.	57	4.3.	79	5.3.	93
1.4.	93	2.4.	57	3.4.	79	4.4.	86	5.4.	93
1.5.	86	2.5.	36	3.5.	71	4.5.	64	5.5.	100
1.6.	71	2.6.	43	3.6.	71	4.6.	79	5.6.	71
1.7.	43	2.7.	36	3.7.	29	4.7.	29	5.7.	29
1.8.	64	2.8.	29	3.8.	57	4.8.	14	5.8.	64
1.9.	36	2.9.	14	3.9.	43	4.9.	43	5.9.	57
1.10.	21	2.10.	36	3.10.	21	4.10.	36	5.10.	7

Schwierigkeitsindizes. Unter dem Schwierigkeitsindex P eines Items versteht man den prozentualen Anteil der Probanden, die das Item gelöst haben. Der Index ist also bei schwierigen Aufgaben eine kleine Zahl, bei leichten Aufgaben eine große Zahl, sie beträgt maximal 100. Nach einer Formel von Lienert [22] wird P so bestimmt:

$$P = \frac{n_r \times 100}{n}$$

P Schwierigkeitsindex eines Items

n Gesamtzahl der Probanden

n_r Gesamtzahl der Probanden, die das Item richtig gelöst haben

Die Messwerte der Tabelle 10.2 zeigen an, dass

- die Schwierigkeitsindizes gut streuen, also etwa die gleiche Anzahl von Aufgaben geringer, mittlerer und hoher Schwierigkeit vorhanden sind,
- besonders die Kennzahlen der ersten Items einer Aufgabengruppe groß sind und somit – wie beabsichtigt – leichte Aufgaben aus psychologischen Gründen am Anfang stehen,
- die Kennwerte der letzten Aufgaben einer Aufgabengruppe oft niedrig sind, da in vielen Fällen die Schülerinnen wegen der begrenzten Zeit diese Aufgaben nicht bearbeitet haben.

Berechnet man das arithmetische Mittel der Schwierigkeitsindizes, so erhält man $\bar{P} = 57$ mit einer Standardabweichung von $s = 27$. Die Werte bestätigen, dass eine mittlere Schwierigkeit über alle Aufgaben verteilt vorliegt, die durch eine große Streuung von $P = 7$ bis $P = 100$ zustande kommt. Mit diesen Werten korreliert naturgemäß das arithmetische Mittel der Rohpunkte aller Probanden: Bei einer Maximalzahl von 40 Punkten beträgt es $\bar{x} = 24,3$, $s = 7,7$.

Trennschärfekoeffizienten. Diese Kennwerte geben die Korrelation zwischen einzelnen Aufgaben und der Gesamtleistung im Test an, sie sagen etwas darüber aus, inwieweit eine Aufgabe dazu beiträgt, leistungsstarke und schwache Probanden im Sinne des Tests voneinander zu „trennen“. Ein hoher Koeffizient nahe 1,0 zeigt an, dass die entsprechende Aufgabe von den erfolgreichen Probanden im Gesamttest meist richtig, von den „schwachen“ Probanden meist falsch beantwortet oder ausgelassen worden ist – eine solche Aufgabe ist gut für einen Test geeignet. Ein Koeffizient von 0 bringt zum Ausdruck, dass die Aufgabe von starken und schwachen Probanden hinsichtlich des Gesamttests etwa gleich häufig richtig beantwortet wird – solche Aufgaben sind unbrauchbar.

Lienert [22] gibt folgende Formel zur Berechnung des Trennschärfekoeffizienten an:

$$r_{it} = \frac{\bar{x}_r - \bar{x}}{s} \sqrt{p/q}$$

- mit:
- r_{it} Trennschärfekoeffizient
 - $\bar{x}$ arithmetisches Mittel aller Rohwerte
 - s Standardabweichung
 - $\bar{x}_r$ arithmetisches Mittel der Rohwerte von denjenigen Probanden, die das Item richtig gelöst haben
 - p Schwierigkeitsindex $P/100$
 - $q = 1-p$
 - $\sqrt{p/q}$ Tafelwert Tafel 3 [22]

Stellt man $\bar{x} = 24,3$ und $s = 7,7$ in Rechnung, so lassen sich für die einzelnen Aufgaben die Trennschärfekoeffizienten berechnen (vgl. Tabelle 10.3). Die Messwerte zur Aufgabentrennschärfe weisen aus, dass

- der überwiegende Teil der Aufgaben ausreichend trennscharf ist, dass insbesondere 26 Items Koeffizienten aufzeigen, die größer als 0,3 sind,
- von den 40 Aufgaben nur 6 Aufgaben einen Koeffizienten von 0 oder nahe 0 besitzen. Diese Aufgaben müssten bei einer Revision des Tests entfernt und durch trennschärfere Aufgaben ersetzt werden.

Tabelle 10.3: Trennschärfekoeffizienten der Testaufgaben, Mädchenklasse der Stufe 8

Aufgabe	r_{it}	Aufgabe	r_{it}	Aufgabe	r_{it}
1.3.	0,43	3.3.	0,70	5.3	0,24
1.4.	0,43	3.4.	0,00	5.4.	0,42
1.5	0,16	3.5.	0,04	5.5.	0,51
1.6.	0,99	3.6.	0,62	5.6.	0,51
1.7.	0,23	3.7.	0,43	5.7.	0,00
1.8.	0,57	3.8.	0,52	5.8.	0,47
1.9.	0,61	3.9.	0,21	5.9.	0,49
1.10	0,78	3.10.	0,47	5.10.	0,02
2.3.	0,14	4.3.	0,53		
2.4.	0,64	4.4.	0,37		
2.5.	0,77	4.5.	0,03		
2.6.	0,64	4.6.	0,33		
2.7.	0,34	4.7.	0,62		
2.8.	0,27	4.8.	0,61		
2.9.	0,24	4.9.	0,25		
2.10.	0,36	4.10.	0,69		

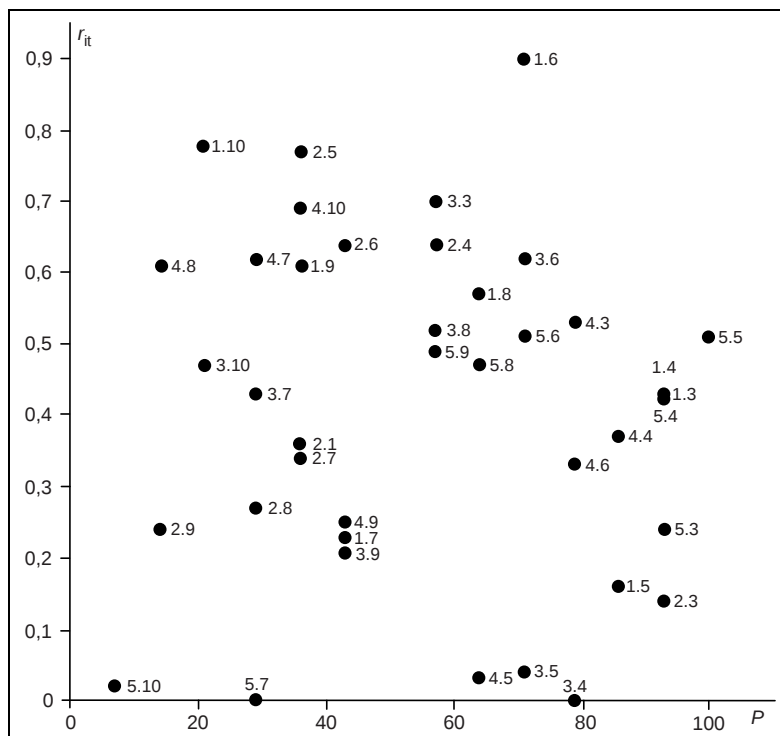


Abb. 10.3: Darstellung der Trennschärfekoeffizienten in Abhängigkeit von Schwierigkeitsindizes

Um die Aufgaben gleichzeitig von *Schwierigkeit* und *Trennschärfe* beurteilen zu können, werden die Trennschärfekoeffizienten der Aufgaben in Abhängigkeit vom Schwierigkeitsindex grafisch aufgetragen. Abbildung 10.3 zeigt grafisch sichtbar auf, dass eine gute Streuung in der Schwierigkeit der Aufgaben vorliegt und die meisten Trennschärfekoeffizienten im Mittelfeld zwischen den Werten 0,3 und 0,8 liegen. Für einen Leistungsvergleich zwischen Schülergruppen oder für andere Leistungsaussagen bezüglich des Raumvorstellungsvermögens kann man mit Hilfe dieser Abbildung ungeeignete Aufgaben entfernen und die ausreichend trennscharfen Aufgaben für die Auswertung auswählen.

Nachdem die Güte des Raumvorstellungstests durch die genannten Kennwerte in befriedigendem Maße ausgewiesen werden kann, sollen schließlich die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität betrachtet werden.

Objektivität. Lienert [22] versteht unter Objektivität den Grad, in dem die Ergebnisse eines Testes unabhängig vom Untersuchungsleiter sind und unterscheidet Durchführungs- und Auswertungsobjektivität. Die *Durchführungsobjektivität* ist sowohl durch die schriftliche Instruktion und die Lösung der Beispielaufgaben als auch durch schriftliche Fragen oder Aufforderungen zur Lösung der Testaufgaben gewährleistet. Die *Auswertungsobjektivität* ist durch die Verwendung von Mehrfachwahlaufgaben und die Schablonenauswertung verwirklicht.

Reliabilität. Angelehnt an die Definition von Lienert versteht man unter der Reliabilität den Grad der Reproduzierbarkeit, mit dem der Test das zu bestimmende Merkmal misst. Es werden mehrere Methoden zur Bestimmung der Reliabilität vorgeschlagen –, für die vorliegende Fassung des Tests soll die Bestimmung des Reliabilitätskoeffizienten auf zwei Wegen erfolgen:

1. durch eine Konsistenzanalyse unter Berücksichtigung der Schwierigkeitsindizes und Trennschärfekoeffizienten der Teilaufgaben nach der Formel von Gulliksen [22],
2. durch die Wiederholung desselben Tests mit derselben Probandengruppe und Berechnung des Maßkorrelationskoeffizienten der Rohpunktwertepaare aus beiden Ergebnissen [22].

Die Formel für die Konsistenzanalyse von Gulliksen lautet:

$$r'_{tt} = \frac{n}{n-1} \left[1 - \frac{\sum pq}{\left(\sum r_{it} \sqrt{pq} \right)^2} \right]$$

n Anzahl der Probanden
 p Schwierigkeitsindex $P/100$
 q $q = 1-p$
 r_{it} Trennschärfekoeffizient

Unter Verwendung der Aufgabenkennwerte (vgl. Tabellen 10.2 und 10.3) und der Tabelle 3 bei Lienert [22] wurde folgender Reliabilitätskoeffizient errechnet:

$$r'_{tt} = 0,94.$$

Zur Wiederholungsmethode wurde der Test mit derselben Probandengruppe zwei Monate später wiederholt. Da der Test bekannt war und in der Zwischenzeit Chemieunterricht mit räumlichen Strukturmodellen stattgefunden hat, wurde ein Anstieg der Schwierigkeitsindizes erwartet. In der Tat konnte festgestellt werden, dass die Indizes für 36 der 40 Aufgaben größer geworden sind –, nur in vier Fällen (Aufgaben 2.8., 3.4., 4.9. und 5.5.) ist die Schwierigkeit geringer ausgefallen. Diese Tatsache allein weist auf eine erstaunliche Testgüte hin.

Nach folgender Formel von Lienert [22] lässt sich aus den Rohpunktwertepaaren ein Korrelationskoeffizient, der Retest-Reliabilitätskoeffizient, errechnen:

$$r_{tt} = \frac{n \sum X_1 X_2 - \sum X_1 \sum X_2}{\sqrt{\left(n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2 \right) \left(n \sum X_2^2 - (\sum X_2)^2 \right)}}$$

n Anzahl der Probanden
 X_1 Rohpunktwert im 1. Test
 X_2 Rohpunktwert im 2. Test

Die Berechnung führt zu dem Wert

$$r_{tt} = 0,92$$

Auf der Grundlage beider Ermittlungsmethoden liegen die Reliabilitätskoeffizienten nahe dem Maximalwert 1. Aus diesem Grunde kann davon ausgegangen werden, dass die Zuverlässigkeit der Messwerte gegeben ist und dass der Test gut reproduzierbare Messwerte liefert.

Validität. Nach Lienert [22] gibt die Validität eines Tests den Grad der Genauigkeit an, mit dem der Test dasjenige Persönlichkeitsmerkmal, das der vorliegende Test messen soll, tatsächlich misst. Das Persönlichkeitsmerkmal, das der vorliegende Test messen soll, ist das Raumvorstellungsvermögen, das für einen an räumlichen Strukturmodellen orientierten Chemieunterricht benötigt wird. Da aus ökonomischen Gründen ein Testheft verwendet wird, muss folgende Einschränkung gemacht werden: Das zu messende Merkmal ist die Fähigkeit, aus 2-dimensionalen Zeichnungen oder Abbildungen 3-dimensionaler Körper oder Strukturen räumliche Beziehungen erkennen zu können. Unter dieser Voraussetzung besitzt der Test triviale Validität bzw. Augenscheinvalidität, da die Übereinstimmung mit dem zu erfassenden Merkmal evident ist [22].

10.4 RVT-Untersuchungen im Raum Münster

Der Raumvorstellungstest wurde auf der Grundlage der teststatistischen Daten noch ein weiteres Mal revidiert und liegt in seiner Endfassung vollständig in der Anlage dieses Kapitels vor.

Er wurde im Rahmen eines Dissertationsvorhabens [23] in Klassenstufen 7–12 in Gymnasien, Realschulen und Gesamtschulen im Raum Münster eingesetzt. Die Testergebnisse sind auf dem Hintergrund der folgenden *Hypothesen* ausgewertet worden:

1. Schwierigkeitsindizes und Trennschärfekoeffizienten weisen eine Verteilung über den gesamten Bereich aus, sie steigen mit der Klassenstufe an.
2. Die RVT-Leistungen, also die Rohpunkt-Mittelwerte, verbessern sich mit ansteigender Klassenstufe.
3. Die Gymnasiasten erreichen höhere RVT-Leistungen als die Nichtgymnasiasten (Realschüler und Gesamtschüler).
4. Die Jungen erreichen höhere RVT-Leistungen als die Mädchen derselben Klassenstufe und derselben Schulform.
5. Die Elementarzelle (Aufgabengruppe 4 des RVT) wird von der Mehrzahl der Jungen und Mädchen auf allen Klassenstufen erfolgreich interpretiert.

Schwierigkeitsindizes und Trennschärfekoeffizienten. Listet man wie in Abbildung 10.3 die Aufgabenkennwerte gegeneinander auf, so erhält man Diagramme, wie sie exemplarisch für die Klassenstufen 7 und 11 in Abbildung 10.4 gezeigt werden. Beide Diagramme weisen aus, dass die Kennwerte im erwarteten Bereich gut verteilt sind: für P variieren sie von 0–100, für r_{it} liegen sie im Bereich von 0–0,9.

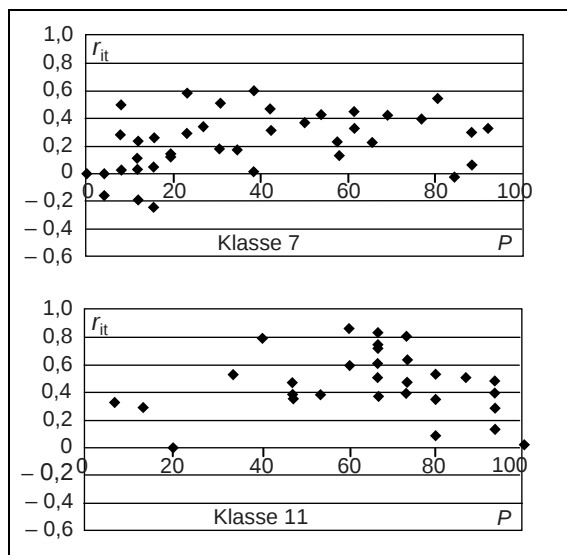


Abb. 10.4: Trennschärfekoeffizienten und Schwierigkeitsindizes der Aufgaben, Klassen 7 und 11 einiger Gymnasien in Nordrhein-Westfalen

Allerdings ist zu beobachten, dass die Mehrzahl der Aufgaben für die Klassenstufe 7 im Bereich $0 < P < 40$ liegt und schwache Trennschärfen ausweisen, einige Werte sind sogar negativ. Dagegen liegt in der Klassenstufe 11 die Mehrzahl der Schwierigkeitsindizes im Bereich $60 < P < 100$: Diese Aufgaben werden von den Probanden als besonders leicht empfunden. Die Trennschärfen sind mit Werten bis zu 0,9 im Schnitt größer als in der Klassenstufe 7: Sie erreichen dort maximal Werte bis 0,6. Insofern ist die Hypothese 1 bestätigt. Stichproben, weitere Kennwerte, deren Verteilungen oder Signifikanzprüfungen sind bei Temechegn Engida nachzusehen [23].

Leistungsanstieg, Klassenstufe und Schulform. Der Raumvorstellungstest weist fünf Aufgabengruppen mit jeweils acht Items auf: Die Maximalzahl der Testrohpunkte beträgt also 40. Errechnet man für jede Klassenstufe die Mittelwerte, so erhält man für die Gymnasiasten der Klassenstufe 7 etwa den Wert 17 und für die Klassenstufe 12 den Wert 28. Abbildung 10.5 zeigt weiterhin den Verlauf des Anstiegs sowohl für die Gymnasiasten als auch für die Nichtgymnasiasten. Es ist gemäß der Hypothese 2 zu erkennen, dass in beiden Fällen die Leistungen mit der Klassenstufe ansteigen. Es wird ebenfalls Hypothese 3 bestätigt: Jugendliche an Gymnasien sind leistungsstärker als Jugendliche der Realschulen oder Gesamtschulen.

Interessanter erscheint der Kurvenverlauf des jeweiligen Anstiegs der Leistungen (vgl. Abb. 10.5): Bei den Gymnasiasten ist ein besonderer Anstieg von der Klassenstufe 9 nach 10 zu erkennen, bei den Nichtgymnasiasten eher von der Klassenstufe 10 nach 11. Der letztgenannte Anstieg spiegelt die Tatsache wieder, dass nur leistungsstärkere Schüler und Schülerinnen in die Klassenstufe 11 der Sekundarstufe II gewechselt sind und somit verschiedene Stichproben vorliegen.

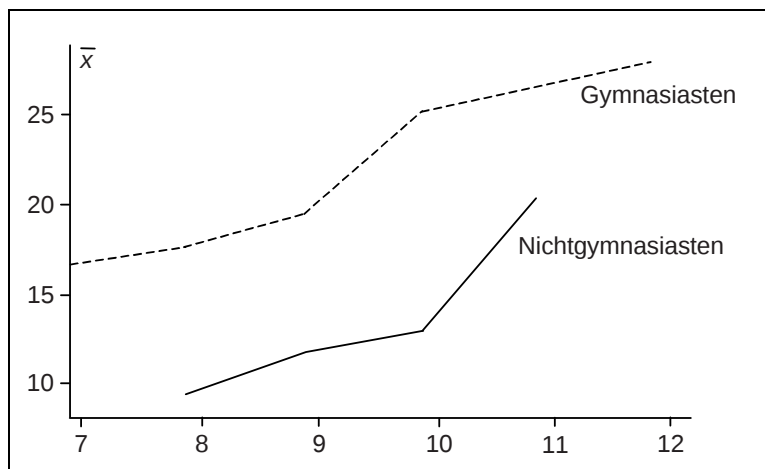


Abb. 10.5: RVT-Mittelwerte in Abhängigkeit von Schultyp und Klassenstufe

Zum anderen können die Anstiege der Leistungen wahrscheinlich damit erklärt werden, dass das Raumvorstellungsvermögen besonders beansprucht und damit trainiert worden ist. So kann es die räumliche Geometrie im Fach Mathematik sein, die besondere Ansprüche stellt, oder der Geographie-Unterricht mit besonderem Augenmerk auf die Arbeit mit Landkarten und Weltglobe, oder der Physik-Unterricht in Bereichen wie Mechanik oder Astronomie. Der Chemieunterricht könnte erfolgreich mithelfen, durch den Einsatz räumlicher Modelle zur Struktur der Materie das Raumvorstellungsvermögen zu trainieren und zu verbessern.

RVT-Leistungen und Geschlecht. Trägt man die Rohpunkt-Mittelwerte auch in Abhängigkeit vom Geschlecht auf, so erhält man die Grafen der Abbildung 10.6. Sie zeigen, dass in allen Fällen die Leistungen der Jungen um etwa zwei Rohpunkte höher liegen als die der Mädchen, im Falle der Nichtgymnasiasten sogar bis zu vier Rohpunkten: Damit ist die Hypothese 4 als bestätigt zu betrachten. Weitere Details und Signifikanzprüfungen sind anderenorts beschrieben [23].

Es zeigt sich ebenfalls, dass der spezifische Anstieg der Leistungen sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen der Gymnasien von der Klassenstufe 9 nach 10 besonders stark ist, im gleichen Sinne findet dieser Anstieg bei Nichtgymnasiasten von Klassenstufe 10 nach 11 statt. Im Zusammenhang mit den Anstiegen der Leistungen gibt es keine Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen.

Elementarzelle und RVT-Leistungen. Wie in Kapitel 13 ausgeführt, spielt die Elementarzelle eine besondere Rolle bei der Ableitung chemischer Symbole im strukturorientierten Chemieunterricht. Es wird vorgeschlagen, ähnlich dem Molekül als kleinste Struktureinheit für den Aufbau flüchtiger Stoffe die Elementarzelle als kleinste Struktureinheit hinsichtlich der Salze und kristallinen Substanzen zu Grunde zu legen [24]. Die wichtigste Voraussetzung für ein solches Vorgehen ist ein ausreichendes Raumvorstellungsvermögen für das erfolgreiche Erkennen und Interpretieren von Elementarzellen. Deshalb wird mit Hypothese 5 darauf ein besonderes Augenmerk gerichtet.

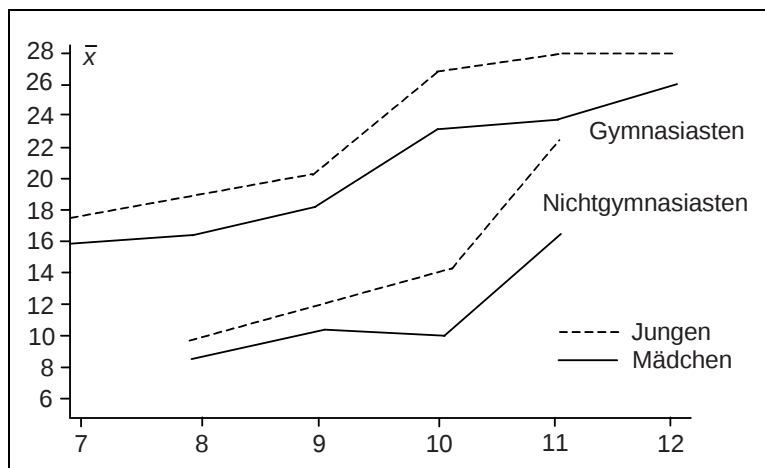


Abb. 10.6: RVT-Mittelwerte in Abhängigkeit von Schultyp, Klassenstufe und Geschlecht

Zur Beurteilung der Hypothese werden in Abbildung 10.7 die Bilder aus der Aufgabengruppe „4. Auszählen von Elementarzellen“ mit den entsprechenden Fragen wiedergegeben, richtige Auswahlantworten in Klammern notiert. Die Schwierigkeitsindizes werden in Abhängigkeit von der Klassenstufe grafisch abgebildet, die Zahlen 1–11 bedeuten der Reihe nach folgende Schülergruppen des Gymnasiums: 7.1, 7.2, 8.1, 8.2, 9.1, 9.2, 10.1, 10.2, 11.1, 11.2, 12. Von den Klassenstufen 7–11 sind also jeweils zwei Probierendengruppen gewählt worden, aus der Klassenstufe 12 lag nur eine Gruppe vor.

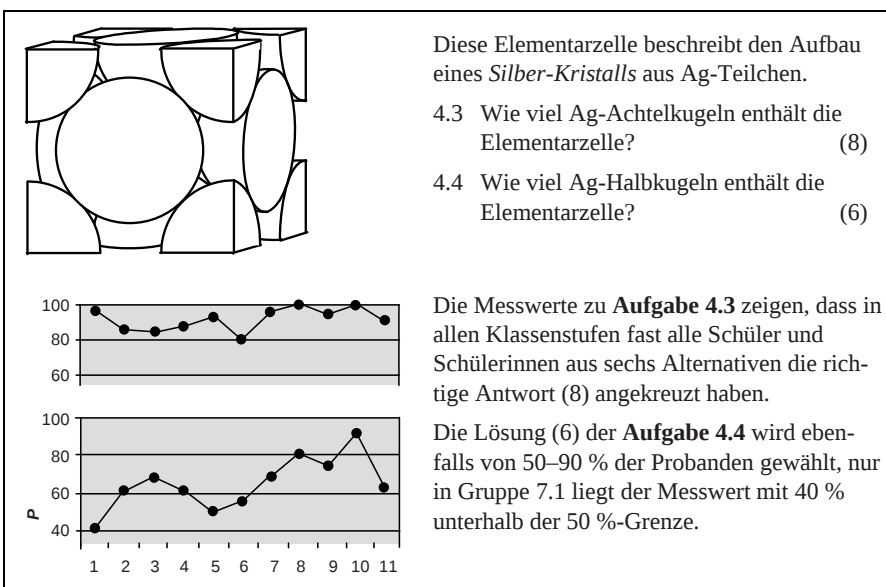


Abb. 10.7a: Schwierigkeitsindizes der Items zu „4. Auszählen von Elementarzellen“

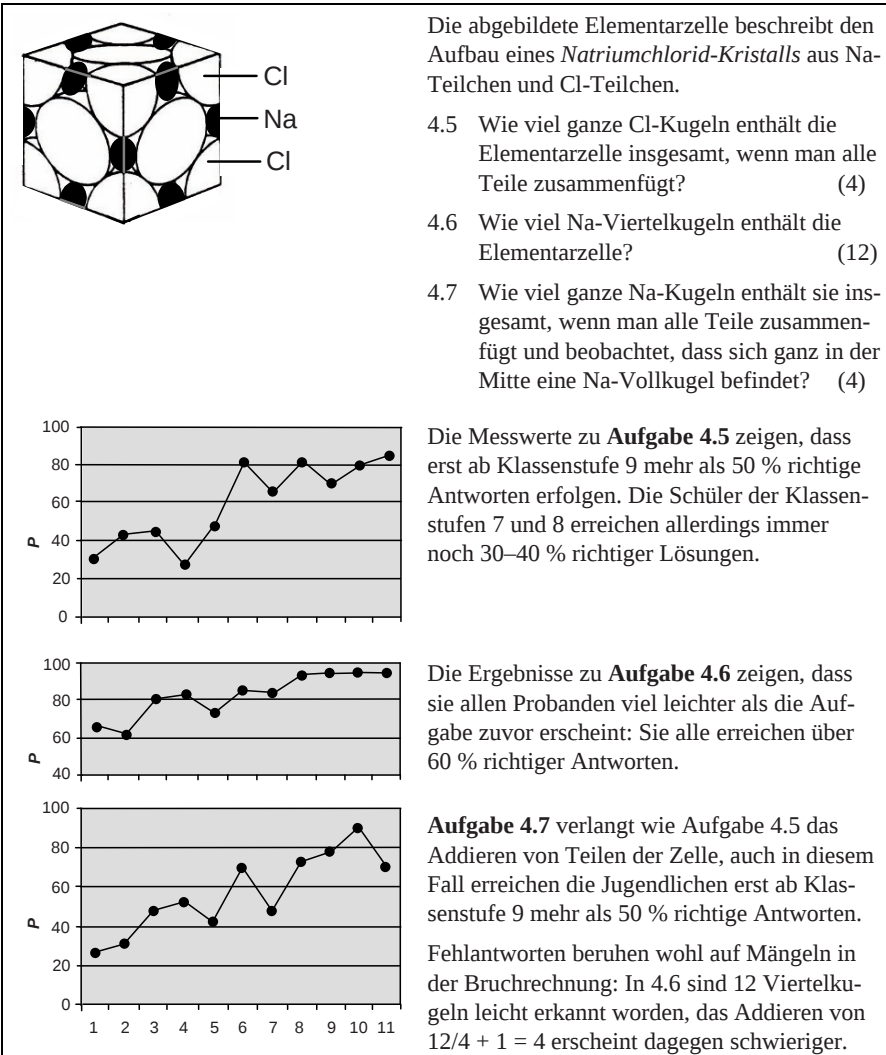


Abb. 10.7b: Schwierigkeitsindizes der Items zu „4. Auszählen von Elementarzellen“

Zur Beurteilung der *Hypothese 5* lässt sich sagen, dass Schüler und Schülerinnen erfolgreich in der Interpretation der Elementarzelle sind, wenn die Zelle sichtbar aus den entsprechenden Teilen von Kugeln abgebildet ist (vgl. Abb. 10.7a und b). Für diese Fälle trifft die Hypothese zu: Die Mehrzahl aller Schüler und Schülerinnen interpretieren die Bilder zu Elementarzellen richtig. Sobald aus einem Raumgitter die Elementarzelle erst durch gedankliches Schneiden hergestellt werden muss, ist der Umgang mit der Elementarzelle den meisten Jugendlichen der Klassenstufen 7–9 zu schwierig (vgl. Abb. 10.7c): Für diesen Teil der Jugendlichen kann die Hypothese nicht bestätigt werden.

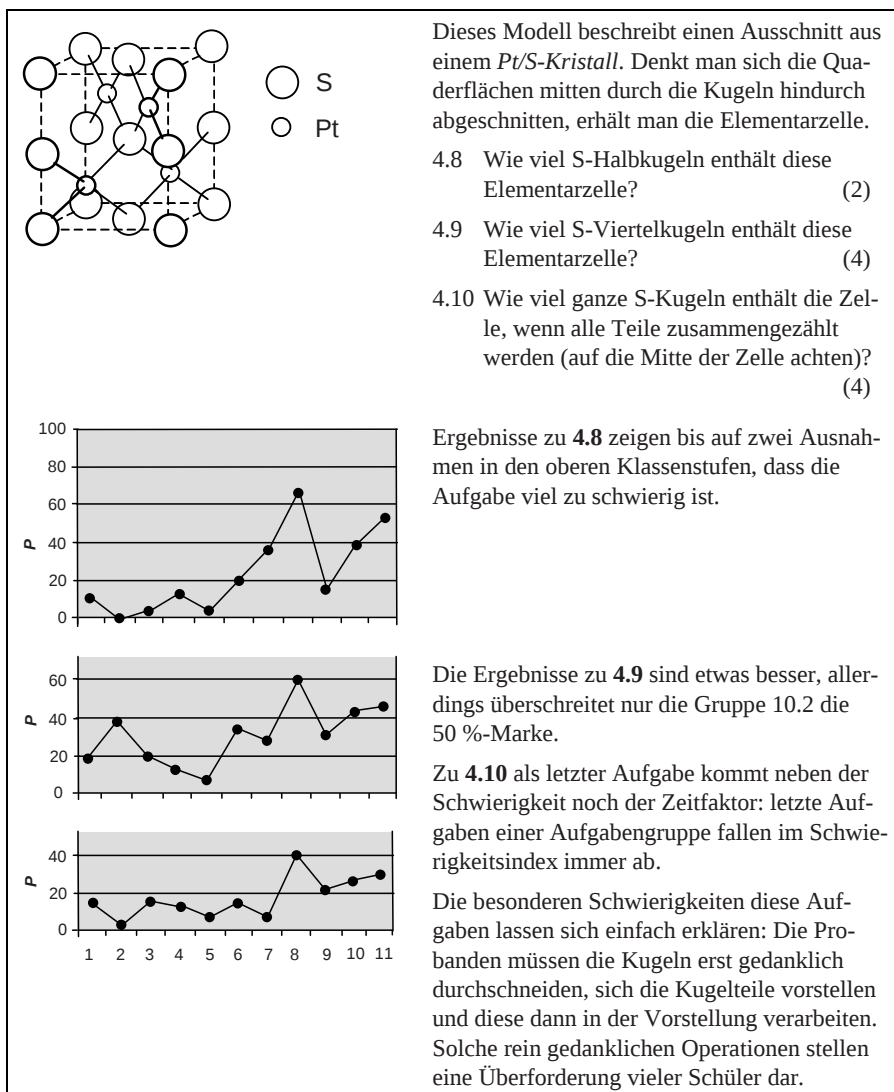


Abb. 10.7c: Schwierigkeitsindizes der Items zu „4. Auszählen von Elementarzellen“

10.5 RVT-Leistungen von Jugendlichen aus Deutschland und Äthiopien

Durch ein Promotionsvorhaben eines äthiopischen Dozenten am Institut für Didaktik der Chemie der Universität Münster fand der Vergleich von Daten aus Deutschland und Äthiopien statt. Zum einen war es das Interesse von Temechegn, Erhebungen in seinem Heimatland durch ein DAAD-Reisestipendium zu realisieren, zum anderen ist es die interessante, völlig offene Frage, in welchem Ausmaß

das Raumvorstellungsvermögen in anderen als den westlichen Kulturen vorliegt oder trainierbar ist. Temechegn konnte mehrere empirische Erhebungen recherchieren [23], die durchaus ein besonders ausgebildetes Raumvorstellungsvermögen bei Kulturen aufzeigen, in denen die Jagd und damit die Orientierung im Gelände eine große Rolle spielt.

Liegt das Raumvorstellungsvermögen in ausreichendem Maße vor oder ist es trainierbar, dann würde ein naturwissenschaftlicher Unterricht, der mit vielen Zeichnungen und Bildern zu räumlichen Gegenständen arbeitet, diese wichtige Fähigkeit fördern. Es könnten auch für das Fach Chemie ernsthaft Vorschläge umgesetzt werden, die den strukturorientierten Unterricht in den Vordergrund stellen: Es würde nicht nur ein modernes Verständnis der Chemie vermittelt werden, es könnte damit auch die Entwicklung des allgemein sehr nützlichen Raumvorstellungsvermögens für die Jugendlichen unterstützt werden.

Hypothesen. Für seine Untersuchungen formulierte Temechegn [25] drei Nullhypothesen:

1. Es gibt keine signifikanten Unterschiede im Raumvorstellungsvermögen zwischen deutschen und äthiopischen Lernenden gleicher Altersstufe.
2. Es gibt keine signifikanten Unterschiede im Raumvorstellungsvermögen zwischen Lernenden der verschiedenen Klassenstufen.
3. Es gibt keine signifikanten Unterschiede im Raumvorstellungsvermögen zwischen Jungen und Mädchen der jeweils gleichen Klassenstufe.

Stichprobe und Durchführung. Für die Erhebungen sind 742 deutsche Schüler und Schülerinnen im Raum Münster befragt worden, 763 äthiopische Jugendliche an Schulen in Addis Abeba – nähere Details zur Stichprobe und zur Untersuchungsplanung sind anderenorts nachzulesen [23]. Die Befragungen fanden in Deutschland 1997 und 1998 statt, in Äthiopien im Frühjahr 1999.

Zur Durchführung sind Schulklassen der Klassenstufen 7–12 an Schulen vieler Schultypen aufgesucht worden, während einer Schulstunde die Testhefte und Antwortbogen verteilt, die Antworten nach Instruktion durch Ankreuzen auf dem Antwortbogen abgegeben worden (siehe Anhang).

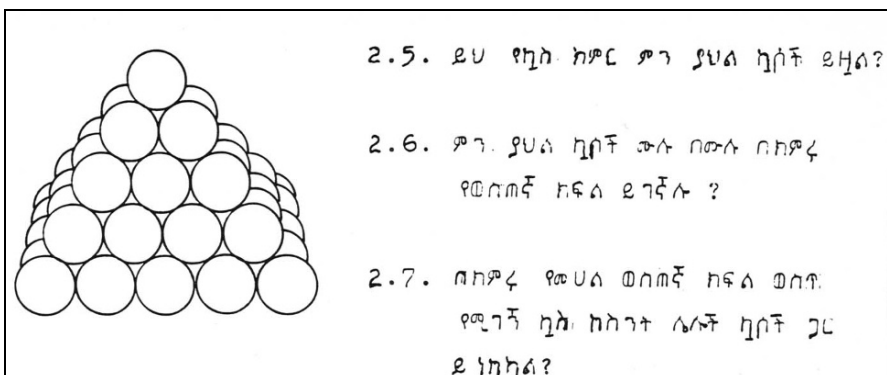


Abb. 10.8: Ausschnitt aus dem RVT-Testheft in der amharischen Heimatsprache

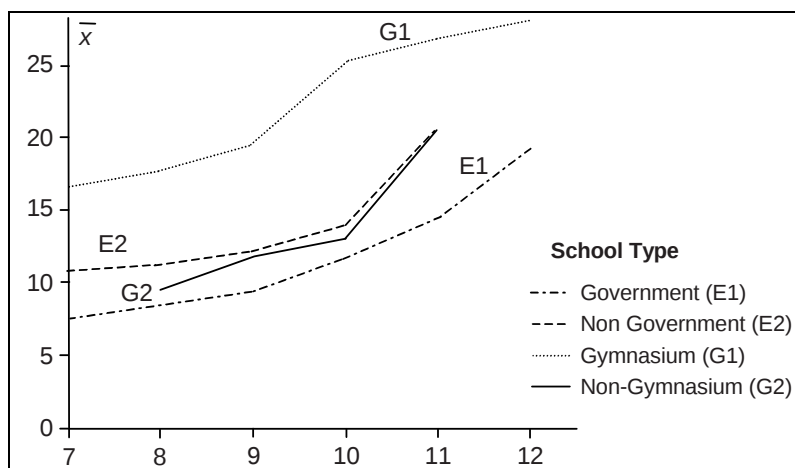


Abb. 10.9: RVT-Mittelwerte in Abhängigkeit von Land, Schultyp und Klassenstufe

Die Testhefte wurden nach einer Befragung eingesammelt und immer wieder verwendet, die Antwortbogen konnten mit Hilfe der Auswerteschablone (siehe Anhang) ausgewertet werden und werden für weitere Auswertungsvorhaben in unserem Institut aufbewahrt. Das in Äthiopien verwendete Testheft [23] liegt in der amharischen Heimatsprache vor (vgl. Abb. 10.8).

Ergebnisse. Die für deutsche Schüler und Schülerinnen ermittelten RVT-Testergebnisse sind bereits im vorherigen Abschn. 10.4 vorgetragen worden. Es kommen die Ergebnisse hinzu, die durch Befragungen in Äthiopien erhalten wurden. Die Daten deutscher Probanden sind zur Prüfung der *Hypothese 1* bereits diskutiert worden (vgl. Abb. 10.5). Nimmt man die Ergebnisse aus Äthiopien hinzu, so resultiert Abbildung 10.9.

Es ist zu erkennen, dass neben den deutschen Gymnasiasten und Nichtgymnasiasten (vgl. Abschn. 10.4) zwei wichtige Schultypen in Äthiopien unterschieden worden sind: Government Schools (E1) und Non-Government Schools (E2). Erstere sind die staatlichen Schulen, die kostenfrei sind, deshalb durch die große Mehrheit von Jugendlichen frequentiert werden und Klassenstärken von bis zu 80 Schülern pro Klasse aufweisen. Non-Government Schools sind private Einrichtungen, die sich auf der Basis von Schulgebühren finanzieren und nur von privilegierten Eltern bezahlt werden können. Die Lehrpläne für beide Schularten sind die Gleichen, allerdings ist durch kleinere Klassenverbände und ausgewähltes Lehrpersonal das Lernen auf den Privatschulen erfolgreicher.

Dieser Schulerfolg zeichnet sich auch in den Kurven der RVT-Mittelwerte ab (vgl. Abb. 10.9): Jugendliche der Non-Government Schools (E2) sind um 3–5 Rohpunkte erfolgreicher als Mitschüler der Government Schools (E1). Die E2-Resultate sind vergleichbar mit denen der Nichtgymnasiasten (G2) aus Münster: Letztere liegen mit ihren Ergebnissen unterhalb der E2-Kurve, erst in Klassenstufe 11 berühren sich beide Grafen. Allerdings sind die Gymnasiasten (G1) hochsignifikant erfolgreicher in den Testergebnissen als alle anderen Gruppen: In diesem Sinne muss die Hypothese 1 zurückgewiesen werden.

Auch die *Hypothese 2* ist auf der Grundlage der Abbildung 10.9 zurückzuweisen: Die entsprechenden Mittelwerte steigen stetig von Klassenstufe 7–12 an und weisen sogar besondere Anstiege aus, wie sie bereits in Abschnitt 10.4 diskutiert worden sind. Eine exakte Übereinstimmung gibt es hinsichtlich des Anstieges der Mittelwerte in den Gruppen E2 und G2: Der Anstieg findet nicht nur in derselben Altersgruppe, nämlich zwischen den Klassenstufen 10 und 11 statt, sondern weist auch fast dasselbe Steigungsmaß auf.

Gründe für die Unterschiede in den Schülergruppen können in zweierlei Hinsicht diskutiert werden: hinsichtlich der Beschäftigung mit Kinderspielzeugen und der Lehrpläne in Schulfächern.

Die Lehrpläne sind in Äthiopien für beide Schulformen dieselben, Unterschiede zwischen den Gruppen E1 und E2 kann es deshalb nicht auf Grund verschiedener Curricula geben, sondern eher auf Grund der verschiedenen Lernumgebungen oder Lehrerqualitäten. Greift man auf die Entwicklung der Jugendlichen zurück und bedenkt, dass die reichen Eltern der Schülergruppe E2 ihren Kindern technische Spielzeuge oder Baukästen anbieten können, dann mögen diese Jugendlichen große Vorteile in der frühen Entwicklung des Raumvorstellungsvermögens gegenüber denen der Schülergruppe E1 haben, die über keinerlei Spielzeuge technischer Art verfügen.

Diese Argumentation kann in anderem Sinne auch auf Jugendliche in Deutschland angewendet werden. Technische Spielzeuge und Baukästen werden üblicherweise sowohl von den Eltern der Gruppe G1 als auch G2 angeschafft, in unserem Land gibt es diesbezüglich keine Unterschiede. Die Unterschiede im Raumvorstellungsvermögen gründen sich deshalb eher auf Unterschieden in den Curricula: Die Gymnasiasten (G1) werden in Mathematik und Naturwissenschaften viel früher und viel intensiver mit Inhalten konfrontiert, die die Entwicklung des Raumvorstellungsvermögens fördern: Deshalb ist der besondere Anstieg bereits von der Klassenstufe 9 nach 10 zu verzeichnen.

In Äthiopien findet in der Klassenstufe 10 verstärkt Unterricht zu Fragen von Struktur und chemischer Bindung statt. Dieser Unterricht – gegebenenfalls mit von Lehrern selbstgebauten Modellen unterstützt – kann verantwortlich für den steilen Anstieg der RVT-Leistungen von Klassenstufe 10 nach 11 sein. Dies entspricht dem bereits in Abschnitt 10.4 diskutierten Zusammenhang, dass die Raumvorstellung verbessert wird, sobald die Schüler diesbezüglich mit Zeichnungen dreidimensionaler Objekte oder mit anderen dreidimensionalen Lehrmitteln arbeiten.

Die Unterschiede von Jungen und Mädchen in Deutschland sind bereits diskutiert worden (vgl. Abschn. 10.4) –, hinsichtlich der *Hypothese 3* sollen die Ergebnisse bei Jugendlichen aus Äthiopien hinzukommen. Wie Abbildung 10.10 es ausweist, haben zwar die Jungen bessere RVT-Mittelwerte erreicht, allerdings sind die Messwerte aus den Klassenstufen 7–11 der Government Schools (E1) nicht signifikant unterschiedlich, sie sind nahezu gleich groß. Hypothese 3 ist streng genommen nur für die Jugendlichen der Non-Government Schools (E2) zu verifizieren. Signifikanzprüfungen und weitere Details werden anderenorts beschrieben [23].

Ein wirklicher Unterschied der Kulturen in Deutschland und Äthiopien erweist sich durch die RVT-Messwerte der Jugendlichen der Government Schools (E1).

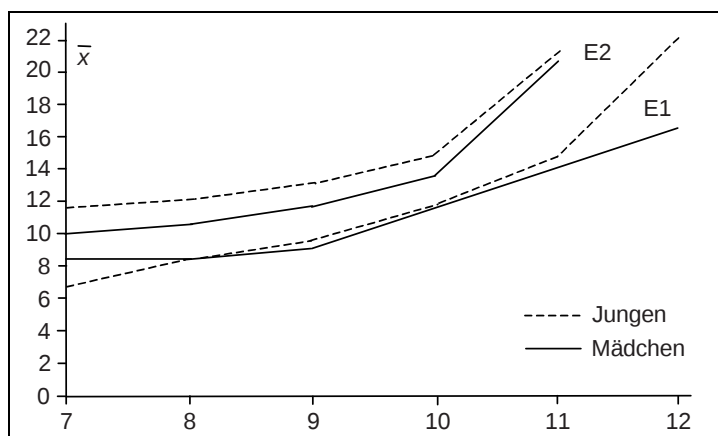


Abb. 10.10: RVT-Mittelwerte der äthiopischen Stichprobe in Abhängigkeit von Schultyp, Klassenstufe und Geschlecht

Während in Deutschland Unterschiede durchgehend zugunsten der Jungen nachgewiesen werden können, gibt es in der äthiopischen Stichprobe E1 diese Unterschiede für die Klassenstufen 7–11 nicht. Wie es bereits diskutiert worden ist, sind zunächst die Lehrpläne der äthiopischen Schulen in allen Schulgruppen gleich. Entscheidend scheint aber zu sein, dass die Eltern dieser Jugendlichen über kein Geld für technische Spielzeuge verfügen und Jungen wie Mädchen keine Möglichkeiten bieten, in ihrer Kindheit das Raumvorstellungsvermögen mit Spielzeugen und Baukästen zu schulen. Anders formuliert: Die Theorie eines genetisch bedingten Vorteils der Jungen im Raumvorstellungsvermögen scheint keineswegs gesichert zu sein.

Für Jungen in Deutschland oder in vergleichbaren westlichen Kulturen lässt sich auf fast jeder Altersstufe ein gewisser Vorsprung der Jungen vor gleich alten Mädchen nachweisen. Dieser Vorsprung kann vermutlich – jedenfalls zu einem Teil – auf die unterschiedlichen Spielzeuge zurückgeführt werden: Falls die Jungen eher technisches Spielzeug und technische Baukästen geschenkt bekommen und die Mädchen vielfach mit Puppen und Haushaltsgegenständen Vorliebe nehmen müssen, dann wären die Unterschiede auch im Kindesalter erklärbar. Man könnte auch diesbezüglich davon ausgehen, dass ein genetisch bedingter Vorteil für Jungen nicht vorliegt.

Allerdings tritt eine Verunsicherung auf, wenn man den Anstieg der Gruppe E1 von Klassenstufe 11 nach 12 betrachtet (vgl. Abb. 10.10). Setzt man voraus, dass der Unterricht in dieser Klassenstufe naturwissenschaftliche Inhalte anbietet, die etwa durch dreidimensionale Modelle oder Zeichnungen räumlicher Gegenstände das Raumvorstellungsvermögen ansprechen, dann scheinen die Jungen diese Fähigkeit sofort umzusetzen und ihre kognitive Struktur entsprechend zu verändern. Die Mädchen-Stichprobe zeigt diesen Anstieg nicht, obwohl derselbe Unterricht für sie stattgefunden hat. Gibt es vielleicht doch genetisch vorteilhafte Dispositionen der Jungen, räumliche Beziehungen schneller zu erfassen und die Fähigkeit zur Raumvorstellung in kürzerer Zeit auszubilden? Diese Frage ist durch viele weitere Studien der vorliegenden Art zu prüfen.

Literatur

- [1] Jäckel, M., Risch, K.T.: *Chemie heute*. Hannover 1993 (Schroedel)
- [2] Eisner, W.: *Elemente Chemie I*. Stuttgart 1992 (Klett)
- [3] Heller, K.: *Intelligenz und Begabung*. München 1976 (Reinhardt)
- [4] Thurstone, L.L.: *Primary mental abilities*. Psychometric Monographs 1 (1938)
- [5] Rost, D.: *Raumvorstellung. Psychologische und pädagogische Aspekte*. Weinheim 1977 (Beltz)
- [6] Pawlik, K.: *Dimensionen des Verhaltens*. 2. Aufl. Stuttgart 1971 (Huber)
- [7] Hofstätter, P.: *Differentielle Psychologie*. Stuttgart 1971 (Kröner)
- [8] Roth, E., u.a.: *Intelligenz – Aspekte, Probleme, Perspektiven*. Stuttgart 1973 (Kohlhammer)
- [9] Krech, D., Crutchfield, D.: *Grundlagen der Psychologie 2*. Weinheim 1973 (Beltz)
- [10] Smith, L.M.: *Pädagogische Psychologie I*. Stuttgart 1971 (Klett)
- [11] Jäger, A.: *Dimensionen der Intelligenz*. Göttingen 1967 (Hogrefe)
- [12] Mietzel, G.: *Pädagogische Psychologie*. Göttingen 1973 (Hogrefe)
- [13] Ausubel, D.P.: *Psychologie des Unterrichts*. Weinheim 1974 (Beltz)
- [14] Coleman, S.L., Gotch, A.J.: *Spatial Perception Skills of Chemistry Students*. J. Chem. Ed. 75 (1998)
- [15] Sturzebecher, K.: *Raumvorstellung – bedeutsamer Intelligenzfaktor in der Schule*. Die Deutsche Schule 64 (1972), 690
- [16] Maier, P.H.: *Räumliches Vorstellungsvermögen: Komponenten, geschlechtsspezifische Differenzen, Relevanz, Entwicklung und Realisierung in der Realschule*. Frankfurt 1994 (Lang)
- [17] Quaiser-Pohl, C.: *Die Fähigkeit zur räumlichen Vorstellung*. Münster 1998
- [18] Barke, H.-D.: *Raumvorstellung im naturwissenschaftlichen Unterricht*. MNU 33 (1980), 129
- [19] Barke, H.-D.: *Das Training des Raumvorstellungsvermögens durch die Arbeit mit Strukturmodellen im Chemieunterricht*. MNU 36 (1983), 352
- [20] Barke, H.-D.: *Chemical Education and Spatial Ability*. J. Chem. Ed. 70 (1993), 968
- [21] Barke, H.-D., Kuhrke, R.: *Mädchen in Naturwissenschaften und Technik. Einführung in die Chemie. Von Alltagsvorstellungen zu ersten Strukturmodellen der Materie*. Frankfurt 1992 (Lang)
- [22] Lienert, G.: *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim 1969 (Beltz)
- [23] Temechegn E.: *Structural Chemistry and Spatial Ability in Chemical Education. A Case of Selected German and Ethiopian Schools*. Dissertation an der Universität Münster, Münster 2000
- [24] Barke, H.-D., Wirbs, H.: *Chemische Symbole und kleinste Struktureinheiten*. PdN-Chemie 2/49 (2000), 2
- [25] Barke, H.-D., Temechegn E.: „*Imagination is more important than knowledge*“, Chemische Strukturen und Raumvorstellung im Chemieunterricht. PdN-Chemie 3/50 (2001) 30

Anhang

Test des räumlichen Vorstellungsvermögens

Aufgabengruppen	Instruktionszeit	Bearbeitungszeit
1. Bausteine in Quadern	2:00 min	4:00 min
2. Kugeln in Kugelpackungen	2:00 min	7:00 min
3. Stapeln von Kugelschichten	2:00 min	7:00 min
4. Auszählen von Elementarzellen	2:00 min	7:00 min
5. Spiegeln und Drehen von Modellen	2:00 min	7:00 min
	10:00 min	32:00 min

In dieses Heft keine Notizen machen!!

Antworten nur auf dem Antwortbogen markieren!!

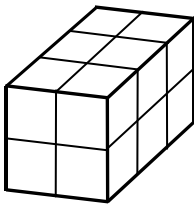
Erst nach Aufforderung die einzelnen Seiten umblättern!!

1. Bausteine in Quadern

Der Aufbau von Kristallen aus kleinsten Teilchen kann im Modell dargestellt werden in Form von Packungen aus würfelförmigen Bausteinen.

Bei diesen Aufgaben soll die Anzahl von Bausteinen in solchen Modellen bestimmt werden. Dabei sind meist nicht alle Bausteine zu sehen – man muss sich die nicht sichtbaren Bausteine vorstellen und zählt sie zur Lösung der Aufgaben mit.

Beispiel:



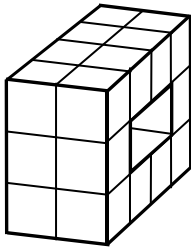
- 1.1. Aus wie viel Bausteinen besteht der abgebildete Quader?
- 1.2. Wie viel Bausteine zeigen sich mit nur zwei Seitenflächen nach außen?

Der Quader besteht aus 12 Bausteinen – die Zahl 12 ist auf dem Antwortbogen unter 1.1. anzukreuzen.

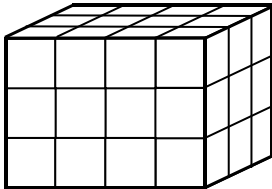
Es sind nur 4 Bausteine, die sich mit zwei Seitenflächen nach außen zeigen – die Zahl 4 ist auf dem Antwortbogen unter 1.2. anzukreuzen.

Nach dem **Zeichen zum Umblättern** sind die Aufgaben 1.3.–1.10. zu bearbeiten.

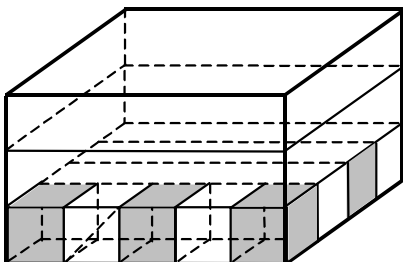
1. Bausteine in Quadern



- 1.3. Aus wie viel Bausteinen besteht der abgebildete, hohle Körper?
- 1.4. Wie viel Bausteine braucht man, um den Hohlraum vollkommen auszufüllen?



- 1.5. Wie viel kleine Würfel zeigen sich bei diesem abgebildeten Quader mit nur **einer** Seitenfläche nach außen?
- 1.6. Wie viel Würfel zeigen sich mit genau zwei Seitenflächen nach außen?
- 1.7. Wie viel Würfel liegen völlig im Inneren des Quaders und sind überhaupt nicht von außen sichtbar?



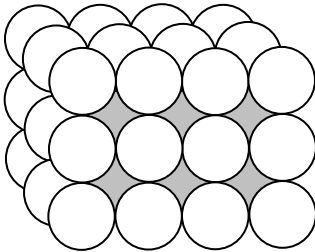
- 1.8. Wie viel kleine Würfel enthält der abgebildete Quader, wenn man ihn vollständig mit Würfeln füllt?
- 1.9. Wie viel Würfel liegen dann völlig im Inneren des Quaders?
- 1.10. Wie viel Würfel berühren einen Würfel im Inneren des Quaders jeweils mit einer Seitenfläche?

2. Kugeln in Kugelpackungen

Der Aufbau von Kristallen aus kleinsten Teilchen kann modellmäßig auch mit Kugeln in Kugelpackungen dargestellt werden.

Statt der Bausteine werden hier also Kugeln in Kugelpackungen abgebildet – es sind wiederum nicht sichtbare Kugeln in der Vorstellung mitzuzählen.

Beispiel:



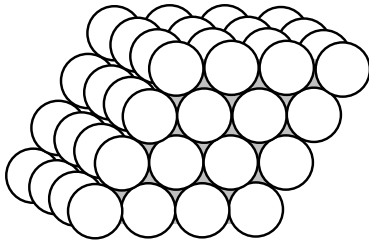
- 2.1. Aus wie viel Kugeln ist die abgebildete Kugelpackung aufgebaut?
- 2.2. Von wie viel Kugeln wird eine Kugel im Inneren berührt?

Die Kugelpackung ist aus 36 Kugeln aufgebaut –, die Zahl 36 ist unter 2.1. auf dem Antwortbogen anzukreuzen.

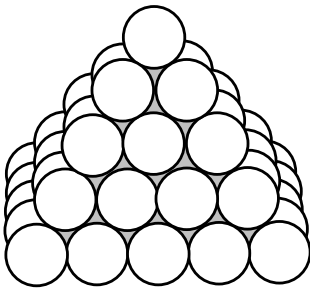
Die Kugel wird von 4 anderen in der Ebene, von einer darunter und von einer darüber berührt. Die Zahl 6 ist also auf dem Antwortbogen unter 2.2. anzukreuzen.

Nach dem **Zeichen zum Umblättern** sind die Aufgaben 2.3.–2.10. zu bearbeiten.

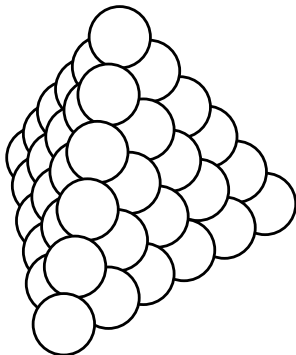
2. Kugeln in Kugelpackungen



- 2.3. Wie viel Kugeln enthält die abgebildete Kugelpackung?
- 2.4. Wie viel Kugeln liegen ganz im Inneren der Kugelpackung?



- 2.5. Wie viel Kugeln enthält die abgebildete Kugelpackung?
- 2.6. Wie viel Kugeln liegen ganz im Inneren der Kugelpackung?
- 2.7. Von wie viel Kugeln wird eine Kugel im Inneren der Kugelpackung berührt?

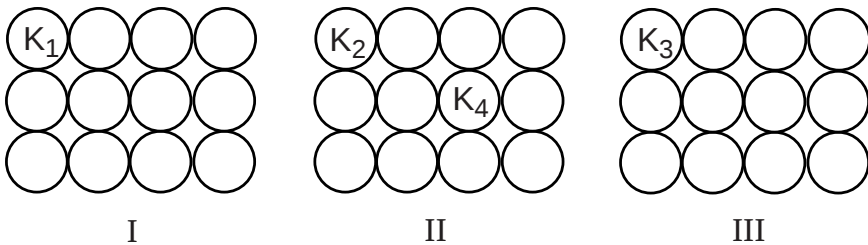


- 2.8. Wie viel Kugeln liegen ganz im Inneren dieser Kugelpackung?
- 2.9. Von wie viel Kugeln wird eine Kugel im Inneren dieser Kugelpackung berührt?
- 2.10. Wie viel Kugeln benötigt man, um die Packung um eine 7. Kugelschicht zu erweitern?

3. Stapeln von Kugelschichten

Für diese Aufgabengruppe sind Kugelschichten gezeichnet worden. In der Vorstellung sollen nun diese Kugelschichten aufeinander gestapelt werden, in der gedachten Kugelpackung ist schließlich die Lage verschiedener Kugeln zu erkennen oder zu vergleichen.

Beispiel:



In diesem Beispiel sollen die drei Kugelschichten I, II und III so aufeinander geschichtet werden, dass K₁, K₂ und K₃ senkrecht übereinander liegen.

- 3.1. Wie viel Kugeln liegen ganz im Inneren der gedachten Kugelpackung?
- 3.2. Von wie viel Kugeln wird die Kugel K₂ in der gedachten Kugelpackung berührt?

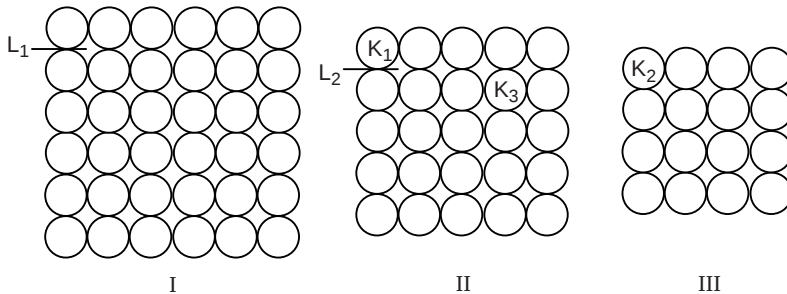
Es liegen 2 Kugeln ganz im Inneren der Kugelpackung, die Zahl 2 ist auf dem Antwortbogen unter 3.1. anzukreuzen.

Die Kugel K₂ wird von 4 anderen Kugeln berührt: zwei in der Fläche, eine oben, eine unten. Die Zahl 4 ist auf dem Antwortbogen unter 3.2. anzukreuzen.

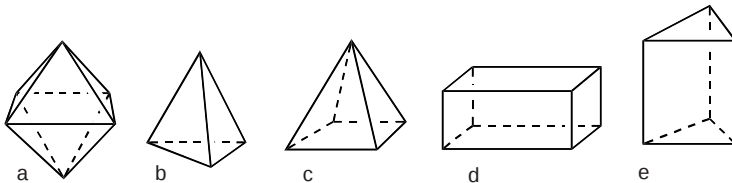
Nach dem **Zeichen zum Umblättern** sind die Aufgaben 3.3.–3.10. zu lösen.

3. Stapeln von Kugelschichten

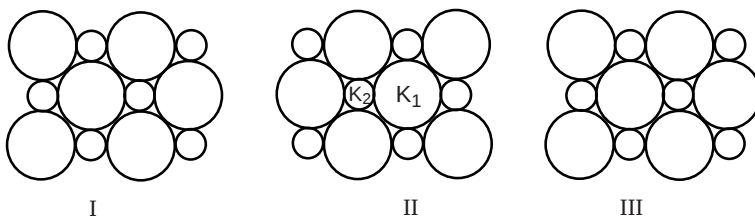
Es sollen die Schichten I, II und III so gestapelt werden, dass Kugel K1 auf Lücke L1 zu liegen kommt, Kugel K2 auf Lücke L2.



- 3.3. Wie viel Kugeln liegen ganz im Inneren der gedachten Kugelpackung?
- 3.4. Von wie viel Kugeln wird K3 in der gedachten Kugelpackung berührt?
- 3.5. Aus wie viel Kugeln wird die Lücke L2 im Inneren der Packung gebildet?
- 3.6. Welche geometrische Form bilden die Mittelpunkte der Kugeln, die Lücke L2 in der Packung aufbauen? Wähle eine der Formen a–e.



Es sollen die Schichten I, II und III so gestapelt werden, dass kleine und große Kugeln senkrecht aufeinander liegen und sich berühren.



- 3.7. Von wie viel kleinen Kugeln wird K1 in der Kugelpackung berührt?
- 3.8. Von wie viel kleinen und großen Kugeln wird K1 in der Packung berührt?
- 3.9. Von wie viel großen Kugeln wird K2 in der Kugelpackung berührt?
- 3.10. Welche geometrische Form bilden die Mittelpunkte der großen Kugeln, die K2 in der Packung berühren? Wähle eine der Formen a–e (siehe Mitte der Seite).

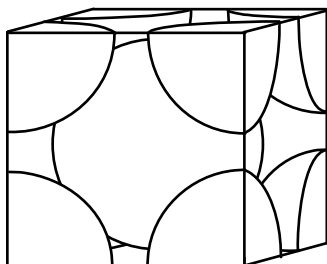
Auf das **Zeichen zum Umblättern** warten!!

4. Auszählen von Elementarzellen

Der Aufbau von Kugelpackungen wird von Fachleuten auch mit Elementarzellen beschrieben. Eine solche Zelle baut die gesamte Packung auf, wenn man sie in Gedanken in die drei Richtungen des Raumes verschiebt und sich alle Zellen miteinander verbunden vorstellt.

Beispiel:

Die abgebildete Elementarzelle beschreibt die Anordnung von Na-Teilchen in einem Natrium-Kristall.



- 4.1. Wie viel Na-Achterkugeln enthält die Elementarzelle an den Würfелеcken?
- 4.2. Wie viel ganze Na-Kugeln enthält die Elementarzelle insgesamt, wenn alle Teile zusammengefügt werden?

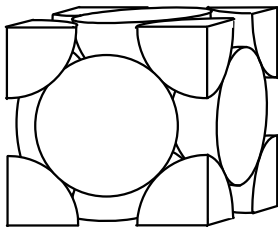
Es sind 8 Achterkugeln an den Würfecken vorhanden –, die Zahl 8 ist auf dem Antwortbogen unter 4.1. anzukreuzen.

Man findet in der Zelle acht Achterkugeln und eine ganze Kugel, also insgesamt zwei ganze Kugeln. Die Zahl 2 ist auf dem Antwortbogen unter 4.2. anzukreuzen.

Nach dem **Zeichen zum Umblättern** sind die Aufgaben 4.3.–4.10. zu lösen.

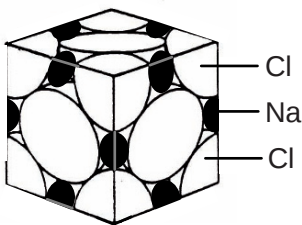
4. Auszählen von Elementarzellen

Diese Elementarzelle beschreibt den Aufbau eines Silber-Kristalls aus Ag-Teilchen.



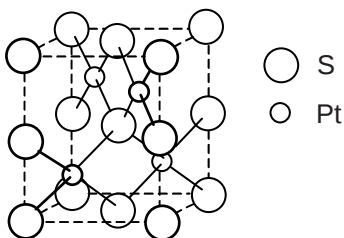
- 4.3. Wie viel Ag-Achtelkugeln enthält die Elementarzelle?
- 4.4. Wie viel Ag-Halbkugeln enthält die Elementarzelle?

Die abgebildete Elementarzelle beschreibt den Aufbau eines Natriumchlorid-Kristalls aus Na-Teilchen und Cl-Teilchen.



- 4.5. Wie viel ganze Cl-Kugeln enthält die Elementarzelle insgesamt, wenn man alle Teile zusammenfügt?
- 4.6. Wie viel Na-Viertelkugeln enthält die Elementarzelle?
- 4.7. Wie viel ganze Na-Kugeln enthält die Elementarzelle insgesamt, wenn man alle Teile zusammenfügt und beachtet, dass sich ganz in der Mitte der Zelle noch eine Na-Vollkugel befindet?

Dieses Modell beschreibt einen Ausschnitt aus dem Kristall einer Platin-Schwefel-Verbindung. Denkt man sich die Quaderflächen mitten durch die Kugeln hindurch abgeschnitten, so erhält man die Elementarzelle.



- 4.8. Wie viel S-Halbkugeln enthält diese Elementarzelle?
- 4.9. Wie viel S-Viertelkugeln enthält diese Elementarzelle?
- 4.10. Wie viel ganze S-Kugeln enthält die Elementarzelle insgesamt, wenn alle Teile (Voll-, Halb-, Viertel- und Achtel-Kugeln) zusammengezählt werden? Achtung: Auf die Mitte der Elementarzelle achten!

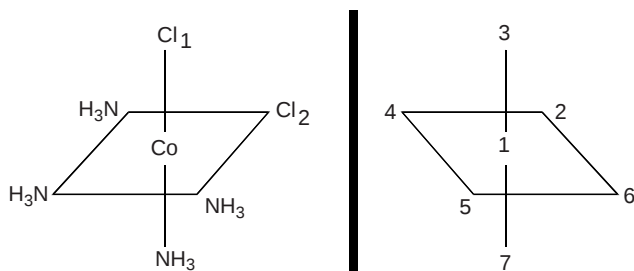
Auf das **Zeichen zum Umblättern** warten!!

5. Spiegeln und Drehen von Modellen

Die Lage von Atomen in Molekülen wird durch Molekülmodelle dargestellt. Sie sind oft so symmetrisch aufgebaut, dass man sie durch Spiegeln an einer Spiegelebene oder durch Drehen um einen Drehpunkt in andere Modelle überführen oder sogar auf sich selbst abbilden kann.

Beispiel:

Das Molekülmodell auf der linken Seite des Spiegels (Buchstaben) ergibt durch die Spiegelung das rechte Molekülmodell (Zahlen).



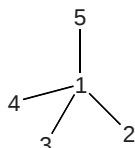
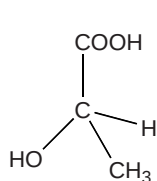
- 5.1. Auf welchen Punkt des Spiegelbildes fällt das Symbol Cl_1 , wenn nur eine Spiegelung vorliegt?
- 5.2. Auf welchen Punkt des Spiegelbildes fällt das Symbol Cl_2 , wenn eine 180-Grad-Drehung um die $\text{Cl}_1\text{-Co-NH}_3$ -Achse und zusätzlich eine Spiegelung vorliegt?

Das Symbol Cl_1 fällt auf den Punkt 3 des Spiegelbildes –, die Zahl 3 ist auf dem Antwortbogen unter 5.1. anzukreuzen.

Das Symbol Cl_2 fällt auf den Punkt 6 des Spiegelbildes –, die Zahl 6 ist auf dem Antwortbogen unter 5.2. anzukreuzen.

Nach dem **Zeichen zum Umblättern** sind die Aufgaben 5.3.–5.10. zu lösen.

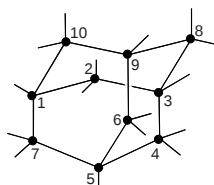
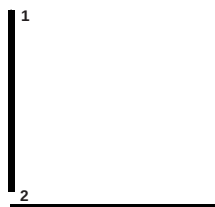
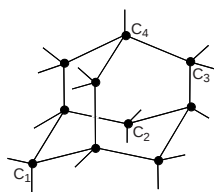
5. Spiegeln und Drehen von Modellen



5.3. Wohin gelangt das Symbol HO bei der Spiegelung des linken Modells (Tetraederform, gleiche Winkel)?

5.4. Wohin gelangt das Symbol HO bei einer 120-Grad-Drehung und anschließender Spiegelung? (Drehachse COOH–C, Drehung im Uhrzeigersinn von oben betrachtet)

5.5. Wohin gelangt COOH bei einer 120-Grad-Drehung und anschließender Spiegelung? (Drehachse OH–C, Drehung im Uhrzeigersinn von links betrachtet)

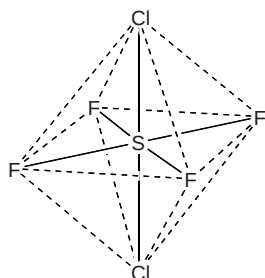


5.6. Wohin gelangt das Symbol C₁ bei der doppelten Spiegelung dieses Molekülmodells? (Linkes Modell zuerst an Spiegel 1, dann an Spiegel 2 spiegeln!)

5.7. Wohin gelangt das Symbol C₂ bei der doppelten Spiegelung des Modells? (Zuerst an 1, dann an 2 spiegeln !)

5.8. Das Modell wird um 120 Grad gedreht (Drehachse senkrecht durch C₄, Drehung im Uhrzeigersinn von oben betrachtet). Wohin gelangt dann das Symbol C₃ bei doppelter Spiegelung ?

Modelle können durch die Drehung um bestimmte Achsen in sich selbst überführt werden – in jedem Fall ein Mal, wenn man um 360 Grad dreht. Viele Modelle können einige Mal in deckungsgleiche Positionen gebracht werden.



5.9. Dieses Modell soll in der Vorstellung um die Cl–Cl-Achse gedreht werden. Wie oft erscheint bei einer Drehung um 360 Grad dasselbe Modell? (360 Grad mitzählen!)

5.10. Wie oft erscheint dasselbe Modell bei einer Drehung um 360 Grad, wenn um eine der F–S–F-Achsen gedreht wird? (360 Grad mitzählen!)

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!!

ANTWORTBOGEN**1. Bausteine in Quadern**

1.1.	4	6	8	10	12	20
1.2.	4	6	8	10	12	20

1.3.	4	6	8	10	16	20
1.4.	4	6	8	10	16	20

1.5.	4	6	8	10	16	20
1.6.	4	6	8	10	16	20
1.7.	1	2	6	12	15	60

1.8.	1	2	6	12	15	60
1.9.	1	2	6	12	15	60
1.10.	1	2	6	12	15	60

2. Kugeln in Kugelpackungen

2.1.	30	36	50	55	56	64
2.2.	3	4	5	6	7	8

2.3.	30	36	50	55	56	64
2.4.	6	8	10	12	14	16

2.5.	30	36	50	55	56	64
2.6.	3	4	5	6	7	8
2.7.	6	8	10	12	14	16

2.8.	3	4	5	6	7	8
2.9.	8	10	12	14	18	28
2.10.	8	10	12	14	18	28

3. Stapeln von Kugelschichten

3.1.	2	4	6	9	12	14
3.2.	2	4	6	9	12	14

3.3.	2	4	6	9	12	14
3.4.	2	4	6	9	12	14
3.5.	2	4	6	9	12	14
3.6.	a	b	c	d	e	

3.7.	4	6	9	12	16	18
3.8.	4	6	9	12	14	18

3.9.	4	6	9	12	14	18
3.10.	a	b	c	d	e	

Schule:

Klasse:

Alter: Jahre

Geschlecht: M / W

Datum:

Ergebnis: von 40 Punkten

4. Auszählen von Elementarzellen

4.1.	2	4	6	8	12	14
4.2.	2	4	6	8	12	14

4.3.	2	4	6	8	12	14
4.4.	2	4	6	8	12	14

4.5.	2	4	6	8	12	14
4.6.	2	4	6	8	12	14
4.7.	1	2	3	4	6	8

4.8.	1	2	3	4	6	8
4.9.	1	2	3	4	6	8
4.10.	1	2	3	4	6	8

5. Spiegeln und Drehen von Molekülen

5.1.	1	2	3	4	5	6
5.2.	1	2	3	4	5	6

5.3.	1	2	3	4	5	6
5.4.	1	2	3	4	5	6
5.5.	1	2	3	4	5	6

5.6.	1	2	3	4	6	8
5.7.	1	2	3	4	6	8
5.8.	1	2	3	4	6	8

5.9.	1	2	3	4	6	8
5.10.	1	2	3	4	6	8

ANTWORTBOGEN**1. Bausteine in Quadern**

1.1.	4	6	8	10	12	20
1.2.	4	6	8	10	12	20

1.3.	4	6	8	10	16	(20)
1.4.	(4)	6	8	10	16	20

1.5.	4	6	8	(10)	16	20
1.6.	4	6	8	10	(16)	20
1.7.	1	(2)	6	12	15	60

1.8.	1	2	6	12	15	(60)
1.9.	1	2	(6)	12	15	60
1.10.	1	2	(6)	12	15	60

2. Kugeln in Kugelpackungen

2.1.	30	36	50	55	56	64
2.2.	3	4	5	6	7	8

2.3.	30	36	50	55	56	(64)
2.4.	6	(8)	10	12	14	16

2.5.	30	36	50	(55)	56	64
2.6.	3	4	(5)	6	7	8
2.7.	6	8	10	(12)	14	16

2.8.	3	(4)	5	6	7	8
2.9.	8	10	(12)	14	18	28
2.10.	8	10	12	14	18	(28)

3. Stapeln von Kugelschichten

3.1.	2	4	6	9	12	14
3.2.	2	4	6	9	12	14

3.3.	2	4	6	(9)	12	14
3.4.	2	4	6	9	(12)	14
3.5.	2	4	(6)	9	12	14
3.6.	(a)	b	c	d	e	

3.7.	4	(6)	9	12	16	18
3.8.	4	6	9	12	14	(18)

3.9.	4	(6)	9	12	14	18
3.10.	(a)	b	c	d	e	

Schule:

Klasse:

Alter: Jahre

Geschlecht: M / W

Datum:

Ergebnis: von 40 Punkten

4. Auszählen von Elementarzellen

4.1.	2	4	6	8	12	14
4.2.	2	4	6	8	12	14

4.3.	2	4	6	(8)	12	14
4.4.	2	4	(6)	8	12	14

4.5.	2	(4)	6	8	12	14
4.6.	2	4	6	8	(12)	14
4.7.	1	2	3	(4)	6	8

4.8.	1	(2)	3	4	6	8
4.9.	1	2	3	(4)	6	8
4.10.	1	2	3	(4)	6	8

5. Spiegeln und Drehen von Molekülen

5.1.	1	2	3	4	5	6
5.2.	1	2	3	4	5	6

5.3.	1	(2)	3	4	5	6
5.4.	1	2	3	(4)	5	6
5.5.	1	2	(3)	4	5	6

5.6.	1	2	3	4	6	(8)
5.7.	1	(2)	3	4	6	8
5.8.	1	2	3	4	(6)	8

5.9.	1	2	3	(4)	6	8
5.10.	1	(2)	3	4	6	8

Farbtafel

zu Kapitel 8



Abb. 8.4: Auswahl von Ergebnissen zur Aufgabe: „Male dein Bild von der Chemie“ [9]

Sachwortverzeichnis

- Abbildungsmerkmal 136
- Additionsreaktionen 142
- Akkommodation 65
- Akkumulator 202
- Alchemie 11, 104
- Alcotest 203
- Alltag 40, 120
- Alltags-
 - -chemikalien 199ff
 - -chemie 198
 - -erfahrungen 192
 - -phänomene 198
 - -sprache 24, 45, 164
 - -vorstellungen 10, 185
- Analytik, instrumentelle 106
- Anschauungsmodelle 89, 137, 142
- anthropomorphe Vorstellungen 150
- Äquilibration 65
- Arrhenius-Definition 171
- Assimilation 65
- Atomabsorptionsspektroskopie 106
- Atome 169
 - -gitter 180
 - -Struktur 142
 - -kern 181
 - -masse 166
 - -tabelle 137
 - -modell 141
 - , Daltonsches 68
 - -orbitale 141, 181
 - -symbol 167
 - -Umgruppierungen 142
 - -verbände
 - , finite 148
 - , infinite 148
- Atomistik 229
- Aufgabentrennschärfe 259
- Augenscheinvalidität 262
- Ausführungsformen 117
- Auswahlkriterien 115
- Auswertungsobjektivität 260
- Avogadro-Konstante 166
- Backmittel 200
- Backpulver 200
- Badezimmerchemikalien 199
- Barometerversuch 228
- Basen 171
- Basiskonzepte 63, 211
- Begriffsebenen 176
- Begriffsnetze 175
- Behalten 81
- Bildungsenthalpien 171
- bildungstheoretische Didaktik 58
- Binaufähigkeit
 - , gerichtete 181
 - , ungerichtete 181
- Bindekräfte
 - , gerichtete 141
 - , räumlich ungerichtete 141
- Bindigkeiten 148, 170
- Bindung
 - , chemische 141, 181
 - , polarisierte 181
- Bindungskräfte, van-der-Waals- 181
- Bindungslängen 142
- Bindungswinkel 142
- Bodenversauerung 205
- Brandbekämpfung 203
- Brausetabletten 198
- Brechungsindex 106
- Brennstoffe 201
- Brönsted-Definition 172
- ChemCom 207
- Chemical Ideas 209
- Chemical Storylines 209
- Chemiedidaktik 3
- chemische Symbole 167
- cis-trans-Isomerie 173
- Computer 86, 108
 - -einsatz 88
 - -simulation 87
- Concept Maps 175
- Conceptual Change 66
- Conceptual Growth 66
- Curriculumspirale 70, 176

- Dalton, Atommodell 68, 178
deduktiv 70
Demonstrationsexperimente 116
Denkmodell 137
Denkoperationen 65
Dia 85
Diastereoisomere 172
Didaktik 1
 –, bildungstheoretische 58
 –, lerntheoretische 58
Didaktische Modelle 57
Dipol-Moleküle 181
Diskontinuumsbereich 169
Diskontinuumschypothese 14, 223
Dispergieren 198
Dortmunder Modell 74
Düngemittel 204
Dünnschicht-Chromatographie 106
Durchführungsobjektivität 260

Einheiten 164
 –, SI- 165
Einstellungen 36f, 66
 – zur Chemie 197
Einstieg 38, 111
 – nach Wagenschein 39
elektrische Leitfähigkeit 106
elektromagnetische Wechselwirkungen 223
Elektronegativität 181
Elektronen 181
 – -dicke 141
 – -hülle 181
 – -paar 181
 – -abstoßungs-Modell 181
 – -bindung 141, 181
 – -übertragungen 142
 – -wolkenabstoßungsmodell 141
Elementsymbol 167
Elementarsysteme 223
Elementarteilchen 222
Elementarzelle 139, 143, 169, 183, 264
Eliminierungsreaktionen 142
empirisch-induktive Methode 70
Emulgieren 198
endotherm 170
Energie 170
 –, chemische 17
 – -feld 223
 – -form 17
 – -stufenmodell 181
 – -versorgung 202
Enthalpie 170
 –, freie 170

Entsorgung 108, 110
Entwickler 201
Entwicklungspsychologie 65
Entwicklungsstand 36
Erhaltungskonzept 16
Erkenntnisgewinnung 39, 105
Erkenntnisprozess, historischer 10
exemplarisch 39
Exkursionen 205
exotherm 170
Experiment 87, 103f, 117
Experimentalunterricht 117
Experimentierkästen 93
Extraktion 198
extrinsische Motivation 35

Fachdidaktik 3
Fachdidaktische Ansätze 72
Fachleute, außerschulische 205
Fachsprache 164
Fachsystematik 198
Fähigkeiten 108
Faktor, Intelligenz 253
Faktor Raumvorstellung 253
Feinziele 56
Fernsehen 86
Fernsehkamera 117
Fertigkeiten 108
Feuerlöscher 109
finite Atomverbände 148
Flüssiggas 19
Formeln 55, 167
Frontalunterricht 73
Funktionsisomerie 173
Funktionsmodelle 89

Gasbegriff 241
Gaschromatographie 106
Gedankenexperiment 117
Gefahrensymbole 109
Gefahrstoffverordnung 109
Gefäßbarometer, Torricelli 228
genetisches Lernen 38ff
geschlechtsspezifische Unterschiede 254
Gestaltpsychologie 116
Gleichgewichtskonstanten 106
Grenzen der Modelle 148
Grobziele 56
Größen 164
Grundbausteine der Materie 179

Haarröhrchenkraft 294
Halbmikromaßstab 117

- Halbstruktursymbol 167
Handlungsziele 60
Hauptquantenzahl 181
Hauptschalen 181
Haushaltschemikalien 195
Horror vacui 13, 150, 221
Hypothese 105
hypothetisch-deduktiven Methode 70
- induktiv 70
infinite Atomverbände 148
Infrarot-Spektroskopie 106
Inkongruenztheorie 40
instrumentelle Analytik 106
Intelligenz 251
 –, Primärfaktor 253
Intelligenzfaktoren 253
Interesse 36, 66, 195ff
intrinsische Motivation 36
Ionen 169
Ionenaggregat-Struktursymbol 167
Ionenanzahlenverhältnissymbol 167
Ionenbegriff 185
Ionenbindung 141, 181
Ionengitter 180
 – -Struktur 142
Ionensymbol 167
Ionen-Umgruppierungen 142
irrelevante Zutaten 138
Isomerie 172
Isotop 181
IUPAC 164
- Joule 165
- Kalorie 165
Kalottenmodell 142
Kern-Hülle-Modell 141, 181
Kernresonanzspektroskopie 106
Keto-Enol-Tautomerie 173
kognitive Konflikte 38, 40
kognitive Struktur 65
Komplexreaktionen 181, 198
Konfigurationssymbol 167
Konflikte, kognitive 38, 40
Konformationsisomerie 173
Konformationssymbol 167
Konsistenzanalyse 261
Konstitution
 – -sisomerie 172, 173
 – -symbol 167
Konstruktivismus 66
Kontinuumsbereich 168
Kontinuumshypothese 14, 223
- Korpuskulartheorien 229
Kristallgittersymbole 168
Kugelpackung 139, 143, 147
Kugel-Stab-Modell 142
Kursstruktur 212
Kursthema 212
- Ladung, molare 166
Ladungswolke 181
Ladungszahlen 170
Laue-Diagramme 183
Lehrerdemonstration 117
Lehrpläne 61
Lehrziele 60
Leitfähigkeit, elektrische 106
Leitziele 56
Lerncyclen 211
Lernen
 –, entdeckendes 111
 –, genetisches 38
Lerntaxonomie 57
lerntheoretische Didaktik 58
Lernziele, operationalisierte 56
Lernziel-Hierarchien 57
Lieblingsthemen 194
Liganden 181
 – übertragungen 142
Löslichkeit 106, 198
Luftdruck 105, 227
- Magdeburger Halbkugeln 228
Magnetquantenzahl 181
Makromaßstab 117
Makrovakuum 224
Masse
 –, molare 166
 – -Ladungs-Modell 141
 – -Modell 141
Massenmedien 95
Massenspektrometrie 106
Medien 79
 –, audiovisuelle 206
 – -didaktik 79
 – -erziehung 79
 –, Klassifizierung 82
 – -koffer 93
Metall
 – -bindung 141
 – -gitter 178, 180
 – -kalke 104
 – -Struktur 142
 – -verarbeitung 202
Methode
 –, empirisch-induktive 70

- , hypothetisch-deduktiven 70
- Methodenvielfalt 211
- Methodik 2
- Mikromaßstab 117
- Mikrovakuum 224
- Mineraltabletten 200
- Mischungskonzept 16
- Modell
 - -begriff 136
 - -experimente 89
 - -vorstellung 136, 169, 231
- Modelle 89, 136
 - , didaktische 57
 - , Grenzen 148
- Mol 166
- Molalität 166
- molare Ladung 166
- molare Masse 166
- molare Teilchenzahl 166
- molares Volumen 166
- Molarität 166
- Molecular Modelling 182
- Molekül 169, 180
 - -begriff 230
 - -design 182
 - -gitter-Struktur 142
 - -masse 166
 - -modelle 148
 - -orbitale 141, 181
 - -Struktur 137, 142
 - -symbole 167ff
- Motivation 38
 - , extrinsische 35
 - , intrinsische 36
 - , sachbezogene 111
- Multimedia 87, 206
- Natriumchlorid-Gitter 140
- Nebenquantenzahl 181
- Neutron 181
- Niggli-Symbol 167, 168
- Nomenklatur 164
- Objektivität 260
- operationalisierte Lernziele 56
- optische Aktivität 106
- Orbitalmodell 181
- Overheadprojektion 85
- Pädagogik 1
- Papier-Chromatographie 106
- Parthé-Symbol 167f
- pH-Abhängigkeiten 106
- Phlogistontheorie 10, 12, 104
- PIN-Konzept 68,
- Präkonzepte 10
- Primarbereich 63
- Primärfaktor der Intelligenz 253
- Probierkunst 107
- problemorientierter Unterricht 74
- Projektion 88
- Projekt
 - -methode 75f
 - -orientierung 76
 - -thema 194
 - -unterricht 206
- Protonen 181
 - -übertragungen 142
- Quantenmechanik 222
- quantenmechanisches Atommodell 141
- R- und S-Sätze 109
- Raumgittermodelle 139, 143
- Raumvorstellung 253
 - -stest 255
 - -svermögen 184, 251, 255
- Reaktions-
 - -enthalpie 170
 - -entropie 170
 - -pfeil 169
 - -schema 169
 - -symbol 167, 178
- Realexperiment 117
- Redoxpotentiale 106
- Redoxreaktionen 181, 198
- Regen, saurer 203
- Reliabilität 261
- Retest-Reliabilität 261
- Richtlinien 61
- Rollenspiele 206, 211, 213
- Röntgenbeugung 106
- Sachunterricht 63
- Salters Advanced Chemistry 209
- Salze 169
- Salzlösungen 169
- Sanitärreiniger 199
- Säulen-Chromatographie 106
- Säure-Base-Reaktionen 181, 198
- Säuren 171
- Schalenmodell 141, 181
- Schulbuch 79, 82
- Schüler
 - -arbeitsblatt 115
 - -demonstration 117
 - -experimente 43, 116f, 195
 - -interessen 193

- -vorstellungen 9, 38, 231
- Schultafel 79, 83
- Schwarz-Weiß-Fotografie 198, 201
- Schwierigkeitsindizes 258
- Showexperimente 42
- Sicherheitseinrichtungen 108
- SI-Einheiten 165
- sinnstiftender Kontext 211
- Smog 204
- sokratisch 39
- Sozialformen des Unterrichts 73
- Spiegelbildisomerie 173
- Spinquantenzahl 181
- Stabilitätskonstanten 106
- Stabmodell 142
- Stellungsisomerie 173
- Stereoisomerie 172ff
- Stereosymbol 167
- Stickstoff-Analytik 214
- Stöchiometrie 185
- Stoffmenge 166
- Stoffmengenkonzentration 166
- Struktur
 - , chemische 142
 - -einheiten 183
 - , isomere 37
 - -modelle 69
 - -symbole 167
- Subjektivierungsmerkmal 136
- Substitutionsreaktionen 142
- Summensymbole 167
- Symbolbegriff 167
- Symbole 55
 - , chemische 167, 182
- Symbolsprache 177
- Synthese 107
- Système Internationale 164
- Tafelbild 83
- Tageslichtprojektor 117
- Technik 120
- Teilchen
 - -begriff 169
 - -konzept 20
 - -modell 68, 178, 221
 - -zahl, molare 166
- Textilentfärber 201
- Tintenkiller 198
- Tonfilm 86
- Torricelli-Gefäßbarometer 228
- Transmutation 104
- Transparente 85
- Trinkwasser 204
- Umgangssprache 24
- Umgruppierungssymbol 167
- Umwelt
 - -bildung 214
 - -erziehung 119
 - -koffer 94
 - -projekte 214
 - -schutz 119
- Unterricht
 - , handlungsorientierter 205
 - , Lieblingsthemen 194
 - , problemorientierter 74
 - , projektorientierter 206
 - -sformen 73
 - -splanung 58
 - -sziele 56
- Unterschalen 181
- Unterschiede, geschlechtsspezifische 254
- Urstofftheorien 10, 11
- Vakuum 222
- Valenzisomerie 173
- Validität 262
- van-der-Waals-Kräfte 141, 181
- Verbindungssymbol 167
- Verbrennungsprozess 17
- Vergessen 81
- Verkürzungsmerkmal 136
- Vermittlungsprozesse, Methoden 205
- Vernichtungskonzept 16
- Verseifung 198
- Video 86
- Viskosität 106
- Volumen, molares 166
- Wärmeenergie 165
- Wärmeleitfähigkeit 106
- Waschen 198
- Wasserstoffbrückenbindung 141, 181
- WC-Reiniger 199
- Wechselwirkungen, elektromagnetische 223
- Wellenmechanik 181
- Welle-Teilchen-Dualismus 141, 181, 222
- Wertigkeit 170
- Wortschema 169