Der 11. Jahrgang Chemie in Nordrhein-Westfalen -
Curriculare Entwicklung im Rahmen einer chemiedidaktischen Aktionsforschungsstrategie

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

des Doktors der Pädagogik

– Dr. päd. –

vorgelegt dem Fachbereich Chemie

der Universität Dortmund

von

Bodo Krilla

aus Hattingen

Dortmund 2003

1. Gutachter: **Prof. Dr. Bernd Ralle**

2. Gutachter: **Prof. Dr. Heinz Schmidkunz**

Tag des Rigorosums: **07.11. 2003**

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Januar 2000 bis Juni 2003 am Lehrstuhl für Didaktik der Chemie I im Fachbereich Chemie der Universität Dortmund angefertigt.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt allen Lehrerinnen und Lehrern sowie allen Schülerinnen und Schülern, die an den Untersuchungen beteiligt waren. Durch die engagierte Bereitschaft zur Mitwirkung der Schülerinnen und Schüler wurde die Erhebung der Daten ermöglicht. Durch die fruchtbare und vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den Lehrerinnen und Lehrern wurde diese Arbeit überhaupt erst möglich.

Herrn Professor Dr. Bernd Ralle danke ich nicht nur für eine interessante Themenstellung, sondern für die Möglichkeit der Anfertigung der Arbeit, in einer ausgesprochen angenehmen Arbeitsatmosphäre, mit einem großzügigem Raum zur Entfaltung eigener Ideen und einem hohem Maß an kompetenten Leitlinien.

Maßgeblichen Anteil an der guten Atmosphäre hatten natürlich auch die übrigen Mitglieder der Arbeitsgruppe. Hier möchte ich Dr. Ingo Eilks, mit dem ich einen (genügend großen) Schreibtisch teilen durfte, für die vielen anregenden Diskussionen danken. Weiterhin seien zumindest noch Kirsten Krebs, Sonja Kaiser, Petra Wlotzka und Heiko Wolle genannt, welche in der einen oder anderen Art und Weise einen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Ohne ein harmonisches familiäres Zusammenleben wäre mir die Anfertigung dieser Arbeit über einen so langen Zeitraum schlichtweg unmöglich gewesen. Somit gilt ein großer Dank meinem engeren, aber auch meinem weiteren Verwandtenkreis (YanQi, Marlis, Rudolf, Jessica, Falko, Olaf, Merle, Jule, Renate, Dieter, Nadine, Bian Yulan, Zu ShiQing, YanBin & Xiao Qiu ...)

少則得,
多則惑.

老子

SEEK A LITTLE AND YOU GET A LOT;
SEEK A LOT AND YOU GET PERPLEXED

LAO ZI: THE BOOK OF TAO AND TEH.[1]

[1] GU ZHENGKUN (TRANSL.) (1995). CHAPTER 22, BEJING: PEKING UNIVERSITY PRESS

0. Vorwort

Das Fach Chemie hat mit einer Reihe von nicht zu übersehenden Problemen zu kämpfen. Zum einen wird chemischer Lernstoff häufig nicht zum Kanon der Allgemeinbildung gezählt. Aufgrund dieser mangelnden Akzeptanz vermögen viele Menschen es nur schlecht einzuschätzen, welche Bedeutung dieses Fach für ihr eigenes Leben hat und welchen Beitrag die chemische Forschung und Industrie zu unserem Wohlstand leistet. Zum anderen ist das Fach Chemie als Schulfach nicht besonders beliebt, was zu sinkenden Schüler- und Studentenzahlen geführt hat.

Die Konzeption *Chemie im Kontext* ist entstanden, um beiden Miseren entgegen zu wirken. Jedem Schüler soll die Bedeutung von Chemie für seinen Alltag deutlich gemacht werden und er sollte in die Lage versetzt werden, Sachverhalte auf Basis seines in der Schule erworbenen Wissens zu analysieren und sich notwendige Informationen zu beschaffen, um seine Fragen zu beantworten. Erreicht werden soll dies im Wesentlichen durch drei Maßnahmen. Zum einen soll nicht allein die Fachsystematik der Wissenschaft Chemie leitend für den Unterrichtsgang sein, sondern gleichberechtigt ein Spektrum von Kontexten, d. h. eine ausgewählte Sammlung von Themen mit deutlichem Bezug zur Lebenswelt. Die grundlegenden Prinzipien der Chemie sollen die Schüler über im Hintergrund der Kontexte aufzubauende sog. *Basiskonzepte* erwerben. Weiterhin ist angestrebt, den Unterricht methodisch vielfältiger als allgemein in deutschen Schulen üblich zu gestalten. Insbesondere sollen Methoden eingesetzt werden, die selbstständiges Lernen fördern.

Die im englischsprachigen Ausland vorhandenen Curricula (z. B. *Salters*[1] oder *ChemCom*[2]), bieten eine Reihe an Anknüpfungspunkten für die Entwickler von *Chemie im Kontext*, allerdings ließen sich diese Lehrgänge einerseits nicht einfach auf das deutsche Schulsystem übertragen, andererseits gingen sie insbesondere bezüglich der methodischen Vorgehensweise keine grundsätzlich neuen Wege. So entstand das Projekt *Chemie im Kontext*, welches direkt auf die Verhältnisse in Deutschland entwickelt wurde. Zum Zeitpunkt dieser Arbeit lagen jedoch nur punktuelle Erfahrungen vor. Erst wenige Unterrichtseinheiten waren unabhängig voneinander erprobt worden.

Die elfte Jahrgangsstufe hat im bundesdeutschen Schulsystem für viele Fächer und insbesondere auch für das Fach Chemie eine sehr grundlegende Bedeutung.

---

[1] Bei *Salters Advanced Chemistry* handelt es sich um ein kontextorientiertes Curriculum, welches seit 1985 in England unterrichtet wird. Die Einteilung der Kontexte in Einheiten wurde von *Chemie im Kontext* vom *Salters*-Projekt übernommen. Zu *Salters* vergleiche auch BURTON et. al. (2000, 1994a-c) und WADDINGTON (2000, S. 25 – 33).

[2] Bei *Chemistry in the Community* (kurz: *ChemCom*) handelt es sich um ein amerikanisches Curriculum, in welchem die Probleme einer imaginären Kleinstadt zum Ausgangspunkt für den Chemieunterricht gemacht werden. Vergleiche hierzu auch HEIKINNEN & BERGQUIST (1993a-b).

Nicht nur, dass die Schüler sich im Laufe dieses Jahres für ihre Leistungskurse und weitergeführten Grundkurse entscheiden müssen, auch inhaltlich wird in diesem Schuljahr ganz unterschiedliches Vorwissen zusammen geführt, Wissen, auf welches im Laufe der Oberstufe immer wieder zurückgegriffen wird und an welches angeknüpft werden muss. Nachdem im Jahre 1999 in Nordrhein-Westfalen in Kraft getretenen Lehrplan werden z. B. die Einführung in die organische Chemie und die Einführung in das chemische Gleichgewicht im elften Schuljahr vorgenommen. Auch stehen so wichtige Ideen wie die der Reaktionsfolge und des Kreisprozesses auf dem Lehrplan.

Im Laufe dieser Arbeit wurde das elfte Schuljahr vollständig mit Hilfe von Einheiten nach Chemie im Kontext geplant und in zwei Zyklen erprobt. In einem ersten Schritt mussten die einzelnen Einheiten teilweise erstellt, teilweise angepasst werden. Weiterhin wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Einheiten (von den fünf durchgeführten) näher mit dem Ziel untersucht sie zu optimieren. Es handelt sich hierbei um die Einstiegseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* sowie um die Einheit *Saure Reiniger im Haushalt*, in welcher in das chemische Gleichgewicht eingeführt wird. Die Beschreibungen zu den Einheiten zusammen mit den Untersuchungen, sowie ihren Optimierungen finden sich in Kapitel 2 bzw. 3.

In Kapitel 1 werden die zum Verständnis dieser Arbeit notwendigen Grundlagen erläutert. Es findet sich dort ein Überblick über unterschiedliche Aspekte, die für die Durchführung dieser Arbeit als grundlegend eingeschätzt werden. Dabei handelt es sich um die Bereiche „Alltagsorientierung des Chemieunterrichts“, „Lernen und Lehren mit Multimedia“, „Lernen und Lehren des chemischen Gleichgewichts“ sowie der „Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung“. Zum Abschluss von Kapitel 1 wird die Zielsetzung dieser Arbeit genauer umrissen.

Um eine hohe Praxistauglichkeit der Ergebnisse zu erzielen, wurde für die curriculare Entwicklung der Weg der angewandten chemiedidaktischen Aktionsforschung gewählt, wie sie von EILKS & RALLE (2002a-b) oder von LIJNSE beschrieben wurde. Über Feedbackmechanismen wie Fragebogenstudien für die Schüler oder regelmäßige Treffen mit den Lehrkräften werden Daten gesammelt, die u. a. zur Optimierung der Vorschläge dienten.

Zum besseren Verständnis dieser Arbeitsweise sei LIJNSE zitiert. Er vergleicht (LIJNSE 2000) wünschenswerte chemiedidaktische Forschung mit der wissenschaftlichen Vorgehensweise der Ingenieurswissenschaften.

> *„Didactics, taken as a scientific activity, can, I think, best be characterised as a way of educational engineering, while much of science education research seems to aim at understanding teaching and learning (science) as a theoretical science.“*
>
> LIJNSE (2000)

Aus meiner Sicht lässt sich auch ein Vergleich mit der Erstellung von Software ziehen. Vereinfacht lässt sich der Erstellungsprozess wie folgt beschreiben: Ein Programm wird geschrieben und in einer ersten Phase von einem kleinem Kreis von Testern erprobt, dann geht die Testphase in die Beta-Phase über, in welcher auch ein größerer Kreis an Testern hinzukommt. In den Testphasen geht es jeweils darum, die gröbsten Fehler zu finden und die Bedienung zu erleichtern. Aber selbst nach einer ersten Fertigstellung wird ein Programm ständig verbessert und den Bedürfnissen der Nutzer angepasst.

LIJNSE (2000) beschreibt die Vorgehensweise einer didaktischen Forschung wie folgt:

> *„Starting from explicit views of science and science teaching and learning, such developmental research involves a cyclical process of conceptual analysis, small-scale curriculum development with teacher cooperation and training, and classroom research of teaching-learning processes.“*
>
> LIJNSE (2000)

Ähnlich wurde in diesem Projekt vorgegangen. Eine Einheit wird zuerst geplant und schließlich in mehreren Zyklen getestet und optimiert. In dieser Arbeit wurden zwei Zyklen durchlaufen. Im ersten Zyklus wurden zwei Lehrkräfte ein Jahr lang begeleitet und der Unterricht fast vollständig hospitiert. Im zweiten Zyklus wurde mit sieben Lehrkräften zusammengearbeitet. Die Gruppe traf sich in Abständen von etwa sechs Wochen. Auf den Treffen wurden sowohl die im Unterricht gesammelten Erfahrungen diskutiert, als auch der kommende Unterricht vorbereitet.

In den Kapiteln 2 und 3 wird u. a. verdeutlicht, wie die diskursive Zusammenarbeit sich gestaltete und wie deren Ergebnisse in die Optimierung des Konzepts eingeflossen sind.

Neben der Optimierung des eigenen Konzepts wurden auch einzelne Aspekte herausgearbeitet, die von allgemeinerer Gültigkeit seien dürften und somit eine Bedeutung über die konkrete Situation hinaus haben, in der sie erzielt worden sind. Hierbei ergänzten Schüler-Fragebogenstudien und eine Schüler-Interviewstudie die Erkenntnisse, welche sich aus der Zusammenarbeit mit den Lehrkräften ergeben hatten.

Im Rahmen der Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* betrifft dies vor allem die Unterrichtsmethode der arbeitsteiligen Gruppenarbeit, sowie den Einsatz von Experimenten und deren Funktion im Unterricht (Kapitel 2). Bei der Einführung des chemischen Gleichgewichts werden die verschiedenen gefundenen Verständnisprobleme vorgestellt und begründete Vorschläge unterbreitet, wie eine Konzeption angelegt sein sollte, um den Problemen - so gut es geht - vorzubeugen (Kapitel 3).

Zum Abschluss des Vorworts sei darauf aufmerksam gemacht, dass im Rahmen dieser Arbeit grundsätzlich geschlechtsunspezifisch von Schülern und Lehrkräften gesprochen wird. Auf die doppelte Nennung der weiblichen und männlichen Form wird sowohl aus Gründen der Lesbarkeit, wie auch aus Gründen der Anonymisierung verzichtet.

1. Grundlagen

In diesem Kapitel werden verschiedene Grundlagen besprochen, die für die folgende Arbeit von Bedeutung sind. Häufig wird in den nachfolgenden Kapiteln dabei auf dieses Grundlagen Kapitel verwiesen werden.

Auf Grund der Vielfältigkeit der vorliegenden Arbeit werden Grundlagen aus den verschiedensten Bereichen, wie etwa aus dem Bereich des alltagsorientierten Chemieunterrichts, dem Lernen mit Multimedia oder dem Lehren und Lernen des Konzepts des chemischen Gleichgewichts, benötigt. Die verschiedenen Teilbereiche sind dabei unabhängig voneinander. Die Wahl der Reihenfolge in diesem Kapitel ist daher rein willkürlich.

1.1. Alltag im Chemieunterricht

Seit etwa Anfang der 70iger Jahre des 20. Jahrhunderts orientiert sich der Chemieunterricht an der Systematik des Faches Chemie. Die Entwicklung begann bereits in den 60iger Jahren und laut PFEIFER, HÄUSLER & LUTZ (1997, S.37) kann man einen Rundfunkvortrag von WENINGER im Jahre 1968 als einen entscheidenden Impuls sehen.

Im Zuge des propädeutischen Chemieunterrichts verwissenschaftlichte sich dieser so stark, das vielfach darin ein Problem gesehen wurde und gefordert wurde mehr alltägliche Beispiele zu unterrichten oder gar den Unterricht am Alltag zu orientieren. Bereits 1987 erschien mit der Juni / Juli Ausgabe ein Heft der Zeitschrift NATURWISSENSCHAFTEN IM UNTERRICHT PHYSIK / CHEMIE, welches den Titel *Alltagschemie* trug. Dort greifen DECKER, LUTZ, PFEIFER & SCHMIDKUNZ eine Rede von HÄUßLER auf, in welcher dieser folgendes fordert:

> *„Der Chemieunterricht muß immer, also von Anfang an, den Alltagsbezug berücksichtigen."*
>
> DECKER, LUTZ, PFEIFER & SCHMIDKUNZ (1987)

Zehn Jahre später erscheint abermals ein Themenheft derselben Zeitschrift mit dem Titel *Alltagsorientierung im Chemieunterricht*. In ihm fordert JUST

> *„Allerdings sind die Lehrplanvorgaben deutlich zu verändern. Denn es ist heute nicht mehr legitim, chemische Theorie um Ihrer selbst willen zu unterrichten."*
>
> JUST (1997)

Alleine anhand dieser starken Forderung lässt sich erkennen, dass sich innerhalb dieses zehn Jahreszeitraums in der Praxis nicht viel getan hatte, was dem Alltag zum Einzug in den Chemieunterricht verholfen hätte. Jedoch wurden in diesem Zeitraum eine Reihe interessanter Konzepte vorgestellt, welche es sich zur Aufgabe gemacht haben, den Alltag in den Chemieunterricht einfließen zu lassen. Einige von diesen werden in Abschnitt 1.1.2 vorgestellt werden. Dort wird auch der zum 01. August 1999 in-Kraft-getretene Chemie-Lehrplan für die Oberstufe von Nordrhein-Westfalen kurz betrachtet werden.

Im folgenden Abschnitt soll jedoch zuerst einmal erläutert werden, warum die Integration eines Alltagsbezugs in den Chemieunterricht überhaupt wünschenswert ist.

1.1.1. *Begründungen für die Orientierung am Alltag*

Obwohl es eine Reihe, z. T. deutlich voneinander abweichende, Konzeptionen gibt, wie man den Chemieunterricht am Alltag orientieren soll, fallen die Begründungen umso einheitlicher aus. Zu Anfang dieses Abschnitts wird ein allgemein-didaktisches Modell vorgestellt und auf dessen Basis eine Begründung für Alltagsorientierung aufgezeigt. Ein weiterer Grund dieses hier vorzustellen, besteht darin, dass die in Abschnitt 1.1.2 aufgeführten fachdidaktischen Modelle dann als fachdidaktische Ausschärfungen allgemein-didaktischer Ansätze verstanden werden können. So wird auch ihre einheitlich anmutenden Forderungen nach einem alltagsorientierten Chemieunterricht deutlich.

1.1.1.1. Begründung auf Basis der kritisch-konstruktiven Didaktik

In den 70iger und Anfang der 80iger Jahre gab es vier miteinander konkurrierende didaktische Ansätze: den lerntheoretischen (vergleiche SCHULZ (1980)), den kritisch-kommunikativen (vergleiche WINKLER (1980)), den curricularen (vergleiche MÖLLER (1980)) und den bildungstheoretischen (vergleiche KLAFKI (1980)), sowie einen fünften Ansatz, den der informationstheoretischen-kybernetischen Didaktik (vergleiche VON CUBE (1980)), welcher allerdings eher eine Außenseiterrolle einnahm (vergleiche die Abschlussdiskussion zum „Didaktischen Forum“ in *Westermanns Beiträge zur Pädagogik* 1980, S. 242-248). Von dem kritisch-konstruktiven Ansatz von KLAFKI, welcher auf dem bildungstheoretischen Ansatz fußt, sagt PETERßEN:

> *„Offensichtlich hat KLAFKI alle als bewährt empfundenen Momente, Vorschläge usw. der seinerzeit miteinander konkurrierenden didaktischen Theorien zu einer Mischtheorie zusammengefaßt.“*
>
> PETERßEN (1998, S. 79)

Mit Veröffentlichung der Ergebnisse der PISA-Studie[1] (vergleiche z. B. BAUMERT, KLIEME, NEUBRAND, PRENZEL, SCHIEFELE, SCHNEIDER, STANAT, TILLMANN & WEIß (2001)) wurde in Deutschland eine Bildungsdiskussion entfacht, wie sie etwa von der Wochenzeitung *Die Zeit* unter *www.zeit.de/wissen/bildung/pisa_index*[2] dokumentiert wurde. Entsprechend scheinen bildungstheoretische basierte Ansätze wieder auf der Höhe der Zeit zu

[1] Informationen zur PISA-Studie sind u. a. auf der Homepage des Max-Planck-Instiuts für Bildungsforschung zu beziehen: *www.mpi-berlin.mpg.de/pisa* (gesehen am 20.05.2003)

[2] (gesehen am 20.05.2003)

sein. Auch aus diesem Grund wird die kritisch-konstruktive Didaktik an dieser Stelle exemplarisch für einen allgemein-didaktischen Ansatz vorgestellt.

Die Planung von Unterricht auf Basis der Theorie der kritisch-kommunikativen Didaktik lässt sich am einfachsten mit Hilfe einer Abbildung erläutern. In Abbildung 1 ist erkennbar, dass zur Planung von Unterricht sieben einzelne Aspekte beachtet werden sollen, die von KLAFKI vier Kategorien zugeordnet wurden.

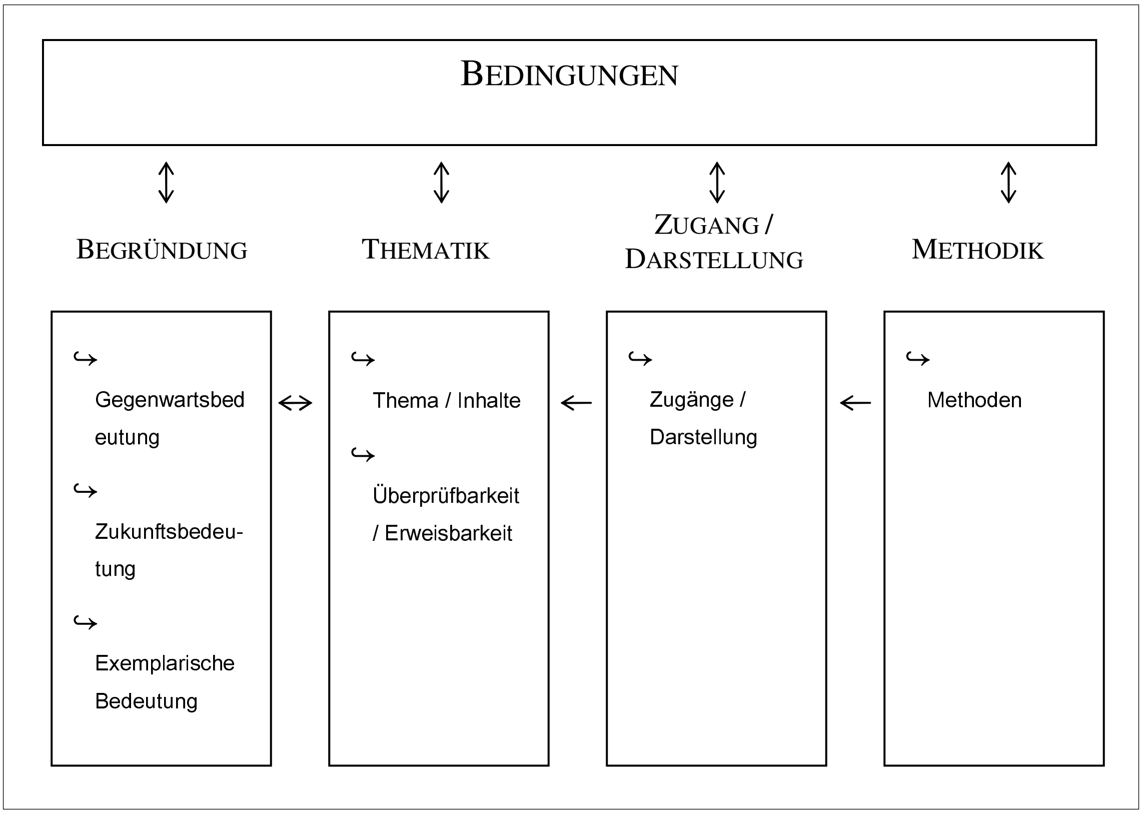


Abbildung 1 Didaktische Aufgaben bei der Unterrichtsplanung aus: PETERßEN (1998, S. 67)

Den Feldern *Zugang & Darstellung*, sowie *Methodik* bescheinigt PETERßEN (1998, S. 66), dass sie blass und unzureichend blieben. Im Bereich Methodik wird die Art und Weise der Auseinandersetzung der Schüler mit der Thematik geplant. Dies geschieht wohl weitestgehend durch die Festlegung der zugebrauchenden Sozialform(en), also beispielsweise Frontalunterricht, arbeitsteilige Gruppenarbeit, Expertenunterricht, Gruppenpuzzle, Lernen an Stationen usw. . Eine Übersicht und ausführliche Darstellung verschiedener Unterrichtsmethoden wird z. B. von PETERßEN (2001) in *Das kleine Methoden-Lexikon* gegeben.

Im Feld *Zugang & Darstellung* geht es im weitesten Sinne darum, ob die Thematik von sich aus bestimmte Einstiegsmöglichkeiten bietet und ob sie, sozusagen, innen wohnende Arten der Darstellung mit sich bringt (PETERßEN (1998, S.66).

Im Feld *Thematik* werden zwei Aspekte genannt. In einem geht es um die Überprüfbarkeit bzw. Erweisbarkeit des Lernerfolgs. Beim zweiten Aspekt handelt es sich um den zu unterrichtenden Inhalt, von diesem sagt PETERßEN

> *„Es wird gefragt nach jenen Momenten und Zusammenhängen, wie sie sich zu allererst ergeben und zeigen, wenn ein Thema didaktisch formuliert worden ist, wenn zu dem bloßen Sachverhalt das pädagogische Moment hinzukommt, wenn er für pädagogisch-didaktische Zwecke verwendet werden soll."*
>
> PETERßEN (1998, S.66)

Das Feld der *Begründung* ist aus bildungstheoretischer Sicht sicherlich das Bedeutendste. Aufgeteilt nach Gegenwarts-, Zukunfts- und exemplarischer Bedeutung (für die Schüler) soll an dieser Stelle begründet werden, warum ein Thema für den Schulunterricht ausgewählt wurde. Dies bedeutet insbesondere eine Schülerorientierung bei der Auswahl der Thematik.

Nach dem Ansatz der kritisch-konstruktiven Didaktik sind sicherlich unterschiedliche Arten von Unterricht denkbar. Dazu gehört aber auch ein am Alltag orientierter Chemieunterricht. So kann das Feld *Begründung* von einem alltagsorientierten Chemieunterricht denkbar einfacher erfüllt werden, als von einem fachsystematisch orientierten.

Zur Unterstützung dieser Behauptung betrachte man beispielsweise typische Zugänge zum Thema Alkohol. Bei einem alltagsorientierten Vorgehen kann mit alkoholischen Getränken und weiteren Produkten des Alltags, wie z. B. Medizin, eingestiegen werden und von diesen ausgehend lassen sich Eigenschaften von Alkohol(en) sinnstiftend erforschen. In einem fachsystematischen Unterricht wird hingegen mit einer fachlichen Einteilung (homologe Reihe) begonnen, es schließen sich die Eigenschaften von Alkohol(en) im systematischen Gang an. Bei der letzteren Vorgehensweise würde es problematisch, die Bedeutung z. B. der homologen Reihe, wohlgemerkt für die Schüler, nicht für das Fach, zu erläutern. Hier würde man sicher den Umweg über bekannte Stoffe aus dem Alltag gehen. Dagegen bräuchte man bei einer Alltagsorientierung nur einzuordnen, welche Aspekte Gegenwarts-, Zukunfts- und / oder exemplarische Bedeutung haben. Auf Grund des sinnstiftenden Kontextes fällt es geradezu leicht, die Behandlung einer Thematik erfolgreich zu begründen.

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die in Abschnitt 1.1.2 vorgestellten fachdidaktischen Konzepte auch unter dem Aspekt betrachtet werden können, dass sie spezielle Ausschärfungen eines allgemeindidaktischen Konzeptes für den Bereich des Chemieunterrichts sind. Eine solche Betrachtungsweise mag bei der Formulierung der Konzepte zwar nicht unbedingt von den jeweiligen Autoren intendiert gewesen sein, jedoch macht diese Betrachtungsweise durchaus Sinn, da die meisten Punkte des kritisch-konstruktiven Modells von allen drei aufgeführten fachdidaktischen Modellen beachtet werden (vergleiche Abschnitt 1.1.2).

1.1.1.2. Fachdidaktische Begründungen

In allgemeinen fachdidaktischen Begründungen für eine Orientierung des Chemieunterrichts am Alltag wird als erstes Argument häufig die Schülerorientierung genannt.

So erhofft man sich durch Alltagorientierung beispielsweise eine höhere Motivation bei den Schülern. Diese Hoffnungen können z. B. von den Praxis-Erfahrungen von BEHRENDT, JUST, FAUST, MEYER-VOGEL & UEBERS (1997) oder der Umfrage von BARKE (1987) gestützt werden. BARKE hat dabei in seiner Umfrage nicht nur herausgefunden, dass die meisten Schüler sich eine größere Alltagsorientierung des Chemieunterrichts wünschen, sondern auch gleichzeitig eine Rangliste von vorgegebenen Themen, nach Geschlechtern getrennt, erstellt. Weiterhin hat er nach weiteren Themenwünschen der Jugendlichen gefragt und kommt zu dem Schluss

> *„Auch diese Themenwünsche signalisieren die bereits festgestellte Ernsthaftigkeit beim Bearbeiten des Fragebogens und damit ein tatsächliches Interesse des Alltags und an der Umwelt."*
>
> BARKE (1987)

Von den Schülern waren als zusätzliche Themenwünsche z. B. folgende genannt worden: Altreifen, Aromastoffe, Badezusätze, Duftstoffe, Feuerwerk, Frostschutz, Geschmackstoffe, Haarwaschmittel, Verpackungen für Lebensmittel, Düngemittel, Haushaltsreiniger, Papier aus Altpapier, Treibstoff aus Zucker, Waschmittel.

Von den Autoren fachdidaktischer Konzepte (vergleiche Abschnitt 1.1.2) werden, neben motivatonalen Aspekten, zu meist lerntheoretische Begründungen angeführt. So bezieht sich LINDEMANN (1999, S.33) ausdrücklich auf die Theorie PIAGETs und PARCHMANN, DEMUTH, RALLE, PASCHMANN & HUNTEMANN (2001) beziehen sich auf konstruktivistische Lerntheorien und hier insbesondere auf Theorien im Bereich des *trägen Wissens* und des *situativen*, *kontextorientierten Lernens*. Der sich anschließende Abschnitt macht hierzu genauere Ausführungen.

1.1.1.3. Lerntheoretische Begründungen

Die konstruktivistische Sichtweise

Ein weiterer Aspekt der Schülerorientierung betrifft einen lerntheoretischen Aspekt. Unter pädagogischem Konstruktivismus wird häufig eine recht radikale Sichtweise verstanden, welche davon ausgeht, dass sämtliches Wissen von jedem Individuum neu erschaffen werden muss. OGBORN (1997) greift die Anhänger dieser Richtung des pädagogischen Konstruktivismus stark an. Jedoch gesteht er auch ein, dass vielfach unter diesem Begriff eine gemäßigte Variante verstanden wird, welche im Wesentlichen vier Punkte fordere, mit welchen man sich sofort einverstanden erklären kann und die keinen weiteren Streit erfordern:

„The importance of pupil's active involvement in thinking if anything like understanding is to be reached.

The importance of respect for the child and for the child's own ideas.

That science consists of ideas created by human beings.

That the design of teaching should give high priority to making sense to pupils, capitalising and using what they know and addressing difficulties that may arise from how they imagine things be.“

OGBORN (1997)

Vertreter eines gemäßigten Konstruktivismus führen an, dass man nicht einfach Wissen in die Köpfe von Schülern transferieren kann, sondern dass diese das Wissen in ihrem Kopf selbsttätig neu erschaffen müssen. Hierfür sei es notwendig Anknüpfungspunkte mit bekanntem, bereits vorhandenem Wissen zu schaffen. Durch eine Alltagsorientierung lässt sich hoffen, solche Anknüpfungspunkte finden zu können (vergleiche etwa PARCHMANN, DEMUTH, RALLE, PASCHMANN & HUNTEMANN (2001)).

Träges Wissen

Weiterhin war man auf das Phänomen des *trägen Wissens* aufmerksam geworden, welches sich ungefähr wie folgt zusammenfassen lässt: Wissen welches in der Schule erlernt und in Tests erfolgreich abgeprüft wurde, kann von den Schülern außerhalb der Schule nicht angewendet werden. Es wird daher *träges Wissen* genannt. RENKL (1996) nennt drei Typen von Erklärungsansätzen für dieses Phänomen:

*„**Metaprozeßerklärungen** gehen davon aus, daß das notwendige Wissen vorhanden ist, aber nicht genutzt wird, da Metaprozesse (z. B. metakognitive Steuerungsprozesse) defizitär sind.*

***Strukturdefiziterklärungen** sehen die Defizite im Wissen selbst angesiedelt, d. h. das Wissen ist nicht in einer Form vorhanden, die eine Anwendung desselben erlauben würde.*

*In **Situiertheitserklärungen** wird der traditionelle Wissens- und Transferbegriff der kognitiven Psychologie in Frage gestellt. Die Grundannahme lautet dabei, daß Wissen prinzipiell situativ gebunden sei.“*

RENKL (1996)

Dabei kommt RENKL zu dem Schluss, dass, wenn man den Situiertheitserklärungsansätzen folgt, nach denen Wissen an den situativen Kontext gebunden sei, die Lernsituation der Anwendungssituation weitgehend entsprechen sollte. Hierfür würde sich die Vorgabe komplexer, realitätsnaher Probleme eignen.

1.1.1.4. Äußerer Zwang durch gesellschaftsrelevante Probleme

Veränderungen werden dann schnell umgesetzt, wenn der Leidensdruck hoch ist und die TIMS-Studie hat für den notwendigen Leidensdruck im mathematisch-

naturwissenschaftlichen Unterricht gesorgt. So äußerte sich MANDL (2000, S.10) auf eine Nachfrage nach den Chancen für eine Umsetzung von neuen Konzepten. Dies schließt auch den Bereich der Chemiedidaktik und der Umsetzung fachdidaktischer Konzepte im Schulunterricht ein. Zwar wird in einzelnen Aufsätzen spätestens seit 1987[1] immer wieder von einer gewissen Unzufriedenheit berichtet und die Orientierung des Chemieunterrichts am Alltag gefordert, jedoch konnte dieser Forderung augenscheinlich kein ausreichender Nachdruck verliehen werden. Dies änderte sich 1995 mit der TIMS-Studie zum ersten Mal (vergleiche z. B. BAUMERT, BOS & LEHMANN (2000) oder auch *www.timss.mpg.de* (gesehen am 30.05.2003)) und wurde durch die PISA-Studie 2000 (vergleiche z. B. BAUMERT, KLIEME, NEUBRAND, PRENZEL, SCHIEFELE, SCHNEIDER, STANAT, TILLMANN & WEIß (2001) oder auch *www.mpi-berlin.mpg.de/pisa* (gesehen am 30.05.2003)) deutlich unterstützt. Beide Studien ergaben, dass deutsche Schüler in den Naturwissenschaften nur (unter-)durchschnittlich im Ländervergleich abschnitten. Da die PISA-Studie auch eine Reihe an lebensweltbezogenen Aufgaben umfaste, wie z. B. dem Interpretieren eines populär-wissenschaftlichen Textes zur Ozon-Problematik (vergleiche hierzu OECD (2001)[2]), scheint ein Ruf nach mehr Alltagsorientierung im Unterricht nur gerechtfertigt. So lassen sich Änderungen von Lehrplänen, wie z. B. in Nordrhein-Westfalen (vergleiche Abschnitt 1.2), sicherlich auch auf solche äußeren Zwänge zurückführen.

Dies waren aber nicht die einzigen Probleme, die aufgetreten waren. So beklagten die Universitäten einen beinahe dramatischen Rückgang der Studierenden in den Naturwissenschaften und im Ingenieurswesen. Für den Studiengang *Diplom-Chemie* lagen beispielsweise die Zahlen der Studienanfänger von 1992 bis 2000 ungefähr auf der Hälfte des Niveaus der Jahrgänge 1989 bis 1991 (GDCH (2002, S. 6)). Es wurde also nach Konzepten gesucht, die Schüler so zu motivieren, dass sie wieder Spaß an den Naturwissenschaften bekommen sollten.

Weiterhin konstatieren LINDEMANN & BRINKMANN (1994), dass sich in der Bevölkerung eine „Chemophobie“ breit gemacht hätte, welche auf Unwissen und Falschinformationen beruhen würde. Aus ihrer Sicht kann eine Alltagsorientierung hier Vorurteile überwinden helfen.

Auch der chemischen Industrie ist an einer Überwindung der Chemophobie in der Bevölkerung gelegen und sie setzt ebenfalls auf eine Alltagsorientierung, wie z. B. das *Salters*-Projekt aus Großbritannien zeigt. Hier wurde die Entwicklung eines kontextorientierten Curriculums u. a. von verschiedenen industriellen Fir-

[1] Etwa in dem Heft 25 „Alltagschemie“ der Zeitschrift Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie von 1987

[2] Für eine deutsche Version der Aufgabe und Musterlösung vergleiche man die folgenden beiden Quellen:

PISA 2000 – Beispielaufgaben aus dem Naturwissenschaftstest.
www.mpib-berlin.mpg.de/pisa/Beispielaufgaben_Naturwissenschaften.pdf, S. 8 -12

PISA 2000 - Lösungen der Beispielaufgaben aus dem Naturwissenschaftstest
www.mpib-berlin.mpg.de/pisa/Loesungen_Naturwissenschaften.PDF, S. 9 - 14

(beide gesehen am 02.06.2003)

men, wie z. B. *The Salters Institute for Industrial Chemistry, The Association of British Pharmaceutical Industry, BP Chemicals, British Steel, Esso UK* oder *Shell UK* maßgeblich unterstützt (BURTON, HOLMAN, PILLING & WADDINGTON (1994b)). SCHEUER (2002, S. 23) hebt hervor, dass auch die deutsche Industrie mit (einer kostenintensiven) Öffentlichkeitsarbeit versucht das Vertauen der Bevölkerung zurück zu gewinnen. Er listet in diesem Zusammenhang Aktivitäten wie „Tage der offenen Tür “, Informationstage für Schulabgänger, komplette Unterrichtskonzepte inklusive kostenlosem Chemikalienpaket und Folienserien auf.

1.1.2. *Vorstellung verschiedener Konzepte der Umsetzung*

Im Folgenden werden drei verschiedene Konzepte (*Alltagschemie*, *der wahldifferenzierte Chemieunterricht* und *Chemie im Kontext*) vorgestellt. Anhand dieser Beispiele wird verdeutlicht, wie eine Alltagsorientierung im Chemieunterreicht in der Praxis umgesetzt werden kann. Dabei wird das Konzept *Chemie im Kontext* am ausführlichsten vorgestellt, da es im Rahmen dieser Arbeit zum Tragen kommt. Allen drei Konzepten ist es gemein, dass sie Chemieunterricht konsequent am Alltag orientieren.

Weiterhin wird der 1999 in-Kraft-getretene Lehrplan für die Oberstufe in Nordrhein-Westfalen kurz erläutert, da er weitgehende Forderungen an Alltagsorientierung umsetzt. Hier wird der Schwerpunkt auf die 11. Jahrgangstufe gelegt, da diese im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wird.

Für die Auswahl der hier vorgestellten Konzepte stand vor allem die Frage, ob sie einen wirklich alltagsorientierten Chemieunterricht ermöglichen, im Vordergrund. Dabei unterscheidet JUST (1997) wie folgt:

> *„Während Chemieunterricht auch mit Alltagsbezügen nach der Logik des Fachs ausgerichtet ist und an geeigneten Stellen gelungen Alltagsbezüge aufgreift, richtet sich die Struktur bei alltagsorientiertem Chemieunterricht vornehmlich nach den Notwendigkeiten, die ein Alltagsthema bedingt.“*
>
> JUST (1997)

Diese Forderung darf man nicht missverstehen mit der Forderung nach einer Naturlehre. Viel mehr möchte JUST auch, dass in einem alltagsorientierten Chemieunterricht chemische Kenntnisse gewonnen werden, welche zum Aufbau eines systematischen Wissens geeignet sind.

Andere Konzepte, wie z. B. der *praxisorientierte Chemieunterricht* nach PFEIFER (1997), welche zwar ähnliche Zielsetzungen aufweisen, jedoch noch deutliche Schwerpunkte im Bereich der fachwissenschaftlichen Orientierung setzen, bleiben hier unberücksichtigt. So kommt auch JUST zu der Schlussfolgerung:

> *„Es wird deutlich, dass ‚praxisorientierter Chemieunterricht' und alltagsorientierter Chemieunterricht z. T. ähnliche Zielsetzungen haben. Es bleibt offen, ob das Ausmaß und die Intensität des chemischen Basiswissens von Seiten der Chemie bestimmt wird oder sich an der Alltagsorientierung misst.“*
>
> JUST (1997)

1.1.2.1. Der *Wahldifferenzierte Chemieunterricht*

Der Begriff des *Wahldifferenzierten Unterricht*s wurde von WOEST (1995, 1996, 1997) geprägt. Den Unterrichtsablauf teilt er in drei Phasen ein. In Tabelle 1 lässt sich die von WOEST vorgenommene Einteilung nachlesen.

	Unterrichtsstunden
Phase 1 Themeneinstieg, Übersicht **Fundamentum** Schwerpunkte, Wahlphase	2-3
Phase 2 Strukturierung, Planung **Freies Arbeiten** Produkterstellung	10-12
Phase 3 Produktvorstellung **Zusammenfassung** Systematisierung, Vertiefung	2-3

Tabelle 1 Phasen des wahldifferenzierten Unterrichts aus WOEST (1995)

Phase 1 dient dem Themeneinstieg. Dabei werden wichtige Lerninhalte zusammen im Klassenverband soweit vorbesprochen, dass sich die Lernenden eigene Schwerpunkte wählen können.

Phase 2 dient der freien Bearbeitung, wobei im Idealfall in sich ergänzenden Kleingruppen arbeitsteilig gearbeitet werden sollte. Dem Lehrer kommt in dieser Phase eine unterstützende Rolle zu.

Phase 3 dient dem Abschluss der Gruppenarbeit und der Erstellung eines gemeinsamen „Produktes“, wie z. B. einer Wandzeitung. Weiterhin kann der Lehrer verschiedene Themen zur Systematisierung aufgreifen und vertieft behandeln.

Das bisher beschriebene Unterrichtsverfahren macht eine Alltagsorientierung noch nicht zwingend notwendig. Durch verschiedene Maßnahmen möchte WOEST aber sichergestellt wissen, dass diese in den oben skizzierten Verlauf einfließt. So sollen etwa die für den Themeneinstieg genutzten Informationsmaterialien bewusst teilweise aus Broschüren bestehen oder in der Phase 2 des freien Arbeitens sollen bewusst lokale Experten von den Schülern befragt werden, um so authentische Informationen aus dem alltäglichen Leben in die Schulklasse zu holen. Natürlich wird die Alltagsorientierung auch durch eine entsprechende Themenstellung gewährleistet.

Der *Wahldifferenzierte Unterricht* nach WOEST wurde z. B. von BEHRENDT, JUST, FAUST, MEYER-VOGEL & UEBERS (1997) aufgegriffen, um einen alltagorientierten Chemieunterricht für die Klassen 8 bis 10 an der Realschule und dem Gymnasium im Rahmen eines Aktionsforschungsansatzes zu erproben. Als Erfahrung berichten sie, dass einer von ihnen durchgeführten Umfrage zur Folge, die Attraktivität des Chemieunterrichts am Ende der 10. Klasse leicht gestiegen sei, gegenüber Umfragen zu früheren Zeitpunkten. Die Autoren führen weiterhin an, dass dies als Erfolg gesehen werden könne, da die Bewertung der Attraktivität des Chemieunterrichts am Ende der zehnten Klasse normalerweise absinken würde.

WOEST selbst hat sein Konzept des *Wahldifferenzierten Chemieunterrichts* anhand des Themas *Gefährliche organische Stoffe im Alltag* in der gymnasialen Oberstufe erprobt (WOEST (1995)). Ausführliche Erfahrungen zu dem Thema *Organische Stoffe im Alltag* schildert er in einem Band der *Bremer Reihe Umwelterziehung* mit dem Titel *Alltagorientierter Chemieunterricht* (WOEST (1996)). In der Phase 1 wurden dabei sich auf folgende Themen für die sich anschließende Phase 2 der arbeitsteiligen Gruppenarbeit geeinigt: Kunststoffe, Klebstoffe, Sonnenschutzmittel, Lebensmittelzusatzstoffe, Farben und Lacke. Die Gruppen erarbeiteten sich das jeweilige selbstständig unter Hilfestellung der Lehrkraft. Zu der Erarbeitung gehörten einerseits die Durchführung von Experimenten, die Aneignung des erforderlichen theoretischen Hintergrunds, sowie die Erstellung eines „Produkts", wie z. B. einer Wandzeitung, eines Märchens oder eines Videofilms.

WOEST hebt folgende Punkte hervor, die für den Unterrichtsverlauf wichtig sind.

Zu Phase 1

> *„In der Einführungsphase (Fundamentum) findet ‚normaler' Unterricht statt. Das Thema wird der Unterrichtseinheit wird mit Hilfe eines möglichst motivierenden Einstiegs der Klasse vorgestellt (...) Daneben sollen die Schüler das Rahmenthema (‚Organische Stoffe des Alltags') aufgrund ihrer Alltagserfahrungen strukturieren. Als besonders geeignet erweisen hierzu Brainstorming-Methoden."*

Zu Phase 2

> *„Mit den Teilthemen kann vor allem die Komplexität eines umfassenden Inhaltsbereichs ausreichend aufgeschlüsselt werden. Diese Vereinfachung ist jedoch nicht als didaktische Reduktion mißzuverstehen, sondern sollte als exemplarische Darstellung begriffen werden."*

Zu Phase 3

> *„In der Austauschphase tragen die Schülergruppen ihr Ergebnis der gesamten Klasse vor, indem wichtige Teile des Produkts referiert werden.*

(...) Der Lehrer sollte die wichtigsten Ergebnisse aller Gruppen aufgreifen und durch eine geeignete Systematisierung die Zusammenhänge herausstellen.“

WOEST (1996, S.85)

Auf Grund einer von WOEST durchgeführten Schülerbefragung erhielt er Rückmeldungen, wie bestimmte Aspekte aus sich aus Sicht der Schüler darstellen. Im Folgenden findet sich eine stichwortartige Auflistung von ausgewählten Ergebnissen (vergleiche WOEST (1996, S. 89 – 96) :

- Die Bereiche Gesundheitsgefahren und Gefahren für die Umwelt sind für die Schüler besonders attraktiv.
- Die große Mehrheit der Schüler möchte mit anderen zusammenarbeiten (Gruppenarbeit) und Experimente durchführen.
- Schüler wünschen sich Themen, die ihnen aus dem alltäglichen Umgang vertraut sind.
- Der Chemieunterricht weist für viele Schüler einen Theorieüberhang auf.
- Besonders viele Schüler sind mit dem Ergebnisaustausch (Phase 3) unzufrieden.

1.1.2.2. Alltagschemie

Nach LINDEMANN lässt sich unter Alltagschemie folgendes verstehen:

„Unter Alltagschemie kann in allgemeinster Form der Umgang mit Stoffen und Vorgängen, die zur Befriedigung der Bedürfnisse eines Menschen dienen, verstanden werden.“

LINDEMANN & BRINKMANN(1994)

Chemieunterricht mit dem Bezugsfeld Alltagschemie lehnt sich, laut Lindemann, an drei Kriterien:

Alltags- und Umweltbezug
Die Auswahl der Inhalte ist an Produkten des täglichen Lebens aus der Erfahrungswelt der Kinder orientiert.

Altersbezug
Der Unterricht orientiert sich an der Entwicklung und Lernweisen der Kinder

Wissenschaftsbezug
Durch unterschiedliche Verständnisebenen und der Einbeziehung naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen wird eine Fachstruktur aufgebaut.

LINDEMANN (1999, S.33) betont, dass durch diese drei Bezugsfelder, die Erkenntnisse der Entwicklungstheorie PIAGETS berücksichtigt würden. Weiterhin stellten diese Bezüge sicher, dass sowohl gesellschaftliche Aspekte eine Rolle spielen, als auch die Wissenschaft und das Kind berücksichtigt würden. Auch möchte er, dass Unterricht mehr ist als eine Warenkunde. Hierfür schlägt er u. a. eine spiralcurriculare Vorgehensweise vor, wie sie von SCHMIDKUNZ & BÜTTNER (1985) entworfen wurde.

LINDEMANN selber hat sein Konzept am Beispiel von Waschmitteln langjährig in Lehrerfortbildungen erprobt, während SCHEUER (2002) es am Beispiel von Textilien und Kleidung umgesetzt hat.

1.1.2.3. Chemie im Kontext

Vorbilder für das von PARCHMANN, RALLE & DEMUTH (2000) entworfene Konzept *Chemie im Kontext* (im Folgenden mit *ChiK* abgekürzt) finden sich mit dem britischen *Salters Advanced Chemistry Project* (vergleiche z. B. BURTON et. al. (2000, 1994a-c), WADDINGTON (2000)) oder dem amerikanischen Projekt *Chemistry in the Community* (vergleiche z. B. HEIKINNEN & BERGQUIST (1993a-b)) im englischsprachigen Ausland. Ähnlich wie die beiden genannten Projekte verfolgt auch *ChiK* einen curricularen Ansatz.

Dabei basiert *ChiK* auf drei Grundpfeilern:

- Kontextorientierung,
- Methodenvielfalt und
- Vernetzung des erworbenen Wissens zu Basiskonzepten.

Eine Unterrichtseinheit[1] ist demnach an einem Kontext orientiert, d. h. an einem direkten Bezug zur Lebenswelt. Dabei muss dieser Bezug nicht unbedingt aus der Lebenswelt der Schüler kommen, es reicht aus, wenn sich einfach und plausibel erkennen lässt, dass das gewählte Thema eine unmittelbare Bedeutung für den Alltag von Menschen hat. Für die Feingliederung einer Unterrichtseinheit bietet *ChiK* ein Vier-Phasen-Modell an:

Berührungsphase
Die Schüler werden mit der Thematik in Berührung gebracht.

Neugier- und Planungsphase
Die Schüler informieren sich so weit, dass sie Fragestellungen entwickeln können, mit welchen der nachfolgende Unterricht sinnstiftend strukturiert werden kann.

Erarbeitungsphase
Die Schüler erarbeiten möglichst eigenständig einen Teil der Fragestellungen aus der Neugierphase.

Vernetzungs- und Vertiefungsphase
Geeignete Themen können fachlich wiederholt und vertieft werden. Mögliche Vernetzungen zu anderen Kontexten können aufgegriffen werden.

---

[1] Im Rahmen von *ChiK* wird der Begriff Unterrichtseinheit synonym mit dem gebraucht, was häufig im deutschsprachigen Raum auch als Unterrichtsreihe bezeichnet wird. Eine Unterrichtseinheit, auch *ChiK-Einheit*, umfasst also immer mehrere Unterrichtsstunden. Die Bezeichnung *Einheit* kam dabei wohl auf Grund der englischen Bezeichnung *unit* zu Stande, wie sie im Salters Advanced Chemistry Course verwendet wird.

Die einzelnen Phasen können dabei unterschiedlich lange dauern. Die Länge der einzelnen Phasen wird auch von Einheit zu Einheit variieren. Die Erarbeitungsphase scheint dabei am ehesten geeignet zu sein, die Forderung nach Methodenvielfalt abzudecken. Hier können neben der arbeitsteiligen Gruppenarbeit auch Methoden wie Lernen an Stationen, Gruppenpuzzle, Planspiele usw. zum Einsatz kommen Einige wichtige Methoden, welche im Laufe dieser Arbeit auch immer wieder erwähnt werden, sind in Tabelle 2 kurz beschrieben worden.

Parallele Gruppenarbeit	
	Die Klasse wird in Gruppen zu drei bis fünf Schülern eingeteilt. Jede Gruppe arbeitet an der gleichen Themenstellung. Diese Methode wird im Chemieunterricht häufig verwendet, wenn Schüler eigenständig experimentieren sollen.
Arbeitsteilige Gruppenarbeit	
	Die Klasse wird in Gruppen zu drei bis fünf Schülern eingeteilt. Jede Gruppe arbeitet an einer eigenen Themenstellung. Nach Beendigung der Erarbeitung stellen sich die Gruppen ihre Ergebnisse gegenseitig vor. Die Vorstellung findet häufig als Reihe von Referaten statt. Jedoch sind auch andere Möglichkeiten denkbar, wie eine Posterausstellung oder ein Abwandlung eines Gruppenpuzzles.
Gruppenpuzzle	
	Die Klasse wird in Gruppen aufgeteilt. Die Gruppenstärke sollte zumindest so groß sein, wie Themen vorhanden sind. In der Gruppe wählt jeder Schüler ein Thema, welches er erarbeiten möchte. Zur Erarbeitung werden neue Gruppen aus Schülern mit gleicher Themenwahl gebildet. Schließlich kommen die Schüler in die alte Gruppenformation zurück und unterrichten sich gegenseitig über das, was sie sich erarbeitet haben.
Lernen an Stationen (z. B. Lernzirkel)	
	Von der Lehrkraft werden Lernstationen vorbereitet. Diese werden von den Schülern eigenständig bearbeitet und durchlaufen. Dabei sollten zweier oder dreier Gruppen gebildet werden. Je nach Vorgabe kann die Reihenfolge fest vorgegeben sein (Lernstraße), die Reihenfolge beliebig wählbar, jedoch an bestimmten Orten im Klassenraum verankert sein (Lernzirkel) oder zur Auswahl auf einem Tisch präsentiert werden (Lernbüffet):

Tabelle 2 Knappe Beschreibung wichtiger Methoden, welche Schülern die Möglichkeit bieten selbstständig zu arbeiten.

Die Beschreibung weiterer Methoden, sowie Hinweise darauf, was man bei ihrer Umsetzung beachten sollte und welche Variationen denkbar sind, finden sich z. B. im Methodenlexikon von PETERßEN (2001).

PARCHMANN, DEMUTH, RALLE, PASCHMANN & HUNTEMANN (2001) und KRILLA & RALLE (2003) betonen auch, dass die Methodenvielfalt gezielt eingesetzt werden muss und nicht zur Überforderung der Schüler führen darf. Ähnlich wie der Inhalt spiralcurricular dargeboten werden sollte, so sollten auch Methoden des eigenständigen Arbeitens aufeinander aufbauend eingesetzt werden. Wenn Schüler eigenständiges Arbeiten nicht gewohnt sind, sollte man sie langsam daran gewöhnen.

Unterricht nach *ChiK* ist natürlich nicht mehr an der Fachsystematik orientiert. Um dennoch zu gewährleisten, dass bei den Schülern ein systematisches Wissen aufgebaut werden kann, bietet *ChiK* ein alternatives Konzept an: die Basiskonzepte. Dabei handelt es sich um grundlegende Konzepte, welche zur Erklärung chemischer Prozesse nötig sind. Die Idee besteht darin, nur eine begrenzte Anzahl an Konzepten zur Erklärung zu verwenden, um aufzeigen zu können, dass Erklärungen in unterschiedlichsten Kontexten auf denselben Prinzipien beruhen.

> *„Wir gehen im Rahmen von* Chemie im Kontext *bislang von folgenden Basiskonzepten aus:*
>
> - *Stoff-Teilchen-Konzept*
> - *Struktur-Eigenschafts-Konzept*
> - *Donator-Akzeptor-Konzept*
> - *Energie-(Entropie)-Konzept*
> - *Konzept des chemischen Gleichgewichts*
> - *Konzept der Reaktionsgeschwindigkeit"*
>
> PARCHMANN, DEMUTH, RALLE, PASCHMANN & HUNTEMANN (2001)

Mit Hilfe der sechs aufgeführten Basiskonzepte sollen die Schüler die Lebenswelt begreifen und erklären. Dabei trägt jede Kontexteinheit zu einzelnen Basiskonzepten etwas bei und greift auf Wissen zurück, welches in anderen Einheiten erworben wurde. Hiermit wird u. a. die Hoffnung verknüpft, dass die Schüler erkennen, dass die gleichen Erklärungsmodelle in unterschiedlichen Kontexten ihre Anwendung finden und dass unterschiedliche Phänomene auf denselben Prinzipien beruhen. Dies wird weiterhin als Ansatz gesehen, um träges Wissen erst gar nicht entstehen zu lassen: Das Wissen wird situiert erworben und der Transfer ständig geübt.

Im Rahmen von *Chemie im Kontext* sind bereits eine Reihe an Unterrichtseinheiten zu verschiedenen Themen wie z. B. Treibstoffe (HUNTEMANN, HAARMANN & PARCHMANN (2000)), Ozeane und die Klimaproblematik (PASCHMANN, DE

VRIES, LÜCHTENBORG, ARSHADI & PARCHMANN (2000)) oder Kunststoffe (HUNTEMANN & PARCHMANN (2000)) erstellt worden.

Für weitergehende Ausführungen zu *Chemie im Kontext* sei auf den Basisartikel von PARCHMANN, DEMUTH, RALLE, PASCHMANN & HUNTEMANN (2001) oder die Homepage *www.chik.de* verwiesen.

1.2. Der Chemie-Lehrplan für die Sekundarstufe II an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen

Bei dem am 1. August 1999 in-Kraft-getretenen Lehrplan für das Fach Chemie für die Sekundarstufe II an Gymnasien und Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen fallen zwei Dinge besonders auf. Zum einen wird das Lernen im Kontext stark betont. Zum anderen wird hervorgehoben, dass den Schülern Methoden und Formen des selbständigen Arbeitens vermittelt werden sollen.

Zum Lernen im Kontext sieht der Lehrplan dabei sowohl vor, dass chemische Grundlagenkenntnisse in Beispielen angewendet werden, als auch dass die Anwendungsbeispiele Ausgangspunkt für Unterricht seien können. Ziel ist es dabei die Bedeutung von Chemie und chemischen Abläufen für unser tägliches Leben in Natur und Technik deutlich werden zu lassen, gleichzeitig aber auch die Notwendigkeit zu interdisziplinärem Kooperieren aufzuzeigen (vergleiche MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG, WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1999, S. 11-12)).

Bei den Methoden und Formen des selbstständigen Arbeitens seien an dieser Stelle drei Punkte näher hervorgehoben. Die Schüler sollen in Gruppenarbeiten sowohl Team-, Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit erwerben. Weiterhin sollen sie erlernen Arbeitsprozesse selbst zu organisieren und durchführen zu. Außerdem sollen sie die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten elektronischer Medien kennen lernen und z. B. mit Simulationen arbeiten (vergleiche MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG, WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1999, S. 12-13)).

Für die, für diese Arbeit besonders interessierende, 11. Jahrgangstufe sind im Lehrplan drei Themenfelder vorgesehen.

(A) Eine Reaktionsfolge aus der organischen Chemie

Vorschläge:
Vom Alkohol zum Aromastoff, Vom Traubensaft zum Essig

(B) Ein technischer Prozess

Vorschläge:
Ammoniaksynthese, Methyl-tert-buthylether-Synthese, Biotechnologische Herstellung von Citronensäure

(C) Ein Stoffkreislauf aus Natur und Umwelt

Vorschläge:
Kohlenstoffdioxid-Carbonat-Kreislauf, Stickstoff-Kreislauf, Phosphat-Kreislauf

Anhand der Themenvorschläge lässt sich erkennen, dass hier eine Alltags- bzw. Lebensweltorientierung von den Autoren des Lehrplans beabsichtigt ist. Sie bringen dies deutlich zum Ausdruck, indem sie darauf hinweisen, „*dass es bei der Jahrgangsstufenplanung – ebenso bei der Planung einzelner Unterrichtsreihen – nicht um ein bloßes, der Fachsystematik genügendes Bearbeiten von Unterrichtsgegenständen gehen kann*“ (Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (1999, S. 16)).

Weiterhin werden im Lehrplan Unterrichtsgegenstände und fachliche Qualifikationen genannt. Sie offenbaren, welche fachsystematischen Aspekte und fachliches Handlungswissen den Schülern beigebracht werden soll. Sie sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 wiedergegeben. Dabei werden in Tabelle 3 mit Fettdruck jeweils obligatorische Inhalte gekennzeichnet, während Normaldruck Wahlfreiheit signalisiert.

Unterrichtsgegenstände
□ **Anorganische Verbindungen: ausgewählte Säuren/Basen und deren Salze** (z. B.: Kohlensäure, Carbonate; Ammoniak, Ammoniumverbindungen; Salpetersäure, Nitrate; Sulfide, Schwefelsäure, Sulfate; Phosphorsäure, Phosphate)
□ **Organische Stoffklassen: Alkanole, Alkanale, Alkansäuren**, Ester
□ **Oxidationszahlen**
□ **Homologe Reihe, systematische Nomenklatur**
□ Nachweisreaktionen
□ **Reaktionsgeschwindigkeit**, Stoßtheorie, RGT-Regel, **Katalyse**
□ **Das chemische Gleichgewicht, Massenwirkungsgesetz, Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Konzentration**
□ Anwendungen des chemischen Gleichgewichts
□ **Integrierte Wiederholung: einfaches Atom- und Bindungsmodell** (keinesfalls Einführung des Orbitalmodells!), **Struktur-Eigenschaftsbeziehungen; hydrophil-hydrophob; Stoffmenge, molare Masse**, molares Volumen, Stoffmengenkonzentration

Tabelle 3 Auflistung der Unterrichtsgegenstände für die 11. Klasse in Nordrhein-Westfalen. Aus: Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (1999, S. 18))

Fachliche Qualifikationen
□ Quantitatives, experimentelles Arbeiten unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften
□ Rechnungen mit Größengleichungen an ausgewählten Beispielen
□ Räumliches Vorstellungsvermögen im Bereich des Molekülbaus
□ Anwenden des Prinzips der Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen
□ Herstellen von Beziehungen zwischen Unvollständigkeit von Reaktionen, ihrer Beeinflussbarkeit und der möglichen Produktausbeute

Tabelle 4 Auflistung der fachlichen Qualifikationen für die 11. Klasse in Nordrhein-Westfalen. Aus: MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG, WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1999, S. 19))

1.3. Lernen mit Multimedia

Zur Einführung des chemischen Gleichgewichts wird, in dem in dieser Arbeit entworfenen Kurs, ein Simulationsprogramm eingesetzt. Daher bedarf es natürlich einiger grundlegender Erkenntnisse aus dem Bereich Lernen und Lehren mit dem Computer.

Zu Anfang werden Designkriterien betrachtet, welche es zu berücksichtigen gilt, wenn man Texte für das Lesen am Bildschirm erstellen möchte. In einem weiteren Abschnitt werden ausgewählte Ergebnisse aus dem Bereich der Lehr- und Lernforschung mit Animationen vorgestellt. Bei der Auswahl wurde vor allem darauf geachtet, ob Aussagen getroffen werden, welche in die Erstellung von Software oder den Einsatz im Unterricht einfließen können.

1.3.1. *Designkriterien*

Möchte man Textseiten erstellen, welche am Bildschirm gelesen werden sollen, so gibt es eine Reihe von Kriterien zu beachten, die darauf abzielen, es dem Leser so leicht wie möglich zu machen.

Dass Lesen am Bildschirm ermüdender ist, als das Lesen eines Buches oder einer Zeitschrift, ist eine Erfahrung, welche man selber einfach machen kann. Zurückgeführt wird dies häufig auf die ungenügende Ergonomie des Lesens am Bildschirm. Man ist quasi gezwungen in ein und derselben Position zu verharren, wenn man einen längeren Text lesen möchte. Dies ist beim Lesen eines Buches anders, hier kann man nahezu beliebige Sitz- oder Liegehaltungen einnehmen und diese nahezu problemlos wechseln.

Zu dem gibt es keine einheitlichen Richtlinien, wie man Bildschirmseiten am Besten gestaltet, um das Lesen zu erleichtern. Es gibt lediglich Vorschläge unterschiedlichster Art. Diese sind z. T. auch widersprüchlich und darüber hinaus gibt es zu jeder aufgestellten Regel Ausnahmen, die aufzeigen, dass man sie, unter Erzielung vortrefflicher Ergebnisse, brechen kann.

Um hier nun nicht einer absoluten Beliebigkeit das Wort zu reden und um doch ein paar Hinweise zu geben, an die man sich halten kann, sollen nun ausgewählte Ratschläge konkret aufgelistet werden. Die technische Umsetzung des computergestützten Tutoriums zur Simulation (Abschnitt 1.4.1.5) geschah mit Hilfe der zur Gestaltung von Internetseiten gebräuchlichen *Hyper Text Modelling Language (HTML).* Auf Grund des großen Verbreitungsgrades des Internets ist diese Art der Darstellung von Text am Computerbildschirm häufig anzutreffen. Daher wird sich im Folgenden an Ratschlägen zur Gestaltung von Internetseiten orientiert.

Interessant dabei ist, dass Autoren, welche sich mit dieser Thematik auseinandergesetzt haben, aus ganz unterschiedlichen Bereichen kommen. So kommt z. B. SIEGEL aus dem Bereich Design, während NIELSEN als „Anwalt der Anwender" verstanden werden möchte, was die New York Times dazu verleitete ihn zum „Guru der Web-Seiten-Usability" (NIELSEN (2000, Klappentext)) zu erheben. Bezeichnend für Werke, welche sich mit der Gestaltung von Internetseiten beschäftigen, ist, dass nie alleine Gestaltungsprinzipien vorgestellt werden, sondern immer auch Ideen für die technische Umsetzung erwähnt werden. Dies bedeutet zumeist, wie bei SIEGEL (2000), NIELSEN (2000) oder LYNCH & HORTON (1999), dass die Sprache HTML mit besprochen wird. Im Folgenden soll genau dies vermieden werden, da man annehmen darf, dass viele Gestaltungsprinzipien nicht von der konkreten technischen Umsetzung abhängen. Indirekt macht sich der Einfluss allerdings bemerkbar, denn alle Ratschläge lassen sich mit Hilfe von HTML umsetzen, wünschenswerte, aber nicht umsetzbare Forderungen werden nicht aufgeführt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass alle hier angegebenen Ratschläge sich auf die Betrachtung mittels eines Monitors beziehen und beispielsweise nicht auf eine projizierte Präsentation. So deuten sich z. Z. technische Entwicklungen an, wie der Tablet-PC[1], für die schon wieder geänderte Gestaltungskriterien gelten können.

1.3.1.1. Schrift

Die Schriftgröße sollte angemessen sein. Eine zu kleine Schriftgröße erschwert das Lesen ungemein, ist die Schriftgröße hingegen zu groß, so wird der Text unübersichtlich und der Nutzer kann das Gefühl bekommen „angeschrien" zu werden. NIELSEN (2000, S. 126) nennt eine Serifen-Schrift mit Größe 10 Punkt als zu klein und fordert weitergehend eine variable, vom Nutzer bestimmbare Schriftgröße (NIELSEN (2002b)). SIEGEL ist ebenfalls der Ansicht, dass serifenlose Schriften am Bildschirm besser lesbar sind, allerdings sieht er die Beeinflussung der Schriftgröße durch den Nutzer gespalten:

[1] Zu der technischen Entwicklung von Tablet-PCs vergleiche man z. B. *www.microsoft.com/windowsxp/tabletpc/default.asp* (gesehen am 02.06.2003)

> *„Das ist vorteilhaft für die Anwender und frustrierend für die Designer, deren Aufgabe es ist, Bildgrößen und lebenden Text aufeinander abzustimmen."*
>
> SIEGEL (2000, S. 111)

Allerdings erkennt SIEGEL auch, dass bei der Umsetzung von HTML in gebräuchlichen Internet-Browsern die von NIELSEN gewünschten Eigenschaften reale Gegebenheiten geworden sind[1]. Entsprechend muss ein Designer sich mit diesen „frustrierenden" Bedingungen abfinden und sie berücksichtigen.

Im Bezug auf die Schriftgröße lässt sich festhalten: NIELSEN grenzt die Schriftgröße für Serifen-Schriften mit 10 Punkt nach unten ab und SIEGEL sieht den Gebrauch von Größen größer als 14 Punkt selbst für Unterüberschriften als „amateurhaft" an (SIEGEL (2000, S.66).

1.3.1.2. Hintergrundmuster

Die allgemeine Lehrmeinung bezüglich Hintergrundmuster, wie sie z. B. auch von NIELSEN oder SIEGEL vertreten wird, ist in dem folgenden Ratschlag sehr deutlich zum Ausdruck gebracht:

> *„Our advice is to stay away from complex background images or textures – the chances of making a bad functional and aesthetic mistake are high."*
>
> LYNCH & HORTON (1999, S.135)

Allerdings lassen sich auch hier Unterschiede in der konkreten Umsetzung finden. Während LYNCH & HORTEN JPEG-Bilder mit homogenen Texturen in der Größe 100 x 100 Pixel favorisieren, so empfiehlt SIEGEL die Verwendung von 25 x 1200 Pixel großen GIF-Bildern, welche keine Textur enthalten. Stattdessen dienen sie zur Erzeugung einfarbiger Hintergründe mit einem linken Seitenrand.

1.3.1.3. Farbwahl für Schrift und Hintergrund

Bei der Farbwahl für Schrift und Hintergrund sieht NIELSEN in dem Schwarz-Weiß-Kontrast die optimale Farbgebung. Dabei sollte Schwarz für den Text und Weiß für den Hintergrund gewählt werden. Daran seien Anwender gewöhnter. LYNCH & HORTON bestätigen dies und räumen lediglich einem hellen Grau für den Hintergrund eine gewisse Bedeutung ein. SIEGEL empfiehlt hingegen für den Hintergrund jede Farbe außer Grau, insbesondere helle, blasse Farben würden sich eignen. Die von SIEGEL (2000) angeführten Bespiele zeigen jedoch, dass man diese Vorgaben durchaus durchbrechen kann und mit einem dunklen Hintergrund und heller Schrift eine ansehnliche Seite erstellen kann.

---

[1] Allerdings nimmt SIEGEL keinen Bezug auf NIELSEN. Es soll hier nicht der falsche Eindruck erweckt werden, dass die speziellen Forderungen von NIELSEN einen Einfluss auf die Hersteller gehabt hätte.

1.3.1.4. Zeilenbreite

Insbesondere SIEGEL und LYNCH & HORTON weisen ausdrücklich darauf hin, dass die Zeilenbreite nicht den gesamten Bildschirm ausfüllen sollte. SIEGEL nennt eine Zeilenbreite von zehn bis zwölf Worten als optimal und gibt an, dass er für seine Seiten eine Zeilenbreite von 380 Pixel nutzt. SIEGEL nennt als Begründung für die Beschränkung der Zeilenbreite, dass der Anfang der folgenden Zeile einfacher gefunden werden kann. LYNCH & HORTON nennen physiologische Gründe und ziehen einen Vergleich zu Spalten in Zeitungen und Zeitschriften:

> *„Magazine and book columns are narrow for physiological reasons: at normal reading distances the eye's span of acute focus is only about three inches wide, so designers try to keep dense passages of text in columns not much wider than that comfortable eye span. Wider lines of text require readers to move their heads slightly or strain their eye muscles to track over the long lines of text."*
>
> LYNCH & HORTON (1999, S. 85)

Die Lesbarkeit würde durch eine lange Zeilenbreite deutlich sinken, konstatieren die Autoren weiter. NIELSEN sieht im Schreibstil und somit in der inhaltlichen Gestaltung des Textes eine Möglichkeit die Lesbarkeit zu steigern.

1.3.1.5. Schreibstil

NIELSEN (2000, S. 104-105) führt eine eigene Studie an, in welcher er zeigt, dass ein für den Bildschirm geschriebener Text ein scannendes Lesen ermöglichen sollte. Dazu sollte er so kurz und objektiv wie möglich gehalten werden. Weiterhin können Listen als Gestaltungselement eingesetzt werden, um die Lesbarkeit zu steigern. LYNCH & HORTON (1997, S. 100) stimmen dem im Wesentlichen zu, jedoch geben sie zu bedenken, dass von den Warnungen vor Webseiten, welche zu lang gewesen seien und nach unten gescrollt werden mussten, Abstand genommen werden darf. Vielmehr sollte man sich inhaltlich am Stil der *inversen Pyramide* orientieren: Wichtiges und Schlussfolgerungen erscheinen dabei im oberen Teil einer Seite.

1.3.1.6. Navigation

HTML-Seiten lassen sich durch die Verwendung von Hyperlinks miteinander verknüpfen. Hierdurch werden die Seiten angeordnet. Neben der von Büchern bekannten linearen Anordnung von Seiten, sind die unterschiedlichsten Verlinkungen denkbar. Dies geht soweit, dass eine Anordnung gewählt werden kann, bei welcher man von jeder Seite zu allen anderen (zusammengehörenden) Seiten gelangen kann (Verlinkung auf externe Seiten soll hier unberücksichtigt bleiben; für eine genauere Klassifizierung von Seitenanordnungen vergleiche man z. B. KUMMER (2000, (S. 3- 7)) oder TERGAN (2002)).

Schnell hat man jedoch festgestellt, dass ein übermäßiges Verlinken von Seiten miteinander eher als verwirrend empfunden wird. Dies wurde in dem Ausdruck „Lost in Hyperspace“ zum Ausdruck gebracht (z. B. von CONKLIN 1987). Um eine unnötig Verwirrung des Anwenders zu vermeiden, sollten Verlinkungen, meiner Ansicht nach, sinnvoller Weise nur noch wie folgt genutzt werden:

Zur Erklärung von Begriffen

Es wird ein kleineres Fenster geöffnet, das zur Erläuterung eines Begriffes dient und anschließend wieder geschlossen wird.

Zum Verweis auf externe Seiten

Hierdurch wird eine halbwissenschaftliche Qualität erreicht; ähnlich wie in wissenschaftlichen Arbeiten Quellen angegeben werden, kann durch Verweise auf externe Seiten ein zusätzliches Maß an Authentizität eingebaut werden.

Zur Navigation durch seine eigenen Seiten

Ausgehen sollte die Navigation möglichst von einem Ort, der speziell für den Zweck der Navigation vorgesehen ist. Von einer guten Navigation wird quasi die Quadratur des Kreises gefordert. Sie soll sich möglichst intuitiv bedienen lassen und es ermöglichen, mit so wenigen Mausklicks (Verlinkungen) wie möglich zum Ziel zu führen. Weiterhin soll der Anwender zu jedem Zeitpunkt Bescheid wissen, an welcher Stelle der Seitenanordnung er sich gerade befindet.

Insbesondere schließen diese Vorschläge aus, dass man im Haupttext einer Seite zu einer anderen Seite verlinkt und die alte Seite damit von der Sichtfläche verschwindet. Ein solches Setzen von Links führt nach meiner Meinung eher zu Verwirrungen, als zu gewünschter rascher Navigation. Diese Technik wird von größeren Webseiten, nach meiner eigenen Beobachtung, auch quasi nicht mehr verwendet. Somit folge ich einem weiteren Ratschlag von NIELSEN (1999), wie sich eine intuitive Bedienung erreichen lasse: Man solle seine Seiten so gestalten, wie „große Webseiten“ es auch tun. Dies würde dann keine Eingewöhnung bei der Bedienung erforderlich machen.

Nimmt man diesen Ratschlag auf und schaut sich einmal auf den Internetseiten von Zeitungen und Magazinen um, so entdeckt man jeweils ein ähnliches Gestaltungsprinzip, was sich an Hand der Abbildungen Abbildung 2 bis Abbildung 7 nachvollziehen lässt.

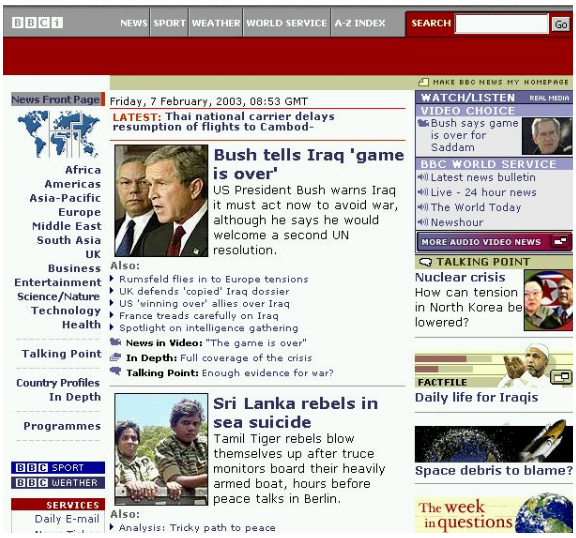


Abbildung 2 Homepage "news.bbc.co.uk" vom 07.02.2003

Abbildung 3 Unterseite „Europe" von „news.bbc.co.uk" vom 07.02.2003

Abbildung 4 Homepage von „www.welt.de" vom 07.02.2003

Abbildung 5 Unterseite „Wissenschaft" von „www.welt.de" vom 07.02.2003

Abbildung 6 Homepage von „www.spiegel.de" vom 07.02.2003

Abbildung 7 Unterseite „Wissenschaft" von „www.spiegel.de" vom 07.02.2003

Das Layout und die sich daraus ergebenden Navigationsmöglichkeiten der in Abbildung 2 bis Abbildung 7 gezeigten Seiten, sowie noch eine Reihe weiterer Webseiten von größeren Zeitungen, Zeitschriften oder Rundfunkstationen lässt sich wie folgt beschreiben:

Es gibt eine Kopfleiste, welche neben Logos und Werbung manchmal auch ein Navigationsmenü enthält. Unterhalb des Kopfes einer Seite gibt es drei Spalten. Die mittlere ist dabei etwas breiter und enthält den Haupttext. Die Spalten links und rechts werden zur Navigation gebraucht. Insbesondere findet sich auf jeder Seite an der gleichen Stelle ein Navigationsmenü, welches dem Kontext entsprechend angepasst wurde. So liegt auf der linken Seite immer ein Auswahlmenü und hat man einen Punkt ausgewählt, so befindet es sich auf der neuen Seite an der gleichen Stelle, nur ist kenntlich gemacht, dass man sich nicht mehr auf der Hauptseite aufhält. Weiterhin könnten zusätzliche Untermenüpunkte aufgeführt sein.

Ein Aspekt, der sich auf den Abbildungen nicht erkennen lässt, ist, dass am Ende eines Textes, also am Fuß einer Seite nochmals Navigationsoptionen angeboten werden. Diese ermöglichen es z. B. zurück zum Seitenanfang oder zur Inhaltsauswahl zu kehren.

NIELSEN (2002a) warnt allerdings davor, empfindliche Bereiche, wie den der Navigation, zu stark zu formatieren und mit Bildern oder einer zu starken Farbgebung zu überfrachten.

Eine solche Art der Navigation kann, nach meiner Auffassung, die geforderten Qualitäten aufweisen. Allerdings soll auch nicht verschwiegen werden, dass durchaus auch abweichende Meinungen vertreten werden. So spricht etwa LENNARTZ (2002) von der „Heiligen Dreispaltigkeit“ und führt als stärksten Kritikpunkt an, dass niemand die drei Spalten zu überschauen in der Lage sei. BRAUN (2002) erkennt im dreispaltigen Aufbau von Webseiten ebenfalls ein Gestaltungsprinzip, an dem sich Webdesigner zunehmend ein Vorbild nähmen. Er befürchtet jedoch, dass durch eine zu starke Betonung der Spalten durch Bilder oder Farbgebung, der Nutzer vom Inhalt abgelenkt werde. Er bescheinigt aber z. B. dem Aufbau der Seite des Magazins *Spiegel* (vergleiche Abbildung 6) ein weitgehend gutes Design.

Schaut man sich die Kritikpunkte gegen einen dreispaltigen Aufbau von Seiten näher an, so stimmen diese mit der oben angeführten Warnung von NIELSEN (2000a) überein. Aus meiner Sicht wird dadurch das Gestaltungsprinzip selber aber nicht infrage gestellt. Es wird lediglich darauf hingewiesen, dass mit der Beachtung eines richtigen Ansatzes nicht automatisch gute Ergebnisse erzielt werden, sondern, dass auch weitere Gestaltungshinweise zu beachten sind. Auch muss man davon ausgehen, dass das Prinzip der Dreispaltigkeit in der Praxis funktioniert, sonst wären die aufgeführten Webseiten sicherlich längst wieder von diesem abgewichen.

1.3.2. *Lehr- und Lernforschung zum Lernen mit Multimedia*

In der Lehr- und Lernforschung mit Multimedia müssen grundsätzlich zwei Arten von Publikationen unterschieden werden. Da es sich um ein noch relativ neues Gebiet handelt, gibt es eine Reihe an Publikationen, welche mit Hilfe von theoretischen Modellen bestimmte Vorgehensweisen bei der Erstellung multimedialer Lernumgebungen fordern. Hingegen ist die Zahl der Publikationen mit praktischen Erfahrungen oder Evaluationsstudien noch relativ gering. Auch hier gibt es Unterschiede. Häufig finden sich Erfahrungsberichte, welche auf der Basis von Beobachtungen oder Schülerbefragungen Einschätzungen bezüglich der Attraktivität des Lernens am Computer abgeben. Aber es gibt auch Untersuchungen, welche auf den Lernerfolg (oder dessen Ausbleiben) mit Multimedia eingehen. Dabei gibt es sowohl klinische Untersuchungen, die universelle Aussagen zum Lernen mit dem Computer machen möchten und andere, welche eine mehr holistische Sichtweise einnehmen und fallstudienartig den Einsatz im Unterricht und dessen Auswirkung beschreiben.

Auch wenn ich in dieser Arbeit versuche den Begriff *Multimedia* weitestgehend zu vermeiden, da er m. E. vielfach nur als eher bedeutungsloses Schlagwort gebraucht wird, soll er an dieser Stelle der Arbeit genauer umrissen werden. Dies geschieht auch um Missverständnissen vorzubeugen. In dieser Arbeit schließe ich mich der Definition von SCHNOTZ & LOWE (2003) an:

> *„The term ‚multimedia' refers to the combination of multiple technical resources for the purpose of presenting information represented in multiple sensory modalities. Accordingly, multimedia resources can be considered at three different levels: the technical level refers to the technical devices (i. e. computers, networks, display, etc.) that are the carriers of signs; the semiotic level refers to the representational format (i. e. texts, pictures, and sounds) of those signs; the sensory level refers to sensory modality of sign reception (i. e. visual or auditory modality).“*
>
> SCHNOTZ & LOWE (2003)

Nach SCHNOTZ & LOWE sollte Forschung zum Lernen und Lehren mit Multimedia sich auf die letzten beiden Ebenen (*semiotic and sensory level*) fokussieren. Bei der folgenden Auflistung wurden vor allem diejenigen Forschungen berücksichtigt, die Rückschlüsse bezüglich des Erstellens von computerbasierten Lernumgebungen zulassen und dies bedeutet u. a., dass diese Beiträge der Forderung von SCHNOTZ & LOWE entsprechen.

1.3.2.1. Der Ansatz des problemorientierten Lernens

HENSE, MANDL & GRÄSEL (2001) vertreten die Auffassung, dass der Ansatz des problemorientierten Lernens für die Erstellung multimedialer Lernumgebungen maßgeblich seien sollte. Sie leiten fünf Forderungen ab, welche eine Lernumgebung, nicht nur eine multimediale, erfüllen sollte, wenn sie problemorientiertes Lernen ermöglichen soll

- Den Schülern muss es möglich sein selbstgesteuert zu lernen.
- Die Schüler sollen aktiv-konstruktiv am Lernprozess beteiligt sein.
- Das Lernen findet situativ, in sinnstiftenden Kontexten, statt.
- Es wird kooperativ, im sozialen Austausch gelernt.
- Lehrer sind nicht überflüssig, sondern geben instruktionale Unterstützung

HENSE, MANDL & GRÄSEL sehen in der multimedialen Umsetzung von Lernumgebungen die Chance, einige der oben aufgeführten Forderungen zu realisieren.

> *„Insgesamt wird es möglich, Lernzeiten, Lerntempo, Lernort und Lernwege individueller und flexibler zu gestalten.“*
>
> HENSE, MANDL & GRÄSEL (2001)

Konkret werden das Erstellen von Präsentationen durch die Schüler selber, so wie das Lernen mit computergestützten Planspielen und Simulationen von den Autoren genannt.

Man kann diesen Ansatz auch so deuten, dass hier das situierte Lernen auf den Bereich der multimedialen Lernumgebung angewendet wird. Eine weitergehende Diskussion hierzu wird z. B. von MANDL, GRUBER & RENKL (2002) geführt. Neben den eindeutig vorhandenen Chancen, welche die Autoren sehen, sprechen sie jedoch auch eine Warnung aus:

> *„Gerade für die Gestaltung von Lernumgebungen, die situiertes Lernen betonen, gibt es so viele Freiheitsgrade, dass natürlich auch alle Möglichkeiten gegeben sind ineffektive oder sinnlose Produkte zu erstellen.“*
>
> MANDL, GRUBER & RENKL (2002)

1.3.2.2. Animationen brauchen eine Audio-Komponente

In ihren Forschungsarbeiten in den 90iger Jahren des 20igsten Jahrhunderts kommen MAYER und diverse Mitautoren zu dem Schluss, dass Lernen mit Animationen am effektivsten stattfindet, wenn Informationen parallel zum Ablauf einer Animation gesprochen werden[1]. In verschiedensten Untersuchungen konnten sie zeigen, dass diese Art der Informationsweitergabe z. B. dem Einblenden von Text oder einer zeitlich versetzten Unterbreitung überlegen ist (MAYER & MORENO (1998), MAYER & ANDERSON (1992), MAYER & ANDERSON (1991), MAYER & GALLINI (1990)). Neuere Untersuchungen zeigen sogar, dass die zusätzliche Einblendung des gesprochenen Texts sich negativ auf das Lernen auswirkt (MAYER, HEISER & LONN (2001)).

Für ihre Untersuchungen haben sich MAYER und Mitautoren dabei im Wesentlichen zweier Beispiele bedient: dem Zustandekommen eines Blitzes bei Gewitter und der Funktionsweise einer Luftpumpe. In klinischen Vergleichsuntersungen wurden verschiedenste Bedingungen überprüft, so etwa, ob mit statischen Illustrationen in Kombination mit Text ähnlich gut gelernt werden kann,

[1] Den folgenden Abschnitten lässt sich leicht entnehmen, dass ich die Forschungsarbeiten von MAYER auf Grund ihrer hohen Praxisrelevanz sehr schätze und entsprechend sind viele der seiner Ergebnisse aufgeführt. Dass ich nicht alleine diese Auffassung vertrete, mag aus der folgenden Aussage von REINMANN (2003) zu schließen sein: *„Of all the papers, the one by Richard Mayer is most clearly directed towards the instructional designer community.“* Des weiteren sei angemerkt, dass Mayer seine Ergebnisse i. A. mit Lernenden mit wenig Vorwissen erzielt hat, daher sind seine Ergebnisse für diese Arbeit ganz besonders interessant, da das, im Zuge dieser Arbeit erstellte, Tutorium zur Einführung in die Stoßtheorie für Schüler ohne Vorwissen in diesem Bereich gedacht ist.

wie mit Animationen mit eingeblendetem Text oder wie mit Animationen, bei welchen die Informationen zeitgleich erzählt werden.

Theoretisch begründen MAYER und seine Mitautoren dies mit einer erweiterten Version der *Dual Processing Theory*, welche ursprünglich von PAIVIO (1969) entwickelt worden war. Demnach gibt es zwei Arten von Arbeitsgedächtnissen, ein visuelles und ein akustisches. Beiden ist ein limitierter Speicher gemein. Gelernt wird, wenn der Inhalt in einem oder beiden Arbeitsgedächtnissen in sinnvolle Repräsentationen überführt wird, welche im Langzeitgedächtnis abgelegt werden. Sind zur gleichen Zeit sich ergänzende Informationen im akustischen und visuellen Arbeitsgedächtnis, so können hier sinnvolle Verknüpfungen geschaffen werden, die den Lernprozess unterstützen. Unterbleibt eine Art der Informationsaufnahme, so ist diese Art des Lernens nicht möglich und die vorhandenen Kapazitäten werden nicht ausgelastet. Insbesondere kann es zu einer Überlastung des visuellen Kanals kommen, wenn alle Informationen über diesen aufgenommen werden müssen. Mayer und seine Mitautoren haben diese Theorie ständig weiterentwickelt und auch wechselnde Bezeichnungen gebraucht, wie z. B. *split-attention effect*, *generative learning assumption* oder einfach *the cognitive theory of multimedia learning*. In Abbildung 8 findet sich letztere visualisiert dargestellt.

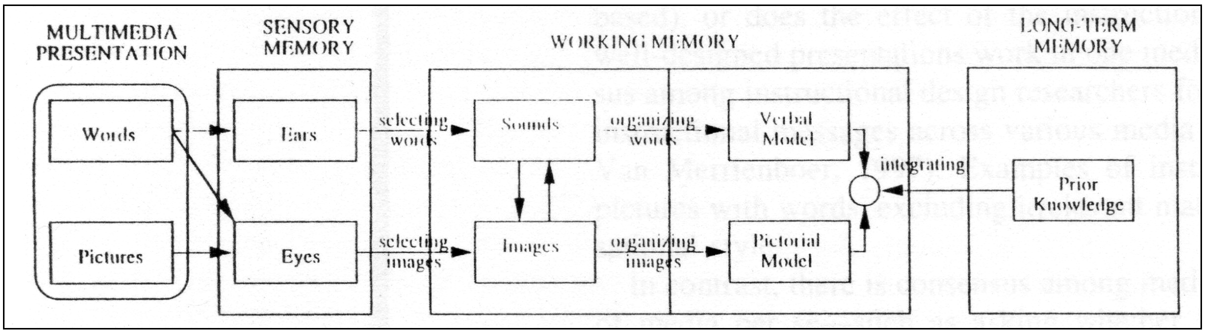


Abbildung 8 The cognitive theory of multimedia learning. Nach MAYER, HEISER & LONN (2001)

MAYER & MORENO (1998) konnten z. B. zeigen, dass auch bei sich anschließenden Transferaufgaben die narrative Vermittlung von Informationen parallel zur ablaufenden Animation dem Einblenden von Text überlegen ist, sie kommen zu folgendem Schluss:

> *„The most important new practical implication of this study is that animations should be accompanied by auditory narration rather than by on-screen text."*
>
> MAYER & MORENO (1998)

MAYER und seine Mitautoren führen ihre Untersuchungen regelmäßig mit Studienanfängern durch. Dass sogar für Kinder im Grundschulalter die Kombination aus Audio- und Videokomponente gegenüber anderen Informationsdarbietungen überlegen ist, konnten RICCI & BEAL (2002) zeigen. Dabei konnten sie keinen Unterschied feststellen, bezüglich einer Gruppe, welche die Animation bediente und einer Gruppe von Lernenden, welche dabei lediglich zusah.

In einer Folgestudie zeigten MAYER, HEISER & LONN (2001) dann sogar, dass das zusätzliche Einblenden des gesprochenen Texts sich negativ auf das Lernen auswirkt, davon sind sowohl die Behaltensleistung, als auch die Transferleistung der Lernenden betroffen. Dabei spielte es keine Rolle, ob der Text zusammengefasst oder im originalen Wortlaut eingeblendet wurde. Sie konstatieren:

> *„Overall, these results show that adding on-screen text to multimedia presentation hurt student learning and that summary text (...) and full text produced indistinguishable results. Thus the findings are most consistent with the split-attention hypothesis."*
>
> MAYER, HEISER & LONN (2001)

Allerdings konnten MORENO & MAYER (2002) einen Weg aufzeigen, wie sich bildliche Animationen, Informationen in Form von eingeblendetem und gesprochenem Text effektiv miteinander kombinieren lassen. Auf Basis des Modells des multimedialen Lernens sagten sie voraus, dass geschriebene Informationen zusammen mit gesprochenen dann lernwirksam seien sollten, wenn keine weiteren visuellen Informationen (in Form von Bildern) gezeigt werden. Die von ihnen durchgeführten Experimente bestätigten diese Annahme. Weiterhin konnten sie zeigen, dass das vorgeschaltete Zeigen der Animation mit anschließenden gesprochen Informationen, zu denen der Text visuell eingeblendet wurde, sich als am lernwirksamsten, insbesondere bei den Transferleistungen, herausstellte. Diese Kombination setzte sich durch gegenüber dem gleichzeitigen Einsatz aller drei Informationsquellen, gegenüber dem Zeigen der Animation gefolgt von reinen gesprochenen Informationen und gegenüber dem gleichzeitigen Zeigen von Animation und gesprochenen Informationen. Letztere Kombination schnitt allerdings bei den Behaltensleistungen besser ab. Die mit Abstand schlechtesten Resultate wurden erzielt, wenn alle drei Informationsquellen gleichzeitig präsentiert wurden.

1.3.2.3. Animationen brauchen keine emotionale Komponente

In einer weiteren Untersuchung konnten HARP & MAYER zeigen, dass die Zugabe von bildlichen Informationen, die vorwiegend emotionales Interesse berühren, keine positiven Auswirkungen auf den Lernprozess hat. Sie vertreten vielmehr die Auffassung, dass

> *„(…) the current findings show that the best way to help students enjoy a passage is to help them understand it."*
>
> HARP & MAYER (1997)

In einer Folgestudie zeigten MAYER, HEISER & LONN (2001) dann, dass dies auch für filmische Informationen gilt. Sowohl das Einbauen von Filmsequenzen, die vorwiegend emotionales Interesse erwecken, wie auch das vorherige Zeigen dieser Sequenzen, beeinträchtigt die Lernleistung negativ. Lediglich die Präsentation nach der Bearbeitung der multimedialen Lernumgebung schien sich nicht negativ auszuwirken. MAYER, HEISER & LONN (2001).

> *„These results support and extend the cognitive theory of multimedia learning. First, the results are inconsistent with an emotional interest hypothesis which holds that adding interesting details to a passage increases overall arousal and therefore results in more learning overall. In contrast, the results are consistent with a seductive details hypothesis which holds that students try harder to understand material when the material is presented in a way that highlights the underlying conceptual structure.“*
>
> MAYER, HEISER & LONN (2001)

MORENO & MAYER (2002) konnten schließlich zeigen, dass es Lernenden nicht hilft, wenn man eine Audiokomponente mit unterstützenden, authentischen[1] Geräuschen zu der Animation hinzufügt. Allerdings konnten sie auch keinen negativen Effekt feststellen.

1.3.2.4. Lernen mit Bildern

Zum Lernen mit Bildern gibt es eine Reihe an Untersuchungen, wie sie z. B. bei LEWALTER (1997) aufgeführt sind. In diesem Abschnitt wird allerdings kein umfassender Überblick gegeben, stattdessen werden wieder einige, ausgewählte Forschungsergebnisse angeführt, welche bei der Erstellung von multimedialen Lernumgebungen hilfreich sein können.

MAYER (2003) fasst die wichtigsten, von ihm und seinen Mitarbeitern erzielten Forschungsergebnisse in vier Punkten zusammen:

> *„(a) A multimedia effect – in which students learn more deeply from words and pictures than from words alone – in both book-based and computer-based environments.*
>
> *(b) A coherence effect – in which students learn more deeply when extraneous material is excluded rather than included – in both book-based and computer-based environments.*
>
> *(c) A spatial contiguity effect – in which students learn more deeply when printed words are placed near rather than far from corresponding pictures - in both book-based and computer-based environments.*
>
> *(d) A personalization effect – in which students learn more deeply when words are presented in conversational rather than formal style - in computer-based environments containing spoken words and those using printed words.“*
>
> MAYER (2003)

[1] Bei der Untersuchung von MORENO & MAYER (2002) galt es für die Lernenden die Entstehung von Blitzen zu begreifen. Daher konnten MORENO & MAYER auf Umweltgeräusche zurückgreifen.

SCHNOTZ & BANNERT (2003) vertreten die Auffassung, dass mit der *dual-coding-Hypothese* nach PAIVIO sich nicht erklären lasse, warum manche Bilder (z. B. solche mit vorwiegend illustrativem Charakter) nicht förderlich für das Lernen sind. Folge man der *dual-coding-Hypothese,* so müssten alle Bilder das Lernen unterstützen. Sie schlagen daher ein anderes Modell vor, um multimediales Lernen zu erklären[1].

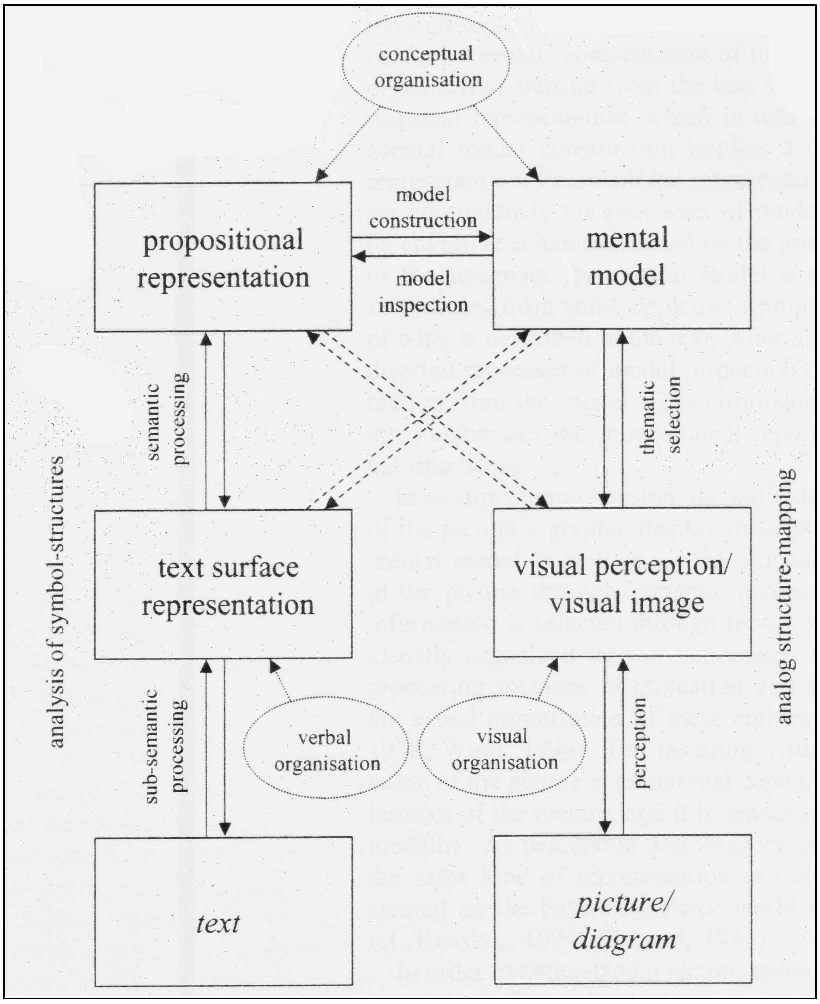


Abbildung 9 Modell zum multimedialen Lernen. Entnommen aus: SCHNOTZ & BANNERT (2003)

SCHNOTZ & BANNERT heben hervor, dass, um ein Bild zu verstehen, und es nicht nur wahrzunehmen, es eines semantischen Prozesses bedarf. Die graphische Darstellung wird durch einen Verarbeitungsprozess auf ein mentales Modell abgebildet.

> *„In other words, picture comprehension is considered as a process of analogical structure mapping between a system of visuo-spatial relations and a system of semantic relations.“*
>
> SCHNOTZ & BANNERT (2003)

[1] Allerdings greifen sie nicht das von MAYER, HEISER & LONN (2001) vorgeschlagene und im vorherigen Abschnitt vorgestellte Modell des multimedialen Lernens an.

Sie kommen zu der Schlussfolgerung, dass ihr Modell erlaubt zu erklären, warum das Beifügen von Bildern zu einem Text nicht immer zu einer Steigerung des Lernerfolgs führt.

In einer eigenen Untersuchung konnten SCHNOTZ & BANNERT (2003) zeigen, dass Lerner mit wenig Vorwissen von Bildern profitieren, während Lerner mit einem hohen Vorwissen sich manchmal von beigefügten Bildern stören lassen. Sie interpretieren dies so, dass wenn die Bilder nicht dem Lerninhalt angemessen sind, dann entstehe ein Konflikt bei der Bildung eines mentalen Modells.

1.3.2.5. Passung an die Lernenden und (inter)aktive Auseinandersetzung

Eine Reihe von Argumentationen und Forschungsergebnissen, welche aus dem Bereich des Lernens mit Multimedia stammen, lassen sich mit folgenden Worten zusammenfassen:

> Eine multimediale Lernumgebung muss die Voraussetzungen der Lernenden berücksichtigen, diese ihren Bedürfnissen nach anleiten und ermöglichen, dass sie sich (inter)aktiv mit dem Angebot auseinandersetzen können.

Diese Aussage kann als Richtlinie des Designs von multimedialen Lernumgebungen verstanden werden. Sie beruht dabei u. a. auf Forderungen, wie sie von Vertretern eines gemäßigten Konstruktivismus aufgestellt werden (MANDL, GRUBER & RENKL (2002)). Allerdings lässt sie sich auch aus Ergebnissen aus dem Bereich des Lernens mit Multimedia ableiten. Einige davon werden im Folgenden beispielhaft vorgestellt.

Bei Untersuchungen zum Lernen mit Animationen hatte RIEBER (1990) in einer ersten Studie ein unerwartetes Ergebnis erzielt: Mit Animationen lernten die Probanden schlechter, als mit einer vergleichbaren Kombination aus statischen Bildern und Text. Als einen möglichen Fehler, den er begangen hatte, sah RIEBER an, dass die auf einen Schlag angebotenen Informationen zu viele waren. In einer Folgeuntersuchung wurde das ursprüngliche instruktionale Design in kleinere Einheiten aufgeteilt, mit positivem Erfolg. Er stellt fest:

> *„This modification helped students focus their attention on the animated displays. A follow-up study which controlled for this ‚chunking' variable corroborated this conclusion."*

RIEBER (1990)

Nach RIEBER (1990) bringt eine Animation drei Attribute mit sich: die Visualisierung, die Bewegung und die Gerichtetheit (engl. *trajectory*). Die Ergebnisse seiner Untersuchungen fasst er mit den folgenden Worten zusammen:

> *„In conclusion, animation effects are possible when all three attributes are congruent to the learning task, but these effects can be undermined by factors such as exceedingly demanding tasks, generally poor instructional*

design, or the inability of students to attend properly to information in an animated display."

RIEBER (1990)

Die Ergebnisse von RIEBER werden von denen von LOWE (2003) gestützt. In einer Untersuchung mit animierten Wetterkarten stellte LOWE fest, dass Lerner mit wenig Vorwissen geneigt sind, auf unwichtige Details zu achten, wenn diese z. B. durch besonders starke Bewegung auffallen. LOWE sieht daher folgende Bedingungen zur Steuerung der Aufmerksamkeit notwendig an:

„components (...) can attract attention either because they (a) change substantially more than their surroundings, or (b) change substantially less than their surroundings."

LOWE (2003)

LOWE sieht in der Beachtung von unwichtigen Details durch Lernende beim Lernen mit Animationen Parallelen zu der oberflächlichen Bearbeitung von Texten:

„A similar effect has been reported with text processing. Readers who do not know what information is important in a text document can respond to surface structural aspects of the text and so produce a somewhat idiosyncratic set of connections of elements."

LOWE (2003)

DRASCHOFF (2000) betont den notwendigen Aspekt der kognitiven, aktiven Auseinandersetzung der Lernenden mit den angebotenen Lerninhalten. Sie sieht in der Erzeugung von kognitiven Konflikten, durch Bearbeitung der Lernumgebung, die Möglichkeit die notwendige Aktivität bei den Lernenden hervorzurufen. Dabei spricht sie von einer intrinsischen Motivierung durch Konfliktindizierung. Durch eine Vergleichsuntersuchung sieht sich DRASCHOFF in ihrer Annahme bestätigt, dass eine computergestützte Lernumgebung zu bevorzugen ist, welche daraufhin ausgelegt ist, ständig kognitive Konflikte bei den Lernenden auszulösen. Dies führe zu größerer emotionaler Beteiligung und besserem Lernerfolg. Erreicht werden könne dies z. B. durch eine Einbeziehung von gängigen Fehlvorstellungen von Schülern oder durch Formulierung von Problemstellungen, welche auf Wissenslücken abzielen.

Dieser Ansatz lässt sich auch mit den Forderungen nach einer Problemorientierung (vgl. Abschnitt 1.3.2.1) gut in Einklang bringen.

Während DRASCHOFF eher vor einer zu kleinschrittigen Vorgehensweise bei der Problemstellung warnt, sehen URHAHNE, PRENZEL, VON DAVIER, SENKBEIL & BLESCHKE (2000) auch Probleme bei einer Vorgehensweise, welche sich durch zu viele Freiheiten bzw. Eigenständigkeit der Lernenden auszeichnet. Sie erwähnen eine Untersuchung von DE JONG & VAN JOOLINGEN (1998), nach welcher viele Lernende Schwierigkeiten hätten, geeignete Untersuchungshypothesen aufzustellen, geeignete (simulierte) Experimente zu planen und durchzuführen oder erhaltene Ergebnisse auszuwerten. Dies alles stünde einem erfolgreichen Lernen mit einer Simulation im Wege.

> *„Daher benötigen viele Schülerinnen und Schüler Anleitung und Hilfe, wenn sie sich über den Umgang mit Simulationsprogrammen erfolgreich Wissen aneignen sollen. Dies kann direkt durch das Programm erfolgen, indem den Lernenden immer dann Informationen gegeben werden, wenn sie diese nötig haben (LEUTNER, 1993), oder indem sie Hinweise für das richtige Aufstellen von Hypothesen und Experimenten und die Vorhersage von Ergebnissen erhalten (STARK, GRAF, RENKL, GRUBER & MANDL, 1995).“*
>
> URHAHNE, PRENZEL, VON DAVIER, SENKBEIL & BLESCHKE (2000)

Auch MAYER, MAUTANO & PROTHERO (2002) kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Sie untersuchten, wie Techniken aus dem Bereich von *cognitive apprenticeship* genutzt werden können, damit Lernende mit Hilfe eines Geologie-Simualtionsspiels erfolgreich Lernen können. Ihr Grundgedanke war dabei das Learning-by-doing:

> *„A pure version of learning by doing would involve students playing the Profile Game without much guidance, on the grounds that hands-on experience is the key to meaningful learning (American Geological Institute 1991; National Research Council, 1996). However, in our pilot research, unguided hand-on exploration led to unsuccessful learning for many students.“*
>
> MAYER, MAUTANO & PROTHERO (2002)

Als wichtigstes Ergebnis ihrer Untersuchung sehen MAYER, MAUTANO & PROTHERO, dass Lernen mit Hilfe ihrer Simulation einer angebrachten Unterstützung der Lernenden bedarf:

> *„The results are consistent with Sweller's (1999, p.157) observation that ‚empirical evidence for the efficacy of discovery-based learning...is almost totally missing'. Our research shows that discovery-based learning environments – such as the Profile Game – can be converted into productive venues for learning when appropriate cognitive scaffolding is provided.“*
>
> MAYER, MAUTANO & PROTHERO (2002)

Betrachtet man die Forderungen von RIEBER, DRASCHOFF, URHAHNE, PRENZEL, VON DAVIER, SENKBEIL & BLESCHKE und MAYER, MAUTANO & PROTHERO zusammen, so lässt sich schließen, dass es bei dem Entwurf einer Lernumgebung darum geht, den richtigen Mittelweg zwischen Vorgabe von Problemstellungen und offenem Zugang zu finden. Wird zu wenig geleitet, so kann es passieren, dass die Lernenden nicht in der Lage sind, die vorhandenen Möglichkeiten zu nutzen. Wird hingegen zuviel geleitet, so kann dies dazu führen, dass die Lernenden in eine ungewünschte passive Haltung verfallen bzw. die Lernenden mit Informationen überfrachtet werden. Idealerweise sollte die Lernumgebung es ermöglichen jedem Lernenden so viel Hilfestellung zu geben, wie er benötigt.

Weitere Hinweise für das Design von multimedialen Lernumgebungen liefern die Studien von MAUTONE & MAYER (2001) und von MAYER & CHANDLER (2001). In beiden Untersuchungen wird gezeigt, dass kleine Änderungen einer Lernumgebung zu deutlich besseren Lernergebnissen führen können. MAYER & CHANDLER konnten zeigen, dass die Möglichkeit der einfachen Steuerung eines multimedialen Lerninhalts durch den Einbau von Pausen und des Weiterlaufens „auf Mausklick“ zu erheblich besseren Lernergebnissen führt, als wenn diese Möglichkeit nicht gegeben ist.

MAUTONE & MAYER (2001) untersuchten hingegen, die Möglichkeit der Hervorhebung besonders wichtiger Informationen. Im gesprochenen Text wurden die Hervorhebungen durch den Gebrauch bestimmter Redewendungen erzeugt (*pointer phrases*), in der bildlichen Darstellung wurde z. B. mit Pfeilen gearbeitet und in der textlichen Darstellung mit Fett- und Kursivdruck. Sie konnten zeigen, dass jede Form der Hervorhebung die Transferleistung deutlich steigert. Dabei führten sie einerseits Vergleichsuntersuchungen zwischen Text mit und ohne Hervorhebung durch, andererseits verglichen sie die möglichen Kombinationen von Animationen mit einer Audiokomponente. Die Ergebnisse zeigen, dass es lohnenswerter ist die Audiokomponente mit Hervorhebungen zu versehen, als die bildliche Komponente. Allerdings schnitt die Kombination von beidem im Vergleich am besten ab.

1.3.2.6. Nutzen für die Praxis

Mit Hilfe der in Abschnitt 1.3.2 aufgeführten Ergebnisse und Schlussfolgerungen erhält man eine Reihe brauchbarer Hinweise zum Erstellen einer computerbasierten Lernumgebung. Bei der Beurteilung der vorgestellten Ergebnisse sollten die folgenden beiden Aspekte mitberücksichtigt werden, um zu einer angemessenen Eischätzung zu gelangen:

Zum einen gibt es eininge Untersuchungen die darauf hinweisen, dass Animationen statitischen Bildern in der Lernwirksamkeit nicht unbedingt überlegen seien müssen (vergleiche LOWE (2003), LEWALTER (2003)).

Zum anderen gilt es zu berücksichtigen, dass die meisten Ergebnisse anhand eines speziellen Beispiels gewonnen wurden, wie etwa der Entstehung eines Gewitters oder der Funktionsweise einer Luftpumpe (bei MAYER) oder dem Einsatz animierter Wetterkarten (bei LOWE). Die erhaltenen Ergebnisse wurden jeweils abstrahiert und in allgemeiner Form auf multimediales Lernen an sich übertragen. In wie weit die Verallgemeinerungen haltbar sind und auch bei anders gelagerten Darstellungen, wie z. B. die der Teilchenebene, zu treffen, kann eigentlich nicht im Voraus genau gesagt werden.

Trotzdem haben m. E. die vorgestellten Forschungsergebnisse einen wegweisenden Charakter für die praktische Umsetzung. Sollten anhand der eignen, speziellen Situation Erfahrungen gewonnen werden, welche Änderungen sinnvoll erscheinen lassen, so können diesen nachträglich immer noch vorgenommen werden.

1.3.3. *Lernen mit dem Computer im Chemieunterricht*

Der folgende Abschnitt gliedert sich in drei Teile. Zuerst werden didaktische Überlegungen betrachtet, welche den Einsatz des Computers im Unterricht betreffen. Diese beziehen häufig verschiedene lerntheoretische Ansätze ein und kommen so zu Anregungen von neuer Qualität. Weiterhin werden von einigen Autoren konkrete Vorschläge unterbreitet, wie bestimmte Software im Unterricht eingesetzt werden kann. Dabei liegt allerdings zumeist keine Praxiserfahrung vor, die Vorschläge beruhen viel mehr auf Begutachtung der Software. Im letzten Teil dieses Abschnitts werden dann beispielhaft einige Projekte vorgestellt, welche konkret den Computer im Chemieunterricht zum Lernen genutzt haben und von denen Erfahrungen vorliegen.

1.3.3.1. Computergestützte Lernumgebungen betrachtet vor dem Hintergrund des programmierten Unterrichts

Von ihrer Struktur her weisen schrittweise vorgehende Lernumgebungen (Tutorien) große Ähnlichkeiten mit Werken des programmierten Unterrichts auf, welche Anfang und Mitte der 70iger Jahre des 20. Jahrhunderts erstellt und propagiert wurden. Didaktischer Hintergrund des programmierten Unterrichts war die Kybernetik. Diese abstrahierte den Lernprozess von den Vermittlern.

> *„Die bestimmende Größe der Vorgänge bildet der Lehralgorithmus, die Reihenfolge der Lernschritte, die aus Strukturen des Lerngegenstands abgeleitet und in Übereinstimmung mit behavioristischen Lerngesetzen festgelegt wird."*
>
> MITSCHIAN (2000)

Demnach bestünde zu jedem Zeitpunkt des Lernprogramms die Möglichkeit, den nächsten Lernschritt zu determinieren. Obwohl auch Unterricht in der Schule von einem Lehrer nach den Vorgaben des programmierten Unterrichts gehalten werden kann, findet sich in der kybernetischen Begründung doch gerade die Aussage, dass ein Lehrer durch ein anderes Medium vollständig ersetzt werden kann.

Mangels technischer Möglichkeiten in den 70iger Jahren, wurden Werke, welche in Form des programmierten Unterrichts geschrieben waren, i. d. R. als Buch realisiert. Ein typischer Vertreter dieser Art von Lehrbuch ist z. B. das Werk von WARREN (1986) zu Synthesen in der organischen Chemie. Dabei wird das zu vermittelnde Wissen in kleinste Einheiten aufgeteilt und in Form von Frage und Antwort vermittelt. Die eigentlichen Informationen werden dem Lernenden dabei häufig in den gegebenen Antworten zugänglich gemacht.

Im Zuge der technischen Entwicklung, insbesondere der Verbreitung von Personalcomputern und dem Internet, standen aber plötzlich einfache Möglichkeiten offen verlinkte Anordnungen mit nahezu beliebiger Anordnungsstruktur zu generieren. Es ist daher auch kein Wunder, wenn entstandene und weiterhin entstehende computerbasierte Lernprogramme den Werken des programmierten Unterrichts in ihrem Aufbau stark ähneln. Den Vertretern des Computereinsatzes im Unterricht war es demnach ein Anliegen, sich vom programmierten Unterricht und insbesondere seiner kybernetischen Begründung abzugrenzen. Wie WAGNER (2000) ausführt, geht es beim Einsatz des Computers im Unterricht auch nicht um die Optimierung von Lerneffektivität oder von Lernprozessen. Er bezieht sich auf beides, wenn er feststellt:

> *„Die Abgrenzung von solchen Bestrebungen war jedoch nötig, da der Vorwurf eines Rückfalls auf didaktisch überholte Positionen von Kritikern immer wieder erhoben wurde.“*
>
> WAGNER (2000)

Stattdessen nimmt WAGNER eine Dreiteilung vor, wenn er über den Einsatz von Computern im Unterricht redet. Man kann

- über den **Computer selber** lehren,
- ihn als **Medium** oder
- ihn als **Werkzeug** benutzen.

Wissen über den Computer selber (und die Erstellung von Software für denselben) zu vermitteln, wäre z. Z. Aufgabe des Informatikunterrichtes. Ihn jedoch als Medium, also als Träger von Informationen zu nutzen oder ihn zum Erstellen von Präsentationen, Texten, als Hilfsmittel bei der Aufnahme, Auswertung und Darstellung von Messergebnissen etc. zu gebrauchen, ist in jedem Unterrichtsfach möglich.

Insbesondere erscheint die von WAGNER vorgenommene Dreiteilung sehr sinnvoll, weil hier noch einmal deutlich gemacht wird, dass man nicht pauschal etwas über den Computer im Unterricht aussagen kann. So beziehen sich z. B. die in Abschnitt 1.3 diskutierten Inhalte auf den Bereich des Computers als Medium.

Bei dieser Einteilung gilt es jedoch zu beachten, dass sie keine vollständige Fallunterscheidung darstellt, insbesondere muss man einen fließenden Übergang zwischen den Bereichen Medium und Werkzeug sehen. Jedoch sind diese Begrifflichkeiten sinnvoll, wenn es darum geht den Einsatz des Computers im Unterricht zu planen. Man muss nur inkauf nehmen, dass ein und dasselbe Programm einmal als Werkzeug und einmal als Medium eingesetzt werden kann. Hierfür sei ein Beispiel aus dem Bereich der Chemie gegeben:

Der Struktureditor *ChemSketch*[1] bietet die Möglichkeit Lewisstrukturen von Molekülen zu zeichnen. Diese lassen sich anschließend dreidimensional darstellen. Einerseits kann *ChemSketch* ein Werkzeug sein, wenn es z. B. darum geht die Struktur eines Moleküls zu zeichnen und diese anschließend in einen Bericht einzubinden, andererseits lassen sich in der dreidimensionalen Darstellung von *ChemSketch* Informationen über den Molekülaufbau und Daten wie Bindungslängen, -winkel „forschend" ermitteln.

Die von Wagner vorgenommene Einteilung entkräftet aber den Vorwurf, sich an überholten didaktischen Konzepten zu orientieren nicht. Der Vorwurf wird lediglich auf einen bestimmten Bereich eingeschränkt. Wie aber verhält es sich mit computerbasierten Lernumgebungen, welche wie eine Umsetzung von programmiertem Unterricht mit dem heutigen Stand der Technik aussehen? Von diesen sagen HENDRICKS & SCHULZ-ZANDER:

> *„Mit dem lerntheoretischen Paradigmenwechsel zum Konstruktivismus werden lineare oder auch verzweigte Wissensrepräsentationen, abgesehen von eng begrenzten Teilbereichen, nicht mehr für zweckmäßig erachtet."*
>
> HENDRICKS & SCHULZ-ZANDER (2000)

Dabei verweisen sie auf Ausführungen von SCHAUMBURG & ISSING (2000). Allerdings gilt es diese starke Aussage etwas abzumildern, denn interessanterweise kann man bei dem Studium der konstruktivistischen Lerntheorien, wie sie z. B. in Abschnitt 1.3.2.1 aufgeführt sind, zu dem Schluss kommen, dass solche Lernumgebungen doch eine bestimmte Lernwirksamkeit haben können. Zusätzlich sprechen gerade eine Reihe empirischer Befunde, wie sie in Abschnitt 1.3.2.5 näher beschrieben worden sind, gerade für eine stärke Lenkung der Lernenden. Konstruktivistischen Lerntheorien geben allerdings andere Vorgaben bezüglich Aufarbeitung des Lerninhaltes vor, als es die Kybernetik tut. Die Problem- und Lernerorientierung steht hier im Vordergrund, während die Kybernetik diesbezüglich keine Präferenzen aufweist (vergleiche z. B. VON CUBE (1980)).

Obwohl sich also die Begründung für die konkrete Umsetzung radikal geändert hat, kommt man doch zu ähnlichen Resultaten. So stellen SCHAUMBURG & ISSING auch fest, dass lineare Übungsprogramme für das Erlernen und Üben einfacher Fertigkeiten geeignet sei. Hingegen seien diese nicht mehr geeignet um komplexere Probleme angemessen darzustellen. Hier würden große Hoffnungen auf hypermediale Lernprogramme gesetzt. Durch den verzweigten Aufbau würden mehr Freiheitsgrade entstehen, welche offeneres und selbstgesteuertes Lernen ermöglichen würden. Allerdings warnen SCHAUMBURG & ISSING auch, so hätten Untersuchungen gezeigt, dass schwächere Schüler von der Offenheit nicht profitieren würden und dass *„ein zu großes Maß an Lernfreiheit beim selbstgesteuerten Lernen mit dem Computer für viele Schüler ein Problem darstellt."* SCHAUMBURG & ISSING (2000)

[1] Dieser wird von ACDLabs vertrieben. Eine ältere, kostenfreie Version wird auch bereitgestellt; zu beziehen unter *www.acdlabs.com* (Stand 20.05.2003)

1.3.3.2. Didaktische Überlegungen

EHLERS (2002) betrachtet den Bereich der Qualitätssicherung und kommt zu dem Schluss, dass die traditionellen Mechanismen auch im Bereich des E-Learnings gelten würden. Somit könnte man auf bewährte Modelle und Methoden zurückgreifen, allerdings merkt er an, dass somit auch die alten Probleme erhalten blieben. Ähnlich dürfte auch EULER (1992) denken, denn für ihn ist es wichtig zu klären, welches Menschenbild dem computerunterstützten Lernen zu Grunde liegt. Er greift dabei auf die klassischen Ansätze der Lerntheorien zurück und unterscheidet zwischen Programmen, welche behavioristisches Lernen (etwa nach THORNDIKE oder SKINNER) ermöglichen und solchen, welche sich eher an kognitiven Lerntheorien orientieren. Letztere werden heute als zunehmend wichtiger eingeschätzt, sie wurden bereits in Abschnitt 1.3.2 vorgestellt. Mit ihnen sind Begriffe wie situiertes Lernen, Problemorientierung, *cognitve apprantices-hip* oder kognitive Konflikte verbunden. Als einer ihrer Ursprünge kann die Forschungsarbeit von PIAGET angesehen werden, welche im Laufe der Zeit von vielen weiteren Wissenschaftlern weiter ausgearbeitet wurden, so dass heute ein ganzer Bereich sich mit dem kognitiven Lernen befasst (vergleiche z. B. EDELMANN (1996, S. 8, sowie Kap. 5 & 6).

In seiner Zusammenfassung der Empfehlungen von didaktischen Gestaltungsprinzipien kommt EULER (1992, S.55-56) zu ernüchternden Ergebnissen. In der von ihm analysierten Literatur (z. B. ALESSI & TROLLIP (1985), AL JABERI (1984), CLARKE (1984) u. a.) finden sich kaum brauchbare Hinweise. Entweder sie sind sehr konkret *(„bei drücken von Control+C sollte das Programm nicht stoppen“*), enthalten didaktische Selbstverständlichkeiten *(„Benutze Methode, die dem Lerner den Erwerb von Konzepten ermöglichen“*) und zu meist nicht begründet, was manchmal einen ratlosen Leser hinterlässt *(„Wähle eine kurze Titelseite“*). Insgesamt zeigt EULERS Zusammenfassung aber, dass die meisten Ratschläge sich mit Hilfe der kognitiven Lerntheorien begründen bzw. sogar aus diesen ableiten lassen, was deren Darstellung in Abschnitt 1.3.2 zusätzlich rechtfertigt.

1.3.3.3. Softwareratgeber

Auf dem Markt gibt es eine Reihe von Literatur, welche Ratschläge zu Lernsoftware gibt. Von diesen seien zwei an dieser Stelle exemplarisch näher betrachtet. So hat das LANDESINSTITUT FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG (2000) einen Softwareratgeber für die Sekundarstufen I und II herausgegeben, welcher unter dem Namen *Lernen mit neuen Medien 2000* erschienen ist. Es ist von Lehrern für Lehrer geschrieben. Die einzelnen Software-Beurteilungen lassen dann auch erkennen, dass hier auf Grund von allgemeiner Lehrerfahrung geurteilt wird und weniger auf expliziten Unterrichtserfahrungen mit den einzelnen Programmen.

Nach einschlägigen Vorbemerkungen gliedert sich der Ratgeber nach Fächern auf. Für das Fach Chemie sehen die Autoren folgende Programme und Einsatzmöglichkeiten:

- Informationsbeschaffung mit Hilfe von multimedialen Enzyklopädien
- Messwerterfassung, sowie Verarbeitung und Darstellung der gewonnen Daten
- Simulation von realen Abläufen mit Modellbildungsprogrammen
- Dreidimensionale Molekülbetrachter
- Molekülbauprogramme
- Virtuelle Labore
- Struktureditoren

Für die Zukunft sehen sie Chancen in „multimedialen Lehrbüchern“ und weiterhin wünschen sie sich Zeichenprogramme für chemische Versuchsaufbauten.

Insgesamt geben sie damit einen ähnlichen Überblick, wie auch die *Empfehlungen der MNU zum Einsatz des Computers im Unterricht* (MNU (2003)). Da es sich dabei um subjektive Einschätzungen handelt, kann man sicherlich auch zu anderen Urteilen wie die Autoren gelangen, was die Tauglichkeit bzw. Untauglichkeit bestimmter Programme für den Unterricht angeht. Es seien an dieser Stelle aber zwei Anmerkungen gemacht. Zum einen ist der Wunsch nach einem Zeichenprogramm für chemische Versuchsaufbauten mittlerweile in Erfüllung gegangen (z. B. mit den Programmen *ChemSketch*[1] oder *GlassyChemistry 2000*[2]) und zum anderen werden im folgenden Abschnitt 1.3.3.5 zwei Beispiele mit vorliegenden Erfahrungen für den Einsatz von „multimedialen Lehrbüchern“ im Unterricht gegeben.

FEIBEL & HERDA (2000) bewerten in ihrem großen *Lern-Software-Ratgeber 2001* nach drei Kriterien: Inhalt, Didaktik und Umsetzung. Beim Inhalt orientierten sie sich dabei an der fachlichen Richtigkeit und ob der gebotene Stoff sich an gängigen Lehrplänen orientiert. Im Bereich der Umsetzung ging es ihnen um eine intuitive Bedienung und ob die medialen Möglichkeiten des Computers ausgeschöpft wurden, oder ob nicht auch ein Buch mit demselben Inhalt hätte erscheinen können. Ihre Kriterien für den Bereich Didaktik beschreiben sie wie folgt:

> *„Bei den meisten zu bearbeitenden Themenkomplexen ist es förderlich, wenn der Inhalt ‚vom Einfachen zum Komplexen' aufgebaut, der Stoff in einzelne Einheiten unterteilt und eine Lernkontrolle integriert ist. Darüber hinaus sollte das Vorwissen des Schülers abgefragt werden, der Programmverlauf ausreichend Pausen für den Lehrenden vorsehen, und*

[1] Hersteller ist ACD Labs; eine kostenlose Version lässt sich unter *www.acdlabs.com* beziehen (gesehen 20.05.2003).

[2] Hersteller ist CompuChem; Informationen finden sich unter *www.compuchem.com/glassy2000.htm* (gesehen am 02.06.2003)

Handlung auf den Alltag und Fantasiewelt der Schüler zugeschnitten sein.“

FEIBEL & HERDA(2000)

Diese sicherlich sinnvollen Forderungen werden allerdings nicht weiter begründet. Sie scheinen sich dabei an bekannten Theorien der allgemeinen Schuldidaktik zu orientieren. (vergleiche auch Abschnitt 1.1.1.1 über die kritisch-konstruktive Didaktik nach KLAFIKI).

1.3.3.4. Hypertext Lernumgebungen für den Chemieunterricht

In Abschnitt 1.3.3.5 werden Beispiele für Hypertext-Lernumgebungen vorgestellt, welche über eine breitere Praxiserfahrung verfügen. Es gibt noch eine Reihe weitere Projekte, zu denen keine oder nur sehr begrenzte Erprobungen dokumentiert und veröffentlicht wurden.

Zu diesen Projekten gehören etwa:

- Der Einsatz von VRML zur Visualisierung von Molekülen nach REINERS & SABOROWSKI (2001)
- Das aus HTML-Seiten bestehende Lehrprogramm MOLiS, mit dessen Hilfe verschiedenste Aspekte der Isomerie vermittelt werden. Nach Aussagen der Autoren WAGNER, REUTER & HAGER (2001) befindet es sich nach einer Erprobungsphase im „Umbau“.
- Der Einsatz von VRML zur Visualisierung von Reaktionsmechanismen nach MÖLLENCAMP, KRILLA & RALLE (2001)
- Die Hypermedia-Bausteine *„MTBE im Otto-Kraftstoff“* nach WOOCK & TAUSCH (2001), *„Photoelektrochemische Zelle“* nach BOHRMANN & TAUSCH (2001) und *„Natriumchlorid und die Ionenbindung“* nach SCHMITZ & TAUSCH (2001)
- Weiterhin stellt STEINER (2001) Filme von Reaktionsmechanismen, basierend auf Berechnungsergebnissen aus Molecular Modelling Programmen, in diesem Zusammenhang vor. (Die von ihr erstellten Filme sind allerdings z. Z. nicht in eine spezielle Hypertext-Lernumgebung integriert, jedoch zeigen die Beispiele für solche Lernumgebungen, dass es ein Leichtes wäre solches zu tun.)

1.3.3.5. Beispiele mit Praxiserfahrung

Einsatz einer Hypertextlernumgebung zum Thema Seife

KUMMER (2000) berichtet über eine Studie, in welcher er eine Hypertextlernumgebung zum Thema *Seife* in mehreren Schulklassen erprobt hat. Sein Anliegen war es dabei eine lineare gegenüber einer nicht-linearen Anordnung der Hypertext-Seiten bezüglich der Lernwirksamkeit miteinander zu vergleichen. Eines der Ergebnisse war dabei, dass selbst schwächere Schüler mit Hilfe von nicht-linear angeordneten Seiten gute Lernergebnisse erzielten. Insbesondere schnitten Schüler, welche mit der nicht-linearen Anordnung gelernt hatten, durchschnittlich etwas besser ab, im Vergleich zu denen, die mit einer linearen Anordnung gelernt hatten. Somit kann man Kummers Studie als ein Beispiel dafür ansehen, dass durch eine wohldurchdachte, aber nicht unbedingt lineare verlinkte Anordnung von Inhalten Schüler selbstständig am Computer lernen können.

Für den Einsatz im Unterricht nennt KUMMER (2000, S. 72) als Voraussetzungen der Schüler die erworbenen Chemiekenntnisse bis zum ersten Halbjahr der elften Klasse inklusive. (Diese Angaben beziehen sich auf Nordrhein-Westfalen.) Konkret nennt er einfache Kenntnisse der organischen Chemie. Als eine Erkenntnis nennt er, dass die Schüler eigenständig mit Hilfe der Lernumgebung lernen.

Unter *www.seifeundwaschmittel.de* [1] lässt sich die nicht-lineare Variante der Hypertextlernumgebung im Internet anschauen[2].

Einführung des Kugelteilchen-Modells mit Hilfe der Simulation L.E.S.P.

Die Bezeichnung L.E.S.P. wurde von HOLLSTEIN für sein Programm gewählt, sie steht für „***L***earning ***E***nvironment for ***S***imulation of ***P***articulate models of matter“. HOLLSTEIN bezeichnet sein Programm als „ein visuelles, adaptierbares Computersimulationsprogramm, welches Lernenden die Möglichkeit bietet, die Bedeutung des Teilchenkonzepts durch aktives, selbstgesteuertes Konstruieren dynamischer Teilchenszenarien zu erarbeiten“ (HOLLSTEIN (2001, S.35)). HOLLSTEIN sieht dabei die Notwendigkeit das Arbeiten mit der Simulation in eine Unterrichtseinheit einzubetten. Er schlägt für diese ein Vier-Phasen-Modell vor.

> *„Die einzelnen Phasen sind die Problemstellungsphase (Abb. 7-2, A-D), die Modellentwicklungsphase (E&F), die Modelldiskussionsphase (G-I) und die Vertiefungsphase (J).“*
>
> HOLLSTEIN (2001, S. 42)

Den genaueren Ablauf gibt dabei folgende Abbildung wieder.

[1] Die Adresse entpuppt sich dabei als eine Alias-Adresse für folgende Seite: *www.uni-essen.de/chemiedidaktik/S+WM/Index/Index.htm*

[2] gesehen am 07.02.2003

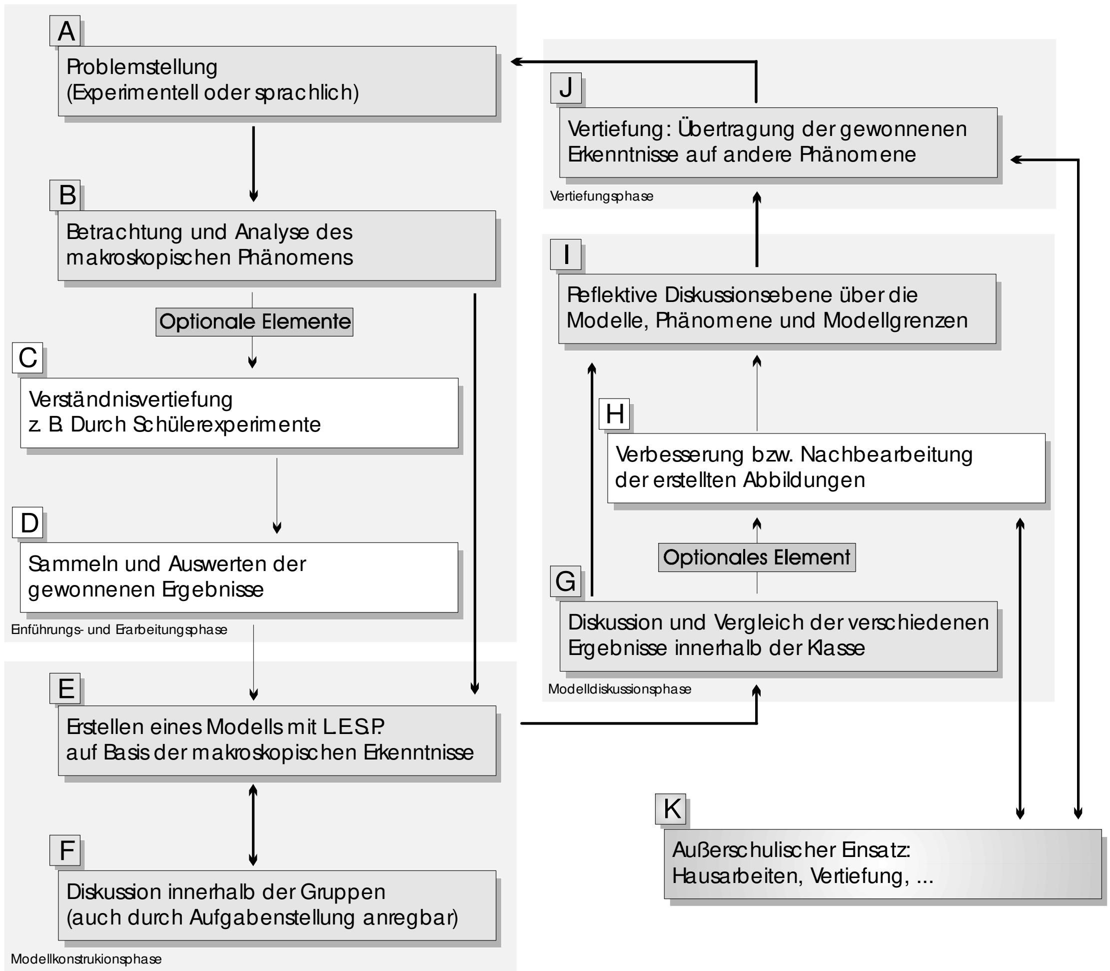


Abbildung 10 Schema des zirkulären Stundenverlaufs bei der Integration von „L.E.S.P." in den Unterricht. Entnommen aus: HOLLSTEIN (2001, S. 42)

Erprobt wurde diese Vorgehensweise z. B. mit Themen wie Diffusion von Ether oder von Bromdämpfen oder der Deutung von Aggregatzuständen. Bei der Erprobung in der Praxis musste HOLLSTEIN feststellen, dass Schüler häufig, für die Modellbildung unnötige, Gegenstände, wie Tische und Stühle, mit in die Simulationsumgebung einzeichneten. Er verweist hierbei auf die Lehrkräfte, welche dies im Unterricht zur Sprache bringen müssten.

Durch eine Studie mit Pre-, Post- und Followup-Test konnte HOLLSTEIN für zwei Beispiele zeigen, dass mit Hilfe seines Ansatzes das angestrebte Teilchenmodell erfolgreich vermittelt werden konnte.

Die Lernumgebung *Teilchen*

Hintergrund für die Lernumgebung *Teilchen* von EILKS ist ein didaktischer Ansatz, welcher versucht ein einheitliches, widerspruchsfreies und anschlussfähiges Teilchenkonzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu entwickeln. Neben dem herkömmlichen Unterricht wurde auch eine auf HTML basierende Lernumgebung entworfen. Diese gliedert sich in einzelne Module, welche „*über das zentrale inhaltliche Konzept vernetzt als umfassende Lernumgebung einsetzbar*" sind (EILKS & MÖLLERING (2001)). Dabei war es den Autoren wichtig, ein sinnvolles Maß an Vernetzungen einzubauen, insbesondere diese nicht zu übertreiben.

> *„Die Einschränkungen in der Vernetzung tragen sowohl zur oben angesprochenen Vorstrukturierung bei, berücksichtigen aber auch die immer wieder beschriebene Erfahrung der Desorientierung und kognitiven Überlastung bei der Hypermedianutzung, die in zu komplexen Systemen auch von uns verschiedentlich beobachtet wurden."*
>
> EILKS & MÖLLERING (2001)

Neben Texten waren in der Lernumgebung auch Bilder, Animationen und Videosequenzen enthalten, weiterhin enthielt die Lernumgebung externe Links ins Internet. Die Animationen zeigen dabei jeweils die Teilchenebene, während die Videosequenzen Experimente oder Phänomene darstellen.

Erprobt wurde die Lernumgebung innerhalb der Sekundarstufe I, insbesondere im Anfangsunterricht. Dabei folgte EILKS einem Aktionsforschungsansatz. Grob gesprochen bedeutet dies, dass die Erprobung des didaktischen Konzepts im Unterricht von mitarbeitenden Lehrern durchgeführt wurde und diese von universitärer Seite in Diskussionsrunden betreut wurden. Großen Wert legt EILKS dabei auf die gleichberechtigte Stellung von Forschern und Praktikern. Sie unterscheiden sich lediglich durch unterschiedliche Aufgabenstellungen, beide können jedoch gleichermaßen am Konzept beeinflussend mitwirken (vergleiche Abschnitt 1.5 oder EILKS & RALLE (2002a-b)).

EILKS & MÖLLERING (2001) ziehen eine positive Bilanz bezüglich der unterrichtlichen Erfahrungen. Sie heben die selbständige Arbeit der Schüler mit Lernumgebung hervor und betonen, dass neben einer hohen Attraktivität des Mediums auch dessen Hilfe bei der Vermittlung von Verständnis mit entscheidend war.

> *„Hierbei spielten insbesondere die animierten Darstellungen der Teilchenebene und der Einbezug von Videoclips und Internetlinks eine Rolle."*
>
> EILKS & MÖLLERING (2001)

Weiterhin weisen die Autoren daraufhin, dass die wenigen negativen Anmerkungen seitens der Schüler nur in zwei Bereichen auftraten: der textliche Anteil sei zu hoch gewesen und es gäbe Schwierigkeiten beim Auffinden von Informationen.

4M:CHEM

In ihrer computerbasierten Lernumgebung zum chemischen Gleichgewicht teilen RUSSELL & KOZMA (1994) den Bildschirm in vier gleichgroße Bereiche auf und zeigen simultan den Ablauf der Gleichgewichtsreaktion von Stickstoffdioxid (NO_2) zu Distickstofftetraoxid (N_2O_4) als gefilmte Reaktion, als animierte Teilchenebene (Film), als Diagramm (Film) und die Reaktionsgleichung. Ein Benutzer dieser Umgebung hat die Möglichkeit die Vorführung anzuhalten und wieder fortzusetzen (Pause-Start-Button). In einem späteren Artikel stellen RUSSELL, KOZMA, JONES, WYKOFF, MARX & DAVIS (1997) drei weitere Module vor (Verdampfung von Wasser, Gleichgewicht des Säure-Base-Indikators Bromthymolblau und das Fällungsgleichgewicht von Kupfer(II)iodat), welche sie in obiger Form realisiert haben.

Mit dem Design beabsichtigten die Autoren die phänomenologische, die symbolische und die submikroskopische Ebene so zu präsentieren, dass sie von Lernenden miteinander in Verbindung gebracht werden. Insgesamt verfolgen die Autoren drei Ziele:

> *„First, chemistry teaching may simple stress, the symbolic level and problem solving at the expense of the phenomena and particle levels'. Second, if chemistry teaching occurs at the macroscopic,* [sub][1]*microscopic, and symbolic levels, insufficient connections are made between the three levels and the information remains compartmentalized in long-term memories of students'. Third, students may fail to understand, even with instruction at all three levels that emphasizes the cross relationships, if the ‚phenomena considered were not related to the students' everyday life'."*
>
> RUSSELL, KOZMA, JONES, WYKOFF, MARX & DAVIS (1997)

Weiterhin stellen RUSSELL, KOZMA, JONES, WYKOFF, MARX & DAVIS Untersuchungsergebnisse vor, mit welchen sie die Lernwirksamkeit von 4M:CHEM belegen. Dabei kommen sie zu dem Schluss, dass nach zwei einstündigen Lektionen das Wissen der Lernenden bezüglich des chemischen Gleichgewichts und Einflüssen, wie z. B. Druckveränderungen, gestiegen ist.

1.4. Einführung in das chemische Gleichgewicht

1.4.1. *Stoßtheoretische Einführung des chemischen Gleichgewichts*

Um schulgerecht in das chemische Gleichgewicht einzuführen gibt es unterschiedliche Ansätze. Eine Möglichkeit besteht z. B. darin die Geschwindigkeiten der gleichzeitig ablaufenden Hin- und Rückreaktion zu betrachten. Der Gleichgewichtszustand wird dann über gleich schnell ablaufende Hin- und Rückreaktion definiert. Wird dieser Zugang gewählt, so geschieht dies meist experimentell und über kinetische Betrachtungen, wie z. B. KRILLA, MÖLLENCAMP & RALLE (1999) ausführen. Insbesondere wird dieser Weg mit aufwendigen mathematischen Betrachtungen verknüpft, da die Geschwindigkeiten der (sog. unbeeinflussten) Hin- bzw. Rückreaktion experimentell nicht direkt zugänglich sind, sondern aus gewonnenen Messdaten berechnet werden müssen. KRILLA, MÖLLENCAMP & RALLE selber sehen in ihrem mathematisch aufwendigen Weg keine schulgerechte Form, um in das chemische Gleichgewicht einzuführen.

[1] Meiner Ansicht nach ist hier die submikroskopische und nicht die mikroskopische Ebene gemeint; im Originaltext steht jedoch „microscopic".

Um die Schüler mit dem chemischen Gleichgewicht vertraut zu machen, wird in dieser Arbeit ein anderer Weg beschritten. Mit Hilfe einer einfachen Stoßtheorie werden die Schüler mit gleichzeitig ablaufenden Hin- und Rückreaktionen vertraut gemacht. Das chemische Gleichgewicht ergibt sich als Folgerung.

Die diesem Ansatz zu Grunde liegende Theorie wird im Folgenden kurz dargestellt. Bevor dies geschieht, sei noch auf Abschnitt 1.4.4 verwiesen, in welchem dargelegt wird, dass die unterschiedlichen Erklärungsmodelle zum chemischen Gleichgewicht nicht unabhängig voneinander sind. Vielmehr wird dort aufgezeigt, dass die weiteren in Abschnitt 1.4.4 erwähnten Modelle erst durch den stoßtheoretischen Ansatz eine sinnstiftende Begründung auf Teilchenebene erlangen.

1.4.1.1. Die einfach Stoßtheorie auf dem Niveau für Studienanfänger

In Kursen der Physikalischen Chemie im Chemie-Grundstudium wird eine einfache Variante der Stoßtheorie über folgende mathematische Betrachtungen eingeführt (vgl. z. B. WEDLER (1987, S. 770-773 oder ATKINS (1990, 840-845)):

Betrachtet werden die Reaktionen von Molekülen der Sorten A und B, welche als starre Kugeln angesehen werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit J hängt dann von den pro Zeiteinheit stattfindenden Zusammenstößen Z_{AB} ab. Da nicht alle Stöße zu einer Reaktion führen, wird mit einem Faktor F multipliziert, so dass sich folgende Formel für die Reaktionsgeschwindigkeit ergibt

$$J = {}^1Z_{AB} \cdot F \qquad (1)$$

Nun gilt es die beiden Faktoren F und Z_{AB} näher zu bestimmen.

Aus einfachen theoretischen Überlegungen folgt, dass die Zahl der Stöße zwischen A und B pro Zeiteinheit sich multiplikativ aus dem Stoßquerschnitt, der mittleren Relativgeschwindigkeit v_{AB}, sowie den Anzahlen der Moleküle pro Volumeneinheit ${}^1N_A$ bzw. ${}^1N_B$ zusammensetzt.

$${}^1Z_{AB} = \sigma\, v_{AB}\, {}^1N_A\, {}^1N_B \qquad (2)$$

Um den Faktor F näher zu bestimmen, wird angenommen, dass eine Reaktion bei einem Stoß nur dann eintritt, wenn die relative kinetische Energie in der Kernverbindungslinie eine gewisse Mindestenergie überschreitet. Hier ergeben theoretische Überlegungen, dass dieser Bruchteil der Moleküle sich wie folgt beschreiben lässt

$$F = e^{-\frac{\varepsilon_{\min}}{kT}} \qquad (3)$$

Es ergibt sich also insgesamt

$$J = \sigma \cdot v_{AB} \cdot {}^1N_A \cdot {}^1N_B \cdot e^{-\frac{\varepsilon_{\min}}{kT}} \qquad (4)$$

Auch lässt sich (4) noch weiter verfeinern, hierzu vergleiche man z. B. WEDLER (1987, S. 770-790). An dieser Stelle sei lediglich noch vermerkt, dass die relative mittlere Geschwindigkeit proportional von der Quadratwurzel der

Temperatur abhängig ist, also mit steigender Temperatur auch die relative mittlere Geschwindigkeit steigt.

1.4.1.2. Eine schulgerechte Version der einfachen Stoßtheorie

Für eine schulgerechte Einführung lässt sich aus dieser mathematischen Betrachtung eine einfachere Variante ableiten, die ohne eine Formelsprache auskommt. Für diese Arbeit wurde folgende Formulierung gewählt:

> Eine Reaktion zwischen einem Molekül *A* und einem Molekül *B* kommt Zustande, wenn
>
> - beide potentiell miteinander reagieren können,
> - beide zusammenstoßen,
> - der Zusammenstoß heftig genug erfolgt, also die Summe der kinetischen Energien eine bestimmte Mindestenergie übersteigt
> - und wenn beide richtig zueinander orientiert sind.
>
> ---
>
> - Ist eine der Bedingungen nicht erfüllt, so vollführen die Moleküle einen elastischen Stoß und liegen weiterhin unverändert vor.

Da insbesondere bei der visuellen Umsetzung in dem in dieser Arbeit eingesetzten Simulationsprogramm die Moleküle als Kreise (Kugeln) dargestellt werden, verliert die Bedingung der richtigen Orientierung seine Bedeutung. Der Vollständigkeit halber wurde er jedoch mit aufgenommen.

Möchte man mit Hilfe der stoßtheoretischen Einführung des chemischen Gleichgewichts auch dessen Abhängigkeit von der Temperatur erklären, so muss zusätzlich erwähnt werden, dass die Geschwindigkeit der Moleküle, und somit ihre kinetischen Energien, von der Temperatur abhängig sind. Da dies jedoch eigentlich ein Faktum ist, welches sich z. B. aus der kinetischen Gastheorie ergibt, wurde dies nicht mit in die Formulierung der hier benutzten einfachen Stoßtheorie mit aufgenommen.

JÄCKEL & RISCH (1988, S.80) machen dies in ihrem Schulbuch *Chemie heute* anders, stellen aber im Wesentlichen die gleichen Forderungen auf. Sie fordern lediglich explizit, dass die Teilchen als starre Kugeln anzusehen sind, welche sich mit steigender Temperatur immer schneller bewegen.

Dies wird von uns nicht explizit gefordert, da zum einen die starren Kugeln erst bei der visuellen, computerunterstützten Simulation von Bedeutung sind und dann automatisch betrachtet werden. Zum anderen ist die Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeit der Moleküle eine Folge aus der kinetischen Gastheorie und wird auch in dem Simulationsprogramm beobachtbar. Hingegen hielt ich es für nützlich, den Aspekt mit aufzunehmen, dass die Moleküle überhaupt potentiell miteinander reagieren können. Im Simulationsprogramm lassen sich unterschiedliche Reaktionstypen beobachten und somit können z. B. in einem Fall zwei Moleküle der Sorte *C* miteinander reagieren und in einem anderen eben nicht. Diese Forderung liegt der Formulierung von JÄCKEL & RISCH nur implizit zu Grunde.

1.4.1.3. Deduktion des chemischen Gleichgewichts aus der einfachen Stoßtheorie

Eine solchermaßen vereinfachte, ohne mathematische Formulierungen auskommende Version der Stoßtheorie bringt bestimmte Vorteile mit sich. So darf etwa angenommen werden, dass sie unmittelbar einleuchtend ist und von den Schülern entsprechend gut verinnerlicht werden kann. Dies wird insofern unterstützt, da keine mathematische Begründung stattfindet, sondern eine rein qualitative Betrachtung. Trotzdem lassen sich auch so tiefgreifendere Erkenntnisse über den Ablauf chemischer Reaktionen gewinnen. Somit können die Lernenden bereits qualitative Erkenntnisse sammeln, welche sie dann anschließend quantitativ ausweiten können, z. B. durch die Betrachtung des Massenwirkungsgesetzes. Im Folgenden wird nun weiter ausgeführt, wie sich auf der Grundlage der oben eingeführten, vereinfachten Version der Stoßtheorie tiefergehende Erkenntnisse über den Ablauf chemischer Reaktionen gewinnen lassen.

Die einfache Version der Stoßtheorie macht Aussagen darüber, ob bei einem Zusammenstoß zweier Teilchen eine Reaktion zustande kommt. Bei einer realen Reaktion ist eine enorme Anzahl an Teilchen beteiligt, die ständig miteinander zusammenstoßen. Dies bedeutet, dass man von den Bedingungen für einzelne Zusammenstöße auf eine große Zahl an Zusammenstößen schließen muss, um dass Gesamtgeschehen beurteilen zu können. Hierfür bietet sich ein schrittweises Vorgehen an, welches nun beschrieben wird.

Zu Anfang muss man sich mit Hilfe der Reaktionsgleichung Übersicht über die potentiell erfolgreichen Stöße verschaffen. Nehmen wir folgende Reaktion an

$$A + B \rightleftarrows 2\,C \qquad (5)$$

Dann könnten Stöße von Teilchen der Sorte *A und B* miteinander und Stöße von zwei Teilchen der Sorte *C* miteinander potentiell zu Reaktionen führen. Sämtlichen anderen Stöße, wie etwa *A mit A*, *A mit C* oder *B mit C*, wären für Reaktionen schon ausgeschlossen. Wichtig ist nur zu erkennen, dass diese auch stattfinden, und nicht nur etwa potentiell zu Reaktionen führende Stöße.

Nun gilt es den Anfangszustand zu betrachten. Angenommen wird, dass mit reinen Edukten *A* und *B* gestartet wird und zu Beginn der Reaktion *C* noch nicht vorliegt. Dann sind nur Stöße der Sorte *A mit A*, *B mit B* und *A mit B* möglich. Somit können nur Reaktionen der Hinreaktion

$$A + B \longrightarrow 2\,C \qquad (6)$$

stattfinden. Haben sich hingegen die ersten Teilchen der Sorte *C* gebildet, so sind alle Stöße möglich, auch die der Rückreaktion

$$2\,C \longrightarrow A + B. \qquad (7)$$

Jetzt gilt es die unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten für die einzelnen Stöße zu berücksichtigen. Auf Grund der unterschiedlichen Teilchenzahlen bleiben zu Beginn der Reaktion die Stöße unter Beteiligung von *A* oder *B* am wahrscheinlichsten, auch die Stöße von *A und B* miteinander kommen häufig vor. In dem Maße, in dem *A* mit *B* reagieren, steigt auch die Teilchenzahl von *C* an. Daraus folgt, dass allmählich die Wahrscheinlichkeit von Stößen der Sorte *C mit C* zu nimmt und entsprechend sinkt diese für Stöße der Sorte *A* mit *B*. Die Wahrscheinlichkeiten für die Stöße der Hin- und Rückreaktion gleichen sich auf diese Art und Weise an.

Betrachtet werden muss nun ein kleines Zeitintervall, in welchem die Anzahl der Hin- und Rückreaktionen bestimmt werden muss. Mit abnehmender Teilchenzahl von *A* und *B* werden immer weniger Hinreaktionen je Zeitintervall stattfinden, jedoch wird die Anzahl der Rückreaktionen je Zeitintervall zunehmen. Dies geschieht so lange, bis beide Anzahlen für ein Zeitintervall übereinstimmen. Dieser Zustand wird dann als Gleichgewichtszustand bezeichnet. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass im Mittel gleich viele Hinreaktionen wie Rückreaktionen je Zeitintervall ablaufen. Auch handelt es sich um einen stabilen Zustand, was sich in der Realität beweist und durch ein einfaches Gedankenexperiment erläutert werden kann.

Angenommen es hätten sich mehr Teilchen *C* gebildet, als im Mittel im Gleichgewichtszustand vorliegen. Die Zusammenstöße von *C* miteinander wären dadurch wahrscheinlicher als im Gleichgewichtszustand. Es käme zu einer vermehrten Bildung von *A* und *B*, bis die Gleichgewichtslage sich wieder eingestellt hat.

In der Praxis zeigt man dies z. B., in dem man nicht mit reinen Edukten *A* und *B* als Ausgangssituation beginnt, sondern mit reinem Produkt *C*: Nach der notwendigen Zeit stellt sich derselbe Gleichgewichtszustand ein.

Um zu erläutern, wieso im Gleichgewichtszustand nicht gleich viele Edukte wie Produkte vorhanden seien müssen, bedarf es der Einbeziehung der Mindestenergien für jede Reaktion.

Gilt etwa, dass für die Hinreaktion eine weniger hohe Energiebarriere zu überwinden ist wie für die Rückreaktion, so bilden sich mehr Produkte als Edukte, da die Zusammenstöße für die Hinreaktion anteilmäßig häufiger erfolgreich sind.

Auch der Einfluss einer Temperaturerhöhung lässt sich mit Hilfe der einfachen Stoßtheorie qualitativ deuten. Auf Grund der erhöhten kinetischen Energien der Teilchen, sind mehr Zusammenstöße erfolgreich. Insgesamt nehmen also die Reaktionen pro Zeiteinheit (sowohl die Hinreaktionen, als auch die Rückreaktionen) zu. Sind jedoch die Mindestenergien für die beiden Teilreaktionen unterschiedlich, so wird es bei der Teilreaktion mit der höheren erforderlichen Mindestenergie vergleichsweise häufiger zu erfolgreichen Zusammenstößen kommen. Der Grund hierfür liegt darin, dass erfolgreiche Zusammenstöße nicht noch erfolgreicher werden können. Wenn also der Anteil an erfolgreichen Zusammenstößen bereits zuvor hoch war, so ist eine Steigerung schwieriger als im umgekehrten Fall.

1.4.1.4. Visuelle Veranschaulichung der einfachen Stoßtheorie mit Hilfe eines Simulationsprogramms

Auf den ersten Blick scheint die Einführung des chemischen Gleichgewichts über den oben skizzierten Weg mit Hilfe einer einfachen Stoßtheorie recht komplex und unanschaulich zu sein. Im Laufe dieser Arbeit wurde jedoch ein Simulationsprogramm erstellt (und ständig optimiert), welches eigens zur Visualisierung der hier vorgestellten Theorie dient. Auf Grund der in *Abschnitt 1.31.3 oben* beschriebenen Erkenntnisse aus dem Bereich des multimedialen Lernens, wurde weiterhin ein einführendes Tutorium zu dem Simulationsprogramm erstellt. Die Lernenden haben so die Möglichkeit sich Schritt für Schritt mit der Bedienung und Funktionsweise der Simulation vertraut zu machen, und anschließend können sie damit beginnen, geleitet Erkenntnisse über den Ablauf von chemischen Reaktionen zu gewinnen.

Das Simulationsprogramm, welches den Namen *SimReac* erhalten hat, soll in diesem Abschnitt kurz vorgestellt werden. In der Version 0.7 von Januar 2003 verfügt es über folgende Eigenschaften.

Geschrieben wurde es in einer ersten Version in *Java 2*® (von *Sun*®). Aus verschiedenen Gründen wurde für den zweiten Zyklus eine stark erweiterte Version in der Programmiersprache *Visual Basic 6*® (von *Microsoft*®) erstellt. Von dieser wird im Folgenden die Rede sein.

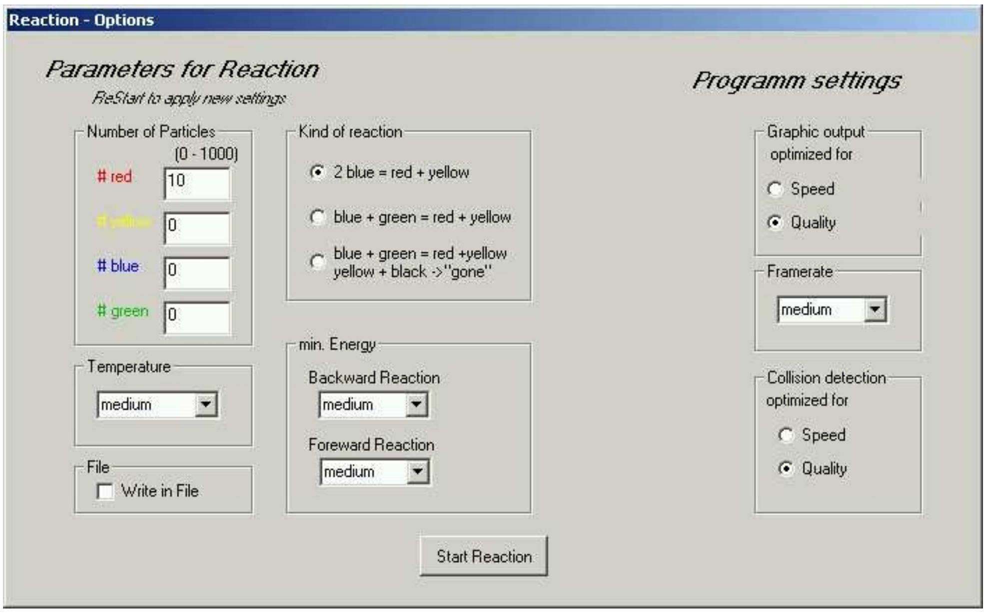


Abbildung 11 Screenshot des Einstellfensters des Simulationsprogramms

Nach dem Starten öffnet sich ein Einstellfenster, in welchem folgende Parameter festgelegt werden können:

Reaktionsparameter

- Anzahlen der Teilchensorten; für die Schülerversion fand hier eine sinnvolle Begrenzung auf maximal 1000 Teilchen je Sorte statt.
- Auswahl zwischen drei Reaktionstypen
    - $A + B \rightleftarrows 2\ C$
    - $A + B \rightleftarrows C + D$
    - $A + B \rightleftarrows C + D$ und einer Konkurrenzreaktion
      $C + E \rightarrow$ „verschwunden"
- Qualitative Einstellung für die Temperatur in fünf Schritten (von *sehr niedrig* bis *sehr hoch*)
- Qualitative Einstellung für die Mindestenergien der Hin- und Rückreaktion in fünf Schritten (von *sehr niedrig* bis *sehr hoch*)

Programmparameter

- Die Darstellung der Teilchen am Bildschirm lässt sich umschalten zwischen einer Optimierung für die Darstellungsgeschwindigkeit oder für die Darstellungsqualität.
- Der Algorithmus für die Erkennung von Zusammenstößen von Teilchen lässt sich umschalten zwischen einer langsamen Variante, welche Zusammenstöße besser und direkter erkennt und einer schnelleren Variante.
- Die Geschwindigkeit der dargestellten Bilder pro Zeitintervall lässt sich in fünf Stufen wählen (*von sehr niedrig bis sehr hoch*)
- Das Programm kann, auf Wunsch, seine Daten in ein für Tabellenkalkulationen, wie *Excel*®, leicht lesbares Format speichern.

Die, die Geschwindigkeit des Ablaufs betreffenden, Programmparameter wurden aufgeführt, um einen qualitativ ansehnlichen Ablauf sowohl auf älteren, wie auf neueren Computern zu gewährleisten. Auf älteren Computern muss dann lediglich eine weniger ansehnliche Grafik in Kauf genommen werden, während die zur Darstellung einer ansehnlicheren Variante für neuere Computer kein Problem darstellt.

Nach der gewünschten Einstellung der Parameter lässt sich die Reaktion starten. Es erscheint ein Reaktionsfeld, in welchem die Teilchen als Kreise zu erkennen sind. Unterschiedliche Arten werden durch eine unterschiedliche Farbgebung voneinander unterschieden. Jedes Teilchen wird mit anfänglich zufälligen Startwerten für die Position und Geschwindigkeiten ausgestattet. Mit Start der Reaktion fangen die Teilchen an sich zu bewegen und können nun mit anderen Teilchen oder der Gefäßwand zusammenstoßen.

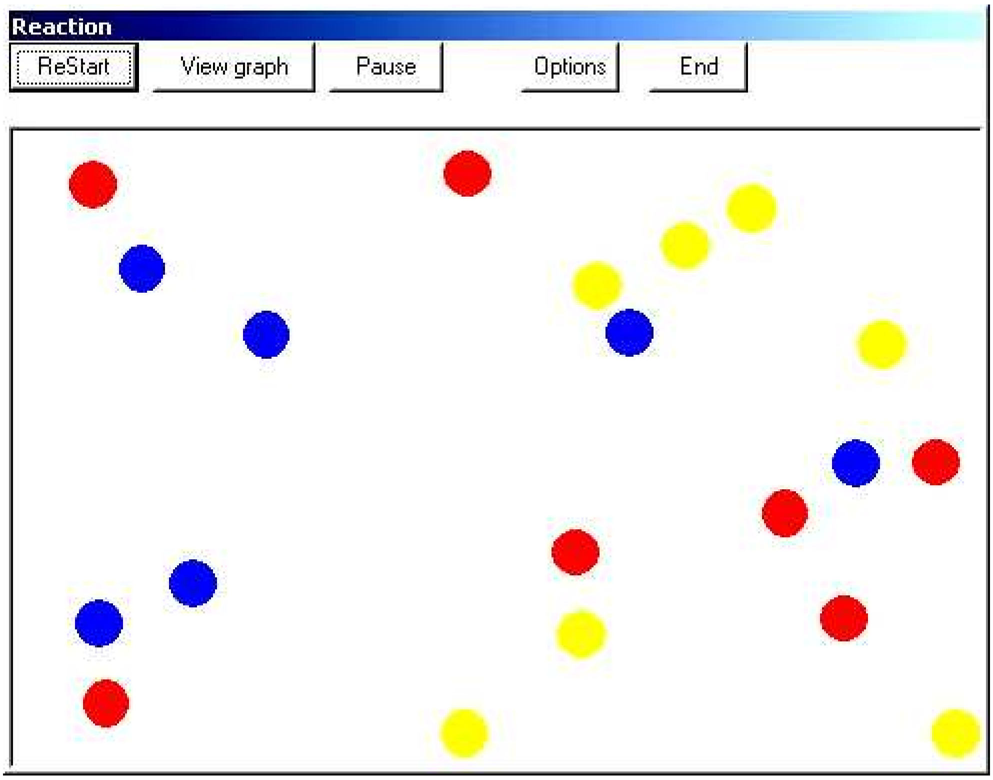


Abbildung 12 Screenshot des Reaktionsfensters des Simulationsprogramms

Zur besseren Übersicht wurden folgende Hilfen realisiert: Man hat die Möglichkeit die Reaktion anzuhalten und anschließend weiterlaufen zu lassen, und man kann sich ein zweites Fenster aufrufen, in welchem, je nach Wahl, ein Balkendiagramm oder ein Liniendiagramm angezeigt werden kann.

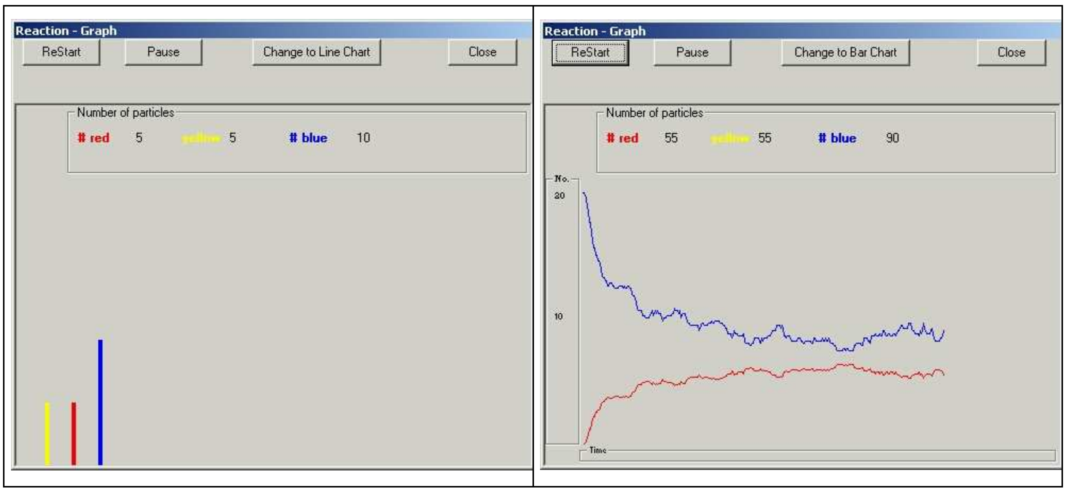


Abbildung 13 Zwei Screenshots des Diagrammfensters: Einmal mit der Darstellung eines Balkendiagramms und einmal mit der Darstellung eines Liniendiagramms.

Diese Hilfen sollen es erleichtern einen Überblick über die Anzahlen der Teilchen und ihre Änderungen im Reaktionsverlauf zu bekommen. Insbesondere helfen sie dabei die Lücke zwischen makroskopisch beobachtbaren Auswirkungen realer Experimente und dem Simulationsprogramm zu schließen. Durch schrittweise Erhöhung der Teilchenzahlen gleicht das Liniendiagramm der Simulation immer mehr einem Konzentrations-Zeitdiagramm an.

Einerseits wurde die Bedienung so einfach wie möglich gehalten, um eine intuitive, ohne Lernaufwand auskommende Bedienung des Programms zu ermöglichen. Andererseits kommt die Darstellung durchaus den Forderungen von LOWE und RIEBER nahe, wonach die Darstellung einen zeitlichen Ablauf enthalten sollte und die entscheidenden Aspekte wahrnehmungsintensiv gezeigt werden sollen (vergleiche Abschnitt 1.3.2.5).

1.4.1.5. Der Aufbau des Tutoriums zur Simulation

Um eine sinnvolle Erarbeitung der Theorie des chemischen Gleichgewichts zu ermöglichen, wurde zu dem Simulationsprogramm ein einführendes Tutorium entworfen. Dabei wurde ein prinzipiell linearer Aufbau gewählt, zwar besteht durchaus die Möglichkeit den linearen Weg zu verlassen und an eine beliebige Stelle im Tutorium zu springen, jedoch entspricht dies nicht der vorgegebenen Hauptrichtung. Daher wurde auch die Bezeichnung Tutorium gewählt, und nicht etwa Lernumgebung, da ein schrittweises Vorgehen vorgegeben wurde.

Zu Anfang wird die oben beschriebene einfache Version der Stoßtheorie vorgestellt. Dann erfolgt eine Einführung in die Bedienung und Funktionsweise der Simulation. Schließlich wird das Zustandekommen des Zustands des dynamischen Gleichgewichts erarbeitet. Dieser Aspekt wird ausführlich und unter Berücksichtigung verschiedener Bedingungen betrachtet. Schließlich wird die, als erstes Beispiel für die Verschiebung einer Gleichgewichtsreaktion durch eine Konkurrenzreaktion, Reaktion von Essigsäure mit Marmor behandelt.

Gegliedert ist das Tutorium in neun Lektionen[1]. Nach den ersten sieben Lektionen wird eine Zwischenbilanz, in Form einer eigenen Seite, welche in den strukturellen Aufbau des Tutoriums aufgenommen wurde, gezogen. Hier hat der Lernende die Möglichkeit, mit Hilfe kleiner Aufgaben, wie z. B. Multiple-Choice-Aufgaben, zu überprüfen, ob er Grundlegendes verstanden hat und erinnern kann[2].

Aufbau einer Lektion des Tutoriums

Der schematische Aufbau der Seiten des Tutoriums orientiert sich an dem in Abschnitt 1.3.1 vorgestellten Drei-Spalten-Schema, es wurde allerdings auf zwei Spalten beschränkt, da die Spalte auf der rechten Seite nicht benötigt wird.

[1] Diese Aussage gilt seit Januar 2002, insbesondere also schon für den Einsatz des Tutoriums im zweiten Zyklus (vergleiche Kapitel 3) und entspricht auch dem Stand zum Zeitpunkt des Schreibens dieser Arbeit.

[2] Die Zwischenbilanz war bei dem Einsatz des Tutoriums im zweiten Zyklus noch nicht enthalten, sondern ergab sich auf Grund der Erkenntnisse die während der Erprobung gewonnen wurden (vergleiche Abschnitt 3.1.1.5).

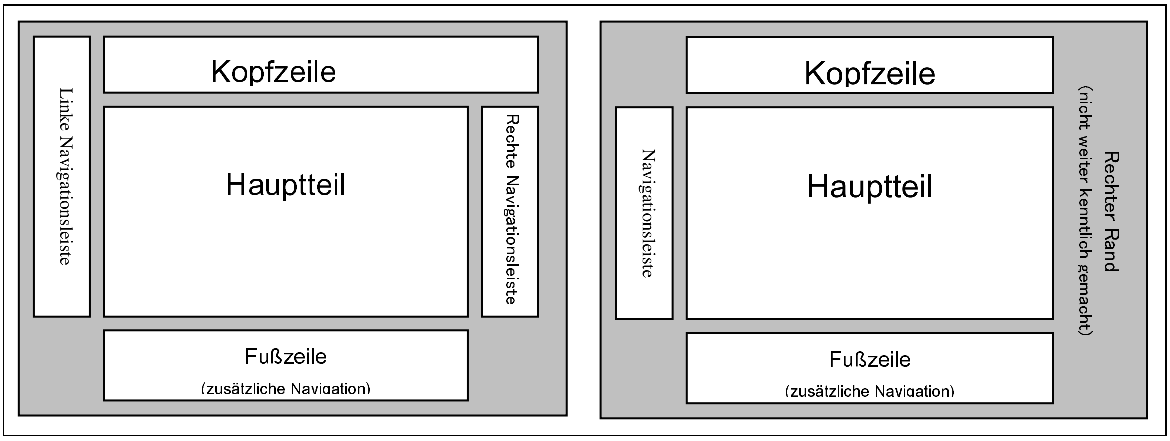


Abbildung 14 Vergleich zwischen dem ursprünglichen Drei-Spalten-Schema (links), wie es z. B. unter www.spiegel.de zu sehen ist (vergleiche auch Abbildung 6) und dem zweispaltigem Schema (rechts), wie es für das Tutorium verwendet wird

Jede Seite ist mit einem Kopf versehen, welcher die Information enthält, an welcher Stelle des Tutoriums man sich gerade befindet. Darunter findet sich ein zweispaltiger Aufbau.

Die linke Spalte wird für die Navigation genutzt, sie ist farblich durch einen etwas dunkleren Hintergrund gekennzeichnet. Eine weitere Möglichkeit zur nächsten Lektion zu gelangen, findet sich jeweils am unteren Ende einer Seite.

Die mittlere Spalte macht den Hauptteil der Seite aus und ist farblich durch einen etwas helleren Hintergrund abgesetzt.

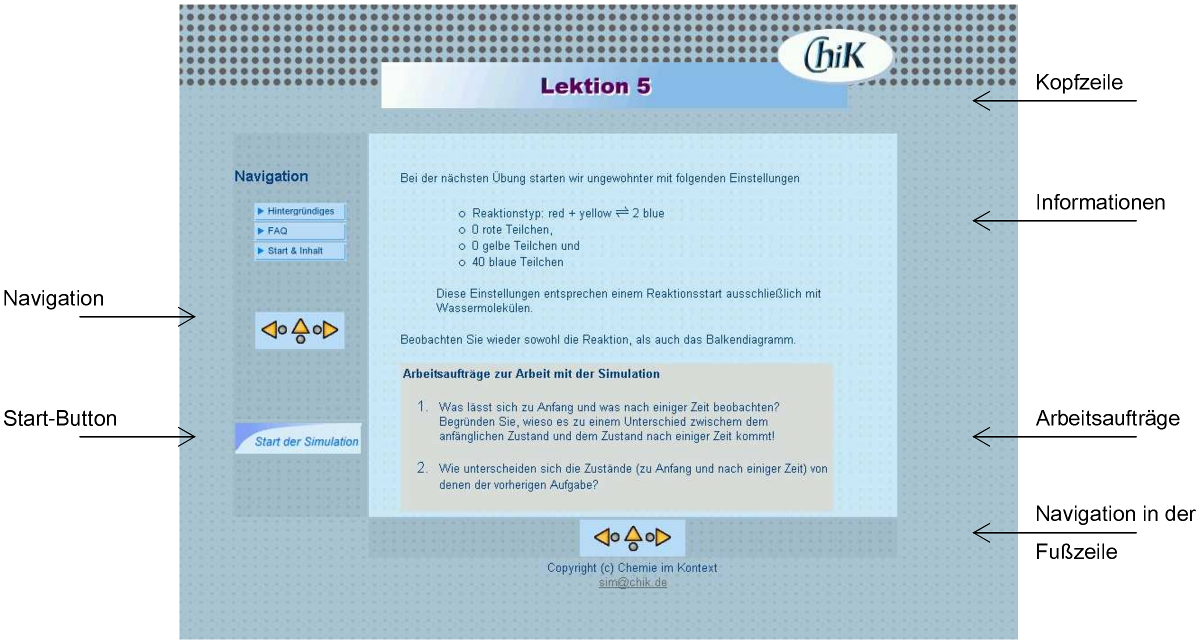


Abbildung 15 Beispielhafter Screenshot einer Seite des Tutoriums.

Die Verlinkung der einzelnen Seiten des Tutoriums ist in Abbildung 16 zu erkennen. Neben einer gewollten linearen Bearbeitung, steht dem Lernenden die Möglichkeit offen, über die Inhaltsseite zu jeder andren Seite innerhalb des Tutoriums zu wechseln.

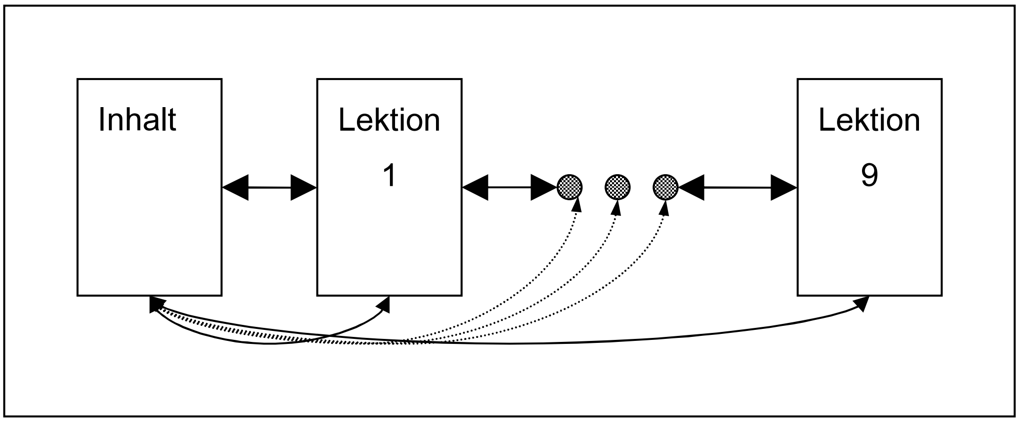


Abbildung 16 Schematische Darstellung der Verlinkung der einzelnen Seiten im Tutorium, ohne Berücksichtigung der Simulation und Antwortfenster.

Gedacht ist der Einsatz des Tutoriums im Chemieunterricht zur Einführung des chemischen Gleichgewichts über mit Hilfe einer einfachen Stoßtheorie. Entsprechend ist es auf Schüler abgestimmt, die bisher kein Vorwissen verfügen, weder über die Stoßtheorie, noch über das chemische Gleichgewicht. Mit jeder Lektion wird ein kleiner Schritt in Richtung auf das Erlernen dieser Theorien und ihrer Anwendungen gegangen. Zwei Aspekte sind dabei besonders zu erwähnen: die Einstellung des chemischen Gleichgewichts, sowie dessen Beeinflussung durch eine Konkurrenzreaktion.

Das Vorgehen in kleinen Schritten orientiert sich dabei an den Grundlagen des multimedialen Lernens, wie sie in Abschnitt 1.3.2 dargestellt worden sind. Insbesondere die konstruktivistischen Ideen von HENSE, MANDL & GRÄSEL (2001), sowie die Schlussfolgerungen von RIEBER (1990), DE JONG & VAN JOOLINGEN (1998) bzw. URHAHNE, PRENZEL, VON DAVIER, SENKBEIL & BLESCHKE (2000), welche sie aus ihren Untersuchungen zogen, legen einen solchen Aufbau nahe.

Zusätzlich wurden die Ergebnisse der Forschungen von MAYER berücksichtigt. Neben vielfältigen Möglichkeiten der Steuerung (vergleiche MAYER & CHANDLER (2001)) finden sich Hervorhebungen der wichtigen Stellen (vergleiche MAUTONE & MAYER (2001)). Da neben der Simulation selber auch Filme zum Einsatz kommen, konnten auch die Ergebnisse von MAYER bezüglich des Lernens mit Animationen berücksichtigt werden (vergleiche MORENO & MAYER (2002), MAYER, HEISER & LONN (2001), MAYER & MORENO (1998), Harp & Mayer (1997), MAYER & ANDERSON (1992), MAYER & ANDERSON (1991), MAYER & GALLINI (1990)). Gezeigt werden jeweils wichtige Ausschnitte aus dem Simulationsgeschehen, die zeitgleich mit einem Audiokommentar versehen sind. Auch hier wurden Steuerungsmöglichkeiten vorgesehen, um ein individuelles Lerntempo und wiederholtes Anschauen zu ermöglichen.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass bei der Erstellung des Tutoriums sowohl zeitgemäße designerische Ideen eingeflossen sind, als auch die Erkenntnisse der aktuellen Forschung zum Lernen und Lehrern mit Multimedia berücksichtigt wurden.

Es gilt allerdings herauszustellen, dass auch bei aller Berücksichtigung der Ratschläge aus dem Bereich *Lernen mit Multimedia* weiterhin eine Einpassung in einen geeigneten Unterrichtsablauf erfolgen muss.

Die Forderungen lauten hier, dass der Einsatz sich aus dem Unterrichtsablauf ergeben sollte und nach erfolgtem Einsatz sollten die Ergebnisse, bzw. das neu erworbene Wissen im weiteren Unterricht anwendbar sein und zu Problemlösungen beitragen.

Somit unterscheiden sich die Forderungen für den Einsatz eines Computerprogramms nicht von denen, die man grundsätzlich an Unterrichtsstunden innerhalb eines Unterrichtsganges stellt (vergleiche Abschnitt 1.1.2). Eine solche Planung lässt sich gewinnbringend anwenden. Z. B. lässt sich so ein kognitiver Konflikt bei den Lernenden herbeiführen, welcher den Einsatz des Tutoriums erst rechtfertigt. Durch Einsatz des Tutoriums kann dann die eher abstrakte Theorie des chemischen Gleichgewichts sinngebend in einen Kontext eingebettet werden. Für eine genauere Beschreibung der Unterrichtseinheit, innerhalb welcher das Tutorium eingesetzt wurde (siehe Abschnitt 3.1.1).

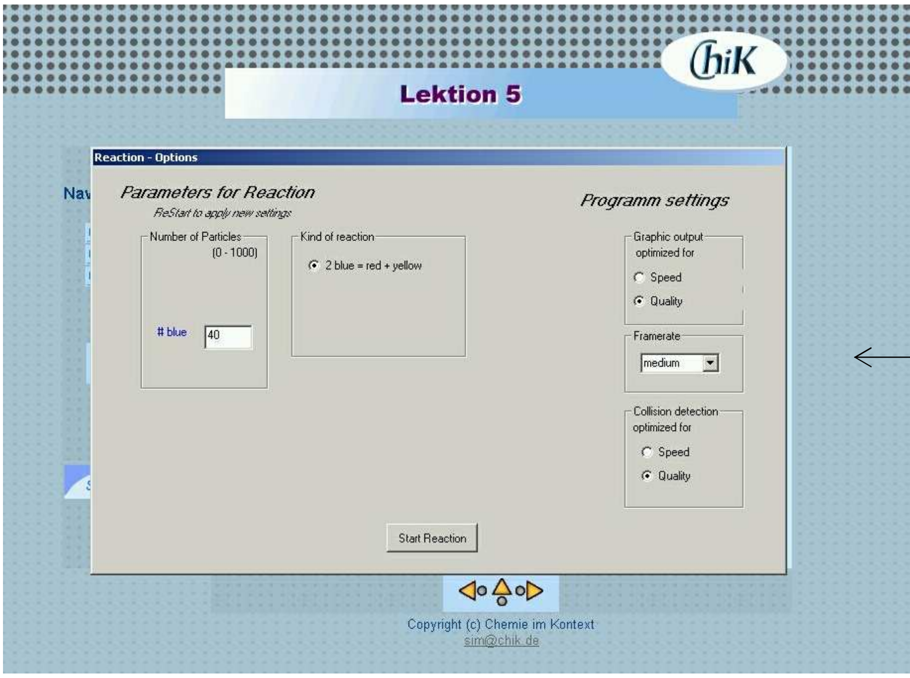
Weiterhin muss auch die Stunde geplant werden, in der das Tutorium zum Einsatz kommen soll. Beispielsweise sollten Vorüberlegungen getroffen werden, welche Maßnahmen zu treffen sind, wenn Schüler das Tutorium unterschiedlich schnell bearbeiten. Eine Möglichkeit besteht z. B. in dem Einsatz eines Arbeitsblattes, wie es in Anhang D gezeigt ist, um sowohl die schnelleren Schüler zu beschäftigen und ihnen gleichzeitig eine Rückmeldung darüber zu geben, ob sie die wesentlichen Aspekte bei der Bearbeitung richtig verstanden haben.

Für die Planung einer Unterrichtseinheit bzw. eines Kurses zur Einführung des chemischen Gleichgewichts gilt es, eine Reihe anderer Forschungsergebnisse und Erfahrungen zu berücksichtigen, welche in den Abschnitten 1.4.2 bis 1.4.5 vorgestellt werden.

Arbeiten mit dem Tutorium

Der Aufbau der einzelnen Lektionen ist jeweils gleich strukturiert. Im oberen Abschnitt finden sich Informationen, welche sich auf die vorherige Lektion beziehen und die theoretischen Aspekte weiterführt. Im unteren Abschnitt der Seite finden sich Arbeitsaufträge, welche zum großen Teil mit Hilfe der Simulation gelöst werden sollen. Um diese starten zu können findet sich auf der linken Seite, direkt neben den Arbeitsaufträgen, der Start-Button (siehe Abbildung 15). Im Folgenden wird nun erläutert, wie eine Bearbeitung einer Lektion des Tutoriums aussehen könnte. Diese ist als Muster anzusehen, die reale Bearbeitung von Lernenden kann natürlich von diesem abweichen. Diese Möglichkeit der individuellen Bearbeitung ist dabei ausdrücklich beim Design des Tutoriums beabsichtigt gewesen, wie oben ausgeführt wurde[1].

Nachdem Betätigen des Startbuttons erscheint das Einstellfenster für die Simulation. Die möglichen einstellbaren Optionen variieren dabei von Lektion zu Lektion. Dabei werden i. A. nur die zur Bearbeitung der Arbeitsaufträge notwendigen Einstellmöglichkeiten eingeblendet.



Einstellfenster der Simulation

Abbildung 17 Screenshot: Einstellfenster der Simulation nach dem Aufruf aus dem Tutorium heraus

Vom Einstellfenster aus wird dann die eigentliche Simulation gestartet. Zu sehen ist ein Reaktionsfeld mit den Teilchen als farbige Kreise. Am oberen Rand des Fensters der Simulation finden sich weitere Button. Mit diesen kann z. B. der Ablauf angehalten (und anschließend wieder fortgesetzt) oder neu gestartet werden oder ein zusätzliches Diagramm-Fenster aufgerufen werden.

[1] Um es mit einer Antwort von Microsoft zusagen, als man auf einen angeblichen Fehler hinwies: „It’s not a bug it’s a feature.“

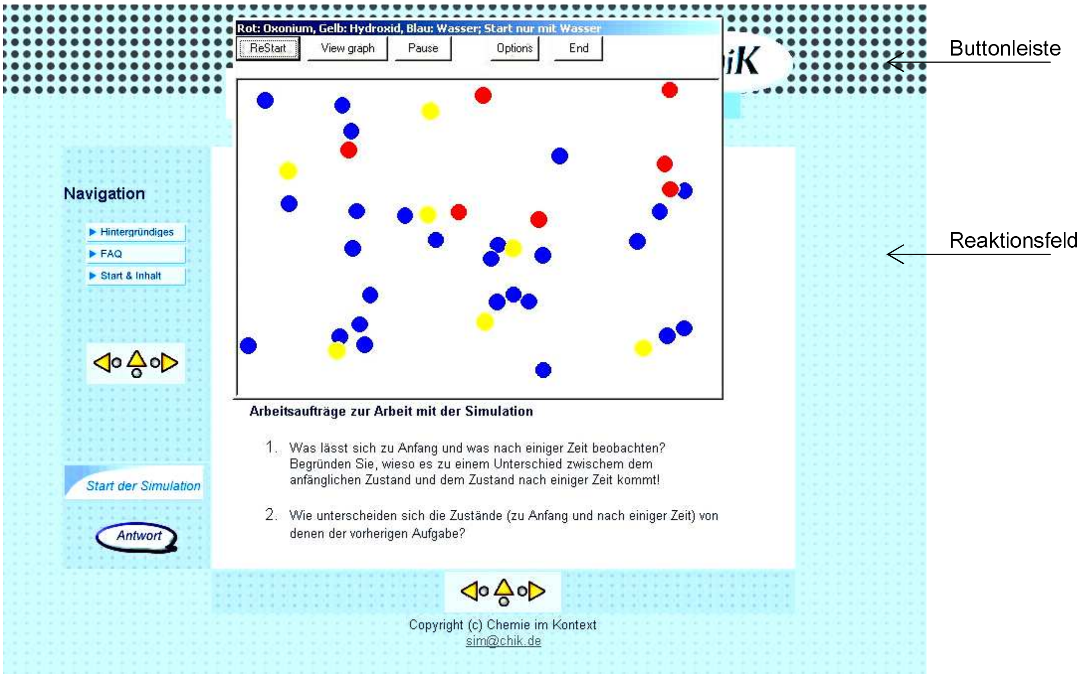


Abbildung 18 Screenshot: Das Reaktionsfeld der Simulation; im Hintergrund ist die Seite des Tutoriums zu erkennen, von welcher aus die Simulation gestartet wurde.

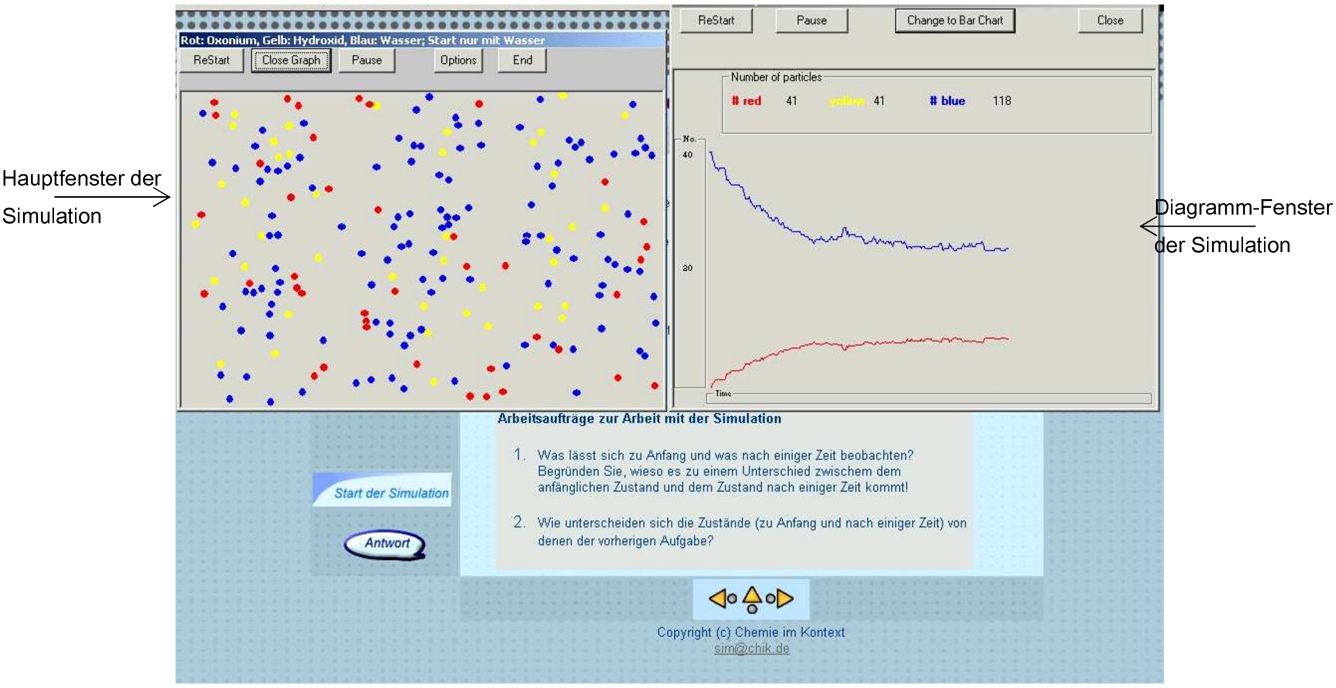


Abbildung 19 Screenshot: Das Reaktionsfeld und das Diagramm-Fenster der Simulation; im Hintergrund ist die Seite des Tutoriums zu erkennen, von welcher aus die Simulation gestartet wurde.

Wurden die Arbeitsaufträge mit Hilfe der Simulation bearbeitet, so wird diese beendet und man kehrt zum Tutorium zurück. Unterhalb des Startbuttons findet sich nun ein Antwort-Button, mit dem eine Musterantwort aufgerufen werden kann. Diese dient zum Vergleich mit der eigenen Antwort.

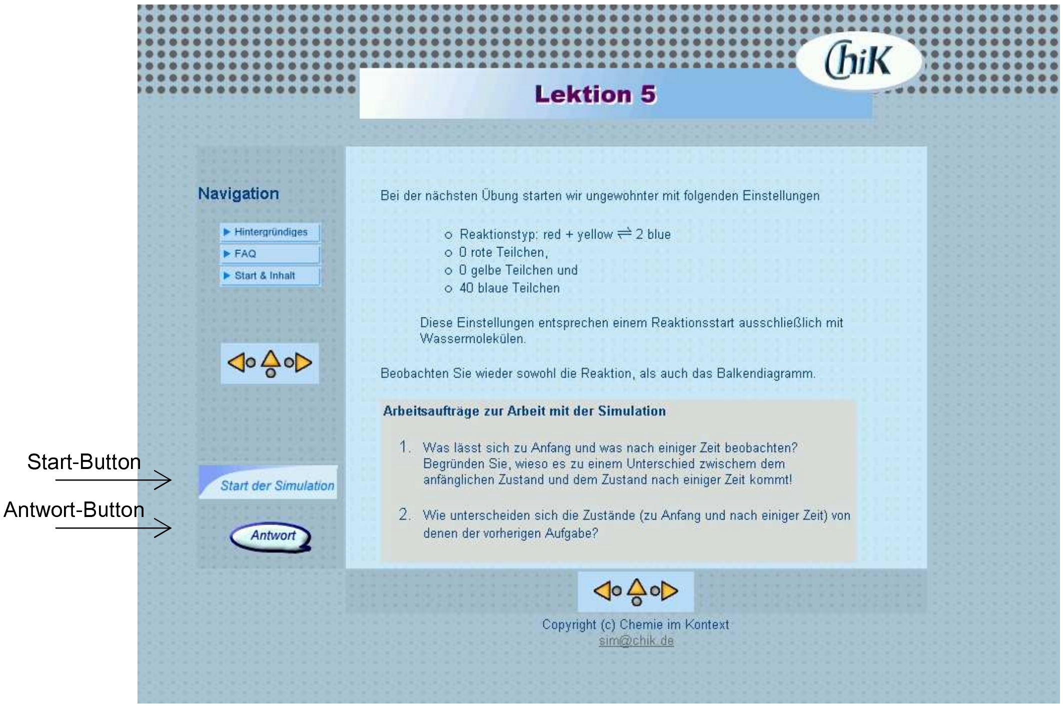


Abbildung 20 Screenshot: Eine Seite des Tutoriums, nach der Rückkehr von der Simulation. Der Antwort-Button ist nun zu sehen.

Nach Betätigen des Antwortbuttons öffnet sich ein Fenster, in welchem die Musterantwort als Film (mit einer Audiokomponente) gegeben wird[1]. Es besteht die Möglichkeit den Ablauf des Films zu steuern, insbesondere kann er angehalten und wiederholt abgespielt werden.

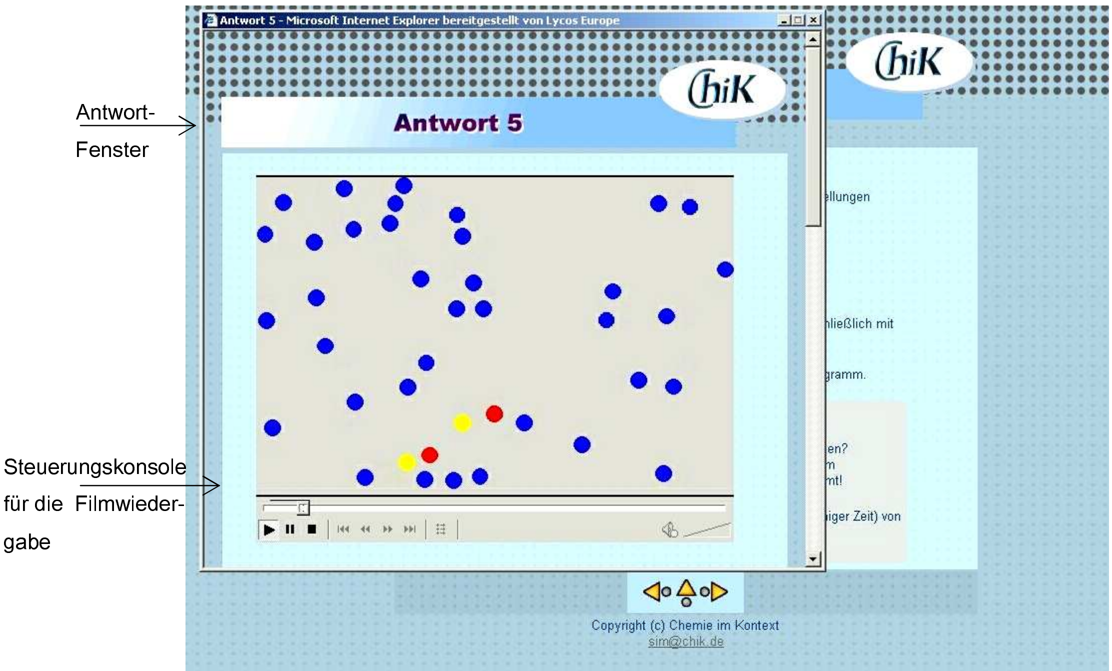


Abbildung 21 Screenshot: Antwortfenster mit der Musterantwort als Film; im Hintergrund ist die Seite des Tutoriums zu erkennen, von welcher aus die Antwort aufgerufen wurde.

Im Antwortfenster unterhalb des Films findet sich der im Film gesprochene Text in schriftlicher Form wieder.

[1] Die Filme wurden von Heiko Wolle im Rahmen seiner Semesterarbeit arbeit erstellt.

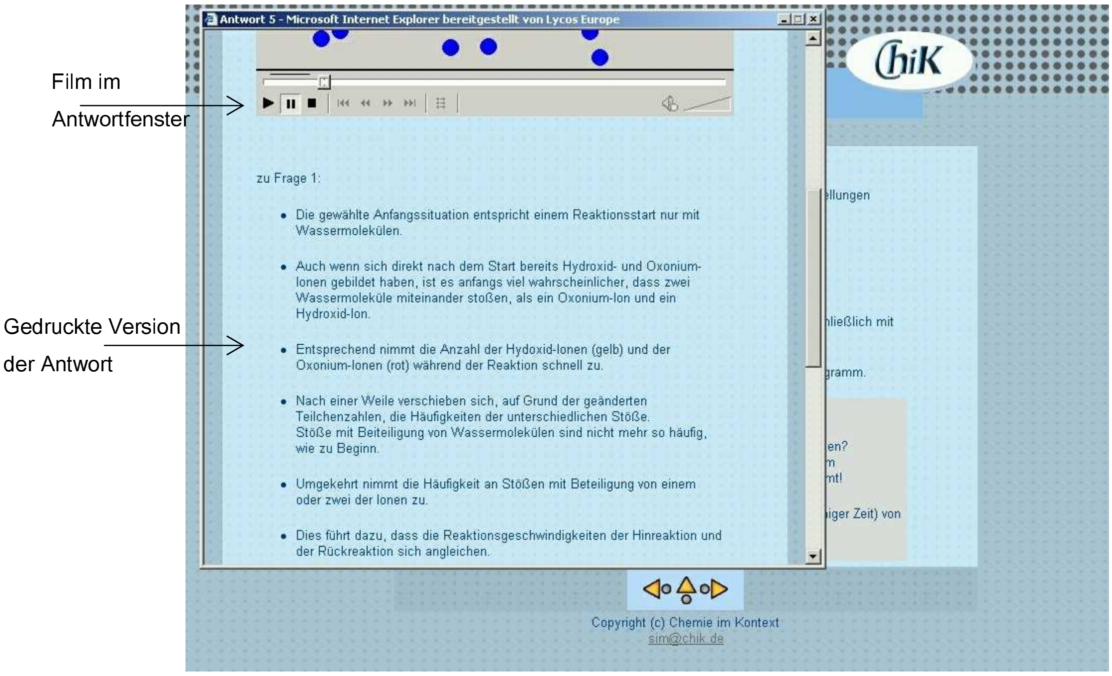


Abbildung 22 Screenshot: Antwortfenster mit der Musterantwort. Der im Film gesprochene Text ist unterhalb von diesem abgedruckt.

1.4.2. *Ausgewählte Ergebnisse der Fehlvorstellungsforschung*

Wie im Laufe dieses Abschnitts noch deutlich werden wird, ist die Anzahl der zu dem Thema *chemisches Gleichgewicht* publizierte, fachdidaktische Literatur recht groß. Dies liegt sicherlich auch daran, dass es viele unterschiedliche Aspekte gibt, auf welche man schwerpunktmäßig achten kann. Um eine für unsere Zwecke geeignete Übersicht geben zu können, bleiben im Folgenden die Aspekte unberücksichtigt, welche den Entwurf unseres Kurses nicht betreffen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Punkte Katalyse, fortgeschrittenes Rechnen mit dem Massenwirkungsgesetz und Abhängigkeit der Konstanten von Druck und Temperatur.

Eine wichtige Quelle für die folgende Übersicht war die Zusammenstellung von KIENAST (1999, S. 13-19). Jedoch wurde seine Darstellung entsprechend unserer Belange angepasst, d.h. sie wurde teilweise gekürzt und um einige Artikel ergänzt, welche wichtige Aspekte enthalten, die für unser Anliegen von Bedeutung sind.

1.4.2.1. Auflistung ausgewählter Fehlvorstellungen von Lernenden zum Begriff des chemischen Gleichgewichts.

Um im Text dieser Arbeit auf die in diesem Abschnitte aufgelisteten „Fehlvorstellungen“[1] Bezug nehmen zu können, werden diese fortlaufend mit **F (#)** num-

[1] Mit dem Begriff der *Fehlvorstellung von Schülern* sollen im Folgenden solche Vorstellungen von Schülern gemeint sein, welche nicht der z. Z. gültigen wissenschaftlichen Meinung entsprechen. Im Englischen finden sich verschiedene Bezeichnungen, wie etwa *misconception*, *naive conception* oder *alternative framework*. Alle diese Begriffe meinen im Wesentlichen das Gleiche und werden je nach Auffassung eines Autors von ihm verwendet oder abgelehnt. Insbesondere SCHMIDT vertritt die Auffassung, dass die meisten sogenannten Fehlvorstellungen auf wohl begründeten und plausiblen Argumentationen beruhen und keines Falls gedankenlose oder nicht nachvollziehbare Fehler sind. EYBE

meriert. Die vergebene Position ist dabei rein willkürlich und stellt insbesondere keine Gewichtung oder Einstufung der Bedeutung dar.

Zu den wichtigsten Fehlvorstellungen bei Schülern, in Bezug auf das chemische Gleichgewicht, gehören:

Statische und falsche dynamische Annahmen über den Gleichgewichtszustand

F (1) *"[…] once the same amounts of reactants and products are obtained, no more reaction takes place."*

MASKILL & CACHAPUZ (1989A)

F (2) *"Pupils arrive at a study of chemical equilibrium with an already established and firmly held concept of static, two sided equilibrium."*

JOHNSTONE, MACDONALD, & WEBB (1977)

F (3) *"Interviewed students often described equilibrium as occurring either an oscillating set of reactants or as exhibiting pendulum like behavior. The general description of this oscillating process was that the forward reaction, which generates products, goes to completion before the second reaction, which regenerates the original reactants, starts."*

BERGQUIST & HEIKKINEN (1990)

F (4) *"Almost all novices confused the extent or completeness of a reaction (a thermodynamics concept) with the rate of reaction in achieving equilibrium (a kinetics concept). […] The perception of chemical equilibrium seemed to be a static instead of dynamic phenomenon."*

CAMACHO & GOOD (1989) NACH KIENAST (1999)

F (5) *„For the reverse reaction the most common misconception was that the rate changed in the same way as the rate of the forward reaction. In fact some students seemed unable to consider the forward and reverse reactions separately."*

HACKLING & GARNETT (1985)

F (6) *"The rate of the forward reaction increases with time from the mixing of the reactants until equilibrium is established."*

HACKLING & GARNETT (1985)

F (7) *"When a system is at equilibrium and a change is made in the conditions, the rate of the favoured reaction increases but the rate of the other reaction decreases."*

HACKLING & GARNETT (1985)

(2001), der bei SCHMIDT promovierte, konnte in seiner Arbeit eine Reihe von Beispielen hierfür aufführen.

Falsche Gleichsetzungen

F (8) *„[…] the faster / slower the rate the greater smaller the amount of the product formed“*

MASKILL & CACHAPUZ (1989A)

F (9) *“[…] if the rates are the same at equilibrium the amounts of reactants and products must also be the same.”*

MASKILL & CACHAPUZ (1989A)

F (10) *“The single stimulus word Equilibrium was found to reveal the interfering concepts that were blocking learning. Principal among these were ‘static balance’, ‘reversing as physical movements’ and ‘equilibrium when everything is equal’.”*

MASKILL & CACHAPUZ (1989A)

F (11) *“However, a common misconception among students interviewed was that a simple arithmetic relationship exists between the concentrations of reactants and products. […] the most common being that the concentration of the reactants equaled the concentrations of the products or that the concentrations of NO and NOCl were equal.” [betrachtete Reaktion: 2 NO + $Cl_2 \rightleftarrows$ 2 NOCl]*

HACKLING & GARNETT (1985)

Verschiedene

F (12) *“[The students were] using the number of atoms or the equation coefficients to decide on the position of the equilibrium.”*

CACHAPUZ & MASKILL (1989B) NACH KIENAST (1999)

F (13) “*The effect of increased pressure was usually interpreted in terms of a concentration effect at the molecular level affecting only reactants on the left hand side of the equation (a compartmental view). This increases the number of collisions, speeding up the rate of the forward (desired) reaction.”*

CACHAPUZ & MASKILL (1989B) NACH KIENAST (1999)

F (14) *“Pupils […] appear to visualize equilibrium systems as consisting of two independent and separate compartments rather than one whole”*

JOHNSTONE, MACDONALD, & WEBB (1977)

F (15) *“He [der Schüler] may believe it possible to shift an equilibrium by applying pressure or heat to only one side of the equilibrium”*

HACKERMANN(1946) NACH KIENAST (1999)

F (16) *“He [der Schüler] has a tendency to think of the effect of concentration changes in terms of increase or decrease of either the reactants or prod-*

ucts alone, as the case may be, without realizing that the two cannot be divorced from each other."

HACKERMANN(1946) NACH KIENAST (1999)

F (17) *"Collisions take place exclusively between the reactant particles on the one hand and between the product particles on the other."*

HACKERMANN(1946) NACH KIENAST (1999)

Anhand dieser Auflistung lässt sich bereits erkennen, dass es auf eine Reihe an Punkten zu achten gilt, wenn man einen Kurs zum chemischen Gleichgewicht entwerfen möchte. Insbesondere gehört hierzu die Integration von Elementen, die folgenden Fehlvorstellungen vorbeugen helfen:

- **Statische Auffassung**
  Im Zustand des chemischen Gleichgewichts laufen keine Reaktionen mehr ab.
- **Gleichheit der Konzentrationen**
  Im Zustand des chemischen Gleichgewichts sind alle Konzentrationen, insbesondere die der Edukte und Produkte, gleich.
- **Falsche Betrachtung der Teilreaktionen**
  Die Hin- und Rückreaktion werden entweder örtlich oder zeitlich voneinander getrennt, aber ein gleichzeitiger Ablauf im selben Gefäß wird nicht anerkannt.

Jedoch bringt ein bloßes Aufführen von aufgetretenen Fehlvorstellungen noch nicht viel weiter, wenn es darum geht ein tragfähiges und wohl durchdachtes Konzept zu entwickeln. Ein Konzept, welches von Schülern verstanden werden kann, aber aus fachlicher Sicht auch haltbar ist.

Einerseits kann man versuchen nach Ursachen zu suchen, welche für diese Fehlvorstellungen bei den Schülern verantwortlich sind. Auch hier lassen sich aus der Auflistung F (1) - F (17) bzw. der zu Grunde liegenden Quellen einige Hinweise entnehmen. So werden beispielsweise alltägliche Vorstellungen zum Gleichgewichtsbegriff dafür verantwortlich gemacht, dass eine statische Auffassung des chemischen Gleichgewichts entsteht, z. B. BERGQUIST & HEIKKINEN (1990) oder auch Maskill & Cachapuz (1989):

„It is clear that the idea of ‚balance' which relates to an equilibrium is that nothing is moving. The static nature of things normally thought of as being in balance, such as acrobats or see-saws (as experienced in physics lessons) together with the superficially aspect of chemical system 'at equilibrium', all serve to reinforce this idea."

MASKILL & CACHAPUZ (1989):

Für die falsche Betrachtung der Teilreaktionen wird hingegen angeführt, dass das Benutzen der Reaktionsgleichung bei der Erläuterung von Gleichgewichtseinstellungen eher kontraproduktiv ist:

"It is possible that the heavy 'play' with the fate of either side of the equation at given conditions even strenghtens the conception that the reaction

is composed of two sides reaching balance similar to a weighing balance or seesaw. It favors the assimilation of the scientific concept into the everyday common concept of equilibrium neglecting the specific attributes of chemical equilibrium."[1]

GUSSARSKY & GORODETSKY (1990):

Manche Autoren gehen aber auch davon aus, dass die bei den Lernenden gefundenen Fehlvorstellungen zumindest teilweise als Spiegel für die Fehlvorstellungen der Lehrenden angesehen werden kann (z. B. QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS (1995)) oder sich zumindest auf sprachliche Ungenauigkeiten seitens der Lehrenden zurückführen lassen (z. B. DE BUEGER-VAN DER BORGH & MABILLE (1989)).

LIJNSE (2000) bemängelt in seiner Kritik der Fehlvorstellungsforschung, dass diese zu häufig nur den Ist-Zustand beschreibt und die gewonnen Erkenntnisse versucht zu erziehungswissenschaftlichen Theorien zu verallgemeinern. Allerdings würden keine Wege aufzeigt, wie man die aktuelle Situation.

In den folgenden Abschnitten werden einige Studien näher vorgestellt, welche entweder bestimmte Schülertypen charakterisieren, Erklärungsmodelle auflisten oder sogar beispielhaft demonstrieren, wie die Ergebnisse der Fehlvorstellungsforschung in der Unterrichtspraxis umgesetzt werden können. Somit liegt die Gemeinsamkeit der vorgestellten Studien darin, dass sie versuchen auf die Unterrichtspraxis auszustrahlen. Inhaltlich wurde Wert darauf gelegt, dass die Studien sich mit dem chemischen Gleichgewicht beschäftigen.

1.4.3. *Einteilung der Lernenden nach CACHAPUZ & MASKILL*

CACHAPUZ & MASKILL (1989A) unterscheiden nach Analyse ihrer gesammelten Daten drei grundlegende Schülertypen, wenn es um das Erlernen des Konzepts des chemischen Gleichgewichts geht. Sie wählten folgende, englische Bezeichnungen:

- **The Kinetic Model**
  Die Schüler beschreiben zwar den Zustand des chemischen Gleichgewichts korrekt mit gleich schneller Hin- und Rückreaktion, jedoch finden sich Fehlvorstellungen wie „*je schneller eine Reaktion abläuft, desto mehr Produkt wird gebildet*“, oder „*wenn Hin- und Rückreaktion gleich schnell sind, dann müssen auch gleiche Anzahlen an Produkten und Edukten vorliegen*“.
- **The Instructional Model**
  Schüler, welche dieser Kategorie zugeordnet werden, sind in ihren Formulierungen den wissenschaftlich akzeptierten sehr nahe.
- **The Descriptive Model**
  Zu dieser Kategorie werden Schüler gerechnet, deren individuelle Antworten kein Muster erkennen lassen, jedoch *„As a group they manifested static, re-*

[1] Der in dem hier angeführten Zitat enthaltene Rechtschreibfehler entstammt dem Original.

presentational and other essentially non-explanatory responses.“ (CACHAPUZ & MASKILL (1989A))

Bei dieser Kategorisierung fallen insbesondere die Schüler auf, welche zum *Kinetischen Modell* gerechnet werden. Sie beschreiben zwar den Zustand des chemischen Gleichgewichts wie man es von ihnen erwartet, haben aber noch eine Reihe an Fehlvorstellungen. CACHAPUZ & MASKILL interpretieren dies so, dass die Schüler nur die Definition auswendig gelernt haben, allerdings kein chemisches Verständnis erworben hätten. Auf ähnliche Befunde weisen auch QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS (1995) im Rahmen der Anwendung des Prinzips von Le Chatelier hin, was weiter unten noch näher besprochen wird.

Es lassen sich nun zwei Forderungen aufstellen.

Zum einen gilt es diejenigen Erklärungen zu identifizieren, welche zu richtig lautenden Erklärungen führen, aber nicht auf wirklichem Verständnis beruhen. Wie sich aber an den noch folgenden Ausführungen erkennen lassen wird, wären hiervon die meisten höheren Erklärungsansätze betroffen. Daher gilt es Wert darauf zu legen, dass eine fundierte Basis gelegt wird, welche höhere und in ihrer Erklärungskraft mächtigere Ansätze mit Sinn und Verständnis erfüllt.

Zum anderen gilt es die Lehrenden auf diesen Fakt aufmerksam zu machen. Denn auch wenn man sich dieser Ergebnisse bewusst ist, gibt man sich all zu leicht mit Schülerantworten zufrieden, welche es Wert wären hinterfragt zu werden. Diese Erfahrung wurde z. B. von uns selber während unserer Interviewstudie gemacht. Waren die Interviewer während des Interviews mit manchen Antworten einverstanden und hakten nicht weiter nach, so entstanden beim nachträglichen Anhören der Aufzeichnung manche Zweifel bezüglich der Einschätzung der Antworten. (Vergleiche Kapitel 3.3)

1.4.4. *Erklärungsmodelle nach TYSON, TREAGUST & BUCAT*

Die Ausführungen von TYSON, TREAGUST & BUCAT (1999) werden im Folgenden ausführlich vorgestellt und diskutiert, da sie die für die vorliegende Arbeit wesentlichen Erklärungsansätze behandeln. In diesem Abschnitt wird somit aufgezeigt, dass die in unserem Kurs verwendeten Erklärungsansätze nicht nur einfach den Anforderungen des Lehrplans genügen, sondern dass deren Einsatz auch didaktisch sinnvoll erscheint. Letzteres gilt insbesondere, wenn man die am Ende dieses Abschnitts gegebene hierarchische Anordnung der Erklärungen berücksichtigt.

TYSON, TREAGUST & BUCAT identifizieren drei mögliche Erklärungsmodelle für die Verschiebung von Gleichgewichten, welche sie für den Einsatz in der Schule für geeignet halten: *das Prinzip von Le Chatelier*, *das Massenwirkungsgesetz* und eine *Analyse der Reaktionsgeschwindigkeiten mit Hilfe der Stoßtheorie*.

Sie bedienen sich der Reaktion von Stickstoff mit Wasserstoff zu Ammoniak um die einzelnen Modelle näher zu analysieren.

$$N_2 + 3\,H_2 \rightleftarrows 2\,NH_3 + \text{Wärme} \qquad (8)$$

Betrachtet wird der Fall, dass Wasserstoff hinzugegeben wird.

1.4.4.1. Erklärung mit dem Prinzip von Le Chatelier

Für das Prinzip von Le Chatelier beschreiben TYSON, TREAGUST & BUCAT eine Erklärung wie folgt:

Nach dem Prinzip von Le Chatelier reagiert ein System so, dass es der ausgeübten Störung entgegenwirkt. In dem Fall der Zugabe von Wasserstoff wird das System so reagieren, dass die erhöhte Konzentration an Wasserstoff wieder erniedrigt wird. Die Geschwindigkeit der Hinreaktion wird höher sein, als die der Rückreaktion, bis sich ein neuer Gleichgewichtszustand einstellt. Daher resultiert eine erhöhte Konzentration an Ammoniak im neuen Gleichgewichtszustand.

> *„The forward rate of reaction would be greater than the reverse rate of reaction until equilibrium was reestablished. This would lead to an increase in concentration of NH_3 in the reaction mixture at the new equilibrium."*
>
> TYSON, TREAGUST & BUCAT (1999)

1.4.4.2. Erklärung mit dem Massenwirkungsgesetz

Das Massenwirkungsgesetz wird von TYSON, TREAGUST & BUCAT wie folgt beschrieben:

Das Massenwirkungsgesetz setzt die Konzentrationen der Edukte und Produkte im Gleichgewichtszustand zueinander in Beziehung. Bei einer bestimmten Temperatur gilt, dass alle Reaktionsmischungen, repräsentiert durch die allgemeine Reaktionsgleichung

$$a\,A + b\,B \rightleftarrows x\,X + y\,Y \qquad (9)$$

im Gleichgewichtszustand denselben Wert K des folgenden Bruches haben

$$K = \frac{c(X)^x \cdot c(Y)^y}{c(A)^a \cdot c(B)^b} \qquad (10)$$

Der Bruch unter irgendeiner anderen Bedingung, als der des Gleichgewichts, wird Q genannt. Wenn nun zusätzlich Wasserstoff zur Reaktionsmischung hinzugegeben wird, dann wird der Wert des Bruches kleiner, es gilt also $Q < K$.

> *„The forward reaction will increase, resulting in an increase in the concentration of ammonia and decrease in the concentration of nitrogen and hydrogen until equilibrium is established and $Q = K$."*
>
> TYSON, TREAGUST & BUCAT (1999)

1.4.4.3. Erklärung über Reaktionsgeschwindigkeiten

Für den Ansatz über die Reaktionsgeschwindigkeiten geben TYSON, TREAGUST & BUCAT folgende Erklärung:

> *„If we consider the effect of addition of hydrogen gas by applying collision theory to the problem, then the increased number of H_2 particles would lead to a greater number of collisions between particles of hydrogen and nitrogen gas, with the result that the rate of the forward reaction is greater than the rate of the reverse reaction until equilibrium is reestablished. This would lead to a higher concentration of ammonia gas in the reaction mixture at new the equilibrium. At new the equilibrium, both the forward and reverse reaction will be faster than the initial equilibrium."*
>
> TYSON, TREAGUST & BUCAT (1999)

Diskussion der Erklärungsmodelle

TYSON, TREAGUST & BUCAT selber kommen zu dem Schluss, dass jeder dieser Erklärungsansätze seine Berechtigung besitzt und konnten in ihrer Studie nachweisen, dass Schüler je nach Aufgabenstellung von allen Gebrauch machen. Lehrende sollten sich nur der jeweiligen Schwächen der Ansätze bewusst sein.

Die Erklärungen von TYSON, TREAGUST & BUCAT wurden absichtlich in voller Länge wiedergegeben. Einerseits werden sie bei dem Entwurf des im Laufe dieser Arbeit entworfenen Kurses eine große Rolle spielen (vergleiche Abschnitt 3.1). Andererseits lässt sich an den gegebenen Musterantworten erkennen, wie schwer es fällt, eine allgemein akzeptierte, sprachlich saubere und trotzdem verständliche Erklärung zu geben. Dies zeigt auch, worin die Schwierigkeit bei der Beurteilung von Schülerantworten besteht. Es muss schließlich entschieden werden, ob ein Schüler das Prinzip des chemischen Gleichgewichts verstanden und nur unglücklich formuliert hat, oder ob seine beinahe richtige Formulierung doch auf falschen Vorstellungen beruht.

1.4.4.4. Zum Erklärungsansatz mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier

Das Prinzip von Le Chatelier als Erklärungsmodell bringt einige Schwächen mit sich. ALLSOP & GEORGE (1984), GOLD & GOLD (1984, 1985) diskutieren dabei vorrangig die Unzulänglichkeiten des Prinzips. Ein Kritikpunkt besteht darin, dass Le Chatelier selber sein Prinzip nur auf empirischen Erfahrungen begründet hat, es aber gerne als universell anwendbar darstellte. Ähnliches gilt auch für die heutigen Befürworter, insbesondere, dass sie Beschränkungen bewusst vernachlässigen und unerwähnt lassen. Auch gibt es genug Beispiele, in welchen das Prinzip versagt, bzw. nur unter kniffliger Interpretation zum richtigen Ergebnis führt. Entsprechend der Ausführungen der Gegner des Prinzips, wird ein einfach anzuwendendes Prinzip vorgetäuscht, welches sich aber als komplex und schwierig handhabbar herausstellt.

Unterstützung bekommen die Kritiker des Prinzips von unterschiedlichen Untersuchungen der Fehlvorstellungsforschung. Hier wird die falsche Anwendung des Prinzips seitens der Lehrenden und der Lernenden als eine Hauptquelle für verschiedenste Fehlvorstellungen und falscher Lösungen ausgemacht. Zu diesem Schluss gelangen u. a. FURIO & CALATAYUD, BÁRCENAS & PADILLA (1999). Sie beobachteten, dass Lernende ausschließlich den Lösungsweg über das Prinzip einschlugen. FURIO & CALATAYUD, BÁRCENAS & PADILLA sahen darin eine Hauptquelle für viele falsche Antworten. QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS (1995) wiesen schließlich darauf hin, dass sich ähnelnde Unzulänglichkeiten bei Lehrenden und Lernenden in der Anwendung des Prinzips in ihren Studien aufgetreten seien. Daher schlossen sie, dass die falsche Anwendung des Prinzips den Lernenden quasi unterrichtet wurde.

Meine Kritik an der Anwendung des Prinzips von Le Chatelier zur Lösung von Problemen bezieht sich insbesondere auf die im Zusammenhang mit diesem Prinzip gebrauchte Wortwahl. Häufig wird davon gesprochen, dass das System *reagiere*, *einer Änderung entgegen wirke* oder es wird von einer *Triebkraft* gesprochen. Diese oder ähnliche Formulierungen legen einen *Willen des Systems* nahe, welcher die chemische Reaktion steuert. Solche Anthropomorphismen verhindern sicherlich ein tieferes Verständnis der auf Wahrscheinlichkeiten beruhenden Abläufe.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Lösung eines Problems unter Anwendung des Prinzips von Le Chatelier eher ergebnisorientiert ist, d. h. es wird die Erzielung eines Ergebnisses stark betont, während eine Reflektion des Lösungswegs mit Hilfe von chemischen Konzepten eine untergeordnete Rolle spielt. Noch seltener wird das Prinzip von Le Chatelier selber mittels theoretischer Erkenntnisse, wie sie z. B. einem stoßtheoretischen Modell, begründet. Es führt gewissermaßen ein Eigenleben, ähnlich einer auswendig gelernten „Eselsbrücke“. Lösen Schüler mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier eine Aufgabe, so lässt dies keine Schlüsse darüber zu, welche Vorstellungen sie bezüglich der dahinter liegenden Abläufe haben.

> *„Results obtained from some studies (BERGQUIST & HEIKINNEN (1990), NAKHLEH & MITCHELL (1993)) indicate that it is possible for students to produce correct answers to chemistry problems without really understanding much of the chemistry involved.“*
>
> QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS (1995)

Auch kommt es zur Ausbildung von Fehlvorstellungen, wie z. B. F (7), oder der von DRISCOLL (1960) beschriebenen Verwechslung des empirisch beobachtbaren Reaktionsablaufes mit der Geschwindigkeit einer Teilreaktion (wiedergegeben nach ALLSOP & GEORGE (1984)).

Bei der Erklärung, welche TYSON, TREAGUST & BUCAT geben, ist weiterhin zu beachten, dass der üblichen Erklärung über den ausgeübten Zwang eine weitere

Begründung unter Berücksichtigung der Auswirkungen von Hin- und Rückreaktion hinzugefügt wird. Diese zusätzliche Begründung folgt nicht mehr aus dem Prinzip von Le Chatelier und wurde von den Autoren sicherlich deshalb aufgenommen, um doch noch ein Verständnis über den Ablauf chemischer Reaktionen vermitteln zu können.

Diese oder ähnliche Argumente, wie sie oben angeführt worden sind, haben wahrscheinlich auch dazu geführt, dass das Prinzip von Le Chatelier als explizit geforderter Unterrichtsgegenstand in dem Lehrplan von Nordrhein-Westfalen von 1999 nicht mehr zu finden ist (vgl. MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG, WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (1999, S. 18) oder auch Tabelle 3).

Abschließend soll jedoch bemerkt werden, dass die Unterrichtung des Prinzips von Le Chatelier nicht notwendigerweise unterbleiben muss, lediglich seine Stellung im Unterricht sollte sich ändern. Einem Vorschlag von QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS folgend, ließe sich das Prinzip zu einem späten Zeitpunkt mit in einen Kurs einbeziehen, um das Prinzip mit Hilfe bereits erlernter Theorien, wie der Stoßtheorie und dem Massenwirkungsgesetz, zu deuten und zu erläutern. Es würde dann als historischer Exkurs und als eine das Denken fördernde Übung in den Unterricht einfließen und weniger als ein universelles Erklärungsmodell.

1.4.4.5. Zum Erklärungsansatz mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes

Der Ansatz, eine Lösung mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes zu finden, ist sicherlich sehr fundiert. Mit ihm lässt sich immer zur richtigen Lösung gelangen, vorausgesetzt, dass man nötigenfalls eine mathematische Gleichung nicht nur quantitativ lösen, sondern auch qualitativ interpretieren kann. (Die Ergebnisse der PISA- und der TIMS-Studie deuten aber darauf hin, dass gerade letzteres nicht der Fall ist (für TIMSS: vergleiche z. B. BAUMERT, BOS & LEHMANN (2000) oder auch *www.timss.mpg.de* (gesehen am 30.05.2003)); für PISA-Studie: vergleiche z. B. BAUMERT, KLIEME, NEUBRAND, PRENZEL, SCHIEFELE, SCHNEIDER, STANAT, TILLMANN & WEIß (2001) oder auch *www.mpi-berlin.mpg.de/pisa* (gesehen am 30.05.2003)) Allerdings sollte den Schülern dieser Erklärungsansatz auf Grund seiner Mächtigkeit auf keinen Fall verschwiegen werden. Insbesondere ist es der einzige der hier vorgestellten Ansätze, welcher es erlaubt quantitative Aussagen zu treffen. Aus meiner Sicht wäre es aber nicht zu begrüßen, diesen Ansatz als alleiniges Erklärungsmodell zu benutzen. Dagegen sprechen die folgenden Punkte:

- Er ist sehr mathematisch. Man gelangt zur richtigen Lösung durch richtiges Rechnen und benötigt kein tieferes chemisches Verständnis.
- Die korrekte, thermodynamische Herleitung des Massenwirkungsgesetzes ist nicht schülergerecht. Bespricht man diese dennoch, so läuft man Gefahr, durch die Kom-

plexität der Herleitung auch den Umgang mit dem Massenwirkungsgesetz selber als schwierig erscheinen zu lassen.

- Auch eine kinetische Begründung[1] fällt meist länglich und mathematisch komplex aus. Dies gilt insbesondere dann, wenn das Massenwirkungsgesetz aus experimentell ermittelten Geschwindigkeitsgesetzten aufgestellt wird (vergleiche KRILLA, MÖLLENCAMP & RALLE (1999) oder JANSEN & RALLE (1986a-b)), da zur Ermittlung der Geschwindigkeitsgesetze höhere Mathematik[2] notwendig ist.

Daher machen wir in unserem Kurs den Vorschlag, das Gesetz als Tatsache vorzugeben. Die Konstante wird dann aus den eigenen, experimentell ermittelten Daten berechnet.

Bei der Erklärung, welche TYSON, TREAGUST & BUCAT geben, gilt es zu beachten, dass sie zusätzlich zum Massenwirkungsgesetz Reaktionsgeschwindigkeiten zur Hilfe nehmen, um schließlich doch chemisches Verständnis zu vermitteln. (Diese Vorgehensweise konnte bereits bei der Erklärung mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier beobachtet werden.) Dies mag in diesem Fall sicherlich auch damit begründbar sein, dass in der Schule zumeist eine kinetische Begründung des Massenwirkungsgesetzes erfolgt, bei welcher die Betrachtung von Reaktionsgeschwindigkeiten eine entscheidende Rolle spielt.

1.4.4.6. Zum Erklärungsansatz über die Reaktionsgeschwindigkeiten

Für die Begründung über die Reaktionsgeschwindigkeiten greifen TYSON, TREAGUST & BUCAT auf die Stoßtheorie zurück. Dies ist insbesondere notwendig, wenn man begründen möchte, warum sich die Geschwindigkeiten der Hin- und Rückreaktion entsprechend ändern. Leider bringt diese eigentlich sehr anschauliche und intuitiv nachvollziehbare Erklärung es mit sich, dass sie sprachlich schwer zu fassen ist. Dies liegt sicherlich auch daran, dass man es nicht gewohnt ist mit Wahrscheinlichkeiten zu argumentieren, auf die es letztlich ankäme. Belege für letztere Behauptung lassen sich in der Auswertung der von uns durchgeführten Interviews mit Schülern finden, welche in Abschnitt 3.3 aufgeführt sind.

In diesem Rahmen lohnt auch ein Blick auf die Formulierung von TYSON, TREAGUST & BUCAT im Vergleich zu Fehlvorstellungen F (17):

> *"[…] then the increased number of H_2 particles would lead to a greater number of collisions between particles of hydrogen and nitrogen gas, […]*
>
> TYSON, TREAGUST & BUCAT (1999)

[1] JÜRGENSEN (1998) führt aus, dass die üblicherweise im Chemieunterricht durchgeführte empirisch kinetische „Herleitung“ des Massenwirkungsgesetzes nur für Spezialfälle zutrifft. Daher wird an dieser Stelle von einer *Begründung* gesprochen. Auch mit Hilfe eines primitiv-stochastischen Ansatzes, wie die von uns vorgeschlagene vereinfachte Version der Stoßtheorie, lässt sich das Massenwirkungsgesetz nicht korrekt herleiten. Lediglich ein (komplex) stochastischer Ansatz eignet sich als Alternative zur thermodynamischen Herleitung. Für diesen gilt aber ebenfalls, dass man ihn nur mit großen Anstrengungen und unter Verwendung von viel Unterrichtszeit unterrichten könnte.

[2] Damit sind in diesem Fall mathematische Kenntnisse gemeint, wie sie gemeinhin erst in der Oberstufe erworben werden.

F (17) *"Collisions take place exclusively between the reactant particles on the one hand and between the product particles on the other."*

HACKERMANN(1946) NACH KIENAST (1999)

Es muss betont werden, dass TYSON, TREAGUST & BUCAT hier keine falsche Erklärung abgeliefert haben. Sie haben nur zielgerichtet, anstatt in vollständiger Länge, beschrieben, was eine Zugabe von Wasserstoff bewirkt. Die Frage, welche man sich nun stellen muss, lautet: *Würde man einem fachlich unsicher erscheinenden Schüler ähnliches bescheinigen, oder würde man eher geneigt sein, ihm die angegebene Fehlvorstellung F (17)zu unterstellen?*

Diese Frage ist keine rein rhetorische. Ähnlich gelagerte Probleme ergaben sich z. B. bei der Auswertung bei einigen der von uns durchgeführten Interviews (vergleiche Abschnitt 3.3) und bei manchen Antworten auf offene Fragen in unserer Fragebogenstudie zum chemischen Gleichgewicht (vergleiche Abschnitt 3.2).

1.4.4.7. Zusammenfassende Diskussion der Erklärungsansätze und Schlussfolgerungen

Es bedarf keiner tiefgreifenden Analyse um zu erkennen, dass TYSON, TREAGUST & BUCAT bei allen Erklärungsansätzen mit Hilfe von Reaktionsgeschwindigkeiten argumentieren. Insbesondere beim Ansatz mit Hilfe des Prinzips von Le Chatelier und bei der Erklärung mit Hilfe des Massenwirkungsgesetzes werden Reaktionsgeschwindigkeiten zusätzlich herangezogen um ein tieferes chemisches Verständnis zu vermitteln.

Beim Ansatz mit Hilfe von Reaktionsgeschwindigkeiten greifen TYSON, TREAGUST & BUCAT schließlich auf eine einfache Stoßtheorie zurück, um an dieser Stelle seinerseits Verständnis für die Änderungen der Reaktionsgeschwindigkeiten zu vermitteln.

Es lässt sich daher eine Beziehungshierarchie aufstellen, welche in Abbildung 23 zu sehen ist.

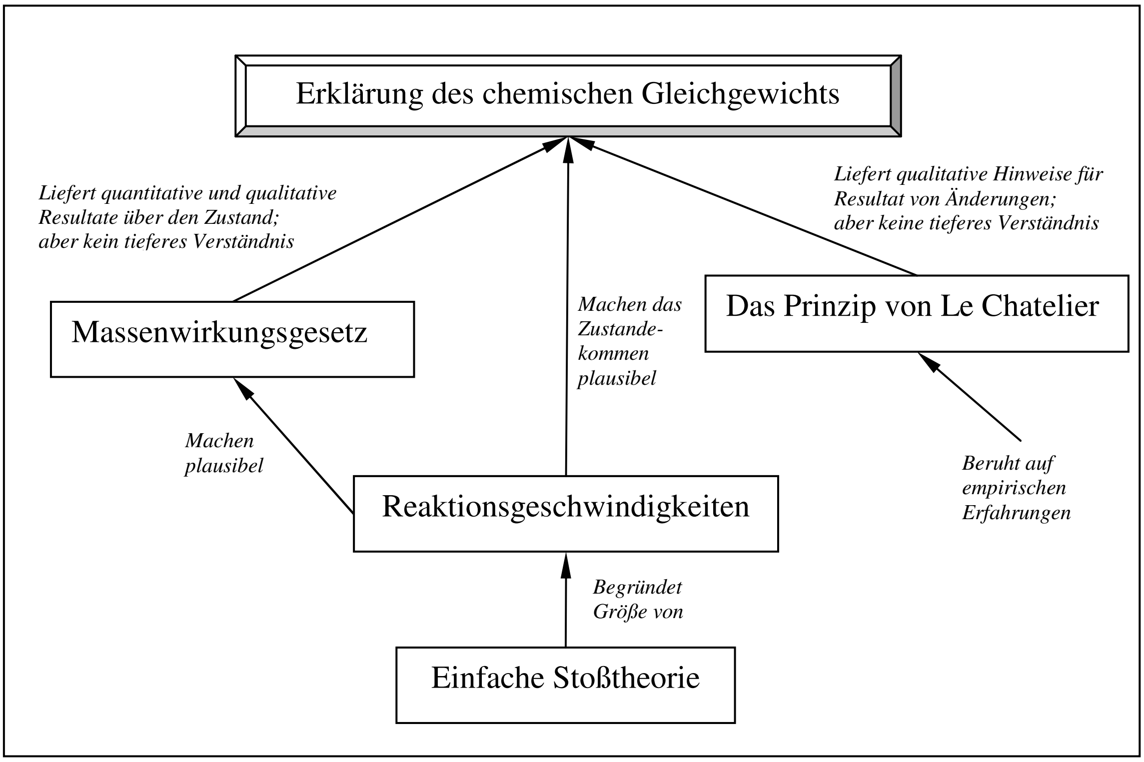


Abbildung 23 Hierarchische Darstellung von schulgeeigneten Erklärungsansätzen zum chemischen Gleichgewicht beruhend auf den Ausführungen von TYSON, TREAGUST & BUCAT.

1.4.5. *Erfahrungsbeispiele aus der Praxis*

Die im Folgenden aufgeführten Beispiele legen jeweils einen *conceptual-change*-Ansatz zu Grunde. Daher wird an dieser Stelle kurz zuvor erläutert, was darunter zu verstehen ist.

Exkurs: *conceptual change*

POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG (1982) führen aus, dass man Lernenden nicht einfach neue Begriffe beibringt, sondern, dass man ausgehen muss, dass bei den Lernenden vorhandene Konzepte eine Veränderung erfahren. Dabei nennen sie vier Bedingungen, die erfüllt seien müssen, damit ein Konzept erfolgreich eine Veränderung erfährt.

Demnach muss zuerst

(a) eine Unzufriedenheit mit dem bestehenden Konzept erwachsen.

Weiterhin muss das neue Konzept, bzw. die Änderung

(b) verständlich sein,

(c) einsichtig sein und

(d) zu neuen Erkenntnissen führen.

Der Vorgang des Konzeptwechsels wird demnach analog zu einem Paradigmenwechsel in der Wissenschaft betrachtet. Es bedarf daher einiger Zeit und Gewöhnung bis der Lernende mit dem veränderten Konzept vertraut ist.

Jedoch sehen CHIU, CHOU & LIU (2002) POSNERS Ausführungen als unzureichend an, wenn es darum geht die Schwierigkeiten von Lernenden beim Erlernen von für sie neuen Theorien zu beschreiben. Anders als POSNER geht CHI (1992) davon aus, dass Lernende die erlernten Begriffe sogenannten ontologischen Kategorien zu ordnen. Schwierigkeiten bei der Anwendung der neu erlernten Begriffe entstehen nach CHI dadurch, wenn sie falschen Kategorien zugeordnet würden. Angenommen ein wissenschaftlicher Begriff wird in die ontologische Kategorie der intuitiven Alltagserfahrungen eingeordnet. Wird nun ein Problem bearbeitet, bei welchem dieser Begriff eine Rolle spielt, so kämen auch intuitive Alltagserfahrungen bei der Lösung des Problems zum Einsatz.

Auf die Frage, welche Bedingungen dazu führen könnten, dass ein Stoß zwischen zwei Teilchen nicht zur Reaktion führe, antwortete ein Schüler: „Wenn sie zu schnell zusammenstoßen würden.“ Diese Antwort lässt sich auf alltägliche Erfahrungen zurückführen, die der Schüler bezüglich dem Zusammenstoßen und dem Gelingen einer Aktion gesammelt hat (möglicherweise dem Kuppeln von Spielzeugeisenbahnen, dem Werfen eines Stücks Knete an eine Wand ...)

Die Ungleichheit zwischen alltäglichen Erfahrungen und wissenschaftlichen Konzepten und deren Zuordnung in eine ontologische Kategorie führt, nach CHI, daher zu Lernschwierigkeiten und Fehlvorstellungen.

NIAZ (1998) stellt heraus, dass POSNERS Ideen weitgehend auf KUHN (1970) basieren würden, wonach wissenschaftlicher Fortschritt sich durch Paradigmenwechsel vollziehen würde, wobei die Zeit des Wechsels als wissenschaftliche Revolution zu bezeichnen sei. Dem stellt NIAZ die Theorie von LAKATOS (1970) gegenüber, wonach wissenschaftlicher Fortschritt durch miteinander konkurrierende Forschungsprogramme erzielt würde. Weiterhin würden Wissenschaftler eine Theorie nicht einfach verwerfen, weil es widersprechende empirische Befunde gibt, sondern sie würden diese erst dann verwerfen, wenn eine bessere Theorie vorgestellt wird. NIAZ adaptiert diese Theorie für eine conceptual-change-Strategie, welche er wie folgt beschreibt:

„A Lakatosian conceptual change teaching strategy (...) after having identified the hard and the soft core of students' beliefs will look for 'auxiliary hypothesis' that students use to protect core beliefs and subsequently introduced/construct alternative explanations that contradict their original beliefs.“

NIAZ (1998)

(Dieser Exkurs wurde zusammengefasst und wiedergegeben nach CHIU, CHOU & LIU (2002) und NIAZ (1998))

1.4.5.1. Der Kurs von VAN DRIEL, DE VOSS, VERLOOP & DEKKERS

VAN DRIEL (2002) und VAN DRIEL, DE VOSS, VERLOOP & DEKKERS (1998) berichten über einen Chemiekurs, welcher in den Niederlanden durchgeführt wurde und u. a. die Einführung des chemischen Gleichgewichts beinhaltete. Ein Merkmal dieses Kurses war es, dass die Autoren eine konstruktivistische Perspektive Einnahmen und einen *conceptual change* – Ansatz, basierend auf den Ausführungen von POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG, verfolgten. So wurde den Schülern mit Hilfe von kleinen Experimenten vor Augen geführt, dass ihr Wissen unzureichend war, um die Ergebnisse der Experimente erfolgreich zu erklären. Weiterhin wurden in kleinen Gruppen Diskussionen unter den Schülern initiiert. In die Diskussionen wurden immer wieder Impulse seitens der Lehrenden gegeben, um die Schüler auf ein gewünschtes Erklärungsmodell aufmerksam zu machen. Durch diese Vorgehensweise, welche sich durch eine hohe Schüleraktivität und dem selektiven, schrittweisen Einstreuen von Informationen auszeichnete, hofften die Autoren dem Auftreten bekannter Fehlvorstellungen entgegen wirken und die Konzepte der Schüler nachhaltig ändern zu können. Bei einem dieser Impulse handelte es sich z. B. um die Existenz einer gleichzeitig ablaufenden Hin- und Rückreaktion. Hierzu berichten die Autoren folgende Erfahrungen:

> *„Many students, however, experienced serious difficulties in accepting that the equations of the two chemical reactions involved are indeed opposite to each other. […] This hypothesis of a dynamic chemical equilibrium, however, was not put forward spontaneously by any of the students at this stage of the course."*
>
> VAN DRIEL, DE VOSS, VERLOOP & DEKKERS (1998)

Auf Grund des schrittweisen Vorgehens lässt sich erkennen, dass den Schülern die Information von gleichzeitig ablaufender Hin- und Rückreaktion nicht ausreicht, um eigenständig auf ein dynamisches Gleichgewicht zu schließen. Eine ähnliche Beobachtung konnte auch EYBE (2000) machen. EYBE führte Gruppendiskussionen mit Schülern der 10. Klasse durch, welche noch nicht mit dem chemischen Gleichgewicht in ihrem Unterricht in Berührung gekommen waren.

> *„Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Schüler die Vorgabe des Moderators, die Rückreaktion sei unter gleichen Bedingungen möglich, aufgenommen und weitgehend ‚richtig' verarbeitet haben."*
>
> EYBE (2000, S. 71)

Jedoch musste EYBE schließlich feststellen, dass die Schüler 45 Minuten lang mit der Vorgabe des Moderators folgerichtig argumentierten, ohne diese wirklich zu akzeptieren, da sie diese schließlich wieder verwarfen.

Wichtig bei diesen beiden Beobachtungen ist es zu bemerken, dass die Schüler mit den Annahmen nicht wirklich, für sie sinnstiftend, argumentieren konnten. Im weiteren Verlauf des niederländischen Chemiekurses wurden den Schülern noch mehrere Impulse gegeben und letztlich die richtige Erklärung angeboten. Jetzt kommen VAN DRIEL, DE VOSS, VERLOOP & DEKKERS zu dem Schluss

„The idea that two opposite reactions proceed at equal rates is easy to accept, once they realize that this is a necessary requirement to explain the absence of macroscopic changes."

VAN DRIEL, DE VOSS, VERLOOP & DEKKERS (1998)

Somit ziehen die Autoren am Ende eine positive Bilanz, bezüglich des Designs ihres Kurses.

1.4.5.2. Der Kurs von CHIU, CHOU & LIU

Eine fachinhaltlich dem niederländischen Kurs recht ähnliche Untersuchung führten CHIU, CHOU & LIU (2002) durch. Insbesondere bedienten sie sich im Wesentlichen derselben Experimente, um das chemische Gleichgewicht zu erarbeiten. Für CHIU, CHOU & LIU war es wichtig, die Anforderungen der Theorie von *cognitive apprenticeship* und der ontologischen Theorie des *conceptual change* nach CHI miteinander zu verbinden. CHIU, CHOU & LIU kommen dabei zu dem Schluss, dass es sinnvoll ist eine Lernumgebung nach den Vorgaben des *cognitive apprenticeship* aufzubauen, was insbesondere durch eine hohe Betreuungsdichte und dem Auslösen ständiger, kleinerer kognitiver Konflikte bei den Lernenden verbunden realisiert wurde. Weiterhin sehen sie die Notwendigkeit des Einbezugs von Experimenten, deren Beobachtung den erfolgreichen Konzeptwechsel bei den Lernenden erst ermögliche. Bei ihrem Kursdesign stellen die Experimente die Situierung dar. Auch CHIU, CHOU & LIU berichten positiv über diese Art der Vorgehensweise.

1.4.5.3. Zusammenfassung der beiden Kurse und Schlussfolgerungen

Für den Entwurf unseres Kurses wurde aus den oben geschilderten Erfahrungen des niederländischen Projekts die Schlussfolgerung gezogen, dass es notwendig erscheint, den Schülern die Grenzen ihres bisherigen Wissens deutlich aufzuzeigen und sie zu einem kognitiven Konflikt zu führen. Aus den im niederländischen Projekt gesammelten Erfahrungen lässt sich herauslesen, dass die Schüler anschließend relativ rasch mit einem Erklärungsmodell konfrontiert werden sollten, denn erst durch die sinnstiftende Erklärung waren die Schüler bereit, die theoretischen Vorgaben zu verarbeiten.

Ähnlich lassen sich auch die Erfahrungen von EYBE und CHIU, CHOU & LIU deuten.

Bei EYBE wurden den Schülern während des Erarbeitungsprozesses sinnstiftende Erklärungen oder helfende Kommentare gänzlich verweigert. Dies führte schließlich dazu, dass die Schüler die wissenschaftlich anerkannte Theorie ablehnten und sich nicht zu Eigen machten, nachdem sie ihnen genannt worden war.

Bei CHIU, CHOU & LIU sorgte die intensive Betreuung, hervorgerufen durch die Vorgehensweise nach dem *cognitive apprenticeship* – Ansatz, für die notwendige Sinnstiftung. Durch ständiges Hinterfragen seitens des Tutors wurden die Lernenden hier zu der gewünschten Erklärung geführt.

1.5. Partizipative fachdidaktische Aktionsforschung

Dieser Arbeit liegt das Forschungsmodell der *Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung* zu Grunde. Es wurde von EILKS & RALLE (2002) näher beschrieben. Dabei handelt es sich um ein Forschungsmodell, welches auf dem Ansatz der *Partizipativen Aktionsforschung* von WHYTE, GREENWOOD & LAZES (1989) basiert und auf fachdidaktische Belange hin angepasst wurde.

Absicht von EILKS & RALLE war es insbesondere, die curriculare Entwicklungsforschung auf eine wissenschaftliche Basis zu stellen. Im Rahmen ihres Forschungsmodells bedeutet dies u. a., dass die Wege, auf denen Erkenntnisse gewonnen und Ergebnisse erzielt werden, *transparent und nachvollziehbar* sein sollen. Auf Grund des häufig individuellen und situational gebundenen Charakters der Aktionsforschung, steht dieser Aspekt im Rahmen von Aktionsforschungsansätzen an der Stelle von *objektiver Nachprüfbarkeit* in anderen Forschungsmodellen.

Aktionsforschung unterscheidet sich von „üblicher" empirischer Sozialforschung insbesondere dadurch, dass sie Praxis unmittelbar beeinflussen und verändern möchte. Nach Abschluss des Forschungsprozesses ist beabsichtigt, dass die beforschte Praxis eine Änderung vollzogen hat und nicht etwa weitgehend unbeeinflusst bleibt.

Das Modell der *Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung* unterscheidet sich von dem der *Praktiker-zentrierten*. Den Unterschied beschreiben EILKS & RALLE wie folgt:

> *„Wie in jeder Form von Aktionsforschung liegt auch hier ein Verständnis zugrunde, den Forschungsprozess grundsätzlich als Kooperation von externen Forschern und Praktikern in deren konkreter Praxis auszuführen. Im Gegensatz zur Praktiker-zentrierten Aktionsforschung sind hierbei allerdings die Forschungsfragestellungen des externen Wissenschaftlers handlungsleitend."*
>
> EILKS & RALLE (2002)

Trotz der handlungsleitenden Vorgaben des externen Forschers ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass Praktiker und externer Forscher gleichberechtigt miteinander arbeiten und lediglich unterschiedliche Aufgaben wahrnehmen. Eine genauere Übersicht über diese Arbeitsteilung lässt sich Tabelle 5 entnehmen.

Praktiker	Externer Forscher
⇨ Initiierung des Forschungsprozesses ⇨ Beiträge zur Entwicklung aus eigener Praxiserfahrung ⇨ Teilhabe in der Strukturierung der neuen Unterrichtskonzepte und –medien und ihre Anpassung an die Unterrichtspraxis ⇨ Anwendung der neuen Ansätze und Medien als Basis zur Erhebung von Evaluationsdaten ⇨ Anwendung der neuen Ansätze zur Weiterentwicklung der konkreten Unterrichtspraxis	⇨ Initiierung und Koordinierung von Forschungsprozess und –team ⇨ Analyse der relevanten Literatur ⇨ Strukturierung der neuen Unterrichtskonzepte und –medien ⇨ Strukturierung und Ausführung der Evaluation (Datensammlung und Analyse) ⇨ Verbreitung der Ergebnisse durch Veröffentlichung, Lehreraus- und –weiterbildung ⇨ Sicherung des forschungsmethodischen Standards

Tabelle 5 Rollen von Praktikern und Begleitern im Forschungsprozess. Entnommen von EILKS & RALLE (2002)

Die *Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung* ist dabei durch ein zyklisches Vorgehen auf mehreren Ebenen gekennzeichnet. Abbildung 24 lässt sich dabei die prinzipielle Vorgehensweise entnehmen.

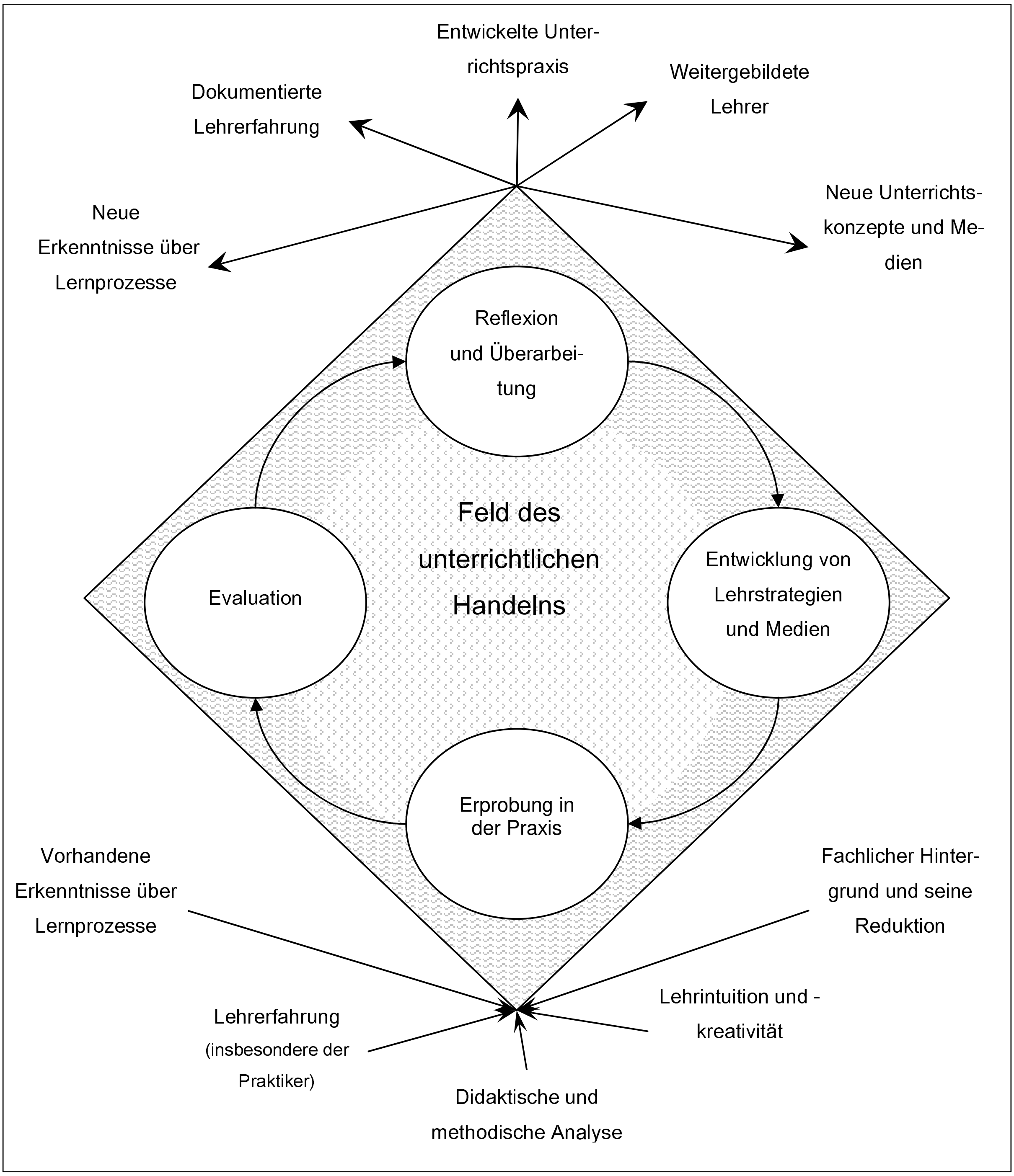


Abbildung 24 Das Forschungsmodell der Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung. Nach EILKS & RALLE (2002)

Das Forschungsfeld ist das konkrete unterrichtliche Handeln durch den Lehrer. Die zu Beginn in einen Zyklus einfließenden Größen beruhen dabei sowohl auf individuellen, wie auch auf wissenschaftlich dokumentierten Erfahrungen und Erkenntnissen. Im Laufe des Zyklus können diese Änderungen erfahren und stehen dann als erneute Eingangsgrößen für einen weiteren Zyklus zur Verfügung. Durch diese Vorgehensweise sind insgesamt drei Ziele angestrebt:

(1) Die Qualität der konkreten Unterrichtspraxis soll durch den Forschungsprozess entwickelt werden.

(2) Die Qualität der Konzeptionen soll weiter entwickelt werden.

(3) Es sollen allgemeine Erkenntnisse zur Weiterentwicklung von Unterricht gewonnen werden.

EILKS & RALLE bemängeln, dass bisherige Ergebnisse fachdidaktischer Forschung die Unterrichtspraxis nicht ausreichend erreicht hätten. Daher sehen sie in ihrem Forschungsmodell drei Phasen vor, welche sie abermals zyklisch darstellen (siehe Abbildung 25). Für die dritte Phase wird dabei explizit eine Verbreitung und Aufbereitung der erarbeiteten Ergebnisse für die Praxis gefordert. Vergleicht man diese Forderungen mit den beabsichtigten Zielen, so lässt sich erkennen, dass dies nur für die Ziele (2) und (3) möglich ist. Die im ersten Ziel geforderte Weiterentwicklung der konkreten Unterrichtspraxis ist personengebunden, während eine weiterentwickelte Konzeption und gewonnene Erkenntnisse über Unterricht dies nicht sind.

Bei der Betrachtung der folgenden Abbildung ist es wichtig zu bemerken, dass ein Zyklus einer Phase mehrmals durchlaufen werden kann und somit z. B. die zweite Phase mehrere Durchgänge nach Abbildung 24 enthalten kann.

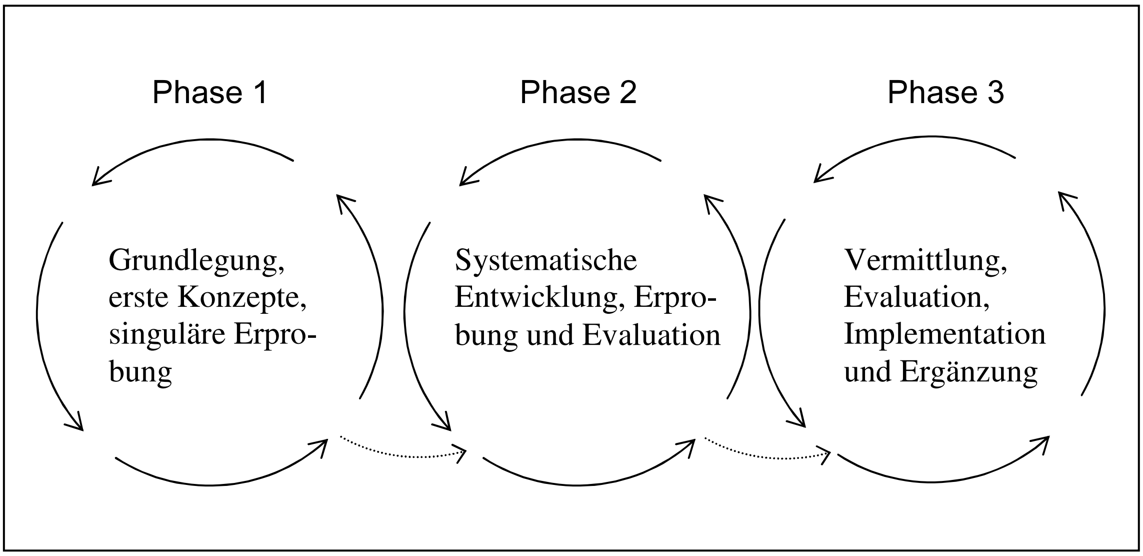


Abbildung 25 Drei Phasen der Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung. Nach EILKS & RALLE (2002)

1.6. Zielsetzung der Arbeit - Schlussfolgerungen aus der bisherigen Darstellung

Zu Anfang dieses Unterkapitels wurden Gründe genannt, warum man Chemieunterricht am Alltag orientieren sollte. Die vorgestellten Konzeptionen, mit denen dieses verwirklicht werden kann, weisen größere Gemeinsamkeiten auf. Jedoch scheint es so zu sein, dass die Konzeption von *Chemie im Kontext* auf Grund ihres curricularen und auf drei Säulen – *Kontextorientierung, Förderung des selbstständigen Lernens und systematische Vernetzung von Fachwissen mit Hilfe von Basiskonzepten* – basierenden Ansatzes am weitgreifendsten angelegt ist. In dieser Arbeit wird diese Konzeption daher für die Planung des Unterrichts (also von einzelnen Einheiten, wie die Vernetzung dieser Einheiten) zu Grunde gelegt.

Die Vorstellung des Lehrplans für die Sekundarstufe II in Chemie für Nordrhein-Westfalen sollte u. a. verdeutlichen, dass es möglich erscheint, mit Hilfe der Konzeption *Chemie im Kontext* den 11. Jahrgang lehrplangemäß zu gestalten. Dies wird insbesondere in den Kapiteln 2.1 und 3.1 ausführlich behandelt.

Eine Besonderheit, die direkt auffällt, ist, dass nach dem Lehrplan bereits in der 11. Klasse das chemische Gleichgewicht eingeführt wird. Dies macht es umso interessanter den 11. Jahrgang nach *Chemie im Kontext* zu planen, da das chemische Gleichgewicht eines der Basiskonzepte von *ChiK* ist. Entsprechend hat dieser Aspekt zu einem Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit geführt (vergleiche Kapitel 3).

Zu einem zweiten Schwerpunkt ist die Einstiegseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* geworden (vergleiche Kapitel 1.4.4.5). Diese Einheit zeichnet sich dadurch aus, dass sie die erste Einheit ist, welche im 11. Schuljahr unterrichtet wird, als auch dass in die organische Chemie eingeführt wird.

Als Forschungsmodell für diese Arbeit wird das der *Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung* zu Grunde gelegt, wie es in Abschnitt 1.5 vorgestellt wurde. Mit diesem verknüpft ist eine zyklische Vorgehensweise. Entsprechend dem Forschungsmodell lauteten die ersten Ziele dieser Arbeit wie folgt:

Ziel 1.a: *Bereitstellung eines Konzepts und von Materialien für den 11. Jahrgang in Nordrhein-Westfalen.*

Ziel 1.b: *Erprobung des Konzepts und der Materialien durch intensive Zusammenarbeit mit wenigen Lehrkräften.*

Insbesondere muss bei Ziel 1.b die Tauglichkeit des Konzepts in so fern erweisen, dass es lohnenswert scheint dieses in (zumindest) einem weiteren Zyklus zu optimieren. Nach Durchlauf des ersten Zyklus können weitere Ziele verfolgt werden:

Ziel 2.a: *Etablierung der Zusammenarbeit in einem Kreis von fünf bis zehn Lehrkräften.*

Ziel 2.b: *Optimierung des im ersten Zyklus erprobten Konzepts samt zugehöriger Materialien.*

Ziel 2.c: *Erzielung von verallgemeinerbaren Ergebnissen, die über die konkrete Unterrichtssituation hinaus eine Bedeutung haben.*

Ziel 2.c ist dabei sehr allgemein gehalten. Dies hat zwei Gründe. Zum ersten handelt es sich um die Planung eines gesamten Unterrichtsjahres mit Schwerpunktsetzung auf die zwei oben genannten Punkte, die sehr unterschiedlich sind. Zum zweiten kann man bei der Vorgehensweise nach dem Modell der *Partizipativen Aktionsforschung* nie genau voraussagen, welche Probleme auftauchen werden, an denen es zu arbeiten gilt. Allerdings lässt sich eine konkretere Formulierung der Zielsetzung vornehmen, wenn man die einzelnen Schwerpunkte dieser Arbeit separat betrachtet.

Zielsetzung für die Einheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* für den zweiten Zyklus.

Ziel 2.a': *Aufbau eines vertrauensvoll zusammenarbeitenden Arbeitskreises von fünf bis zehn Lehrkräften.*

Ziel 2.b': *Vermittlung des Konzepts der Einheit „Alkohol – zum Trinken viel zu schade?" für die Lehrkräfte. Weitergabe der Erfahrungen aus dem ersten Zyklus. Erprobung der Einheit durch die Lehrkräfte und diskursive Überarbeitung des Konzepts.*

Ziel 2.c': *Durch Begleitung mit einer Fragebogenstudie zur Einschätzung der Einheit sollten sich Aspekte herauskristallisieren lassen, wie z. B. die Einschätzung bezüglich der eingesetzten Methode oder der Einbindung von Fachinhalten.*

Anhand der Formulierung der Ziele 2.a' und 2.b' lässt bereits erkennen, dass zu Begin der Aufbau einer vertauensvollen Zusammenarbeit und die Reaktion und Umgang der Lehrkräfte mit den bereitgestellten Materialien im Vordergrund steht. Man kann hier von einer Input-Orientierung sprechen.

Für den zweiten Schwerpunkt der Arbeit verlagert sich das Interesse einwenig. Davon ausgehend, dass sich eine Zusammenarbeit etabliert hat und ein gegenseitiges Vertrauen entstanden ist, soll im zweiten Schwerpunkt, der Einführung des chemischen Gleichgewichts, bereits eine Output-Orientierung stattfinden. Dies bietet sich in diesem Zusammenhang besonders an, da es sich bei dem chemischen Gleichgewicht um ein Basiskonzept von *Chemie im Kontext* handelt und deren erfolgreiche Vermittlung daher von unmittelbarem Interesse ist.

Zielsetzung für die Einführung des chemischen Gleichgewichts

Ziel 2.a'': *Weiterführung der vertrauensvollen Zusammenarbeit im Arbeitskreis.*

Ziel 2.b'': *Vermittlung des Kurses zur Einführung in das chemische Gleichgewicht. Erprobung durch die Lehrkräfte und diskursive Optimierung. Durch Begleitung mit einer Fragebogenstudie zur Einschätzung der Einheit, einer kognitiven Überprüfung, sowie einer Interviewstudie sollten sich neben Einschätzungen z. B. bezüglich der Kontextorientierung auch Erkenntnisse erzielen lassen, in wie weit theoretische Aspekte verstanden worden sind und wo Probleme bei dieser Art der Vermittlung auftauchen.*

Ziel 2.c'': *Die Erkenntnisse der Fragebogen- und Interviewstudie gilt es auf Möglichkeiten zur Abstraktion und Verallgemeinbarkeit hinzu überprüfen und entsprechende Ergebnisse zu formulieren.*

2. Die Einstiegseinheit „Alkohol – zum Trinken viel zu schade?"

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der ChiK-Einheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* vorgestellt. In dem von uns geplanten Ablauf für das elfte Schuljahr in Nordrhein-Westfalen steht diese Einheit am Anfang des Schuljahres.

Mit Beginn der elften Klasse wird die Kursstufe eingeführt, daher befinden sich Schüler aus unterschiedlichen Klassen in einem Chemie-Kurs. Dies und das Hinzukommen von Schülern aus anderen Schulen hat meistens zur Folge, dass ein Kurs zu Anfang der elften Klasse Schüler mit sehr unterschiedlichen Voraussetzungen umfasst.

Aus Sicht des Faches wird mit der Alkohol-Einheit erstmals systematisch in die organische Chemie eingestiegen. Gegenüber der bis dahin gelehrten allgemeinen und anorganischen Chemie unterscheidet sich diese z. B. durch eine Betonung der kovalenten Bindungen und der verstärkten Betrachtung des Struktur-Eigenschafts-Konzepts.

In den nun folgenden Abschnitten wird zuerst der Ablauf für das gesamte Schuljahr vorgestellt, anschließend wird unsere Vorgabe für den Einstieg in den ersten Forschungszyklus kurz skizziert und schließlich über deren Veränderung im Laufe des Forschungsprozesses berichtet. Auf diese Weise sollen die Auswirkungen des zyklischen Vorgehens (vergleiche Abschnitt 1.5) transparent gemacht werden.

2.1. Vorschlag für einen Chemiekurs der 11. Klasse für Nordrhein-Westfalen

In Abschnitt 1.2 wurde der Lehrplan für Nordrhein-Westfalen für die elfte Jahrgangsstufe näher vorgestellt. Im Folgenden wird unser Vorschlag skizziert, diesen mit Hilfe von Unterrichtseinheiten nach *Chemie im Kontext* abzudecken. Wie bereits zuvor erwähnt wurde, steht hinter dem nordrhein-westfälischen Lehrplan die Idee der Kontextorientierung. Dies hat den Vorteil, dass mit einem Unterricht, der nach Chemie im Kontext angelegt wird, nicht nur eine formale Abdeckung der geforderten Inhalte erfolgt, sondern auch dem Geist des Lehrplans entsprochen wird.

Von uns wird vorgeschlagen, insgesamt fünf ChiK-Einheiten im Laufe des elften Schuljahres zu unterrichten. Für diese schlagen wir folgende Reihenfolge vor:

(1) Alkohol – zum Trinken viel zu schade?

(2) Mehr als bloß saurer Wein: Essig

(3) Saure Reiniger im Haushalt

(4) Fruchtig, aber nicht natürlich?

(5) Ozeane und der Treibhauseffekt

In Tabelle 6 ist angedeutet, wie die Einheiten zur Erfüllung des Lehrplans beitragen. Dabei wurden die Einheiten den Themenfeldern des Lehrplans zugeordnet.

Themenfeld A Eine Reaktionsfolge aus der organischen Chemie	**Themenfeld B** Ein technischer Prozess	**Themenfeld C** Ein Stoffkreislauf aus Natur und Umwelt
Alkohol – zum Trinken viel zu schade? Mehr als saurer Wein: Essig Fruchtig, aber nicht natürlich?	Mehr als saurer Wein: Essig	Ozeane und der Treibhauseffekt

Tabelle 6 Zuordnung der ChiK-Einheiten zu den Themenfeldern des Lehrplans von NRW

Für das Themenfeld C *Ein Stoffkreislauf aus Natur und Umwelt* wird von den im Lehrplan gemachten Vorschlägen (vergleiche Abschnitt 1.2) der Kohlenstoff-Kreislauf ausgewählt. Der Titel der gewählten ChiK-Einheit verrät bereits, dass als umfassender Kontext die Auswirkung der Ozeane auf das Klima genommen wird. Diese Einheit wurde von PASCHMANN, DE VRIES, LÜCHTENBORG, NOUSHIN & PARCHMANN (2000) vorgestellt. Wir haben sie lediglich auf unsere Belange hin angepasst. Weiterhin wurden für die Vertiefungsphase zusätzliche kontextorientierte Übungsaufgaben entworfen.

Im Themenfeld B, in welchem die Behandlung eines *technischen Prozesses* vorgesehen ist, wird keiner der im Lehrplan gemachten Vorschläge aufgegriffen. Stattdessen wurde hier die Herstellung von Essig bzw. Essigsäure als technischer Prozess betrachtet. Dabei können die verschiedenen bio-technischen Herstellungsverfahren von Essig mit der rein technischen Herstellung von Essigsäure verglichen werden.

Um das Themenfeld A, *eine Reaktionsfolge aus der organischen Chemie*, abzudecken werden insgesamt drei ChiK-Einheiten benötigt. Im Prinzip haben wir uns dabei an dem Vorschlag *Vom Alkohol zum Aromstoff* orientiert. Allerdings wird genauso die Reaktionsfolge *Vom Traubensaft zum Essig* abgedeckt. Dies kommt Zustande, da beide Themen starke Überschneidungen aufweisen und bei Behandlung der Thematik *Alkohol* auch dessen Herstellung betrachtet wird.

Die Bezeichnung des Vorschlags im Lehrplan legt nahe, die Thematik als eine Einheit zu unterrichten. Entgegen einer solchen Interpretation haben wir uns dafür entschieden, sie in drei Einheiten aufzuteilen. In der abschließenden Einheit wurde, an geeigneter Stelle, die Idee der Reaktionsfolge noch einmal verdeutlicht. Eine nähere Begründung für unsere Entscheidung ist dem folgenden Abschnitt 2.2 zu entnehmen.

2.2. Der erste Vorschlag für die Durchführung der Einheit *Alkohol* - …

Der erste Vorschlag für die Einheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* wurde von Sonja Kaiser begonnen und von mir zu Ende geführt. Er basierte dabei auf einem Vorschlag, welcher die Idee *Vom Alkohol zum Aromastoff* umsetzte. Diese wurde ursprünglich für eine Umsetzung in Niedersachsen geplant und war fachlich sehr umfassend. Es wurden die Stoffklassen der Alkane, Alkene, Alkanole, Alkanale, Carbonsäuren und Ester innerhalb dieser Einheit behandelt. Zusätzlich wurde z. B. auf eine ausführliche Behandlung von qualitativer und quantitativer Analyse eines organischen Stoffes nicht verzichtet. Diese Einheit war mit einer Erarbeitungsphase mit arbeitsteiliger Gruppenarbeit mit abschließendem Schülerreferat und einer fachlichen Vertiefungsphase geplant (vergleiche HUNTEMANN, PASCHMANN, PARCHMANN & RALLE (1999)). Insbesondere da zu jeder Stoffklasse experimentell gearbeitet wurde, kann man sich leicht vorstellen, dass die Durchführung dieser Einheit einen relativ langen Zeitraum beanspruchte. Eine Möglichkeit die benötigte Zeit zu verkürzen, bestände darin, verstärkt arbeitsteilig zu arbeiteten. Die hierfür notwendige Aufteilung der Thematik kann sicherlich nicht mehr von den Schülern alleine geleistet werden und es würden sich teilweise voraussetzungsgebundene Aufgabenstellungen ergeben, d. h. die Ergebnisse einer Gruppe wären eigentlich die Eingangsvoraussetzungen für die Arbeit einer anderen.

HUNTEMANN, PASCHMANN, PARCHMANN & RALLE (1999) beschreiben Praxiserfahrungen einer anderen Unterrichtseinheit, bei welcher die arbeitsteilige Gruppenarbeit thematisch ähnlich breit angelegt war. Neben einem hohen zeitlichen Aufwand berichten sie weiterhin von Problemen bei der Ergebnispräsentation und, dass mit andauernder eigenständiger Arbeit die Motivation der Schüler sinken würde.

Alle diese Einwände haben dazu geführt, dass wir uns dagegen entschieden haben das Themenfeld A *Eine Reaktionsfolge aus der organischen Chemie* mit einer einzigen Einheit abzudecken. Stattdessen haben wir die Thematik *Vom Alkohol zum Aromastoff* in drei eigenständige Einheiten unterteilt. Auf Grund der Entstehungsgeschichte der drei resultierenden Einheiten ist es nicht erstaunlich, dass diese sich gegenseitig ergänzen und aufeinander aufbauen. Die von uns vorgenommene Einteilung in die Themen *Alkohol*, *Essig* und *Fruchtester*, hat den Vorteil, dass sie sich sowohl aus kontextlicher wie auch aus fachlicher Sicht begründen lässt.

Neben dem möglichen Vorwurf, dass man sich insgeheim doch an der Fachsystematik orientieren würde, hat dies jedoch auch einen entscheidenden Vorteil: Es kann erwartet werden, dass die Akzeptanz bei Lehrkräften relativ hoch liegt, da sie wahrscheinlich eine ähnliche getroffen hätten. Zwar könnte man sich zu den einzelnen Themen auch einen fachlichen Unterricht vorstellen, jedoch bringen sie ihre Alltagsbezüge so offensichtlich mit sich, dass die Ausformung dieser Themen zu kontextorientierten Einheiten geradezu selbstverständlich erscheint.

Für das Unterrichten nach Chemie im Kontext bringt diese Aufteilung weitere Vorteile mit sich. So besteht die Möglichkeit, drei Kontexte statt einem zu unterrichten. Weiterhin kann aufgezeigt werden, wie diese Kontexte sich gegenseitig ergänzen.

Die erste der drei Einheiten beschäftigt sich vorrangig mit Alkohol, der Abbildung 26 lassen sich die wesentlichen Merkmale der Einheit entnehmen.

Skizze des ersten Vorschlags für die Einheit

Alkohol – zum Trinken viel zu schade?

Begegnungsphase

Wein- und Bierherstellung, Alkoholkonsum in der Gesellschaft

Neugierphase

Destillation von Wein, Findung von Fragen für die Erarbeitungsphase (für die vorgedachte Einteilung der Gruppen sollte sich eine fachinhaltliche Überlappung ergeben, während völlig unterschiedliche Teilaspekte der Kontexte bearbeitet werden)

Erarbeitungsphase

Arbeitsteilige Gruppenarbeit mit abschließendem Gruppenpuzzle und Überprüfungsfragen. (Mögliche Themen für die Gruppenarbeit: Nachweis von Alkoholen in alltäglichen Stoffen, Wirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper, Elementaranalyse von Alkohol, Herstellungsverfahren von Alkohol)

Vertiefungsphase

Bearbeitung von Fragen, welche sich bei der Überprüfung als schwierig herausgestellt haben, Bestimmung der molaren Masse von Ethanol

Abbildung 26 Skizze des ersten Vorschlags für die Einheit Alkohol – zum Trinken viel zu schade?

Die nach Lehrplan geforderten Unterrichtsgegenstände für den elften Jahrgang sind nochmals in der folgenden Abbildung 27 aufgeführt. Die durch Unterstrich markierten Elemente werden von der von uns vorgeschlagenen Unterrichtseinheit abgedeckt.

Unterrichtsgegenstände
□ **Anorganische Verbindungen: ausgewählte Säuren/Basen und deren Salze** (z. B.: Kohlensäure, Carbonate; Ammoniak, Ammoniumverbindungen; Salpetersäure, Nitrate; Sulfide, Schwefelsäure, Sulfate; Phosphorsäure, Phosphate)
□ **Organische Stoffklassen: Alkanole, Alkanale, Alkansäuren**, Ester
□ **Oxidationszahlen**
□ **Homologe Reihe, systematische Nomenklatur**
□ Nachweisreaktionen
□ **Reaktionsgeschwindigkeit**, Stoßtheorie, RGT-Regel, **Katalyse**
□ **Das chemische Gleichgewicht, Massenwirkungsgesetz, Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Konzentration**
□ Anwendungen des chemischen Gleichgewichts
□ **Integrierte Wiederholung: einfaches Atom- und Bindungsmodell** (keinesfalls Einführung des Orbitalmodells!), **Struktur-Eigenschaftsbeziehungen; hydrophil-hydrophob; Stoffmenge, molare Masse**, molares Volumen, Stoffmengenkonzentration

Abbildung 27 Durch die Einheit „Alkohol- …“ abgedeckten Unterrichtsgegenstände (unterstrichen dargestellt).

Insbesondere durch die nahezu vollständige Abdeckung des Bereichs der integrierten Wiederholung, lässt sich erkennen, dass diese Einheit als Einstiegseinheit konzipiert wurde.

Weiterhin unterscheidet sich der von uns gemachte Vorschlag in der methodischen Vorgehensweise. Im Prinzip wird immer noch eine arbeitsteilige Gruppenarbeit durchgeführt, jedoch ist ihr Schwierigkeitsgrad deutlich abgeschwächt worden. Erreicht wird dies durch fachliche Überschneidungen der Gruppenthemen und ein anschließendes Gruppenpuzzle an Stelle einer Vortragsreihe. Bei der Methode des Gruppenpuzzles müssen sich alle Schüler in Kleingruppen gegenseitig unterrichten. Die fachliche Überlappung soll es den Schülern erleichtern, sich gegenseitig zu verstehen. (Vergleiche auch Abschnitt 1.1.2.3)

2.3. Der erste Zyklus

Im ersten Zyklus wurde mit zwei Lehrkräften zusammengearbeitet. Diese werden im Folgenden mit L11 und L12 bezeichnet[1]. Bei L11 handelte es sich um eine erfahrene Lehrkraft, welche schon seit mehreren Jahren Chemie unterrichtet. Bei L12 handelte es sich um eine Lehrkraft in ihrem zweiten Berufsjahr. Beide wurden von uns über die Ideen von Chemie im Kontext – im Einzelgespräch – unterrichtet. Sie konnten sich mit ihnen anfreunden und ließen sich auf eine Zusammenarbeit mit uns ein. Beiden wurden Unterrichtsmaterialien auf CD-ROM zur Verfügung gestellt. Dabei handelte es sich z. B. um Arbeitsblätter oder Anleitungen für Experimente. Insbesondere aber auch eine Reihe von Infoblättern, zu den einzelnen Kontexten. Weiterhin wurden unsere Vorstellungen bezüglich der Durchführung der einzelnen Einheiten skizziert.

Einer der Punkte, für die wir uns dabei interessierten, war, wie Lehrkräfte die von uns bereitgestellten Materialien nutzen und wie sie mit diesem Chemie im Kontext in der Unterrichtspraxis umsetzen. Dabei sollten erste Eindrücke gewonnen werden. Auf Grund regelmäßiger Hospitationen kam es zu einem regen Austausch zwischen den Lehrkräften und mir: Vom Unterricht von L11 wurden fast alle Stunden hospitiert, vom Unterricht von L12 waren es fast alle Doppelstunden. Die Kurse fanden jeweils mit drei Schulstunden pro Woche statt, jeweils einer Einzel- und einer Doppelstunde. Da die beiden Einzelstunden fast zeitgleich lagen, ergab es sich, dass der Unterricht von L11 komplett und der von L12 nur zu zwei Dritteln hospitiert wurde.

Die folgenden Schilderungen über den Verlauf der Unterrichtseinheiten bei L11 und L12 basieren im Wesentlichen auf Notizen, die während oder kurz nach einer Unterrichtsbeobachtung gemacht worden sind. Werden in den Berichten Arbeitsblätter erwähnt, so lagen diese beim Schreiben der Berichte ebenfalls vor.

2.3.1. *Skizze des Unterrichts bei L11*

Um zu Anfang der Beschreibungen der Unterrichtsabläufe einen besseren Überblick geben zu können, wird das methodische Vorgehen von L11 und L12 in Tabelle 7 einander gegenüber gestellt.

[1] Die Bezeichnung L11 z. B. soll dabei ***Lehrkraft von Zyklus 1 mit laufender Nummer 1*** bedeuten. Selbstverständlich ist mit der Nummerierung keine Wertung verbunden. Die Vergabe geschieht rein willkürlich.

Phase	L11	L12
Berührungs-phase	Informationsbeschaffung zu „Alkohol“ als Hausaufgabe. Anschließend eine kurze arbeitsteilige Gruppenarbeit mit abschließendem Referat zu einführenden Themen.	Internetrecherche zu einem einführenden Thema mit Vorstellung der Ergebnisse (nicht arbeitsteilig). Parallel dazu Stichwortsammlung zu „Alkohol“.
Neugierphase	Arbeitsteilige Gruppenarbeit zu Themen mit Bezügen sowohl zu Kontext, als auch zu Fachinhalt	Herstellung und Destillation von Alkohol. Einteilung von Themen für Erarbeitungsphase an Hand der Stichwortsammlung und des bisherigen Unterrichts.
Erarbeitungs-phase	Klärung von offen gebliebenen Fragen der Referate. Bearbeitung verschiedener Experimente mit anschließender theoretischer Deutung in nicht arbeitsteiliger Gruppenarbeit.	Arbeitsteilige Gruppenarbeit mit abschließendem Gruppenpuzzle zur Weitergabe der Ergebnisse. Anschließend Überprüfung des Lernerfolgs mit Hilfe von vorbereiteten Aufgaben.
Vertiefungs-phase	Bearbeitung verschiedener Experimente mit anschließender theoretischer Deutung in nicht-arbeitsteiliger Gruppenarbeit.	Bearbeitung eines Problems, welches sich in der Erarbeitungsphase gezeigt hatte. Anschließend: Durchführung eines Experiments mit anschließender theoretischer Deutung. Beides in nicht-arbeitsteiliger Gruppenarbeit.

Tabelle 7 Gegenüberstellung der Unterrichtsabläufe der Alkohol-Einheit bei L11 und L12

Bei L11 bestand der Kurs aus 16 Schülern, unterrichtet wurden sie im Chemieraum. Es bestand somit u. a. die Möglichkeit Schülerexperimente durchzuführen. Die Tische waren in Reihen angeordnet. Ungefähr die Hälfte des Kurses hatte bereits im Jahr zuvor bei L11 Unterricht. Für diese Schüler war die Thematik *Alkohol* eine Wiederholung, da diese im zehnten Schuljahr im Bereich *Ein Thema aus der organischen Chemie nach Wahl* bereits behandelt wurde. Hierdurch war es L11 auch möglich diese Einheit etwas zügiger zu unterrichten.

2.3.1.1. Begegnungsphase

Begonnen wurde mit einem Brainstorming der Schüler zum Thema Alkohol. Um dieses vorzubereiten, hatten die Schüler die Hausaufgabe sich über „Alkohol“ zu informieren. Dabei taten sie dies vorwiegend in Lexika und trugen Informationen mit z. T. sehr chemischem Hintergrund zusammen. L11 war daher bemüht Alltagsbezüge mit einzubringen. Die während dieser Phase gesammelten Stichworte wurden an der Tafel festgehalten und Oberthemen zugeteilt (clustering). Die Oberthemen sollten nun in arbeitsteiliger Gruppenarbeit recherchiert werden. In dieser Phase wurden Themenstellungen von L11 ausgewählt, welche nicht unbedingt einen Bezug zur Chemie hatten:

- Herstellung von Trinkalkohol,

- Auswirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Organismus,
- gesellschaftliche Folgen von Alkoholgenuss und
- die volkswirtschaftliche Bedeutung von Alkohol.

Die Schüler zeigten dabei ein klares Interesse an dem Thema, welches sich mit der Auswirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper beschäftigte.

Es wurden Infomaterialien wie Zeitungsartikel, ausgedruckte Internetseiten oder Lexika bereitgestellt. Da keine tiefere Betrachtung der Themen von L11 angedacht war, bestand die Vorgabe darin, sich noch innerhalb der Doppelstunde gegenseitig die Ergebnisse der Recherche vorzustellen. Bei den kurzen Referaten wurden häufig Zahlen und Fakten von einem Stichwortzettel abgelesen. Von manchen Gruppen wurden diese an der Tafel festgehalten. Von der Tafelanschrift konnten nachfolgende Gruppen mit ähnlicher Themenstellung profitieren.

2.3.1.2. Neugierphase und Erarbeitungsphase

Die Klasse wurde von L11 in vier Gruppen zu je vier Schülern aufgeteilt. Diesmal wurden von L11 Themen ausgegeben bzw. von der Clusterung aufgegriffen, welche bereits die Erarbeitung von chemischem Fachwissen notwendig machte:

- Herstellung von Wein,
- Untersuchung der Eigenschaften von Alkoholen (Vorgabe: Methanol, Ethanol, n-Butanol, 1-Propanol, 2-Methylpropan-2-ol),
- Untersuchung von Gärungsbedingungen (Vorgabe: Temperatur, Hefeart, Gärgefäß, Zuckermenge) und
- Qualitative Elementaranalyse von Ethanol.

Die Gruppen wurden aufgefordert ihre Vorgehensweise zu planen, bevor sie experimentell tätig werden. Zur Bearbeitung wurden erst einmal 1,5 Schulstunden veranschlagt, d. h. mit Beginn der nächsten Schulstunde sollten die ersten Vorträge der Ergebnisse beginnen. Im Gespräch nach dem Unterricht sprach L11 sich dafür aus, beim nächsten Mal in zweier Gruppen arbeiten zu lassen, da es bei einigen Gruppen den Anschein machte, dass jeweils nur zwei Schüler arbeiten würden und zwei dabei zusähen.

Da die Gruppen mit der Bearbeitung nicht fertig geworden waren, wurde in der nächsten Stunde weitergearbeitet. In der darauffolgenden Doppelstunde fingen die Gruppen an sich ihre Ergebnisse gegenseitig vorzustellen. Hierbei stand das Vorführen von Experimenten im Vordergrund. Am Ende eines Vortrags wurde von L11 die dazugehörige Theorie aufgegriffen und mit der gesamten Klasse besprochen.

Für die Vorträge wurde nicht die gesamte Doppelstunde benötigt. L11 teilte noch ein Arbeitsblatt zur homologen Reihe aus, welches gleichzeitig verschiedene Stoffklassen der organischen Chemie wiederholte. Im Gespräch nach der Stunde begründet L11 dies: In der Konzeption sei keine solche Wiederholung vorgesehen, jedoch sei diese nötig. Dies sei ein Schwachpunkt und daher sei so vorgegangen worden.

In der anschließenden Stunde wurde ein weiteres Arbeitsblatt ausgeteilt, es enthielt Informationen zu Schmelz- und Siedepunkten von Alkanen, Alkenen und Alkanolen. Die Schüler bekamen die Aufgabe den Verlauf innerhalb einer homologen Reihe zu erklären, sowie anschließend die Verläufe der homologen Reihen miteinander zu vergleichen. Nach einiger Bearbeitungszeit, welche in Einzel- uns Partnerarbeit genutzt wurde, begann ein Unterrichtsgespräch. Hierbei bereitete den Schülern die Erklärung über Struktur-Eigenschaftsbeziehungen große Probleme.

2.3.1.3. Vertiefungsphase

In der nächsten Stunde teilte L11 ein Arbeitsblatt *Versuche mit Alkoholen* aus. Im ersten Versuch ging es um die Reaktion von Alkoholen mit Alkalimetallen. Hierzu sollten die Schüler sich eine geeignete Durchführung überlegen und die ablaufende Reaktion ausfindig machen. Nach einer „Denkpause“ brach bei den Schülern eine allgemeine „Experimentierfreudigkeit“ aus. Dabei behielten sie von alleine die zuletzt vorgenommene Gruppeneinteilung bei.

Auf Grund einer Klassenfahrt fehlte in der folgenden Stunde etwa die Hälfte der Schüler. Daher nahm die Besprechung der Versuche etwa drei Stunden in Anspruch.

Die darauf folgende Stunde wurde von L11 mit der Besprechung der Durchführung des *Ingenhousz-Versuchs* begonnen. Anschließend wurde in Zweier-Gruppen experimentiert. Dabei kamen unterschiedliche Alkohole zum Einsatz (arbeitsteilige Vorgehensweise). Nach der Durchführung der Experimente wurde die Auswertung gemeinsam geleistet. Für einen Alkohol wurde die Reaktion von L11 quasi vorgegeben und anhand der restlichen geübt. Die Besprechung wurde in der folgenden Unterrichtsstunde fortgesetzt.

Zum Abschluss der Alkohol-Einheit wurden die Aufgaben einer alten Klausur zur Übung bearbeitet und die Schüler auf die anstehende Klausur vorbereitet.

2.3.2. *Skizzierung des Unterrichtsverlaufs L12*

Der Kurs umfasste 21 Schüler, etwa die Hälfte von ihnen hatte bereits im Jahr zuvor bei L12 Unterricht. Der Unterricht fand im Chemieraum statt. Die Tische waren in vier Gruppen angeordnet. Jede Tischgruppe bestand aus vier Tischen, die ein Quadrat bildeten. In der Mitte des Quadrats befanden sich Wasser-, Strom- und Gasanschlüsse. Auf Grund der Tischanordnung war eine Aufteilung des Kurses für Gruppenarbeiten quasi vorgegeben, im Unterricht wurden hierfür nur vereinzelt Plätze getauscht.

Die Schüler hatten in der Sekundarstufe I zuvor keine organische Chemie, diese Unterrichtseinheit stellte demnach für sie die Einführung in diesen Bereich der Chemie dar. Auch zeigte sich im Laufe der Einheit, dass sie große Verständnisprobleme im Bereich des Struktur-Eigenschaftskonzeptes hatten. Dies war u. a. darauf zurückzuführen, dass sie das Prinzip von polaren und unpolaren kovalenten Bindungen nicht anwenden konnten und es erneut gelernt werden musste.

2.3.2.1. Begegnungsphase

Die erste Unterrichtsstunde wurde zu Anfang für Organisatorisches genutzt. Dann wurden die Schüler von L12 aufgefordert, stichpunktartig auf einem Zettel aufzuschreiben, was ihnen zum Thema Alkohol einfällt. L12 sammelte die Zettel ein und wertete diese zu Hause aus. Der Rest der Unterrichtszeit wurde mit der Berechnung des Blutalkoholgehalts verbracht. Hierfür gab L12 die Widmark-Formel vor. Es wurden verschiedene Beispiele wurden durchgerechnet.

2.3.2.2. Neugierphase

Die folgende Unterrichtsstunde fand im Computerraum der Schule statt. Die Schüler hatten die Aufgabe eine Internetrecherche zu den Themen *Herstellung von Alkohol* und *Historisches zu Alkohol* zu machen. Es wurde in zweier oder dreier Gruppen gearbeitet. (Es handelte sich um keine arbeitsteilige Gruppenarbeit, alle Gruppen hatten die gleiche Themenstellung.) Im Anschluss an die Recherche sollten zu Hause die Ergebnisse für ein kurzes Referat aufbereitet werden. Diese wurden in der folgenden Stunde vorgetragen. Auf Grund der gleichen Themenstellung ergänzten die späteren Gruppen jedoch meist nur noch. Im Anschluss fasste L12 mit den Schülern gemeinsam zusammen, wie Alkohol hergestellt wird. Weiterhin wurde eine experimentelle Vorschrift erarbeitet, um selber Alkohol herstellen zu können. Die Gruppen setzten dann jeweils einen Gäransatz an.

Danach wurde die weitere Vorgehensweise zur Alkoholgewinnung geplant, d. h. die Durchführung einer Destillation wurde (theoretisch) vorbereitet. Zum Abschluss der Stunde wurde von L12 ein Infoblatt zur Gärung und zur Destillation ausgeteilt und die Ergebnisse der Befragung zum Thema Alkohol an der Tafel festgehalten. Diese bildeten die Grundlage für die Vergabe von Themenstellungen für eine arbeitsteilige Gruppenarbeit. Allerdings gestaltete sich die Themenvergabe schwierig, da fast alle Schüler gerne das Thema *Auswirkungen auf den menschlichen Körper* bearbeiten wollten. Gelöst wurde das Problem, in dem das Thema zwei Gruppen zugeteilt wurde, jedoch mit unterschiedlicher Schwerpunktssetzung. Die beiden weiteren Themen waren *Bausteine des Alkohols* und *Verwendung von Alkohol*. Im folgenden Unterricht wurden die Gäransätze destilliert, schneller arbeitende Gruppen bestimmten zusätzlich den Alkoholgehalt eines Rotweins mittels Destillation. Die Zeit während der Destillation wurde von L12 genutzt, um den einzelnen Gruppen Infomaterialien und eine genaue Beschreibung der Aufgabenstellung für die folgende Gruppenarbeit zu geben.

2.3.2.3. Erarbeitungsphase

Für die Erarbeitungsphase wurden die nächsten zwei Doppel- und Einzelstunden zur Verfügung gestellt. Im Anschluss daran hatten die Schüler die Möglichkeit im Computerraum ein strukturiertes Handout ihrer Ergebnisse zu erstellen. Während der Gruppenarbeitsphase wurden die Schüler von L12 über die Gruppenpuzzle-Methode informiert, nach welcher sie sich ihre Ergebnisse gegenseitig vorstellen sollten. Auch auf die Wichtigkeit des Handouts als Grundlage für die Vorstellung wurde verwiesen.

Während der Gruppenarbeitsphase hatte man bei einer Gruppe das Gefühl, dass sie nicht richtig gearbeitet hätte, da sie während der Unterrichtszeit relativ wenig taten. Wie sich dann herausstellte, hatte diese Gruppe den größten Teil ihrer Arbeit zu Hause geleistet und überraschte bei der gegenseitigen Vorstellung mit einem Wandposter, auf welchem eine selbsterstellte Fotostory zum *Thema Wirkung von Alkoholgenuss* zu sehen war. Somit begann die für das Gruppenpuzzle gedachte Stunde mit einer Postervorstellung, insbesondere auch deshalb, weil das Interesse der Mitschüler sehr groß war. Anschließend stellten die Schüler sich die Ergebnisse ihrer Gruppenarbeiten vor. Diese Expertenrunde war (für mich und L12 überraschend) schnell zu Ende. Um den Schülern ein Feedback zu ermöglichen, hatten L12 und ich ein Aufgabenblatt vorbereitet. Es enthielt Aufgaben, von welchen wir erwarteten, dass die Schüler sie nun lösen können sollten. Dieses wurde im Anschluss an die Expertenrunde ausgeteilt und sollte gemeinsam bearbeitet werden.

Bei der Bearbeitung viel auf, dass nicht immer die für eine Aufgabe zuständigen „Experten“ am meisten zur Lösung beitragen konnten, sondern teilweise ihre Mitschüler die Lösung innerhalb der Gruppe erarbeiteten. Über Gründe für diese Beobachtung kann allerdings nur spekuliert werden, es könnte u. a. daran gelegen haben, dass die entsprechenden Mitschüler einfach leistungsstärker waren, eventuell hat hier auch die Maßnahme gegriffen, von allen Gruppen die wichtigsten theoretischen Grundlagen erarbeiten zu lassen, nur jeweils an anderen Beispielen.

Weiterhin zeigte sich, dass häufig die Schwierigkeit bei der Beantwortung der Fragen für die Schüler darin bestand, welche Theorie sie anwenden müssen, diese dann auf einen neuen Sachverhalt anzuwenden war eher unproblematisch.

Schon während der Gruppenarbeitsphase und auch nach der Expertenrunde fragten einige Schüler nach, wie L12 sie beurteilen wolle. Weiterhin empfanden einige Schüler es als Problem, dass man sehr von dem jeweiligen Experten abhängig war, welcher das Thema der anderen Gruppe vorstellte. Hierzu muss allerdings erwähnt werden, dass jeder Schüler ein eigens Exemplar des Handouts von jeder Gruppe erhielt und diese zuvor von L12 überprüft worden waren.

In der Besprechung nach der Unterrichtsstunde fand L12 die Vorgehensweise insgesamt in Ordnung. Es würden jedoch noch genauere Hinweise für die Schüler in den einzelnen Phasen benötigt, damit diese genauer wüssten, was von ihnen erwartet würde. Weiterhin fand L12, dass die Bedeutung von Ergebnissen einiger Experimente zu dem Kontext nicht immer klar würde (dabei spielte sie z. B. auf die Elementaranalyse an). Die zugehörige Theorie dagegen würde gut vermittelt.

2.3.2.4. Vertiefungsphase

Da sich bei der Lernzielkontrolle gezeigt hatte, dass die Verbindung von Experiment und Theorie den Schülern Probleme bereitete und allgemein noch Nachholbedarf bei dem Struktur-Eigenschaftskonzept bei den Schülern zu bestehen schien, wurden in paralleler Gruppenarbeit Experimente zur Löslichkeit durchgeführt. Diese nahmen inklusive Besprechung drei Stunden in Anspruch. In der folgenden Doppelstunde wurde zum Abschluss der Alkohol-Einheit die molare Masse von Ethanol experimentell bestimmt.

2.3.3. *Zusammenfassung der Erfahrungen aus dem ersten Zyklus*

Anhand der gegebenen Skizzen der Unterrichtsverläufe lässt sich erkennen, dass die von uns gemachten Vorschläge doch recht unterschiedlich umgesetzt werden können. Dabei spielte mit Sicherheit auch eine Rolle, dass L11 bereits über eine jahrelange eigene Erfahrung verfügte, welche mit unseren Vorschlägen zusammen zu einer Umstellung des Unterrichts bei L11 führte. Dagegen musste L12 den Unterricht nicht umstellen, da hier keine gefestigten Vorerfahrungen vorlagen. L12 war daher wohl eher bereit unsere Vorschläge annähernd so umzusetzen, wie sie von uns formuliert worden waren. An dieser Stelle muss ausdrücklich erwähnt werden, dass hier keine Wertung des Unterrichts stattfindet. Vielmehr soll auf die Unterschiede hingewiesen werden, damit erkennbar werden kann, wie beide Vorgehensweisen zu Änderungen für unsere Konzeption beigetragen haben.

Neben einer Reihe von Unterschieden, gab es einige ähnliche Besonderheiten, die im Unterricht von L11 und von L12 aufgetreten waren.

- Schüler interessieren sich stark für das Thema *Auswirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper.*
- Sowohl bei L11, als auch bei L12 hatten die Schüler Probleme das Struktur-Eigenschafts-Konzept anzuwenden.
- L11 griff jeweils nach einem Schülervortrag bestimmte Aspekte nochmals auf und besprach diese mit dem Kurs.
- L12 griff nach dem Gruppenpuzzle bestimmte Aspekte nochmals auf und besprach diese mit dem Kurs.

Für die letzten beiden Punkte lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die Vermittlung von Wissen von Schülern für Schüler bestimmte Tücken aufweist.

Dabei kann sowohl das zu vermittelnde Wissen vom Vortragenden selber nicht richtig nachvollzogen worden sein, oder das Thema ist doch so anspruchsvoll, dass ein einfacher Vortrag nicht ausreicht, um es angemessen darzustellen. Die aufgeführten Punkte spielten auch im zweiten Zyklus eine Rolle.

2.4. Der zweite Zyklus

Im zweiten Zyklus wurde mit sieben Lehrkräften, die im Folgenden L21 bis L27 genannt werden, zusammengearbeitet. Alle hatten sich freiwillig auf einen Aufruf hin gemeldet. Auf einem Treffen vor den Sommerferien mit interessierten Lehrkräften, wurden Chemie im Kontext, unser Vorschlag für den Jahrgang, sowie unsere Erwartungen an die Lehrkräfte vorgestellt. Mit den etwa zwölf Erschienenen wurde ein Termin direkt zu Beginn des neuen Schuljahres vereinbart und ihnen auch mitgeteilt, dass sie sich bis dahin überlegen sollten, ob sie mitarbeiten möchten. Die Gruppe, welche sich nach den Sommerferien traf, bestand aus sieben Lehrkräften, dabei waren sowohl drei erfahrenere Lehrkräfte, als auch vier, welche noch recht neu in ihrem Beruf waren. Jedoch gab es niemanden, der zu diesem Zeitpunkt weniger als ein Jahr unterrichtet hatte. Von denen, die nicht mehr erschienen waren, hatten zwei abgesagt, weil sie wider Erwarten doch keinen Unterricht im elften Jahrgang hatten.

Um den neuen Lehrkräften unsere Ideen vom Ablauf der Einheit zu vermitteln, wurde ihnen beim ersten Treffen ein einseitiges Dokument ausgeteilt, auf welchem die Einheit in Stichpunkten dargestellt wurde. Der Inhalt ist in Anhang A nachlesbar. An geeigneten Stellen wurden dabei die im ersten Zyklus gemachten Erfahrungen in die Besprechung eingeflochten. Dies waren vor allem folgende Hinweise

- Schüler interessieren sich vor allem für die Thematik „Auswirkungen von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper“.
- Aufgabenstellungen für fachlich anspruchsvolle arbeitsteilige Gruppenarbeiten sollten sich fachlich überlappen, sich aber kontextlich unterscheiden.
- Schüler haben Probleme beim Verständnis des Struktur-Eigenschafts-Konzepts. Für diese Einheit bedeutet dies z. B., dass sie Probleme haben den Verlauf von Eigenschaften wie Löslichkeit oder Siedepunkte innerhalb der homologen Reihe zu erklären.

Im zweiten Durchgang fanden keine Hospitationen mehr statt. Dafür wurden gemeinsame Treffen im Abstand von etwa vier bis sechs Wochen abgehalten. Diese Treffen dienten dabei sowohl zur Abstimmung einer gemeinsamen Vorgehensweise, wie auch einer Nachbesprechung des gelaufenen Unterrichts. Letzteres diente uns als Feedback über die praktische Umsetzung bei den einzelnen Lehrkräften. Weiterhin wurde im Anschluss an die Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* ein Schüler-Fragebogen ausgegeben, sowie die Lehrkräfte gebeten einen Feedback-Fragebogen auszufüllen.

Den Lehrkräften wurde auch dieses Mal eine CD-ROM zur Verfügung gestellt. Eine entscheidende Veränderung in diesem Durchgang bestand jedoch darin, dass für die Schüler ebenfalls eine CD-ROM und zusätzlich ein Reader zusammengestellt wurde. Bei dem Reader handelte es sich im Wesentlichen um Texte mit Kontextbezug. Wir gingen davon aus, dass jedem Schüler zu Anfang des Schuljahres ein Schulbuch ausgeteilt werden würde. Da in diesem vorwiegend fachliche Informationen enthalten sind, galt es zusätzliche kontextliche Informationen bereitzustellen.

Auf den ersten fünf Treffen mit den Lehrkräften wurde sich u. a. mit der Kontexteinheit *Alkohol - zum Trinken viel zu schade?* beschäftigt. Zeitlich lagen diese wie folgt: Zu Anfang des Schuljahres, kurz vor den Herbstferien, kurz danach, kurz vor den Weihnachtsferien und kurz danach. Im ersten Treffen wurde die Einheit, entsprechend unserer Überarbeitung nach der ersten Phase, vorgestellt. Im zweiten, dritten und vierten Treffen wurden aktuelle Erfahrungen und sich beim Unterrichten ergebende Probleme besprochen. Das fünfte Treffen diente u. a. dazu die gemachten Erfahrungen in einem *Leitfaden für Lehrer* zusammenzufassen.

Im Folgenden werden drei Fallstudien vorgestellt. Anhand dieser soll u. a. verdeutlicht werden, wie unterschiedlich die Vorgaben von den Lehrkräften umgesetzt wurden. Es gilt zu betonen, dass die Ideen von *Chemie im Kontext* dabei zwar unterschiedlich interpretiert, jedoch immer beachtet wurden. Die Auswahl der Fallstudien geschah eher willkürlich. Da gerade die verschiedenen Möglichkeiten der Umsetzung vorgestellt werden sollen, wurde lediglich darauf geachtet, dass die beschriebenen Fälle einander nicht zu stark ähnelten.

2.4.1. *Fallstudie L21*

Im dritten Treffen waren u. a. die Probleme einer Lehrkraft, hier als L21 bezeichnet, Ausgangspunkt für die Diskussion. Für das dritte Treffen hatte L21 eine kleine Präsentation vorbereitet, um seine Vorgehensweise näher zu erläutern. Der Unterrichtsgang wich dabei deutlich von unseren Vorgaben ab, er ähnelte viel mehr dem Gang, von welchem wir zu Anfang abgerückt waren.

In der Erarbeitungsphase gab es elf Gruppen mit je zwei bis drei Schülern. Die Gruppen erarbeiteten sich arbeitsteilig die Thematik *Vom Alkohol zum Aromastoff*. Nach der Bearbeitung der jeweiligen Themenstellungen schloss sich eine Vortragsreihe an, welche mit der *Herstellung von Alkoholen* begann und mit dem *Estergleichgewicht* endete. Zustande gekommen war diese weite Themenspreizung auf Grund unterschiedlicher Ursachen. Zum einen hatte L21 ihre Schüler aufgefordert, zu Hause einmal im Reader und auf der CD zu stöbern. Das nachfolgende Brainstorming war entsprechend reichhaltig. Zum anderen hatte der Kurs eine recht hohe Anzahl an Schülern, was entsprechend eine hohe Anzahl an Themenstellungen nötig machte. Da L21 sowohl höhere Gruppenstärken, wie auch das Einrichten von Gruppen mit gleicher Themenstellung nicht in Erwägung ziehen wollte, ergab sich die skizzierte Konstellation. (Zusammengefasst nach PROTOKOLL2 und TRANSKRIPT ZU TREFFEN3)

Die Erfahrungen, welche L21 im Laufe der Einheit berichtete, waren dabei recht unterschiedlich. In der Phase der Themenbearbeitung berichtete L21, dass es recht anstrengend gewesen war, so viele unterschiedliche Gruppen zu betreuen, wörtlich äußerte sich L21: *„Der Anfang war ‚die Hölle'"* (L21-FEEDBACKBOGEN2) und bezog sich damit auf den *„extremen Arbeitsaufwand"*. Nach anfänglichen Schwierigkeiten war L21 aber sehr optimistisch. Insbesondere, da die ersten Vorträge zur Zufriedenheit von L21 ausgefallen waren, L21 führte dies u. a. darauf zurück, dass die Schüler des gesamten elften Jahrgangs auf zwei Projekttagen zu Beginn des Schuljahres einen Methodenkurs absolviert hatten. Nach eigener Aussage ging L21 bei den Vorträgen jeweils so vor, dass im Anschluss die im Vortrag aufgetauchten Aspekte im Klassengespräch gefestigt wurden. (zusammengefasst nach PROTOKOLL2 und TRANSKRIPT ZU TREFFEN3)

Durch die hohe Anzahl an Vorträgen bedingt, dauerte jedoch diese Phase der Unterrichtseinheit recht lange (bis in den Dezember hinein). Auch bedingten sich die Vorträge in der Hinsicht, dass sie z. T. aufeinander aufbauten bzw. den Inhalt anderer Vorträge voraussetzten. So berichtete L21, dass die Schüler den letzten Vorträgen nicht mehr aufmerksam folgten. Die Gründe hierfür waren wahrscheinlich vielfältig: Die Vortragenden konnten die theoretischen Aspekte nicht verständlich genug erklären, entsprechend verstanden die Zuhörenden wenig. Letztlich wurde von den Schülern eine methodische Abwechslung gewünscht. Auch berichtete L21 von Problemen bei der Gebung der Quartalsnoten, da zu dem Zeitpunkt, zu welchem diese gegeben werden sollten, einige Schüler noch nicht vorgetragen hatten. (zusammengefasst nach TRANSKRIPT ZU TREFFEN3 und TRANSKRIPT ZU TREFFEN4)

Die gemachten Erfahrungen fasste L21 so zusammen, dass der nächste Durchgang sicherlich anders strukturiert sein würde. Aus unserer Sicht sind diese Erfahrungen jedoch umso wertvoller, da sie unsere Überlegungen für die Planung der Einheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* im Wesentlichen bestätigen (vergleiche Abschnitt 2.2). Auch gilt es festzuhalten, dass die anderen Lehrkräfte z. T. ähnliche Probleme hatten, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägt.

Nach Abschluss der Unterrichtseinheit baten wir die Lehrkräfte, die Schüler einen von uns entworfenen Fragebogen ausfüllen zu lassen. Erfragt wurden dabei Einschätzungen der Schüler zu unterschiedlichen Aspekten des Unterrichts. Neben Fragen mit anzukreuzenden Auswahlmöglichkeiten wurden auch vier Fragen mit freier Antwortmöglichkeit gestellt. Im Folgenden wird nun eine Zusammenfassung dieser Antworten der Schüler von L21 gegeben. (Eine Zusammenfassung der Antworten auf die Fragen mit Auswahlmöglichkeit findet sich in Abschnitt 2.4.4, eine vollständige Darstellung findet sich in Anhang A)

Auf die Frage, was den Schülern an der Unterrichtseinheit besonders gut gefallen habe, wurden vor allem die Punkte *Auswirkungen von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper* und *die eigene Herstellung von Wein bzw. Bier* genannt. Bei letzterem wurde nicht nur die praktische Durchführung erwähnt, sondern auch die Theorie des Herstellungsprozesses. Weiterhin fanden viele Schüler es interessant, sich eigenständig Informationen zu erarbeiten und die Ergebnisse in Form eines Vortrags präsentieren zu dürfen. Punkte, die noch von den Schülern genannt wurden, betrafen u.a. das eigenständige Experimentieren, dass man sein Thema nach eigenem Interesse wählen konnte oder einzelne Aspekte der Theorie, wie die Besprechung der ablaufenden Reaktionen. Einem Schüler hat die Einheit gut gefallen, weil sie *„einfach mal was anderes“* gewesen sei.

In der nächsten Frage sollten die Schüler auflisten, was ihnen an der Einheit nicht gefallen hat. Hier merkten sie vor allem an, dass es viel Theorie gegeben hätte. Da diese hauptsächlich durch Referate von Schülern vermittelt worden sei, wäre sie schwer verständlich gewesen. Weiterhin bemängelten einige Schüler an, dass zu wenige Experimente durchgeführt worden seien. Vereinzelt wurde angemerkt, dass man z. T. Recherchen zu Hause machen musste, welche für den folgenden Unterricht keine Rolle gespielt hätten, z. B. über Weinsorten. Punkte die u. a. noch genannt wurden, waren die langweilige Präsentationen und dass zu viel vorausgesetzt und zu wenig wiederholt worden sei.

Dann wurden die Schüler gefragt, was für sie persönlich am wichtigsten war. Hier wurde an erster Stelle die *Wirkung von Alkohol auf den menschlichen Körper* genannt und einige Teilaspekte, wie die *Berechnung des Blutalkoholgehalts* oder eine Tabelle *Alkoholgehalt und die Einschränkung der Wahrnehmung*, besonders hervorgehoben. Weitere häufig genannte Punkte waren das *Brauen von Bier* und die *Verwendung von Alkohol* (außer zum Trinken). Punkte, die noch genannt wurden, waren u. a. einige spezielle theoretische Aspekte wie Redoxreaktionen oder Bindungslehre, Alkohol in der Medizin oder Eigenschaften von Alkohol. Ein Schüler war der Meinung, dass das Thema für ihn keine Bedeutung gehabt hätte, ein anderer, dass er gelernt hätte, dass Alkohol zum Trinken viel zu schade wäre. (In Anspielung auf den Titel der Unterrichtseinheit ersetzte er das Fragezeichen durch ein Ausrufezeichen.)

Schließlich wurden die Schüler gefragt, was sie glauben würden, worauf L21 besonderen Wert gelegt hätte. Die Mehrzahl der Schüler meinte, dass L21 besonderen Wert auf die selbstständige Erarbeitung eines Themas innerhalb einer Gruppe Wert gelegt hätte. Ein Schüler ergänzte dies mit der Bemerkung *„von Schülern für Schüler“*. Weiterhin hätte L21 auf die Klärung von Problemen nach einer Präsentation geachtet. Schließlich hätte L21 auf eine Reihe theoretischer Aspekte Wert gelegt, wobei sich hier eine recht breite Streuung ergab. Sie umfasste u. a.: Struktur-Eigenschaftsbeziehungen, Redoxreaktionen, Siedepunkte, Reaktionsgleichungen, Elementaranalyse und Bindungslehre.

2.4.2. *Fallstudie L22*

Bei L22 handelte es sich um eine erfahrene Lehrkraft. Der von L22 durchgeführte Unterrichtsgang entsprach weitestgehend unseren Vorgaben, mit folgenden Merkmalen: Die Berührungsphase wurde mit Hilfe eines Rätsels in Einzelarbeit gestaltet. In der Neugierphase wurde Wein und Bier hergestellt, so wie der Alkoholgehalt bestimmt. Im Anschluss an die arbeitsteilige Gruppenarbeit in der Erarbeitungsphase wurde lediglich kein Gruppenpuzzle durchgeführt, sondern die Ergebnisse durch Referate weitergegeben. Die Wissensüberprüfung fand in Einzelarbeit statt. Die Vertiefungsphase verlief in paralleler Gruppenarbeit, wenn experimentiert wurde, bzw. in Einzelarbeit, wenn geübt wurde. (Zusammengefasst nach L22-FEEDBACKBOGEN1)

L22 merkte unterschiedliche Probleme an. So wurde die Bestimmung des Alkoholgehalts mit Hilfe von Mikroapparaturen durchgeführt. Diese waren in nicht ausreichender Anzahl vorhanden und machten z. T. Frontalunterricht notwendig. Auch hatte der ungewohnte Umgang mit dieser speziellen Art von Apparaturen zu einiger Verzögerung geführt. (Zusammengefasst nach L22-FEEDBACKBOGEN1)

Weiterhin empfand L22 die Vorträge als zu oberflächlich, daher wurden diese jeweils im Anschluss nachbesprochen. L22 führte dies u. a. darauf zurück, dass die Schüler nicht bereit waren zu Hause ausgiebig zu recherchieren. So wären auch die Materialien von der CD nicht ausreichend zum Einsatz gekommen. Insgesamt empfand L22 die gesamte Phase als zu lang, nach Angaben von L22 wurden beinahe zwei Quartale benötigt um die gesamte Einheit durchzuführen. Daher regte L22 an, die Unterrichtseinheit in zwei kleinere aufzuteilen. Im Wesentlichen ging es L22 dabei darum, die lange Phase der Gruppenarbeit zu unterbrechen und erst einige Fragen bearbeiten zu lassen. Die erarbeitete Theorie könne von den Schülern z. B. in eine Lernkartei eingetragen werden. Schließlich lasse sich eine weitere Gruppenarbeitsphase anschließen. (Zusammengefasst nach L22-FEEDBACKBOGEN1)

L22 betonte, dass bei der von ihr ausprobierten Vorgehensweise sie den Zeitbedarf als sehr hoch einschätze, gegenüber dem unterrichteten Stoff. Um dies aufzufangen, sollten pro Gruppe nur ein bis zwei Texte zum Einsatz kommen. Auch wurde bemängelt, dass die von uns ausgeteilten Materialien (Reader und CD-ROM) nur wenige Informationen zu den Antworten auf die Fragen der Gruppenarbeiten lieferten. Auch wäre die Kluft zwischen Kontext und fachlichen Inhalten zu groß und noch nicht ausreichend überbrückt. (Zusammengefasst nach L22-FEEDBACKBOGEN1)

Im Folgenden werden die Antworten auf die freien Fragen im Schülerfragebogen des Kurses von L22 zusammenfassend vorgestellt.

Auf die Frage, was den Schülern an der Unterrichtseinheit besonders gut gefallen habe, wurden vor allem die Punkte *Weinherstellung* und *Destillation* genannt.

Allgemein wurden Experimente gerne durchgeführt, außer den bereits genannten wurde noch das Experiment zur *Brennbarkeit von Alkoholen* explizit genannt. Auch sehr gut kam bei den Schülern die Besprechung der *Auswirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper* und die *Berechnung des Blutalkoholgehalts* an.

In der nächsten Frage sollten die Schüler auflisten, was ihnen an der Einheit nicht gefallen hat. Hier merkten sie vor allem an, dass die Besprechung der *Theorie im Anschluss an die Experimente* zu viel gewesen wäre. Daneben hat interessanterweise einigen Schülern explizit das Experiment zur *Brennbarkeit* oder die *Destillation* nicht gefallen.

Dann wurden die Schüler gefragt, was für sie persönlich am wichtigsten war. Hier wurde an erster Stelle die *Auswirkungen von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper* genannt und die *Berechnung des Blutalkoholgehalts*. Weiterhin spielte die Berechnung des *Alkoholgehalts in Getränken*, die *Weinherstellung* und die *Einsatzgebiete von Alkohol* in den Schülerantworten eine Rolle.

Schließlich wurden die Schüler gefragt, was sie glauben würden, worauf L22 besonderen Wert gelegt hätte. Die Antworten der Schüler waren hier breit gestreut. Zum einen fanden einige, dass L22 auf die *Theorie* bzw. einzelne Aspekte wie *Struktur-Eigenschaftsbeziehungen*, *Nomenklatur* oder *Gärung* Wert gelegt hätte. Weiterhin wurden Punkte genannt wie die *selbstständige Erarbeitung* eines Themas, *Teamwork*, *alltagsbezogene Aufgaben*, *Destillation*, *Wirkung von Alkoholgenuss auf den Körper* oder *Verwendung von Alkoholen*.

2.4.3. *Fallstudie L23*

Lehrkraft L23 kann noch als Berufseinsteiger bezeichnet werden. Sie unterrichtete zwei Kurse im elften Jahrgang gleichzeitig, was bei den anderen beteiligten Lehrkräften nicht der Fall war. Von dem Unterrichtsablauf blieb L23 von den drei hier betrachteten Fällen am engsten an unseren Vorschlägen. Dies bedeutete in der Berührungsphase arbeitsteilige Gruppenarbeit, Frontalunterricht in der Neugierphase, arbeitsteilige Gruppenarbeit mit abschließendem Gruppenpuzzle in der Erarbeitungsphase und in der Vertiefungsphase wurde abermals frontal unterrichtet. (zusammengefasst nach PROTOKOLL2 und L23-FEEDBACKBOGEN1)

In der Vertiefungsphase wurden dabei Themen wiederholt, welche den Schülern im Verständnis Probleme bereitet hatten, bzw. deren Wiederholung von L23 als notwendig erachtet wurde. Dies waren u. a. Nomenklatur, Mol, molare Masse, insbesondere aber Struktur-Eigenschaftsbeziehungen mit den Unterpunkten Elektronegativität, polare und unpolare Bindungen, intermolekulare Wechselwirkungen. (Zusammengefasst nach L23-FEEDBACKBOGEN1)

L23 hatte den Eindruck, dass das Vorwissen der Schüler sowohl bezüglich des Fachwissens, als auch in Bezug auf das selbstständige Arbeiten sehr unterschiedlich war. L23 führte dies u. a. darauf zurück, dass eine Reihe an Schülern von der Realschule „quer eingestiegen“ seien. (Zusammengefasst nach TRANSKRIPT ZU TREFFEN3)

Nach eigenen Angaben empfand L23 nur im ersten Teil der Unterrichtseinheit, dass die Schüler selbstständig arbeiten konnten. Während der Bearbeitung komplexerer Fragestellungen hingegen, hätte L23 verstärkt Hilfestellung leisten müssen, da sonst die Schüler überfordert gewesen wären. Daher würde L23 bei einer erneuten Durchführung der Einheit die Erarbeitungsphase als Lernzirkel laufen lassen, da die Schüler sich erst an das freie Arbeiten gewöhnen müssten. (Zusammengefasst nach L23-FEEDBACKBOGEN1)

Im Folgenden werden die Antworten auf die freien Fragen des Schülerfragebogens von den zwei Kursen von L23 zusammenfassend vorgestellt.

Auf die Frage, was den Schülern an der Unterrichtseinheit besonders gut gefallen habe, wurden vor allem die *eigenständige Arbeit in Gruppen* und die *Durchführung von Experimenten* genannt. Explizit wurde die *Herstellung von Wein* bzw. *Bier* an erster Stelle aufgeführt, erwähnt wurden auch noch das Experiment zum *Nachweis von Alkohol in alltäglichen Stoffen*, das zur *Brennbarkeit* und das zur *Löslichkeit*. Auch wurde es von einigen Schülern als positiv empfunden, dass sie die Möglichkeit hatten ihre *erarbeiteten Ergebnisse anderen vorzustellen*. Sonst fanden einige Schüler gut, dass „*es nicht nur langweilige Theorie gegeben hätte*“, andere wiederum fanden „*chemische Formeln*“ gut. Schließlich wurde auch noch positiv erwähnt, dass man bei Problemen L23 ansprechen konnte.

In der nächsten Frage sollten die Schüler auflisten, was ihnen an der Einheit nicht gefallen hat. Hier merkten sie vor allem an, dass die *Theorie schwer zu verstehen und langweilig* gewesen sei. Explizit wurden die Punkte *Molberechnung* und *Elementaranalyse* genannt. Bemängelt wurde auch, dass man *durch die arbeitsteilige Gruppenarbeit nur Experte für ein Thema* gewesen sei, ein Schüler meinte, dass man *bei Gruppenarbeit weniger lernen* würde, als im „normalen“ Unterricht. Bei einem der zwei Kurse von L23 mussten anscheinend einige Experimente auf Grund von Zeitmangel entfallen. Dies wurde von einigen Schülern negativ angemerkt.

Dann wurden die Schüler gefragt, was für sie persönlich am wichtigsten war. Hier wurde an erster Stelle die *Wirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper* genannt, gefolgt von der *Wein- bzw. Bierherstellung* und dem *Nachweis von Alkohol in alltäglichen Stoffen*. Aber auch einige theoretische Punkte, wie *funktionelle Gruppen* oder *Grundlagen der Chemie* wurden erwähnt. Weiterhin fanden einige Schüler es für sich persönlich wichtig, *Experimente durchgeführt* zu haben. Ein Schüler fand die Thematik Alkohol allgemein interessant.

Schließlich wurden die Schüler gefragt, was sie glauben würden, worauf L23 besonderen Wert gelegt hätte. Hier meinte eine große Zahl der Schüler, dass L23 auf die *eigenständige Erarbeitung* Wert gelegt hätte. Einige Schüler waren der Ansicht, dass L23 auf *ergebnisorientiertes Arbeiten innerhalb der Gruppen* geachtet hätte. Ein Schüler meinte, dass L23 wollte, dass alle Schüler dasselbe wissen. Weiterhin hätte L23 auf das *Verständnis der Theorie* geachtet, insbesondere auf die *Struktur der Alkohole* und den sich daraus *ableitbaren Eigenschaften*. Einige Schüler deuteten dies so, dass L23 wolle, dass man *gemachte Beobachtungen erklären könne*.

2.4.4. *Vergleich der Antworten auf die Auswahlfragen im Schülerfragebogen*

In diesem Abschnitt werden die Antworten auf einige Auswahlfragen im Schülerfragebogen näher vorgestellt. Angegeben werden die Antworten aller Schüler der beteiligten Lehrkräfte, weiterhin werden die Antworten der Schüler von L21, L22 und L23 diesen gegenübergestellt. Die gesamten gestellten Auswahlfragen, inklusive der Angaben, wie alle befragten Schüler und im Einzelnen die von L21, L22 und L23 darauf geantwortet haben, finden sich in Anhang B.

Die Fragen waren dabei so aufgebaut, dass den Schülern Aussagen über den vorangegangenen Unterricht präsentiert wurden und sie gefragt wurden, ob sie diesen Aussagen zustimmen können oder ob sie sie ablehnen würden. Es gab fünf vorgegebene Abstufungen: *stimmt völlig*, *stimmt eher*, *stimmt teils/teils*, *stimmt eher nicht*, *stimmt gar nicht*. Damit hatten die Schüler die Möglichkeit zum Ausdruck zu bringen, dass sie bezüglich einer Aussage unentschieden sind. Eine künstliche Befürwortung oder Ablehnung durch die Bildung von nur vier Abstufungen wurde bewusst vermieden.

Bezüglich der Aussagen *mir hat das Thema gut gefallen* und *ich habe viel dazugelernt* herrscht eine breite Zustimmung von Seiten der Schüler, insbesondere wurden diese Aussagen nur von wenigen abgelehnt. Die Ergebnisse der Kurse von L23 fallen ähnlich aus. Dagegen zeigen die Antworten der Schüler von L21 und L22 ein jeweils noch positiveres Bild.

„Mir hat das Thema inhaltlich gut gefallen“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	68%	78%	75%	68%
Teils / teils	28%	18%	15%	29%
Eher ablehnend	4%	4%	10%	3%
„In der Unterrichtseinheit zum Alkohol habe ich viel dazugelernt“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	56%	70%	70%	50%
Teils / teils	31%	26%	20%	38%
Eher ablehnend	13%	4%	10%	12%

Tabelle 8 Zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Fragen, ob ihnen das Thema inhaltlich gut gefallen und ob sie viel dazugelernt hätten.

Etwas anders verhält es sich mit der Aussage, *dass theoretische Aspekte im Vordergrund gestanden hätten*. Betrachtet man das Antwortverhalten aller Schüler, dann könnte man dies wie folgt deuten: jeweils etwas mehr als ein Viertel der Schüler würden dies eher bejahen bzw. verneinen, während die Mehrheit der Schüler sich bei diesem Aspekt nicht entscheiden kann. Dies verhält sich bei L21, L22 und L23 jeweils etwas anders. Um die prozentualen Angaben einfacher miteinander vergleichen zu können, wurden die befürwortenden und die ablehnenden Aussagen zusammengefasst. Das Resultat ist in der folgenden Tabelle 9 zu sehen. Als erstes fällt auf, dass bei L21 eine große Mehrheit der Schüler dieser Aussage zustimmen kann. Hingegen ist eine Mehrheit der Schüler bei L22 und L23 unentschieden in ihrer Auffassung. Bei L22 stimmen noch etwas mehr als ein Viertel der Schüler dieser Aussage eher zu, bei L23 wird die Aussage von etwas mehr als einem Viertel der Schüler eher abgelehnt.

„Ich fand, dass die Erarbeitung von theoretischen Aspekten des Themas deutlich im Vordergrund stand."	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	32%	59%	30%	18%
Teils / teils	40%	26%	55%	56%
Eher ablehnend	28%	15%	15%	26%

Tabelle 9 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob im Unterricht die Theorie im Vordergrund gestanden hätte.

Danach gefragt, *ob die erlernte Theorie beim Verständnis der Thematik geholfen hätte*, äußerten sich vier von zehn Schülern eher unentschieden, während drei von zehn dem eher zustimmen konnten und zwei von zehn dies eher ablehnten. Für L21, L22 und L23 ergaben sich jeweils ähnlich Ergebnisse, mit etwas weniger ablehnender Haltung der Schüler von L23 und etwas stärkerer Ablehnung bei den Schülern von L22.

„Die theoretischen Aspekte des Themas haben mir geholfen, das Thema Alkohol insgesamt besser zu verstehen."	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	41%	44%	40%	41%
Teils / teils	41%	37%	30%	47%
Eher ablehnend	18%	19%	30%	12%

Tabelle 10 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob Theorie beim Verständnis der Thematik Alkohol geholfen hätte.

Es schloss sich die Frage an, *ob die Schüler im Unterricht etwas Neues über Alkohol erfahren hätten, was sie für ihr Leben als wichtig einstufen würden*. Hier antworteten die Schüler sehr breit gestreut, also in etwa ein Drittel konnte dieser Aussage eher zustimmen, ein Drittel war unentschieden und ein Drittel lehnte diese Aussage eher ab. Diese Verteilung traf so auf die Kurse von L21, L22 und L23 nicht zu. Während bei L21 und L22 eine Mehrheit dieser Aussage zustimmen konnte, und nur in etwa ein Viertel sie ablehnten, waren es bei L23 weniger als ein Viertel der Schüler, welcher dieser Aussage positiv gegenüber standen, während die Mehrheit ihr eher ablehnend gegenüber stand.

„Ich habe etwas Neues über Alkohol gelernt, was für mein eigenes Leben wichtig ist.“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	33%	44%	50%	24%
Teils / teils	32%	30%	25%	29%
Eher ablehnend	35%	26%	25%	47%

Tabelle 11 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob sie etwas Neues gelernt hätten, was für ihr Leben wichtig ist.

Schließlich wurden die Schüler gefragt, *ob das, was sie am Thema Alkohol interessieren würde, im Unterricht behandelt wurde*. Allgemein antworteten die Schüler hier eher ablehnend und es gab auffallend wenig Zustimmung. Insbesondere, was die niedrige Zustimmung angeht, wurde dieses Ergebnis in etwa auch so bei der Befragung der Kurse von L21, L22 und L23 erzielt. Im Bereich der unentschiedenen und eher ablehnenden Haltung gab es leichte Verschiebungen.

„Die Aspekte des Themas Alkohol, die mich interessierten haben wir im Unterricht behandelt.“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	11%	11%	15%	18%
Teils / teils	32%	52%	10%	26%
Eher ablehnend	57%	37%	70%	56%

Tabelle 12 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob die Aspekte, die sie interessiert hätten, im Unterricht behandelt wurden.

Aus dem Bereich der Fragen, welche sich mit der methodischen Umsetzung beschäftigen, werden nun noch drei Ergebnisse näher vorgestellt.

Erst einmal wurden die Schüler danach gefragt, *ob sie im Unterricht die Möglichkeit gehabt hätten, mit ihren Mitschülern zu diskutieren*. Betrachtet man wieder erst alle Schüler zusammen, so hatte eine Mehrheit der Schüler eine eher zustimmende Haltung und in etwa ein Drittel hatte eine eher ablehnende Haltung. Dagegen nahmen bei L21 und L22 die Schüler mehrheitlich eine ablehnende Haltung ein, wogegen sie bei L23 dieser Aussage fast vollständig positiv gegenüber standen.

„Im Chemieunterricht hatten wir die Möglichkeit, mit unseren Mitschülern zu diskutieren.“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	57%	33%	40%	94%
Teils / teils	12%	18%	5%	3%
Eher ablehnend	31%	49%	55%	3%

Tabelle 13 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob sie die Möglichkeit im Unterricht zu diskutieren.

Uns interessierte weiterhin, *ob die Schüler das Gefühl hätten, dass sie sich eine Reihe an Aspekten selbstständig, z. B. mit Hilfe von Büchern, erarbeiten mussten*. Bei der Betrachtung der gesamten Antworten gab es hier mehrheitlich eher Zustimmung und kaum Ablehnung. Die Ergebnisse der Befragung der Schüler von L21, L22 und L23 konnten dieses Ergebnis bestätigen. Unterschiede gab es nur im Grad der Zustimmung.

„Viele Aspekte der Thematik wurden uns nicht vom Lehrer vermittelt, sondern wir mussten sie uns selbstständig (mit einem Buch oder anderen) Informationsquellen) erarbeiten.“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	65%	78%	70%	73%
Teils / teils	27%	22%	20%	24%
Eher ablehnend	8%	0%	10%	3%

Tabelle 14 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob sie sich Aspekte der Thematik selbstständig erarbeiten mussten.

Schließlich soll an dieser Stelle noch betrachtet werden, ob die Schüler der Meinung waren, dass sich *die Einheit zum Thema Alkohol vom vorherigen Chemieunterricht deutlich unterschieden hätte*. Bei Betrachtung der gesamten Schüler zeigte sich, dass hier mehrheitlich eher Zustimmung signalisiert wurde. Diese fiel bei L21 und L23 sogar noch deutlicher aus. Bei L22 waren die Eindrücke der Schüler unterschiedlich. Während etwas mehr als ein Drittel dieser Aussage eher zustimmen konnte, waren es aber auch fast genauso viele, welche eher Ablehnung signalisierten.

„Ich fand, dass sich die letzte Unterrichtseinheit deutlich vom bisherigen Chemieunterricht unterschieden hat.“	Alle Schüler	L21	L22	L23
Eher zustimmend	58%	81%	40%	71%
Teils / teils	21%	11%	25%	23%
Eher ablehnend	21%	8%	35%	6%

Tabelle 15 Bezüglich der Einschätzung zusammengefasste prozentuale Verteilung der Schülereinschätzungen auf die Frage, ob sich die letzte Unterrichtseinheit vom bisherigen Chemieunterricht unterschieden hätte.

2.4.5. *Ergänzung der Fallstudien um die Umfrageergebnisse*

Die angeführten Ergebnisse des Schülerfragebogens sollen dazu dienen die Beschreibung der Fallstudien auszuschärfen. Weiterhin vermitteln sie bestimmte Einsichten in die Denkweise von Schülern. Um die Fallstudien näher diskutieren zu können, werden diese noch jeweils um eine Zusammenfassung der Ergebnisse des vorhergehenden Abschnitts ergänzt. Im anschließenden Abschnitt werden die Unterrichtsgänge und die Meinungen der Lehrkräfte und Schüler zueinander in Beziehung gesetzt.

2.4.5.1. Zusammenfassung der Umfrageergebnisse für Fallstudie L21

Die im vorhergehenden Abschnitt 2.4.4 vorgestellten Ergebnisse lassen sich in Bezug auf L21 wie folgt zusammenfassen. Den Schülern hatte die Unterrichtseinheit insgesamt gut gefallen und sie sind der Meinung etwas dazugelernt zu haben. Sie fanden, dass sich diese Unterrichtseinheit deutlich vom bisherigen Unterricht unterschieden hatte. Sie mussten sich viele Aspekte der Thematik selber erarbeiten. Überwiegend kamen die Schüler zu der Überzeugung, dass die Theorie dabei im Vordergrund stand, jedoch fanden deutlich weniger Schüler, dass ihnen die Theorie geholfen hätte, die Thematik besser zu verstehen, allerdings konnten die Schüler dieser Aussage mehrheitlich zumindest teilweise zustimmen. Obwohl eine Reihe der Schüler der Meinung war, etwas Wichtiges für ihr eigens Leben dazugelernt zu haben, fanden nur sehr wenige, dass im Unterricht das behandelt wurde, was sie am Thema interessiert hätte.

2.4.5.2. Zusammenfassung der Umfrageergebnisse für Fallstudie L22

Die im vorhergehenden Abschnitt 2.4.4 vorgestellten Ergebnisse lassen sich in Bezug auf L22 wie folgt zusammenfassen. Den Schülern hat die Unterrichtseinheit insgesamt gut gefallen und sie sind der Meinung etwas dazugelernt zu haben. Sie vertraten aber keine einhellige Auffassung, bezüglich der Frage, ob sich diese

Unterrichtseinheit deutlich vom bisherigen Unterricht unterschieden hatte. Allerdings kamen sie mit deutlicher Mehrheit zu der Überzeugung, dass sie sich viele Aspekte der Thematik selber erarbeiten mussten. Überwiegend empfanden die Schüler, dass die Theorie zumindest teilweise im Vordergrund stand, auch fand eine große Mehrheit der Schüler, dass ihnen die Theorie zumindest teilweise geholfen hätte, die Thematik besser zu verstehen. Obwohl eine Reihe der Schüler der Meinung war, etwas Wichtiges für ihr eigens Leben dazugelernt zu haben, fanden nur sehr wenige, dass im Unterricht das behandelt wurde, was sie am Thema interessiert hätte.

2.4.5.3. Zusammenfassung der Umfrageergebnisse für Fallstudie L23

Die im vorhergehenden Abschnitt 2.4.4 vorgestellten Ergebnisse lassen sich in Bezug auf L23 wie folgt zusammenfassen. Den Schülern hat die Unterrichtseinheit insgesamt gut gefallen und sie sind der Meinung etwas dazugelernt zu haben. Sie vertraten die Auffassung, dass sich diese Unterrichtseinheit deutlich vom bisherigen Unterricht unterschieden hatte und kamen zu der Überzeugung, dass sie sich viele Aspekte der Thematik selber erarbeiten mussten. Überwiegend empfanden die Schüler, dass die Theorie teilweise im Vordergrund stand, noch mehr Schülern konnten der Aussage, dass ihnen die Theorie zumindest teilweise geholfen hätte, die Thematik besser zu verstehen zumindest teilweise zustimmen. Allerdings fanden nur wenige der Schüler, etwas Wichtiges für ihr eigens Leben dazugelernt zu haben, ähnlich wenige waren der Meinung, dass im Unterricht das behandelt wurde, was sie am Thema interessiert hätte.

2.4.6. *Diskussion*

Bei den beschriebenen Fallstudien fällt zuerst einmal auf, dass jede der Lehrkräfte die Unterrichtseinheit unterschiedlich durchgeführt hat, unterschiedlich sowohl von den anderen beiden, als auch hinsichtlich der von uns gemachten Vorschläge. Allerdings gilt es festzustellen, dass man in allen drei Fällen von Unterricht sprechen kann, wie er der Idee von Chemie im Kontext entspricht. Die Lehrkräfte haben vielmehr die vielfältigen Möglichkeiten genutzt und so unterschiedliche Variationen von Unterricht nach Chemie im Kontext durchgeführt. Dies lässt sich an verschiedenen Merkmalen festmachen. Diese werden nun anhand der drei Säulen von Chemie im Kontext (Methodik, Kontextorientierung und Basiskonzepte) beleuchtet und gleichzeitig diskutiert.

2.4.6.1. Methodik

Bezüglich des methodischen Vorgehens wird von Chemie im Kontext der Einsatz von Methoden gefordert, mit deren Hilfe es den Schülern ermöglicht wird selbstständig zu lernen. L21, L22 und L23 haben sich in ihrem Unterricht für arbeitsteilige Gruppenarbeit, parallele Gruppenarbeit und Frontalunterricht entschieden. L21 und L22 haben weiterhin auf Schülerreferate zur Ergebnispräsentation gesetzt, während L23 für ihre Schüler ein Gruppenpuzzle bevorzugte. Von

Seite der Schüler her wird eindeutig bestätigt, dass die Lehrkräfte auf das eigenständige Erarbeiten eines Themas Wert gelegt hätten. Dies besagen sowohl die freiformulierten Antworten, wie auch die Antworten auf die Auswahlfragen.

Dabei belegen die Antworten der Schüler auch, dass ihnen das selbstständige Arbeiten Spaß gemacht hat. Sie meinen damit sowohl das eigenständige Experimentieren, als auch die eigenständige Erarbeitung eines Themas. Allerdings zeigen die Aussagen der Lehrkräfte, dass diese mit den Ergebnissen der eigenständigen Bearbeitung eines Themengebiets nicht immer zufrieden waren. Ihnen ging die Aufarbeitung nicht „tief genug“.

Probleme bezüglich der Vermittlung durch Referate wurden sowohl von den Schülern, als auch von den Lehrkräften berichtet. Hier scheint es so zu sein, dass sich Themen, welche fachwissenschaftliches Wissen zur Erläuterung vermitteln müssen, eher ungeeignet sind.

2.4.6.2. Kontextorientierung

Als ein gemeinsames Merkmal kristallisierte sich heraus, dass Schüler das Thema *Wirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper* interessant fanden. Hierzu zählen auch die untergeordneten Punkte *Berechnung des Blutalkoholgehalts*, die Beziehung zwischen dem *Blutalkoholgehalt und der Beeinflussung der Wahrnehmung*, sowie der *Abbau von Alkohol durch den menschlichen Körper*. Weiterhin fanden die Schüler es interessant *Wein oder Bier selber herzustellen* und etwas über die *Herstellungsverfahren* zu lernen. Schließlich kam auch der *Nachweis von Alkohol(en) in alltäglichen Stoffen* gut bei den Schülern an.

Bei all diesen Themen handelt es sich um solche, von denen behauptet werden kann, dass sie sich am Alltag orientieren und in diesem eine unmittelbare Bedeutung haben. Je nach Strukturierung des Unterrichtsablaufs, lassen sich diese Themen sowohl in der Begegnungs-, Neugier- oder Erarbeitungsphase behandeln. Damit kann ohne Bedenken von alltagsorientiertem Chemieunterricht gesprochen werden, wie er von JUST definiert worden ist (vergleiche Abschnitt 1.1).

Allerdings gilt es zu beachten, dass die Schüler die Auffassung vertraten, dass die Lehrkräfte mehr auf die Theorie als auf den Kontext Wert gelegt hätten. Dies belegen sowohl die freien, wie auch die Auswahlantworten der Schüler auf die entsprechenden Fragen. Hier gilt es zu prüfen, ob die von Schülern aufgeführten Themen den Unterricht noch stärker prägen können, als bislang in der Einheit und ob die Behandlung der Themen so verändert werden kann, dass theoretische Betrachtungen - auch aus Sicht der Schüler - angebracht erscheinen.

2.4.6.3. Basiskonzepte

Von den Schülern wird in den freien Antworten ausdrücklich hervorgehoben, dass die Lehrkräfte mehr auf die Theorie Wert gelegt hätten, als auf die Kontexte. Insbesondere das Struktur-Eigenschafts-Konzept wird von den Schülern hier ausdrücklich genannt. Damit haben sie auch das wichtigste Basiskonzept genannt, welches innerhalb dieser Einheit eine Rolle spielt. Im Prinzip ist beabsichtigt, dass auf das vorhandene Wissen um die Struktur-Eigenschafts-Beziehung von Wasser aufgebaut wird und dieses um den Einfluss eines unpolaren Restes erweitert wird.

Von den Lehrkräften wird allgemein berichtet, dass dies sehr schwer fällt und dass zumindest eine Wiederholung des bereits bekannten Teils des Konzepts aus der Sekundarstufe I vor Begin der Unterrichtseinheit wünschenswert wäre.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass chemisches Fachwissen innerhalb des Unterrichts einen ausreichend großen Stellenwert gehabt hat. Allerdings bekommt dies einen negativen Beigeschmack, wenn man berücksichtigt, dass gerade die theoretischen Aspekte der Unterrichtseinheit von den Schülern bemängelt wurden. Typischerweise wurden sie als schwer nachvollziehbar eingestuft.

Dem könnten zwei einander bedingende Aspekte zu Grunde liegen: Von den Schülern wurde die Theorie nur unzureichend verstanden, daher hakten die Lehrkräfte nach und besprachen diese nochmals. Dies führte dazu, dass die Schüler den Eindruck bekamen, die Lehrkräfte würden mehr Wert auf die Theorie legen und diese zu erlernen stellte sich als anstrengend heraus. Da von einer Reihe von Schülern weiterhin geäußert wurde, dass die theoretischen Betrachtungen ihnen zu keinen weitergehenden Einsichten verholfen hätte, wird verständlich, warum diese als ungeliebt eingestuft wird: Der Aufwand des Lernens wurde nicht belohnt. (Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine Reihe von Schülern die Theorie als unfruchtbar einstufte, weil sie sich ihnen nicht richtig erschlossen hat.)

2.4.7. *Schlussfolgerungen*

Ein Punkt, den es hervorzuheben gilt bevor man Schlussfolgerungen für eine Optimierung der Unterrichtseinheit zieht, ist, dass man es nie allen Schülern wird Recht machen können. So fanden einige Schüler es interessant, etwas über den theoretischen Hintergrund bestimmter Aspekte zu erfahren, auch schrieben einige wenige, dass die Theorie zu kurz kam. Damit standen diese im Gegensatz zu der Mehrheit ihrer Mitschüler, die sich gegenteilig äußerten. Ein weiteres Beispiel lässt sich im Bereich der Experimente aufzeigen. Manche Schüler fanden bestimmte Experimente langweilig, welche von anderen explizit als interessant eingestuft wurden.

Eine vollständige Zustimmung aller Schüler kann somit gar nicht erwartet werden. Zwar ließe sich durch eine Binnendifferenzierung, wie sie beispielsweise bei der arbeitsteiligen Gruppenarbeit möglich ist, ein wenig gegensteuern, letztlich sprechen aber die Vorgaben des Lehrplans gegen einen größeren Freiraum.

Allerdings gilt es auch festzuhalten, dass, neben der positiven Einschätzung der Punkte *eigenständiges Arbeiten* und *Alltagsorientierung* seitens der Schüler, noch einige Aspekte problematisch erscheinen. Hierzu zählt die Verknüpfung von theoretischen Aspekten zu Alltagsbezügen. Als gelungen könnte man diese ansehen, wenn Schüler den Aufwand des Lernens akzeptieren. Dies könnte sich z. B. einstellen, wenn sich Phänomene oder Fragen damit erklären lassen und weitere Anwendungsprobleme geklärt werden können (vergleiche hierzu die Theorie des *conceptual change* z. B. bei POSNER, STRIKE, HEWSON & GERTZOG (1982), NIAZ (1998) oder auch die Darstellung in Abschnitt 1.4.5 in dieser Arbeit). Betrachtet man diesen Einwurf der Schüler vor dem Hintergrund der kritisch-kommunikativen Didaktik (vergleiche Abschnitt 1.1.1.1), so müssen wir, d. h. die Schaffer der Einheiten und auch die Lehrenden) mehr in die Pflicht nehmen, um die Bedeutung der fachwissenschaftlichen Theorie deutlicher zu machen. Für den Erfolg von alltagsorientiertem Chemieunterricht dürfte es ein entscheidender Punkt sein, ob es gelingt gelungene Beispiele zu finden, anhand derer die Bedeutung der Theorie für den Alltag besonders deutlich wird.

Dabei zeigte es sich, dass durch die Schaffung eines Alltagsbezugs alleine der Aufwand beim Lernen von Fachwissen nicht erleichtert wird, allerdings kann dieser den Lernprozess sinnstiftend unterstützen. Es bedarf daher auch in einem kontextorientierten Chemieunterricht genauer Überlegungen, wie man die entsprechende Theorie vermittelt. Diese Aussage wird von den Ergebnissen des zweiten Halbjahres wesentlich gestützt (vergleiche die Abschnitt 3.2 und 3.3).

2.4.8. *Erarbeitung einer Lehrerhandreichung zur Unterrichtseinheit* Alkohol – zum Trinken viel zu schade?

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die in Anhang A gezeigte Lehrerhandreichung auf Basis der Mitarbeit der Lehrkräfte im zweiten Zyklus zu Stande gekommen ist. Dazu wird aufgeführt, welche Aspekte auf den entsprechenden Treffen mit den Lehrkräften diskutiert wurden.

2.4.8.1. Treffen 1

Im ersten Treffen, welches direkt nach den Sommerferien 2001 stattfand, wurde im Wesentlichen unser Vorschlag für die Durchführung der Unterrichtseinheit vorgestellt. In der Form, wie er in Anhang A gezeigt ist, bekamen die Lehrkräfte eine Kopie davon. Weiterhin wurden die gemachten Erfahrungen aus dem ersten Zyklus geschildert und die einzelnen Punkte diskutiert.

(Zusammengefasst nach PROTOKOLL1)

2.4.8.2. Treffen 2

Das zweite Treffen fand kurz vor den Herbstferien statt. Nach allgemeiner Einschätzung der Lehrkräfte waren etwa zwei Drittel der Einheit zum Thema Alkohol bereits unterrichtet worden. In der Besprechung wurde deutlich, dass die Vorgehensweisen bei drei Lehrkräften deutlicher von unserem gemachten Vorschlag abwichen, während die restlichen sich in etwa daran gehalten hatten. Eine Lehrkraft, hier mit L26 bezeichnet, fand ihre Schüler so leistungsschwach, dass sie nach den eingehenden Referaten zum Frontalunterricht übergegangen war. Entsprechend war der Unterrichtsgang bei L26 auch am weitesten fortgeschritten. Bei der hier mit L27 bezeichneten Lehrkraft war ein Referendar hinzugekommen, welcher die Erarbeitungsphase als Lernzirkel gestalten wollte. Weiterhin war L21 deutlicher abgewichen, was bereits in Abschnitt 2.4.1 eingehender beschrieben wurde.

L23 und L25 wiesen auf das Problem der Inhomogenität des Vorwissens der Schüler hin, was insbesondere bei L25 dazuführte, dass kurze Wiederholungen von Stoff der Sekundarstufe I eingeschoben wurden.

Alle Lehrkräfte hatten zu Anfang Brainstorming mit den Schülern veranstaltet. Einige hatten dazu allerdings die Schüler zuvor explizit aufgefordert im Reader und auf der CD-ROM zu Hause zu recherchieren. Von diesen Schülern wurde berichtet, dass sie auch Fragen entwickelten, welche, aus Sicht der Lehrkräfte, für den folgenden Unterricht hilfreich gewesen seien. Dagegen schien es, dass die Schüler, welche nicht zuvor recherchiert hatten, zwar auch reichhaltige Ideen hatten, jedoch die Lehrkräfte stärker eingreifen mussten, um den nachfolgenden Unterricht zu strukturieren. Das Thema *Auswirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper* wurde von den Schülern als Gruppenarbeitsthema favorisiert.

(Zusammengefasst nach PROTOKOLL2)

2.4.8.3. Treffen 3

Das dritte Treffen fand vier Wochen später statt. Auf diesem wurden konkretere Probleme diskutiert, welche sich bei einzelnen Lehrkräften ergeben hatten. Die Diskussion verlief dabei häufig so, dass ein Problem angesprochen wurde und man sich gegenseitig berichtete, wie dieser Aspekt im Unterricht abgelaufen sei. Stellte sich ein angesprochener Punkt als ein allgemeineres Problem heraus, so wurde nach Lösungsmöglichkeiten dafür gesucht.

Bei mindestens zwei Lehrkräften (L23 und L25) war das Vorwissen der Schüler sehr inhomogen. L25 versuchte dies aufzufangen, indem sie kurze Wiederholungsphasen an geeigneten Stellen einschob. L21 setzte sich für eine Wiederholungsphase zu Beginn des Schuljahres ein, um erst danach mit der Unterrichtseinheit zu beginnen. Für die Themen, welche wiederholt werden sollten, wurden von den Lehrkräften in großer Übereinstimmung die folgenden genannt: Bindungslehre, zwischenmolekulare Kräfte (inkl. Wasserstoffbrückenbindungen), die Begriffe Mol (Stoffmenge) und molare Masse, welche gut voneinander unterschieden werden sollten.

Weiterhin plädierte L23 dafür, die Schüler anfangs nicht „völlig alleine“ arbeiten zu lassen, denn manche seien diese Methode nicht gewöhnt und fühlten sich dann für die lange Zeit der Gruppenarbeitsphase alleine gelassen. So waren bei L23 einzelne Gruppen bezüglich ihrer Ergebnisse verunsichert. Daher hätte L23 diesen bestätigen müssen, dass sie auf dem richtigen Weg seien, aber noch „*tiefer schauen sollten*“. L21 meinte jedoch, dass gerade dass Thema *Alkohol* sich für freieres Arbeiten anbieten würde. L24 berichtete in diesem Zusammenhang von einem Beispiel, bei welchem ihre Schüler ein Experiment (Destillation) mit dem Wissen der siebten Klasse erklären würden und dies sei in diesem Rahmen nicht mehr angebracht. Daher hätte auch sie dies für einen Einschub zum Thema Destillation zum Anlass genommen.

Ein weiteres der angesprochenen Probleme betraf die Länge der Gruppenarbeitsphase mit anschließender Vorstellung der Ergebnisse. In der Diskussion war man sich schließlich einig, dass diese reduziert werden müsse. Hierfür wurden hauptsächlich zwei Gründe genannt. Zum einen war die Erarbeitung von theoretischem Hintergrundwissen bei den meisten Gruppen den Lehrkräften nicht ausreichend gewesen und man musste zusätzliche Zeit aufwenden, um diese zu besprechen, zum anderen war man der Meinung, dass es schwer sei, die Schüler in dieser Phase zu beurteilen. Da die Gebung von Quartalsnoten anstünde, hätte man für diese eine schwache Beurteilungsbasis.

Auf Grund der genannten Probleme wurde als Lösungsansatz diskutiert die Unterrichtseinheit aufzuteilen: in einen leichteren Teil mit freierer Arbeit und einen gelenkteren Teil mit schwierigeren Themen.

(Zusammengefasst nach TRANSKRIPT ZU TREFFEN3)

2.4.8.4. Treffen 4

Auf dem vierten Treffen, welches kurz vor Weihnachten stattfand, wurden die Themen des vorherigen Treffens aufgegriffen und Vorschläge für eine geänderte Vorgabe diskutiert.

Man war sich einig in dem Bestreben, die eigenständige Gruppenarbeit mit anschließenden Vorträgen zu verkürzen bzw. umzugestalten. L24 untermauerte diese Forderung mit einer eigenen Umfrage bei ihren Schülern, wo diese die Verkürzung dieser Phase explizit gefordert hätten. Weiterhin regten die Schüler an, den Austausch der Ergebnisse der Gruppenarbeit zu verbessern, z. B. in dem man bereits Zwischenergebnisse austausche. L25 bestätigte, dass der Austausch zwischen den Gruppen recht schlecht gelaufen sei. Um die Defizite bei der Wissensvermittlung aufzufangen, hätte L25 im Anschluss an einzelne Vorträge die Klausurrelevanten Themen nochmals aufgegriffen und vertiefend besprochen.

Als einen Ansatz, dem Vermittlungsdefizit vorzubeugen, wird die Möglichkeit des Erstellens einer Zusammenfassung für die Mitschüler (Thesenpapier) genannt. Dies sollte vom Lehrer begutachtet werden, so meinen L24 und L25, dass man damit die Auswirkungen von schwächeren Vorträgen abmildern könne.

Für die Umstrukturierung der Unterrichtseinheit setzte sich nach allgemeiner Diskussion folgende Variante durch: Nach der Berührungsphase, wird mit einer arbeitsteiligen Gruppenarbeit begonnen. Die Themen hierfür, sollten von fachlicher Seite her keine schwierigen Erklärungen erfordern. Dabei kämen z. B. folgende in Frage: *Weinherstellung*, *Bierherstellung*, *Auswirkungen auf den menschlichen Körper*, *Nachweis von Alkohol in alltäglichen Stoffen* und eventuell *Geschichtliches zu alkoholischen Getränken*, *optimale Bedingungen für den Gärprozess*. Danach schließe sich eine Phase gelenkteren Arbeitens an, wie z. B. ein Lernzirkel. Der fachliche Inhalt soll sich mit Struktur-Eigenschaftsbeziehungen beschäftigen und so z. B. die Eigenschaften von Alkohol erläutern oder erklären, warum Alkohol in alltäglichen Stoffen Verwendung findet. Zur abschließenden Vertiefung würden sich dann Themen wie Reaktionen von Alkoholen oder die Elementaranalyse anbieten.

Als Alternative wurde eine Neugierphase diskutiert, in welcher in paralleler Gruppenarbeit wahlweise Wein- oder Bier hergestellt wird. Während des Gärprozesses könnten dann Fragen für das weitere Vorgehen entwickelt werden. Die Erarbeitungsphase bliebe im Wesentlichen gleich, lediglich die Themen Wein- und Bierherstellung würden für die arbeitsteilige Gruppenarbeit entfallen.

(Zusammengefasst nach TRANSKRIPT ZU TREFFEN3)

2.4.8.5. Erstellung der Lehrerhandreichung

Auf Basis dieses Feedbacks wurde von uns eine Lehrerhandreichung zur Unterrichtseinheit Alkohol – zum Trinken viel zu schade? erstellt. Diese wurde allen beteiligten Lehrkräften zugänglich gemacht und in einem weiteren Treffen nach den Weihnachtsferien gemeinsam überarbeitet. Eine gekürzte Fassung der überarbeiteten Fassung ist in Anhang A abgebildet. Von den Lehrkräften wurde gewünscht, einen allgemeineren Einführungsteil zu den Ideen von Chemie im Kontext den Ausführungen zur Einheit voranzustellen. Dieser Teil wurde in Anhang A nicht abgebildet, er ist aber im Wesentlichen identisch mit KRILLA & RALLE (2003).

Bei der in Anhang A gezeigten Fassung der Lehrerhandreichung sind die Anregungen der Lehrkräfte weiter eingearbeitet worden. Diese waren z. T. recht konkret, wie etwa der Vorschlag, Schülerfragen über einen längeren Zeitraum mit Hilfe einer Wandtapete und / oder in Form eines Mind-Maps zu sammeln. Manchmal schien es mir aber auch angemessener offenere Formulierungen mit in die Lehrerhandreichung aufzunehmen, bzw. verschiedene Vorgehensweisen als Alternativen zur Auswahl anzubieten. Damit sollen unterschiedliche Aspekte verfolgt werden.

- Aufgrund der Arbeit mit verschiedenen Lehrkräften konnten wir feststellen, dass jede ihre bestimmten Vorlieben hat. Durch das Anbieten vielfältiger Auswahlmöglichkeiten soll jede Lehrkraft, die nach Chemie im Kontext unterrichten möchte, sich in den Vorschlägen wiederfinden können. Damit soll vermieden werden, den Lehrkräften allzu große Schritte auf ein für sie noch unbekanntes Terrain zu zumuten.

- Auch soll nicht der Eindruck entstehen, als hätte die Gruppe den Königsweg gefunden, nachdem diese Einheit unterrichtet werden müsse. Vielmehr vertreten wir die Auffassung, dass es verschiedene, gleichwertige Möglichkeiten gibt dies zu tun. Je nach Persönlichkeit der Lehrkraft und Schülerklientel kann allerdings eine der Möglichkeiten eher in Frage kommen, als eine andere[1]. Durch das Aufführen verschiedener Vorschläge geben wir den professionellen Lehrkräften die Möglichkeit eine geeignete Auswahl zu treffen.
- Schließlich sind wir der Auffassung, dass eine Unterrichtseinheit nicht einfach weitergegeben werden kann. Nach unserer Ansicht können lediglich Erfahrungen und Anregungen beispielhaft vermittelt werden. Auf dieser Basis kann dann eine interessierte Lehrkraft (in Einzel- oder Zusammenarbeit mit anderen Lehrkräften) ihre „persönliche Unterrichtseinheit“ konstruieren.

Die in Anhang A gezeigte überarbeitete Fassung der Lehrerhandreichung diente u. a. dazu, im nächsten Zyklus neu hinzukommende Lehrkräfte zu informieren oder sich neubildende Gruppen von Lehrkräften mit dieser Unterrichtseinheit vertraut zu machen.

2.4.8.6. Beispiel: Eine Gruppe von Lehrkräften in Baden-Württemberg

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projekts wurden in verschiedenen Bundesländern Gruppen mit jeweils zwölf Lehrkräften (je zwei von sechs unterschiedlichen Schulen) gebildet. U. a. das Set in Baden-Württemberg entschied sich für die Planung und Durchführung der Einheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?*. Um die hier beteiligten Lehrkräfte zu informieren, diente neben den bereitgestellten Unterrichtsmaterialien auf CD-ROM die von uns zuvor erarbeitete Lehrerhandreichung. Die Art und Weise, wie mit dieser gearbeitet wurde, entsprach dabei unseren Absichten. Auf Basis unseres Vorschlags wurde eine eigenständige Einheit geplant und erprobt. Auch wenn sich einige unserer Ausführungen innerhalb des baden-württembergischen Vorschlags wiederfinden lassen, wurde von diesen Lehrkräften ein hoher Arbeitsaufwand sowohl in die detaillierte Planung der Einheit, wie in die Ausarbeitung der Materialien gesteckt, so dass sie sich ihre eigene Unterrichtseinheit geschaffen haben.

Der Ablauf dieser Einheit sieht dabei wie folgt aus: Die Begegnungsphase umfasste dabei ein Brainstorming, welches eine arbeitsteilige Gruppenarbeit nach sich zieht. Für die Neugierphase wurde der informierende Besuch einer Weinkellerei bzw. einer Brauerei vorgeschlagen, alternativ könnte ein Film ge-

[1] Ein Beispiel soll dies illustrieren: So berichtete etwa eine Lehrkraft, dass sie die Begegnungsphase mit Hilfe eines Bibeltextes (Die Hochzeit zu Kana) gestaltet hätte. Insbesondere hätten die Schüler eine Reihe an Fragen entwickeln können, welche für die Gestaltung des folgenden Unterrichts sehr hilfreich gewesen wären. Von diesem Bericht angeregt probierte dann L22 diese Vorgehensweise aus und berichtete, dass bei ihren Schülern der Bibeltext schlecht angekommen sei und keine weiterführenden Fragen gestellt wurden.

zeigt werden, falls sich eine Exkursion als nicht durchführbar erweist. Die Erarbeitungsphase teilt sich in drei Teile. Der erste Teil beschäftigt sich mit Alkohol als Genussmittel und umfasst z. B. ein Praktikum zur alkoholischen Gärung. Dabei wird beabsichtigt, dies in arbeitsteiliger Gruppenarbeit durchzuführen. Im zweiten Teil wird die Summenformel und Strukturformel von Ethanol aufgeklärt. Diese Phase könnte z. B. in klassischem Frontalunterricht durchgeführt werden. Der abschließende Teil der Erarbeitungsphase trägt den Titel *Weitere Anwendung von Alkoholen*. Für die Vertiefungsphase ist ein Lernzirkel vorgesehen, in welchem die Schüler einerseits weitere Alkohole und ihre Verwendung kennen lernen sollen, andererseits sollen sie das Anwenden des Struktur-Eigenschafts-Konzepts üben. Ein Merkmal dieses Vorschlags ist es, dass sich Phasen freieren Arbeitens mit klassischeren bzw. gelenkteren Phasen im Unterricht abwechseln. Dies ist ausdrücklich gewollt, da man sich von einer solchen Rhythmisierung des unterrichtlichen Ablaufs Vorteile gegenüber längeren Phasen mit gleichbleibender Methodik verspricht.

Ein Ergebnis dieses Beispiels war sicherlich auch, dass der von uns bis dahin erarbeitete Entwurf noch einmal einer Überarbeitung bedurfte, denn von einer einzelnen interessierten Lehrkraft könnte ein vergleichbarer Arbeitsaufwand nicht geleistet werden. Neben einer übersichtlicheren Darstellung müsste außerdem eine bessere Zuordnung der vorhandenen Materialien mit aufgenommen werden. Es hatte sich gezeigt, dass dies u. a. eine Ursache dafür war, dass die baden-württembergische Arbeitsgruppe nahezu alle Materialen nochmals selbst erstellt hatte.

2.5. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Am Beispiel der Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* wurde dokumentiert, wie man auf Basis des von EILKS & RALLE (vergleiche Abschnitt 1.5) vorgeschlagenen Modells der Aktionsforschung Chemieunterricht gestalten, erproben und erforschen kann. Die Ergebnisse des hier beschriebenen Prozesses sind dabei vielfältiger Natur. Ganz entsprechend Abbildung 24 ergaben sich

(a) weitergebildete Lehrkräfte,

(b) eine entwickelte Unterrichtspraxis,

(c) dokumentierte Lehrerfahrungen,

(d) neue Unterrichtskonzepte und Medien, sowie

(e) neue Erkenntnisse über Lernprozesse.

Durch die diskursive Arbeit in den Treffen kann man mit Recht behaupten, dass eine Weiterbildung der Lehrkräfte stattgefunden hat. So sprach L23 z. B. davon, dass sie im letzten Jahr mehr gelernt hätte, als die Jahre zuvor. Dies bedingt dann auch, dass die Unterrichtspraxis weiterentwickelt wurde. Dies geht dabei sogar über die hier behandelte Unterrichtseinheit hinaus. In den Treffen berichteten einzelne Lehrkräfte immer wieder, dass sie verschiedene Aspekte, wie z. B. bestimmte Methoden, auch in anderem Unterricht ausprobiert hätten.

Die dokumentierte Lehrerfahrung und die neuen Unterrichtskonzepte wurden einerseits hier geleistet, andererseits - mit der Erstellung der Lehrerhandreichung durch die Arbeitsgruppe der beteiligten Lehrer - an dieser Stelle näher beschrieben. In Anhang A ist weiterhin eine Überarbeitung dieser vorläufigen Lehrerhandreichung zu sehen. Sie ist übersichtlicher gestaltet und berücksichtigt auch die Ergebnisse der Schülerbefragung, welche bei der ersten Erstellung noch nicht vorlagen. Die Querverweise auf vorhandene Unterrichtsmaterialien sind in Anhang A nicht mit abgebildet. Allerdings finden sie sich in der Version, welche im Internet unter *www.chik.de*[1] zum Download bereitgestellt wurde. Das im Zuge dieses Prozesses neue Unterrichtsmaterialien entstanden sind, bedarf keiner ausdrücklichen Erwähnung.

Schließlich wurden auch Erkenntnisse über Lernprozesse gewonnen. Hierzu gehören einerseits die recht speziellen Informationen über die Schülerinteressen zu dieser Unterrichtseinheit. Allerdings lassen sich z. B. einige der Erkenntnisse auch auf andere Situationen übertragen.

So wurde dokumentiert, dass Schüler und Lehrkräfte unterschiedliche Maßstäbe anlegen, wenn es darum geht, ein Thema zufriedenstellend zu bearbeiten. Während die Schüler es zwar als positiv empfanden, sich ein (selbstgewähltes) Arbeitsthema im Rahmen einer kleinen Gruppe zu erarbeiten, zeigten sie sich doch mit der anschließenden Vermittlung der Ergebnisse unzufrieden. Bemängelt wurde beispielsweise, dass man von den Vorträgen der Mitschüler schlecht lernen könne. Die Lehrkräfte empfanden die Bearbeitung der Themen häufig als zu oberflächlich und sahen es als notwendig an, diese im Anschluss vertieft zu besprechen. Diese Vorgehensweise scheint schließlich dazu geführt zu haben, dass die Schüler glaubten, die Lehrkräfte würden ihr Augenmerk im Wesentlichen auf theoretische Aspekte legen. Die hier beobachtete und beschriebene Konstellation legt den Schluss nahe, dass sich die Methode der arbeitsteiligen Gruppenarbeit nur bedingt eignet, wenn es darum geht, komplexeres Fachwissen über Schülerpräsentationen zu vermitteln. Zwar waren die vorgeschlagenen Themenstellungen für die Gruppenarbeiten so gewählt, dass unterschiedliche Aspekte des Kontextes von verschiedenen Gruppen überlappend bearbeitet werden sollten, es musste jedoch festgestellt werden, dass diese Vorgehensweise sich in der praktischen Arbeit nicht zu bewähren scheint. Die aufgeführten Probleme hätten ansonsten nicht so markant in Erscheinung treten dürfen.

Vergleicht man diese Erkenntnisse mit denen, welche HUNTEMANN, PASCHMANN, PARCHMANN & RALLE (1999) auf Basis einer singulären Erprobung der Einheit *Treibstoffe in der Entwicklung – Benzin und Alternativen* berichten, so

[1] Die genaue URL lautet *www.chik.de* > *Materialien* > *Download*, es handelt sich um eine Dateisammlung im Zip-Format, welche zusätzlich einige Unterrichtsmaterialien umfasst. Sie wurde am 03.06.2003 in das Internet gestellt.

ähneln sich einige der aufgeführten Aussagen von Schülern bzw. der Lehrkraft, mit denen, welche im Rahmen unserer Arbeit gemacht worden sind. Auch WOEST (1996) kann von ähnlichen Ergebnissen berichten. In einem Projekt zum alltagorientierten Chemieunterricht mit dem Thema *Organische Stoffe des Alltags* setzte WOEST in verschiedenen Schulklassen den von ihm so benannten *Wahlorientierten Chemieunterricht* um. Ein Kennzeichen des wahlorientierten Chemieunterrichts besteht in einer ausgedehnten Phase arbeitsteiliger Gruppenarbeit (vergleiche Abschnitt 1.1.2.1). Die Ergebnisse, die von WOEST berichtet werden, spiegeln nahezu die unserigen wider: die Schüler zeigten ein starkes Interesse an Experimenten, die Durchführung der Gruppenarbeit war beliebt, jedoch entstand eine Unzufriedenheit bei der Ergebnisvermittlung. Allerdings berührten sowohl die Einheit von HUNTEMANN, sowie das Projekt von WOEST einen deutlichen größeren inhaltlichen Rahmen. Während bei der von uns durchgeführten Einheit die Schüler sich alle mit demselben Stoff beschäftigten und verschiedene Erkenntnisse darüber zusammentrugen, wurden in der Einheit *Treibstoffe in der Entwicklung – Benzin und Alternativen* nicht nur über Alkane aus Erdöl, sondern beispielsweise auch über Biodiesel oder Wasserstoff gesprochen. Bei dem Projekt *Organische Stoffe im Alltag* gab es ebenfalls ein sehr breites Spektrum, typische Themen für die arbeitsteilige Gruppenarbeit waren Lacke & Farben, Lebensmittelzusatzstoffe, Klebstoffe bzw. Kunststoffe.

Daher war nicht unbedingt zu erwarten, dass unsere Ergebnisse z. B. denen von WOEST derart ähneln würden, insbesondere, da wir der Meinung waren bereits Maßnahmen ergriffen zu haben (z. B. bei den Vorschlägen der Themen für die arbeitsteilige Gruppenarbeit, wobei die Gruppen die gleichen chemischen Theorien allerdings an verschiednen Beispielen lernen sollten), welche dem Vermittlungsproblem vorbeugen sollten. Daher sehen wir in unseren Befunden, zusammen mit denen von WOEST und HUNTEMANN, PASCHMANN, PARCHMANN & RALLE, eine Bekräftigung, den Einsatzbereich der Methode der arbeitsteiligen Gruppenarbeit auf die Bereiche zu beschränken, bei denen bei der gegenseitigen Präsentation nur eine dosierte Menge an Faktenwissen vermittelt werden soll. Die Vermittlung von *prozeduralem Wissen*[1] (z. B. des Konzeptes der Struktur-Eigenschaftsbeziehung, welches nicht nur einfach erinnert, sondern in durch Anwendung gefestigt werden muss) kann besser mit anderen Methoden vermittelt werden, wie z. B. dem Gruppenpuzzle oder dem Lernen an Stationen, was z. B. EILKS zeigen konnte (EILKS (2002), EILKS & LEERHOFF (2001). Für eine Übersicht zum Lernen und Lernerfolg in offenen Unterrichtsformen vergleiche

[1] Zu diesem Begriff erläutert Graf (2000): *„Der Terminus wird in der neueren Literatur benutzt, einerseits um die Bedeutung des anwendungsfähigen Prozess- und Verfahrenswissens – im Gegensatz zum bloßen Sach- und Faktenwissen, aber auch in Abgrenzung zum übergeordneten Werte- oder Orientierungswissen – hervorzuheben, andererseits um zu verdeutlichen, dass es beim nachhaltigen Lernen und Erwerb von ausbaufähigem Wissen nicht um das Definieren von Begriffen, das Wiedergeben von Formeln, Benennen von Regeln usw. geht, sondern vielmehr in erster Linie um das Fördern der intrinsischen Motivation und das Anwenden von Lern- und Problemlösestrategien sowie das Erkennen von Zusammenhängen – letztlich basierend auf dem Aufbau ausbaufähiger neuronaler Netze.“*

man LAZAROWITZ (1995)). Dieses Schlussfolgerung ist dabei aus konstruktivistischer Sicht alles andere als überraschend (vergleiche Abschnitt 1.1.1.3). Die gewonnene Erkenntnis lässt sich in eingängiger Weise wie folgt fassen: Ist die frontalen Vermittlung von Wissen von der Lehrkraft zu den Schülern schon nicht ideal, so wird durch Austausch der (professionellen) Lehrkraft durch einen (laienhaften) Mitschüler die Methode sicherlich nicht besser.

Weiterhin zeigte sich in unserer Befragung, dass Schüler zwar gerne experimentieren, jedoch scheinen sie weniger an einer Besprechung der Ergebnisse interessiert zu sein. Ein sehr empfindlicher Punkt im Rahmen eines kontextorientierten Unterrichts ist daher die Verknüpfung von Phänomen, Kontext und Theorie. Da theoretische Erkenntnisse benötigt werden, um bestimmte im Kontext auftretende Phänomene zu erläutern, muss man sich fragen, ob diese immer mit Hilfe von modellhaften Experimenten erarbeitet werden müssen ((pseudo-) induktive Vorgehensweise). Vielleicht sollte man hier andere Wege gehen, wie z. B. durch Angeben einer Theorie und deren Übertragung auf den Kontext und das dazugehörige Modellexperimente (deduktive Vorgehensweise).

Dem Experiment könnten andere Aufgaben im Unterricht zufallen, wie etwa der Motivierung der Schüler, dem Erlernen von handwerklichem Arbeiten, sowie eines verantwortungsvollen Umgangs mit Chemikalien und dem Zusammenarbeiten innerhalb einer Gruppe.

Das Durchführen von Experimenten ist untrennbar mit dem Fach Chemie verbunden, jedoch setzt diese Fertigkeit nicht unmittelbar das theoretische Verständnis der ablaufenden Prozesse voraus, wie umgekehrt aus der Kenntnis der Theorie nicht unmittelbar auf die experimentelle Durchführung geschlossen werden kann[1]. Die Forderung nach Betonung der der erkenntnisleitenden Funktion des Experiments im Unterricht dominiert bis heute die didaktische Rechtfertigung des Experimentierens im Schulunterricht (vgl. z. B. BADER (2002, S. 292 - 293) oder im Lehrplan von Nordrhein-Westfalen (Abschnitt 1.2).

Hingegen haben schon HOFSTEIN & LUNETTA (1982) auf die Bedeutung von sozialen Aspekten beim Experimentieren im Unterricht hingewiesen. Bei ihnen tritt die Funktion des Experiments als Erarbeitungsexperiment oder als Beitrag zur Problemlösung in den Hintergrund. Dagegen erhalten die psychomotorische Anforderungen und die sozialen Funktionen einen höheren Stellenwert.

> *„Laboratory activity has the potential to enhance constructive social relationships as well as positive attitudes and cognitive growth. The cooperative team effort required by many laboratory activities may promote positive social interactions involving cohesiveness, task orientation, goal di-*

[1] Zwar lassen sich aus einer umfassenden Kenntnis der Abläufe eine experimentelle Vorgehensweise vorschlagen, jedoch muss diese meist noch optimiert werden. Beispielsweise gibt es in der chemischen Industrie ganze Abteilungen, die sich der Verfahrensentwicklung widmen. Dies geschieht zwar theoriegeleitet, jedoch wird am Ende auch hier experimentiert und anhand der erhaltenen Daten weitergearbeitet.

> *rection, democracy, satisfaction, and other factors measured on the LEI [= Learning Environment Inventory].“*
>
> HOFSTEIN & LUNETTA (1982)

Auf Grund der angeführten Ergebnisse und den daraus gezogenen Schlussfolgerungen wurde der Vorschlag für die Durchführung der Einheit abermals überarbeitet. Die Phase der arbeitsteiligen Gruppenarbeit wurde kürzer gehalten und enthält die Durchführung von Experimenten. Die vorgeschlagenen Themenstellungen erfordern dabei nur noch die Weitergabe von Faktenwissen, wie z. B. die unmittelbar einsichtigen Ergebnisse der Experimente (beispielsweise: *Ethanol löst sich in Wasser und in Öl;* oder: *Mit Hustensaft fiel der Nachweis auf Alkohole positiv aus*). Das zur Erlangung von weiteren Einsichten notwendige Fachwissen wird in einem nachgeschaltetem Lernzirkel erworben. In diesem wird vor allem der Frage „Warum ...?“ nachgegangen und somit versucht *prozedurales Wissen* sinnstiftend zu vermitteln. Auf die zuvor ermittelten Fakten wird hierbei zurückgegriffen.

3. Ein Kurs zur kontextorientierten Einführung des chemischen Gleichgewichts

In diesem Kapitel wird ein halbjähriger Kurs zur Einführung des chemischen Gleichgewichts vorgestellt. Die drei Kontexteinheiten werden zu Beginn kurz skizziert, dabei wird verdeutlicht, wie sie aufeinander aufbauen. Ein wesentliches Merkmal dieses Kurses ist, dass die Schüler ihre erste Begegnung mit dem Konzept des chemischen Gleichgewichts über ein computergestütztes Tutorium zur Einführung in die Stoßtheorie machen (vergleiche Abschnitte 1.4.1.4 und 1.4.1.5). Die unterrichtlichen Erfahrungen, welche bei dem Einsatz des Tutoriums gesammelt worden sind, werden geschildert. Während im ersten Zyklus vorrangig auf die prinzipielle Durchführbarkeit des Kurses geachtet wurde, interessierten wir uns im zweiten Zyklus für die Lernleistung der Schüler. Im zweiten Zyklus wurde daher über eine Fragebogenstudie und eine sich anschließende Interviewstudie näher untersucht, wie verschiedene Aspekte des Konzepts von den Schülern wiedergegeben bzw. angewandt wurden. Die Darstellung der Ergebnisse dieser Untersuchung, sowie die von uns gezogenen Schlussfolgerungen machen den größten Teil dieses Kapitels aus. Schließlich wird gezeigt, welche Schlussfolgerungen wir aus den Ergebnissen gezogen haben. Dabei werden sowohl konkrete Vorschläge für Änderungen im Ablauf des Kurses erarbeitet, sowie allgemeinere Hinweise gegeben, die auch auf andere Kurse zur Einführung in das chemische Gleichgewicht von Relevanz seien könnten.

Im ersten Abschnitt wird nun der Kurs zur kontextorientierten Einführung in das Konzept des chemischen Gleichgewichts vorgestellt.

3.1. Skizze des halbjährigen Kurses zur kontextorientierten Einführung des chemischen Gleichgewichts

Bei dem Konzept des chemischen Gleichgewichts handelt es sich um eines der Basiskonzepte von *Chemie im Kontext*. Die Leitideen von *Chemie im Kontext* sehen vor, dass ein Basiskonzept nicht innerhalb einer Unterrichtseinheit vermittelt wird, sondern, dass jede Unterrichtseinheit etwas Neues zu einem Basiskonzept beisteuert und dabei auf bereits vorhandenes Wissen bei den Schülern aufbaut. Da die Schüler allerdings in der Sekundarstufe I noch nichts über Gleichgewichtsreaktionen erfahren haben, findet in der elften Jahrgangsstufe die Einführung in dieses Konzept statt. Im ersten Halbjahr der elften Jahrgangsstufe wurden zwei Unterrichtseinheiten zu den Themen Alkohol und Essig unterrichtet (vergleiche Abschnitt 2.1), welche sich nicht mit dem chemischen Gleichgewicht beschäftigten.

Um nur eine einfache Abdeckung des Lehrplans für den 11. Jahrgang zu erreichen, hätten sicherlich zwei weitere Einheiten, eine zu dem Thema *Ester* und ein Stoffkreislauf, ausgereicht. Untersuchungen zum Lehren und Lernen des chemischen Gleichgewichts haben jedoch gezeigt, dass Schüler sich dabei häufig schwer tun und diverse Fehlvorstellungen entwickeln (vergleiche Abschnitt 1.4.2). Daher wurde eine dritte, kleine Einheit entworfen, welche aus fachsystematischer Sicht vorwiegend die Schüler in das Konzept des chemischen Gleichgewichts einführen sollte. Damit konnten auch die auf konstruktivistischen Annahmen beruhenden Ideen von *Chemie im Kontext* besser umgesetzt werden. Nach diesen tragen mehrere Einheiten zum Erlernen eines Konzepts bei. Hiermit wird u. a. die Hoffnung verknüpft, dass die Schüler erkennen, dass dieselben Konzepte, also dieselben Erklärungsmuster, in unterschiedlichen Kontexten Verwendung finden. Die fachliche Vernetzung der verschiedenen Kontexte soll den Schülern somit deutlich werden.

In Abbildung 28 ist die fachliche Vernetzung der drei Kontexteinheiten für den halbjährigen Kurs zur Einführung in das chemische Gleichgewicht gezeigt. In der Einheit *Saure Reiniger im Haushalt* lernen die Schüler eine einfache Version der Stoßtheorie kennen. Mit ihrer Hilfe wird der Zustand des dynamischen Gleichgewichts beschrieben und die Verschiebung der Gleichgewichtslage erklärt (vergleiche Abschnitt 1.4.1.2). In der Einheit *Fruchtig – aber nicht natürlich?* wird hierauf aufgebaut, die Schüler lernen zusätzlich das Massenwirkungsgesetz kennen, mit dem quantitative Aussagen möglich werden. In der letzen Einheit des elften Jahrgangs wird ein Stoffkreislauf aus Natur und Umwelt besprochen. Hier wurde vorgeschlagen, den Kohlenstoffkreislauf innerhalb der Einheit *Ozeane und der Treibhauseffekt* zu bearbeiten (vergleiche PASCHMANN, DE VRIES, LÜCHTENBERG, ARSHADI & PARCHMANN (2000)).

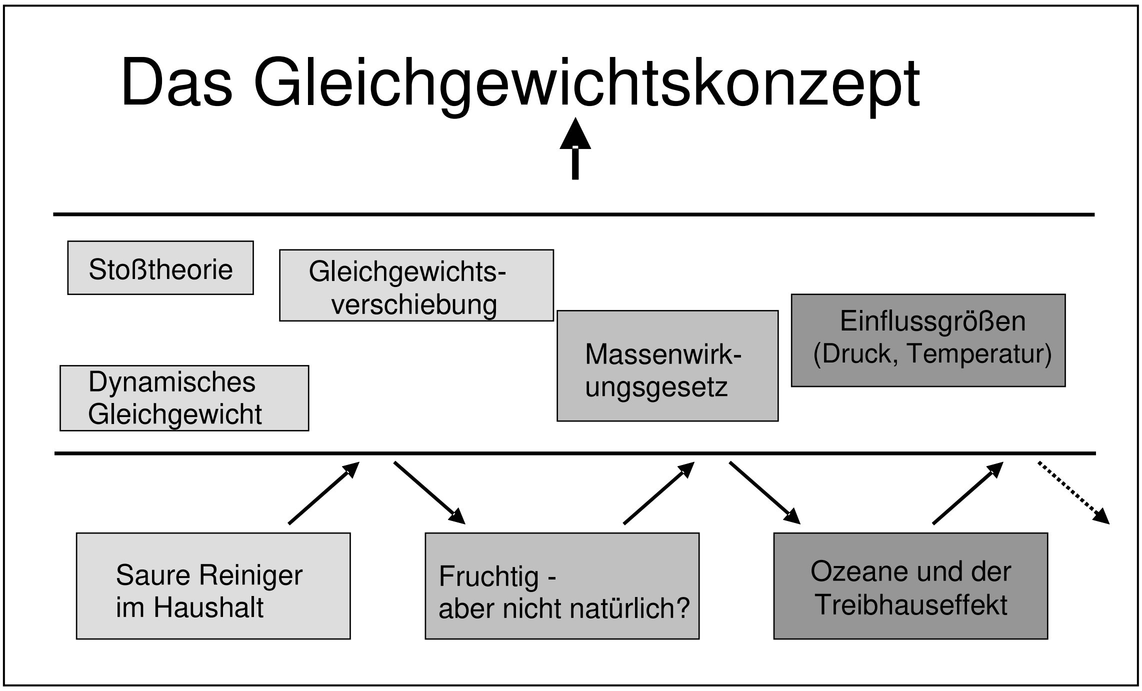


Abbildung 28 Beitrag der einzelnen Einheiten zum Gleichgewichtskonzept.

Die Inhalte der drei Einheiten werden im Folgenden kurz umrissen. Weiterhin wird jeweils aufgezeigt, welche Beiträge die einzelnen Einheiten zur Erfüllung des Lehrplans beitragen.

3.1.1. *Saure Reiniger im Haushalt*

Abbildung 29 verschafft einen Überblick über die gesamte Einheit. Sie zeigt die Einheit in der für Chemie im Kontext typischen Vier-Phasen-Einteilung einer Unterrichtseinheit.

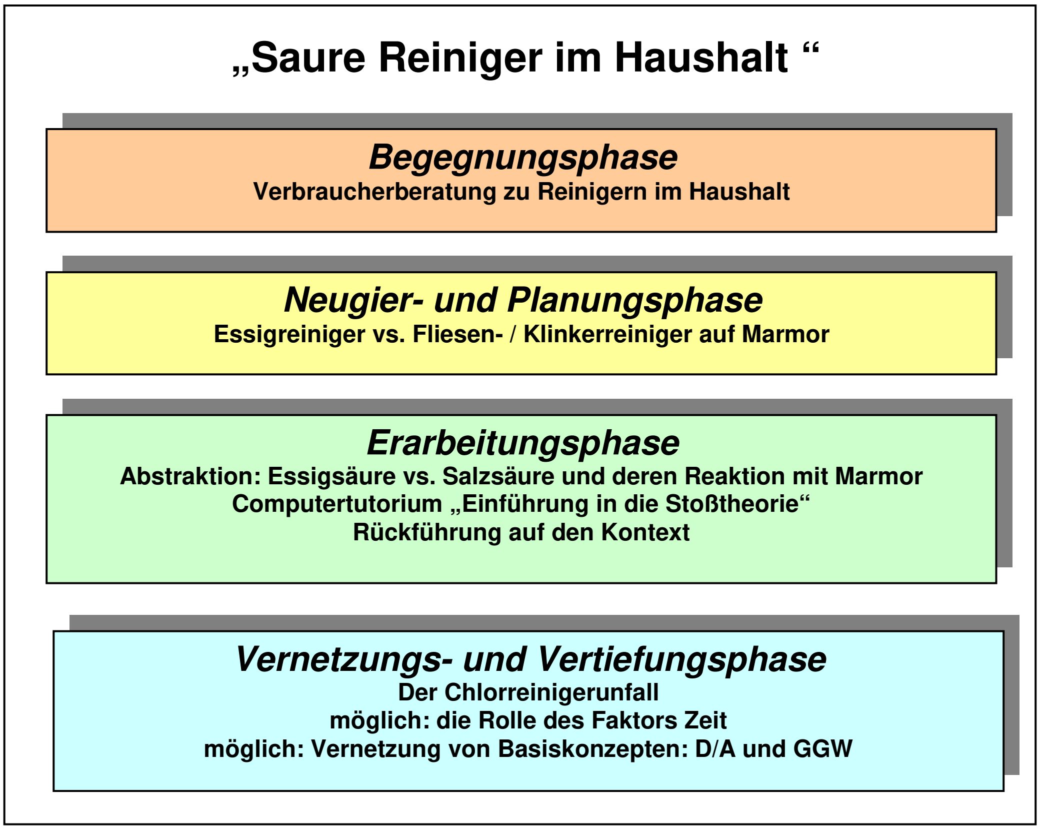


Abbildung 29 Phasenübersicht der Einheit Saure Reiniger im Haushalt.

Einen genaueren Einblick gibt Tabelle 16, in welcher das Wechselspiel zwischen Kontext und Fachinhalt deutlicher wird. Insbesondere ist zu erkennen, dass den größten Teil der Erarbeitungsphase die Einführung des Basiskonzepts des chemischen Gleichgewichts einnimmt. Bei der Unterrichtung sollte daher verstärkt darauf geachtet werden, dass die gewonnenen fachlichen Ergebnisse auch in Erkenntnisse für den Kontext umgesetzt werden.

In Abbildung 30 wird verdeutlicht, welche Forderungen des Lehrplans von dieser Einheit abgedeckt werden. Dabei sind in der Abbildung die neu hinzukommenden Aspekte unterstrichen dargestellt, die Aspekte, welche bereits von den zwei zuvor unterrichteten Einheiten abgedeckt wurden, sind mit gepunkteter Linie unterstrichen.

Unterrichtsgegenstände
□ Anorganische Verbindungen: ausgewählte Säuren/Basen und deren Salze (z. B.: Kohlensäure, Carbonate; Ammoniak, Ammoniumverbindungen; Salpetersäure, Nitrate; Sulfide, Schwefelsäure, Sulfate; Phosphorsäure, Phosphate)
□ Organische Stoffklassen: Alkanole, Alkanale, Alkansäuren, Ester
□ Oxidationszahlen
□ Homologe Reihe, systematische Nomenklatur
□ Nachweisreaktionen
□ Reaktionsgeschwindigkeit, Stoßtheorie, RGT-Regel, Katalyse
□ Das chemische Gleichgewicht, Massenwirkungsgesetz, Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Konzentration
□ Anwendungen des chemischen Gleichgewichts
□ Integrierte Wiederholung: einfaches Atom- und Bindungsmodell (keinesfalls Einführung des Orbitalmodells!), Struktur-Eigenschaftsbeziehungen; hydrophil-hydrophob; Stoffmenge, molare Masse, molares Volumen, Stoffmengenkonzentration

Abbildung 30 Abgedeckte Unterrichtsgegenstände; gepunktet unterstrichen sind die durch das erste Halbjahr abgedeckten Aspekte dargestellt, die unterstrichenen Aspekte werden von der Einheit Saure Reiniger im Haushalt abgedeckt.

Die Einheit ist zeitlich deutlich kürzer als z. B. die Einheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?*. Auch haben die Schüler in ihr nicht so große Wahlmöglichkeiten, es wird nicht arbeitsteilig gearbeitet. Insgesamt handelt es sich sicherlich um den Abschnitt im gesamten Schuljahr, in welchem die Schüler am kompaktesten mit fachlichem Wissen konfrontiert werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass das Verständnis des chemischen Gleichgewichts stark voraussetzungsgebunden ist. Insbesondere muss eine genaue Kenntnis der Stoffmengenkonzentration gegeben sein. Der Unterrichtsgang trägt dem Rechnung. Bei der Erarbeitung des Schlüsselproblems wird der Umgang mit der Stoffmengenkonzentration geübt.

Innerhalb der Einheit geschieht dies über die Konzentration der Hydronium-Ionen, welche aus einem zuvor ermittelten pH-Wert berechnet wird. Dabei wird gleichzeitig der pH-Wert als ein Maß für die Eigenschaft einer wässrigen Lösung *sauer* zu sein, wiederholt. Die mathematische Definition wird lediglich verwendet, um den pH-Wert in die Stoffmengenkonzentration umzurechnen. Die umgestellte Formel kann hierbei angegeben werden.

Kontext		Betrachtung aus Sicht der (Wissenschaft) Chemie
Verbraucherberatung zu Reinigern im Haushalt, Etikett von Reinigerflasche		
		Erkenntnis: Marmor wird von Säuren angegriffen
Einbringen von Fliesen-/Klinker-Reiniger		
		Messen von pH-Werten;
Reinigungswirkung beruht bei diesen Reinigern auf den Säuren		
		Vergleich der Reaktion von Reiniger auf Basis von Essigsäure bzw. Salzsäure mit Marmor; Reaktionsgleichung mit einfachem Reaktionspfeil
Fliesen-/Klinker-Reiniger reagiert deutlich heftiger mit Marmor als Essigreiniger		
		Erarbeitung und ansetzen eines abstrakteren Experiments mit (reinen) Säuren definierter Konzentration, genau abgemessenen Volumens und abgewogener Menge Marmor. (ca. zwei Tage stehen lassen)
		(in der Zwischenzeit) Berechnung des zu erwartenden Ergebnisses auf Basis der bekannten Reaktionsgleichung (Salzsäure sollte deutlich mehr Marmor verbrauchen als Essigsäure)
		Ermittlung der Ergebnisse des Experiments, Diskussion der Schüler (in Gruppen) über den überraschenden Ausgang
		Computertutorium zur Einführung in die Stoßtheorie
		Erarbeitung einer Erklärung zum Ausgang des Experiments (Dissoziation von Essigsäure als Gleichgewichtsreaktion; Verschiebung durch Folgereaktion mit Marmor)
Auswirkungen der Ergebnisse für den alltäglichen Einsatz der Reiniger		
Zeitungsartikel zu einem Unfall mit Chlorreiniger		
		Woraus besteht Chlorreiniger und wie wird er hergestellt? (Angabe der Reaktionsgleichung)
Die Mischung welcher Reiniger hat zu dem Unfall geführt? (evtl. Hinweis auf Etikett)		
		Experiment: Mischung von Chlorreiniger mit Essigreiniger; Nachweis von freiwerdendem Chlorgas (Iod-Stärke-Papier); Erkennen der Reaktion als Verschiebung eines Gleichgewichts

Tabelle 16 Verdeutlichung des Zusammenspiels von Kontext-Inhalten und fachsystematischen Inhalten bei der Einheit Saure Reiniger im Haushalt.

In Tabelle 16 ist der schematische Unterrichtsgang dargestellt. Ausgegangen wird von der Warnung des Einsatzes von sauren Reinigern auf Marmor. Die Auswirkungen werden erst qualitativ und dann quantitativ untersucht. Dabei tritt eine deutliche Diskrepanz zwischen den Vorhersagen mit Hilfe des Wissens der Schüler und des erzielten Ergebnisses auf. Die einfache Stoßtheorie wird dann als Lösungsansatz vorgestellt.

Im Folgenden wird die Unterrichtseinheit detailliert vorgestellt. Dies geschieht, um einen genauen Einblick in den logischen Ablauf der Einheit zu geben. Am Ende dieses Kapitels werden Veränderungsvorschläge auf Basis der Evaluation im zweiten Zyklus gemacht. Diese betreffen den hier skizzierten Ablauf allerdings nicht. Sie betreffen vielmehr die Erklärungsebene, die Durchführung selber bleibt dagegen unverändert.

3.1.1.1. Begegnungsphase

Eingestiegen wird beispielsweise mit einem Verbraucherberatungsgespräch zum Thema Reiniger im Haushalt (z. B. als Info-Blatt, aber auch ein Rollenspiel wäre denkbar). Enthalten sein muss eine Warnung vor dem Einsatz von bestimmten Reinigertypen auf empfindlichen Flächen, wie Chromarmaturen oder Marmor. Ähnlich lautende Warnhinweise finden sich auch auf Etiketten von Reinigerflaschen. Im Anschluss an diese Sensibilisierung sollten die Schüler zu Hause die vorhandenen Reiniger auf entsprechende Warnhinweise untersuchen und Beispiele mit in die nächste Unterrichtsstunde bringen.

3.1.1.2. Neugier- und Planungsphase

Da auf einen Vergleich der Reaktionen von Salzsäure- bzw. Essigsäure-Lösungen mit Marmor hingearbeitet werden soll, wird empfohlen, dass die Lehrkraft selber auch Reiniger, einen Essigreiniger und einen auf der Basis von Salzsäure[1], mitbringt. Diese können vorgestellt werden, falls sie nicht von einem der Schüler mitgebracht wurden. Als gemeinsames Merkmal aller Reiniger, welche Marmor angreifen, wird herausgearbeitet, dass sie Säuren enthalten. Eine Auflistung der enthaltenen Säuren kann interessant sein und zur Wiederholung von Inhalten der Sekundarstufe I genutzt werden.

Der pH-Wert, als Maß für die Stärke einer Säure, oder eventuell sogar bereits als *negativer dekadischer Logarithmus der Hydronium-Ionen-Konzentration*, sollte aus der Mittelstufe bekannt sein. Entsprechend bietet es sich an, den pH-Wert der verschiedenen Reiniger, bzw. der mit ihnen hergestellten Lösungen zum Putzen, zu messen und miteinander zu vergleichen.

Ein qualitatives Experiment, welches sich aus den warnenden Hinweisen ergibt, schließt sich an. Es wird je ein kleines Stück Marmor in Essigreiniger und eines in Fliesen-/Klinkerreiniger gelegt und die Reaktion beobachtet. Auf Grund der unterschiedlich heftig ausfallenden Reaktionen, lässt sich schlussfolgern, dass Fliesen-/Klinkerreiniger Marmor stärker angreift als Essigreiniger. Um diesen anfänglichen Verdacht zu erhärten wird ein quantitatives Experiment mit den Schülern zusammen geplant.

[1] Reiniger, welche Salzsäure enthalten, wären z. B. Fliesen-/Klinkerreiniger oder Moosentferner.

3.1.1.3. Erarbeitungsphase

Die Erfahrungen zeigen, dass Schüler sehr wohl in der Lage sind ein angemessenes quantitatives Experiment zu planen, jedoch müssen Mengen- und Konzentrationsangaben meistens von Seiten des Lehrenden mit eingebracht werden.

Es hat sich bewährt, mit je 50 mL Lösung an Essig- bzw. Salzsäure zu arbeiten, die jeweils eine Konzentration von 0,1 mol/L haben. Als erstes werden die pH-Werte der Lösungen bestimmt und schriftlich festgehalten. Dann sind zwei Varianten bei der weiteren Durchführung denkbar. Bei der ersten Variante wird soviel Marmor in beide Lösungen gegeben, dass er vollständig aufgelöst wird. Dies wären in diesem Fall etwa 0,1 g Marmor[1]. Bei der zweiten Variante wird jeweils ein genau ausgewogenes Stück Marmor in beide Lösungen gegeben, welches mit Sicherheit nicht vollständig aufgelöst werden kann, also ungefähr 3 g schwer. Das Marmorstück wird hinterher zurück gewogen.

Da die Reaktion mindestens einen Tag benötigt, lässt man die Ansätze bis zur nächsten Schulstunde stehen. In der Zwischenzeit wird versucht, mit Hilfe der gemessenen pH-Werte den Ausgang des Experiments theoretisch vorherzusagen. Hierfür benötigt man die Reaktionsgleichung von Marmor mit Säuren. Die unten angegebene Reaktionsgleichung (11) ist in der Hinsicht vereinfacht, dass angenommen wird, dass alles entstehende Kohlenstoffdioxid ausgast.

$$CaCO_3 + 2\,H_3O^+ \rightarrow Ca^{2+} + 3\,H_2O + CO_2(\uparrow) \qquad (11)$$

Die gemessenen pH-Werte werden zu den entsprechenden Konzentrationen der Hydronium-Ionen umgerechnet und mit Hilfe der Reaktionsgleichung wird die zu erwartende Massenabnahme des Marmors ausgerechnet. In der folgenden Tabelle 17 sind je eine Beispielrechung für Essigsäure und Salzsäure aufgeführt.

Salzsäure mit 0,1 mol/L	Essigsäure mit 0,1 mol/L
$M(CaCO_3)$ = 100 g/mol, V = 50 mL, pH-Wert = 1	$M(CaCO_3)$ = 100 g/mol, V = 50 mL, pH-Wert = 1
$c(H_3O^+)$= 10^{-pH} mol/L = 10^{-1} mol/L = 0,1 mol/L	$c(H_3O^+)$= 10^{-pH} mol/L = $10^{-2,3}$ mol/L = 0,005 mol/L
$\Delta m = ½ \cdot M(CaCO_3) \cdot c(H_3O^+) \cdot V$	$\Delta m = ½ \cdot M(CaCO_3) \cdot c(H_3O^+) \cdot V$
Δm = 0,5 · 100 g/mol · 0,1 mol/L · 0,05L	Δm = 0,5 · 100 g/mol · 0,005 mol/L · 0,05L
Δm = 0,25 g	Δm = 0,013 g

Tabelle 17 Gegenüberstellung der theoretischen Berechnung der Massenabnahme des Marmors auf Basis des Wissens der Schüler.

Für die erste Variante des Experiments bedeut dies, dass erwartet wird, dass die Salzsäure den gesamten Marmor löst und in der Essigsäure ein deutlicher Rückstand zu erkennen sein sollte. Bei der zweiten Variante würden die ausgerechneten Ergebnisse erwartet.

[1] Der Nachteil bei dieser Methode besteht darin, dass Marmor nie aus Calciumcarbonat alleine besteht und einige der Verunreinigungen einen Rückstand bilden, der Schüler anfänglich irritieren könnte.

Schließlich wird das Experiment zu Ende geführt und ein von den Erwartungen deutlich abweichendes Ergebnis erhalten. Die Essigsäure hat ungefähr genau so viel an Marmor gelöst, wie die Salzsäure. Den Schülern sollte Zeit gegeben werden, über dieses für sie überraschende Ergebnis (in Partnerarbeit oder kleinen Gruppen) miteinander zu diskutieren.

In der nächsten Unterrichtsdoppelstunde wird dann das Computertutorium zur Einführung der Stoßtheorie von den Schülern bearbeitet. Es wird empfohlen jeweils zwei Schüler an einem Computer arbeiten zu lassen. Es hat sich gezeigt, dass die Möglichkeit miteinander zu diskutieren von einigen Schülern gerne genutzt wird. Alternativ kann auch erst die Hälfte des Tutoriums bearbeitet und die Erkenntnisse der Schüler besprochen werden. Anschließend wird in einer weiteren Unterrichtsstunde das Tutorium zu Ende bearbeitet.

Nach Bearbeitung des Tutoriums kann davon ausgegangen werden, dass alle Schüler das Zustandekommen des dynamischen Gleichgewichts auf Basis einer einfachen Stoßtheorie beschreiben können. Weiterhin wissen sie, dass das Gleichgewicht von einer Konkurrenzreaktion beeinflusst werden kann. Somit sind sie in der Lage die Erklärung für das Auflösen von Marmor durch Essigsäure nachzuvollziehen. Leider zeigen unsere Ergebnisse (vergleiche die Abschnitte 3.2 und 3.3), dass man nicht erwarten darf, dass die Mehrheit der Schüler die Erklärung eigenständig reproduzieren kann.

Obwohl den Schülern die Erklärung für das beobachtete Phänomen nach der Bearbeitung des Tutoriums bekannt ist, zeigen die erwähnten Ergebnisse, dass es wichtig ist, die gegebene Argumentationsweise noch einmal im Unterricht nachzuvollziehen. Die folgenden, erfahrungsgemäß problematischen Punkte gilt es dabei herauszustellen:

- Das Zustandekommen des chemischen Gleichgewichts, auf Grund der Aussagen der Stoßtheorie.
- Obwohl im Kleinen ein chaotisches, rein zufälliges Geschehen herrscht, ist das gesamte System doch vorhersagbar.
- Die Essigsäure-Lösung (und somit die Reaktion von Essigsäure mit Wasser) befand sich schon im Gleichgewichtszustand als das Stück Marmor hinzugegeben wurde.
- Die Reaktion der Essigsäure mit Wasser läuft weiterhin ab, obwohl Marmor mit den Hydronium-Ionen reagiert. Insbesondere gilt es zuerkennen, dass nur die Wahrscheinlichkeit für die Rückreaktion deutlich sinkt, aber die Hinreaktion weiterhin ungehindert abläuft.
- Die jeweiligen Wahrscheinlichkeiten für erfolgreiche Zusammenstöße bestimmen die Reaktionsrate.

3.1.1.4. Vertiefungsphase

Durch die Behandlung eines zweiten Beispiels aus dem Kontext *Reiniger im Haushalt* soll den Schülern die Möglichkeit gegeben werden, ihr frisch erworbenes Wissen direkt anzuwenden.

Aufhänger ist ein Zeitungsartikel über einen Unfall im Haushalt, bei dem eine Frau erstickt ist, weil sie zwei handelsübliche Reiniger miteinander mischte. Die beiden Reiniger werden als Chlorreiniger und Essigreiniger identifiziert. Über die Fragen, warum sie wohl zwei Reiniger mischte und warum sie es nicht hätte tun sollen, nähert man sich allmählich dem Kern des Problems. Hier kann auch wieder das Etikett einer Chlorreinigerflasche nützlich sein, auf welchem vor dem Mischen mit anderen Reinigern gewarnt wird.

Um das Geschehen jedoch wirklich verstehen zu können, gilt es zu klären, worum es sich bei Chlorreiniger handelt. Die Information, dass Chlorreiniger durch Einleiten von Chlor in Natronlauge hergestellt wird, muss von Seiten des Lehrenden gegeben werden.

$$Cl_2 + 2\,OH^- \rightleftarrows Cl^- + ClO^- + H_2O \qquad (12)$$

Die entsprechende Information kann z. B. mit Hilfe eines kurzen Abschnitts aus einem Lehrbuch der Chemie über Hypochlorit entnommen werden. (Eine Messung des pH-Werts mittels pH-Papier kann lehrreich sein, denn dieses wird sofort gebleicht und es lässt sich nur erahnen, dass der Reiniger leicht alkalisch ist.)

In Partnerarbeit oder kleinen Gruppen können nun die Schüler diskutieren, was geschieht, wenn man einen sauren Reiniger hinzufügt. Womit man auch jene Information eingestreut hätte, dass jeder saure Reiniger den Unfall verursacht haben könnte. Nach einiger Zeit sollten die Schüler darauf aufmerksam gemacht werden, dass hier die Neutralisationsreaktion die entscheidende Rolle spielt. Die abschließend festzuhaltende Erklärung kann analog zu der im zuvor behandelten Beispiel (von Essig und Marmor) formuliert werden:

> *Chlor reagiert mit Hydroxid-Ionen zu Chlorid- und Hypochlorit-Ionen. Bei dieser Reaktion handelt es sich um eine Gleichgewichtsreaktion (siehe Reaktionsgleichung (12)).*
>
> *Fügt man der Lösung Hydronium-Ionen hinzu, so eröffnet man den Hydroxid-Ionen einen zweiten Reaktionsweg, den der Neutralisationsreaktion.*
>
> $$OH^- + H_3O^+ \rightleftarrows 2H_2O \qquad (13)$$
>
> *Zwar handelt es sich hierbei auch um eine Gleichgewichtsreaktion, jedoch liegt das Gleichgewicht sehr stark auf der Seite der Bildung von Wasser. Hydroxid-Ionen, die die Neutralisationsreaktion eingegangen sind, stehen somit für die Reaktion mit Chlor nicht mehr zur Verfügung.*

Während die Bildung von Chlor weiterhin ablaufen kann, ist die Rückreaktion zu Chlorid- und Hypochlorit-Ionen stark gehemmt. Es kommt zu einer Anreicherung von Chlor, welches schließlich als Gas aus der Lösung austritt.

3.1.1.5. Erfahrungen aus dem ersten und zweiten Zyklus

Der erste Zyklus

Auf Basis des beobachteten Unterrichts im ersten Zyklus kann gesagt werden, dass bei den beiden Lehrkräften L11 und L12 der Unterrichtsablauf den Vorschlägen entsprach. Zusätzlich zu dem oben skizzierten Vorgehen nutzten beide Lehrkräfte die Gelegenheit, die Reaktion von Essigsäure mit Marmor nicht nur mit der entsprechenden Reaktion von Salzsäure zu vergleichen, sondern auch mit weiteren Säuren, die den Schülern aus der Sekundarstufe I bekannt waren. Dabei kamen nur solche Säuren zum Einsatz, die von den Schülern selber genannt worden waren.

Ein entscheidender Punkt für die Durchführung der Einheit ist es, dass den Schülern deutlich wird, dass eine Diskrepanz zwischen theoretischer Vorhersage und den real gemessenen Ergebnissen besteht, diese also einen echten kognitiven Konflikt, resultierend aus der Vorhersage, basierend auf ihrem Wissen und den beobachteten Ergebnissen haben.

In beiden Fällen gab es hier keine Probleme. Es wurde jeweils deutlich, dass Vorhersage und Experiment im Falle der Salzsäure im Einklang standen und für Essigsäure deutlich voneinander abwichen.

In der folgenden Diskussion des Problems im Unterricht zeigten sich in beiden Fällen ähnliche Schülerargumentationen. Zu Anfang wurden von den Schülern Fehler bei der Durchführung vermutet. Wenn von den Lehrkräften jedoch signalisiert worden war, dass dies nicht der Fall ist, herrschte eine Weile lang eine gewisse Ratlosigkeit bei den Schülern. Schließlich kamen vorsichtig vorgetragene Ideen auf, wie z. B., dass die nicht-dissoziierte Essigsäure direkt mit dem Marmor reagiert haben könnte. In einem Fall machte ein Schüler die Bemerkung, dass etwas *„mit dem Pfeil“* bei der Reaktionsgleichung der Dissoziation nicht stimmen könne.

Die Beobachtungen lassen sich so deuten, dass sich für die Schüler an dieser Stelle ein kognitiver Konflikt ergeben hatte, für den sie keinen Lösungsansatz finden konnten.

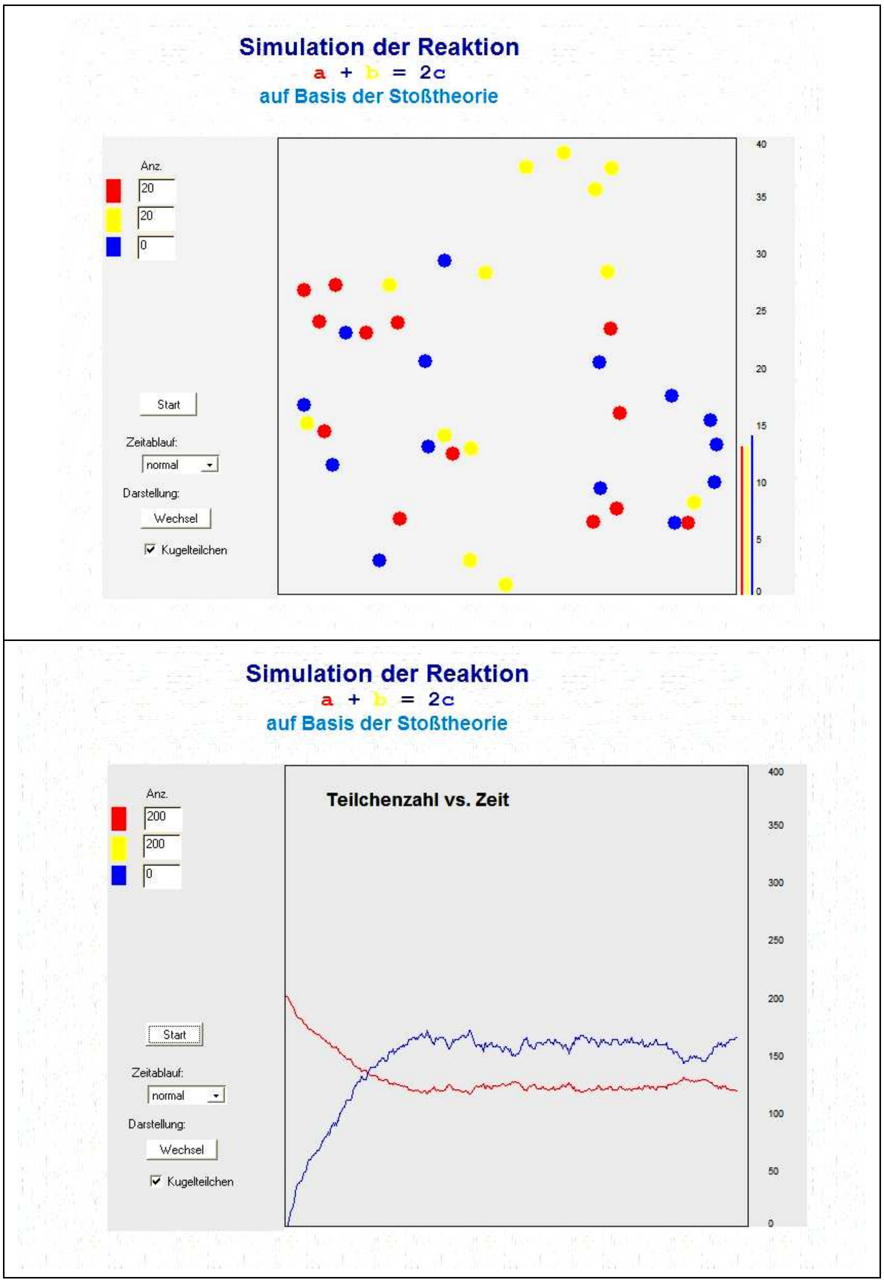


Abbildung 31 Zwei Screenshots von der ersten Version der Simulation. Zusehen sind die zwei möglichen Ansichten: die Teilchenebene und ein Balkendiagramm (oben), sowie ein Liniendiagramm (unten).

An dieser Stelle wurde in der jeweils folgenden Unterrichtsstunde das Computertutorium zur Einführung in die Stoßtheorie eingesetzt. Auf Grund einer mangelnden Ausstattung mit Computern arbeiteten jeweils drei Schüler zusammen. Auch waren nur so viele Computer vorhanden, dass nur die Hälfte des Kurses an einem Rechner arbeiten konnte. Die andere Hälfte spielte ein Simulationsspiel zum „Apfelkrieg“, wie er bei DICKERSON & GEIS (1980, S. 321-325) beschrieben steht.

Das Spiel greift dabei die Idee der zwei Gärten auf, indem es aus zwei Spielfeldern besteht, auf welche jeweils das gleiche 10 × 10 Gitter gezeichnet ist. Auf jedem Gitter werden Spielsteine verteilt, welche die Äpfel repräsentieren. Zu Anfang liegen im Garten des Jungen mehr Äpfel als im Garten des Alten, d. h. auf einem Gitter werden fünf, auf dem anderen zehn Äpfel beliebig verteilt. Auf jedem Gitter ist eine Spielfigur, welche abhängig von einer gewürfelten Augenzahl gezogen wird. Trifft eine Spielfigur auf einen Apfel, so wird dieser im gegnerischen

Feld an einer beliebigen Stelle platziert, die Spielfigur bleibt auf dieser Stelle stehen. Der Unterschied zwischen den beiden Parteien besteht darin, dass der Junge jeweils einen Schritt mehr machen darf, als der Würfel anzeigt und der Alte einen weniger. Die jeweiligen Spielstände werden für eine spätere Auswertung notiert.

Die im ersten Zyklus eingesetzte Version des Tutoriums umfasste deutlich weniger Lektionen und beinhaltete z. B. nicht die Verschiebung von Gleichgewichtszuständen. Daher konnte nach etwa einer Schulstunde getauscht werden.

Bei der Bearbeitung der ersten Version des Tutoriums zeigte sich, dass der Zeitbedarf deutlich zu hoch eingeschätzt worden war. Die Schüler hatten es im Schnitt innerhalb einer halben Schulstunde absolviert und fingen dann an mit selbstgewählten Einstellungen bei der Simulation zu experimentieren.

Im anschließenden Unterricht wurden die neu erworbenen Erkenntnisse angewandt, um dass offenstehende Problem zu erklären. Schließlich wurde mit Hilfe weiterer Beispiele das Prinzip des dynamischen Gleichgewichts und der Verschiebung von Gleichgewichtslagen geübt. Das Beispiel mit dem Chlorreinigerunfall war allerdings noch nicht darunter. Vielmehr handelte es sich um kontextfreie Beispiele. Der Mangel an passenden kontextorientierten Beispielen war auch der Anlass, welches zur Entstehung des Beispiels mit dem Chlorreinigerunfall geführt hatte.

Aus den Erfahrungen mit dem ersten Zyklus wurden folgende Konsequenzen gezogen: Den Lehrkräften im zweiten Durchgang konnte berichtet werden, dass die Einheit sich gut durchführen lässt. Allerdings wurde der Umfang des Computertutoriums stark erweitert, da die Bearbeitungszeit im ersten Durchgang nur etwa eine halbe Schulstunde beanspruchte und somit deutlich überschätzt worden war. Es wurde somit möglich ein viel weitergehendes Tutorium anzubieten, welches u. a. den Sachverhalt der Gleichgewichtsverschiebung mit abdeckte. Daher war es im zweiten Zyklus notwendig, dass alle Schüler am Computer arbeiten konnten. Der Einsatz des Spiels entfiel somit beim zweiten Zyklus.

Der zweite Zyklus

Im zweiten Zyklus fanden insgesamt vier Treffen statt, bei welchen es um den Kurs zur Einführung des chemischen Gleichgewichts ging. Es waren dies die Treffen fünf bis acht. Zeitlich lagen diese vor dem Ende des Schulhalbjahres, kurz vor den Osterferien, einige Zeit nach den Osterferien und vor den Sommerferien.

Den mitwirkenden Lehrkräften wurde die Einheit *Saure Reiniger* beim fünften Treffen, welches zum Ende des Schulhalbjahres stattfand, vorgestellt. Fünf der sechs Lehrkräfte erklärten sich bereit die Einheit so durchzuführen, wie sie von uns vorgeschlagen wurde, nur L21 musste, auf Grund des unterschiedlichen Ablaufs der ersten beiden Unterrichtseinheiten, eine Anpassung der Einheit vornehmen. Aber auch hier wurden die einzelnen Schritte der Einheit Saure Reiniger inklusive Einsatz des Computer-Tutoriums durchgeführt.

Vier Lehrkräfte entschieden sich für die Durchführung des Experiments mit Rückwiegen, zwei entschieden sich für die Variante mit vollständiger Auflösung des zugegebenen Marmors. In allen sechs Fällen führte die Durchführung des Experiments und die versuchte Deutung mit Hilfe des Wissens, welches die Schüler aus der Sekundarstufe I mitbrachten, zu dem gewünschten kognitiven Konflikt.

Auf dem sechsten Treffen äußerten sich die Lehrkräfte dahingehend, dass die Schüler von den Ergebnissen wirklich überrascht waren. Dabei spielten die genauen Messergebnisse eine untergeordnete Rolle. Diese waren für die Schüler derart ähnlich, wie z. B. L26 berichtete, dass die Schüler zuerst angenommen hätten, sie hätten fehlerhafter Weise zwei Ansätze mit Salzsäure gemacht.

Für die Durchführung des Computertutoriums wurden jeweils zwölf Notebooks bereitgestellt. Dies geschah, um in dieser Phase der Erprobung technische Schwierigkeiten auszuschließen und eventuelle mangelhafte Ausstattungen von Schulen zu egalisieren. Diese Vorgehensweise brachte den Vorteil mit sich, dass ich die Möglichkeit hatte, jeweils die Stunde des Einsatzes des Tutoriums selber beobachten zu können. Hierdurch ließen sich z. B. nicht vorhergesehene Schwierigkeiten bei der Bedienung identifizieren, welche sonst vielleicht nie aufgefallen wären. Leider ließen sich nicht alle Mängel so schnell beheben, wie sie erkannt worden waren. Die folgenden drei Beispiele sollen dies näher erläutern:

Überlagertes Antwortfenster. Da die aufgehenden Antwortfenster nicht den gesamten Bildschirm ausfüllen, konnte es passieren, dass dieses hinter dem Hauptfenster des Tutoriums verschwand. Dieses Problem wurde direkt nach dem ersten Einsatz behoben und konnte somit bei den weiteren sechs Einsätzen nicht mehr auftreten. (Die Antwortfenster wurden mit einem Skript versehen, welches diese wieder in den Vordergrund bringt.)

Unbekannte Fachausdrücke. Die Fachausdrücke, die den Schülern nicht geläufig waren und deren Bedeutung nachgefragt wurde, wurden gesammelt und bei der Überarbeitung des Tutoriums im Anschluss an den zweiten Zyklus mit erklärenden Popup-Fenstern versehen.

Überlagerte Simulation. Ähnlich wie die Antwortfenster von dem Hauptfenster verborgen werden konnten, konnte dies auch mit der Simulation selber geschehen. Insbesondere starteten manche Schüler daraufhin die Simulation mehrfach, ohne dass diese erneut im Vordergrund erschien. Allerdings wurde durch diese Vorgehensweise das Betriebsystem manchmal zum Stillstand gebracht. Auf Grund von Eigenschaften des Betriebsystems ließ sich dieses Problem nicht einfach beheben. Durch eine Abänderung des Programmcodes wurde schließlich verhindert, dass sich mehrere Instanzen der Simulation gleichzeitig starten lassen. Hierdurch wird der mögliche Stillstand des Systems vermieden. Weiterhin wurde in die zugehörige Hilfe des Tutoriums ein entsprechender Hinweis aufgenommen, der erklärt, wie man die Simulation wieder in den Vordergrund holt. Auch diese Änderung geschah erst im Anschluss an die Erprobung im zweiten Zyklus.

Der Einsatz des Tutoriums geschah in allen Fällen des zweiten Zyklus während einer Doppelstunde. Zu Beginn der Stunde wurde von der entsprechenden Lehrkraft noch einmal an die Ausgangssituation erinnert und das aufgetauchte Problem verdeutlicht. Dann folgte eine Phase, in welcher die Schüler an den Computern arbeiteten. Nachdem sie informiert worden waren, wie man das Tutorium startet, bearbeiteten die Schüler dieses selbstständig, insbesondere war das Lerntempo selbstgewählt. Die Lehrkraft, so wie ich selber, Lerntempo selbstgewählt. Die Lehrkraft, so wie ich selber, standen für Nachfragen zur Verfügung. In der Regel arbeiteten immer zwei Schüler an einem Computer, in jedem Kurs gab es jedoch Ausnahmen, wo entweder ein Schüler alleine arbeitete oder zu dritt an einem Computer gearbeitet wurde.

Bei allen Einsätzen ließen sich ähnliche Beobachtungen machen. Innerhalb der ersten zwei bis drei Lektionen wurde den Schülern die Bedienung des Tutoriums und der Simulation deutlich. Die Bearbeitung der einzelnen Lektionen erfolgte (augenscheinlich) meist sorgfältig und konzentriert. Die zwischen den beiden Stunden der Doppelstunde liegende Fünf-Minuten-Pause wurde von den Schülern häufig nicht in Anspruch genommen, sondern zur Weiterarbeit an dem Tutorium genutzt. Die schnellsten in jedem Kurs waren etwa 20 Minuten vor Ende der Doppelstunde fertig, in einigen Kursen schöpften die langsamsten Schüler die volle Zeit aus. (Zusammengefasst nach den während und im Anschluss gemachten Notizen zu den Unterrichtsstunden.)

Diese von mir gemachten Beobachtungen wurden von den Lehrkräften auf dem sechsten Treffen innerhalb der Diskussion bestätigt. Auf diesem Treffen wurde allerdings noch die Idee besprochen, den Schülern die im Tutorium gestellten Arbeitsaufträge in kopierter Form mit an die Hand zu geben. Einerseits hatten einige Schüler eine Menge Zeit mit dem Abschreiben der Fragen verbracht, andererseits können sie so ihre Antworten direkt mit festhalten und haben dann auch nach Bearbeitung des Tutoriums noch schriftliche Unterlagen, auf die zurückgegriffen werden kann.

Insgesamt waren die Lehrkräfte mit dem Ablauf der Einheit und insbesondere dem Computereinsatz sehr zufrieden. L22 machte dies z. B. daran fest, dass sie eine schriftliche Hausaufgabe eingesammelt und überprüft hatte. Der Ausfall der Antworten wurde von ihr als nahezu ideal eingestuft. (Zusammengefasst nach dem Transkript zum sechsten Treffen)

In den folgenden zwei Abschnitten werden die zwei verbleibenden Einheiten des zweiten Kurshalbjahres vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit werden sie allerdings nicht vertieft betrachtet. Allerdings scheint eine Darstellung aus zwei Gründen unabdingbar: Zum einen rundet sie das Bild des Kurses zur Einführung in das chemische Gleichgewicht ab, zum anderen sind so manche Schülerantworten der Interviewstudie besser verständlich. Diese wurde nach der Einheit *Saure Reiniger im Haushalt* durchgeführt und die Schüler erwähnten auch Beispiele aus den letzten beiden Einheiten.

3.1.2. *Fruchtig – aber nicht natürlich?*

Diese Einheit rankt sich um das Thema Ester als Aromastoffe, insbesondere stehen dabei die sogenannten *Fruchtester* im Mittelpunkt. Eine Übersicht über den nach Phasen gegliederten Ablauf gibt Abbildung 32.

Abbildung 32 Phasenschema der Unterrichtseinheit Fruchtig – aber nicht natürlich?

3.1.2.1. Begegnungsphase

In der Begegnungsphase kann ein einfaches Ratespiel durchgeführt werden. Zwei Schülern werden die Augen verbunden und sie sollen verschiedene Produkte durch riechen erraten. Dabei gilt es eine Auswahl von verschiedenen Produkten mitzubringen, welche sich möglichst ergänzen, z. B. ein Apfel und Fruchtgummi mit Apfelaroma oder eine Seife mit Apfelaroma, eine Banane und Gelee-Bananen, eine Ananas und Ananasbonbons. Als Variante lässt es sich überlegen, jeweils ein Reagenzglas mit entsprechenden Estern zum Erraten anzubieten. Dann ließen sich zusätzliche Produkte aufnehmen, wie etwa Uhu®, Nagellackentferner und ein Reagenzglas mit Ethylacetat oder Kaugummis mit Wintergrünöl-Aroma und ein Reagenzglas mit Methylbenzoat.

Im Anschluss an das Spiel kann jeder Schüler nach vorne kommen, um sich selber einen Eindruck zu verschaffen. Ein Text über Aromahersteller oder Aromen in Lebensmitteln wird verteilt und besprochen.

3.1.2.2. Neugierphase

Im folgenden Unterricht sollen die Schüler die Gelegenheit erhalten sich über das Thema Aromastoffe näher zu informieren. Dies kann auf verschiedene Weisen geschehen, etwa durch eine Internetrecherche oder durch ausliegendes Info-Material. Dabei sollten die Schüler zumindest etwas über die Kennzeichnungspflicht von Aromastoffen in Lebensmitteln und die Einteilung von Aromastoffen in natürliche, naturidentische und künstliche Aromastoffe erfahren bzw. zusammentragen.

Um selber Fruchtaromen herstellen zu können, müssen die Schüler wissen, um welche Stoffe es sich dabei handelt. Da die notwendigen Informationen wahrscheinlich von der Seite des Lehrenden gegeben werden, kann hier auf Fruchtaromen auf Esterbasis fokussiert werden[1]. Es bietet sich ein Arbeitsblatt an, welches u. a. eine Tabelle mit Estern und ihren angeblichen Dufteindrücken enthält. Nach einer einfachen Arbeitsvorschrift können dann die unterschiedlichen Ester im Reagenzglas hergestellt werden. Eine arbeitsteilige Gruppenarbeit ermöglicht die Herstellung verschiedener Ester. Die Präsentation der Ergebnisse besteht darin, gegenseitig zu erraten, wonach das hergestellte Aroma riechen soll.

3.1.2.3. Erarbeitungsphase

Die Darstellung der Fruchtester in der Neugierphase war qualitativ und die Ester wurden nicht isoliert. In der Erarbeitungsphase sollen größere Mengen eines Esters isoliert werden. Hier kann mit der der Frage *Wie bekommt man den Ester aus der Reaktionsmischung heraus?* eingestiegen werden. Weiterführend ließe sich diskutieren, wie man die Ausbeute erhöhen kann. Bei einigen Estern bietet sich die Destillation an, welche sicherlich von den Schülern auch genannt wird. Auf ein weiteres Verfahren, welches prinzipiell immer funktioniert, kommen Schüler wahrscheinlich nicht von alleine. Durch Zugabe von Wasser lässt sich der Ester im Scheidetrichter abtrennen.

Wenn beide Methoden den Schülern bewusst sind, lassen sich vor dem Experimentieren noch zwei bzw. drei Fragen bearbeiten.

- Welche der Methoden ist zu bevorzugen (und warum)?
- Können immer beide Methoden angewendet werden?

und tiefer gehend:

- Warum mischt sich der Ester nicht mit Wasser?

Anschließend wird ein Ester, vielleicht exemplarisch Ethylacetat, auf beide Weisen isoliert. Die Ausbeute wird bestimmt. Der Vergleich beider Ausbeuten wird entweder im Nachhinein theoretisch gedeutet oder es findet zuvor eine theoretisch abgeleitete Vorhersage statt.

Dabei wird die Reaktion der Veresterung als Gleichgewichtsreaktion charakterisiert. Zur Bestätigung (und anschließender vertiefender Betrachtung) werden sowohl die Bildung eines Esters, als auch dessen Spaltung experimentell

[1] Die aktuelle Überarbeitung sieht die Komposition eines Ananasaromas auf Basis des Vorschlags des BLK-Projekts *Genussmittel (im) Chemieunterricht* (vergleiche *www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/umat/gic-ab/0_inhalt.htm* und dort die im gleichen Ordner liegenden Dokumente und *a9a_aroma.doc* , *a9b_aromakomposition.doc, a9c_ananasaroma.doc* und *a10_gummibaerchen.doc* (gesehen am 02.06.2003)).

genauer untersucht. Die Konzentrationen nach Einstellung des Gleichgewichts werden beispielsweise titrimetrisch bestimmt.

An dieser Stelle bietet es sich an, mit einem erläuternden Text das Massenwirkungsgesetz anzugeben und die (gleichen) Ergebnisse der beiden Experimente zu nutzen, um den Wert der Gleichgewichtskonstanten im Unterricht zu ermitteln.

3.1.2.4. Vertiefungsphase

Mittels einfacher Übungsaufgaben kann der Umgang mit der Gleichung den Schülern näher gebracht werden. Z. B. kann der Literaturwert der Konstanten einer Reaktion angegeben werden und die zu erwartenden Konzentrationen im Gleichgewicht berechnet werden usw..

Zum Abschluss dieser Einheit können zwei Ausblicke bezüglich des Vorkommens weiterer Ester im alltäglichen Leben gegeben werden. Zum einen kann auf weitere für unser alltägliches Leben bedeutsame Ester eingegangen werden (z. B. Öle & Fette oder Polyester). Zum anderen lässt sich der Umgang mit dem Massenwirkungsgesetz vertiefen, bzw. – falls gewünscht – das Zustandekommen plausibel machen.

Kontext		Betrachtung aus Sicht der (Wissenschaft) Chemie
Ratespiel: Was riechst Du?		
Artikel über Hersteller von Aromastoffen		
		Aromen werden z. T. künstlich hergestellt und Lebensmitteln zugesetzt
Aromastoffe in Lebensmitteln		
		Ester als eine Klasse von Aromastoffen
		eigene Herstellung (qualitativ)
Produktion von Aromastoffen: Wie isoliert man das Produkt?		
		Erarbeitung bzw. Besprechung von Konzepten zur Isolierung von Estern
		Praktische Durchführung
Fragen aus Sicht eines Produzenten: Wieso ist die Ausbeute (in einem der Verfahren) so gering? Wie kann ich diese erhöhen?		
		Esterdarstellung als GGW-Reaktion; Destillation „überlistet" GGW
		Nähere experimentelle Untersuchung des Ester-GGW
		Einführung des MWG; Bestimmung der Konstanten
Fette & Öle, Polyester: Weitere wichtige Ester im Alltag		
		Übungen zum Rechnen mit dem MWG
		Wie kommt das MWG zustande?

Tabelle 18 Verdeutlichung des Zusammenspiels von Kontext-Inhalten und fachsystematischen Inhalten bei der Einheit Fruchtig - aber nicht natürlich?

3.1.3. *Der Einfluss der Ozeane auf das Weltklima*

Die Einheit *Der Einfluss der Ozeane auf das Weltklima* wurde von ANTJE PASCHMANN entworfen und in zwei Aufsätzen (PASCHMANN, DE VRIES, LÜCHTENBERG, ARSHADI & PARCHMANN (2000, 2000B)) beschrieben. Zugehörige Materialien und weitergehende Beschreibungen sind auch im Download-Bereich der Internetseite *www.chik.de* [1] herunterladbar.

Im Folgenden wird kurz vorgestellt, wie diese Einheit für unseren Kurs adaptiert wurde. Eingestiegen wird mit einer Internet-Recherche der Schüler zum Thema Treibhauseffekt. Dabei werden drei Gruppen gebildet. Eine Gruppe schaut nach Argumenten, welche für einen vom Menschen verursachten Treibhauseffekt sprechen, eine zweite Gruppe sucht nach Argumenten, welche dagegen sprechen. Die dritte Gruppe soll sich über die Stellungnahmen von Parteien, Verbänden oder weiterer größerer Institutionen informieren. Um einen Startpunkt zu haben, wurde eine Auswahlliste mit geeigneten Verlinkungen ins Internet gestellt[2].

Wichtig bei der Internet-Recherche ist, dass der einzelne Schüler nicht alles erarbeiten soll, da er dadurch zeitliche Probleme bekäme. Innerhalb der Gruppen gilt es daher arbeitsteilig zu verfahren. Dies kann erreicht werden, indem innerhalb der Gruppe eine Absprache getroffen wird, wer welche der angegebenen Internetseiten bearbeitet.

Zu der Aufgabenstellung einer jeden Gruppe gehört, sich über ein gängiges Modell für das Zustandekommen eines Treibhauseffekts zu informieren. Dies gilt es vor dem gegenseitigen Vorstellen der Ergebnisse zu besprechen. Nach der Ergebnispräsentation kann sich eine Diskussion anschließen. Bei der Vorstellung der Ergebnisse und der anschließenden Besprechung sollten folgende Punkte auftauchen:

- Die CO_2-Problematik
- The Missing Sink
- Erklärung des Treibhauseffekts
- Der Kohlenstoffkreislauf

Zu den letzten beiden Punkten finden sich auf verschiedenen Seiten im Internet anschauliche Visualisierungen. Mit deren Hilfe lassen sich die Erklärungen unterstützen.

Ziel ist es, die Aufmerksamkeit der Schüler auf die Bedeutung der Ozeane für die Kohlenstoffdioxid-Problematik zu lenken. Falls es notwendig erscheint, kann im Anschluss noch eine Zeitungsmeldung besprochen werden, in welcher vorgeschlagen wird Kohlenstoffdioxid im Meer zu verklappen.

---

[1] gesehen am 19.03.2003

[2] unter *www.chik.de/schule/CO2/portal.htm ; gesehen am 19.03.2003*

Die Erarbeitungsphase steht unter dem Leitthema *Welchen Einfluss haben verschiedene Bedingungen auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid*. Daher schließt sich eine Phase mit Schülerexperimenten an, in welcher die Schüler die Beeinflussung der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser in Abhängigkeit vom Druck, von der Temperatur, vom Salzgehalt und vom pH-Wert erarbeiten. Die erhaltenen Ergebnisse werden mit den Eigenschaften von Meerwasser verglichen und entsprechende Schlussfolgerungen gezogen. Auch kann der Zeitungsartikel zur Verklappung von Kohlenstoffdioxid auf Basis der gewonnen Erkenntnisse erneut besprochen werden. Weiterhin sollten Erklärungen für die gefundenen Ergebnisse folgen. Insbesondere die Ergebnisse für Druck und Temperatur lassen sich auf Teilchenebene gut erklären. Die Abhängigkeit vom pH-Wert lässt sich mit Hilfe der bereits bekannten Erklärungen zur Verschiebung der Lage von Gleichgewichten erläutern.

Die Vertiefungs- und Verknüpfungsphase ist von uns mit Hilfe kontextorientierter Übungsaufgaben neu gestaltet worden. Die große Bedeutung des Kohlenstoffdioxid-Carbonat-Gleichgewichts für unser alltägliches Leben soll so aufgezeigt werden. Es stehen z. B. Aufgaben zu folgenden Themen zur Verfügung:

- Das Unglück vom Nyos-See
- Der Löffel in der Sekt-Flasche
- Klopfen auf eine Cola-Dose
- Patentschrift zum Backpulver
- Herstellung von Sekt
- Der Soda-Streamer

Da die Durchführung dieser Einheit für das Ende des Schuljahres vorgesehen ist, wird die Anzahl der im Unterricht besprochenen Aufgaben in der Praxis durch diese zeitliche Limitierung vorgegeben.

3.2. Fragenbogenstudie zur Einführung des chemischen Gleichgewichts

Im zweiten Zyklus wurde etwa drei bis fünf Wochen nach der Einheit *Saure Reiniger im Haushalt* eine Fragebogenstudie durchgeführt, zu einem Zeitpunkt also, zu dem im Unterricht die Einheit zum Thema Fruchtester behandelt wurde. Die Schüler wurden zu ihrer Einstellung zu der vorherigen Unterrichtseinheit und dem Tutorium befragt, weiterhin sollten sie auch Wissensfragen beantworten. Dabei handelte es sich sowohl um Mehrfachwahlaufgaben, wie auch um Aufgaben mit freier Antwortmöglichkeit.

Die Anzahl der befragten Schüler betrug 103. Der Unterschied zu den 131 befragten Schülern, die an der Fragenbogenstudie zur Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* teilgenommen hatten, hat zwei Gründe: Zum einen war eine Lehrkraft zu ihrem eigenen Bedauern aus privaten Umständen ausgeschieden, zum anderen hatten einige Schüler zum Halbjahr das Fach abgewählt.

3.2.1. *Einstellungen der Schüler zur Unterrichtseinheit* Saure Reiniger im Haushalt *und zum Computertutorium*

In den folgenden beiden Abschnitten werden die Einstellungen und Einschätzungen der Schüler zur Unterrichtseinheit *Saure Reiniger im Haushalt* und dem eingesetzten Computertutorium vorgestellt. Am Ende eines jeden Abschnitts wird eine tabellarische Übersicht über eine Auswahl der gestellten Fragen gegeben. Diese ist dahingehend vereinfacht, dass jeweils die positiven bzw. die negativen Einstellungen zusammengefasst wurden. Eine ausführliche Darstellung ist in Anhang C zu sehen.

Im Anschluss an diese beiden Abschnitte erfolgt eine Diskussion der Ergebnisse.

3.2.1.1. Die Schülereinstellungen zur Unterrichtseinheit

In diesem Abschnitt werden die Einstellungen der Schüler zu der Unterrichtseinheit *Saure Reiniger im Haushalt* wiedergegeben.

Fragen zum Unterricht	stimmt eher	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht
Es war interessant über das Thema „Reiniger in Küche und Bad“ im Unterricht zu sprechen. K.A.= 4 (4%) | L21: 0	46 (45%) L21: 11 (61%)	35 (34%) L21: 4 (22%)	18 (17%) L21: 3 (17%)
Der Unterricht selber war interessant gestaltet. K.A.= 2 (2%) | L21: 0	57 (55%) L21: 10 (56%)	25 (24%) L21: 5 (28%)	19 (18%) L21: 3 (17%)

Mir ist es eigentlich egal, ob ich über alltägliche Handlungen und Produkte, wie z. B. das Reinigen mit Essigreiniger, mehr Hintergrundwissen bekomme oder nicht. K.A.= 2 (2%) | L21: 0	19 (18%) L21: 4 (22%)	23 (22%) L21: 2 (11%)	59 (57%) L21: 12 (67%)
Ich konnte dem Unterrichtsgeschehen gut folgen und meine das Wesentliche verstanden zu haben. K.A:= 3 (3%) | L21: 0	54 (52%) L21: 9 (50%)	27 (26%) L21: 6 (33%)	19 (18%) L21: 3 (17%)
Im Unterricht stand die Theorie im Vordergrund, die Thematik „Reiniger in Küche und Bad“ war eher am Rande wichtig. K.A.= 2 (2%) | L21: 0	36 (35%) L21: 5 (28%)	46 (45%) L21: 8 (44%)	19 (18%) L21: 5 (28%)

Tabelle 19 Zusammengefasste Antworten der Schüler auf Fragen zu ihrer Einschätzung, welche die Unterrichtseinheit Saure Reiniger *betreffen. (Auf die aufgeführten Einzelergebnisse wird im Laufe der weiteren Besprechung Bezug genommen.)*

Zuerst wurden die Schüler danach befragt, ob sie das Thema und den Unterricht interessant fanden. Bei beiden Punkten stimmten die Schüler mehrheitlich zu. Dabei wurde der Unterricht interessanter eingestuft, als das Thema selber.

Danach gefragt, ob es ihnen eher egal sei, im Chemieunterricht etwas über alltäglich Handlungen oder Produkte zu erfahren, stimmten die Schüler mehrheitlich nicht zu. Die Zahl der ablehnenden Schüler deckt sich dabei ungefähr mit der Zustimmungen bei den vorherigen Fragen. Die Antworten auf alle drei Fragen können also als *in sich konsistent* angesehen werden.

Aufgefordert sich selber bezüglich der Frage einzuschätzen, ob sie dem Unterricht gut folgen konnten und dabei der Meinung seien das Wesentliche verstanden zu haben, signalisierten die Schüler mehrheitlich eher Zustimmung. Dabei war die prozentuale Verteilung der Antworten vergleichbar mit der auf die Frage, ob der Unterricht interessant gestaltet gewesen sei

Schließlich wurden die Schüler gefragt, ob sie der Meinung seien, dass die Theorie im Vordergrund gestanden hätte. Die Mehrheit der Schüler empfand, dass dies teilweise stimmte und immer noch viele konnten dem zustimmen. Eine ablehnende Haltung wurde nur von einer Minderheit eingenommen.

Die Fragen bezüglich des Interesses am Thema und ob die Theorie eine größere Rolle als der Kontext gespielt hätte, wurden in ähnlicher Weise auch im Fragebogen bei der Unterrichtseinheit zum Thema Alkohol gestellt. In Tabelle 20 sind die Ergebnisse noch einmal gegenübergestellt. Dabei wird ersichtlich, dass die Thematik Alkohol als interessanter eingestuft wurde und dass die Einheit Reiniger im Haushalt als theorielastiger empfunden wurde.

Das Thema war interessant.	Unterrichtseinheit *Alkohol*	Unterrichtseinheit *Reiniger*
Eher zustimmend	68%	45%
Teils / teils	28%	34%
Eher ablehnend	4%	17%
Die Theorie stand im Vordergrund, die Thematik spielte eine untergeordnete Rolle	**Unterrichtseinheit *Alkohol***	**Unterrichtseinheit *Reiniger***
Eher zustimmend	32%	35%
Teils / teils	40%	45%
Eher ablehnend	28%	18%

Tabelle 20 Gegenüberstellung der Fragen nach dem Interesse am Thema und nach der Theorielastigkeit der Unterrichtseinheiten Alkohol *und* Reiniger.

3.2.1.2. Einschätzungen der Schüler zum Computertutorium

In diesem Abschnitt werden die Antworten auf die Fragen vorgestellt, welche sich konkret auf das Computertutorium beziehen.

Die Bedienung und die Verständlichkeit der Lektionen wurden von einer großen Mehrheit der Schüler positiv beurteilt. Auch bereitete es nur wenigen Schülern Schwierigkeiten die Arbeitsaufträge zu bearbeiten.

Danach gefragt, ob sie zusätzlich eigene Einstellungen bei der Simulation vorgenommen hätten und ob sie lieber mit den filmischen Antworten, statt mit der Simulation selber gearbeitet hätten, zeigte sich eine breite Streuung der Schülerantworten. Jedoch waren nur wenige der Meinung, dass sie auf die Musterantworten hätten verzichten können.

Auf die Frage, ob die Bearbeitung des Tutoriums geholfen habe die Erklärungen im folgenden Unterricht zu verstehen, stimmte eine Mehrheit der Schüler zu[1]. Die prozentuale Verteilung der Antworten fällt dabei ähnlich aus, wie auf die Nachfrage, ob sie das Wesentliche im Unterricht verstanden haben (vergleiche Abschnitt 3.2.1.1).

[1] Die Frage war negativ codiert, an dieser Stelle wird die positive Aussage gebraucht

Fragen zum Computer-Tutorium	stimmt eher	Stimmt teils/teils	stimmt eher nicht
Mit der Bedienung des Tutoriums hatte ich keine Probleme. K.A.=3 (3%) | L26: 0	83 (81%) L26: 10 (91%)	8 (8%) L26: 0	9 (9%) L26: 1 (9%)
Die einzelnen Lektionen fand ich verständlich formuliert K.A.= 3 (3%)	74 (72%)	17 (17%)	9 (9%)
Die Bearbeitung des Tutoriums hat mir nicht geholfen, die Erklärungen im anschließenden Unterricht verstehen zu können. K.A.= 3 (3%) | L21: 1 (6%)	20 (19%) L21: 3 (17%)	29 (28%) L21: 6 (33%)	51 (50%) L21: 8 (44%)
Zusätzlich zu den bereits eingestellten Werten, habe ich selber Einstellungen im Programm vorgenommen. K.A.= 4 (4%)	42 (41%)	20 (19%)	37 (36%)
Ich habe mir lieber die Antworten als Film angesehen, als mir die Antworten mit dem Simulationsprogramm selber zu erarbeiten. K.A.= 3 (3%)	28 (27%)	28 (27%)	44 (43%)
Die Antworten habe ich nicht benötigt, ich wäre auch ohne sie gut klar gekommen. K.A.= 4 (4%)	12 (12%)	27 (26%)	60 (58%)

Tabelle 21 Zusammengefasste Antworten der Schüler auf Fragen zu ihrer Einschätzung, welche das Computertutorium betreffen. (Auf die aufgeführten Einzelergebnisse wird im Laufe der weiteren Besprechung Bezug genommen.)

3.2.1.3. Diskussion der Ergebnisse und erste Schlussfolgerungen

Dass die Schüler die Thematik *Reiniger* als weniger interessant einstuften, als die Thematik *Alkohol* überrascht nicht wirklich. Ebenso wenig überrascht die Schülereinschätzung bezüglich der Frage, ob die Theorie im Vordergrund gestanden hätte. Es lässt sich als erfreulich einstufen, dass die Schüler auf die Frage mehrheitlich mit „teils / teils“ antworteten, denn diese Antwort lässt nicht den Schluss zu, dass die Theorie den Kontext verdrängt hätte. Der unterrichtliche Ablauf selber wurde allerdings von mehr Schülern als interessant eingestuft als die Thematik.

Weiterhin fällt auf, dass die Verteilung der Anzahlen bei den Fragen nach dem interessanten Unterricht, nach der eigenen Einschätzung des Verständnisses und nach der Einschätzung der Bedeutung des Tutoriums für das Verständnis des folgenden Unterrichts sehr ähnlich ausgefallen war.

Im Unterricht von L21 wurde zuerst das Tutorium und im Anschluss das Experiment durchgeführt. Hier ergab sich aber ein nahezu identisches Antwortmuster auf die Frage, ob der Einsatz des Tutoriums beim Verständnis des folgenden Unterrichts geholfen hätte. Auch die Einschätzungen der Schüler bezüglich ihres Interesses usw. weichen nicht auffallend von dem durchschnittlichen Antwortmuster ab.

Bezüglich des Computertutoriums können die Antworten der Schüler durchweg als Zustimmung für das Design des Tutoriums gewertet werden. Nur wenige Schüler äußerten, dass sie bei der Bedienung oder der inhaltlichen Bearbeitung Probleme gehabt hätten. Dies lässt sich sicherlich auf die Berücksichtigung unterschiedlicher Gestaltungskriterien zurückführen, wie sie in Kapitel 1.3 aufgeführt worden sind. Hierzu zählen u. a. die Gestaltung und Anordnung der Textseiten, sowie die inhaltliche Ausrichtung an Theorien des problemorientierten, konstruktivistischen und aktiven Lernens. Auch fällt die Beurteilung der Schüler von L26 ähnlich positiv aus, obwohl sie mit einer Version des Tutoriums gearbeitet hatten, bei welcher das Antwortfenster noch vom Hauptfenster verborgen werden konnten. Dieses Detail hat sich aber scheinbar auf die grundsätzliche Bedienbarkeit nicht negativ ausgewirkt.

Weiterhin bestätigt die breite Streuung der Antworten auf die Fragen, ob eigene Einstellungen bei der Simulation vorgenommen wurden bzw. ob lieber mit den Filmen statt mit der Simulation selber gearbeitet würde, die Struktur des Tutoriums. Dies lässt sich wie folgt interpretieren: Sowohl Schüler, welche lieber eigenständig und erforschend arbeiten finden die Möglichkeit sich zu verwirklichen, wie auch diejenigen, die lieber rezeptiv lernen. Auch eine Mischung von beiden Bearbeitungsformen ist problemlos möglich. Auf Grund der breiten Streuung der Schülerantworten, darf angenommen werden, dass hier jeder Schüler die Möglichkeit nutzen konnte, seinen individuellen Weg zu finden.

Auch zeigt die Analyse, wie wichtig es war Musterantworten mit in das Tutorium aufzunehmen. Das Ergebnis lässt den Schluss zu, dass auch diejenigen Schüler die Musterantworten nutzten, welche bevorzugt mit der Simulation gelernt hatten. Diese Annahme wird von den Beobachtungen gestützt, welche von den Lehrkräften und uns selber bei der Durchführung des Tutoriums im Unterricht gemacht worden waren.

3.2.2. *Zusammenfassung der Antworten auf Wissensfragen in Form von Mehrfachwahlaufgaben*

Anders als im Fragebogen zur Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* wurden in diesem Fragebogen auch kognitive Fragen gestellt. Dabei gab es sowohl Fragen mit Mehrfachwahlaufgaben, als auch Fragen mit freier Antwortmöglichkeit. In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Antworten auf die Mehrfachwahlaufgaben vorgestellt. Dabei gliedern sich diese in zwei Teile.

Im ersten Teil wurden wahre und falsche Aussagen zur Gleichgewichtsreaktion zwischen Essigsäure und Wasser zur Wahl gestellt. Bei den nicht zutreffenden Aussagen handelte es sich dabei um typische Fehlvorstellungen (vergleiche Abschnitt 1.4.2), welche auf das vorliegende Beispiel hin umformuliert worden waren. Die Aussagen und die Ergebnisse sind in Tabelle 22 zu sehen. Jeweils unter die Nummerierung wurden die Anzahlen eingetragen, wie häufig eine Aussage gewählt worden war. Da den Schülern die Tabelle insgesamt präsentiert wurde, war in der Aufgabenstellung offengelassen worden, wie viele der Aussagen richtig seien. Daher kam es z. T. zu Mehrfachnennungen. Die Anzahl der richtigen Antworten pro Aufgabenteil ergeben sich entsprechend nicht durch einfaches Aufsummieren. Die Angabe wurde daher zusätzlich mit in die Tabelle aufgenommen.

Vor den Auswahlantworten in Tabelle 22 war folgender Aufgabentext zu lesen:

> Gibt man 0,1 mol Essigsäure (CH_3COOH) in 1 Liter Wasser, so stellt man durch eine Messung des pH-Werts fest, dass weniger H_3O^+-Ionen entstehen, als an Essigsäuremolekülen eingesetzt wurde.
>
> KREUZEN SIE DIE RICHTIGE(N) AUSSAGE(N) AN

(1.1) 0	Die Essigsäuremoleküle hören auf mit den Wassermolekülen zu reagieren, wenn die Hälfte der Essigsäuremoleküle zu H_3O^+-Ionen reagiert hat.
(1.2) 7	Die Essigsäuremoleküle hören auf mit den Wassermolekülen zu reagieren, wenn die Gleichgewichtskonzentration an H_3O^+-Ionen erreicht ist.
(1.3) 99	Die Essigsäuremoleküle hören nie auf mit den Wassermolekülen zu reagieren. Allerdings beginnen die H_3O^+-Ionnen mit den entstandenen Acetat-Ionen wieder zurück zu reagieren.
Teil 1 richtig: 92 von 103 (89%) | Keine Angaben: 1	
(2.1) 5	Im Gleichgewichtszustand verläuft die Reaktion der Essigsäure mit Wasser schneller als die Reaktion der H_3O^+-Ionen mit den Acetat-Ionen.
(2.2) 10	Im Gleichgewichtszustand verläuft die Reaktion der H_3O^+-Ionnen mit den Acetat-Ionen schneller als die Reaktion der Essigsäure mit Wasser.
(2.3) 5	Im Gleichgewichtszustand laufen keine Reaktionen mehr ab.
(2.4) 78	Im Gleichgewichtszustand laufen die Reaktionen von H_3O^+-Ionnen mit den Acetat-Ionen und von Essigsäure mit Wasser gleich schnell ab.
Teil 2 richtig: 78 von 103 (76%) | Keine Angaben: 6	
(3.1) 12	Im Gleichgewichtszustand ist die Konzentration der Essigsäure genau halb so groß, wie zu Beginn der Reaktion.
(3.2) 70	Die Anzahl der entstandenen H_3O^+-Ionen und Acetat-Ionen ist gleich groß.
(3.3) 24	Die Anzahl an nicht reagierten Essigsäuremolekülen und H_3O^+-Ionen ist gleich groß.
(3.4) 8	Die Anzahl an nicht reagierten Essigsäuremolekülen und Acetat-Ionen ist gleich groß
Teil 3 richtig: 61 von 103 (59%) | Keine Angaben: 8	
Alle drei Teile richtig: 44 von 103 (43%)	

Tabelle 22 Zur Wahl gestellte Aussagen zur Gleichgewichtsreaktion zwischen Essigsäure und Wasser. Aufgeführt sind weiterhin die Ergebnisse der Fragebogenstudie.

Im zweiten Teil wurde eine von KIENAST (1999, Anhang A.2) erarbeitete und erprobte Mehrfachwahlaufgabe genutzt. Der chemische Inhalt bezieht sich auf die Gleichgewichtsreaktion zwischen Ethan und Ethen, ein Beispiel, welches den Schülern aus dem vorhergehenden Unterricht nicht geläufig war. Die Besonderheit dieser Aufgabe besteht darin, dass die Antwortmöglichkeiten keine Aussagen zur Theorie machen, sondern lediglich Angaben zu Stoffmengen machen. In seiner Arbeit konnte KIENAST aber zeigen, dass die Aufgabenstellung und die Formulierung so geschickt gewählt worden waren, dass sich hinter der Auswahl einer Antwort nur bestimmte Vorstellungen verbergen konnten, insbesondere wurde die richtige Antwort nicht mit fehlerhaften Begründungen angekreuzt. Die

Ergebnisse und Aufgabenstellung sind der folgenden Tabelle 23 zu entnehmen. Weiterhin findet sich in der letzten Zeile die Angabe, wie viele Schüler alle Mehrfachwahlaufgaben im Fragebogen richtig beantwortet haben.

Kreuzen Sie die richtige(n) Aussage(n) an		
Anders als in der Simulation, betrachten wir hier die Reaktion $1\ C_2H_4 + 1\ H_2 \rightleftharpoons 1\ C_2H_6$ Ethen + Wasserstoff ⇌ Ethan Zu Beginn der Reaktion werden 5 mol Ethen und 5 mol Wasserstoff eingesetzt. Zu diesem Zeitpunkt hat sich Ethan noch nicht gebildet. Nachdem sich das Gleichgewicht eingestellt hat, liegen noch 3 mol Ethen vor. Wie viel mol Wasserstoff und wie viel mol Ethan sind nun vorhanden?		
(A)	3 mol Wasserstoff und 2 mol Ethan	61 (59%)
(B)	3 mol Wasserstoff und 3 mol Ethan	17 (17%)
(C)	3 mol Wasserstoff und 4 mol Ethan	11 (11%)
(D)	3 mol Wasserstoff und 6 mol Ethan	0
(E)	5 mol Wasserstoff und 2 mol Ethan	3 (3%)
	Keine Angaben	11 (11%)
Alle Mehrfachwahlaufgaben im Fragebogen haben 25 von 103 Schülern (24%) richtig beantwortet.		

Tabelle 23 Mehrfachwahlaufgabe zur Gleichgewichtsreaktion von Ethan und Ethen nach KIENAST (1999, Anhang A.2).

In Tabelle 24 finden sich die nach KIENAST aufgelisteten Fehlvorstellungen, welche bei den Schülern vorliegen sollen, wenn sie die entsprechende Auswahlantwort angekreuzt haben. Das Gesamtergebnis gibt somit Hinweise auf die Häufigkeit solcher Vorstellungen bei den Schülern.

[A]*	Richtige Lösung
[B]	Im Gleichgewichtszustand sind die Stoffmengen aller am Gleichgewicht beteiligten Stoffe gleich.
[C]	Die Summe der Stoffmengen bleibt im Laufe einer chemischen Reaktion erhalten.
[D]	Im Gleichgewichtszustand ist die Summe der Stoffmengen der Edukte gleich der Summe der Stoffmengen der Produkte.
[E]	Die Summe der Stoffmengen bleibt im Laufe einer chemischen Reaktion erhalten. **Und** Die Anfangsstoffmenge des Wasserstoffs bleibt erhalten.

Tabelle 24 Deutung der Auswahlantworten in Bezug auf die dahinterliegenden Fehlvorstellungen; aus KIENAST (1999, Anhang A.2)

Auf Grund der Arbeiten von KIENAST stehen für diese Aufgabe Vergleichswerte zur Verfügung. Bei der Gegenüberstellung der Werte gilt es zu berücksichtigen, dass die von KIENAST befragten Schüler zumindest in Nordrhein-Westfalen noch nach einem Lehrplan unterrichtet wurden, in welchem das chemische Gleichgewicht erst ab der zwölften Jahrgangsstufe behandelt wurde. In der folgenden Tabelle 25 sind die Ergebnisse von KIENAST zusammen mit unseren aufgeführt.

Jg. / Kurs	[A]*	[B]	[C]	[D]	[E]	o. A. / m. W.	Anzahl
11	25 %	20 %	14 %	14 %	9 %	18 %	44
12 GK	37 %	10 %	16 %	6 %	9%	22 %	68
13 GK	51 %	15 %	24 %	0 %	5 %	5%	41
12 LK	52 %	7 %	18 %	7 %	7 %	9 %	44
13 LK	66 %	15 %	9 %	4 %	2 %	4 %	47
Unsere 11	59 %	17 %	11 %	0 %	3 %	11 %	103

Tabelle 25 Gegenüberstellung der Ergebnisse von KIENAST (1999, Anhang A.2) und die Ergebnisse der Schüler im zweiten Zyklus. Dabei bedeuten GK = Grundkurs, LK = Leistungskurs, o.A. = ohne Angaben und m.W. = mehrfache Wahl.
Nach dem neuen Lehrplan in Nordrhein-Westfalen werden Leistungskurse erst ab dem zwölften Jahrgang gewählt, daher entfiel Einteilung in Grund- und Leistungskurse für diese Jahrgangsstufe.

3.2.3. *Zusammenfassung der Antworten auf Wissensfragen mit freier Antwortmöglichkeit*

In der Fragebogenstudie wurden die Schüler gebeten, auf verschiedene Fragen frei zu antworten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse auf die Fragen zu drei Themenbereichen vorgestellt. Dabei handelt es sich um jeweils eine Frage zur Stoßtheorie, eine zum chemischen Gleichgewicht und eine zur Gleichgewichtsverschiebung.

Für die hier gewählte Darstellung der Antworten wurden diese kategorisiert. Es wurden Antworttypen gebildet. Ziel war, die Anzahl der darzustellenden Punkte zu reduzieren und gleichzeitig die Gesamtheit der aufgetretenen Antworten möglichst gut wiederzugeben. Durch die abstrakte Kategorisierung werden zwar teilweise die Antworten der Schüler nur schematisch wiedergegeben, jedoch wird so eine vollständige Darstellung aller (richtigen) Antworten ermöglicht. Bei den anderen beiden Fragen ist eine abstrakte Kategorisierung für nicht notwendig erachtet worden, da die Formulierung der Antworttypen den originalen Formulierungen der Schüler sehr nahe kommt und z. T. sogar mit diesen übereinstimmt. Dies war sicherlich auch deshalb der Fall, weil die Beantwortung in diesen beiden Fällen in einem Satz (genauer: der Ergänzung eines angefangenen Satzes) möglich war.

3.2.3.1. Offene Frage zur Stoßtheorie

Die Schüler wurden aufgefordert den angefangenen Satz *Ein Stoß zwischen einem Essigsäuremolekül und einem Wassermolekül führt nicht zu einer Reaktion, wenn …* zu vervollständigen. Die Idee diese Frage zu stellen, war dabei, dass hier die Aspekte der Stoßtheorie erinnert werden mussten, die im Allgemeinen eher unbeachtet bleiben. Normalerweise interessiert man sich für Reaktionen, also erfolgreiche Stöße. Die Art und Anzahl der Antworten zeigt aber, dass dies für die Schüler keine Schwierigkeit darstellte. Manche waren gar zu eifrig und schrieben weitere Bedingungen auf, welche eine erfolgreiche Reaktion verhindern, die aber durch die Aufgabenstellung eigentlich ausgeschlossen waren, z. B. wurden zueinander passende Reaktionspartner erwähnt (vergleiche Antworttypen 7 bis 9 in Tabelle 26).

Eine ideale Antwort sollte dabei sowohl den Aspekt der Aktivierungsenergie[1], sowie den der richtigen Orientierung umfassen. Jedoch führte bereits die Erwäh-

[1] Zum Unterschied zwischen Aktivierungsenergie und Mindestenergie führen JÄCKEL & RISCH (1988, S. 81) aus: *„Bei chemischen Reaktionen können nur die Teilchen miteinander reagieren, die eine bestimmte Mindestenergie E_{min} besitzen. (...) Bei Erhöhung der Temperatur (...)[steigt]die Zahl der reaktionsfähigen Teilchen berächtlich. (...) Bei einem Vergleich mit der Arrehnius-Gleichung könnte der Eindruck entstehen, daß die Mindestenergie gleich der Aktivierungsenergie E_A ist. Diese Gleichsetzung ist jedoch nicht zulässig. Für ein genaueres Verständnis der Aktivierungsenergie E_A nach Arrehnius muß man für eine bestimte Temperatur die mittlere Energie $\overline{E}$ aller Teilchen mit der mittleren Energie $\overline{E}^*$ aller reaktionsfähigen Teilchen vergleichen (...):* $E_A = \overline{E}^* - \overline{E}$. *Die gleiche Energiedifferenz würde sich auch bei anderen Temperaturen ergeben."* ATKINS (1990, S. 843) führt weiterhin aus: *"It follows that the acivation energy E_a can be identified with the minimum kinetic energy along the line of ap-*

nung von einem dieser Aspekte in eine Einordnung in die Kategorie *richtige Antworten*. Im Aufgabentext enthalten war bereits die Information, dass ein Essigsäuremolekül und ein Wassermolekül miteinander reagieren können, so dass die Erwähnung dieses Aspekts in allgemeiner Formulierung eigentlich bereits als falsch einzustufen gewesen wäre. Bei der Darstellung der Antworttypen in Tabelle 26 wurden diese gesondert aufgeführt und nicht zu den richtigen Antworten gezählt.

Vervollständigen Sie die folgenden Sätze zu wahren Aussagen.		
Ein Stoß zwischen einem Essigsäuremolekül und einem Wassermolekül führt *nicht* zu einer Reaktion, wenn …		
Anzahl	Formulierung der Schüler	Kommentar
Richtige Antworten		
24 17 12 6 6	1. Stoß/Aufprall ist nicht stark genug 2. Die Teilchengeschwindigkeit ist zu gering 3. Geschwindigkeit/Aktivierungsenergie zu gering 4. Nicht ausreichende Aktivierungsenergie 5. Stoß nicht fest genug / kinetische Energie zu gering	Verschiedene Formulierungen für den gleichen Sachverhalt; alle Formulierungen lassen sich auf den Text des Tutoriums zurückführen; es fehlt allerdings der Aspekt der Orientierung
8	6. Zu geringe Aktivierungsenergie und falsche Orientierung	Dieser Antworttyp kann als vollständig richtig eingeordnet werden.
Richtiger, aber nicht der Ausgangssituation entsprechender Aspekte genannt		
3 1 2	7. Stoß nicht heftig genug / Teilchen nicht von derselben Art / falsche Orientierung 8. Teilchen von ungleicher Art / Teilchen zu langsam 9. ... wenn Moleküle gleicher Art zusammenstoßen	In der Aufgabenstellung waren die Reaktionspartner vorgegeben. Die Begründung mit falschen Reaktionspartnern ist somit eigentlich als falsch einzustufen.
Missverständlich formulierte Antworten		
3	10. ...sie keine bestimmte Geschwindigkeit haben	Das Problem bei diesem Antworttyp liegt in dem Wort *bestimmt*. Ist gemeint, dass die Moleküle eine Mindestgeschwindigkeit oder dass sie eine genau definierte Geschwindigkeit haben müssen?

proach that is needed for reaction". Während also die Aktivierungsenergie eine Eigenschaft des Reaktionstyps ist, ist die Mindestenergie eine Eigenschaft der (zusammenstoßenden) Teilchen.

In der Version des Tutoriums für den zweiten Zyklus wurde noch von Aktivierungsenergien gesprochen, in Folge der Hinweise von Lehrkräften wurde der Begriff jedoch geändert und seitdem wird der Begriff der Mindestenergie im Tutorium verwandt.

Vervollständigen Sie die folgenden Sätze zu wahren Aussagen. Ein Stoß zwischen einem Essigsäuremolekül und einem Wassermolekül führt *nicht* zu einer Reaktion, wenn …		
Anzahl	Formulierung der Schüler	Kommentar
4	11. … wenn die Reaktion nicht heftig genug ist	Bei dem Begriff der Reaktion handelt es sich eigentlich um ein makroskopisches Konzept; außerdem legt dieser Begriff nahe, dass die Partner miteinander reagieren, was sie aber hier gerade nicht sollen. Angebrachter wäre es daher von Stoß zu reden.
Antworten, die als falsch eingestuft wurden		
1	12. Wenn die Moleküle zu schnell sind, stoßen sich wieder ab	Dies entspricht einer Vorstellung aus der Alltagswelt
1 2 1	13. ... gleiche Konzentration an H_3O^+-Ionen erreicht sind 14. … wenn das Essigmolekül dissoziiert 15. ... wenn H_3O^+ dazu kommt	Bei diesen Antworttypen wurden jeweils falsche Konzepte, z. B. das der Gleichgewichtsverschiebung bei (15), angewandt
keine Antwort 12		

Tabelle 26 Übersicht über die zu Antworttypen zusammengefasste Antworten auf die offene Frage zur Stoßtheorie.

Bei den richtigen Antworten fällt auf, dass ein überwiegender Teil der Schüler nur den Aspekt genannt hat, der im Computertutorium eine wichtige Rolle gespielt hat, nämlich den, dass die Geschwindigkeiten der stoßenden Teilchen zu gering sein könne, um die Aktivierungsenergie zu überwinden. Dieser Aspekt wurde dabei zum Teil auch in Alltagssprache wiedergegeben. Es ist dann von *Kräften* die Rede, wo eigentlich von Energien gesprochen werden müsste. Dies wurde jedoch als richtige Antwort akzeptiert. Der Hinweis auf zu geringe Geschwindigkeiten der stoßenden Teilchen wurde auch deshalb als ausreichende Antwort akzeptiert, da im Computertutorium hier auch nicht genauer differenziert wurde, um den anschaulichen Sachverhalt nicht unnötig zu verkomplizieren.[1]

Bei den missverständlichen Antworten handelt es sich um solche, bei denen die Alltagssprache in zu ambivalenter Weise gebraucht wird. So lässt sich die Aussage *wenn die Reaktion nicht heftig genug ist* auf zwei Arten, auf einer submik-

[1] Beispielsweise wurden wir von Physik-Lehrkräften darauf hingewiesen, dass Schüler in der elften Jahrgangsstufe häufig mit dem Begriff der kinetischen Energie nicht richtig umzugehen wüssten. Diese Hinweise gehen mit unseren gemachten Beobachtungen konform, da wir während des Einsatzes des Tutoriums im Unterricht mehrfach gefragt worden waren, was mit kinetischer Energie gemeint sei. In einer überarbeiteten Version des Computertutoriums wurde dem Rechnung getragen, und der Begriff mit einer entsprechenden Erläuterung versehen.

roskopischen und auf einer makroskopischen Ebene, deuten. Von den Schülern würde das Richtige gemeint, wenn sie mit *heftiger Reaktion* einen *heftigen Zusammenstoß* bezeichnen. Allerdings wird die Aussage *eine Reaktion sei heftig* häufig für makroskopische Beobachtungen verwendet, z. B. dann, wenn es bei einer Reaktion zu einer großen Wärmeentwicklung kommt oder eine Reaktion explosionsartig abläuft.

Die Aussage, dass die Teilchen *keine bestimmte Geschwindigkeit haben*, ist ebenfalls zweideutig. Es könnte hier richtiger Weise gemeint sein, dass eine Reaktion zwischen den beiden Teilchen erst dann stattfindet, wenn *zumindest* eine bestimmte Energie, die Aktivierungsenergie, bei ihrem Aufprall frei wird. In diesem Fall wäre *keine bestimmte Geschwindigkeit* im Sinne von nicht erfüllter Mindestgeschwindigkeit zu verstehen und mit Antworttyp 2 gleichzusetzen. Allerdings könnte *bestimmt* auch im Sinne von *genau definiert* gemeint sein, was zu einer falschen Aussage führen würde.

3.2.3.2. Offene Frage zum chemischen Gleichgewicht

Im Anschluss an die erste offene Aufgabe wurden die Schüler aufgefordert den folgenden Satz zu ergänzen: *Das chemische Gleichgewicht wird dynamisch genannt, weil…*

Erwartet wurde hier, dass die Schüler sowohl auf die ständig ablaufende Hin- und Rückreaktion verweisen, als auch erwähnen, dass diese im Gleichgewichtszustand gleich schnell ablaufen. Da sie im Computertutorium das dynamische Gleichgewicht auf submikroskopischer Ebene kennen gelernt haben, hätte erwartet werden können, dass zumindest eine bedeutendere Minderheit auf dieser Ebene argumentieren würde. Diese Erwartung wurde allerdings nicht erfüllt. Weiterhin zeigte sich häufig, dass wenn Schüler mit Molekülen argumentierten, sie deren Bewegung mit dem Begriff *Dynamik* in Verbindung brachten. Dynamik im Sinne von ständig miteinander stoßenden und in Folge reagierenden Teilchen wurde nur von zwei Schülern erwähnt (vergleiche Antworttyp 6).

Das chemische Gleichgewicht wird dynamisch genannt, weil …		
Anzahl	Formulierung der Schüler	Kommentar
Richtige Antworten		
20	1. ... es ständige Hin- und Rückreaktionen gibt.	Diese Antworttypen nennen die Hin- und Rückreaktion und teilweise einen weiteren Aspekt.
12	2. ... es stetige Hin- und Rückreaktion gibt. Die Reaktion wird nicht abgeschlossen.	
6	3. ... Hin- und Rückreaktionen um einen Mittelwert schwanken.	
1	4. ... es Hin- und Rückreaktionen gibt, die ihre Wirkung aufheben	
7	5. .. Hin- und Rückreaktion stattfinden und gleich schnell sind.	
2	6. ... die Moleküle nie aufhören miteinander zu reagieren	Diese Antworttypen betonen die Dynamik.
1	7. … es nicht statisch ist, sondern sich über Reaktionsgeschwindigkeiten definiert	
1	8. ... die Reaktionen die ganze Zeit weiterlaufen, obwohl es zu einem GGW gekommen ist	
2	9. ... es um einen bestimmten Anteil schwankt.	Bei diesen Antworttypen wird die Lage des Gleichgewichts als Mittelwert erkannt.
1	10. ... die Reaktion weiter erfolgt. Dies kann aber an den Werten nicht gesehen werden.	
1	11. … die geringen Schwankungen um einen Mittelwert nicht messbar sind.	
Missverständlich formulierte Antworten / Ambivalente Formulierungen		
1	12. ... es ständig im Wechsel läuft.	Hinter diesen Formulierungen könnte sich die Fehlvorstellung einer messbar oszillierenden Reaktion verbergen, allerdings könnten die Antworten auch nur unglücklich formuliert sein.
3	13. … auf die Hinreaktion eine Rückreaktion folgt.	
1	14. ... Hin- und Rückreaktion sich ständig abwechseln.	
2	15. … es kein dauerhaftes Gleichgewicht in der Chemie gibt.	Bei diesen Antworttypen werden die Worte „dauerhaft“ bzw. „ständig“ auf das Gleichgewicht in unpassender Weise angewendet.
2	16. ... es kein ständiges Gleichgewicht gibt. Es schwankt um einen Mittelwert.	
2	17. ... die einzelnen Teilchen ständig in Bewegung sind und miteinander reagieren.	Hier wird scheinbar „Dynamik“ mit „Bewegung“ gleichgesetzt.
2	18. ... die Anzahl der reagierenden Teilchen gleich ist und sie dissoziieren.	Hinter diesen Formulierungen könnte sich die Fehlvorstellung der gleichen Stoffmengen im Gleichgewichtszustand verbergen, allerdings könnten die Antworten auch nur unglücklich formuliert sein.
1	19. ... die Reaktion zweier Stoffe in beide Richtungen gleichwertig abläuft.	

Das chemische Gleichgewicht wird dynamisch genannt, weil …		
Anzahl	Formulierung der Schüler	Kommentar
Als falsch einzustufende Antworten		
3	20. ... das Gleichgewicht immer in Bewegung ist.	Hier wird der Begriff der Dynamik offensichtlich falsch interpretiert und auf „das (manifestierte) Gleichgewicht" angewendet.
1	21. … es beweglich ist.	
5	22. ... das Gleichgewicht verschiebbar ist.	
1	23. ... eine Reaktion nur durch einen starken Stoß möglich ist.	Hier wird der Begriff der Dynamik auf die Beweglichkeit der Teilchen bezogen bzw. macht falsche Anleihen bei der Stoßtheorie.
3	24. ... die einzelnen Teilchen immer in Bewegung sind.	
1	25. ... die einzelnen Teilchen ständig in Bewegung sind und Energie austauschen.	
1	26. ... es viel Zeit in Anspruch nimmt. Sie wird dynamisch genannt, weil sie zeitlich abläuft.	Dynamik als zeitlich ablaufend interpretiert.
1	27. ... der pH-Wert sich einstellt und sich nur noch geringfügig ändert.	Hier werden submikroskopische, nicht messbare Änderungen für makroskopische, messbare Änderungen gehalten.
1	28. … z. B. die OH_3^+-Konzentration nicht konstant ist.	
4	29. ... sich die Moleküle im Gleichgewicht halten.	Ohne Kommentar
1	30. Säuren chem. Verbindungen sind, die in wässriger Lösung H_3O^+-Ionen bilden.	
keine Antwort 13		

Tabelle 27 Übersicht über die zu Antworttypen zusammengefasste Antworten auf die offene Frage zum chemischen Gleichgewicht.

EYBE (2000, S. 74-76) weist daraufhin, dass Probleme bei den Schülern bezüglich des Zeichnens von Konzentrations-Zeit-Diagrammen, auftreten können. Insbesondere konnte EYBE neben der wissenschaftlich akzeptierten Variante zwei weitere von den Schülern vorgeschlagene beobachten, welche als falsch einzustufen sind.

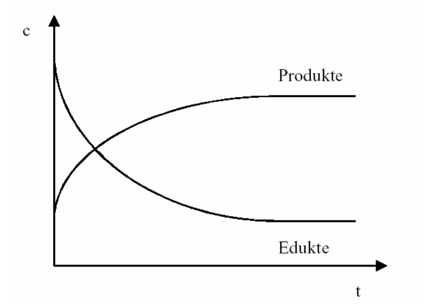
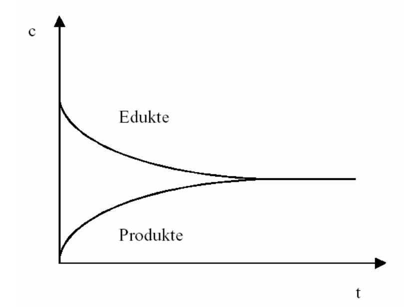
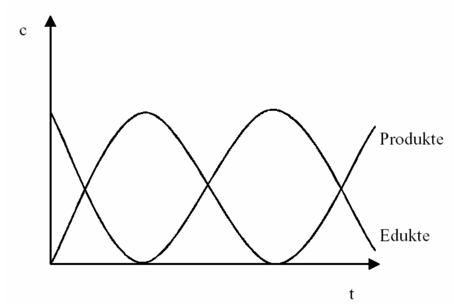
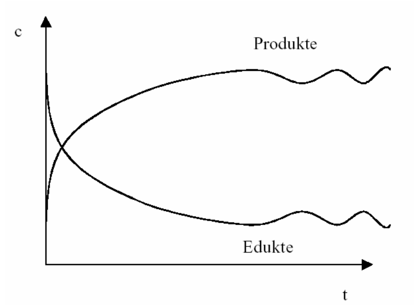
	
(A) Beispiel einer ‚richtigen' Darstellung	(B) Spezialfall: Gleiche Konzentrationen im Gleichgewichtszustand
	
(C) Darstellung des Reaktionsverlaufs als ‚Sinus-Cosinus-Kurve'	(D) Reaktionsverlauf mit Konzentrationsschwankungen im Gleichgewicht

Abbildung 33 Von Schülern bei einer Gruppendiskussion angefertigte Skizzen zum Aussehen des Konzentrations-Zeit-Diagramms einer chemischen Reaktion. Entnommen aus: EYBE (2000, S. 75-76)

Bei der ersten Variante (Abbildung 33(c)) wird die Konzentration der Edukte und Produkte als oszillierend dargestellt, wobei abwechselnd die Reaktion zu den Produkten bzw. zu den Edukten vollständig abläuft. Als zweite Version (Abbildung 33(d)) wurde von den Schülern eine Mischung aus beiden Diagrammen vorgeschlagen, bei denen die Konzentrationen um messbare(!) Mittelwerte schwanken, resultierend aus der ständigen Hin- und Rückreaktion. Schließlich wurde noch eine spezielle Variante (Abbildung 33(b)) von den Schülern vorgeschlagen, bei denen die Edukt- und Produktkonzentration im Mittelwert gleich waren. Hier verweist EYBE jedoch darauf, dass die Schüler schnell in der Lage waren, diesen Fall als Spezialfall einzustufen.

Würde man diese Ergebnisse als Schablone verwenden, um die Antworten unserer Schüler zu analysieren, so käme man sicherlich zu falschen Einschätzungen:

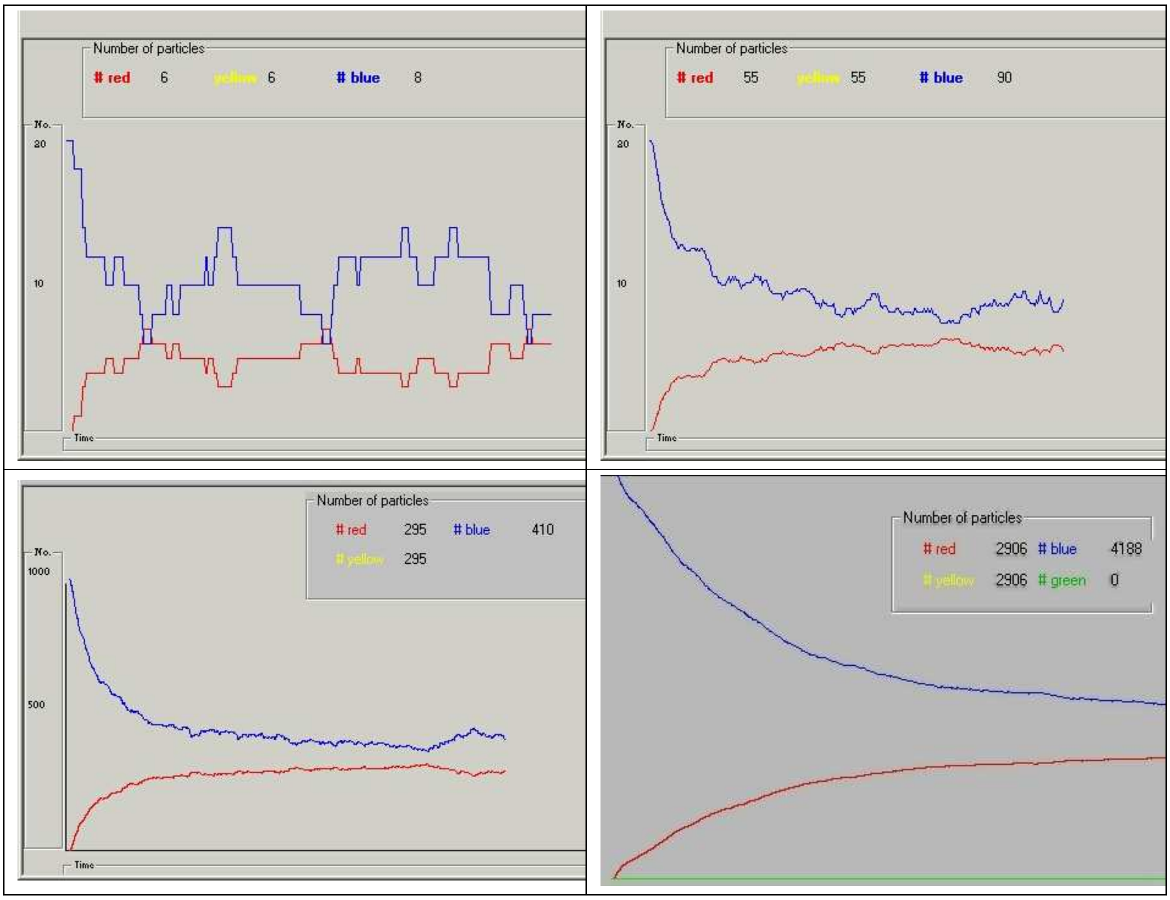


Abbildung 34 Vergleich von Liniendiagrammen mit unterschiedlichen Teilchenzahlen. Angefangen von oben links, nach unten rechts sind Screenshots von Liniendiagrammen mit 20, 200, 1000 und 10000 Teilchen wiedergegeben.

Im Computertutorium zur Einführung der Stoßtheorie wurden graphische Darstellungen gezeigt, welche zwar im Tutorium fachlich richtig sind, jedoch der zweiten falschen Darstellung, nach Eybe, stark ähneln. Während die Schüler bei Eybe makroskopisch messbare Konzentrationen betrachteten, wurden im Computertutorium kleine Teilchenzahlen modellhaft beobachtet. In der Simulation lag die gesamt Zahl aller Teilchen, je nach Lektion, zwischen zehn und 200. Trägt man hier die Teilchenzahlen gegen die Zeit auf, so muss es zu deutlich sichtbaren Schwankungen kommen (vergleiche Abbildung 34). In einer der Lektionen wird jedoch auch gezeigt, dass die prozentuale Höhe der Schwankungen um einen Mittelwert mit steigender Teilchenzahl abnimmt. Betrachtet man Konzentrationen, wie die Schüler bei Eybe, so betrachtet man automatisch Teilchenzahlen in der Größenordnung von Mol oder Millimol. Grob gesprochen liegt also ein Faktor von etwa 10^{20} zwischen den beiden Betrachtungen.

Insbesondere konnten wir keine Hinweise dafür finden, dass unsere Schüler die submikroskopische und die makroskopische Ebene miteinander verwechselten bzw. auf Grund der Darstellung der Diagramme in der Simulation zu falschen Aussagen gekommen wären, wie Eybe sie beobachten konnte.

Die durch das dynamische Gleichgewicht bedingten Schwankungen der Stoffmengen realer Reaktionen sind prozentual so klein und jeweils von so kurzer Dauer, dass sie mit der heutigen Messtechnik nicht gemessen werden können.

Dass geringe Schwankungen vorhanden seien müssen, ist eine Folge aus dem dynamischen Gleichgewicht und des diskreten Vorkommens der Materie, allerdings müsste man, um diese wahrzunehmen, die Teilchenanzahlen in minimalsten Zeiträumen erfassen können.

Auch ist es kein trivialer Sachverhalt, dass die prozentualen Schwankungen mit steigender Teilchenzahl kleiner werden. Was im Tutorium den Schülern intuitiv vor Augen geführt wird, beruht auf dem *Gesetz der großen Zahlen*. Dabei handelt es sich um einen mathematischen Satz, wie er z. B. in Lehrbüchern der Wahrscheinlichkeitsrechnung angegeben und bewiesen wird (siehe z. B. CHUNG (1974, S. 227 – 233))[1]. Inhaltlich besagt das *Gesetz der großen Zahlen* für unser Beispiel, dass mit steigender Teilchenzahl auch die die Höhe der Schwankungen zunimmt, aber deren prozentualer Anteil gegen Null konvergiert. Man hat hier also die etwas paradox anmutende Situation, dass eine Größe ansteigt, aber ihr Anteil am Gesamtsystem immer unbedeutender wird.

Vor diesem Hintergrund lassen sich einige der oben gegebenen Antworttypen analysieren, welche sich unmittelbar mit Schwankungen und Mittelwerten beschäftigen.

1. Hin- und Rückreaktionen schwanken um einen Mittelwert
2. ... es um einen bestimmten Anteil schwankt
3. Reaktion erfolgt weiter, kann aber an den Werten nicht gesehen werden
4. weil die geringen Schwankungen um einen Mittelwert nicht messbar sind
5. weil es kein dauerhaftes Gleichgewicht in der Chemie gibt
6. GGW ist immer in Bewegung
7. kein ständiges GGW / schwankt um einen Mittelwert
8. auf Hinreaktion folgt eine Rückreaktion
9. weil es ständig im Wechsel läuft
10. Hin- und Rückreaktion wechseln sich ständig ab

Betrachtet man diese Antworten der Schüler nur vor dem Hintergrund der von EYBE berichteten Beobachtungen, so könnte man zu der Auffassung kommen, dass alle der obigen Aussagen zumindest als nicht richtig einzustufen sind. Zieht man jedoch in betracht, was die Schüler im Computertutorium gelernt haben, so muss man zu dem Schluss gelangen, dass die Aussagen (1) bis (7) als richtig zu werten sind, auch wenn zum Teil etwas blumige Formulierungen verwendet werden, bei welchen man gerne noch einmal genauer nachfragen möchte, wie z. B. bei (6). Schwieriger zu beurteilen sind hier schon die Aussagen (8) bis (10). Hinter diesen könnte sich durchaus die von EYBE berichtete Fehlvorstellung der oszillierenden Teilreaktionen verbergen.

[1] Diesen hier anzugeben macht wenig Sinn, da er zu den tiefergehenden Sätzen gehört und mit Hilfe einer Reihe an mathematischen Begriffen formuliert wird, die zu erläutern an dieser Stelle zu weit gehen würde.

3.2.3.3. Offene Frage zur Gleichgewichtsverschiebung

Bei der dritten offenen Frage waren die Schüler aufgefordert die Gleichgewichtsverschiebung bei der Reaktion von Essigsäure mit Marmor zu erklären.

Erläutern Sie, wie es sein kann, dass bei der Reaktion von Essigsäure mit Marmor nahezu die gesamten Essigsäuremoleküle reagieren, obwohl gemessen wurde, dass diese nur zu einem kleinen Teil zu H_3O^+-Ionen reagiert haben.

Im Prinzip handelte es sich hierbei um eine reine Reproduktionsaufgabe, da dieses Beispiel sowohl im Computertutorium, als auch im anschließenden Unterricht behandelt wurde. Die Schwierigkeit dieser Aufgabe besteht jedoch darin, dass zur ihrer Beantwortung mehrere Schritte notwendig sind. Insbesondere müssen zwei gleichzeitig ablaufende Reaktionen beschrieben werden, welche sich gegenseitig beeinflussen. Dies erschwert nicht nur das Verständnis des Sachverhalts, sondern macht auch dessen sprachliche Beschreibung schwierig. Selbst bei Lehrenden oder uns, die wir diese Studie durchführen, lässt sich z. T. in diesem Zusammenhang die Anwendung einer zweifelhaften Wortwahl nachweisen. QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS (1995) kommen beispielsweise zu folgendem Schluss über „Schülerfehlvorstellungen“:

> *„In most cases, such conceptual errors should not be viewed as spontaneous ideas but rather as ensuing from being taught (Johnstone et. al., 1977; Hackling & Garnett, 1985). Among other things, they are a product of the teaching context because of analogies used by both teachers and textbooks to teach the chemical equilibrium concept (Maskill & Cachapuz, 1989). At times students make their own associations and analogies based on concepts used in physics and daily living (Gussarsky & Gorodetsky, 1990).”*
>
> QUÍLEZ-PARDO & SOLAZ-PORTOLÉS (1995)

Erläutern Sie, wie es sein kann, dass bei der Reaktion von Essigsäure mit Marmor nahezu die gesamten Essigsäuremoleküle reagieren, obwohl gemessen wurde, dass diese nur zu einem kleinen Teil zu H_3O^+-Ionen reagiert haben.		
Anzahl	Formulierung der Schüler	Kommentar
Ausreichende Aspekte genannt um Antwort als richtige einzustufen.		
3	1. (a) (b) (c) (f)	Bei den richtigen Antworten wurden folgende Aspekte ausgemacht:
2	2. (a) (c) (d) (als Gleichung)	(a) Reaktion von Essigsäure und Wasser ist GGW-Reaktion.
1	3. (a) (c) (f)	(b) GGW wird gestört [verlagert].
2	4. (a) (c) (g)	(c) H_3O^+ -Ionen reagieren mit Marmor [reagieren weiter].
1	5. (a) (e)	(d) CO_2 entweicht.
1	6. (b) (c)	(e) Rückreaktion wird verhindert.
1	7. (b) (c) (e)	(f) Essigsäure dissoziiert nach / wird verbraucht.
1	8. (b) (c) (e) (g)	(g) Durch die GGW-Reaktion entstehen immer wieder neue H_3O^+-Ionen.
1	9. (b) (c) (f) (g)	Aufgeführt sind die vorgekommenen Kombinationen dieser Aspekte.
1	10. (b) (d)	
1	11. (b) (d) (f)	
1	12. (c) (d) (e) (g)	
1	13. (c) (d) (f)	
1	14. (c) (e) (f)	
4	15. (c) (e) (g)	
1	16. (c) (e) (f) (g)	
1	17. (c) (f)	
3	18. (c) (g)	
1	19. (d) (e) (f)	
1	20. (d) (f)	
1	21. (g)	
Nur jeweils ein (unzureichender) Aspekt genannt		
1	22. (f)	Diese Antworttypen enthalten zu wenig Informationen, um sie genauer einordnen zu können. Die genannten Aspekte spielen eine Rolle, die gesamte Erklärung verlangt aber eine Kombination verschiedener Sachverhalte.
1	23. (c)	
9	24. (a) (mit Betonung der Rückreaktion)	

Erläutern Sie, wie es sein kann, dass bei der Reaktion von Essigsäure mit Marmor nahezu die gesamten Essigsäuremoleküle reagieren, obwohl gemessen wurde, dass diese nur zu einem kleinen Teil zu H_3O^+-Ionen reagiert haben.		
Anzahl	Formulierung der Schüler	Kommentar
Missverständliche oder stark vereinfachte Antworten		
1 2	25. Die Reaktion dauert, da Essigsäure erst dissoziieren und dann mit Marmor zusammenstoßen muss. 26. H_3O^+-Ionen bilden sich mit der Zeit nach (ohne weitere Begründung).	Hinter diesen Antworttypen könnte sich eine falsche Vorstellung bezüglich der Zeitkomponente verbergen oder es wurde nur unglücklich formuliert.
1 1	27. Reaktion geht nur in eine Richtung; dadurch reagieren alle Essigsäuremoleküle. 28. Es bilden sich immer wieder neue Moleküle nach, bis der Marmor zersetzt ist.	Bei diesen Antworttypen wurde sehr stark vereinfacht. Sie lassen eigentlich nicht erkennen, ob die wesentlichen Sachverhalte richtig verstanden wurden.
Als falsch einzustufende Antworten		
4 1	29. H_3O^+-Ionen reagieren mit den CH3COO⁻-Ionen aus der Reaktion von Essigsäure mit Marmor Die Essigsäure-Moleküle bilden sich erst nach und nach, trotzdem wird der Marmor ganz aufgelöst. 30. Alle Essigsäuremoleküle haben reagiert, aber ein großer Teil reagiert wieder zurück / Acetat-Ionen reagieren lieben mit Ca als zur Rückreaktion.	Bei diesen Antworttypen liegt jeweils die Idee zu Grunde, dass die Essigsäure mit dem Marmor direkt reagiert und das Dissoziationsgleichgewicht diese Reaktion verlangsamen würde. (Eventuell spielt hier die Formulierung der Aufgabenstellung eine Rolle; allerdings stammen alle aus einem Kurs).
1	31. ... weil genau diese mit dem Marmor reagieren und ihn zerstören.	Hier wird scheinbar die Auffassung vertreten, die Anzahl an gemessenen Hydronium-Ionen hätte ausgereicht um den Marmor aufzulösen.
2	32. Die Reaktion läuft zum Gleichgewicht.	Offensichtlich wurde hier auf das falsche Konzept abgehoben (Einstellung eines GGW, statt Verschiebung).
1	33. Die einzelnen Teilchen müssen schnell genug sein.	Offensichtlich wird hier auf die Stoßtheorie angespielt. (Falsches Konzept)
1 1 2	34. Der Marmor hat eine große Oberfläche. 35. Der Marmor schwächt die Säure, so lange er in der Säure lieg.t 36. Billiges/unzureichendes Messgerät.	Ohne Kommentar
keine Antwort 44		

Tabelle 28 Übersicht über die zu Antworttypen zusammengefasste Antworten auf die offene Frage zur Stoßtheorie.

Bei der Zuordnung der richtigen Antworten wurde wie folgt vorgegangen: Fasst man alle richtigen Aspekte zusammen, welche von den Schülern in ihrer Gesamtheit erwähnt worden sind, so ergab sich eine acht Punkte umfassende Antwort, welche als musterhaft eingestuft werden kann. Die acht Punkte sind in Tabelle 28 aufgeführt. Vereinzelt beinhalteten Schülerantworten sogar noch weitere, sehr speziell erscheinende Punkte. Diese wurden jedoch für die Kategorisierung nicht zu Rate gezogen, um eine einigermaßen übersichtliche Darstellung zu gewährleisten.

Um einen besseren Eindruck vermitteln zu können, werden im Folgenden zu einigen Antworttypen die kompletten Antworten vorgestellt. Dabei sollen verschiedene Aspekte deutlich werden: Zum einen kann eine kurze, aus nur wenigen Aspekten bestehende Antwort plausibel und zufriedenstellend sein. Weiterhin wird aufgeführt, dass selbst als sehr gut einzuschätzende Antworten noch Ansatzpunkte für Kritik bieten und schließlich wird gezeigt, wie unterschiedlich Formulierungen ausfallen können, sogar, wenn sie innerhalb eines Antworttyps liegen.

Gegenüberstellung von zwei ausführlichen Antworten

Typ (c) (e) (f) (g). *„Es liegt daran, daß ein Teil der H_3O^+-Ionen mit dem $CaCO_3$ reagiert, so daß weniger H_3O^+-Ionen für die Rückreaktion zur Verfügung stehen und deren Wahrscheinlichkeit geringer wird. Die Hinreaktion bleibt jedoch gleich wahrscheinlich, was zur weiteren Dissoziation der Essigsäure führt. Dies setzt sich solange fort, bis weder Essigsäure noch vorhanden sind.“*

Typ (c) (d) (e) (g). *„Die H_3O^+-Ionen reagieren mit dem Marmor zu CO_2 das in die Luft aufsteigt somit ist dass H_3O^+-Ion ‚verbraucht' und kann nicht zurückreagieren mit den Accetat-Ionen. Somit können sich immer mehr H_3O^+-Ionen bilden, die Wahrscheinlichkeit, dass sie jetzt zurückreagieren ist zwar ziemlich hoch, da wegen der hohen Anzahl an Accetationen. jedoch früher oder später werden alle H_3O^+ -Ionen mit dem Marmor reagieren.“*

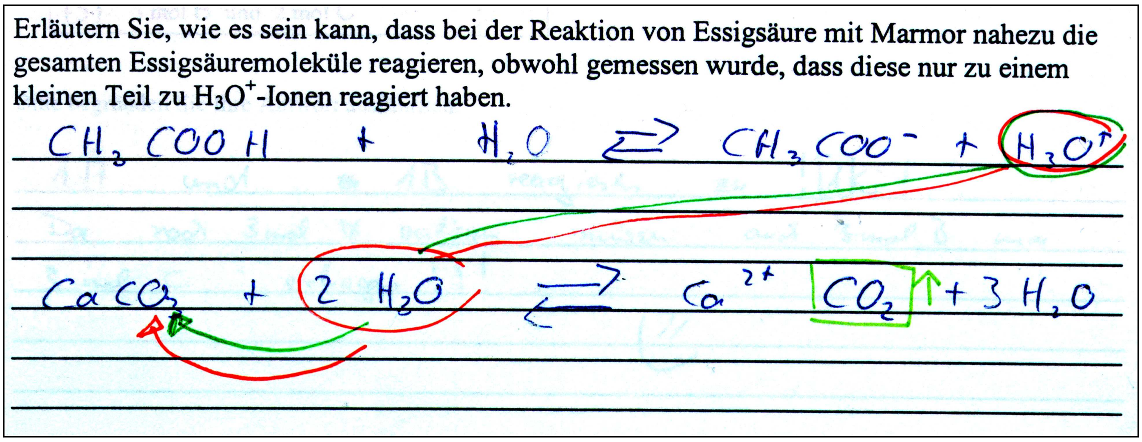
Sieht man einmal von kleinen sprachlichen Unzulänglichkeiten der beiden Antworten ab[1], so kann man doch bestätigen, dass sie wesentliche Aspekte aufführen und die gestellte Frage plausibel beantworten. Insbesondere betonen beide den Punkt der unwahrscheinlicher gewordenen Rückreaktion bzw. der somit im Verhältnis zur Rückreaktion wahrscheinlicheren Hinreaktion. Trotz einer weitgehenden Übereinstimmung setzen beide Antworten doch unterschiedliche Schwerpunkte. In der Antwort vom Typ (c) (e) (f) (g) wird die Dissoziation und der Verbrauch der Essigsäure betont, während bei der Antwort vom Typ (c) (d) (e) (g) die durch Ausgasen von Kohlenstoffdioxid bedingte, verhinderte Rückreaktion der Hydronium-Ionen betont wird.

[1] Bei der Darstellung der Schülerantworten wurde sich um eine möglichst originalgetreue Wiedergabe bemüht. Dies schließt insbesondere ein, dass Formulierungen und einzelne Wörter unverändert bleiben und wie im Originaltext erscheinen.

Beide Antworten ließen sich noch weiter vervollständigen, jedoch lässt sich bereits an den gegebenen Antworten erkennen, dass die wesentlichen Sachverhalte von den Schülern verstanden wurden.

Vorstellung einer ungewöhnlichen Antwort

Typ (a) (c) (d).


Erläutern Sie, wie es sein kann, dass bei der Reaktion von Essigsäure mit Marmor nahezu die gesamten Essigsäuremoleküle reagieren, obwohl gemessen wurde, dass diese nur zu einem kleinen Teil zu H_3O^+-Ionen reagiert haben.

$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$

$CaCO_3 + 2\ H_3O \rightleftharpoons Ca^{2+}\ \boxed{CO_2}\uparrow + 3\ H_2O$

Abbildung 35 Kopie einer Schülerantwort, welche ohne Worte auskommt und dafür die zwei entscheidenden Reaktionsgleichungen auf plastische Weise miteinander verbindet.

Bei dieser Antwort wird die Ausdrucksstärke chemischer Gleichungen deutlich. Auch wenn dieser Antwort nur die Aspekte (a), (c) und (d) zugeordnet wurden, umfasst sie im Prinzip alle aufgeführten Aspekte. Meiner Meinung nach betont die Darstellung aber, dass es sich bei der Dissoziation um eine Gleichgewichtsreaktion handelt, dass die Hydronium-Ionen mit dem Marmor reagieren und dass Kohlenstoffdioxid entweicht.

Gegenüberstellung von vier Antworten vom Typ (c) (g)

(1) *„Der Dissoziationsgrad ist zwar gering, aber dadurch das die H_3O^+Ionen mit dem Marmor reagieren entsteht ein ‚Loch' welches die Gleichgewichtsreaktion wieder füllt."*

(2) *„Weil durch die Hin- und Rückreaktion immer mehr H_3O^+-Ionen für die Reaktion mit Marmor bereitgestellt werden."*

(3) *„Durch das dynamische Gleichgewicht entstehen immer wieder neue H_3O^+-Ionen, um die auszugleichen, die mit dem Marmor reagierten."*

(4) *„Der Marmor wird komplett aufgelöst, da durch das chemische Gleichgewicht immer genug H_3O^+-Ionen dissoziieren, um den Marmor nach einiger Zeit aufzulösen!"*

Anhand dieser Gegenüberstellung soll verdeutlicht werden, wie unterschiedlich Formulierungen ausfallen können, auch wenn sie aus einer Kategorie stammen. Alle Antworten beinhalten, dass Hydronium-Ionen mit Marmor reagieren und dass Hydronium-Ionen auf Grund der Gleichgewichtsreaktion weiterhin entstehen. Allerdings führen gerade die unterschiedlichen Formulierungen zu verschiedenen Charakteren der Antworten. Während die erste Antwort den Sachverhalt knapp - und trotz unkonventioneller Formulierung - präzise wiedergibt, würde man bei der zweiten Antwort eventuell beanstanden, dass die Reaktion der Hydronium-Ionen mit Marmor nur beiläufig erwähnt wird. Hingegen könnte an der dritten Antwort die leichte Anthropomorphisierung ein wenig stören, welcher dem Gleichgewicht einen Trieb zum Ausgleich nahe legt (vergleiche auch Abschnitt 3.3.2.4). Bei der vierten Antwort schließlich wird der Begriff der Dissoziation falsch verwendet und die sprachliche Wendung *immer genug* ist eigentlich unangebracht (vergleiche ebenfalls Abschnitt 3.3.2.4).

Falsche Antworten

Aus einem Teil der falschen Antworten lässt sich die Idee herauslesen, dass die Essigsäuremoleküle direkt mit dem Marmor reagieren (vergleiche Antworttypen 29 und 30). Wird diese Annahme von Schülern bereits im Unterricht geäußert, so lässt sie sich leicht experimentell widerlegen: Ein Stück Marmor wird in reine Essigsäure gelegt. Nachdem eine Weile lang nichts zu beobachten war, verdünnt man mit etwas Wasser und beobachtet, wie sich CO_2-Blasen bilden und aufsteigen.

Im Unterricht und Tutorium selber wird der Sachverhalt, dass die Hydronium-Ionen die angreifenden Teilchen sind, deutlich herausgestellt allerdings findet sich auch die Formulierung „Essigsäure reagiert mit Marmor“. Das ist eine in der Chemie übliche Formulierung, die allerdings zu Schwierigkeiten bei der Beantwortung von Fragen führen kann. Ein weiterer Grund für die gegebenen Schülerantworten könnte auch in der Aufgabenstellung selber liegen, in welcher von der Reaktion zwischen Essig und Marmor gesprochen wird. Hier wird deutlich, dass die einfache Beschreibung eines Sachverhalts zu Fehlvorstellungen bei Schülern führen kann. Eine alle Aspekte umfassende Beschreibung eines chemischen Sachverhalts ist im Unterricht bei der Übertragung auf andere vergleichbare Sachverhalte nicht angemessen und nicht durchzuhalten.

An der folgenden Antwortpyramide soll demonstriert werden, dass es schwer zu entscheiden wäre, wie ausführlich eine „korrekte“ Antwort seien müsste:

Essig greift Marmor an.

Verdünnte Essigsäure reagiert mit Marmor.

Wässrige verdünnte Essigsäure reagiert mit Marmor. Es entsteht Kohlenstoffdioxid, welches ausgast.

Essigsäure in wässriger Lösung dissoziiert zu einem gewissen Anteil, die entstehenden Hydronium-Ionen greifen den Marmor an. Es entsteht Kohlenstoffdioxid, welches ausgast.

Essigsäure in wässriger Lösung dissoziiert. Es kommt zur Ausbildung eines dynamischen Gleichgewichts. Die entstehenden Hydronium-Ionen greifen den Marmor an. Es entsteht Kohlenstoffdioxid, welches ausgast.

Essigsäure in wässriger Lösung dissoziiert. Es kommt zur Ausbildung eines dynamischen Gleichgewichts. Die entstehenden Hydronium-Ionen greifen den Marmor an. Es entsteht Kohlenstoffdioxid, welches ausgast. Dies beeinflusst das Gleichgewicht der Dissoziation.

Essigsäure in wässriger Lösung dissoziiert. Es kommt zur Ausbildung eines dynamischen Gleichgewichts. Die entstehenden Hydronium-Ionen greifen den Marmor an. Es entsteht Kohlenstoffdioxid, welches ausgast. Dies beeinflusst das Gleichgewicht der Dissoziation. In der Folge kann die Rückreaktion der Hydronium-Ionen zu Essigsäure-Molekülen weniger häufig ablaufen, als die Bildung der Hydronium-Ionen. Somit werden diese quasi nachgeliefert und die gesamten vorliegenden Essigsäure-Moleküle können zur Auflösung beitragen.

Bei der Betrachtung der fiktiven Antwortpyramide gilt es deutlich zu machen, dass selbst die ausführliche Antwort noch nicht alle Aspekte umfasst. Andererseits sind manche Punkte fachlich sehr kompakt formuliert. Daher sollte im Unterricht vielleicht besser mit einer längeren, aber weniger fachlich kompakten Antwort gearbeitet werden. Eine schulgeeignete Musterantwort könnte z. B. wie folgt lauten:

Musterantwort

Wenn Essigsäure in Wasser dissoziiert, bilden sich Hydronium- und Acetat-Ionen. Dabei handelt es sich um eine Gleichgewichtsreaktion, denn umgekehrt bilden sich aus Hydronium-Ionen und Acetat-Ionen wieder Wasser- und Essigsäuremoleküle.
Sobald aber ein Hydronium-Ion auf Calciumcarbonat trifft entsteht Kohlenstoffdioxid, welches (als Gas) aus der Lösung entweicht. Die Rückreaktion wird durch das Ausgasen verhindert. Diese Reaktion läuft also nur in eine Richtung ab, es kann sich kein Gleichgewichtszustand einstellen.

Dadurch wird auch die Reaktion von Essigsäure mit Wasser zu Acetat und Hydronium-Ionen beeinflusst:

Die Reaktion von Essigsäuremolekülen mit Wassermolekülen läuft unbeeinflusst weiter ab.

Hingegen ist deren Rückreaktion gestört. Auf Grund des Verbrauchs von Hydronium-Ionen bei der Konkurrenzreaktion ist die Anzahl der Hydronium-Ionen verringert und entsprechend läuft die Rückreaktion vermindert ab, es werden weniger Essigsäure- und Wassermoleküle zurück gebildet.

Dies führt schließlich dazu, dass alle zu Anfang vorliegenden Essigsäuremoleküle am Ende als Acetat-Ionen vorliegen, denn die für die Rückreaktion notwendigen Hydronium-Ionen wurden bei der Reaktion mit Marmor verbraucht.

Sicherlich muss die vollständige Formulierung Gegenstand des Unterrichts sein, sie aber jedes Mal zu wiederholen, wenn die Reaktion zur Sprache kommt, scheint schlichtweg nicht möglich. Vielmehr ist dafür Sorge zu tragen, dass mit der Aussage *Essig greift Marmor an* die Schüler nach Abschluss der Einheit eine andere Bedeutung verbinden, als zuvor. Eine anfängliche Bedeutung würde sich auf die einfache Beobachtung des Auflösens von Marmor in Essig beziehen. Nachdem die Einheit unterrichtet worden ist, sollte ergänzend eine Erklärung hinzukommen, welche den genauen Ablauf der Reaktion mit einbezieht.

Auffällig an der Beantwortung dieser Frage ist weiterhin, dass 43 % der Schüler keine Antwort gegeben haben.

3.2.4. *Diskussion und Schlussfolgerungen aus dem kognitiven Teil der Fragebogenstudie*

Die Ergebnisse der Mehrfachwahlaufgaben belegen, dass die vorliegende Unterrichtseinheit *Saure Reiniger im Haushalt* die Schüler erfolgreich in das Konzept des chemischen Gleichgewichts einführt. Jedoch wird auch deutlich, dass es sich wirklich erst um eine Einführung handelt und das Konzept im weiteren Unterricht noch gefestigt werden muss. Zu dieser Aussage kann man gelangen, wenn man den prozentualen Anteil an Schülern vergleicht, welche jeweils eine Teilaufgabe richtig gelöst haben, mit dem Anteil der Schüler, welche alle Teilaufgaben richtig gelöst haben (siehe Tabelle 29).

Teilaufgabe (1) richtig	Teilaufgabe (2) richtig	Teilaufgabe (3) richtig	Alle drei Teilaufgaben richtig
89%	76%	59%	44%

Tabelle 29 Gegenüberstellung der prozentualen Anteile der richtigen Schülerantworten für die erste Mehrfachwahlaufgabe der Fragebogenstudie

Gedacht war die Anordnung der Teilaufgaben so, dass der Schwierigkeitsgrad zunehmen sollte. Während in Teilaufgabe (1) nur eine pauschale Aussage über den Gleichgewichtszustand getroffen werden musste, wurde bei Teilaufgabe (2) bereits konkreter nach den einzelnen Reaktionsgeschwindigkeiten gefragt und bei Teilaufgabe (3) kamen Stoffmengen hinzu, welche Schülern erfahrungsgemäß größere Schwierigkeiten bereiten. Die Abnahme der richtigen Antworten von Teilaufgabe (1) nach (3) bestätigt diese Annahme. Jedoch hätte man dann erwartet, dass Schüler, welche Teilaufgabe (3) richtig lösen auch die vorhergehenden richtig gelöst hätten. Die Anzahl von 44% der Schüler, welche alle drei Teilaufgaben richtig gelöst haben, zeigt aber, dass dies nicht zutreffen kann.

Trotzdem ist die Zahl von 44% an sich als erfreulich einzustufen.

Die Bearbeitung der Mehrfachwahlaufgabe nach KIENAST lässt sich auf Basis der von KIENAST gefundenen Daten einordnen. Berücksichtigt man die geringen Probandenzahl, so wird deutlich, dass die Daten lediglich tendenziell zu interpretieren sind. Trotzdem kann man zu der Aussage gelangen, dass die Bearbeitung der Aufgabe durch unsere Schüler nicht schlechter erfolgte, als von Schülern, welche das Konzept des chemischen Gleichgewichts nach dem alten Lehrplan gelernt hatten.

Insgesamt 24% der Schüler haben alle Mehrfachwahlaufgaben des Fragebogens richtig beantwortet. Insbesondere gab es Schüler, welche alle drei Teilaufgaben unserer Mehrfachwahlaufgabe richtig beantworteten, aber eine falsche Auswahl bei der Aufgabe nach KIENAST trafen und umgekehrt. Dies könnte darauf hinweisen, dass die benötigten Fähigkeiten zur Beantwortung der beiden Fragen unterschiedlich sind und nicht notwendiger Weise beide gleichzeitig beherrscht werden müssen. Während bei unserer Aufgabe Aussagen als richtig oder falsch eingestuft werden müssen, muss bei der Aufgabe nach KIENAST insbesondere gerechnet werden. Dies lässt sich wie folgt interpretieren: Das Erinnern richtiger Sachverhalte und das Anwenden eines Lösungsalgorithmus kann durchaus unabhängig voneinander bewältigt werden, obwohl der Lösungsalgorithmus natürlich auf den verschiedenen Sachverhalten beruht.

Sowohl die Ergebnisse der Mehrfachwahlaufgabe nach KIENAST, als auch die Teilaufgaben (1) bis (3) geben Hinweise darauf, welche Schülervorstellungen vor dem Hintergrund des Fachkonzeptes nicht haltbar sind. So haben bei Teilaufgabe (3) 24% der Schüler die Aussage ausgewählt, dass die Anzahl der nicht reagierten Essigsäuremoleküle und die der H_3O^+-Ionen gleich groß seien. Vergleichbar mit diesem Ergebnis ist diese Vorstellung, die sich hinter der Auswahlantwort (B) verbirgt. Hier waren 17% der Schüler der Meinung, dass diese richtig sei.[1]

Die gefundenen Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine große Mehrzahl der Schüler auf Fragen nach der Dynamik des chemischen Gleichgewichts richtig antwortet. Lediglich bezüglich der Konzentrationsverhältnisse scheinen größere Fehlvorstellungen vorzuliegen. Auch zeigt sich, dass die Annahmen der Stoßtheorie von den Schülern gut erinnert werden, obschon das Stoßgeschehen auf submikroskopischer Ebene von Schülern quasi nicht herangezogen wird, um den Zustand des dynamischen Gleichgewichts oder die Gleichgewichtsverschiebung zu beschreiben.

Die Beschreibung des dynamischen Gleichgewichts erfolgt dagegen häufig nur über die Begriffe der *Hin- und Rückreaktion*. Dabei erscheint ihre Verwendung so selbstverständlich, dass sie von der Seite der Schüler nicht weiter erklärungsbedürftig sind.

Die Schülerantworten auf die offene Frage nach der Erklärung des Ergebnisses der Reaktion von Essigsäure mit Marmor zeigen, dass die Beschreibung dieses Phänomens den Schülern schwer fällt. Eine große Zahl hat hierauf erst gar nicht versucht zu antworten. Die als richtig eingestuften Antworten umfassten jeweils nur Teilpunkte einer vollständigen Antwort. Jedoch zeigt sich, dass auch kurze Antworten schlüssige Erklärungen bieten können. Allerdings weist dies darauf hin, dass alleine die Reproduktion der Antwort bereits eine große Herausforderung für die Schüler ist. Begründen lässt sich dies u. a. mit den vielen einzelnen Teilschritten, die für eine vollständige Erklärung notwendig sind.

So darf aus der Nicht-Beantwortung dieser Frage auch nicht geschlossen werden, dass die Mehrzahl der Schüler das Prinzip der Gleichgewichtsverschiebung nicht verstanden hätte. In der Interviewstudie zeigte sich, dass einfachere

[1] Die Vorstellung, dass im Gleichgewichtszustand von jeder Teilchenart gleich viele Teilchen vorliegen zeigt sich vereinzelt auch in den offenen Antworten, allerdings deutlich weniger häufig als bei den Fragen mit Auswahlmöglichkeiten (vergleiche Antworten 18 und 19 bei der Frage nach dem chemischen Gleichgewicht).

Beispiele für Gleichgewichtsverschiebungen von den Schülern deutlich besser beschrieben wurden (vergleiche Abschnitt 3.3).

Eine Eigenschaft des Computertutoriums ist es sicherlich, dass hier Schüler mit mehreren, aufeinander aufbauenden Konzepten in kurzer Zeit vertraut gemacht werden. Obwohl einige Lehrkräfte dies anmerkten und kritisch hinterfragten, ob hier den Schülern möglicherweise zu viel zugemutet wird, spricht doch einiges für diese Vorgehensweise.

Einerseits zeigen die Antworten der Schüler, dass sie sich nicht überfordert fühlten. Andererseits wird im Bereich des *problem solving* von vielen Autoren bemängelt, dass Schüler Algorithmen oder Formeln anwenden würden, ohne zu überprüfen, ob die notwendigen Voraussetzungen gegeben sind (vergleiche den Übersichtsartikel von GABEL & BUNCE (1994)).

> *„First, novices do not spend much, if any, time analyzing and restructuring the problem as do experts. Instead they reach for a formula or algorithm and start plugging in numbers.“*
>
> GABEL & BUNCE (1994, S. 314)

Bei der Bearbeitung des Fragebogens beispielsweise mussten die Schüler das jeweils passende Konzept eigenständig wählen und eine Erklärung entsprechend formulieren. Fehler, die auf die Wahl eines falschen Konzepts zurückzuführen sind, wurden nur sehr selten gemacht. Dass sie jedoch durchaus auftreten, zeigt, dass schon in der Wahl des richtigen Ansatzes zur Erklärung eine Leistung der Schüler zu sehen ist.

Im Kursverlauf lernten die Schüler weitere Erklärungsmodelle zum chemischen Gleichgewicht kennen. Somit erfüllt der Kurs eine weitere Forderung, welche von HÄUßLER & LIND (1998) im Rahmen des BLK-Programms zur *Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts* aufgestellt worden war. In ihrem Modul zur *Weiterentwicklung der Aufgabenkultur* nennen HÄUßLER & LIND als ein wünschenswertes Kriterium von „neuen“ Aufgaben, dass es mehrere Lösungsmöglichkeiten für diese gibt.

3.3. Interviewstudie zur Einführung des chemischen Gleichgewichts

Die Fragebogenstudie hat schon für sich eine Reihe an wertvollen Ergebnissen geliefert. Allerdings zeigt sich bei manchen der offenen Antworten, dass ihre Interpretation nicht immer eindeutig möglich ist. Um weitere Einblicke in die, sicherlich nicht einheitliche, Denkweise von Schülern zu bekommen, wurden Interviews mit einzelnen Schülern durchgeführt.

3.3.1. *Vorstellung der Vorgehensweise*

Vor einem Interview wurden die Lehrkräfte jeweils gebeten, zwei Freiwillige aus dem Kurs zu ermitteln. Wenn möglich, sollte es jeweils eine Schülerin und ein Schüler sein, einer von ihnen überdurchschnittlich, der andere unterdurchschnittlich in den gezeigten Leistungen. Letztlich waren von den elf interviewten Schülern vier weiblich.

Die Interviews wurden anhand eines locker gehaltenen Leitfadens geführt. Dabei waren wesentliche Punkte vorgegeben. Diese waren den interviewten Schülern jedoch nicht bekannt. Der Interviewer hatte somit die Freiheit, individuell auf die Antworten eingehen zu können. Somit waren auch unterschiedliche Schwerpunktsetzungen bei den einzelnen Interviews möglich. Wenn beispielsweise die Klärung des ersten Experiments zügig verlief, konnte auch ein für den Schüler unbekanntes Beispiel besprochen werden; wurde umgekehrt viel Zeit für die Klärung des ersten Experiments verwendet, konnte es auch sein, dass ein zweites nur mehr knapp besprochen wurde.

Zu Beginn des Interviews wurden die Schüler an die Stunde mit dem Computertutorium erinnert. Um einen aufgelockerten Einstieg zu schaffen, sollten sie erst einmal berichten, woran sie sich noch erinnern, wie sie damit zu Recht gekommen waren usw.. Dann wurde mehr auf den Hintergrund des Einsatzes eingegangen. Je nachdem, was die Schüler antworteten, wurde anschließend nach dem chemischen Gleichgewicht gefragt oder direkt nach dem Experiment von Marmor in Essigsäure-Lösung. Zu diesem wurden Ergebnis und Erklärung fragend-entwickelnd mit den Schülern besprochen. Anschließend wurden die Schüler mit weiteren Beispielen konfrontiert, bei denen das Gleichgewicht eine Rolle spielt. Je nach Erinnerung des Schülers wurde dann über den Chlorreiniger-Unfall oder die Herstellung von Fruchtestern gesprochen. In beiden Fällen wurde aber die Verschiebung einer Gleichgewichtslage nochmals thematisiert. Zum Abschluss des Interviews wurde allen Schülern eine Aufgabe gestellt. Diese verlangte den Transfer ihres Wissens um dynamische Vorgänge bei Reaktionen auf Lösungsvorgänge.

Wichtig bei der Durchführung der Interviews war weiterhin, dass zusammen mit dem Schüler jeweils eine angemessene Lösung bzw. Erklärung erarbeitet wurde. Zwar sollte hierbei so viel wie möglich vom Schüler selber geleistet werden, jedoch wurde schrittweise und je nach Bedarf auch verstärkt geholfen. Am Ende eines Abschnitts im Interview stand auf jeden Fall ein geklärter Sachverhalt, auch dann, wenn ein großer Teil der Erklärung vom Interviewer selber gegeben wurde.

Diese Vorgehensweise eröffnete die Möglichkeit, die verwendeten Erklärungsmodelle nochmals auf ihre Nachvollziehbarkeit hin zu überprüfen. Außerdem ist es ein erklärtes Ziel von Aktionsforschung, den beforschten Gegenstand in einer gewünschten Art und Weise zu verändern. Auf unsere Situation hin übertragen bedeutet dies, dass wir einerseits gerne von den Schülern wissen wollten, wie sie den chemischen Sachverhalt verstanden haben, andererseits wird mit dem Forschungsprozess gleichzeitig die Verbesserung ihres Verständnisses angestrebt. Die Gründe hierfür sind u. a. ethischer Natur, sonst würden wir etwa einen Schüler am Ende mit offenen Fragen zurück lassen und selber mit Daten zurückkehren, welche helfen sollen den Chemieunterricht zu verbessern. Dies wäre eine geradezu grotesk anmutende Situation.

3.3.2. *Interpretation der Interviews vor unterschiedlichen Hintergründen*

Die folgende Auswertung der Interviews erfolgte vor unterschiedlichen Fragestellungen. So war in der Fragebogenstudie aufgefallen, dass die Schüler in ihren Antworten nicht mehr stoßtheoretisch argumentierten. Die Interviewstudie sollte Hinweise geben, ob dieser Eindruck stimmte und eventuell Gründe hierfür ausfindig machen.

Weiterhin wurde nach dem Auftauchen (bekannter) Fehlvorstellungen geschaut, wie sie z. B. in Abschnitt 1.4.2 aufgeführt sind.

3.3.2.1. Stoßtheoretische Äußerungen in den Schülerantworten

Zu Beginn des Interviews wurden die Schüler gefragt, an was sie sich bezüglich des Tutoriums noch erinnern. Auf diese Frage antworteten sowohl schwächere, als auch bessere Schüler recht einheitlich: Es wurden Teile der Stoßtheorie und die Folgerung für das dynamische Gleichgewicht mit Beispielen angeführt.

Beispiel

SCH08 gehört zu den schwächeren Schülern. Danach gefragt, an was sich SCH08 aus dem Tutorium noch erinnern könne, antwortete dieser:

SCH08: *„Wenn zwei Teilchen schnell genug aufeinander treffen, dann reagieren diese, ich weiß aber nicht mehr zu was. Ach ja, dann war da noch das mit der Hin- und Rückreaktion: Dass, wenn das Produkt, das da entsteht, wieder mit etwas zusammenstößt, dann entstehen die Teilchen, welche ursprünglich da waren.“*

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH08)

Gelangte das Interview an einen Punkt, in dem ein Schüler nicht mehr weiter wusste, so wurden vom Interviewer Impulse auf stoßtheoretischer Basis gegeben. Auffällig war, dass auch schwächer eingeschätzte Schüler mit Hilfe einer stoßtheoretischen Betrachtung vergleichsweise anspruchsvolle Probleme klären konnten. Dabei argumentierten einige dann wieder mit farbigen, zusammenstoßenden Kreisen, wie sie in der Simulation zu sehen waren.

Beispiele

SCH06 ist ein eher schwächerer Schüler. Um die Auflösung des Marmors zu erläutern zu können, erinnerter der Interviewer an die Visualisierungen die in der Simulation gezeigt wurde. Der folgende Ausschnitt aus dem Interview steht als weiteres Beispiel dafür, wie schwächere Schüler mit dieser Hilfe die chemischen Abläufe erläutern können:

I. möchte wissen, wie SCH06 es verstanden hat, dass sich in der Simulation der Marmor auflöste.

SCH06: „Da waren rote und gelbe Punkte und erst wenn diese zusammengestoßen sind, ist eine anderer Farbe dabei herausgekommen, ich glaube, das war Blau. Erst dann, wenn sie das Marmor berührt haben, zusammen sozusagen, erst dann ist eins von den Marmorteilchen verschwunden.“

I. erklärt die Farbgebung, die ablaufenden Reaktionen mit den Farben und möchte dann wissen, was zum Schluss vorliegt.

SCH06: „Zu Anfang haben sich viele rote und gelbe Teilchen gebildet und der Marmor wurde zersetzt. Ab einer bestimmten Anzahl hat die Bildung von rot und gelb aufgehört, es ging einfach nicht mehr und die Zersetzung von Marmor hat aufgehört.

I: „Warum ging die nicht mehr?“

SCH06: „Wahrscheinlich, weil die Stoffe, die hierfür benötigt wurden nicht mehr vorhanden waren.“

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH06)

SCH03 gehört zu den schwächeren Schülern. Zwar scheinen keine ausgeprägten Fehlvorstellungen vorzuliegen, allerdings mangelt es an einem zusammenhängenden Verständnis. Allerdings zeigte sich hier, dass wenn der Interviewer auf die Stoßtheorie einging, schließlich das Gespräch mit den Darstellungen der Simulation weiter geführt wurde. Mit Hilfe dieser plastischen Darstellung konnte SCH03 dann auch folgerichtig antworten, z. B.:

I.: „Was passiert wenn man die roten [Kreise] entfernt?“

SCH03: „Dann könnten sich halt keine grünen und blauen Kreise mehr bilden.“

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH03)

Wurden die Schüler danach gefragt, ob sie sich die Bilder des Tutoriums wieder vor Augen führen würden, wenn sie auf die Fragen im Interview antworteten, so verneinten sie diese Frage klar.

Beispiele

SCH05 gehört zu den eher guten Schülern. Bei seinen Antworten macht er einen sehr selbstsicheren Eindruck. Er argumentiert knapp und zielgerichtet.

Danach gefragt, ob er einfach nur mit Hin- und Rückreaktion argumentiere, oder ob er sich die Teilchenebene vorstellen würde, antwortete SCH05:

> *SCH05: „Ich habe mir das zu Anfang angeguckt und für mich abgespeichert, aber eigentlich ist das jetzt bei mir so im Kopf, dass ich mir nicht noch mal die Bälle vorstelle. Und das ich so global antworte, also mit Hin- und Rückreaktion, liegt auch an den Fragen und, dass man das auf alle Stoffe beziehen kann. Früher hat man sich unter die Reaktionsgleichungen ja auch Moleküle geschrieben, weil man die ausgleichen musste, heute macht man das auch nicht mehr. Man denkt mit Buchstaben, nicht mehr mit Teilchen."*
>
> (AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH05)

Auch SCH04 äußerte sich ähnlich auf die Frage ob er noch in den Bildern der Simulation denke:

> *SCH04: "Nein! Zu Anfang lässt man sich verleiten, dass man nur in bunten Kugeln denkt, aber wenn man dann die Reaktionsgleichungen hat, dann nicht mehr."*
>
> (AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH04)

3.3.2.2. Fehlvorstellung – *Im Gleichgewicht sind gleich viele Teilchen von jedem Stoff vorhanden*

Die Fehlvorstellung, dass im Gleichgewicht gleich viele Teilchen von jedem Stoff vorhanden sind, ließ sich in der Interviewstudie sowohl bei besseren, wie auch bei schlechteren Schülern nachweisen. Allerdings konnte auch vergleichsweise einfach plausibel gemacht werden, dass im Gleichgewichtszustand unterschiedliche Stoffmengen vorliegen können, beispielsweise, indem man an den pH-Wert von reinem Wasser erinnerte. Auch EYBE (2000) hatte eine ähnliche Erfahrung bezüglich dieser Fehlvorstellung gemacht.

Beispiel

SCH04 ist ein Beispiel für einen guten Schüler, welcher die wesentlichen Konzepte verstanden hat. Dabei kann er diese sowohl wiedergeben, als auch anwenden. Gleichzeitig weist er dennoch Fehlvorstellungen auf. Im folgenden Interviewausschnitt, wird allerdings erkennbar, wie einfach sich plausibel machen lässt, dass es sich bei der Vorstellung im Gleichgewicht lägen gleiche Stoffmengen vor um eine Fehlvorstellung handelt.[1]

SCH04: „Das chemische Gleichgewicht stellt sich halt dann ein, wenn die Hin- und Rückreaktion mit der gleichen Geschwindigkeit ablaufen und wenn eben die gleichen Anzahlen vorliegen." (...)

I: „Treffen die [beiden Kurven] sich immer exakt in der Mitte???"

SCH04: „Eigentlich müssen sie ja, weil es ein Gleichgewicht ist, also aber wüsste ich jetzt nicht genau."

I: „Wenn man dies mal in der Realität sieht und beispielsweise Wasser betrachtet, dann würde die Wasser-Kurve weit oben laufen und die H_3O^+-Kurve weit unten laufen."

SCH04: „Ja. Ja stimmt."

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH04)

Ein Grund für das Auftreten dieser Fehlvorstellung ist sicherlich die Assoziation des Wortes ***Gleich**gewicht* mit der Vorstellung, dass ***gleich** viel von jedem Stoff* vorliegen muss. Somit stellt diese Fehleinschätzung eher eine *preconception*, statt einer *misconception* dar, welche noch aus der Zeit stammt, bevor die Lernenden mit dem chemischen Gleichgewicht in Berührung kamen. Zu solchen Artefakten vertritt NIAZ (1998) die Meinung, dass es eine gewisse Zeit braucht, bis das neue Konzept vom Schüler gegenüber dem alten bevorzugt wird. Er sieht dies analog zu dem Prozess der Anerkennung von wissenschaftlichen Theorien (vergleiche auch Abschnitt 1.4.5 zu *concept change*). Folgt man weiterhin der Einteilung von NIAZ bezüglich der Einteilung der Fehlvorstellungen in *soft* und *hard*, so würde diese als *soft* eingestuft werden, da sie durch bloße Lenkung der Aufmerksamkeit der Schüler von diesen selber als falsch erkannt werden kann (vergleiche EYBE (2000, S. 74-76) und auch das obige Beispiel von SCH04).

Allerdings könnten auch weitere Aspekte für das Auftreten dieser Fehlvorstellung eine Rolle gespielt haben. So waren im Computertutorium zwar Bei-

[1] Es wird an dieser Stelle jedoch nicht behauptet, dass dies immer so sein muss, bzw., dass SCH04 seine Vorstellung auf einmal geändert hätte. Vielmehr ist anzunehmen, dass es einer mehrmaligen Wiederholung der Hinweise bedarf, bis eine Fehlvorstellung nicht mehr geäußert wird. Legt man eine *conceptual change* Theorie zu Grunde (vergleiche Abschnitt 1.4.5), so wird verständlich, wie es sein kann, dass zwei eigentlich widersprüchliche Vorstellungen bei einem Schüler parallel existieren können (vergleiche auch NIAZ (1998)).

spiele zu sehen, bei denen im Gleichgewichtszustand unterschiedlich viele Teilchen von Edukten und Produkten vorlagen. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass die Unterschiede nicht groß genug waren, um deutlich aufzufallen, bzw. es wurde nicht deutlich genug darauf hingewiesen. Hinzu kommt, dass die Mindestenergien (und somit der Grund für das Auftreten von unterschiedlichen Mengenverhältnissen im Gleichgewichtszustand) eine eher untergeordnete Rolle im Tutorium spielten.

Beispiele

Anhand des Beispiels der Äußerung von SCH03 wird ersichtlich, dass der Nachweis, für das Vorhandensein dieser Fehlvorstellung, sehr eindeutig ausfallen kann:

I: „Jetzt sagt man, diese Reaktion befindet sich im Gleichgewicht. Was ist damit gemeint ‚sie befindet sich im Gleichgewicht'?"

SCH03: „Ja das von jeder Teilchengruppe gleich viele vorliegen."

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH03)

SCH05 gehört zu den eher guten Schülern. Typische Fehlvorstellungen lassen sich eigentlich nicht feststellen. Insbesondere hat er nicht die Fehlvorstellung von gleich vielen Edukten und Produkten im Gleichgewichtszustand, was an der folgenden Äußerung erkennbar wird.

I. fragt nach dem Zustandekommen des Gleichgewichtszustands.

SCH05: „Zwei Stoffe reagieren zu – wir hatten meistens zwei – anderen Stoffen, also z. B. zu Ester und Wasser; diese reagieren aber auch zum Teil zurück. Wir hatten gestern das Beispiel Isovaleriansäure und Ethanol, das reagiert halt wieder dahin zurück, und es ist eben von jedem Edukt und Produkt was vorhanden die ganze Zeit über. Es kann natürlich sein, dass die eine Seite überwiegt, dass also die Edukte überwiegen oder die Produkte überwiegen."

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH05)

3.3.2.3. Oberflächliche, schlagwortartige Argumentation

In den Interviews konnte ein Aspekt beobachtet werden, der sich bereits in den offenen Fragen der Fragenbogenstudie andeutete: Manche Schüler argumentieren eher oberflächlich oder nur mit Hilfe von Schlagworten (vergleiche z. B. Antworttyp (c)(g) in Abschnitt 3.2.3.3). Tritt diese Art der Argumentation auf, so ist es i. A. schwer zu beurteilen, ob es sich um eine knapp zusammengefasste Antwort einer an sich länglicheren Erklärung handelte oder ob die kurze Antwort von dem Schüler bereits als ausreichend empfunden wurde und keine weiteren Begründungen „als Hintergedanken" eine Rolle gespielt haben. Letztere würden CACHAPUZ & MASKILL (1989a) zum *kinetic model* zählen. Dies bedeutet, dass die Schüler zwar mit den richtigen Argumenten, wie Hin- und Rückreaktion, argumentieren, jedoch noch eine Reihe an Fehlvorstellungen aufweisen. Nach CACHAPUZ & MASKILL (1989a) könnte dies daran liegen, dass die Schüler zwar einig Erklärungen auswendig gelernt, diese jedoch (noch) nicht verinnerlicht haben (vergleiche Abschnitt 1.4.3). Ein solcher Gebrauch von (für die Schüler) „leeren Erklärungshülsen“ lässt sich mit der gedankenlosen Anwendung von algorithmischen Lösungswegen vergleichen, die von GABEL & BUNCE (1994) bemängelt wurde.

Beispiele

Im Folgenden ist ein Ausschnitt aus dem Interview wiedergegeben, der aufzeigt, wie eine oberflächliche bzw. zu knapp geratene Argumentation aussehen kann, wenn der Schüler den Sachverhalt dem Anschein nach nicht durchdrungen hat.

I.: „Was war denn die experimentelle Beobachtung?“

SCH10: „Dass beide Säuren den Marmor aufgelöst haben.“

I.: „Also das beide Säuren gleich viel Marmor aufgelöst haben, obwohl dort deutlich weniger Hydronium-Ionen zur Zeit der pH-Wertmessung drin sind. Wie lässt sich das erklären?“

SCH10: „Ja, dass immer mehr Hydronium-Ionen hergestellt werden, wenn welche gebraucht werden, um das Marmor aufzulösen.“

I: „Ja, aber was ist denn die Triebkraft dafür? Warum sollten denn da immer mehr Hydronium-Ionen entstehen?“

SCH10: „Das Gleichgewicht.“

I. nennt diese Antwort richtig und erläutert noch kurz, warum sie richtig ist.

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH10)

SCH07 gehört zu den guten Schülern. Er ist ein Beispiel dafür, dass sich hinter missverständlichen bzw. sehr stark gekürzten Argumentationen richtige Vorstellungen verbergen können. Ein Grund für die knappe Argumentation könnte sicherlich sein, dass das Prinzip von Le Chatelier im Unterricht behandelt worden war. Im Folgenden ist ein Ausschnitt aus dem Interview wiedergegeben, der zeigen soll, wie eine zu knappe Argumentation das Verständnis für modellhafte Abläufe auf der Teilchenebene bei einem Schüler ersetzen kann. Im Gegensatz zu SCH10 ist SCH07 jedoch in der Lage eine folgerichtige Argumentation anzuschließen.

SCH07: „Wir hatten ein Beispiel, da hatte eine Putzfrau zwei Reiniger gemischt und ist dann an entstandenem Chlorgas gestorben. Dies ist passiert, weil das Gleichgewicht nicht unter normalen Umständen reagiert hat. Und wenn man jetzt einen Zwang ausgeübt hätte und z. B. wenig von den Endprodukten und viel von *den Ausgangsstoffen gehabt hätte, hätte sich kein Chlorgas entwickelt und die Frau wäre nicht gestorben."*

I. und SCH07 schreiben gemeinsam die Reaktionsgleichung für die Herstellung von Chlorreiniger auf. I. betont, dass die Mischung basisch sei und das Gleichgewicht auf der Seite der Hypochlorit-Ionen liegen würde.

I: „Kannst du dir nun vorstellen, was passiert, wenn man Essigreiniger dazugeben würde?"

SCH07: „Dann würde das Gleichgewicht verschoben."

I: „Die Frage ist: wie und warum?"

SCH07: „CH3COOH?"

I: „Ja! Was ist das Kennzeichen davon?"

SCH07: „Bildet in Wasser gelöst H_3O^+-Ionen, es ist also eine Säure!"

I: „ Ja genau! Und was passiert, wenn ich das dazu gebe?"

SCH07: „Wenn ich jetzt H_3O^+-Ionen zugeben würde, dann würden sich diese mit dem Cl^- binden. HmHm. Würden sich mit dem OH^- binden und würden dann zu Wasser."

I: „Ja genau, das ist die normale Neutralisationsreaktion. Was passiert dann jetzt?"

SCH07: „Man hat dann hier schon was vorliegen von dem Zeug. Die linke Seite kann nicht nach rechts reagieren, weil ja halt das OH^- durch das H_3O^+ rausgenommen ist. Heißt also, dass die Reaktion nach dahin langsamer abläuft, bzw. gar nicht mehr."

I: „Ja, je nach dem, wie viel wegreagiert ist."

SCH07: „Und nach links läuft sie dann immer noch ab. Und versucht etwas nachzubilden, damit wieder etwas hin und zurück reagieren kann. Es versucht also was nachzubilden und d. h. hier wird es dann weniger, weil man das was zurückreagiert ist, durch das H_3O^+ wieder rauszieht. Also verschiebt man in Endeffekt das Gleichgewicht auf die linke Seite."

I. *und SCH07 vollenden gemeinsam: es bildet sich dabei immer mehr Chlor, welches nicht zurückreagieren kann und daher schließlich ausgast.*

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH07)

Diesem Interviewausschnitt wird nun ein weiterer gegenüber gestellt, bei dem ein als gut einzustufender Schüler angemessen argumentiert. Hiermit soll ein Beispiel dafür gegeben werden, wie überzeugend eine Argumentation ausfallen kann, wenn schematisierte Argumente, wie z. B. das Prinzip vom kleinsten

Zwang oder das einfache Nennen der Gleichgewichtsverschiebung, nicht zum Tragen kommen.

Im Interview wurde SCH01 aufgefordert das Marmor-in-Essigsäure-Experiment zu erläutern:

SCH01: „Das Gleichgewicht war ja, dass dieses Proton einfach hier rüber gegangen ist [SCH01 zeigt auf Reaktionsgleichung]. Natürlich Hin- und Rückreaktion. Dieser Marmorbrocken hat dann hier mit dem reagiert [SCH01 zeigt auf Proton]. Das hat natürlich zur Folge, dass wenn dieses Teilchen mit dem [Marmor] reagiert, es für die Rückreaktion [im Essigsäure-Gleichgewicht] nicht mehr zur Verfügung steht. Dann kann natürlich nur noch hin reagiert werden. Irgendwann hat man dann nur Acetat-Ionen, aber keine Essigsäure mehr."

(AUS DEM TRANSKRIPT VON INTERVIEW SCH01)

3.3.2.4. Fehlvorstellung – Falsche Gründe für die Verschiebung der Gleichgewichtslage

Bei einigen Schülern zeigte sich, dass sie nicht alleine das Modell der Stoßtheorie zur Begründung der Einstellung oder der Verschiebung einer Gleichgewichtslage bemühen. Neben einer schlagwortartigen Argumentation, wie sie im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, benutzten einige der interviewten Schüler auch Begründungen, welche nicht auf den anerkannten und im Unterricht behandelten Modellen beruhen. Sie weisen *dem Gleichgewicht* eine übergeordnete Bedeutung bzw. Zwangausübung zu. Manches Mal wird *dem Gleichgewicht* dabei ein Wille unterstellt, der für einen bestimmten *Antrieb* sorgt. Bei anderen lässt sich eine Umkehrung von Ursache und Wirkung erkennen. In diesem Zusammenhang spricht NIAZ (1998) davon, dass Schüler Hilfshypothesen bilden, weil sie die wissenschaftliche Erklärung (noch) nicht ausreichend akzeptieren würden. Für NIAZ gehören die folgenden Fehlvorstellungen zu dem *hard core*, da sie durch die Bildung der Hilfshypothesen nicht einfach durch bloße Lenkung der Aufmerksamkeit „aus den Köpfen der Schüler zu vertreiben sind", vielmehr müssen diese wiederholt angesprochen und widerlegt werden (vergleiche auch Abschnitt 1.4.5).

Anhand eines Beispiels sollen drei typische falsche Argumentationsweisen anschaulich gemacht werden. Als Beispiel wählen wir eine Regentonne, welche in Folge eines starken Regens anfängt überzulaufen.

Typ 1

Postulierung einer übergeordneten, personalisiert erscheinenden Kraftausübung.

Auf die Frage „Warum läuft Wasser aus der Regentonne?“ würde Typ 1 antworten: „Wegen dem Überlaufen. Das Überlaufen zwingt das Wasser aus der Tonne“.

Beispiele für eine Argumentation nach Typ 1

> *SCH10: „Ja das* immer mehr Hydronium-Ionen hergestellt *werden,* wenn welche gebraucht werden *um das Marmor aufzulösen.“*
>
> *I: „Ja, aber was ist den die Triebkraft dafür? Warum sollten denn da immer mehr Hydronium-Ionen entstehen?“*
>
> *SCH10: „*Das Gleichgewicht.*“*

Die Äußerung von SCH10 lassen sich so deuten, dass hier ein Wille unterstellt wird, welcher dafür sorgt, dass der Marmor aufgelöst wird. Das Gleichgewicht wird quasi als die Gestalt dieses Willens angesehen.

> *SCH11: „ (...) das ist* das Gleichgewicht*, was sich eingependelt hat.“*
>
> *I.: „und wieso verschiebt sich das nicht ein wenig hier hin oder hier hin?“*
>
> *SCH11: „Weil es ja* das Gleichgewicht *ist und immer das Gleiche auf beiden Seiten ist.“*

Neben der Fehlvorstellung, dass im Gleichgewicht alles gleich ist, zeigt sich, dass SCH11 alleinig das Gleichgewicht dafür verantwortlich macht, dass das Gleichgewicht sich einstellt. Die Argumentation von SCH11 kann als klassischer Ringschluss bezeichnet werden.

Typ 2

Umkehrung von Ursache und Wirkung.

Typ 2 würde folgende Erklärung abgeben: „Weil die Regentonne überläuft, regnet es.“

Beispiele für eine Argumentation nach Typ 2

> *SCH07: „Die OH^- sind dann hier weg, d.h. dass die Reaktion nach dahin langsamer abläuft bzw. gar nicht mehr. Und nach links läuft sie immer noch ab. Und* versucht *die [H_3O^+] wieder* nach zu bilden*. Damit verschiebt man im Endeffekt das Gleichgewicht auf die linke Seite.“*

SCH07 formuliert so, dass die Hinreaktion deshalb abläuft, weil H_3O^+-Ionen nachgebildet werden müssten.

> *SCH07: „CO_2 verschwindet und geht somit immer weiter raus.* Dann wird hier immer mehr versucht nachzubilden. *Das reagiert ja zu dem H_2O und dem Ca^{2+} und dem CO_2, was immer weiter raus geht. Das heißt,* die linke Seite versucht immer weiter nachzubilden*, und durch das Nach-*

bilden nach rechts wird immer mehr H_3O^+ verbraucht, und irgendwann ist auch mal das CH_3COOH verbraucht und dann ist Schluss.“

In den beiden letzten Beispielen zeigt sich einerseits, dass die Argumentation bei vorliegender Reaktionsgleichung häufig mit den Worten *links* und *rechts* geführt werden. Weiterhin lassen sich die Formulierungen von SCH07 so deuten, dass sie den Ausgang des Experiments für die Abläufe verantwortlich machen.

Typ 3

Das Ergebnis wird als erwünschter Grund geschildert.

Zu Typ 3 würden folgende Argumentationen gehören: „Weil die Regentonne überlaufen soll, regnet es.“ oder „Weil die Regentonne dort steht, fällt der Regen bevorzugt in die Regentonne, daher läuft sie über.“

Beispiele für eine Argumentation nach Typ 3

SCH03: „Das Gleichgewicht $CH_3COOH + H_2O$ zu CH_3COO^- und H_3O^+, dass verändert sich ja dann, weil die H_3O^+ werden ja gebraucht, *um den Marmor Stück für Stück zu zerstören.“*

SCH03 formuliert so, als ob das Ergebnis des Experiments das Verhalten des Systems steuern würde. *Weil die H_3O^+-Ionen gebraucht werden, verändert sich das Gleichgewicht.* Hier könnte eine Umkehrung von Ursache und Wirkung zu Grunde liegen.

SCH04: „Die H_3O^+-Teilchen haben zwei Reaktionsmöglichkeiten. Einmal die Reaktion Essigsäure mit Wasser. Die würde ja auch normal ablaufen. Wir haben jetzt aber als Konkurrenzreaktion die mit Marmor. [SCH04 schreibt Reaktionsgleichung hin.] So dass diese H_3O^+-Teilchen jetzt zwei Reaktionswege haben. Sie gehen aber eher diese [mit Marmor] ein.“

SCH04 beschreibt die Abläufe bei dem Experiment mittels des wünschenswerten Ansatzes der Konkurrenzreaktion. Allerdings reicht es ihm nicht aus, dass eine Konkurrenzreaktion vorhanden ist, sondern diese muss scheinbar bevorzugt ablaufen. Aus der beobachtbaren Wirkung (der Auflösung des Marmors) wird fälschlich auf Eigenschaften der Ursache geschlossen. SCH04 erkennt an dieser Stelle nicht, dass die Konkurrenzreaktion in diesem Fall keine Rückreaktion besitzt und es deshalb zu einer Störung der Gleichgewichtsreaktion kommt. Zumindest in dem Simulationsprogramm hätte beobachtet werden können, dass die Konkurrenzreaktion nicht bevorzugt abläuft.

SCH04: „Die OH^- gehen eher die Reaktion *zu Wasser ein, weil* die Anziehungskräfte da ja auch stärker *sind.“*

SCH04 stellt hier die Behauptung auf, dass OH^--Ionen und H_3O^+-Ionen auf Grund der elektrischen Anziehung bevorzugt miteinander reagieren würden. Wünschenswert wäre eine Argumentation auf Basis von Stoßwahrscheinlichkeiten und stark gehemmter Rückreaktion gewesen. Ähnlich wie bei dem Beispiel zuvor, sucht SCH04 nach einer nicht auf der Stoßtheorie basierten Begründung für die theoretische Erklärung der experimentellen Ergebnisse.

Der Grund für das Auftreten dieser Fehlvorstellungen hat sicherlich verschiedene Ursachen und an dieser Stelle kann nur darüber spekuliert werden: Während im Beispiel der überlaufenden Regentonne die Argumentationsweisen geradezu offensichtlich falsch sind, ist dies bei der Betrachtung des chemischen Gleichgewichts häufig nicht mehr offensichtlich. Zusätzlich könnte die Erklärung über das Stoßgeschehen unter Einbeziehung von Stoßwahrscheinlichkeiten und Mindestenergien zu neuartig und komplex für einige Schüler sein. Eine Erklärung mit Hilfe eines personalisierten *Gleichgewichts*, welches dafür sorgt, dass sich die Gleichgewichtslage einstellt, ist sicherlich einfacher zugänglich und insbesondere sprachlich leichter fassbar.

3.4. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Optimierung der Einführung des chemischen Gleichgewichts

Sowohl die offenen Fragen der Fragebogenstudie, als auch die Interviewstudie legen nahe, dass das die Erklärung des dynamischen Gleichgewichts mit Hilfe einer einfachen Stoßtheorie im Allgemeinen überzeugen kann. Insbesondere haben die Schüler in den Interviews den Eindruck bestätigt, den die Fragebogenstudie bereits nahe gelegt hat: Die Hinführung zum dynamischen Gleichgewicht mit dem Computertutorium wird von den Schülern als einfach empfunden. Die Bearbeitung des Tutoriums bereitete den Schülern keine Probleme. In der Fragebogen- und Interviewstudie wurde evaluiert, in wie weit der gesamte Unterrichtsgang (und nicht etwa das Tutorium alleine) zur Einführung des chemischen Gleichgewichts erfolgreich war. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Zustandekommen des Gleichgewichtszustands scheinbar problemlos vermittelt werden konnte, jedoch machten die Folgerungen für die Verschiebung des Gleichgewichtszustands durch äußere Einflüsse einigen Schüler Probleme.

Weiterhin konnten zwei Typen von Fehlvorstellungen bei den Schülern auch hier nachgewiesen werden, welche bereits aus der Fehlvorstellungsforschung bekannt waren: Insbesondere die Vorstellung, dass im Gleichgewichtszustand die Konzentrationen der beteiligten Stoffe gleich seien müsse, tritt vergleichsweise häufig auf. Je nach eingesetztem Instrument wählen 17 % (vergleiche Tabelle 23) bzw. 24 % (vergleiche Tabelle 22) der Schüler Auswahlantworten aus, welche sich als Ausprägung dieser Art der Fehlvorstellung deuten lassen. Die Interviewstudie legt jedoch nahe, dass es sich hierbei um eine Fehlvorstellung aus dem *soft core* (zu dem Begriff vergleiche man Abschnitt 1.4.5) handelt, dies bedeutet insbesondere, dass z. B. durch Lenkung der Aufmerksamkeit die Schüler diese selber korrigieren können.

Hingegen wurde ein weiterer Typ von Fehlvorstellung mit Hilfe der Interviewstudie gefunden, welche dem *hard core* (zu dem Begriff vergleiche man Abschnitt 1.4.5) zugerechnet werden darf: Manche Schüler neigen zu der Bildung von Hilfshypothesen bzw. Hilfserklärungen, um das Zustandekommen oder die Verschiebung von Gleichgewichtszuständen zu erklären. Von diesem Typ der

Fehlvorstellung sagt NIAZ (1998), dass lediglich eine ständige Konfrontation mit widerlegenden Sachverhalten zum Abbau gereichen kann, insbesondere braucht es hierfür einen längeren Zeitraum. Für den Kurs zur Einführung des chemischen Gleichgewichts lassen sich daher zwei wichtige Schlussfolgerungen ziehen:

Die Bedeutung des dem Computertutorium folgenden Unterrichts wird deutlich aufgewertet. Die Einführung in das Konzept des chemischen Gleichgewichts endet auch nicht mit der Unterrichtseinheit *Saure Reiniger im Haushalt*, sondern erstreckt sich auch über weiteren Lektionen des Schulhalbjahres. Hierin lässt sich eine Bestätigung des Konzepts zur Unterrichtung von Basiskonzepten sehen, wie es von *Chemie im Kontext* aus angedacht ist (vergleiche Abbildung 28).

Die Rolle der Lehrkraft wird deutlich aufgewertet. Statt hinter dem Einsatz eines Computertutoriums zu verschwinden, kommt der Lehrkraft die wichtige Aufgabe zu, die dort angesprochenen Theorien im Unterricht wiederholt aufzugreifen und zu festigen. Die von uns gefundenen Ergebnisse belegen, dass der Einfluss der Lehrkraft nicht überschätzt werden kann, denn nur so lässt es sich erklären, dass eine bestimmte Formulierung (Konkurrenzreaktion) oder Erklärung (mit Hilfe von gekoppelten Reaktionsgleichungen) jeweils nur in einem Kurs auftrat.

Für den Einsatz des Computertutoriums und die im folgenden Unterricht gebrauchten Erklärungen können hieraus zwei Dinge geschlossen werden:

- Zum einen sollten eigene, von der Lehrseite verwendete Erklärungen mit Sorgfalt gewählt werden.
- Zum anderen sollte auf das Auftreten von Scheinargumentationen bei Schülern geachtet werden.

Empfehlungen für den Unterrichtsgang

Hinter spontanen Äußerungen von Schülern verbergen sich häufig mehrdeutige Argumente, die z. T. auf Fehlvorstellungen zurückgehen. Dies ist nicht immer augenscheinlich. Daher macht es Sinn die Empfehlung auszusprechen, die häufig zur Erklärung von Gleichgewichtsphänomenen herangezogenen Argumente auf Basis stoßtheoretischer Annahmen erläutern zu lassen bzw. zu erklären. So kann beispielsweise das Prinzip von Le Chatelier, welches vor allem ergebnisorientiert ist, als historisches Beispiel im Unterricht behandelt und seine Aussagen auf Basis der Stoßtheorie erläutert werden. Führt man sich noch einmal Abbildung 23 vor Augen, in welcher eine hierarchische Anordnung von schulgeeigneten Erklärungen zum chemischen Gleichgewicht gegeben werden, so wird die Bedeutung der Rückführung der verschiedenen Erklärungsansätze auf stoßtheoretische Annahmen als sinngebende Basis besonders deutlich.

Grundsätzlich sollte im Unterricht auf das Auftreten von Fehlvorstellungen geachtet werden. Hierzu gehört insbesondere die Vorstellung, dass im Gleichgewicht immer gleich viele Teilchen von jedem Stoff vorhanden sind. Aber auch speziellere Fehlvorstellungen, wie z. B., dass Schüler eine falsche Vorstellung von den ablaufenden Reaktionen haben, etwa dass die Essigsäure-Moleküle den Marmor selber angreifen würden.

Nicht in jedem Fall verbirgt sich hinter einer geäußerten Fehlvorstellung auch ein fundamentaler Irrtum. Vielmehr zeigt sich, dass Schüler auf dem Wege des Erlernens einer komplexen Theorie manchmal in eine argumentative Sackgasse - in Form einer nicht belastbaren Vorstellung - geraten, aus welcher man sie aber auch leicht wieder herausführen kann. So besaß z. B. SCH04 die Vorstellung, dass alle Teilchenzahlen im Gleichgewicht gleich groß seien. Gleichzeitig wusste er aber auch, dass die Reaktion der Autoprotolyse von Wasser stark auf der Seite des undissoziierten Wassers liegt. Im Interview reichte es aus, diese beiden Aussagen einander gegenüber zu stellen, um die erste als falsch zu entlarven.

Nach Analyse der Interviewstudie kann konstatiert werden, dass ein Schüler zumindest eine Vorstellung haben muss, um eine Fehlvorstellung zu entwickeln. Dies lässt sich daran erkennen, dass die Beispiele für Äußerungen von Fehlvorstellungen häufig von Schülern kamen, die vergleichsweise gut eingeschätzt wurden. Bei zumindest zwei Schülern in der Interviewstudie ließen sich sicherlich deshalb keine Fehlvorstellungen nachweisen, weil ihr Verständnis viel zu oberflächlich war, als dass es ausgereicht hätte, eine Fehlvorstellung zu entwickeln, vielmehr trafen wir, überspitzt gesagt, auf überhaupt keine Vorstellung.

Optimierung des Tutoriums

Auch wenn die vorgestellten Ergebnisse der Evaluation an dieser Stelle dazu genutzt wurden, um das Computertutorium zur Einführung in die Stoßtheorie zu optimieren, soll noch einmal betont werden, dass das erworbene Wissen der Schüler nicht aus der einmaligen Begegnung mit dem Computertutorium alleine stammt. Vielmehr glauben wir behaupten zu können, dass wir mit dem Einsatz des Tutoriums einen viel versprechenden Startpunkt für das Erlernen des Konzepts des dynamischen Gleichgewichts setzen können. Die Interviewstudie zeigt, dass sich die Visualisierungen der Simulation so in den Köpfen der Schüler festgesetzt haben, dass selbst zwei bis vier Monate später erfolgreich auf diese zurückgegriffen werden kann.

Um den gefundenen Fehlvorstellungen entschiedener vorzubeugen, wurden im Tutorium einige Veränderungen vorgenommen. So wurden die Gleichgewichtslagen, in denen aufgefordert wird, sich graphische Darstellungen anzuschauen, dahingehend verändert, dass selbst die Schwankungen quasi nicht mehr zu Überlappungen der Edukt- und der Produktkurve führen. D. h. der Unterschied zwischen den Anzahlen der Edukt- und Produktteilchen im Gleichgewichtszustand wurde vergrößert. Weiterhin wurden die Arbeitsaufträge und die Musterantworten überarbeitet. Es wird nun verstärkt auf stoßtheoretische Deutungen von Sachverhalten Wert gelegt.

Zusätzlich wurde den Mindestenergien eine größere Aufmerksamkeit gewidmet als es in der Fassung zuvor der Fall war. Somit wird die Begründung für das Auftreten von unterschiedlichen Teilchenzahlen im Gleichgewichtszustand verdeutlicht.

Da auf Grund der genannten Änderungen der Umfang des Tutoriums angewachsen war, wurde schließlich nach Lektion 7 eine Zwischenbilanz eingefügt. Diese ist als Sollbruchstelle gedacht, die es ermöglichen soll, die Bearbeitung des Tutoriums im Unterricht an geeigneter Stelle zu unterbrechen. Weiterhin werden hier die grundlegenden Begriffe und erwünschten Formulierungen wiederholend geübt.

4. Zusammenfassung und Ausblick

4.1. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der 11. Jahrgang für das Fach Chemie, entsprechend des nordrhein-westfälischen Lehrplans, geplant, erprobt und evaluiert. Die Planung des Unterrichtganges orientierte sich an den Ideen des Konzepts von *Chemie im Kontext*, dabei handelt es sich um die drei „Säulen“ *Kontextorientierung*, *Förderung des selbstständigen Lernens* und *Erlernen von vernetzen Basiskonzepten.* Innerhalb des gesamten Unterrichtjahres wurden für diese Arbeit zwei Schwerpunkte gesetzt: Die Einstiegseinheit Alkohol – zum Trinken viel zu schade? sowie die Einführung des chemischen Gleichgewichts.

Vorgegangen wurde nach dem Forschungsmodell der partizipativen fachdidaktischen Aktionsforschung, wie es von EILKS & RALLE (2002a-b) beschrieben wurde (vergleiche Abschnitt 1.5). Die Besonderheiten dieses Forschungsmodells bestehen in einer engen Zusammenarbeit mit aktiven Lehrkräften, sowie einer zyklischen Erprobung, Evaluierung und anschließender Überarbeitung von Unterrichtskonzepten und –materialien. Es wurden zwei Forschungszyklen durchlaufen, welche jeweils das gesamte Schuljahr umfassen. Eine verstärkte Evaluation fand zu den beiden, oben genannten Schwerpunkten dieser Arbeit innerhalb des zweiten Zyklus statt.

Im ersten Zyklus wurde mit zwei Lehrkräften zusammengearbeitet. Der Unterricht wurde regelmäßig hospitiert, so dass ein unmittelbares Feedback im Anschluss an die Unterrichtsstunden stattfinden konnte. Ziel des ersten Zyklus war es, den entworfenen Unterrichtsgang auf seine prinzipielle Tauglichkeit zu überprüfen und erste Optimierungen vorzunehmen, bevor eine größere Erprobung und Evaluation im zweiten Zyklus durchgeführt wurde.

Die genauen Zielsetzungen lauteten:

> **Ziel 1.a**: *Bereitstellung eines Konzepts und von Materialien für den 11. Jahrgang in Nordrhein-Westfalen.*
>
> **Ziel 1.b**: *Erprobung und Nachweis der Eignung des Konzepts und der Materialien durch intensive Zusammenarbeit mit wenigen Lehrkräften.*

Die Erfüllung dieser Ziele, insbesondere von *Ziel 1.b*, war Voraussetzung für die Durchführung des zweiten, größer angelegten Zyklus.

Im zweiten Zyklus wurde mit sieben Lehrkräften zusammengearbeitet. In etwa sechswöchigen Abständen wurde sich zu einer Diskussionsrunde getroffen, in welcher Erfahrungen ausgetauscht und sich ergebene Probleme erörtert wurden.

Für die Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* wurden die Lehrkräfte und Schüler nach ihren Einschätzungen gefragt. Während das Feedback der Lehrkräfte über die Diskussionsrunden und über einen Feedback-Fragebogen stattfand, wurden die Einschätzungen der Schüler mittels eines Fragebogens mit freien Fragen und Fragen mit Auswahlantworten erhoben. Da es sich bei dieser Einheit um die Einstiegseinheit für das Schuljahr handelte, musste sich zeitgleich die Zusammenarbeit mit den Lehrkräften entwickeln. Es wurde daher eine Input-orientierte Vorgehensweise gewählt, bei der es vorwiegend darauf ankam Materialien und Konzept den Lehrkräften vorzustellen und zu sehen, wie diese damit umgingen. Entsprechend fand für diese Einheit auch noch keine Überprüfung von Lernerfolgen bei den Schülern statt.

Die Einführung in das chemische Gleichgewicht fand innerhalb der Einheit *Saure Reiniger im Haushalt* statt. Dabei kam ein Simulationsprogramm innerhalb einer Computer-gestützten Lernumgebung zur Einführung in die Stoßtheorie zum Einsatz. Innerhalb des hier benutzen Schüler-Fragebogens wurden zusätzlich Fragen zum Verständnis gestellt, weiterhin wurden Interviews mit einzelnen Schülern geführt. Geachtet wurde bei der Auswertung der Ergebnisse darauf, inwieweit die Schüler die Theorie verstanden haben und welche Schwierigkeiten sich beim Erlernen zeigten. In diesem Fall kann von einer Output-orientierten Vorgehensweise gesprochen werden, bei welcher anhand des Lernerfolgs der Schüler auf Maßnahmen zur Optimierung des Unterrichtskonzeptes und der –materialien geschlossen wurde.

Für den zweiten Zyklus lautete die Zielsetzung

Ziel 2.a: *Etablierung der Zusammenarbeit in einem Kreis von fünf bis zehn Lehrkräften.*

Ziel 2.b: *Optimierung des im ersten Zyklus erprobten Konzepts samt zugehöriger Materialien.*

Ziel 2.c: *Erzielung von verallgemeinerbaren Ergebnissen, die über die konkrete Unterrichtssituation hinaus eine Bedeutung haben.*

Diese wurden für die zwei Schwerpunktsetzungen genauer spezifiziert.

4.1.1. *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?*

Für die Unterrichtseinheit *Alkohol – zum Trinken viel zu schade?* lauteten die Formulierungen wie folgt:

> **Ziel 2.a'**: *Aufbau eines vertrauensvoll zusammenarbeitenden Arbeitskreises von fünf bis zehn Lehrkräften.*
>
> **Ziel 2.b'**: *Vermittlung des Konzepts der Einheit „Alkohol – zum Trinken viel zu schade?“ für die Lehrkräfte. Weitergabe der Erfahrungen aus dem ersten Zyklus. Erprobung der Einheit durch die Lehrkräfte und diskursive Überarbeitung des Konzepts.*
>
> **Ziel 2.c'**: *Durch Begleitung mit einer Fragebogenstudie zur Einschätzung der Einheit sollten sich Aspekte herauskristallisieren lassen, wie z. B. die Einschätzung bezüglich der eingesetzten Methode oder der Einbindung von Fachinhalten.*

Zu Ziel 2.b'

Die begleitende Evaluation ergab, dass die Einheit insgesamt sowohl von Seite der Lehrkräfte, als auch von der Seite der Schüler gut angenommen wurde. Allerdings zeigten sich auch Ansatzpunkte für Verbesserungen, welche insbesondere das Konzept der Einheit betrafen. Die Optimierungsvorschläge wurden in Form einer Lehrerhandreichung formuliert. Die einzelnen Stationen des Optimierungsprozesses sind in Anhang A nachzulesen.

Die Evaluation im zweiten Zyklus legte vor allem Änderungen in zwei Bereichen nahe. Der erste Bereich betrifft die Vermittlung der Erarbeiteten Ergebnisse der arbeitsteiligen Gruppenarbeit in der Erarbeitungsphase. Sowohl die Lehrkräfte, als auch die Schüler äußerten hier ihre Unzufriedenheit. Den Lehrkräften ging dabei die Darstellung der Theorie in den Schülervorträgen nicht tief genug, während die Schüler sich von ihren Mitschülern unzureichend und unverständlich informiert fühlten. Obwohl die Vermittlung bereits zuvor als schwierig erkannt worden war, und verschiedene Vorschläge gemacht zur Abmilderung wurden (fachinhaltliche Überlappungen bei der Themenstellung für die Gruppenarbeit, Durchführung eines Gruppenpuzzles statt Vorträge vor der Klasse), zeigte sich diese Phase in der Praxis deutlich problematisch.

Als Ursache für diese Situation kann die häufig in der Praxis anzutreffende Intention von Lehrkräften gesehen werden, prozedurales Wissen durch Schülervorträge vermitteln zu wollen. In der überarbeiteten Version der Lehrerhandreichung wird am Ende einer arbeitsteiligen Gruppenarbeit nur noch Faktenwissen zu vermitteln sein. Das zur Erklärung der Fakten notwendige prozedurale Wissen wird mit Hilfe von Methoden erlernt, welche eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lernstoff ermöglichen, wie z. B. dem Lernen an Stationen.

Der zweite Bereich umfasst zwei Aspekte: zum einen experimentieren die Schüler sehr gerne, zum anderen empfanden die Schüler die Einheit als zu theorielastig, insbesondere schienen sie die Besprechung von Theorie im Anschluss an Experimente nicht zu mögen.

Zur Behebung dieses Konfliktes wurde folgender Vorschlag gemacht: Ein Großteil der Experimente wird in die arbeitsteilige Gruppenarbeit gelegt. Dort sollen sie, neben der Ermittlung von Faktenwissen (z. B. Ethanol mischt sich sowohl mit Wasser, als auch mit Öl oder der Nachweis auf Alkohol mit Hustensaft fällt positiv aus), insbesondere auch dem Erwerb von handwerklichem Geschick und dem Erwerb von sozialen Kompetenzen dienen. Entsprechend dem obigen Vorschlag erfolgt die Vermittlung der zur Erklärung notwendigen Theorien zeitlich deutlich versetzt. Hiermit wird die Hoffnung verbunden, den Experimenten ihren hohen motivierenden Charakter zu erhalten.

Zu Ziel 2.c'

Neben der Optimierung der Unterrichtseinheit selber, lassen sich die unter *2.b'* dargestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen abstrahieren und allgemeiner formulieren.

Beim Einsatz der Methode der arbeitsteiligen Gruppenarbeit mit anschließender Vorstellung der Ergebnisse hat sich die Phase der Vermittlung als problematisch herausgestellt. Zurückgeführt wurde dies auf den Versuch prozedurales Wissen zu vermitteln. Daher wird Vorgeschlagen diese Methode nur dann anzuwenden, wenn die Ergebnisse aus (wenigen und) einfacher zu vermittelnden Fakten bestehen. Es wird vorgeschlagen den Erwerb von prozeduralem Wissen mit Hilfe Methoden zu bewerkstelligen, die eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand ermöglichen.

Denkt man diesen Gedanken konsequent weiter, so scheint eine Einteilung von Methoden nach dem Grad der *ermöglichten* Auseinandersetzung sinnvoll. An der Spitze einer solchen Hierarchie stehen vermutlich die Bearbeitung von Arbeitsblättern in diskursiver Partnerarbeit, das Lernen an Stationen (auch wieder in Partnerarbeit) oder die Kugellager-Methode. Am Ende dieser Hierarchie finden sich wahrscheinlich das Zuhören in einem Vortrag oder das Beiwohnen eines Demonstrationsexperimentes.

Als ein weiteres, allgemeineres Ergebnis kann angesehen werden, dass Schüler gerne experimentieren und den Chemieunterricht als zu theorielastig empfinden. Zu dem gleichen Ergebnis kam auch WOEST (1996) in seiner Umfrage.

Um den hohen motivationalen Charakter von Experimenten zu erhalten, scheint es daher sinnvoll, einem Vorschlag von HOFSTEIN & LUNETTA (1982) zu folgen und dem Erlernen von handwerklichem Geschick, sowie sozialen Kompetenzen mehr Bedeutung bei zu messen und die Bedeutung des Experiments zur Erarbeitung von Theorien zu vermindern.

4.1.2. *Die Einführung in das chemische Gleichgewicht*

Die spezifischere Ausformulierung der Ziele dieser Arbeit für die Einführung in das chemische Gleichgewicht lauteten:

> **Ziel 2.a''**: *Weiterführung der vertrauensvollen Zusammenarbeit im Arbeitskreis.*
>
> **Ziel 2.b''**: *Vermittlung des Kurses zur Einführung in das chemische Gleichgewicht. Erprobung durch die Lehrkräfte und diskursive Optimierung. Durch Begleitung mit einer Fragebogenstudie zur Einschätzung der Einheit, einer kognitiven Überprüfung, sowie einer Interviewstudie sollten sich neben Einschätzungen z. B. bezüglich der Kontextorientierung auch Erkenntnisse erzielen lassen, in wie weit theoretische Aspekte verstanden worden sind und wo Probleme bei dieser Art der Vermittlung auftauchen.*
>
> **Ziel 2.c''**: *Die Erkenntnisse der Fragebogen- und Interviewstudie gilt es auf Möglichkeiten zur Abstraktion und Verallgemeinbarkeit hinzu überprüfen und entsprechende Ergebnisse zu formulieren.*

Zu Ziel 2.b''

Der Kurs zur Einführung in das chemische Gleichgewicht besteht insgesamt aus drei Einheiten, von denen die Einheit *Saure Reiniger im Haushalt* im Rahmen dieser Arbeit näher untersucht wurde. Eine Besonderheit dieser Einheit besteht darin, dass die Begegnung der Schüler mit dem chemischen Gleichgewicht über ein Computertutorium zur Einführung in die Stoßtheorie stattfindet. Bei der Unterrichtseinheit selber handelt es sich um eine die kleinste Einheit des 11. Jahrgangs, die durchgeführt wurde. Wesentlicher Bestandteil, neben der Kontextorientierung, ist dabei die Erzeugung eines kognitiven Konflikts bei den Schülern:

Mit ihrem bisher erworbenen Wissen wird eine Voraussage über den Ausgang eines vergleichenden Experiments getroffen. Die Wirkung von verdünnter Salzsäure und verdünnter Essigsäure auf Marmor wird näher untersucht. Für den Fall der Salzsäure stimmen Voraussage und experimentelles Ergebnis überein, während dies im Fall der Essigsäure nicht zutrifft. Die Erprobung hat ergeben, dass die Herbeiführung des kognitiven Konflikts gut gelingt. Den Schülern konnte nachweislich einsichtig gemacht werden, dass sie die experimentellen Befunde mit Hilfe ihres bisherigen Wissens nicht erklären können.

An dieser Stelle im Unterrichtsgang wurde das Computertutorium zur Einführung in die Stoßtheorie eingesetzt. Die Ergebnisse der Fragenbogenstudie zeigen, dass den Schüler der Umgang mit dem Tutorium in jeder Hinsicht (Bedienung und Lernen) leicht fiel. Daher darf geschlossen werden, dass es sich auszahlte, das Tutorium hinsichtlich der Erkenntnisse der Forschung zum Lernen mit Multimedia zu designen (vergleiche die Abschnitte 1.3, 1.4.1.4 und 1.4.1.5).

Die durchgeführte Fragebogen- und Interviewstudie zeigen dabei, dass man mit dem erworbenen Wissen bei den Schülern durchaus zufrieden seien darf. Indikatoren hierfür sind z. B., dass nicht Auftreten der Fehlvorstellung eines toren hierfür sind z. B., dass nicht Auftreten der Fehlvorstellung eines statischen Gleichgewichtszustands, der Ausfall der Beantwortung der Mehrfachwahlaufgabe nach KIENAST (vergleiche Abschnitt 3.2.3), bei welcher „unsere" Schüler ähnlich gut abschnitten, wie Leistungskurse der Jahrgänge 12 bzw. 13 der Jahre zuvor oder die zum teil sehr erfreuliche Beantwortung der offenen Fragestellungen.

Die beiden Studien wurden u. a. mit dem Ziel durchgeführt, um Hinweise für die Optimierung des Unterrichtganges und des Tutoriums zu bekommen. Daher wurde besonders auf das Auftauchen von Fehlvorstellungen geachtet und diese mit in der Literatur bekannten verglichen. Tatsächlich spielte die Vorstellung der gleichen Konzentrationen von Edukten und Produkten im Gleichgewicht eine vergleichsweise große Rolle. Diese wurde (nach NIAZ (1998)) dem *soft core* zugeordnet, da man dieser Vorstellung relativ einfach entgegentreten kann, was z. B. aus der Interviewstudie oder der Untersuchung von EYBE (2000) deutlich wird.

Weiterhin fanden sich bei der Analyse der Interviewstudie Hinweise auf das auftreten von Hilfshypothesen oder –erklärungen bei einigen Schülern, welche (nach NIAZ (1998)) dem *hard core* zu zuordnen sind. Sie lassen sich, in unserem Fall, darauf zurückführen, dass die Schüler die stoßtheoretische Erklärung der Gleichgewichtseinstellung bzw. –verschiebung noch nicht vollständig akzeptiert haben und nach eigenen sinngebenden Erklärungen suchen. Jedoch erscheint es für einen konkreten Fall schwer zu beurteilen, ob ein Schüler sich einer Hilfshypothese bedient oder ob er nur unglücklich formuliert hat.

Für die Durchführung des Unterrichts wird daher die Empfehlung ausgesprochen, die häufig zur Erklärung von Gleichgewichtsphänomenen herangezogenen Argumente auf Basis stoßtheoretischer Annahmen erläutern zu lassen bzw. zu erklären. So kann beispielsweise das Prinzip von Le Chatelier, welches vor allem Ergebnis-orientiert ist, als historisches Beispiel im Unterricht behandelt und seine Aussagen auf Basis der Stoßtheorie erläutert werden.

Es sei besonders darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse eine deutliche Rollenzuweisung für die Lehrkraft beim Umgang mit Computertutorien bedeuten. Die Lehrkraft verschwindet nicht hinter dem Tutorium, sie hat vielmehr die Verantwortung dafür, dass die im Tutorium grundgelegten Vorstellungen gefestigt und vervollkommnet werden. Dass die bildlichen Darstellungen der Simulation hierfür geeignet sind, konnte die Interviewstudie ebenfalls zeigen, da die Schüler z. T. selbst vier Monate nach dem Einsatz im Unterricht gute Erinnerungen an das Tutorium und die Simulation aufwiesen.

Zu Ziel 2.c''

Die unter 2.b'' aufgeführten Ergebnisse und Schlussfolgerungen lassen sich ebenfalls abstrahieren und verallgemeinern.

Zunächst fällt auf, dass auch – oder gerade – in einem kontextorientierten Unterricht die Vermittlung der zugrundeliegenden Theorie sorgfältig geplant werden muss. Während die Erkenntnisse über die Einführung des chemischen Gleichgewichts sicherlich auch in einem fachsystematischen Unterricht ihre Berechtigung besitzen, hat dieser gegenüber dem kontextorientierten Unterricht jedoch einen entscheidenden Nachteil:

Unter 2.b'' wurde argumentiert, dass zum Begreifen mancher Erklärungen ein längerer Zeitraum notwendig erscheint. Während durch den Aufbau von *Chemie im Kontext* mittels einzelner Kontexteinheiten der Aufbau eines Basiskonzepts unmittelbar in der Konzeption inbegriffen ist und dadurch aus multiplen Perspektiven zeitlich gestreckt erfolgt, geschieht dies in einem fachsystematischen Unterricht eher in einem Block.

Für den Einsatz von multimedialen Lernumgebungen im Schulunterricht wurde mit der Einheit *Saure Reiniger im Haushalt* ein Beispiel dafür gegeben, dass eine sorgfältige Planung für zu einem erfolgreichen Computereinsatz im Unterricht führen kann. Beachtet wurden vor allem folgende Punkte:

- Bei dem Design der Lernumgebung wurde sich an den Erkenntnissen der Forschung zu Lernen und Lehren mit Multimedia orientiert (wie sie in Abschnitt 1.3 aufgeführt sind).
- Den Einsatz selber gilt es zu planen (z. B. jeweils zwei Schüler bearbeiten das Tutorium gemeinsam und es wird eine Arbeitsblatt / eine Aufgabe für schnellere Schüler bereitgehalten, mit welchem / er sie überprüfen können, ob ihre Bearbeitung erfolgreich war).
- Der Einsatz der Lernumgebung findet innerhalb eines Unterrichtsganges statt, d. h. die zu vermittelnden Erkenntnisse werden von dem zuvor gelaufenem Unterricht her vorbereitet und in dem folgenden Unterricht aufgegriffen und weiterhin genutzt.

Zu den Zielen 2.a bis 2.a''

Das Erreichen des Ziels einer vertrauensvollen Zusammenarbeit lässt sich schlecht unmittelbar nachweisen. Jedoch möchte ich behaupten, dass es gelungen ist eine Zusammenarbeit aufzubauen, von der beide Seiten profitieren konnten. Als Indikatoren für diese Aussage mögen folgende Aspekte dienen:

- Die Zusammenarbeit von der Seite der Lehrkräfte erfolgte völlig freiwillig.
- Alle Lehrkräfte, welche im zweiten Zyklus mitgearbeitet hatten, haben im folgenden Jahr bei dem BMBF-Projekt von *Chemie im Kontext* mitgearbeitet und bildeten somit die Basis für das Set von Nordrhein-Westfalen.

Es lässt sich schlussfolgern, dass das Modell der partizipativen fachdidaktischen Aktionsforschung zu einer gegenseitig fruchtvollen Zusammenarbeit von Hochschule und Schule genutzt werden kann.

4.2. Ausblick

Für zukünftige Arbeiten im Anschluss und zur Weiterführung dieser Arbeit lassen sich vielfältige Perspektiven aufzeigen:

- Die Schwerpunktsetzung dieser Arbeit hat nur zwei von fünf der durchgeführten Einheiten näher untersucht. Eine ähnliche Arbeit für die übrigen drei Einheiten steht noch an und wird bereits z. T. im Rahmen des BMBF-Projekts von *Chemie im Kontext* vom Set in Nordrhein-Westfalen geleistet.
- Innerhalb dieser Arbeit wurde der 11. Jahrgang zusammenhängend nach den Vorgaben von *Chemie im Kontext* geplant. Eine ähnliche Arbeit steht für weitere Jahrgänge an und wird z. B. aktuell von dem Teil des Sets in Nordrhein-Westfalen für den 12. Jahrgang begonnen, welcher aus der Mitarbeit bei dieser Arbeit hervorgegangen war.
- Ein dritter Zyklus für die optimierten Einheiten sollte überprüfen, ob die vorgenommenen Veränderungen tatsächlich zu den gewünschten Ergebnissen führen.
- Im Rahmen des Einsatzes von computergestützten Lernumgebungen sollten, ähnlich wie für „normalen“ Unterricht erforscht werden, welche Methoden (konkreter: Sozialformen) ihre Lernwirksamkeit steigern. Denkbar in diesem Zusammenhang wäre z. B. die Unterstützung durch den parallelen (eventuell sogar zeitgleichen) Gebrauch haptischer Modelle.
- Neben der Etablierung einer Zusammenarbeit von Hochschule und Schule bleibt eine große Herausforderung die Disemination der gewonnen Erkenntnisse, also die Verbreitung über die (wörtlich gemeinte) unmittelbare Umgebung einer Hochschule hinaus. Da diese Arbeit u. a. die Bedeutung der einzelnen Lehrkraft für das Gelingen von Unterricht gezeigt hat, heißt dies in der Konsequenz, dass Wege gefunden werden müssen, die einzelnen Lehrkräfte zu erreichen.

Neben der Perspektiven für zukünftige Forschungsarbeiten, stellt gerade der letzte Punkt deutlich heraus, dass alleine die Verbreitung der Ergebnisse von bereits vorliegenden, für die Schulpraxis relevanten Forschungsergebnissen, die dieser Arbeit eingeschlossen, eine der großen Herausforderungen darstellt.

5. Literatur

Al Jaberi, M.R. (1984): Developing and Validating Criteria for the Production of CBI Courseware. Columbus

Alessi, S.M. & Trollip, S.R. (1985): Computer-Based Instruction, Methods and Development. New Jersey: Prentice Hall

Allsop, R.T. & George, N.H. (1984): Le Chatelier – a redundant principle? Education in Chemistry, 21, 54-56

Atkins, P.W. (1990): Physical Chemistry. 4th ed., Oxford: Oxford University Press

Bader, H.J. (2002): Das Experiment im Chemieunterricht. In: Pfeifer, P., Lutz, B. & Bader, H.J. (Hrsg.) (2002): Konkrete Fachdidaktik Chemie. 3. Auflg., München: Oldenbourg

Banerjee, A.C. (1991): Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. International Journal of Science Education, 13, 487-494

Barke, H.-D. (1987): „Chemieunterricht erscheint nicht so sinnlos, wenn man den Stoff auch im Alltag anwenden kann“. Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie. 35, 1987, 38-40

Baumert, J., Bos, W., & Lehmann, R. (Eds.) (2000): TIMSS/III: Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie - Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Opladen: Leske + Budrich.

Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.J. & Weiß, M. (2001): PISA 2000 – Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich

Beherndt, J., Just, E., Faust, S., Meyer-Vogel, J. & Uebers, R. (1997): Alltagsorientierter Chemieunterricht-erprobter Unterricht in der Sekundarstufe I. Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie, 8, 1997, 9-16

Bergquist, W. & Heikkinen (1990): Student ideas regarding chemical equilibrium. Journal of Chemical Education, 67, 1000-1003

Bohrmann, C. & Tausch, M.W. (2001): Hypermedia-Baustein: Photoelektrochemische Zelle. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 37 - 38

Braun, P. (2002): Der Krampf mit dem Spalten-Layout. Online Magazin Dr. Web, *www.drweb.de/webdesign/layoutkrampf.shtml* (gesehen am 07.02.2003)

Burton, G., Holman, J., Lazbony, J., Pilling, G. & Waddington, D. (2000): Salters Advanced Chemistry – Chemical Storylines. 2nd Ed., Oxford: Heinemann

Burton, G., Holman, J., Pilling, G. & Waddington, D. (1994a): Salters Advanced Chemistry – Chemical Ideas. Oxford: Heinemann

Burton, G., Holman, J., Pilling, G. & Waddington, D. (1994b): Salters Advanced Chemistry – Activities & Assessment. Oxford: Heinemann

Burton, G., Holman, J., Pilling, G. & Waddington, D. (1994c): Salters Advanced Chemistry – Teacher's Guide. Oxford: Heinemann

Chang, C.-Y. (2002): Does Computer-Assisted Instruction + Problem Solving = Improved Science Outcomes? A Pioneer Study. Journal of Education Research, 95, 143-151

Chi, M.T.H. (1992): Conceptual change within and across ontological categories: Implication for learning and discovery in science. In: Giere, R. (Ed.): Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science, 129-186, Minnesota: University of Minnesota Press

Chiu, M.-H., Chou, C.-C. & Liu, C.-J. (2002): Dynamic Process of Conceptual Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium. Journal of Research in Science Teaching, 39, 688-712

Chung, K.L. (1974): A course in probability theory. 2. ed., New York: Academic Press

Clarke, F.Y. (1984): An Identification of the Principles and Processes that are Applicable in Systematic Design on Instructional Courseware for the Microcomputer. Houston

Conklin , J. (1987): Hypertext: An Introduction and survey. Computer, 20, 17-41

De Bueger-Van der Borgh, C. & Mabille, A. (1989): The evolution in the meanings given by Belgian secondary school pupils to biological and chemical terms. International Journal of Science Education, 11 (3), 347 - 362

De Jong, O. & van Joolingen, W.R. (1998): Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. Review of Educational Research, 68, 179-201

Decker, J., Lutz, B., Pfeifer, P. & Schmidkunz, H. (1997): Der Alltag und der Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie. 25, 1997, 2-4

Dickerson, R.E. & Geis, I. (1980): Chemie – eine lebendige und anschauliche Einführung. Weinheim: Verlag Chemie

Draschoff, S. (2000): Lernen am Computer durch Konfliktindizierung. Münster: Waxmann

Driscoll, D.R. (1960): The Le Chatelier principle. Australian Science Teachers Journal, 6, 7-15

Edelmann, W. (1996): Lernpsychologie. 5. Auflg., Weinheim: Psychologie Verlags Union

Ehlers, U. (2002): Qualität beim E-Learning: Der Lernende als Grundkategorie bei der Qualitätssicherung. MedienPädagogik, *www.medienpaed.com* (gesehen 28.01.2003)

Eilks, I. & Leerhoff, G. (2001): A Jigsaw Classroom – Illustrated by the Teaching of Atomic Structure. Science Education International, 12 (3), 15 -20

Eilks, I. & Möllering, J. (2001): Die Lernumgebung "Teilchen" – Ein multimediales didaktisches Netzwerk. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 28 – 31

Eilks, I. & Ralle, B. (2002a): Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung – Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. Chemie Konkret, 9 (1), 13-18

Eilks, I. & Ralle, B. (2002b): Participatory Action Research within Chemical Education. In: Ralle, B. & Eilks, I. (eds.) (2002): Research in chemical education – What does this mean?. Aachen: Shaker, 87-98

Eilks, I. (2002): "Learning at stations" in Secondary Level Chemistry Lessons. Science Education International, 13 (1), 11 -18

Euler, D. (1992): Didaktik des computerunterstützten Lernens: praktische Gestaltung und theoretische Grundlagen. Nürnberg: BW, Bildung und Wissen, Verlag und Software

Eybe, H. (2000): Die Gruppendiskussion als Forschungsmethode in der Chemiedidaktik. Universitätsbibliothek Dortmund: DissDo 2000/0026, im Internet: *eldorado.uni-dortmund.de:8080/0x81d98002_0x000100f7*

Furió, C., Calatayud, M.L., Bárcenas, S.L. & Padilla, O.M. (1999): Functional Fixedness and Functional Reduction as Common Sense Reduction in Chemical Equilibrium and in Geometry and Polarity of Molecules. Science Education, 84, 545-565

Gabel, L.D. & Bunce, D.M. (1994): Research on Problem Solving in Chemistry. In: Gabel, L.D. (Ed.) (1994): Handbook of Research on Science Teaching and Learning. New York: Macmillian Publishing Company

GDCh (2002): Chemiestudiengänge in Deutschland – Statistische Daten 2001. Frankfurt a. M.: GDCh

Gold, J. & Gold, V. (1984): Neither Le Chatelier's nor a principle? Chemistry in Britain, 21, 802-804

Gold, J. & Gold, V. (1985): Le Chatelier's principle and the laws of van't Hoff. Education in Chemistry, 22, 82-85

Graf, E. (2000): Lernen im Chemieunterricht – die Bedeutung prozeduralen Wissens. Chemie in der Schule, 47 (3), 176 - 178

Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. (1988): On the chemical equilibrium concept: constrained word associations and conception. Journal of Research in Science Teaching, 25, 319-333

Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. (1990): On the concept „chemical equilibrium“: the associative framework. Journal of Research in Science Teaching, 27, 197-204

Hackling, M.W. & Garnett, P.J. (1985): Misconception of chemical equilibrium. European Journal of Science Education, 7, 205-214

Harp, S.F. & Mayer, R.E. (1997): The Role of Interest in Learning From Scientific Text and Illustrations: On the Distinction Between Emotional Interest and Cognitive Interest. Journal of Educational Psychology, 1997, 89, 92-102

Häußler, P. & Lind, G. (1998): Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. In: BLK-Programm zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts; Modul 1. *blk.mat.uni-bayreuth.de/links/material/mathe* (gesehen am 02.04.2003)

Heikinnen, H. & Bergquist, W. (eds.) (1993b): ChemCom – Chemistry in the Community – Teacher’s Guide. 2nd , Dubuque, Iowa: Kendal / Hunt

Heikkinen, H. & Bergquist, W. (eds.) (1993a): ChemCom – Chemistry in the Community – Student’s Edition. 2nd , Dubuque, Iowa: Kendal / Hunt

Hendricks, W. & Schulz-Zander, R. (2000): Informations- und Kommunikationstechnologien in der allgemeinbildenden Schule – eine Analyse von Modellversuchen. In: Hendricks, W. (Hrsg.) (2000): Neue Medien in der Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Scriptor, 28 - 49

Hense, J., Mandl, H. & Gräsel, C. (2001): Problemorientiertes Lernen – Warum der Unterricht mehr sein muss als Unterricht mit neuen Medien. Computer und Unterricht, 44, 2001, 6-11

Hofstein, A. & Lunetta, V.N. (1982): The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. Review of Educational Research, 52 (2), 201 - 217

Hollstein, A. (2001): Computerunterstütztes Lernen auf der Basis konstruktivistischer Lerntheorien am Beispiel der Einführung in das Kugelteilchenmodell. *miless.uni-essen.de/dissOnline/fb08/2001/hollstein.andre* (gesehen am 02.06.2003)

Huntemann, H. & Parchmann, I. (2000): Biologisch abbaubare Kunststoffe - ein neues Konzept für den Chemieunterricht. Chemie konkret, 7, 15ff

Huntemann, H., Haarmann, E. & Parchmann, I. (2000): Schüleraussagen zur Unterrichtsreihe "Treibstoffe in der Diskussion": Eine erste Untersuchung zur Wirksamkeit von *Chemie im Kontext*. Chemie konkret, 7, 131ff

Huntemann, H., Paschmann, A., Parchmann, I. & Ralle, B. (1999): Chemie im Kontext – ein neues Konzept für den Chemieunterricht?. Chemie konkret, 6, 191-196

Jäckel, M. & Risch, K.T. (1988): Chemie heute – Sekundarbereich II. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag

Jansen, W. & Ralle, B. (1986a): Zur Behandlung des chemischen Gleichgewichts und des Massenwirkungsgesetzes in der Sekundarstufe II der Gymnasien unter Einbeziehung der geschichtlichen Entwicklung (Teil 1). Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 39 (3), 161 – 168

Jansen, W. & Ralle, B. (1986b): Zur Behandlung des chemischen Gleichgewichts und des Massenwirkungsgesetzes in der Sekundarstufe II der Gymnasien unter Einbeziehung der geschichtlichen Entwicklung (Teil 2). Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, 39 (4), 220 - 227

Johnstone, A.H., MacDonald, J.J. & Webb, G. (1977): Chemical equilibrium and conceptual difficulties. Education in Chemistry, 14, 169-171

Jürgensen, F. (1998): Zur kinetischen Herleitung des Massenwirkungsgesetzes. Der mathematisch naturwissenschaftliche Unterricht, 51, 172-175

Just, E. (1997): Alltagsorientierung im Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie. 8, 1997, 4-6

Just, E. (1997): Alltagsorientierung im Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie. 8, 1997, 4-8

Kienast, S. (1999): Schwierigkeiten von Schülern bei der Anwendung der Gleichgewichtsvorstellung in der Chemie. Aachen: Shaker

Klafki, W. (1980): Die bildungstheoretische Didaktik. Westermanns Beiträge zur Pädagogik, S. 32-37

Krilla, B. & Ralle, B. (2001): Eine Simulation zum dynamischen Gleichgewicht – eingebettet in einen kontextorientierten Unterrichtsgang. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 32 – 35

Krilla, B. & Ralle, B. (2003): Tipps für die Entwicklung von Methodenkompetenz mit Hilfe von Lernzyklen nach Chemie im Kontext. *www.chik.de/ChiK/methoden.pdf* (19.02.2003)

Kuhn, T. (1970): The Structure of Scientific Revolutions. 2nd ed., Chicago: University of Chicago Press

Kummer, T. (2000): Lernen mit Hypertext im chemischen Kontext – Untersuchung von linearen und nicht-linearen Lernumgebungen zum Thema Seife.
miless.uni-essen.de/dissOnline/fb08/2001/kummer.thomas (gesehen am 02.06.2003)

Lakatos, I. (1970): Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes'. In Lakatos, I. & Musgrave (eds.): Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge: Cambridge University Press

Lazarowitz, R. (1995): Learning Science in Cooperative Modes in Junior- and Senior-High Schools – Cognitive and Affective Outcomes. In: Pedersen, J.E. & Digby, A.D. (1995): Secondary Schools and Cooperative Learning – Theories, Models and Strategies. New York: Garland Publishing, S. 185 - 227

Lennartz, S. (2002): Heilige Dreispaltigkeit. Online Magazin Dr. Web, *www.drweb.de/webdesign/dreispaltigkeit.shtml* (gesehen am 07.02.2003)

Lewalter, D. (1997): Lernen mit Bildern und Animationen. Münster: Waxmann

Lewalter, D. (2003): Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. Learning and Instruction, 13, 177 - 189

Lijnse, P. (2000): Didactics of Science: The forgotten dimension in science education research?. In Millar, R., Leach, J. & Osborne, J. (Hrsg.) (2000): Improving science education - The contribution of research. Buckingham: Open University Press, 308 - 326

Lindemann, H. & Brinkmann, U. (1994):Alltagschemie als Orientierungshilfe zur Gestaltung von Chemieunterricht. Naturwissenschaften im Unterricht-Chemie. 5, 1994, 29-33

Lindemann, H. (1999): Einführung in die Didaktik der Chemie. Düsseldorf: Staccato-Verlag

Lowe, R.K. (2003): Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. Learning and Instruction, 13, 157 - 176

Lynch, P.J. & Horton, S. (1999): Web Style Guide: basic design principals for Creating Web Sites. New Haven: Yale University Press

Mandl, H. (2000): Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen?. In: Ralle, B. & Melle, I. (Hrsg.) (2000): 15. Dortmunder Sommersymposium der Chemiedidaktik: Chemiedidaktik auf neuen Wegen – neue Perspektiven für den Chemieunterricht. Dortmund: Druck – Fachbereich Chemie Universität Dortmund

Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (2002): Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: Issing, L.J. & Klimsa, P. (2002): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. 3. Aufl., Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union

Maskill, R. & Cachapuz, F.C. (1989a): Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualizations. International Journal of Science Education, 11, 57-69

Mautone, P.D. & Mayer, R.E. (2001): Signaling as a Cognitive Guide to Multimedia Learning. Journal of Educational Psychology, 2001, 93, 377-389

Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1991): Animations Need Narrations: An Experimental Test of Dual-Coding Hypothesis. Journal of Educational Psychology, 1991, 83, 484-490

Mayer, R.E. & Anderson, R.B. (1992): The Instructive Animation: Helping Students Build Connections Between Words and Pictures in Multimedia Learning. Journal of Educational Psychology, 1992, 84, 444-452

Mayer, R.E. & Chandler, P. (2001): When Learning Is Just a Click Away: Does Simple User Interaction Foster Deeper Understanding of Multimedia Messages?. Journal of Educational Psychology, 2001, 93, 390-397

Mayer, R.E. & Gallini, J.K. (1990): When is an Illustration Worth Ten Thousand Words? Journal of Educational Psychology, 1990, 82, 715-726

Mayer, R.E. & Moreno, R. (1998): A Split-Attention Effect in Multimedia Learning: Evidence for Dual Processing Systems in Working Memory. Journal of Educational Psychology, 1998, 90, 312-320

Mayer, R.E. (2003): The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. Learning and Instruction, 13, 125 - 139

Mayer, R.E., Heiser, J. & Lonn, S. (2001): When Presenting More Material Results in Less Understanding. Journal of Educational Psychology, 2001, 93, 187-198

Mayer, R.E., Mautone, P. & Prothero, W. (2002): Pictorial Aids for Learning by Doing in a Multimedia Geology Simulation Game. Journal of Educational Psychology, 2002, 94, 171-185

Mitschian, H. (2000): Vorsprung durch Technik? Von der Bildungstechnologie der 60er Jahre bis zum multimedialen Lehren und Lernen zu Beginn des 21. Jahrhunderts. In: Hendricks, W. (Hrsg.) (2000): Neue Medien in der Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Scriptor, 16 - 27

MNU (2002): Empfehlungen zum Computer-Einsatz im mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht an allgemein bildenden Schulen. *www.mnu.de/empfehlung.pdf* (gesehen am 02.06.2003)

Möllencamp, H., Krilla, B. & Ralle, B. (2001): Computerunterstützte dynamische Visualisierungen von Reaktionsmechanismen für den Chemieunterricht. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 54 (4), 224 - 229

Möller, C. (1980): Die curriculare Didaktik. Westermanns Beiträge zur Pädagogik, S. 164-168

Moreno, R. & Mayer, R.E. (2002):Verbal Redundancy in Multimedia Learning: When Reading Helps Listening. Journal of Educational Psychology, 2002, 94, 156-163

Nakhleh, M.B. & Mitchell, R.C. (1993): Concept learning versus problem solving. Journal of Chemical Education, 70, 190-192

Niaz, M. (1998): A Lakatosian Conceptual Change Teaching Strategy Based on Student Ability to Build Models with Varying Degrees of Conceptual Understanding of Chemical Equilibrium. Science & Education, 7, 107-127

Nielsen, J. (1999): Ten Good Deeds in Web Design. useit.com/alertbox (gesehen am 15.01.2003)

Nielsen, J. (2000): Erfolg des Einfachen – Jakob Nielsen's Web Design. München: Markt+Technik

Nielsen, J. (2002a): Top Ten Guidelines for Homepage Usability. *useit.com/alertbox* (gesehen am 15.01.2003)

Nielsen, J. (2002b): Top Ten Web-Design Mistakes of 2002. *useit.com/alertbox* (gesehen am 15.01.2003)

OECD (Hrsg.). (2001): Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy. Paris: OECD.

Ogborn, J. (1997): Constructivist Metaphors of Learning Science. Science & Education, 6, 121-133

Paivio, A. (1971): Imagery and cognitive processes. New York: Holt, Rinehart & Winston

Parchmann, I., Demuth, R., Ralle, B., Paschmann, A. & Huntemann, H. (2001): Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50, 2-7

Parchmann, I., Ralle, B. & Demuth, R. (2000): Chemie im Kontext. Der mathematische naturwissenschaftliche Unterricht, 53, 132-137

Paschmann, A., de Vries, T., Lüchtenberg, K., Arshadi, N. & Parchmann, I. (2000): Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf – Teil 1, Der mathematische naturwissenschaftliche Unterricht, 53, 170-175

Paschmann, A., de Vries, T., Lüchtenberg, K., Arshadi, N. & Parchmann, I. (2000b): Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf – Teil 2, Der mathematische naturwissenschaftliche Unterricht, 53, 227-231

Peterßen, W.H. (1998): Handbuch Unterrichtsplanung. 8. Auflg., München: Oldenbourg

Peterßen, W.H. (2001): Kleines Methoden Lexikon. 2. Auflg., München: Oldenbourg

Pfeifer, P., Häusler, K. & Lutz, B. (1997): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflg. 1997, München: Oldenbourg

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A.(1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education, 66, 211-227

Quílez-Pardo, J. & Solaz-Portolés, J.J. (1995): Students' and teachers' missapplication of Le Chatelier's principle: Implications for the teaching of chemical equilibrium. Journal of Research in Science Teaching, 32, 939-957

Reimann, P. (2003): Multimedia learning: beyond modality. Learning and Instruction, 13, 245 - 252

Reiners, C.S. & Saborowski, J. (2001): Virtuelle Welten im Chemieunterricht – Moleküldarstellung im Internet – Modelldenken leichtgemacht?. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 9 – 12

Renkl, A. (1996): Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. Psychologische Rundschau, 47, 1996, 78-92

Ricci, C.M. & Beal, C.R. (2002): The Effect of Interactive Media on Children’s Story Memory. Journal of Educational Psychology, 2002, 94, 138-144

Rieber, L.P. (1990): Animation in computer-based instruction. Educational Technology Computing Research, 1990, 38, 431-444

Schaumburg, H. & Issing, L.J. (2000): Neues Lernen mit neuen Medien: Gestaltung und Organisation von multimedial gestützten Lehr- und Lernprozessen in der Schule. In: Hendricks, W. (Hrsg.) (2000): Neue Medien in der Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Scriptor, 104 - 120

Scheuer, R. (2002): Alltagschemie am Beispiel Textilien / Kleidung. Düsseldorf: Staccato Verlag

Schmidkunz, H. & Büttner, D. (1985): Chemieunterricht im Spiralcurriculum. Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie. 33, 1985, 19-22

Schmitz, R.P. & Tausch, M.W. (2001): Ein Hypermedia-Lernnetz - Natriumchlorid und Ionenbindung. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 24 – 28

Schnotz, W. & Bannert, M. (2003): Instruction and interference in learning from multiple representation. Learning and Instruction, 13, 141 – 156

Schnotz, W. & Lowe, R. (2003): External and internal representations in multimedia learning. Learning and Instruction, 13, 117 - 123

Schulz, W. (1980): Die lerntheoretische Didaktik. Westermanns Beiträge zur Pädagogik, S. 80-85

Siegel, D. (2000): Web-Site-Design: Killer-Web-Sites der 3. Generation. 2. Aufl., München: Markt+Technik

Steiner, D. (2001): Molecular Modelling als multimediales Lehrmaterial – Filme zu Reaktionsmechanismen. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 17 – 20

Sweller, J. (1999): Instructional design in technical areas. Camberwell, Australia: ACER Press

Tergan, S.O. (2002): Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme und Perspektiven. In: Issing, L.J. & Klimsa, P. (2002): Information und Lernen mit Multimedia und Internet. 3. Aufl., Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union

Tyson, L., Treagust, D.F. & Bucat, R.B. (1999): The Complexity of Teaching and Learning Chemical Equilibrium. Journal of Chemical Education. 76, 554-558

Urhahne, D., Prenzel, M., von Davier, M., Senkbeil, M. & Bleschke, M. (2000): Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 6, 157-186

Van Driel, J.H. (2002): Student's Corpuscular Conceptions in the Context of Chemical Equilibrium and Chemical Kinetics. Chemistry Education: Research and Practice in Europe, 3, 201-213

Van Driel, J.H., Vos, W. De & Verloop, N. (1998): Relating students' reasoning to the history of science: The case of chemical equilibrium. Research in Science Education. 28, 187-198

Van Driel, J.H., Vos, W. De & Verloop, N. (1999): Introducing Dynamic Equilibrium as an explanatory model. Journal of Chemical Education, 76, 559-561

Van Driel, J.H., Vos, W. De, Verloop, N. & Dekkers, H. (1998): Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: the introduction of chemical equilibrium. International Journal of Science Education, 20, 379-392

Von Cube, F. (1980): Die kybernetisch-informationstheoretische Didaktik. Westermanns Beiträge zur Pädagogik, S. 120-124

Voska, K.W. & Heikkinen (1999): Identification and Analysis of Student Conceptions Used to Solve Chemical Equilibrium Problems. Journal of Research in Science Teaching, 37, 160-176

Waddington, D.J. (2000): Salters Advanced Chemistry: 15 years on. In: Ralle, B. & Melle, I. (Hrsg.) (2000): 15. Dortmunder Sommersymposium der Chemiedidaktik: Chemiedidaktik auf neuen Wegen – neue Perspektiven für den Chemieunterricht. Dortmund: Druck – Fachbereich Chemie Universität Dortmund

Wagner, W.-R. (2000): Der Computer als Lehrgegenstand, Medium und Werkzeug im Untericht. In: Hendricks, W. (Hrsg.) (2000): Neue Medien in der Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen Scriptor, 66 - 77

Wagner, W., Reuter, A. & Hager, K. (2001): Isomerie lernen mit MOLiS. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 21 – 23

Warren, S.G. (1986): Designing organic syntheses - a programmed introduction to the synthon approach. Chichester: Wiley

Wedler, G. (1987): Lehrbuch der physikalischen Chemie. 3. Aufl., Weinheim: VCH

Winkler, R. (1980): Die kritisch-kommunikative Didaktik. Westermanns Beiträge zur Pädagogik, S. 200-204

Woest, V. (1995): Thema „Gefährliche organische Stoffe im Alltag" Wahldifferenzierter Unterricht an der gymnasialen Oberstufe. Chemie in der Schule, 42, 1995, 7-16

Woest, V. (1996): Alltagsorientierter Chemieunterricht. Bremen: Zentraldruckerei der Universität Bremen

Woest, V. (1997): Organische Stoffe des Alltags – Alltagorientierter Unterricht in Chemiekursen. Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie, 37 (8), 28 - 31

Woock, M. & Tausch, M.W. (2001): Hypermedia-Baustein: MTBE im Otto-Kraftstoff. Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, 50 (7), S. 36 – 37

Anhang A Entwicklungsstufen der Lehrerhandreichung für die Unterrichtseinheit *Alkohol zum Trinken viel zu schade?*

A.1 Für den zweiten Zyklus gemachter Vorschlag

Dieser Vorschlag diente als Ausgangsposition für die Diskussion mit den Lehrkräften.

Die Berührungsphase

- arbeitsteilige Gruppenarbeit zu den Themen
  - Bierherstellung,
  - Weinherstellung und
  - Folgen des Alkoholkonsums
- Recherche entweder nur mit dem Reader oder mit CD und Internet; weitere Materialien (Bücher, Zeitschriften, usw. wären sehr erwünscht)
- abschließend mit einem kurzem Referat

Die Neugierphase

- Experiment: Bestimmung des Alkoholgehalts (in Reader, bzw. auf CD-ROM)
- Aufwerfen und Sammeln von Fragen, die als Grundlage für die arbeitsteilige Gruppenarbeit in der Erarbeitungsphase dienen

Die Erarbeitungsphase

- Fragen aus der Neugierphase werden gruppiert und von Kleingruppen bearbeitet (2-4 Doppelstunden.)
- auf eine fachliche Redundanz sollte geachtet werden (jede Gruppe sollte sich zumindest mit dem Ethanol-Molekül und des polaren Aufbaus beschäftigen müssen;
  ggf. zusätzliche Fragen formulieren)
- Material-Basis:
  Reader, CD-ROM, aber auch weitere Quellen; für fachliches eventuell Schulbücher
- jede Gruppe erstellt strukturiertes Handout (evtl. mit Textverarbeitung)
- abschließendes Gruppenpuzzle und Bearbeitung von „Feedback-Fragen“

Die Vertiefungsphase

- Problematische Themen aus der Erarbeitungsphase werden aufgegriffen
- eventuell historische Versuche
- eventuell Molmassen-Bestimmung

A.2 Auf Basis der im zweiten Zyklus geführten Diskussionen entworfene Lehrerhandreichung

Fachchemische Inhalte

- Struktur von Ethanol
- Betrachtung verschiedener Schreibweisen und Darstellungen am Beispiel des Ethanolmoleküls
- Nachweis von Ethanol / Alkohol (mittels Alkoholtestgerät und Cer-Reagenz)
- *eventuell* Exkurs Funktionsweise des Alkoholtestgeräts (auf Niveau des Firmen Prospekts)
- Einführung des Begriffs der homologen Reihe am Beispiel der n-Alkanole
- Struktur-Eigenschafts-Beziehungen der Alkohole; insbesondere am Beispiel des Ethanols (Siedepunkte, Löslichkeiten)
- Experimentelle Darstellung von Ethanol
- Gärung, Bedingungen der Gärung
- Destillation (Experimentell z. B. von selber hergestelltem Wein, theoretische Besprechung der Siedelinse des Systems Wasser / Ethanol)
- *eventuell* technische Herstellung
- *eventuell* Dehydratisierung
- Qualitative Elementaranalyse, *eventuell auch quantitativ*
- *eventuell* Oxidation mit Dichromat (alter Alkoholtest)
- **In diesem Kapitel kein Thema**: Veresterung, Oxidation zu Essig.
  Diese Themen werden besser in eigenen Einheiten behandelt. Eine Aufweitung der Alkoholeinheit um diese Themen hat sich als zu langwierig erwiesen und war für Schüler langweilig und schlecht nachvollziehbar.

Kontextliche Inhalte

- Herstellung von Wein und Bier; weitere Informationen zu Wein und Bier
- Herstellung von Weinbrand
- Auswirkungen von Alkoholgenuss auf den Körper
- Gesellschaftliche Probleme durch Alkohol
- Weitere Verwendung von Alkohol(en)
- Alkohol in Lebensmitteln und anderen alltäglichen Produkten
- *eventuell* historische Experimente
- *eventuell* Alkoholtestgerät der Polizei

Vorschlag für *einen* möglichen unterrichtlichen Ablauf

Die Schüler erarbeiten sich zuerst in arbeitsteiliger Gruppenarbeit die „einfacheren“ Themen und präsentieren sich ihre Ergebnisse gegenseitig. Die schwierigeren Themen werden anschließend teilweise im Klassenverband gemeinsam, teilweise in Gruppenarbeit mit gleicher Aufgabenstellung so wie mit Hilfe eines Lernzirkels bearbeitet.

1. Motivierender Einstieg in das Thema *Alkohol.* Es werden Texte, z. B. zu den folgenden Themen ausgelegt und arbeitsteilig die Inhalte vorgestellt.
   a. Bibeltext
   b. gesellschaftliche Relevanz und sich ergebende Probleme
   c. Begin der Weinlese im Herbst
   d. andere Verwendung von Alkohol, außer zum Trinken
2. Bereits jetzt werden Fragen gesammelt, welche die Schüler zum Thema Alkohol haben. Möglich ist z. B. die Sammlung und Ordnung der Fragen über ein Mind-Map. Erfahrungsgemäß sind Fragen zu folgenden Themen zu erwarten:
   a. Wie lässt sich Alkohol herstellen?

   b. Wie wirkt Alkohol auf den menschlichen Körper?
   c. Was geschieht mit dem Alkohol im menschlichen Körper?
   d. Was ist eigentlich Alkohol?
   e. Wo ist überall Alkohol drin?
   f. Wie ermittelt man den Alkoholanteil in einem Getränk?
   g. Warum wird Alkohol gerade als … verwendet?
   h. Seit wann trinken Menschen alkoholhaltige Getränke?
   i. Wie lässt sich Alkohol nachweisen (z. B. bei der Verkehrskontrolle)?
3. Die Fragen werden geordnet und als Arbeitsaufträge für eine arbeitsteilige Gruppenarbeit zielgerichtet ausformuliert.
   a. Stellen Sie Wein selber her und erstellen Sie ein Skript, welches sowohl eine ausführliche Anleitung umfasst, als auch Hintergrundwissen zur Weinherstellung liefert. (Umfasst der Frage 2.a; zusätzliche Aufgabe: Bearbeitung der Frage 2.h)
   b. Stellen Sie Bier selber her und erstellen Sie ein Skript, welches sowohl eine ausführliche Anleitung umfasst, als auch Hintergrundwissen zur Bierherstellung liefert. (Umfasst der Frage 2.a; zusätzliche Aufgabe: Bearbeitung der Frage 2.h)
   c. Ermitteln Sie in welchen Alltagsprodukten Alkohol enthalten ist. Finden Sie weiterhin heraus, welche Funktion er in dem jeweiligen Produkt erfüllt, also, wieso er zugesetzt wurde. Dokumentieren Sie in einem Skript, sowohl die allgemeine Durchführung des Nachweises auf Alkohol als Inhaltsstoff, sowie die Ergebnisse Ihrer Untersuchungen und Recherchen. (Umfasst die Bearbeitung der Fragen 2.e, 2.i, 2.g)
   d. Recherchieren Sie, wie der Genuss von unterschiedlichen Mengen an Alkohol auf den menschlichen Körper wirkt. Bringen Sie weiterhin in Erfahrung, was mit dem Alkohol im Körper geschieht. Dokumentieren Sie die Ergebnisse Ihrer Recherchen in Form von einem Skript in für Laien verständlicher Art und Weise. (Umfasst die Fragen 2.b, 2.c)
4. Die Schüler arbeiten in Gruppen. Als zusätzliches Ziel der Gruppenarbeit gilt es ein Handout zu erstellen (etwa eine DIN A4 Seite), auf welchem der Arbeitsauftrag und die erarbeiteten Ergebnisse für die Mitschüler verständlich, in Form ausformulierter Stichpunkte aufbereitet werden. Das in der Aufgabenstellung erwähnte Skript, soll hierfür als Grundlage dienen.
   Nach dem Austeilen aller Handouts werden die Ergebnisse zusätzlich den Mitschülern vorgestellt (etwa als Präsentation vor der gesamten Klasse oder nach der Gruppenpuzzle Methode).
   Weiterhin können die Skripte im Klassenraum ausgelegt werden, so dass die Mitschüler die Möglichkeit haben, ihre erhaltenen Handouts zu ergänzen.
5. Fragen, die sich während der Gruppenarbeit oder der Präsentation ergeben, werden fortlaufend gesammelt, z. B. auf einer Wandtapete.
   Es sollten sich nun auch Fragen aufgetan haben, welche eine vertiefende Betrachtung der Thematik gestatten. Für die weitere Erarbeitung könnten sich z. B. folgende Fragen ergeben:
   a. Wie kommt Alkohol zu den Eigenschaften, sowohl in Wasser, als auch in Öl löslich zu sein?
   b. Wie werden hochprozentige alkoholische Getränke hergestellt?
   c. Welche (chemischen) Reaktionen zeigt Alkohol?
   d. Was wird aus Alkohol hergestellt?
   e. „Es gibt noch weitere Alkohole“ - was ist damit gemeint?
   f. Wird jeder Alkohol biologisch gewonnen?
   g. Woher weiß man, wie der Alkohol aufgebaut ist?

6. Da die Antworten zu diesen Fragen bei den Schülern erfahrungsgemäß auf Verständnisprobleme stoßen (wie z. B. Struktur-Eigenschaftsbeziehungen), wird an dieser Stelle eine weniger offene Vorgehensweise vorgeschlagen. Methodische Möglichkeiten, die sich anbieten, sind beispielsweise:
   a. Lernen an Stationen (Lernzirkel, Lernstraße, Lernbüffet) zu der Thematik Struktur-Eigenschaftsbeziehungen
   b. Nicht-arbeitsteilige Erarbeitung in Gruppen mit Hilfe eines genauer ausformulierten Fragenkatalogs, welcher ein schrittweises Vorgehen erzwingt. Z. B. zum Thema Destillation von selber hergestelltem Wein und der Erläuterung des Siediagramms des Systems Ethanol / Wasser
   c. Herkömmlicher Frontalunterricht oder sogar Lehrervortrag (in Anlehnung der zuvor gelaufenen Vorträge durch die Schüler) Z. B. zu den Themen weitere Alkohole und ihre Verwendung (incl. Einführung des Begriffs Homologe Reihe am Beispiel der n-Alkanole)

Hinweise auf Stolpersteine

Zu (2)

- sollten sich Fragen ergeben, welche sich für eine erste Erarbeitung nicht eignen, so können diese von der Lehrperson zurückgestellt werden und dann in der zweiten Phase aufgegriffen werden.

Zu (3) bis (5)

- die aufgeführten Fragen stehen exemplarisch für typische Schülerfragen, wie sie bei der (mehrfachen) Erprobung dieser Einheit gestellt worden waren.
- bei der Umformulierung der Fragen in Arbeitsaufträge für die einzelnen Gruppen bedarf es der Mithilfe der Lehrperson.
  - Es muss dafür Sorge getragen werden, dass alle Gruppen in etwa gleich viel zu erarbeiten haben.
  - Die Auftragsstellung muss deutlich und zielgerichtet sein; schwammige und ungenaue Arbeitsaufträge gilt es zu vermeiden.
  - Den Gruppen muss klar gemacht werden, dass sie das Handout für ihre Mitschüler erstellen und diese daraus lernen werden müssen (Stichwort: Schüler erstellen ihr eigenes Schulbuch). Das Handout ist somit wichtiger einzustufen, als die abschließende Vorstellung der Ergebnisse.
- Es erscheint hilfreich zu sein, das Handout den Mitschülern mindestens einen Schultag vor der Vorstellung der Ergebnisse zu geben. So haben diese die Möglichkeit sich auf die Vorstellung vorzubereiten und auftretende Fragen bereits im Vorfeld zu generieren. Die Fragen werden dann entweder während der Vorstellung der Ergebnisse gestellt und erörtert oder sie werden dem Fragenkatalog beigefügt.

Zu (6)

- Insbesondere das Verständnis der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erweist sich erfahrungsgemäß als problematisch, insbesondere sind Schüler häufig überfordert, wenn sie sich dieses Themenfeld frei erarbeiten sollen. Hierzu gehören z. B. die Punkte
  - Löslichkeiten, Mischbarkeiten
  - Siedepunkte im Vergleich (homologe Reihe: innerhalb einer Reihe und vergleich der Reihen untereinander; Vergleich von Wasser, Ethanol, …)
  - Es bietet sich daher an, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Alkohol(en) mittels eines *Lernens an Stationen* zu unterrichten. Dabei besitzt das Lernen an jeder Station einen angeleiteten Charakter, daher gilt es bei der Formulierung der einzelnen Stationen einiges zu beachten:
    - Die einzelnen Stationen sollten ungefähr gleichviel Zeit in Anspruch nehmen.

    - Die Aufgabenstellungen müssen so genau formuliert werden, dass die Schüler die Station alleine bewältigen können.
    - Es bietet sich an, die Stationen in Partnerarbeit bearbeiten zu lassen.
    - Pro Station sollten fünf bis zehn Minuten einkalkuliert werden. Die Aufgaben sind entsprechend (un)aufwendig zu stellen
    - Ein gutes Maß, für den zeitlichen Rahmen für die Bearbeitung der Stationen, stellt eine Doppelstunde dar.
    - Nach der Durchführung des gesamten Stationenlernens ist es angebracht, jede Station zu besprechen. Dies gibt den Schülern die Möglichkeit, ihre Ergebnisse und ihre Bearbeitung der jeweiligen Station zu überprüfen.
    - Eine nachträgliche Lernzielkontrolle, mittels kontextorientierten Übungsaufgaben, scheint unerlässlich.
- Weitere problematische Inhaltsbereiche sind
  - Die quantitative Elementaranalyse: Hier bietet sich eine Lehrerpräsentation an.
  - Die qualitative Elementaranalyse: Es gilt deutlich zu machen, weshalb sich sowohl der Kohlenstoff, als auch der Sauerstoff als CO_2 nachweisen lassen. Diese doppelte Funktion kann zu Verwirrungen führen.

Hinweise zur Methodik

- Die Größe der Gruppen sollte fünf Schüler nicht übersteigen; ideal sind Gruppen mit drei bis vier Schülern
- Die Anzahl der Gruppen sollte sechs nicht übersteigen; ideal sind vier bis fünf Gruppen
- Ist eine Klasse relativ groß, so dass die idealen Vorgaben nicht eingehalten werden können, sollten Themenstellungen doppelt, bzw. mit leichter Variation vergeben werden. Die Gruppen mit gleicher (bzw. ähnlicher) Themenstellung können abschließend ihre Handouts aufeinander abstimmen bzw. gemeinsam erstellen und sich die Präsentation teilen.
- Ein hilfreicher Hinweis für die Erstellung des Handouts und der Präsentation ist es, den Gruppen deutlich zu machen, dass nur die wichtigsten Ergebnisse und Informationen einfließen sollten. Insbesondere gilt es abzuwägen zwischen Informationsgehalt und Verständlichkeit.
    - Wie viele Punkte werden benötigt, um über die Gruppenarbeit zu informieren?
    - Wie ausführlich muss jeder Punkt behandelt werden, so dass er verständlich wird?

      Manchmal ist es besser einen Punkt weniger aufzunehmen, dafür die anderen etwas genauer zu erläutern.
- Die Handouts und die beabsichtigte Präsentation müssen unbedingt zuvor von dem Lehrer begutachtet werden.
- Sollte die Klasse relativ leistungsstark sein und / oder bereits Erfahrungen mit eigenständigem Lernen gesammelt haben, dann können die Themenstellungen für die Gruppen auch weitergefasst werden. Denkbar wäre z. B. die qualitative Elementaranalyse oder die historischen Versuche von Ingenhousz / Priestly von Gruppen bearbeiten zu lassen.
- Auf Grund der bisher gemachten Erfahrungen scheint es sinnvoll zu sein, die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen (Löslichkeiten, Siedepunkte, etc.) nicht als eigenständig zu bearbeitendes Thema zu vergeben. Da diese Thematik auch in den folgenden Einheiten immer wieder eine Rolle spielt, ist eine konzentrierte Einführung im o. a. Sinne angebracht.

A.3 Auf Basis der Evaluationsergebnisse des zweiten Zyklus geänderte Lehrerhandreichung

Lehrerhandreichung zur Unterrichtseinheit

Alkohol – zum Trinken viel zu schade?

Das vorliegende Dokument ist wie folgt aufgebaut:

- Zu Begin werden die einzelnen Unterrichtsphasen überblickartig vorgestellt. Dabei werden für jede Phase zwei Vorschläge für die Durchführung gemacht. Die Kreation eigener Variationen ist natürlich auch möglich.
- Die Vorschläge der einzelnen Phasen lassen sich beliebig kombinieren, d. h., wenn ich mich in der Berührungsphase für Vorschlag 1 entschieden habe, kann ich in den Unterricht in der Neugierphase auch nach Vorschlag 2 weiterführen usw..
- Im Anschluss an jede Phase werden Tipps gegeben, welche diese Phase betreffen.
- Nach der Vorstellung der Phasen werden Erfahrungen und Forschungsergebnisse geschildert, welche die Vorschläge näher begründen und Hinweise geben, was sich in der Praxis nicht bewährt hat.
- Abschließend werden die zusammen mit diesem Dokument bereitgestellten Materialien für den Unterricht kurz vorgestellt und Hinweise auf geeignete Internetseiten gegeben.

<u>Zumindest abgedeckte Fachinhalte</u>

(orientiert an den Anforderungen des Lehrplans NRW für die 11. Jahrgangsstufe)

- die homologe Reihe der Stoffklasse der Alkanole, inklusive systematischer Nomenklatur
- Wiederholung der Begriffe *Stoffmenge, molare Masse, Bindungsmodelle, hydrophob - hydrophil*
- Anwendung und Erweiterung des Struktur-Eigenschafts-Konzepts
- Alkoholische Gärung
- Nachweisreaktion(en) und analytische Bestimmungen
- Destillation

Begegnungsphase	Zeitbedarf: 1 bis 2 h
Vorschlag1	**Methode** Im Klassenverband wird über einen Text gesprochen (z. B. als Kopie oder projiziert per Overheadprojektor) **Inhalt** Ein Text über eines der folgenden Themen o Bibeltext (Hochzeit zu Kana) o gesellschaftliche Relevanz und sich ergebende Probleme o Begin der Weinlese im Herbst wird gelesen und gemeinsam Fragen entwickelt.
Vorschlag 2	**Methode** Brainstorming **Inhalt** Mit den Schülern wird ein Brainstorming zu einem der folgenden Themen durchgeführt o Herstellung von Wein o Alkoholische Getränke o „Alkohol“ Bei den spezielleren Themen bietet es sich an, zuvor die Hausaufgabe zu geben, sich dazu zu informieren. Im Anschluss an das Brainstorming sollte die Stichworte Oberthemen zugeordnet werden.

Tipps

- Die gefundenen Fragen sollten so festgehalten werden, dass man sie wieder in den Unterricht einbringen kann, z. B. auf einer Wandtapete oder einer Overheadfolie.
- Erfahrungsgemäß sind folgende Fragen von Seiten der Schüler zu erwarten:
  - (a) Wie lässt sich Alkohol herstellen?
  - (b) Wie wirkt Alkohol auf den menschlichen Körper?
  - (c) Was geschieht mit dem Alkohol im menschlichen Körper?
  - (d) Was ist eigentlich Alkohol?
  - (e) Wo ist überall Alkohol drin?
  - (f) Wie ermittelt man den Alkoholanteil in einem Getränk?
  - (g) Seit wann trinken Menschen alkoholhaltige Getränke?
  - (h) Wie lässt sich Alkohol nachweisen (z. B. bei der Verkehrskontrolle)?

Neugier- und Planungsphase

Zeitbedarf: 2 bis 4 h

Vorschlag1	**Methode** Experimentieren in paralleler Gruppenarbeit **Inhalt** Eine Anleitung für das Herstellen eines eigenen Weines oder Bieres wird erarbeitet und anschließend durchgeführt. Während des Gärprozesses informieren die Schüler sich weiter. Es findet eine Ausschärfung der Fragen für eine arbeitsteilige Gruppenarbeit statt.
Vorschlag 2	**Methode** Arbeitsteilige Gruppenarbeit mit anschließendem Kurzreferat (10 Minuten). Fortgesetztes Brainstorming **Inhalt** Die Klasse wird in Gruppen mit etwa je vier Schülern aufgeteilt. Jede Gruppe recherchiert zu einem Thema, welches aus chemischer Sicht eher unergiebig ist, aber das die Besprechung des Themas Alkohol abrundet. Dies könnten z. B. sein: o Herstellungsprozess von Wein o Herstellungsprozess von Bier o Geschichte der alkoholischen Getränke o Gesellschaftliche Relevanz des Alkoholkonsums o Industrielle Produktion von Alkohol ; Verwendung von Alkohol Im Anschluss an die Kurzreferate findet eine Ausschärfung der Fragen für eine arbeitsteilige Gruppenarbeit statt (Fortsetzung des Brainstormings).

Tipps

- Die Neugierphase soll dazu dienen, dass sich die Schüler soweit in die Thematik einarbeiten, so dass sie in der Lage sind, den folgenden Unterrichtsverlauf sinnvoll selber zu strukturieren, bzw. zumindest als sinnhaft zu empfinden.
- Um dies zu erreichen wird in beiden Vorschlägen so vorgegangen, dass die Schüler ihre ersten aus der Bearbeitungsphase ausschärfen sollen. Dies macht natürlich notwendig, dass diese wieder vergegenwärtigt werden.
- Erfahrungen zeigen, dass Schüler sich insbesondere für folgende Themen interessieren:
  - Wirkung von Alkohol auf den menschlichen Körper
  - Herstellung von Wein oder Bier
  - Nachweis von Alkohol in alltäglichen Stoffen
  - Einfache Experimente mit Alkohol
- Die letzten beiden Themenvorschläge werden von Schülern zwar als interessant empfunden, jedoch werden sie selten von den Schülern selber vorgeschlagen.

Erarbeitungsphase

Zeitbedarf: ca. 5 + 3 h

Es wird vorgeschlagen die Erarbeitungsphase in zwei Abschnitte aufzuteilen. Im ersten Abschnitt sollen die Schüler möglichst selbstständig arbeiten und sich anschließend ihre Ergebnisse präsentieren. Die Ergebnisse liegen dabei weitgehend in phänomenologischen Bereich, insbesondere werden bei der Vorstellung der Ergebnisse **keine** theoretischen Erläuterungen erwartet.

Im zweiten Abschnitt arbeiten die Schüler gelenkter und erarbeiten sich die notwendige Theorie, um die Phänomene erklären zu können.

Abschnitt 1

Methode

Arbeitsteilige Gruppenarbeit mit abschließender Vorstellung der Ergebnisse, z. B. in Form eines Gruppenpuzzles oder mit Hilfe einer Wandzeitung, einer Posterausstellung ... ..

Inhalt

Aus den Fragestellungen der Neugierphase werden Oberthemen für die arbeitsteilige Gruppenarbeit abgeleitet. Erfahrungen zeigen, dass die folgenden Themen sich i. A. ergeben und ihre Bearbeitung von den Schülern bewerkstelligt werden kann:

- Herstellung von Alkohol (Genauere Untersuchung des Gärungsprozesses: Temperatur, Schwefelung, Zuckerkonzentration …; Nebenprodukte des Gärprozesses, eventuell: Bestimmung des Alkoholgehalts)
- Alkoholnachweis in alltäglichen Stoffen (Untersuchung verschiedener alltäglicher Stoffe auf Alkohol: Hustensaft, Reiniger, Parfüm …; eventuell: Es gibt noch andere Alkohole außer dem Trinkalkohol)
- Wirkung von Alkohol auf den menschlichen Körper (Konsumierte Alkoholmenge vs. Einschränkung der Wahrnehmung, einfache Theorie des Abbaus von Alkohol durch den menschlichen Körper, Berechnung des Blutalkoholgehalts, eventuell: Was sind Fuselalkohole?)
- Eigenschaften von Alkohol (Experimente zur Löslichkeit, Mischbarkeit, Brennbarkeit von Trinkalkohol; eventuell: ein zweiter Alkohol (z. B. Propan-2-ol) zum Vergleich, Löschen eines Alkoholbrands vs. Fettbrand.)

Tipps

- Es sollte darauf geachtet werden, dass die Gruppe mit dem Thema Auswirkungen auf den menschlichen Körper die Widmark-Formel vorstellt. Es bietet sich an, im Anschluss einige Beispiel hiermit durchzurechnen.
- Es sollte sichergestellt werden, dass bestimmte Fachinhalte in den Arbeitsmaterialien aller Gruppen auftauchen. Hierzu gehört etwa die Strukturformel von Ethanol und eventuell ein Hinweise auf die Stoffklasse der Alkanole.
- Sollte den Schülern das Struktur-Eigenschafts-Konzept nicht mehr geläufig sein, so lässt es sich am Beispiel Wasser noch einmal wiederholen. Dies kann vor dieser Unterrichtseinheit oder im Anschluss an den ersten Abschnitt der Erarbeitungsphase.

<table>
<tr><td rowspan="2">Abschnitt 2</td><td>Vorschlag 1</td><td><u>Methode</u>
Lernzirkel Weitere Alkohole und ihre Anwendung
<u>Inhalt</u>
Die Klasse wird in Gruppen mit etwa je zwei bis drei Schülern aufgeteilt. Die Gruppen durchlaufen den Lernzirkel und erfahren dabei etwas über weitere Alkohole und ein typisches Beispiel für ihre Anwendung. Eine Station, welche die homologe Reihe der Alkohole aufgreift, sollte enthalten sein.</td></tr>
<tr><td>Vorschlag 2</td><td><u>Methode</u>
Lernzirkel Klärung der Phänomene bzw. Befunde
<u>Inhalt</u>
Die Klasse wird in Gruppen mit etwa je zwei bis drei Schülern aufgeteilt. Die Gruppen durchlaufen den Lernzirkel. Die Stationen des Lernzirkels befassen sich dabei mit Phänomenen und Befunden, welche bei der Präsentation der Gruppenarbeit aufgetaucht sind. Dies könnten z. B. folgende sein: Warum ist Alkohol in meinem Hustensaft?, Wieso lässt sich Alkohol mit Wasser und Benzin mischen?, Lässt sich ein Alkoholbrand mit Wasser löschen?, Was sind das für (Zwischen-)Produkte, die beim Abbau von Alkohol im Körper auftreten?, Warum wird die Gärung durch die Temperatur beeinflusst?, Kann ich höherprozentige Getränke herstellen, wenn ich mehr Zucker zugebe?.</td></tr>
</table>

Tipps

- Schülern bereiten auch einfache Anwendungen von erlerntem Wissen häufig Probleme. Daher steht die Anwendung von Wissen im zweiten Abschnitt in beiden Lernzirkeln im Vordergrund. Insbesondere das Struktur-Eigenschafts-Konzept wird häufig zur Problemlösung benötigt.
- Zum Abschluss eines Lernzirkels sollte eine Lernzielkontrolle stattfinden. Z. B. können Aufgaben an die Gruppen verteilt werden, von denen man ausgeht, dass sie sie nun lösen können sollten.
- Der erste Vorschlag für Abschnitt 2 ist deutlich anspruchsvoller, da er eigentlich voraussetzt, dass die Schüler sich die Erklärungen zu den Phänomenen und Befunden der Gruppenarbeit selber aneignen können. Hier bietet es sich an die Erklärung von diesen als Lernzielkontrolle zu stellen.
- Wird der zweite Vorschlag aus Abschnitt 2 gewählt, so können die Inhalte des Lernzirkels aus Vorschlag 1 für die Vertiefungsphase dienen. Allerdings sollte man hier eine andere Methode anwenden. Ein oder zwei Stationen könnten in paralleler Gruppenarbeit experimentell durchgeführt werden und ein oder zwei als Arbeitsblatt, welches in klassischem Frontalunterricht besprochen wird.

Vertiefungsphase	Zeitbedarf: 2 bis 4 h
Vorschlag1	Methode Experimentieren in paralleler Gruppenarbeit oder Demonstrationsexperiment Inhalt Eines oder mehrere Experimente aus der folgenden Liste o Experiment und Auswertung: Bestimmung der molaren Masse. o Experiment zu unterschiedlichen Siedepunkten homologer Alkohole. Deutung der Ergebnisse im Vergleich mit Wasser und entsprechenden Alkanen. o Historisches Experimente von Ingenhousz bzw. Priestly o Bestimmung des Alkoholgehalts eines alkoholischen Getränks
Vorschlag 2	Methode Experimentieren in paralleler Gruppenarbeit, Frontalunterricht Inhalt Aufklärung der Summen- und Strukturformel von Ethanol.
Vorschlag 3	Methode Experimentieren in paralleler Gruppenarbeit, Frontalunterricht Inhalt Wurde in der Erarbeitungsphase der zweite Vorschlag aus Abschnitt 2 gewählt, so können die Inhalte des Lernzirkels aus Vorschlag 1 für die Vertiefungsphase dienen. Allerdings sollte man hier eine andere Methode anwenden. Ein oder zwei Stationen könnten in paralleler Gruppenarbeit experimentell durchgeführt werden und ein oder zwei als Arbeitsblatt, welches in klassischem Frontalunterricht besprochen wird.

Tipps

- Wählt man den zweiten Vorschlag, so muss man mit einem höheren Zeitbedarf rechnen, auch kann es gut sein, dass bei den Schülern Verständnisschwierigkeiten auftreten. Auch hat sich gezeigt, dass Schüler dieses Thema nicht mögen.

Absichten und Begründungen

- Eine mehrjährige Erprobung dieser Unterrichtseinheit hat gezeigt, dass Schüler sich i. A. für folgende Aspekte der Unterrichtseinheit interessierten, bzw. positiv beurteilten:
  - Eigenständige Arbeit in Gruppen an einem weitestgehend selbstgewähltem Thema
  - Eigenständige Durchführung von Experimenten
  - Das Thema Auswirkung von Alkoholgenuss auf den menschlichen Körper
  - Das Thema Herstellung von Wein bzw. Bier
  - Das Thema Alkohol in alltäglichen Stoffen
- Weiterhin hat sich gezeigt, dass Schüler es nicht mochten,
  - wenn Experimente im Anschluss lange besprochen wurden.
  - wenn ihnen wichtige Konzepte im Referat von ihren Mitschülern vermittelt wurden. (Referate wurden nicht prinzipiell abgelehnt, sondern es wurde z. T. begrüßt, dass man sich erarbeitete Ergebnisse gegenseitig vorstellte!)
  - wenn sie Aspekte des Themas recherchieren sollten und diese im Unterrichtsverlauf keine Rolle mehr spielten.
- Gerade bei Schülerreferaten mit höherem „Theorieanteil“ wurden sowohl von Seiten der Lehrkräfte, als auch von Seiten der Schüler Bedenken geäußert. Die Lehrkräfte empfanden die Theorie zumeist nicht ausreichend berücksichtigt und fühlten sich genötigt diese im Anschluss nach zu besprechen. Die Schüler fanden die Vorträge ihrer Mitschüler häufig schlecht nachvollziehbar und waren der Auffassung, Wichtiges nicht richtig zu erlernen.
- Daher haben wir in unsrem Vorschlag darauf geachtet, dass die Themen der arbeitsteiligen Gruppenarbeiten zu Ergebnissen führen, welche häufig entweder Faktenwissen oder Demonstrationsexperimente umfassen. Der Anteil von prozeduralem Wissen (insbesondere der Anwendung des Struktur-Eigenschafts-Konzepts) bleibt gering.
- Letzteres wird intensiv in den Lernzirkeln geübt. Diese Methode eignet sich gut, um einen hohen Übungsanteil zu ermöglichen, der für das Erlernen von prozeduralem Wissen geboten zu sein scheint. Sollte es gewünscht werden das Lernen an Stationen durch andere Methoden auszutauschen, so sollte darauf geachtet werden, dass eine ähnliche gute Möglichkeit zur Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand geboten wird.
- Auch waren wir bemüht einen Kompromiss zwischen Schülerinteresse und den Vorgaben von Lehrplänen zu finden. Schön wäre es, wenn Lehrkräfte zu der Auffassung kämen, dass ausreichend viele Fachinhalte auftauchen und Schüler, dass ihre Interessen ausreichend berücksichtigt wurden.

Auf die Vorstellung der Unterrichtsmaterialien, sowie Verlinkungen ins Internet wird an dieser Stelle verzichtet. Sie finden sich jedoch bei der Version der Lehrerhandreichung, wie sie z. B. von der Seite *www.chik.de* herunterladbar ist.

Anhang B Auswahlfragen des Schüler-Fragebogens zur Einheit Alkohol zum Trinken viel zu schade

Bei den Fragen wurde jeweils aufgeführt, wie alle befragten Schüler des zweiten Zyklus geantwortet haben und wie die Schüler von L21, L22 und L23 geantwortet haben (vergleiche Abschnitt 2.4).

Fragen zum Inhalt	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
(A) Mir hat das Thema inhaltlich gut gefallen.	35 (26,7%)	54 (41,2%)	37 (28,2%)	4 (3,1%)	1 (0,8%)
L21	9 (33,3%)	12 (44,4%)	5 (18,5%)	1 (3,7%)	0 (0,0%)
L22	9 (45,0%)	6 (30,0%)	3 (15,0%)	2 (10,0%)	0 (0,0%)
L23	10 (29,4%)	13 (38,2%)	10 (29,4%)	0 (0,0%)	1 (2,9%)
(B) In der Unterrichtseinheit zum Thema Alkohol habe ich viel dazugelernt.	29 (22,1%)	44 (33,6%)	41 (31,3%)	15 (11,5%)	2 (1,5%)
L21	9 (33,3%)	10 (37,0%)	7 (25,9%)	1 (3,7%)	0 (0,0%)
L22	8 (40,0%)	6 (30,0%)	4 (20,0%)	2 (10,0%)	0 (0,0%)
L23	8 (23,5%)	9 (26,5%)	13 (38,2%)	3 (8,8%)	1 (2,9%)
(C) Ich fand, dass die Erarbeitung von theoretischen Aspekten des Themas deutlich im Vordergrund stand.	12 (9,2%)	30 (22,9%)	52 (39,7%)	32 (24,4%)	4 (3,1%)
L21	5 (18,5%)	11 (40,7%)	7 (25,9%)	4 (14,8%)	0 (0,0%)
L22	2 (10,0%)	4 (20,0%)	11 (55,0%)	3 (15,0%)	0 (0,0%)
L23	0 (0,0%)	6 (17,7%)	19 (47,0%)	9 (11,8%)	0 (0,0%)
(D) Die theoretischen Aspekte des Themas haben mir geholfen, das Thema Alkohol insgesamt besser zu verstehen.	20 (15,3%)	34 (26,0%)	54 (41,2%)	16 (12,2%)	7 (5,3%)
L21	8 (29,6%)	4 (14,8%)	10 (37,0%)	2 (7,4%)	3 (11,1%)
L22	4 (20,0%)	4 (20,0%)	6 (30,0%)	3 (15,0%)	3 (15,0%)
L23	6 (17,7%)	8 (23,5%)	16 (47,1%)	4 (11,8%)	0 (0,0%)
(E) Ich habe etwas Neues über Alkohol gelernt, was für mein eigenes Leben wichtig ist.	20 (7,6%)	34 (25,2%)	54 (32,1%)	16 (22,1%)	7 (13,0%)
L21	3 (11,1%)	9 (33,3%)	8 (29,6%)	4 (14,8%)	3 (11,1%)
L22	2 (10,0%)	8 (40,0%)	5 (25,0%)	2 (10,0%)	3 (15,0%)
L23	2 (5,9%)	6 (17,7%)	10 (29,4%)	12 (35,3%)	4 (11,8%)
(F) Die Aspekte des Themas Alkohol, die mich interessierten, haben wir im Unterricht behandelt	4 (3,1%)	10 (7,6%)	42 (32,1%)	46 (35,1%)	28 (21,4%)
L21	1 (3,7%)	2 (7,4%)	14 (51,9%)	3 (11,1%)	7 (25,9%)
L22	1 (5,0%)	2 (10,0%)	2 (10,0%)	11 (55,0%)	3 (15,0%)
L23	0 (0,0%)	6 (17,7%)	9 (26,5%)	10 (29,4%)	9 (26,5%)

Fragen zum Ablauf	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
1. Im Chemieunterricht hatten wir die Möglichkeit, mit unseren Mitschülern zu diskutieren.	42 (32,1%)	33 (25,2%)	16 (12,2%)	32 (24,4%)	8 (6,1%)
L21	3 (11,1%)	6 (22,2%)	5 (18,5%)	12 (44,4%)	1 (3,7%)
L22	4 (20,0%)	4 (20,0%)	1 (5,0%)	7 (35,0%)	4 (20,0%)
L23	24 (70,6%)	8 (23,5%)	1 (2,9%)	1 (2,9%)	0 (0,0%)
2. Viele Aspekte der Thematik wurden uns nicht vom Lehrer vermittelt, sondern wir mussten sie uns selbstständig (mit einem Buch oder anderen Informationsquellen) erarbeiten.	32 (24,4%)	53 (40,5%)	36 (27,5%)	9 (6,9%)	1 (0,8%)
L21	11 (40,7%)	10 (37,0%)	6 (22,2%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
L22	3 (15,0%)	11 (55,0%)	4 (20,0%)	1 (5,0%)	1 (5,0%)
L23	13 (38,2%)	12 (35,3%)	8 (23,5%)	1 (2,9%)	0 (0,0%)
3. Viele Aspekte der Thematik wurden uns nicht vom Lehrer, sondern von unseren Mitschülern vermittelt.	23 (17,6%)	27 (20,6%)	41 (31,3%)	28 (21,4%)	12 (9,2%)
L21	10 (37,0%)	11 (40,7%)	5 (18,5%)	1 (3,7%)	0 (0,0%)
L22	0 (0,0%)	2 (10,0%)	7 (35,0%)	9 (45,0%)	2 (10,0%)
L23	8 (23,5%)	8 (23,5%)	13 (38,2%)	4 (11,8%)	1 (2,9%)
4. Ich fand, dass sich die letzte Unterrichtseinheit deutlich vom bisherigen Chemieunterricht unterschieden hat.	36 (27,5%)	39 (29,8%)	28 (21,4%)	24 (18,3%)	4 (3,1%)
L21	15 (55,6%)	7 (25,9%)	3 (11,1%)	1 (3,7%)	1 (3,7%)
L22	1 (5,0%)	7 (35,0%)	5 (25,0%)	5 (25,0%)	2 (10,0%)
L23	14 (41,2%)	10 (29,4%)	8 (23,5%)	2 (5,9%)	0 (0,0%)
5. Bei Schwierigkeiten konnten wir den Lehrer fragen.	83 (63,4%)	29 (22,1%)	14 (10,7%)	2 (1,5%)	3 (2,3%)
L21	22 (81,5%)	3 (11,1%)	2 (7,4%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
L22	3 (15,0%)	6 (30,0%)	6 (30,0%)	2 (10,0%)	3 (15,0%)
L23	29 (85,3%)	4 (11,8%)	1 (2,9%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)

Anhang C Auswahlfragen aus dem Schüler-Fragebogen zum chemischen Gleichgewicht

Neben dem gesamten Ergebnis der Befragung, findet sich z. T. Einzelergebnisse von L21 und L26. Für die genaueren Hintergründe vergleiche man Abschnitt 3.2.

Fragen zum Unterricht	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
(A) Es war interessant über das Thema „Reiniger in Küche und Bad“ im Unterricht zu sprechen. K.A.= 4 (3,9%) L21: 0	7 (6,8%) L21: 3 (16,7%)	39 (37,9%) L21: 8 (44,4%)	35 (34,0%) L21: 4 (22,2%):	10 (9,7%) L21: 2 (11,1%)	8 (7,7%) L21: 1 (5,6%)
(B) Der Unterricht selber war interessant gestaltet. K.A.= 2 (1,9%) L21: 0	15 (14,6%) L21: 3 (16,7%)	42 (40,8%) L21: 7 (38,9%)	25 (24,3%) L21: 5 (27,8%)	16 (15,5%) L21: 3 (16,7%)	3 (2,9%) L21: 0
(C) Mir ist es eigentlich egal, ob ich über alltägliche Handlungen und Produkte, wie z. B. das Reinigen mit Essigreiniger, mehr Hintergrundwissen bekomme oder nicht. K.A.= 2 (1,9%) L21: 0	7 (6,8%) L21: 0	12 (11,7%) L21: 4 (22,2%)	23 (22,3%) L21: 2 (11,1%)	40 (38,8%) L21: 8 (44,4%)	19 (18,4%) L21: 4 (22,2%)
(D) Ich konnte dem Unterrichtsgeschehen gut folgen und meine das Wesentliche verstanden zu haben. K.A:= 3 (2,9%) L21: 0	16 (15,5%) L21: 4 (22,2%)	38 (36,9%) L21: 5 (27,8%)	27 (26,2%) L21: 6 (33,3%)	13 (12,6%) L21: 2 (11,1%)	6 (5,8%) L21: 1 (5,6%)
(E) Im Unterricht stand die Theorie im Vordergrund, die Thematik „Reiniger in Küche und Bad“ war eher am Rande wichtig. K.A.= 2 (1,9%) L21: 0	6 (5,8%) L21: 1 (5,6%)	30 (29,1%) L21: 4 (22,2%)	46 (44,7%) L21: 8 (44,4%)	15 (14,6%) L21: 4 (22,2%)	4 (3,9%) L21: 1 (5,6%)

Fragen zum Computer-Tutorium	stimmt völlig	stimmt eher	stimmt teils/teils	stimmt eher nicht	stimmt gar nicht
1. Mit der Bedienung des Tutoriums hatte ich keine Probleme. K.A.=3 (2,9%) L26: 0	60 (58,3%) L26: 7 (63,6%)	23 (22,3%) L26: 3 (27,3%)	8 (7,8%) L26: 0	8 (7,8%) L26: 1 (9,1%)	1 (1,0%) L26: 0
2. Die einzelnen Lektionen fand ich verständlich formuliert K.A.= 3 (2,9%)	37 (35,9%)	37 (35,9%)	17 (16,5%)	8 (7,8%)	1 (1,0%)
3. Mir bereitete es Schwierigkeiten die Arbeitsaufträge mit dem Simulationsprogramm zu bearbeiten. K.A.= 3 (2,9%) L26: 0	2 (1,9%) L26: 0	6 (5,8%) L26: 0	20 (19,4%) L26: 3 (27,3%)	40 (38,8%) L26: 3 (27,3%)	32 (31,1%) L26: 5 (45,4%)
4. Zusätzlich zu den bereits eingestellten Werten, habe ich selber Einstellungen im Programm vorgenommen. K.A.= 4 (3,9%)	29 (28,2%)	13 (12,6%)	20 (19,4%)	14 (13,6%)	23 (22,3%)
5. Ich habe mir lieber die Antworten als Film angesehen, als mir die Antworten mit dem Simulationsprogramm selber zu erarbeiten. K.A.= 3 (2,9%)	12 (11,7%)	16 (15,5%)	28 (27,2%)	26 (25,2%)	18 (17,5%)
6. Ich würde das Programm gerne für meinen PC zu Hause haben. K.A.= 3 (2,9%)	25 (24,3%)	22 (21,4%)	16 (15,5%)	17 (16,5%)	20 (19,4%)
7. Die Bearbeitung des Tutoriums hat mir nicht geholfen, die Erklärungen im anschließenden Unterricht verstehen zu können. K.A.= 3 (2,9%) L21: 1 (5,6%)	10 (9,7%) L21: 3 (16,7%)	10 (9,7%) L21: 0	29 (28,2%) L21: 6 (33,3%)	39 (37,9%) L21: 6 (33,3%)	12 (11,7%) L21: 2 (11,1%)
8. Die Antworten habe ich nicht benötigt, ich wäre auch ohne sie gut klar gekommen. K.A.= 4 (3,9%)	3 (2,9%)	9 (8,7%)	27 (26,2%)	38 (36,9%)	22 (21,4%)

Gibt man 0,1 mol Essigsäure (CH_3COOH) in 1 Liter Wasser, so stellt man durch eine Messung des pH-Werts fest, dass weniger H_3O^+-Ionen entstehen, als an Essigsäuremolekülen eingesetzt wurde.

KREUZEN SIE DIE RICHTIGE(N) AUSSAGE(N) AN

(1.1) 0	Die Essigsäuremoleküle hören auf mit den Wassermolekülen zu reagieren, wenn die Hälfte der Essigsäuremoleküle zu H_3O^+-Ionen reagiert hat.
(1.2) 7	Die Essigsäuremoleküle hören auf mit den Wassermolekülen zu reagieren, wenn die Gleichgewichtskonzentration an H_3O^+-Ionen erreicht ist.
(1.3) 99	Die Essigsäuremoleküle hören nie auf mit den Wassermolekülen zu reagieren. Allerdings beginnen die H_3O^+-Ionnen mit den entstandenen Acetat-Ionen wieder zurück zu reagieren.
alles richtig: 92 von 103 (89,3%)	K.A.: 1
(2.1) 5	Im Gleichgewichtszustand verläuft die Reaktion der Essigsäure mit Wasser schneller als die Reaktion der H_3O^+-Ionen mit den Acetat-Ionen.
(2.2) 10	Im Gleichgewichtszustand verläuft die Reaktion der H_3O^+-Ionnen mit den Acetat-Ionen schneller als die Reaktion der Essigsäure mit Wasser.
(2.3) 5	Im Gleichgewichtszustand laufen keine Reaktionen mehr ab.
(2.4) 78	Im Gleichgewichtszustand laufen die Reaktionen von H_3O^+-Ionnen mit den Acetat-Ionen und von Essigsäure mit Wasser gleich schnell ab.
alles richtig: 78 von 103 (75,7%)	K.A.: 6
(3.1) 12	Im Gleichgewichtszustand ist die Konzentration der Essigsäure genau halb so groß, wie zu Beginn der Reaktion.
(3.2) 70	Die Anzahl der entstandenen H_3O^+-Ionen und Acetat-Ionen ist gleich groß.
(3.3) 24	Die Anzahl an nicht reagierten Essigsäuremolekülen und H_3O^+-Ionen ist gleich groß.
(3.4) 8	Die Anzahl an nicht reagierten Essigsäuremolekülen und Acetat-Ionen ist gleich groß
alles richtig: 61 von 103 (59,2%)	K.A.: 8

alles richtig: 44 von 103

KREUZEN SIE DIE RICHTIGE(N) AUSSAGE(N) AN

Anders als in der Simulation, betrachten wir hier die Reaktion

$$1\ C_2H_4 \quad + \quad 1\ H_2 \quad \rightleftarrows \quad 1\ C_2H_6$$

Ethen Wasserstoff Ethan

Zu Beginn der Reaktion werden 5 mol Ethen und 5 mol Wasserstoff eingesetzt.
Zu diesem Zeitpunkt hat sich Ethan noch nicht gebildet.
Nachdem sich das Gleichgewicht eingestellt hat, liegen noch 3 mol Ethen vor.

Wie viel mol Wasserstoff und wie viel mol Ethan sind nun vorhanden?

(1)	3 mol Wasserstoff und 2 mol Ethan	61 (59,2 %)
(2)	3 mol Wasserstoff und 3 mol Ethan	17
(3)	3 mol Wasserstoff und 4 mol Ethan	11
(4)	3 mol Wasserstoff und 6 mol Ethan	0
(5)	5 mol Wasserstoff und 2 mol Ethan	3
(6)	K.A.: 11	

Anhang D Arbeitsblatt zum Tutorium (Lehrer- und Schülerversion)

Vorüberlegungen

Die Verhältnisse im Gleichgewichtszustand hängen von den Stoßwahrscheinlichkeiten und der Mindestenergie ab.

Im Gleichgewichtszustand gibt es weiterhin Hin- und Rückreaktion, diesen laufen jedoch gleich schnell ab.

Im Gleichgewichtszustand liegen deutlich mehr undissozierte Essigsäure-Moleküle vor, als Acetat- bzw. Hydronium-Ionen.

Die Reaktion von Essigsäure mit Wasser ist eine Gleichgewichtsreaktion.

Die Reaktion von Marmor mit Hydronium-Ionen ist keine Gleichgewichtsreaktion, da Kohlenstoffdioxid austritt.

$CH_3COOH + H_2O \rightleftarrows CH_3COO^- + H_3O^+$

$CaCO_3 + 2H_3O^+ \longrightarrow Ca^{2+} + 3H_2O + CO_2(\uparrow)$

Marmor in Essigsäure-Lösung

Die Hydronium-Ionen haben nun zwei möglich Reaktionswege.

(Auch wenn der Marmor in der Essigsäure-Lösung liegt gibt es weiterhin Hin- und Rückreaktion, d. h. es werden Acetat- und Hydronium-Ionen gebildet und diese reagieren auch wieder zurück.)

Reagiert ein Hydronium-Ion mit Marmor, so kann es nicht mehr zurück gebildet werden.

Durch die Reaktion mit Marmor wird die Anzahl der Hydronium-Ionen verringert.

Eine verringerte Anzahl an Hydronium-Ionen bedeutet auch, dass die Stoßwahrscheinlichkeit von Acetat-Ionen und Hydronium-Ionen verringert ist.

Die Rückreaktion wird somit langsamer, während die Hinreaktion weiterhin (unbeeinflusst) abläuft.

Insgesamt führt dies dazu, dass quasi die gesamten Essigsäure-Moleküle über den Zwischenschritt der Hydronium-Ionen zum Auflösen des Marmors beitragen.

Vorüberlegungen

Beschreibe die Reaktion von Essigsäure mit Wasser als Gleichgewichtsreaktion.

Beschreibe die Reaktion von Marmor mit Hydronium-Ionen. Warum ist dies keine Gleichgewichtsreaktion?

$CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$

$CaCO_3 + 2H_3O^+ \longrightarrow Ca^{2+} + 3H_2O + CO_2(\uparrow)$

Marmor in Essigsäure-Lösung

Was geschieht, wenn Marmor in Essigsäure-Lösung gelegt wird? Wie beeinflussen sich die beiden Reaktionen?

Zum Einsatz des Arbeitsblattes vergleiche Abschnitt 1.4.1.4.