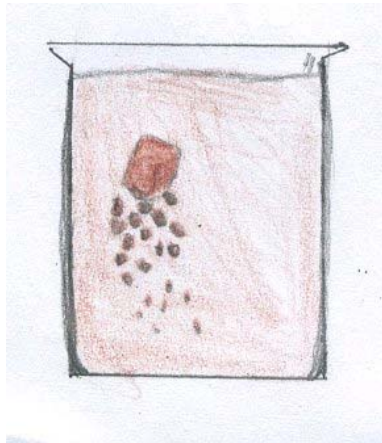


Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts ‘Stoff-Teilchen’ für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext



Der Fakultät für Mathematik und Naturwissenschaften
der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
zur Erlangung des Grades und Titels eines
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. phil.)
angenommene Dissertation von
Silvia Schmidt
geboren am 2. November 1971
in Lingen/Ems

Gutachterin: Prof. Dr. Ilka Parchmann
Zweitgutachter: Prof. Dr. Reinhard Demuth
Tag der Disputation: 19.4.2010

Inhaltsübersicht

EINLEITUNG	6
DAS STOFF-TEILCHENKONZEPT IN DER WISSENSCHAFT UND IN DER SCHULE - DIE FACHLICHE KLÄRUNG	11
SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUM STOFF-TEILCHENKONZEPT	39
DIE DIDAKTISCHE INHALTSSTRUKTURIERUNG	73
DIE DIDAKTISCHE STRUKTURIERUNG: ENTWICKLUNG VON UNTERRICHTSELEMENTEN	93
DIE EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG	139
DER ERTRAG DES VORHABENS	264
AUSBlick AUF NEUE AUFGABEN	290
ZUSAMMENFASSUNG	291
ABSTRACT	294
VERZEICHNISSE	297
ANHANG UND FORMALIEN	> 312

Ausführliches Inhaltsverzeichnis

Inhaltsübersicht	1
Ausführliches Inhaltsverzeichnis	2
Vorwort.....	5
1. Einleitung.....	6
2. Das Stoff-Teilchenkonzept in der Wissenschaft und in der Schule – die Fachliche Klärung.....	11
2.1. Das Stoff-Teilchenkonzept in der Wissenschaft und der Fachdidaktik	12
2.2. Das Stoff-Teilchenkonzept in den curricularen Vorgaben der naturwissenschaftlichen Fächer.....	32
3. Schülervorstellungen zum Stoff-Teilchenkonzept	39
3.1. Begriffsverständnis	39
3.2. Ursache von Vorstellungen und Konzepten	42
3.3. Kategoriensysteme der Schülervorstellungen	44
3.3.1. Vorstellungen zu Stoffen und zum Aufbau von Stoffen aus Teilchen: Das Kategoriensystem I.....	46
3.3.2. Vorstellungen über chemische Reaktionen: Das Kategoriensystem II.....	59
3.3.3. Zusammenstellung beider Kategoriensysteme	71
4. Die didaktische Inhaltsstrukturierung	73
4.1. Einführung.....	73
4.2. Das Basiskonzept Stoff-Teilchen als didaktische Inhaltsstrukturierung.....	77
4.2.1. Dinge, Stoffe und Stoffeigenschaften.....	78
4.2.2. Perspektivwechsel Ebene 1 und 2: Der Bau der Stoffe aus Bausteinen.....	80
4.2.3. Die Chemie betrachtet Vorgänge der Stoffzerstörung und -entstehung; Die chemische Reaktion – Ebene 1	82
4.2.4. Bausteinveränderungen bei chemischen Reaktionen - Perspektivwechsel zwischen den Ebenen 1 und 2	83
4.2.5. Ein Modell der Atome - Perspektivwechsel Ebene 1, 2 und 3	84
4.2.6. Das Nutzen der Atomvorstellung für chemische Reaktionen: Perspektivwechsel der Ebenen 1, 2 und 3	87
4.2.7. Zusammenfassung: Systematik der Ordnung von Stoffen aufgrund der Art ihrer Bausteine, ihrer Atome	88
4.2.8. Ausblick: Der Perspektivwechsel zur Ebene 4: Der differenzierte Atombau.....	89
5. Die Didaktische Strukturierung: Entwicklung von Schlüsselementen für den Unterricht.....	93
5.1. Strategien zur Förderung von Conceptual Change	93
5.2. Der Ansatz des Situierten Lernens.....	106
5.3. Die Konzeption Chemie im Kontext.....	108
5.4. Didaktische Strukturierungen: Entwicklung konkreter Unterrichtselemente.....	113
5.4.1. Der Vorkoster in Not - die Chemie ersetzt den Vorkoster	116
5.4.2. Brände, Erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen.....	127

6.	Die empirische Untersuchung	139
6.1.	Forschungsdesign und Aufgaben der Untersuchung	139
6.2.	Das methodische Instrumentarium	142
6.2.1.	Der Lernbegleitbogen zum „Vorkoster in Not...“	144
6.2.2.	Der Lernbegleitbogen zu „Brände, erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen.....	150
6.2.3.	Videographie der Einheiten	157
6.2.4.	Auswertungsverfahren	157
6.3.	„Der Vorkoster in Not“- die Fallstudie I	159
6.3.1.	Der Ablauf der Einheit.....	159
6.3.2.	Organisatorisches.....	166
6.3.3.	Die Codes des Lernbegleitbogens.....	166
6.3.4.	Ergebnisdarstellung	168
6.3.4.1	Vorstellungen zum Teeaufguss.....	168
6.3.4.2	Vorstellungen zum Lösen von Kandis.....	172
6.3.4.3	Veränderungen von Vorstellungen - der quantitative Überblick	178
6.3.4.4	Veränderungen zum Thema Lösen von Kandis.....	178
6.3.4.5	Veränderungen zum Thema Teeaufguss	182
6.3.4.6	Konkrete Wege konzeptueller Veränderung.....	188
6.4.	Die Zweituntersuchung mit größerer Stichprobe	200
6.4.1.	Rahmenbedingungen	200
6.4.2.	Organisatorisches zur Erhebung	202
6.4.3.	Auswertung	205
6.4.3.1	Operationalisierung der Codierung	206
6.4.3.2	Ergebnisse	207
6.5.	Die Einheit „Brände sind Verbrennungen“ - Fallstudie II	216
6.5.1.	Der Ablauf der Einheit.....	216
6.5.2.	Organisatorisches.....	220
6.5.3.	Die Codes des Lernbegleitbogens.....	221
6.5.4.	Ergebnisdarstellung	222
6.5.4.1	Vorstellungen zu „Verbrennung = Vernichtung“ und zur Umkehrbarkeit	223
6.5.4.2	Vorstellungen im Aufgabenkontext Müllverbrennung.....	228
6.5.4.3	Vorstellungen zu Vorgängen am Feuerzeug.....	232
6.5.4.4	Veränderungen von Vorstellungen - der quantitative Überblick	235
6.5.4.5	Veränderungen zum ersten Aufgabenkomplex	235
6.5.4.6	Quantitative Veränderungen im kontextualisierten Aufgabenteil „Müll...“ ..	239
6.5.4.7	Parallelen und Unterschiede zwischen den Aufgaben 1 und 2.....	242
6.5.4.8	Vergleich der Studienergebnisse der Fallstudien I und II	245
6.5.4.9	Verläufe konzeptueller Entwicklung	247
6.5.4.10	Reversibilität und Vorgänge am Feuerzeug – ein quantitativer Überblick ...	259

7.	Der Ertrag des Vorhabens	264
7.1.	Der Forschungsgewinn innerhalb der Felder des Modells	265
7.2.	Der Ertrag für die Einheit „Der Vorkoster in Not- die Chemie ersetzt den Vorkoster“	273
7.2.1.	Optimierung der Einführung des Schlüssel-Schloss-Modells für „Süße“	274
7.2.2.	Optimierung der Anwendung und Nutzung des Bausteinmodells.....	281
7.2.3.	Weitere Angebote	283
7.3.	Der Ertrag für die Einheit „Brände sind Verbrennungen- Brände und unerwünschte Folgen“	285
7.3.1.	Erhebungsmethodische Überarbeitungen	285
7.3.2.	Implikationen für den Unterricht	287
8.	Ausblick auf neue Aufgaben	290
9.	Zusammenfassung	291
10.	Abstract.....	294
11.	Verzeichnisse	297
11.1.	Literatur	297
11.2.	Abbildungsverzeichnis	307
11.3.	Tabellenverzeichnis	310
	Anhänge zur Dissertation Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts ‘Stoff-Teilchen’ für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext	I
	Danksagung.....	II
	Liste der Veröffentlichungen, Lebenslauf.....	III

Vorwort

Was hat Tee kochen mit Chemie zu tun? Für viele Schülerinnen und Schüler (leider) nichts, für alle Chemielehrerinnen und -lehrer dagegen schon!

Diese Arbeit von Silvia Schmidt bietet zahlreiche Anregungen dafür, wie Chemie und Alltag sinnvoll verknüpft werden können. Damit verbunden zeigt sie auf, welche Vorstellungen und Konzepte Lernende entwickeln und anwenden, um Alltagsphänomene zu erklären.

Silvia Schmidt hat dafür den Anfangsunterricht Chemie über ein Schuljahr mit konzipiert, begleitet und analysiert. Das Forschungsmodell der didaktischen Rekonstruktion stellt sie dafür auf den Kopf: Die Arbeit beginnt nicht, wie sonst oft üblich, mit der eigenen Analyse von Schüler- vorstellungen, sondern entwickelt ausgehend von neu systematisierten Vorstellungen aus der Literatur und einer historisch-fachlichen Klärung zwei Unterrichtseinheiten, die dem Konzept von *Chemie im Kontext* folgen. Neben den Prinzipien des konstruktivistischen Lernens setzen diese Einheiten „Der Vorkoster in Not – die Chemie ersetzt den Vorkoster“ und „Erwünschte Brände, unerwünschte Folgen“ das situierte Lernen um, indem sie Alltagskontexte zur Erarbeitung chemischer Basiskonzepte nutzen. Beide Einheiten sind mittlerweile als Schulbücher erschienen und haben Eingang in verschiedene Ländercurricula gefunden.

Auch einen begründeten Aufbau des Basiskonzepts „Stoff-Teilchen“ entwickelt Silvia Schmidt parallel zu den beiden Einheiten, da bislang keine systematische Struktur, die von Schüler- vorstellungen ausgeht, für die Basiskonzepte der Bildungsstandards Chemie vorliegen.

Schließlich kann die Arbeit auch in methodischer Hinsicht als innovativ bewertet werden: Die von Silvia Schmidt erstmalig eingesetzten Lernbegleitbögen dienen heute nicht nur in der Praxis als Reflexionsinstrument, sondern wurden ebenso weiterführend in anderen Forschungsvorhaben eingesetzt.

Die vorliegende Dissertation zur didaktischen Rekonstruktion wird daher nicht nur für Chemiedidaktikerinnen und Chemiedidaktiker oder für Chemielehrkräfte interessante Anregungen bieten, sondern ebenso ein Ideengeber für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in anderen Fachgebieten sein!

Ilka Parchmann

1. Einleitung

Chemie im Kontext

Im Curriculum *Chemie im Kontext* (kurz ChiK) werden fachliche Konzepte eingebettet in sinnstiftenden, lebensweltlichen Kontexten unterrichtet. Die Gründe für die Entwicklung dieser kontextorientierten Konzeption für den Chemieunterricht liegen in der - empirisch belegten - unbefriedigenden Situation zur Einstellung, zum Interesse und zur Motivation für das Fach Chemie sowie in den unbefriedigenden Ergebnissen hinsichtlich des Kompetenzerwerbs (*Reinmann-Rothmeier 2001*), Pisa 2000 (*Baumert 2001*), Pisa 2003, (*Prenzel et al 2004*), PISA 2006 (*Prenzel et al. 2007*). Gerade bei der Untersuchung des Lernerfolgs hat sich gezeigt, dass im Chemieunterricht vermittelte Konzepte häufig keine Anwendung erfahren – sie bleiben im jeweiligen Unterrichtszusammenhang verhaftet. Dieser war bis zur Neuorientierung der Vorgaben hin zu kompetenzorientierten Curricula vorrangig fachsystematisch angesiedelt und hatte wenig mit der Lebenswelt der Schüler zu tun. Dies hat sich im Zuge der letzten Jahre verändert. Die Konzeption *Chemie im Kontext*, die seit 1996 erarbeitet wird und die sich in der Chemiedidaktik nunmehr fest etabliert hat, nimmt zur Optimierung von Chemieunterricht eine Vielzahl von Innovationen auf, die aus der (u.a. angelsächsischen) Naturwissenschaftsdidaktik, Curriculumforschung und Lernpsychologie vorgeschlagen werden, insbesondere seien hierbei die Kriterien der Schülerrelevanz, Authentizität und Komplexität von Themen und Inhalten genannt. Im Hinblick auf den Unterricht der Sekundarstufe I hat es in den vergangenen Jahren z.B. in Niedersachsen eine Vielzahl struktureller und inhaltlicher Veränderungen gegeben, (u.a. die Verlagerung des Unterrichtsbeginns von Klasse 9 auf 6, die Bildungsstandards 5-10, das Kerncurriculum mit Basiskonzept- und Kompetenzorientierung u.v.m. (vgl. *Bildungsstandards Chemie, KMK-Konferenz 2004, Niedersächsisches Kultusministerium 2007*), die sich mit der Konzeption Chemie im Kontext in Verbindung bringen lassen.

Forschungsinteresse

Diese Arbeit wählt innerhalb der Arbeit der *Chemie im Kontext* - Projektgruppe einen Betrachtungsausschnitt für die *qualitative Forschung*, der sich auf die konzeptuelle Entwicklung der Schülerinnen und Schüler¹ ausrichtet. Das Interesse gilt der Basiskonzeptentwicklung. Sie zielt auf den Anfangsunterricht ab und dabei auf die Förderung eines anwendbaren Konzeptsverständnisses zum Perspektivwechsel zwischen Stoffen und ihrem Bau aus Teilchen.²

Das Basiskonzept Stoff-Teilchen

Schüler lernen im Lauf der ersten Einheiten der Schulchemie, Phänomene genau zu beobachten, Prozesse durch Beobachtungen eindeutig und fachsprachlich adäquat zu beschreiben. Im nächsten Zug wird ein Modell vom Aufbau der Stoffe im Sinne eines einfachen Diskontinuums eingeführt. Folgend werden Erklärungen über Ursachen und Verläufe von Phänomenen mit diesem diskontinuierlichen Modell von Teilchen bzw. Bausteinen interpretiert, d.h. fortan findet ein stetiges Wechselspiel zwischen der Betrachtung der Stoffebene und der Modellebene *kleinster Teilchen* statt. Das Beherrschen dieses *Wechselspiels* ist eine der zentralen Kompetenzen und die zentrale Voraussetzung für den weiteren Lernzuwachs und -erfolg. Prinzipien wie dieses werden als Basiskonzepte verstanden (*Bünder et al. 2003*) (*Parchmann et al. 2001*): Sie sind Grundlage

¹ Fortan werde ich aus pragmatischen Gründen nur Schüler schreiben.

² Teilchen ist der konventionelle Begriff für diese Entität, der Bausteinbegriff wird von ChiK befürwortet und im Kerncurriculum auch genutzt.

des Erklärens und Fundament für das Chemieverständnis – unabhängig vom jeweiligen Phänomen oder Prozess, der behandelt wird.

Schülervorstellungen und Konzepterwerb

Der Perspektivwechsel zwischen Stoffen und Teilchen, Atomen etc. ist empirisch intensiv untersucht worden (vgl. *zusammenfassend z.B. Duit 2009, Duit 1992, Duit 1996, Nieswandt 2003*). Signifikantes Fazit ist, dass Schüler viele Phänomene und Fragestellungen mit sogenannten vorunterrichtlichen, alternativen Vorstellungen und Modellen erklären. Sie tun dies auch nach oder trotz Unterricht. Konzepte, die die Schüler in den Unterricht mitbringen oder unabhängig von Unterricht generieren, können manifestiert und schwer zu verändern sein. (vgl. *Kattmann 1998*) Man kann es als „Schubladendenken“ ansehen, wenn fachliche Konzepte wie beispielsweise das Gesetz der Erhaltung der Masse für die Reaktion von Eisen mit Sauerstoff reproduziert werden können, dennoch für lebensweltliche Verbrennungen von einer Vernichtung von Materie „zu nichts oder zu weniger“ ausgegangen wird. (*Sumfleth 1992*) Chemieunterricht kann aber auch in der Art Wirkung zeigen, die als Konzeptentwicklung mit nicht-übereinstimmender Resonanz bezeichnet wird (*Niedderer 1996*): Hier werden im Unterricht vermittelte Erklärungsmodelle mit vorunterrichtlichen Konzepten oder Rahmentheorien (*Stark 2002*) so arrangiert, dass sie für Schüler als passend empfunden werden, aber fachlichen Modellen widersprechen (so genannte Misch- oder Hybridkonzepte). So wird Schülern vermittelt, Stoffe bestünden aus Teilchen. Ein häufig belegtes Mischkonzept liegt beispielsweise vor, wenn Schüler fortan Teilchen umgeben von einem stofflichen Medium in ihren Argumentationen verwenden. Prozesse werden sodann weiterhin mit der stofflichen Qualität erklärt oder aber die neu hinzugedachten Teilchen haben stoffliche Eigenschaften: sie können schmelzen, verbrennen, ihre Farbe ändern usw. Auch hier erweist sich Unterricht wohl als unzulänglich: wird doch versucht, naturwissenschaftliche Modelle der Scientific Community zu transportieren und diese gegen die ursprünglichen Konzepte der Schüler „auszutauschen“.

Chemieunterricht an Schülervorstellungen ausgerichtet

Möchte man die Wirkung von Chemieunterricht hinsichtlich der o.g. Unzulänglichkeiten optimieren, gelangt man unweigerlich in den Bereich der Vorstellungsforschung, der conceptual change Forschung - einer didaktischen Disziplin ohne Trennschärfe zwischen der Fachdidaktik Chemie (und der der Physik) und der Lernpsychologie.

Guzetti (*in Duit 1995*) formuliert, dass der entscheidende Punkt zur Veränderung von Schülervorstellungen in Richtung der Akzeptanz und Anwendbarkeit der fachwissenschaftlichen Erklärungskonzepte die aktive Auseinandersetzung mit ihnen sei: ein Unterricht, der konzeptverändernde Wirkung haben soll, muss an Schülervorstellung anknüpfen und reflektierende Momente sowohl in Bezug auf die Aussage fachlicher Erklärungsmodelle als auch die eigenen Modellierungen der Schüler beinhalten.

Das Anliegen dieser Arbeit ist es, auf Basis des Forschungsstands zu Schülervorstellungen zum Stoff-Teilchen Konzept Unterrichtselemente zu entwickeln, die die aktive Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen zum Ziel haben und diese im Feld zu erproben.

Im konkreten Vorgehen nutze ich das *Forschungsmodell der Didaktischen Rekonstruktion*. Das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur setzte 2001 das Graduiertenkolleg „fachdidaktische Lehr- Lernforschung- didaktische Rekonstruktion“ an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg ein. In diesem interdisziplinären Promotionsprogramm arbeiten Fachdidaktiker wie Erziehungswissenschaftler an so genannten didaktischen Strukturierungen zur Optimierung unterrichtlichen Lehrens und Lernens auf der Basis eines gemeinsamen theoretischen Fundaments. Das Modell entstand als Reaktion auf die naturwissenschaftsdidaktische Tradition, die Schülervorstellungen als Fehlvorstellungen betrachtet; ein Aufgreifen wurde darin verstanden als ein „Arbeiten gegen diese Fehlvorstellungen“ zwecks Austausch dieser gegen die fachwissenschaftlich korrekten. Die Didaktische Rekonstruktion schlägt vor, diese in fruchtbarer

Weise zu nutzen und sie explizit in Planung und Durchführung zu berücksichtigen, d.h. konsequenter als eine der Sachstruktur (Sachanalyse) vorgelagerte Analyse der Lernvoraussetzung:

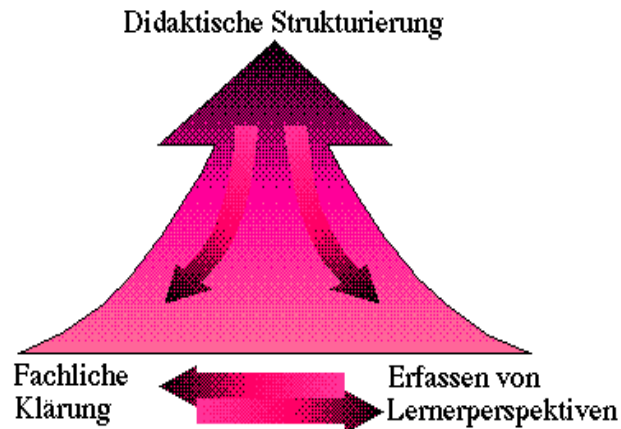


Abb. 1.1: Das Dreieck der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1998): 1

Ausgehend von der Analyse der *Schülerperspektive* einerseits und der *fachlichen Klärung* von sach-fachlichen Gegenständen andererseits werden in einem iterativen Prozess *didaktische Strukturierungen* – z.B. in Form konkreter Unterrichtseinheiten - entwickelt. Damit sind „drei Seiten eines didaktischen Tripletts“ (Kattmann et al. 1997, Gropengießer 2002) gekennzeichnet; Sie sind gleich gewichtet und voneinander abhängig (vgl. Abb.1.1). Um Erkenntnisfortschritt in einem jeweiligen Feld zu erwirken, ist ein Rückbezug oder eine Prognose auf Inhalte der anderen Felder notwendig.

Das folgende Schema veranschaulicht das Vorgehen am Modell der Didaktischen Rekonstruktion, wobei zu berücksichtigen ist, dass die obere Darstellung „auf den Kopf“ gestellt wurde. Die Einzelaufgaben des Forschungstripletts werden in den einzelnen Kapiteln abgehandelt.

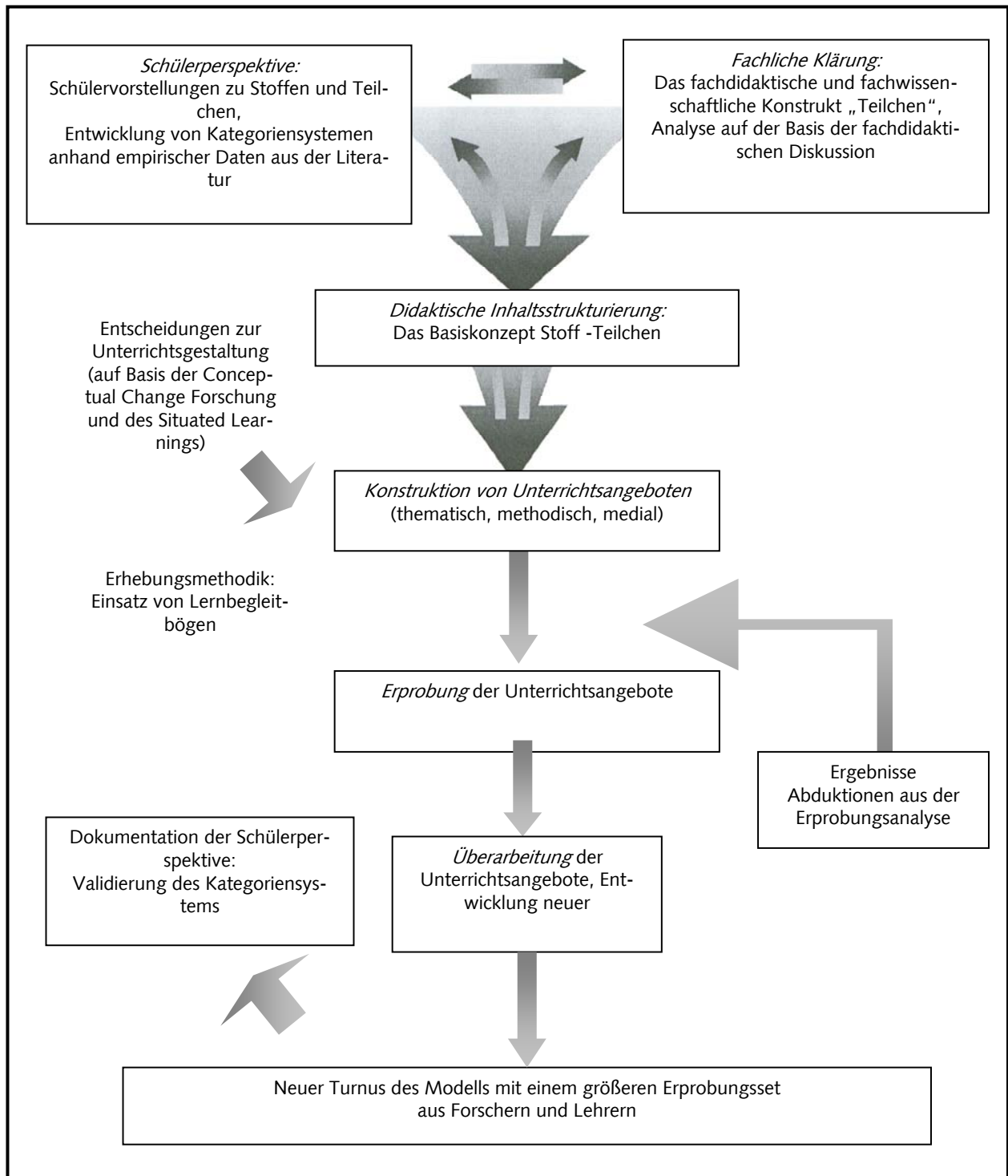


Abb. 1.2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als gliedernde Struktur dieser Arbeit

Das Vorhaben gliedert sich gemäß Abbildung 1.2 in folgend beschriebene Arbeitsschritte.

- Die fachliche Klärung beinhaltet einen Überblick über die Genese des Teilchen- und Atombegriffs (Kap. 2). Da das anfangsunterrichtsrelevante Konzept über Teilchen sich von der aktuellen fachwissenschaftlichen Entität Teilchen deutlich unterscheidet, findet insbesondere eine Klärung des fachdidaktischen Begriffs Teilchen statt (Kap. 2).
- Bisherige Ergebnisse über vorunterrichtliche Vorstellungen zu Stoffeigenschaften, zum Bau von Stoffen aus Teilchen und zur Nutzung des Teilchenmodells und Atommodells werden zusammengestellt, für den Anfangsunterricht relevante Vorstellungen werden in zwei Kategoriensystemen arrangiert (Kap. 3).
- Das Basiskonzept Stoff- Teilchen und die zugehörigen fachlichen Inhalte müssen formuliert werden. Rekursiv müssen sie mit den Kategoriensystemen der Schülervorstellungen verglichen werden: Lernschwierigkeiten, aber auch verbindende Elemente werden ausgemacht (Kap. 4). Dies ist das inhaltliche Fundament, die inhaltliche didaktische Strukturierung oder didaktische Inhaltsstrukturierung.
- Zentrale Theorien aus der Lernpsychologie, i.e.S. die Strategien zur Förderung von Conceptual Change und die Ansätze des Situated Learning werden analysiert, um didaktische und methodische Leitlinien für den zu entwickelnden Unterricht herauszuarbeiten (Kap 5).
- Im Folgeschritt werden kontextualisierte Unterrichtseinheiten unter Berücksichtigung der vorherigen Ergebnisse erarbeitet und sog. Schlüsselemente (die zentralen Lernangebote und -situationen) ausdifferenziert (Kap 5).
- Für die Erprobung der Einheiten im Fallstudiendesign wird ein Untersuchungsinstrument für die Begleitforschung bereitgestellt und eine geeignete Auswertungsmethodologie auf der Basis des Kategoriensystems (Kap. 3) entwickelt (Kap. 6).
- Die Fallstudienauswertung führt zu ersten formativen Evaluationsschritten, d.h. einer Analyse nach bewährten und zu optimierenden Unterrichtselementen sowie zur Überarbeitung der Methodik und zur Erprobung in größerem Maßstab.

Eines der Gütekriterien für die Forschungsergebnisse im Modell der Didaktischen Rekonstruktion ist die Praxisrelevanz. Das Modell betitelt sich als „schulnahe fachdidaktische Lehr-Lernforschung“ (vgl. KATTMANN *et al.* 1998). Daher wird in der vorliegenden Arbeit skizziert, in welcher Weise fachdidaktisch-methodische Leitlinien in der Praxis implementiert werden könnten.

Für das Vorhaben wurden mehrere kontextualisierte Einheiten entwickelt und erprobt, in dieser Arbeit wird eine der Einheiten mit exemplarischem Charakter für die Untersuchung im Vordergrund stehen.

Abschließend seien noch einige Gestaltungshinweise genannt. Um dem Leser zu ermöglichen, schnell Wesentliches zu erfassen, werden als textgestalterische Mittel Hervorhebungen genutzt: Kursive Worte sind *Schlüsselbegriffe*, zuweilen verdient Kursives auch *besondere Betonung*.

Umrahmungen werden gewählt, um wesentliche Gedankengänge und Statements hervorzuheben.

Anmerkungen zur Darstellung der Zitate in den Transkripten und Datenbögen werden in Kapitel 6 gemacht.

2. Das Stoff-Teilchenkonzept in der Wissenschaft und in der Schule – die Fachliche Klärung

„Wenn in einer Sintflut alle wissenschaftlichen Kenntnisse zerstört würden, und nur ein Satz an die nächste Generation [...] weitergereicht werden könnte, welche Aussage würde die größte Information in den wenigsten Worten enthalten? Ich bin überzeugt, dass dies die Atomhypothese (oder welchen Namen sie auch immer hat) wäre, die besagt, dass alle Dinge aus Atomen aufgebaut sind – aus kleinen Teilchen, (...).“ (FEYNMAN, zitiert nach FISCHLER, 1997)

Was sind *Teilchen*? Was *Atome*? Was ist mit *Dingen* und mit dem chemischen Begriff *Stoff* gemeint? Dies sind Begriffe, die in der *Fachlichen Klärung* im Modell der Didaktischen Rekonstruktion analysiert werden.

Forschungsmethodische Einführung

„Die Fachliche Klärung besteht in der kritischen und methodisch kontrollierten systematischen Untersuchung fachwissenschaftlicher Aussagen, Theorien, Methoden und Termini aus fachdidaktischer Sicht.“ (KATTMANN et al., 1998)

Die Fachliche Klärung ist mehr als eine Sachanalyse, die rein fachliche Zulieferfunktion hat. Sie ist eine explizit fachdidaktische Aufgabe: Konzepte und Theorien werden nicht als widerspruchsfreie Vorgaben verstanden, sondern werden metakonzeptuell kritisch untersucht. Begriff und Theoriebeschreibung finden vor dem Hintergrund ihrer historischen Genese in ihrer kontextuellen Einbettung statt. Das konstruktivistische Verständnis verpflichtet, Konzepte und Theorien als perspektivische, kontextuell eingebettete Konstrukte mit unterschiedlicher Aussagekraft zu verstehen.

Die Fachliche Klärung besteht in der idealisierten Form in der Aufarbeitung einiger gut ausgewählter, zentraler wissenschaftlicher Originalquellen auf inhaltsanalytische, hermeneutische Weise. Die Grundlage der Analyse ist in Bezug auf das Forschungsvorhaben zu erläutern.

Der derzeitige Stand der Wissenschaft zum Begriff und Konzept *Teilchen* hat für *den didaktisch zu strukturierenden* Ausschnitt, den Anfangsunterricht Chemie, kaum Relevanz: das aktuelle wissenschaftliche Verständnis (z.B. Teilchen als Quantenobjekte, siehe weiter) und des Unterrichtskontexts sind voneinander abzugrenzen. Der Terminus und das dahinter stehende Konzept *Teilchen*, so wie er bzw. es in der relevanten Schulstufe verwendet wird, sind einfache *didaktische Konstrukte*.

Eine detaillierte Inhaltsanalyse von Originalquellen zum *aktuellen* Verständnis ist nicht notwendig. Die Abgrenzung zum didaktischen Konstrukt wird herausgestellt.

Selbstverständlich fußt der didaktische Begriff *Teilchen* auf fachwissenschaftlichen Aussagen, diese sind allerdings im Anfangsunterricht dem historischen, sog. *klassischen Teilchenmodell* zuzuordnen. Es gründet sich auf die historische Genese des Atombegriffs, der ins Zentrum der hier anzustellenden Betrachtungen rücken soll. Ich verzichte aber auch hierbei auf die Analyse historischer Originalquellen, da hierfür keine Notwendigkeit besteht, denn ihre adäquate Darstellung ist bereits vielfach erfolgt (z.B. in BUCK 1986; 1987, FISCHLER 1997, JANSEN et al. 1986,

1990, 1994, SCHÜTT 1976, VOS DE 1990, MIKELIS-SEIFERT 2001, PFUNDT 1979). Die Definition der Begriffe und die Art der Einführung stehen seit Jahrzehnten in der fachdidaktischen Diskussion. Daher ist es sinnvoll, in diesem Kapitel der Fachlichen Klärung eine zusammenfassende Darstellung wesentlicher Argumentationen zu bieten.

Somit wird im eigentlichen Sinne die *fachdidaktische Nutzung* des klassischen Teilchenbegriffs auf der Basis fachdidaktischer Sekundärliteratur analysiert.

Oft wird in den Arbeiten zum Modell der Didaktischen Rekonstruktion nach dem Verfahren der *qualitativen Inhaltsanalyse* nach MAYRING gearbeitet. Das Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse ist bei der hier oben gezeigten Lage ungeeignet, weil es der Breite der Problematik und der vertretenden Positionen nicht gerecht wird: wesentliche Aspekte der didaktischen Konzeptentwicklung um „Stoffe, Teilchen und Atome“ und die Schwierigkeiten und Uneindeutigkeiten werden besser mit Hilfe der Technik der Globalanalyse (BORTZ 1995) herauszustellen versucht, weil damit ein viel größeres Literaturfundament genutzt werden kann.

2.1. Das Stoff-Teilchenkonzept in der Wissenschaft und der Fachdidaktik

Sowohl der Stoffbegriff als auch der Teilchenbegriff sind nicht nur fachwissenschaftlich und fachdidaktisch, sondern auch alltagssprachlich belegt. Wie lassen sich die Begriffe oder Termini³ im Sinne einer fachlichen Klärung bestimmen?

Was ist ein Stoff?

Alltagssprachlich steht *Stoff* für „Textil-, Kleidungsstoff“, für Inhalt oder Thema („Stoff für eine gute Story“) und gelegentlich auch für Rauschgift. In der Chemie ist der *Stoff* die Grundlage aller Untersuchungsgegenstände: Die Chemie beschäftigt sich mit Stoffen und mit Stoffveränderungen.

„In der Chemie Bezeichnung für jede Art von Materie, d.h. die Erscheinungsarten, die gekennzeichnet sind durch ihre gleich bleibenden charakteristischen Eigenschaften unabhängig von ihrer äußeren Form.“ (RÖMPP Chemielexikon, 1996)

Schulbuchbeschreibungen sind anschaulicher:

„In der Chemie versteht man unter einem Stoff eine Substanz wie Salz, Alkohol oder Sauerstoff, die durch ihre Eigenschaften charakteristisch ist.“ (zitiert nach LEERHOFF 2003, 365)

„Alle Gegenstände bestehen aus Stoffen. Wir kommen täglich mit einer Vielzahl von Gegenständen in Berührung (...) Sie haben alle eine bestimmte Form oder Gestalt. Sie bestehen aus unterschiedlichen Materialien. Solche Materialien nennt der Chemiker Stoffe (...) Zur genaueren Beschreibung des Gegenstands gibt man sowohl seinen Stoff als auch seine Form an. Neben den Feststoffen gehören auch Flüssigkeiten wie Wasser und Benzin und die Gase wie Sauerstoff oder Erdgas. Im Chemieunterricht benutzt man immer nur einen kleinen Teil des Stoffes, eine Stoffportion.“ (EISNER et al. 2004, 14)

³ Terminus wird nach KATTMANN und GROPEGIEBER als sprachliches Zeichen, als geäußertes Zeichen verstanden, das Begriffen als rein gedanklichen Konstrukten Ausdruck verleiht (vgl. GROPEGIEBER 1997). Diese Definition von „Begriff“ ist m. E. so unkonventionell, dass ich von der Nutzung dieser Definition absehe.

2. Die Fachliche Klärung

„In deiner Umgebung findest du viele Gegenstände, die Körper, sie bestehen aus ganz unterschiedlichen Materialien, der Chemiker spricht dabei von Stoffen. Um einen Stoff sinnvoll und richtig verwenden zu können, muss man einige seiner Eigenschaften kennen. Jeder Stoff hat bestimmte Eigenschaften, die ihn kennzeichnen.“ (BLUME et al 1995, 10)

„In der Chemie werden die Materialien, aus denen die Gegenstände bestehen, als Stoffe bezeichnet.“ (ARNOLD et al. (Hrsg.) 2008, 22)

Die Auswahl der Beschreibungen zeigt: *Stoff* ist ein Oberbegriff und steht den Begriffen Substanz oder Material nahe (vgl. auch BUCK 1986).

Charakteristisch ist die Unterscheidung: Sind wir interessiert am Verhalten des Körpers, des Objekts oder an den charakteristischen Qualitäten des Materials, das den Körper bildet?⁴ HOLUM (1984) (nach KRNEL et al. 1998) unterscheidet unter den Eigenschaften *extensive* und *intensive*: erstere für Körper, letztere für Stoffe.

Intensive Stoffeigenschaften bleiben erhalten bei Bruch und Bearbeitung: Dichte, Härte, Reaktivität, Aggregatzustand, Geruch, Farbe, Geschmack u.a.. Extensive Eigenschaften der Körper ändern sich: Masse, Volumen, Größe. Die Abbildung 2.1 stellt die Zuordnungen zusammenfassend dar.

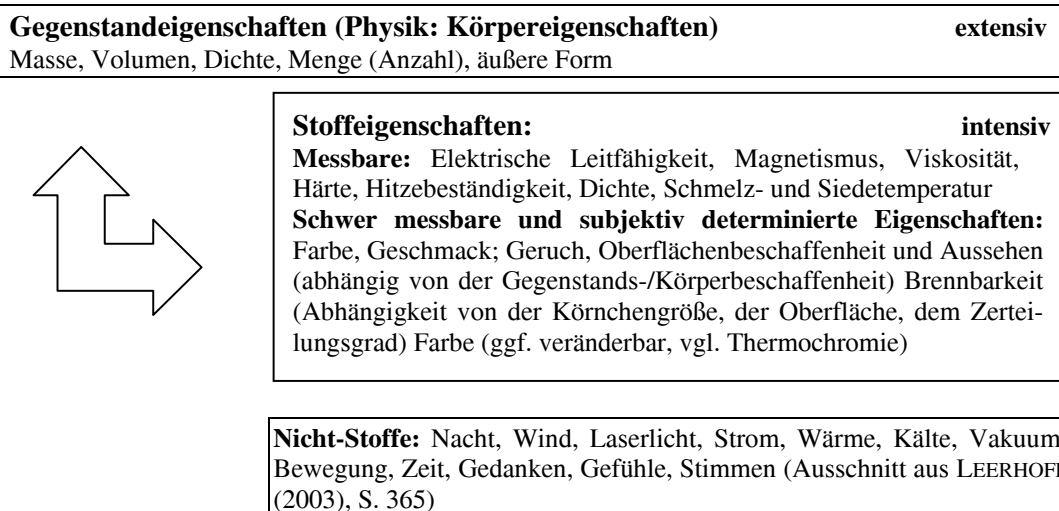


Abb. 2.1: Schema intensiver und extensiver Eigenschaften auf Grundlage von Holum (nach Vos de 1990) sowie (Leerhoff 2003)

Der Begriff *Körper* wird in der Physik benutzt, alltagssprachlich sind *Gegenstände*, *Dinge*, *Sachen*, *Objekte* als Alternativen zu nennen. Ich wähle, um den Bezug zur Alltagssprache beizubehalten, vorrangig das Wort *Gegenstand*, die Synonyme könnten m.E. helfen, die neuen Konzeptanteile zu verankern.

Eigenschaften von Stoffen erfahren wir nur *durch* Gegenstände. Selbst eine Stoffportion ist ein Gegenstand, ein Körper im physikalischen Sinne. Schwierig ist demnach die Trennung zwischen der Gegenstands- und der Stoffebene. LEERHOF et al (2003) definieren Stoffe als

„Alles, was man anfassen oder in einem Gefäß aufbewahren kann.“ (LEERHOFF 2003, 365)

⁴ Diese Frage unterscheidet im klassischen Sinne die Disziplin Physik von der Chemie.

2. Die Fachliche Klärung

Um dem Stoffbegriff näher zu kennzeichnen, unterscheiden LEERHOFF et al. mit der Frage: „Wenn die Stoffe alles sind, was in ein Gefäß aufbewahrt werden kann, was sind dann alles keine Stoffe?“ in *Nicht-Stoffe* und *Stoffe*. Sie vermerken gleich, dass diese Arbeitsdefinition des Stoffes für den Anfangsunterricht fachlich angreifbar und nur bedingt präzise ist. Auch im Anfangsunterricht ist eine Abgrenzung der Gegenstände von Stoffen nötig und möglich (siehe weiter).

HOLUM (KRNEL et al. 1990) bewertet die Eigenschaften von Stoffen hinsichtlich ihrer intersubjektiv feststellbaren „Eindeutigkeit“ durch Messungen (s.o.). Die phänomenologisch einfach zu erfassenden und alltäglich relevanten Eigenschaften (Geruch, Farbe, qualitative Beschaffenheit) sind demnach keine fachlich korrekten Eigenschaften, denn ihre Wahrnehmung ist immer subjektiv determiniert. Stoffeigenschaften werden interpretiert aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den Entitäten des Stoffes und den Modalitäten unseres Sinnesapparats. So beschreiben bekanntlich verschiedene Personen den Geschmack eines Stoffgemisches unterschiedlich. Individuen nehmen Ausschnitte ihrer Umwelt per se individuell wahr - die Reflexion des Begriffs der stofflichen Entitäten enthält demnach auch eine erkenntnistheoretische Dimension.

LEERHOFF et al. (2003) unterscheiden aus dem gleichen Grund wie HOLUM in „gute“ Eigenschaften und Eigenschaften, „die mit Vorsicht zu genießen sind“ und „schlechten Eigenschaften“ (ebd, 366), wie die Abbildung 2.2 zeigt.⁵

«gute» Eigenschaften (bei bestimmten Bedingungen)	Eigenschaften, die mit Vorsicht anzuwenden sind	«schlechte» Eigenschaften
Schmelz- und Siedetemperatur Dichte Elektrische oder Wärmeleitfähigkeit Löslichkeitsverhalten Magnetismus Viskosität Härte Reaktivität gegenüber anderen Stoffen (z. B. in bestimmten Nachweisen) ...	Farbe (kann sich auch bei physikalischen Prozessen verändern) Brennbarkeit (abhängig vom Zerteilungsgrad) Oberflächenbeschaffenheit, auch metallischer Glanz, oder Verformbarkeit (abhängig von der Probe) Geschmack/Geruch (abhängig von der Wahrnehmung und kaum intersubjektiv zu beschreiben) ...	Volumen Masse Gewicht Menge Temperatur äußere Form ...

Tab. 2. »Gute« und »schlechte« Eigenschaften, das heißt Eigenschaften, die zur Charakterisierung von reinen Stoffen und damit Stoffumwandlungen geeignet oder nicht geeignet sind. Zu bedenken ist gerade bei den »guten« Eigenschaften immer, dass ggf. die Bedingungen mit zu berücksichtigen sind.

Abb. 2.2: Bewertete Stoffeigenschaften nach LEERHOFF et al. (2003), 366

Stoffe charakterisieren sich durch für sie typische Eigenschaftskombinationen. Die Internationalen Übereinkünfte (SI) beschreiben Stoffe abgesehen von der Farbe ausschließlich mit den messbaren Eigenschaften *Dichte*, *Schmelz- und Siedetemperatur*, *Löslichkeit (g/100g Solvens)*, *Aggregatzustand* sowie *div. thermodynamischen Daten* (vgl. *Datensammlung Chemie in SI Einheiten*, AYLWARD 1999) Durch die Untersuchung von Eigenschaftskombinationen lassen sich Stoffe demnach identifizieren.

Reinstoffe und Stoffgemische

Der bisher verwendete Stoffbegriff ist im Sinne des Begriffs *Reinstoff* zu verstehen. In der Schulbuchliteratur wird dieser Zusatzbegriff meist sofort zur Abgrenzung von Stoffgemischen verwendet. Stoffgemische sind durch Verfahren der Stofftrennung zu behandeln, um Reinstoffe

⁵ Die Adjektive „geeignet /nicht geeignet“ oder zumindest „gut geeignet, schlecht geeignet“ werden von der Autorin für angebrachter als die Bezeichnungen „gut und schlecht“ angesehen; Auch sind die Begriffspaare eindeutig vs. uneindeutig, „objektiv vs. subjektiv“ verwendbar.

zu gewinnen. Es werden Verfahren angewendet, die nicht als chemische Reaktionen zu verstehen sind (siehe weiter); sie werden z.T. explizit als physikalische Methoden gekennzeichnet (vgl. z.B. EISNER et al. 2004).

Als differenzierende Begriffe unterteilen sich Reinstoffe wiederum in *Verbindungen* und *Elemente*: erstere bestehen aus Verbindungen mehrerer Elemente:

„Ein Element wird als Stoff angesehen, der mit chemischen Mitteln nicht weiter zerlegbar ist.“ (SCHLÖPKE 1983, 30)

Diese definitorische Aussage ist dem Lerner nicht zugänglich, wenn *chemische Mittel* nicht bekannt sind. Ob ein Reinstoff mit chemischen Mitteln in Elemente zerlegt werden kann oder zwei Elemente zu einer Verbindung zusammengefügt werden, begründet sich durch den Ablauf chemischer Reaktionen – diese Definition kann nur verstanden werden, wenn das Konzept chemischer Reaktionen bekannt ist (was laut Lehrplan nicht der Fall ist, vgl. Kap. 2.2) (vgl. LEERHOFF et al. 2003 Teil 1, 303). Wissenschaftlich wird der Elementbegriff durch die Nutzung der Modellebene der Atome *erklärt* (siehe weiter). Wird der Elementbegriff ohne die Kenntnis der Teilchenebene eingeführt, ist er eine unverständliche Worthülse.⁶

Nach nun folgender Behandlung der sog. *Stoffumwandlungen* durch *chemische Reaktionen* wird auf dieses Problem erneut eingegangen.

Was sind chemische Reaktionen?

Chemische Reaktionen umschreiben wir auch mit Stoffumwandlungen, -veränderungen, -umbildungen. Chemische Reaktionen führen zu neuen Stoffen mit anderen Eigenschaften als die der Ausgangsstoffe. Der Begriff Chemische Reaktion ist

„in der Chemie (eine) Sammelbezeichnung für alle zu stofflichen Umwandlungen führenden Wechselwirkungen zwischen chem. Elementen u./od. Verb., d.h. auf mikroskopischer⁷ Ebene zwischen Molekülen u./od. Atomen. Von diesen chem. R., bei denen im Wesentlichen Veränderungen in den Elektronenhüllen der Atome der Reaktionspartner eintreten, sind die sog. Kernreaktionen zu unterscheiden, bei denen Umwandlungen der Atomkerne erfolgen, sowie Streuprozesse als R. zwischen Elementarteilchen. In Anbetracht der Unzahl interessanter R. – man könnte ja die R. als „Stoffwechsel der Chemie“ ansehen.“ (RÖMPP 1996, Schlagwort chemische Reaktion)

Die Begriffe Chemische Reaktionen oder Stoffumwandlungen lassen sich aus zwei Perspektiven betrachten:

Eine Perspektive ist die „Zustandsbeschreibung vorher - nachher“: Liegen nach der chemischen Reaktion andere Erscheinungskombinationen vor, so handelt es sich um andere Stoffe als die vorher eingesetzten. Dies kann mit Hilfe den im Vorfeld des Kapitels beschriebenen Eigenschaftszuordnungen von Stoffen geklärt werden. Die andere Perspektive ist die „Prozessbetrachtung“, die die Änderung der Erscheinungsformen und das „Auftauchen und Verschwinden“ von Ausgangsstoffen und neuen Produkten erklärt. *Umwandeln* ist in den oben genannten Definitionen der die Zustände vorher- nachher verbindende Begriff der Prozessebene. Um chemische Reaktionen und ihre Determiniertheit zu verstehen, sind sowohl die Zustandsperspektive als auch die Prozessperspektive notwendig. Beide müssen in Vermittlungsabsicht akzentuiert werden. Nach der Prozessperspektive allein würde Umwandlung demnach verstanden werden als „Verwandlungen eines Stoffes“. Dies suggeriert, dass der Stoff selbst, zumindest eine Entität des Stoff-

⁶ Von einer Darstellung der historischen Begriffsgenese (beginnend mit JUNGIUS und BOYLE) wird hier aus pragmatischen Gründen abgesehen. Sie würde ebenfalls zeigen, dass eine Nutzung des Elementbegriffs ohne (adäquate) Atommodellebene zu Widersprüchen und Fehlinterpretationen geführt hat. (vgl. LAVOISIERSche Elementzuordnungen, Geschichte des Periodensystems z.B. in HÄUSLER 1990).

⁷ Der Begriff *mikroskopisch* suggeriert, dass real existierende und unseren Veranschaulichungen entsprechende Moleküle und Atome teilnehmen; diese wären dann der wahrnehmbaren Welt und nicht der Modellwelt zuzuordnen.

fest bestehen bleibt. Wesentliches Kennzeichen ist allerdings, dass auf der Zustandsebene die Ausgangsstoffe (Edukte) bei vollständig abgelaufener chemischer Reaktion nicht mehr vorliegen. *Umwandeln* steht in Verbindung weiterer Prozesseigenschaften: Der Prozess verläuft unter Massenkonstanz, die materielle Grundlage der Edukte erfährt quantitativ keine Veränderung. Dass die materielle Grundlage der Edukte die Produkte bildet, wird begrifflich damit unterstützt, dass einige Autoren der Didaktik von sog. Grundstoffen sprechen, die bei chem. Reaktionen erhalten bleiben (PFUNDT 1979, 29). Die Erklärung für diesen Befund der Massenkonstanz liegt abermals auf der Modellebene der Atome, für die ebenfalls Zustands- und Prozessannahmen gemacht werden müssen (siehe weiter). Wird von Grundstoffen gesprochen, soll die materielle Konstanz auf der Stoffebene beschrieben werden; aber die materielle Grundlage wird durch Modelle auf Atommodellebene beschrieben. Der Begriff Grundstoff wird als didaktischer Zusatz konstruiert, um die Atomebene zu umgehen und dem Prozess auf Stoffebene eine Deutung zu geben: Grundstoffe lassen dann allenfalls einen interpretativen „Grundstoff im Stoff“ deuten. Die oben aufgezeigte Begriffsbeschreibung wird dadurch eher unscharf, denn eigentlich werden so die Ebenen der Betrachtung (die der realen Welt und die der Modellwelt der Atome und Teilchen) bereits vermischt.

Aus fachdidaktischer Sicht erfolgt die Begriffsdefinition der Stoffumwandlung darüber hinaus in Abgrenzung zu physikalischen Vorgängen, bei denen die Stoffe weiterhin erhalten bleiben, lediglich in einen anderen Aggregatzustand oder in solvatisierten Zustand überführt werden.

„Vorgänge, bei denen Stoffe in andere, neue Stoffe umgewandelt werden, nennt man chemische Reaktionen. Sie sind etwas grundsätzlich anderes als physikalische Vorgänge, wie z. B. das Zerkleinern, Schmelzen und Destillieren, bei denen sich zwar Form und Aggregatzustand eines Stoffes ändern können, der Stoff selbst jedoch erhalten bleibt.“ (FLADT, nach BARKE, 2004, 46)

Fachlich gesehen ist diese strenge Trennung – etwa für Lösungsphänomene – nicht aufrecht zu erhalten. Die Trennung der Begriffe aus fachdidaktischer Sicht und aus fachwissenschaftlicher Sicht ist in den vergangenen Jahren neu geführt worden. (vgl. BARKE et al. 2004, BARKE, HARSCH (2001) FLADT 2002, EILKS et al. 2002). Gründe für die Trennung liegen auf der Modellebene, so dass die Konzepte diese Ebene in der Folge dargestellt werden. Auf die Problemstellung wird anschließend nochmals eingegangen.

„Was sind Teilchen?“ Was passiert mit ihnen bei chemischen Reaktionen?

Sinngemäß sind Teilchen der kleinste Bestandteil eines materiellen Ganzen.

Naturwissenschaftler gehen davon aus, dass Teilchen, also elementare Einheiten des submikroskopischen Bereichs Stoffe bilden. Wie sind diese Bausteine der Stoffe geartet, welchen Zweck hat diese Annahme? Ein Blick in ein Chemielexikon unter dem Index „Teilchen“ ist sehr gut geeignet, um das grundsätzliche Problem des Teilchenbegriffs darzustellen:

(Korpuskel, Partikel). Im mikrophysikalischen Sinne Bezeichnung für alle Elementarteilchen einschließlich der Photonen und imaginärer Teilchen wie der Quarks, (...) im erweiterten Sinne auch für Atomkerne, Atome, Moleküle und Ionen, deren physikalische Eigenschaften nur im Rahmen der Quantentheorie beschrieben werden können. (...)

Im makrophysikalischen Sinne bezeichnet man mit Teilchen sehr kleine, aus vielen Molekülen zusammengesetzte Körper wie etwa Staub oder Schwebstoffe in Gasen und Flüssigkeiten. Partikuläre Materie: 6,022 (Avogadro'sche Zahl) identischer Teilchen sind ein Mol, die Grundeinheit der Stoffmenge. Die Zahl der Teilchen in einer Stoffportion lässt sich mittels ihrer kolligativen Eigenschaften bestimmen. (...) (RÖMPP (1996) Schlagwort Teilchen)

Das Verbindende an den Definitionen ist: Teilchen sind immer Entitäten, Objekte einer größeren Einheit (Teilchen als Körnchen, Teilchen als Atome, Teilchen als Atombestandteile). Teilchen ist demnach ein konzeptueller Oberbegriff. Beim o.g. Definitionsversuch wird in den mak-

2. Die Fachliche Klärung

ro- und mikroskopischen Geltungsbereich unterschieden. Deren Einhaltung gelingt aber nicht, was die Nennung der Avogadrokonstante im o. g. Zusammenhang verdeutlicht; Die Geltungsbereiche liegen „so nah beieinander“, dass selbst innerhalb dieser Doppeldefinition Teilchen uneindeutig definiert sind. Der Modellaspekt wird in keiner Weise aufgegriffen. Der als mikroskopische Bereich bezeichnete Beschreibungsabschnitt selbst zeigt verschiedene Ebenen auf, die alle Modellenebenen – z.T. auf mathematischen Beschreibungen fußend- sind.

Welche Facetten des bisher skizzierten Gebietes und Ebenen des Teilchenkonzepts werden für die *didaktische Strukturierung* benötigt? Die weitere Analyse des fachwissenschaftlichen Teilchenbegriffs erfolgt vor der Fragestellung des didaktischen Nutzens für den Anfangsunterricht. Der relevante Ausschnitt für die didaktische Rekonstruktion richtet sich auf den sog. klassischen Teilchenbegriff. Ich werde der Chronologie der Terminusentwicklung folgen, detailliertere Betrachtungen des subatomaren Bereichs und quantenmechanische Inhaltsausschnitte entfallen aufgrund der Zweckgebundenheit.

Der klassische Teilchenbegriff fußt auf der philosophisch motivierten Atomhypothese.

Das klassische Konzept von *Teilchen* lässt sich zurückführen auf naturphilosophische Betrachtungen der griechischen Antike. Die griechischen Philosophen LEUKIPP und DEMOKRIT (460-400 v. Chr.) – letzterer ein Schüler des LEUKIPP in Abdera- stellten als erste das Postulat auf, dass die Materie aus vorgebildeten Grundbausteinen aufgebaut sein könnte.⁸ Nach ihrer Auffassung seien die Atome unteilbar (= griechisch *ατομος*, *atomos*), unveränderlich und unsichtbar klein, alle Atome bestünden aus demselben Urstoff. Die Entstehung aller Dinge sei auf die Verbindung von Atomen, die sich im leeren Raum bewegen, zurückzuführen. Sie erklärten das Vergehen der Dinge, indem sich die Atome wieder trennten. Den Atomen, die Grundsteine alles Seienden, gestand DEMOKRIT Verschiedenheit an *Gestalt*, *Umfang*, *Größe* und *Anordnung* zu. Glatte Gegenstände sollten beispielsweise aus runden Atomen, raue eher aus eckigen Atomen aufgebaut sein. Die Leere, das Nichtseiende, war für Prozesse der Veränderung unablässig.⁹

„(...) Die Atome, so muss man annehmen, beanspruchen keine Qualität der wahrgenommenen Körper für sich außer Gestalt, (Schwere, Anm.: erst durch EPIKUR, siehe weiter), Größe und all dem, was aus Notwendigkeit mit „gestalt“ gesetzmäßig verbunden ist. Denn jede Qualität wandelt sich; die Atome aber wandeln sich nicht, insofern doch etwas beharren muss in den Auflösungen der Verbindungen, etwas Hartes und Unauflöseliches, das seine Wandlungen ebenso wenig ins Nichtseiende zustande bringt wie aus dem Nichtseienden, sondern in der Regel durch Umgruppierungen, in manchen Fällen auch durch Zugänge oder Abgänge. Daher sind notwendigerweise sich umgruppierenden Elemente (Atome) unvergänglich und besitzen nicht die Struktur dessen, was sich wandelt“.
(JANSEN 1986, 35)

LEUKIPP hielt wohl die Kleinheit der Atome für den Grund der Unteilbarkeit, DEMOKRIT hingegen aufgrund ihrer Beschaffenheit und Kompaktheit: Da alle Atome aus einheitlicher Ursubstanz bestünden, sei kein Atom in der Lage, ein anderes zu zerbrechen. Die Bewegung – es ist widersprüchlich, ob sie eine Atomeigenschaft selbst ist oder ob sie extern initiiert sei - ist Ursache für jedwede wahrnehmbare Veränderung.

„Denn über den letzten Grund will ich zu sprechen beginnen, will zeigen der Dinge Atome, aus denen alles Natur erschafft, in die zugleich sie wieder vernichtet und auflöst. (...)“

⁸ Die Entwicklung und Beschreibung der Atomidee ist umfangreich vor dem Hintergrund grundsätzlicher philosophischer Betrachtungen (Wahrheit, Seinsfrage, Vergehen und Konstanz als Realitätsphänomene oder Illusion) dargestellt, (z.B. in VOS, DE 1990, SCHÜTT 1976 in WENINGER 1976, 73-84).

⁹ Welchen Teil seiner Lehre DEMOKRIT von seinem Lehrer LEUKIPP übernommen hat und welchen er selbst beigetragen oder verändert hat ist nicht bekannt, da lediglich Fragmente der Werke vorhanden sind.

2. Die Fachliche Klärung

Ferner spüren wir der Dinge verschiedene Gerüche, aber sehen doch nie zur Nase sie steigen vor Augen. Schließlich: das Kleid, das aufgehängt ist am umbrandeten Strande, füllt sich mit Feuchte, es trocknet das selbe in strahlender Sonne. Doch wurde weder, wie fest sich setzte die Feuchte des Wassers, noch wiederum gesehen, wiefort sie floh ob der Hitze. Also wird versprengt in kleinste Teilchen die Feuchte, welche das Auge in keiner Weise vermag zu sehen“ LUKREZ, römischen Naturphilosoph 100-55 v. Chr. (JANSEN 1985, 36)

Wahrnehmung ist nach dieser Schule auf die Wechselwirkung mit den Sinnesorganen zurückzuführen: die Farbe eines Stoffes wird durch Gestalt, Lage und Anordnung der Atome hervorgerufen, die Atome selbst seien farblos. Allerdings werden Merkmale des Erscheinungsbildes auch auf die Atome übertragen, wenn DEMOKRIT von scharfen und spitzen Atomen für das Feuer, und stumpfen für das Wasser berichtet. DEMOKRIT wendete seine Theorie auf sämtliche Bereiche des Lebens an, auch auf die geistigen, die Seele bestünde ebenfalls aus einer besonderen Sorte kleiner, runder Atome, die im Tode versprengt werden, sodass die Seele zerstört werden würde.

Der Atomismus von LEUKIPP und DEMOKRIT wurde z.B. von der Schule EPIKURS (341-271 v. Chr.) aufgegriffen, verändert und in Griechenland bis ins antike Rom des 1. Jh. nach Chr. verbreitet.

DEMOKRIT und LEUKIPP postulierten ein submikroskopisches *Diskontinuum, eine Grenze in Teilbarkeit und Vergänglichkeit*. Dieses Diskontinuum aller Stoffe entspricht nach heutigem Verständnis den Atomen von elementaren einatomigen Strukturen einerseits, andererseits auch den Atomaggregaten wie Molekülen usw.

Ein zentraler Punkt des Atomismus von LEUKIPP und DEMOKRIT war die Existenz des leeren Raumes, in dem sich die Atome bewegen sollten. Neben den absoluten „vollen“ Materieteilchen, den Atomen, existiert das absolut „Leere“, das Vakuum. Dies war fundamental für die Akzeptanz des Atomismus.

Andere wichtige Philosophen wie PLATON und ARISTOTELES lehnten den Atomismus mehr oder weniger deutlich ab. Sie arbeiteten mit der vier Elemente- Hypothese (Feuer, Wasser, Erde, Luft, *siehe z.B. BROCK 1997*), die bei PLATON mathematisch- geometrisch gekennzeichnet war, bei ARISTOTELES eher physikalisch-kosmologisch. Der Hauptgrund für diese Ablehnung war, dass sie die Existenz des "nicht seienden", also des leeren Raumes, leugneten („horror vacui“). PLATONS Philosophie nach sei die chaotische Urmaterie nach mathematischen Prinzipien geordnet (durch Demiurg). Die vier Elemente, die zusammengesetzt alle Formen der Materie bilden, bestünden selbst aus geometrischen Formen, die als Teilchen, aber nicht als Atome im DEMOKRITischen Sinne bezeichnet wurden; aus mathematischen - nicht materiellen - Formen, ließen sich Feuerteilchen, Wasserteilchen etc. konfigurieren. (aufbauend auf die Elementideen THALES, ANAXIMENES UND HERAKLITS) Die Beschreibung von Wahrheit und Wirklichkeit ließ PLATON streng auf mathematische Beziehungen zurückführen.

Die ARISTOTELESISCHE Minima-Naturalia-Lehre steht ganz im Gegensatz zu den Annahmen der (DEMOKRITischen) Atomisten. So wie eine kontinuierliche Linie *nicht* durch das Angrenzen diskreter Punkte entstünde, würden auch Kontinua wie die Linie in immer weiter teilbare Stücke zerteilt werden können. Er definiert das Kontinuum

„als eine ans ganze gegebene Größe, die unbegrenzt teilbar ist, d.h. soweit man mit der Teilung auch kommt, man stößt prinzipiell niemals auf letzte Teile, auf unteilbar zusammengesetzte Einheiten. Wie klein man die Teile auch macht, sie sind weiter teilbar und zwischen allen beliebigen Teilen befindet sich wiederum unbegrenzt Teilbares. (ARISTOTELES, zitiert nach JOHANNMEYER 2004, 21)

Damit nahm er an, dass teilbare kleine Teilchen (minima naturalia) alle Qualitäten des Stoffes besäßen.

2. Die Fachliche Klärung

Diese Lehre der Konstanz stofflicher Qualitäten ist möglicherweise zusammen mit Fragmenten seiner Annahmen durch Berufung auf ARISTOTELES im Mittelalter (AVERROES 1126-98) SENNERT (1572-1638) auf den *Atomismus* übertragen worden. Nach dieser (novellierten) Lehre des ARISTOTELES sind die Teilchen lückenlos gepackt: ein strukturiertes Kontinuum des Urstoffs Protyl bildet Stoffe. Die Annahme von *minima naturalia* bedeutete für den Ablauf chemischer Reaktionen, dass nicht wie DEMOKRIT ein Neuarrangement unveränderlicher Atome angenommen wurde, sondern dass auch die *minima naturalia* ihr Aussehen entsprechend der stofflich-phänomenologischen Beobachtungen veränderten.

ARISTOTELES sieht Materie selbst als passiv an und gibt als Pendant zum Kriterium der Bewegung das Wirken einer Gottheit als Ursache für die Veränderungen gemäß der Elementelehre an. Er spricht sich deutlich gegen die Lehren DEMOKRITS u.a. zum Unendlichen aus. Der Schule des EPIKUR ist die Verbreitung des Atomismus zuzuschreiben (JANSEN 2003). Er überarbeitete die Annahmen des Demokritischen Atomismus dahingehend, dass die Masse und die Unsichtbarkeit explizit Teile der Lehre wurden. Die Wahrnehmung verstand er als Wechselwirkung (Strömung von Atomen) mit den Sinnesorganen. EPIKUR'S Lehre kam ohne Gottheit aus. Im Zuge des Mittelalters nahm allerdings der DEMOKRITISCHE Atomismus zu Gunsten der ARISTOTELESCHEN Vier-Elemente-Lehre eine randständige Position ein.

Die Herleitung von unteilbaren Grundbausteinen, die die Vielfalt unserer stofflichen Welt bilden, erfolgte aus rein philosophischer Perspektive, war eingebettet in Seins- und Wahrheitsfragen. Für die Annahmen gab es keine experimentellen Befunde. Die Eigenschaften der Teilchen oder Atome aus dieser Tradition waren verschieden: mal rein mathematisch-geometrisch, mal korpuskulär (Massenpunkte), mal von stofflicher Qualität. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass der Begriff des Atoms für eine nicht wahrnehmbare Entität steht, die durch die Eigenschaften *unteilbar, bildend und unveränderlich* charakterisiert ist.

DALTON reaktiviert den Atombegriff – das naturwissenschaftliche Fundament des Atomkonzepts

Die DEMOKRITISCHE Lehre der Atome erlebte ein Comeback im Beginn der Neuzeit mit der Epoche der Renaissance. Hier ist der Übergang von einer philosophischen Postulierung zu Hypothesenbildung auf Basis naturwissenschaftlicher Experimentierreihen und Theoriebildung. JOHN DALTON wird heute als Begründer der neuen, *naturwissenschaftlichen Atomhypothese* angesehen. Hierfür gab es geistige Wegbereiter, die die ARISTOTELESISCHE Lehre (z.B. hinsichtlich des Materiebegriffs und der Tatsache, dass es kein Vakuum geben könnte) in Zweifel zogen und deren Erkenntnisfortschritte gut für den Rückgriff auf die atomistische Lehre sprachen. Dies sei hier nicht im Einzelnen aufgeführt.

DALTON arbeitete ursprünglich zur Physik der Gase, nahm sich dann grundsätzlich der Frage der Beschaffenheit der Atome an. Seine 1803 entwickelte *Theorie der Atome* systematisierte er in *A new System of Chemical Philosophy (1808, Teil 1)* soweit, dass die Gesetzmäßigkeiten des Ablaufs chemischer Reaktionen wie das Gesetz von der Erhaltung der Masse (BOYLE 1673, LAVOISIER 1774, LOMONOSSOW 1756) und das Gesetz der konstanten (PROUST 1799) und multiplen Proportionen (DALTON 1808) verbindend und systematisch abgehandelt und auch die Elementdefinition JUNGIUS und LAVOISIERS aufgegriffen werden konnten: Er deutete die Ergebnisse und Erkenntnisse der stofflichen Welt mit der Existenz von Atomen (vgl. JANSEN 1986).

„Die chemische Synthese und Analyse geht nicht weiter als bis zur Trennung der Atome, und ihrer Wiedervereinigung. Keine Neuerschaffung oder Zerstörung des Stoffes liegt im Bereich chemischer Wirkung. Wir können ebenso wohl versuchen, einen neuen Planeten dem Sonnensystem einzuverleiben, oder einen vorhandenen zu vernichten, als ein Atom Wasserstoff zu erschaffen oder zu zerstören. Alle Änderungen, die wir hervorbringen, be-

2. Die Fachliche Klärung

*stehen aus der Trennung von Atomen, welche vorher im Zustande der Kohäsion oder Verbindung waren und in der Vereinigung solcher, welche vorher getrennt waren. Wir können daher schließen, dass die letzten Theilchen aller homogenen Stoffe völlig gleich in Gewicht, Gestalt sind. Mit anderen Worten, jedes Atom Wasser ist gleich jedem Atom Wasser: jedes Atom Wasserstoff ist gleich jedem anderen Atom Wasserstoff.*¹⁰ (aus JANSEN 1990, 9)

Seine Annahmen waren:

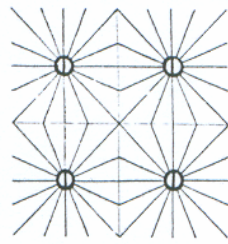
- Atome sind unveränderlich.
- Sie haben eine bestimmte Masse und Größe, sie sind von kugeliger Gestalt.
- Die Atome eines chemischen Elements sind untereinander gleich, sie unterscheiden sich in Größe und Masse von denen anderer Elemente.
- Sie bleiben bei chemischen Reaktionen erhalten.
- Sie treten in ganz bestimmten einfachen Zahlenverhältnissen zu Verbindungen zusammen.

Die DALTONSCHEN Atome unterliegen den Gesetzen der Mechanik, d.h. sie sind idealisiert einfache Massenpunkte, mechanische Körper im Kleinen (MIKELSKIS-SEIFERT 2002). Diese Auffassung wurde bis zum Ende des 19.Jh akzeptiert - bis zur Differenzierung des Atommodells aufgrund neuer experimenteller Befunde. DALTONS Modellvorstellung enthielt allerdings neben den genannten und heute „extrahierten“ Merkmalen weitere Qualitäten:

„Außer der Kraft der Anziehung, welche allgemein allen ponderabeln (Anm.: fassbaren, wägbaren) Körpern angehört, finden wir eine andere, eben so allgemeine Kraft, deren Wirksamkeit jede uns bekannte Materie unterworfen ist, nemlich die Kraft der Repulsion Diese wird nun allgemein, und ich glaube mit Grund, der Wirksamkeit des Wärmestoffs zugeschrieben. Eine Atmosphäre dieser feinen Flüssigkeit umgiebt beständig die Atome aller Körper und verhindert sie, in wirkliche Berührung zu kommen. Dieses scheint dadurch auf eine genügende Art dargethan zu werden, daß das Volumen eines Körpers vermindert wird, wenn man ihm etwas von seinem Wärmestoff entziehet. Nach dem, was aber im letzten Abschnitte festgesetzt wurde, scheint aber die Erweiterung oder Verminderung des Volumens wohl mehr von der Anordnung, als von der Größe der letzten theilchen abhängen. Dem sey jedoch, wie ihm wolle, so können wir nicht umhin, aus der vorhergehenden Lehre vom Wärmestoff und besonders aus dem, was in dem Abschnitte über das natürliche Zero der Temperatur gesagt wurde, zu schließen, daß feste Körper eine Menge Wärmestoff vielleicht 4/5 desjenigen enthalten, welches dieselben Zustände elastischflüssiger Körper, z.B. Wasserdunst, besitzen.“ (DALTON, zitiert nach BÜHLER et al. 1998, 9)

Dieser Beschreibung nach umgibt die Atome ein Medium (vgl. Abb. 2.3). Wärme wurde damals nicht ausschließlich als energetische Erscheinung verstanden. Veränderung im Aggregatzustand und Wärmetausch zwischen System und Umgebung wurden gedeutet als Prozesse, die auf eine stoffliche Qualität basieren (Austausch des Wärmestoffes).

¹⁰ In DALTONS Beschreibungen werden die Begriffe *kleinstes Teilchen* und *Atom* synonym verwendet (vgl. z.B. JANSEN 1986, 1990).



Man nimmt an, dass der Wärmestoff ein sehr leichtes Gas ist. Alle Teilchen sind von einer Gashülle aus Wärmestoff, einer Wärmeatmosphäre, umgeben. Sie verhindert, dass sich die Teilchen wirklich berühren.

Abb. 2.3: DALTONS Wärmestoff – eine duale Sicht von Stoffen und Atomen (aus: Klett-Verlag, 1998: 9)

Dies bedeutet, dass die Teilchen bzw. - Atomebene mit der Stoffebene vermischt wird, um das Atommodell für den beschriebenen Zusammenhang anwendbar zu machen. Der Raum zwischen den Atomen ist demnach nicht leer, der Grundgedanke der Diskontinuität wird durch ein umgebendes Kontinuum deutlich eingeschränkt: es entsteht ein Teilchen- in- Kontinuum-Bild, eine Vorstellung, die auch in der Analyse der Schülerperspektive auftauchen wird (vgl. Kap. 3).

Das wirklich revolutionäre an DALTONS Hypothesen ist der in der Aufzählung der Merkmale an fünfter Stelle genannte Punkt über die festen Zahlenverhältnisse der Atomaggregate. DALTON arbeitete ihn in der Weise heraus, dass er den Elementen relative Atommassen zuwies; die experimentellen Ergebnisse über die konstanten Proportionen sowie über die multiplen Proportionen wurden dann *erklärbar*. Chemische Reaktionen werden im DALTONSchen Atommodell verstanden als Neugruppierungen von Atomen zu neuen Konglomeraten.

Bis hier wird deutlich, dass die Frage „Was sind *Teilchen*“ mit den Annahmen über *Atome* beantwortet wurden. Der Teilchenbegriff - der Begriff für die diskontinuierliche Konstitution der Stoffe – wurde mit dem Atombegriff gleichgesetzt.

DALTON prägte mit Hilfe seiner Atomhypothese den *Elementbegriff* im Sinne von *Atomsorten*. Für die Anwendung seiner Atomtheorie auf chemische Reaktionen setzte er – wie sich aus folgender Angabe (vgl. Abb. 2.4) interpretieren lässt – den Atombegriff mit dem -heute gesetzten Teilchenbegriff gleich:

Seien *A* und *B* zwei Stoffe, welche sich zu verbinden vermögen, so findet folgende Ordnung statt, nach welcher die Verbindung stattfinden kann, mit der einfachsten beginnend, nämlich:

1 Atom von *A* + 1 Atom von *B* = 1 Atom von *C*, binär,
 1 Atom von *A* + 2 Atome von *B* = 1 Atom von *D*, ternär,
 2 Atome von *A* + 1 Atom von *B* = 1 Atom von *E*, ternär,
 1 Atom von *A* + 3 Atome von *B* = 1 Atom von *F*, quaternär,
 3 Atome von *A* + 1 Atom von *B* = 1 Atom von *G*, quaternär u. s. w.

Die folgenden allgemeinen Regeln mögen als Führer bei all unseren Untersuchungen über chemische Zusammensetzung angenommen werden.

1. Wenn allein eine Verbindung zweier Stoffe erhalten werden kann, so muss vermuthet werden, dass sie eine binäre ist, wenn nicht ein Grund für das Gegentheil spricht.
2. Werden zwei Verbindungen beobachtet, so können wir erwarten, dass eine eine binäre, die andere eine ternäre ist.
3. Werden drei Verbindungen erhalten, so ist die eine als binär, die beiden andern als ternär anzusehen.

Abb.2.4: DALTONS Unterteilung der Verbindungen (zitiert nach JANSEN 1990, 11)

2. Die Fachliche Klärung

Verbinden sich ein Atom A und ein Atom B, so entsteht dadurch ein Atom C, welches binär gebaut ist. Damit ist das Diskontinuum des Produkts, dass aus zwei unterschiedlichen Diskontinua bestehen muss (nämlich aus den Atomen der Sorte A und B) von anderer Qualität – was DALTON mit dem Adjektiv binär betont. Er wendet darauf aber ebenfalls den Begriff Atom an, obwohl die Eigenschaften *unteilbar* und *unveränderlich* hierauf in ursprünglicher Form nicht mehr zutreffen - die Reaktion kann umgekehrt werden. Hier erfährt der Atombegriff also eine Unschärfe. Aus heutiger fachlicher Sicht stehen dafür die Begriffe Molekül, Elementarzelle, Formeleinheit u.a.m. zur Verfügung.

Im selben Zuge verwendet DALTON den Begriff der kleinsten Teilchen, der nur zu verstehen ist, wenn man ihn als Synonym für binäre, ternäre usw. Atome deutet. Für die Synthese des Sumpfgases und des ölbildenden Gases (Methan und Ethen) gab er beispielsweise Massenverhältnisse für die „kleinsten Theilchen der Stoffe“ an (vgl. Abb. 2.5).

Verhältniss der Gewichte der kleinsten Theilchen von gasförmigen und andern Körpern.

Wasserstoff	1	Oxydirtes Stickgas	13,7
Stickstoff	4,2	Schwefel	14,4
Kohlenstoff	4,3	Salpetersäure	15,2
Ammoniak	5,2	Schwefel - Wasserstoff	15,4
Sauerstoff	5,5	Kohlensäure	15,3
Wasser	6,5	Alkohol	15,1
Phosphor	7,2	Schweflige Säure	19,9
Phosphor - Wasserstoff	8,2	Schwefelsäure	25,4
Salpetergas	9,3	Kohlen - Wasserstoff	
Aether	9,6	(Sumpfluft)	6,3
Gasförmiges Kohlenstoff- oxyd	9,8	Ölbildendes Gas	5,3

Abb. 2.5: Relative Massen der Atome und Teilchen nach DALTON (zitiert nach JANSEN 1986, 10)

Historisch gesehen ist eine Vermischung der Begriffe aufgrund fehlender Kenntnis von Elementen, von Ergebnissen einer qualitativen und quantitativer Analyse sowie dem Fehlen weiterer Modelle zur Strukturbeschreibung von Verbindungen nachvollziehbar.

Kleinste Teilchen und *Atome* werden synonym verwendet und haben dadurch keine Trennschärfe. Heute besitzen wir geeignete Modelle, um zwischen dem einfachen Teilchenbegriff im Sinne der diskontinuierlichen Entität und den differenzierteren Strukturen wie den Atomen, Molekülen, Ionen zu unterscheiden. Herauszustellen ist, dass die fachliche Begriffsgenese des *Teilchens* über die Genese des *Atoms*begriffs verläuft - beginnend mit der naturphilosophischen Betrachtung in der Antike, aufbauend mit der naturwissenschaftlichen Theoriebildung über die *Deutung von chemischen Reaktionen*.

Teilchen in der Schulchemie

Diese Vermischung des Begriffs Teilchen und dem Atombegriff ist im Ergebnis in der Schule aufrechterhalten worden:

„Es hat sich in der Sekundarstufe I bewährt, Atome und Moleküle zunächst nicht zu unterscheiden, beide werden als Teilchen bezeichnet. Chemische Reaktionen sind nach dieser Terminologie als Umgruppierungen von Teilchen zu interpretieren.“ (BODE 1999, 2)

Vergleichend wird die Begriffsentwicklung im Chemieunterricht aufgezeigt.

Sie folgt dem historischen Gang nicht, denn sie verwendet zur Einführung des Diskontinuums nicht die Interpretation chemischer Reaktionen, sondern Aggregatzustandsänderungen und Löslichkeitsphänomene. Auf diese Weise wird ein Teilchenbegriff geprägt, der die Qualitäten des vorgebildeten Bausteins aufgreift, aber der noch nicht mit dem Atombegriff im DALTONSchen Sinne in Verbindung steht.

Viele Schulbücher (*ASSELBORN et al. 2001, EISNER et al. 2004, TAUSCH, VON WACHTENDONK 1996, ARNOLD et al. 2008*) führen die Teilchenvorstellung über die Ethanol-Wasser-Volumenkontraktion,¹¹ über den Lösungsvorgang oder die Aggregatzustandsänderungen von Wasser oder Brom oder der Bromdiffusion ein:

¹¹ Dass es sich bei der Volumenkontraktion eher um eine Ausnahme handelt, die auf intermolekulare Wechselwirkungen zurückzuführen ist, ist bekannt. Die Angemessenheit der didaktischen Funktion des Experiments ist breit diskutiert worden und wird hier ausgeblendet.

Der Lösungsvorgang von Iod in Alkohol

Teilchen haben folgende Eigenschaften:

Das Teilchenmodell

1. Materie besteht aus kleinsten Teilchen. Der Raum zwischen den Teilchen ist absolut leer.
2. Die Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden sich in ihrer Größe.
3. Zwischen den Teilchen wirken Anziehungskräfte.
4. Die Teilchen sind ständig in Bewegung.
5. Mit steigender Temperatur bewegen sich die Teilchen heftiger.
6. In Feststoffen haben die Teilchen eine bestimmte Anordnung; sie sind dabei dicht gepackt und schwingen um ihre Plätze. In Flüssigkeiten bewegen sie sich ungeordnet, berühren sich aber gegenseitig. Bei Gasen sind die Anziehungskräfte überwunden. Die Teilchen bewegen sich sehr schnell und stoßen wie Billardkugeln zusammen. Die Abstände zwischen den Teilchen sind sehr groß.

Volumenänderung beim Mischen

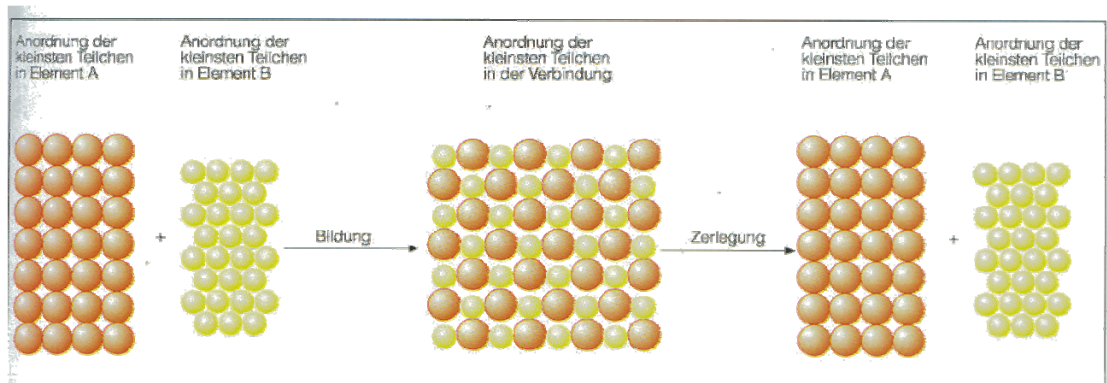
Abb. 2.6 a, b, c: Elemente aus der Einführung nach ASSELBORN et al. 2001, 23, 28, 29 im Ergebnis haben Teilchen die im Kasten genannten Eigenschaften

Die Eigenschaft *kugelig* ist der Normalfall, in Anlehnung an die Kugeligkeit der Atome, sie wird nur in Einzelfällen vermieden (vgl. auch EILKS et al. 2001). Wenn Sie genutzt wird, wird keine Begründung für diese Wahl gegeben. In allen Fällen sind die stofflichen Beispiele, die gewählt wurden, Verbindungen; Auf der Modellebene handelt es sich um zusammengesetzte Teilchen. Es spielt an dieser Stelle keine Rolle, ob Teilchen weiter untergliedert werden können oder

2. Die Fachliche Klärung

nicht; sie sind im DEMOKRITischen Sinne letzte Teilstücke oder die kleinsten repräsentativen Einheiten, die die Stoffe bilden. Damit ist das Teilchenmodell als Vorstellung eines einfachen Diskontinuums in sich vorerst konsistent. Das DALTONSche Atommerkmal der *Unveränderlichkeit* ist hier selbstverständlich unberücksichtigt.

Von Interesse ist die spätere Anknüpfung. Nach Einführung des Teilchenmodells ergibt sich bei der Einführung der chemischen Reaktion die grundlegende Schwierigkeit in der Begriffsschärfe, die bereits bei der Begriffsverwendung von DALTON auftrat: Wird für den diskontinuierlichen Bau der Materie der Begriff *Teilchen* eingeführt und anschließend undifferenziert auf chemische Reaktionen übertragen, so entsteht die widersprüchliche Aussage, dass chemische Reaktionen als Umgruppierungen der kleinsten Teilchen beschrieben werden (z.B. EISNER et al. 2004, Abb. 2.7a verwendet den Begriff *Teilchen* für *Atome*). Bei chemischen Reaktionen blieben die Teilchen der Edukte demnach erhalten. Dies lässt sich anwenden auf einfache Verbindungssynthesen wie die der Metalloxide oder Sulfide aus elementaren Stoffen, deren kleinste repräsentative Einheiten die jeweiligen Atomsorten sind. Man findet in vielen Schülebüchern folgende Interpretationen auf Teilchenebene (vgl. Abb. 2.7.a-c):



B1 Einfache Modellvorstellung zur chemischen Reaktion. Mit dem Teilchenmodell lässt sich die chemische Reaktion als Umgruppierung der kleinsten Teilchen deuten

Abb. 2.7a: EISNER et al. (2004), 63, gemeint sind Atome

Wir können das erklären, wenn wir annehmen, dass die kleinsten Teilchen, aus denen die Stoffe bestehen, bei der chemischen Reaktion nicht vernichtet werden. Bei einer chemischen Reaktion gruppieren sich Teilchen um.

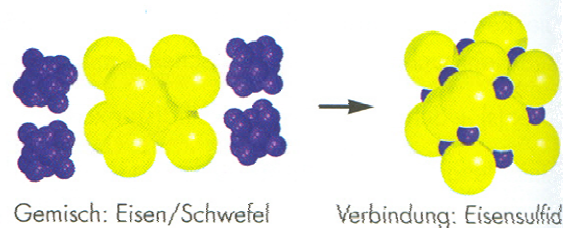


Abb. 2.7b: Tausch/v. Wachtendonk (1996), 38

2. Die Fachliche Klärung

Es wird zum Verständnis des Sachverhaltes der Abbildung 2.7a und b vorausgesetzt, dass die verwendeten Stoffe aus Einzelatomen im DALTONSchen Sinne anzusehen sind, die sich systematisch zu Verbindungen umordnen.

Der Geltungsbereich dieser Modelle ist eingeschränkt auf die Reaktion von Elementen, ohne dass dies auch in der Definition erkenntlich ist. Wenn als Edukteilchen beispielsweise Zucker-Wasser und andere heterogene Teilchen vorliegen, ist die Deutung ungeeignet. Abbildungen beziehen sich aber implizit auf die vormalig eingeführten einfachen Diskontinuumsteilchen, denn die Lehrbuchtexte stellen auch nichts anderes heraus. ASSELBORN et al. (2001) wählen beispielsweise den Weg, bei welchem sie in einem Kapitel das Modell kleinster Teilchen als Diskontinuum einführen und drei Kapitel weiter im Vorfeld der Einführung der chemischen Reaktion eine Seite zur Einführung des DALTONSchen Modells geboten wird, die auf die vormaligen Informationen und auf den Begriff des Teilchens *nicht* eingeht. Auf diese Weise können Lehrkräfte den Einsatz der Begriffe und der Schulbuchinformationen zwar flexibel gestalten, aber eine in sich konsistente Konzeptentwicklung wird damit nicht geboten.

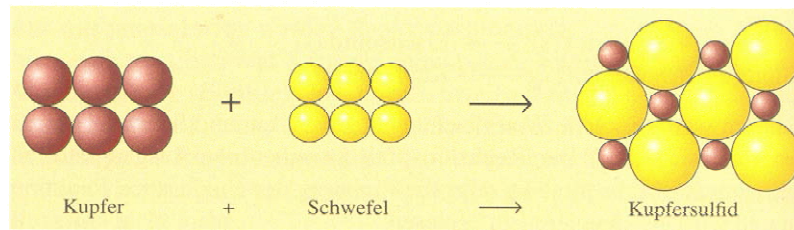
In anderer Weise arbeiten z.B. EISNER et al (1995, 2004, vgl. auch Abb. 2.7a). Sie führen das erste Diskontinuum mittels Teilchen ein und behalten *diesen Begriff* dann bei. Während man bei ASSELBORN et al vom Umgehen des Problems sprechen kann, wird hier ein Widerspruch erzeugt. Die Beispiele der Teilchen (Wasserteilchen, Zuckerteilchen, Alkoholteilchen) aus den vorherigen Kapiteln dürfen mit den Teilchen des Kapitels zu den chemischen Reaktionen nicht in Verbindung gebracht werden. Die in den Abbildungen dargestellte Deutung ist zum ursprünglichen Teilchenmodell nicht anschlussfähig: wenn Teilchen für einen Stoff charakteristisch sind, dann können die Teilchen eigentlich nicht erhalten bleiben, die Ausgangsstoffe müssten dann ebenfalls subtil noch vorliegen. Wenn bei chemischen Reaktionen neue Stoffe mit anderen Eigenschaften entstehen, müssen auch andere Teilchen diese Stoffe bilden.

Allerdings können alle Annahmen DALTONS auf die bildlichen Deutungen schlüssig angewendet werden: das DALTONSche Atommodell wird hier verwendet, ohne es als solches zu benennen.¹²

ARNOLD et al. (2008, vgl. Abb. 2.7c) verwenden in der Veranschaulichung die Begriffe Atom oder Teilchen gar nicht und erklären:

¹² (Im Vergleich zur historischen Genese ist hier demnach der „umgekehrte Fehler“ gemacht worden)

Modellvorstellungen zur chemischen Reaktion An der chemischen Reaktion von Kupfer mit Schwefel soll betrachtet werden, was mit den Teilchen der Stoffe geschieht.



3 Modellvorstellung zur Reaktion von Kupfer mit Schwefel

In den Ausgangsstoffen Kupfer und Schwefel sind die kleinsten Teilchen in unvorstellbar großer Anzahl vorhanden und regelmäßig angeordnet. Sie werden durch starke Anziehungskräfte im jeweiligen Teilchenverband zusammengehalten. Bei der Bildung neuer Stoffe gruppieren sich die Teilchen der Ausgangsstoffe um und halten verändert zusammen. Auch die Rückgewinnung des Kupfers aus Kupferoxid ist so vorstellbar. ↑E.9S.73

Bei chemischen Reaktionen bilden sich aus den Teilchen der Ausgangsstoffe die Teilchen der Reaktionsprodukte.

Abb. 2.7c: ARNOLD et al. (2008), 78

Auch hier sind Atome gemeint, die Darstellung berücksichtigt darüber hinaus eine Veränderung der Atome (Radius), über die im Text nichts genannt wird. Damit ist unklar, was genau die Teilchen des Produkts sind: die geordnete „Mischung“ der vorherig getrennten Teilchen oder die Veränderung derselben? Auch MIKELSKIS-SEIFERT (2002), die in ihrer Dissertation eine ausführliche Schulbuchkritik und eine Aufarbeitung des Teilchenbegriffs aus erkenntnistheoretischer Sicht leistet, weist auf Probleme mit der „Gleichsetzung“ der Begriffe hin.

„Durch die Vermengung von Teilchen- und Atommodellen besteht leicht die Gefahr, dass eine differenzierte Betrachtung der Schülerinnen und Schüler nicht möglich wird, da die Atommodelle dann häufig mit den Teilchenmodellen gleichgesetzt werden, (...).“ (LICHTFELDT, LABAHN nach MIKELSKIS-SEIFERT 2001, 15)

Das kann zur Folge haben, dass die Schüler die Begriffe Teilchen und Atom synonym verwenden. Auf diese Weise kann aber ein passendes, verallgemeinerbares Deutungsmodell chemischer Reaktionen geboten werden. Eine Präzision der Begriffe scheint also zur Entwicklung des Basiskonzepts notwendig zu sein.

Auf Seite 15 dieser Arbeit wird darauf hingewiesen, dass die Trennung zwischen den chemischen Reaktionen und physikalischen Vorgängen didaktisch kontrovers beurteilt wird. Der kritische Beitrag von BARKE und SCHMIDT (2004) bezieht sich sowohl auf die Unangemessenheit für die phänomenologische Ebene als auch für die Teilchenebene. Sie sprechen sich dafür aus, auch Aggregatzustandsänderungen, Legierungsbildungen, Modifikationsänderungen und Lösungsphänomene zu den chemischen Reaktionen zu zählen. Grund der Argumentation ist es, die Trennungsversuche definitorischer Art zu unterlassen. Sie stellen fest:

„Nach unserer Auffassung kommt es weniger darauf an, ob man Änderungen des Aggregatzustands und Modifikationsübergänge den chemischen Reaktionen zurechnet oder nicht - es sollten nur nicht Abgrenzungsversuche chemischer Reaktionen von physikalischen Vorgängen stattfinden. (...)

2. Die Fachliche Klärung

In der Folge bedeutet es für die Autoren allerdings:

„Schülern sollte man sagen, dass man alle stofflichen Veränderungen als chemische Reaktionen betrachten kann.“ (BARKE, SCHMIDT 2004, 48)

Für die stoffliche Phänomenologie werden oft „spezielle Beispiele“ – insbesondere die der Modifikationen (siehe weiter) oder Nebeneffekte (z.B. beim Eindampfen von Wasser und einer Kochsalzlösung die Reaktion und der Fällung von Calciumcarbonat innerhalb der Thematik des Siedens und Eindampfens als solche) als Gegenargumente herangezogen. Auch die Legierungen haben wenig didaktische Funktion. Sie als Mischungen zu verstehen, tut dem Lernerfolg *im Mittelstufencurriculum* keinen Abbruch. Die Lösungsphänomene sind von besonderer Bedeutung und bedürfen einer expliziten Berücksichtigung.

Die begriffliche Abgrenzung in eine *physikalische* und *chemische* „Schublade“ kann wohl für unnötig angesehen werden (siehe Zitat oben). Es ist aber didaktisch unerlässlich, Kriterien für die Ordnung der stofflichen Dynamik zu erarbeiten. Beispiele, Gemeinsamkeiten und Unterschiede chemischer Reaktionen von denen der anderen Phänomene der Stoffveränderung abzugrenzen, ist notwendig - auch wenn damit einhergeht, dass es Übergänge in diesem Ordnungssystem gibt, dass es „Ausnahmen von der Regel“ gibt, dass diese Kategorisierung qualitativer Art ist und nicht den Anspruch einer allgemeinen Gesetzmäßigkeit hat. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion für diese Diskussion angewendet lässt schlussfolgern, dass BARKE, SCHMIDT vornehmlich aus fachwissenschaftlicher Perspektive im Sinne einer Fachlichen Klärung des *Allgemeinen*, *Definitorischen* argumentieren, und weniger aus der Lernerperspektive. Jede didaktische Strukturierung, die die Lernerperspektive stärker berücksichtigt (z.B. Notwendigkeit der Ordnung, (begrenzte) Anwendbarkeit der Kriterien, Übergänge, Ausbaufähigkeit von Arbeitsdefinitionen) könnte aus fachlicher Sicht abgewiesen werden.

Bei Lösungsvorgängen von Salzen, und dies ist in der Lebenswelt eine bedeutsam große Zahl, handelt es sich, strukturell wie energetisch um Vorgänge, die den chemischen Reaktionen zugeordnet werden können. Trotzdem gruppiert man sie auch in der Fachdisziplin zur *einer* Gruppe innerhalb der unüberschaubaren Gesamtheit der stofflichen Veränderungen. Dass man sie nun *auch* als chemische Reaktionen bezeichnet, wird im Mittelstufenunterricht kaum didaktischen Nutzen haben. Auch BARKE und SCHMIDT, grenzen sodann auch wieder innerhalb der chemischen Reaktionen Gruppen ab, die z.B. als Lösungsvorgänge bezeichnet werden (vgl. *ebd.*, 48).

Die Lösungsvorgänge, respektive die der Salze, sollen hier besondere Beachtung erhalten, dahingehend, dass die Formulierung der Teilchenebene hier problematisch ist.

Grundsätzlich: „Reaktionen finden immer dann statt, wenn Teilchen verändert werden. Liegen noch identische Teilchen vor, hat keine chemische Reaktion stattgefunden.“ (vgl. z.B. EILKS 2002, SCHMIDT, PARCHMANN 2002) In umgekehrtem Verständnis, wenn Atome und Teilchen gleichgesetzt werden, muss formuliert werden: Die Teilchen bleiben erhalten, sie werden aber neu und anders als in den Edukten gruppiert.

Das Lösen von Molekülverbindungen macht mit dem einfachen Diskontinuumsmodell (z.B. auch mit kugeligen Teilchen) keine Probleme, es ist unterrichtlich konventionell, wie beispielsweise die Abbildung 2.6 zeigt. Das gleiche gilt im Übrigen für Aggregatzustandsänderungen für Molekülverbindungen, auch wenn BARKE und SCHMIDT hier argumentieren, dass

„(...) jedes Objekt durch die Wechselwirkung mit anderen mehr oder weniger tiefgreifend verändert wird, so dass gebundene und freie Teilchen nicht immer identisch sind.“ (ebd., 50)

Aufbauend auf die didaktische Prämisse, eine der oben genannten Teilchendefinitionen eingeführt zu haben, muss man feststellen, dass man für die Salze kein einheitliches Teilchen definie-

ren kann, das innerhalb von Phänomenen, die nicht als chemische Reaktionen im klassischen Sinne verstanden werden, erhalten bleibt.

Für den Bau der Stoffe kann man Teilchen mit der *kleinsten Formeleinheit, der Elementarzelle, Baugruppe* argumentieren, die wiederkehrend vorkommt und repräsentativ ist (Dies gilt beispielsweise auch für die Modifikation des Kohlenstoffs).

Sind chemische Reaktionen Vorgänge der Teilchenumgruppierung, dann

- ist das Lösen keine chemische Reaktion, wenn das *Teilchen* für das Atom (in diesem Fall das geladene Atom, Ion) steht, denn die Ionen werden – nach Kenntnissen des Lerner - nicht verändert.
- ist das Lösen eine chemische Reaktion, wenn das *Teilchen für die Baugruppe* steht, denn die Baugruppe wird getrennt (siehe weiter).¹³

Wie im historischen Weg liegt hier auf didaktische Weise ein Dilemma vor. Im Kapitel 4 wird mit der Formulierung des Basiskonzepts der Tatsache, dass zwangsläufig *dann* Probleme auftauchen, *wenn* Teilchenbegriff und Atombegriff „aufeinander treffen“, Rechnung getragen. Notwendigerweise muss vorerst mit einem Begriffsgebäude gearbeitet werden, das für den Lerner das Regelmäßige bereitstellt, aber nicht den fachlichen Anspruch der Allgemeingültigkeit hat, d.h. für alle Verbindungstypen (und der Bindungstypen) anwendbar zu sein.

„In die Atome hinein“ – Differenzierungen

Um auf die Historie zurückzukommen: Mit Hilfe des DALTONSchen Atommodells ließen sich keine Vorgänge erklären, bei denen elektrische Ladungen eine Rolle spielen: Elektrolysen, Faraday- und Helmholtz-Versuche, Kathodenstrahlversuche usw. blieben unerklärt (*LENARD, THOMSON, STONEY vgl. NAUMER 1976*), Radioaktivität müsste mit Hilfe von subatomaren Strukturen erklärt werden: Das DALTONSche Atommodell zerfiel im wahrsten Sinne des Wortes. Dies führte zur Formulierung von Masse-Ladungsmodellen. (z.B. THOMSONSches Rosinenkuchenmodell, STARK: Erdbeermodell) Die RUTHERFORDSchen Streuversuche lieferten Ergebnisse zur Formulierung eines Kern-Hülle-Modells. *Teilchen* waren nun nicht mehr die Atome, sondern Entitäten der Atome selbst, wie z.B. die Elektronen (dieser Begriff wurde von STONEY eingeführt).

„Jetzt gab es also Korpuskeln, die man nicht mehr als Atome bezeichnen konnte, die aber doch zumindest irgendwie mit dem Atom zusammenhängen.“ (*SCHÜTT 1976, 77*)

Mit der Erarbeitung der Modellelemente, die der Quantentheorie Rechnung trugen, geht förmlich ein Paradigmenwechsel des Atommodelldenkens einher:

„Vielleicht ist das Atommodell mehr ein Rechenschema als eine Zustandsrealität.“ (*SOMMERFELD, nach ebd., 82*)

Auf der Basis einer Vielzahl von Befunden der Atom- und Quantenphysik und -chemie tritt an die Stelle des einfachen Korpuskelmodells ein zwar mit dem Begriff *Teilchen* stark verbundenes, aber uneinheitliches theoretisches Konzept: Teilchen steht nunmehr z.B. für Photonen, Elektronen, Feldquanten, Energiequanten. In der Quantentheorie versteht man unter Teilchen ein durch eine quantentheoretische Zustandfunktion zu beschreibendes Referenzobjekt. Die Andersartigkeit des Teilchens gegenüber allen makroskopischen Qualitäten ist hier durch den außerordentlich hohen Abstraktionsgrad von vornherein offensichtlich. Für die didaktische Aufgabe dieser Arbeit ist dieser Teil der Theorie nicht von Belang.

¹³ Da für BARKE und SCHMIDT alle stofflichen Phänomene chemische Reaktionen sind, liegen immer Teilchenumgruppierungen vor. Diese Autoren würden den erstaufgezählten Aspekt somit anders deuten.

Modelle mehratomiger Teilchen

Wie kann man die Atommodellneuerungen mit dem ursprünglichen Teilchenbegriff in Verbindung bringen? Wie oben bereits genannt, deutete DALTON Verbindungen als binär usw. gebaute Atome oder kleinste Teilchen. Von welcher Art die Bindung zwischen den Ausgangsatomen war, blieb unbeschrieben. Ebenso war nicht von Belang, dass Stoffe aus modellhaft klar abgegrenzten Atomaggregaten, den Molekülen, bestehen oder aus wiederkehrenden Verbänden, die durch Atomzahlverhältnisse beschrieben werden. Die Theorien zur chemischen Bindung vermochten das Zustandekommen stabiler Atomverbände sowie Beziehungen zwischen Aufbau und Eigenschaften der Stoffe weitgehend zu erklären. AVOGADRO prägte mit Untersuchungen zu den Gasgesetzen den Begriff der konstituierenden Moleküle.

„In seiner später so berühmt gewordenen Arbeit „Versuch einer Methode, die Massen der Elementarmoleküle der Stoffe und die Verhältnisse, nach welchen sie in Verbindung eintreten, zu bestimmen“ schrieb er: (AVOGADRO (1814): nach JANSEN 1994, 6)

„...Hier bietet sich aber sehr naturgemäß ein Mittel dar, diese und ähnliche Thatsachen in Uebereinstimmung mit unserer Hypothese zu erklären: es ist die Annahme, daß die constituierenden Molekeln eines einfachen Gases, d.h. diejenigen, welche sich in solcher Entfernung befinden, dass sie keinen Einfluss aufeinander ausüben, nicht aus einzelnen (...) Atomen bestehen, sondern aus einer bestimmten Anzahl solcher, welche durch die Anziehung zu einer vereinigt sind.“ (ebd., 7)

Ein erstes Hilfsmittel zum Verständnis der Bildung von chemischen Bindungen bot die von KOSSEL (1915) und LEWIS (1916) nahezu gleichzeitig ausgesprochene *Edelgasregel* oder heute *Oktettregel*: Stabile Zustände nehmen Atome oder Atomverbände ein, wenn die beteiligten Atome - anhand des Schalenmodells der Atomhülle erklärt - in der Valenzschale acht¹⁴ (für die innerste Schale zwei) Außenelektronen vorliegen: Für die chemische Bindung bedeutet dies, dass bei der Bindungsbildung die Tendenz besteht, die Edelgaskonfiguration zu erreichen.

Zum Erreichen der Edelgaskonfiguration werden Elektronen von Atom zu Atom in chemischen Reaktionen übertragen, Resultat sind geladene Atome, die Ionen. Die Ionenbindung ist demnach die Bindung von Ionen unterschiedlicher Ladung aufgrund elektrostatischer Wechselwirkungen (COULOMB-Kräfte). Ionische Verbindungen bilden Ionengitter, die kleinste Einheit eines solchen Ionengitters wird als Elementarzelle oder Baugruppe (siehe vorne) bezeichnet, sie ermittelt sich aus dem Ionenanzahlverhältnis der beteiligten Anionen und Kationen. Ionenverbindungen bestehen demnach aus zwei Arten von kleinsten Teilchen, zusammen bilden diese eine Baugruppe, die der Verbindung ihre chemische Formel, genauer die Atomzahlverhältnisformel, gibt und dem Stoff den formalen Namen.

Wie bereits genannt, liegt hier die begriffliche Prämisse vor, dass die stoffbildenden Teilchen uneinheitliche, nicht abgrenzbare wiederkehrende Einheiten darstellen: entweder die Baugruppen oder die unterschiedlichen Ionen als “kleinere“ Einheiten dieser Baugruppe.

„Die Verhältnisformel einer Verbindung gibt lediglich das einfachste Zahlenverhältnis der beteiligten Atomsorten an, für Atomgruppen, welche das einfachste Anzahlenverhältnis repräsentieren, existiert kein festgelegter Begriff. Als Bezeichnungen sind u.a. Formel-einheit, Elementareinheit, Baugruppe üblich. Die Molekülformel drückt die tatsächliche Anzahl der Atome in einer abgeschlossenen Gruppe von Atomen aus.“ (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2003), 9)

Die Bindungsbildung und die Art der Bindung sind stets mit energetischen Veränderungen verbunden: Die Höhe der Ionisierungsenergie, Dissoziationsenergie, Elektronenaffinität, Gitterenergie usw. (BORN-HABER Kreisprozess) entscheiden z.B. über die Ausbildung der Ionenbindung.

¹⁴ Gilt für die L Schale, allgemein $2n^2$ mit n =Hauptquantenzahl

Andere energetische Modelle über die Wirkung der Annäherung von Atomen beschreiben die Ausbildung der kovalenten Atombindung für Moleküle. Moleküle stellen nach außen hin ladungsneutrale Aggregate mehrerer Atomkerne mit ihren dazugehörigen Elektronen dar. AVOGADROS Definition eines Moleküls ist die Zustandsbeschreibung für den zusammengehaltenen Atomverband:

„Moleküle (Molekeln; Singular: das Molekül, die Molekel). von neulat.: *molecula* als Diminutiv von *moles* = Masse abgeleitete Bez. für mehr od. weniger stabile, durch chemische Bindungen zusammengehaltene Teilchen von zwei od. mehr gleichartigen od. ungleichartigen Atomen.“ (RÖMPP 1996, Schlagwort Moleküle)

Für die Ausbildung einer kovalenten Bindung finden räumliche Modelle Anwendung:

VAN'T HOFF leitete wohl als erster – mit Hilfe von Isomeriebetrachtungen (JANSEN *et al.* 1986a) - die tetraedrische Molekülstruktur des Methans her. LEWIS formulierte 1916 die chemische Atombindung mit Hilfe von Bindungselektronenpaaren, die zwischen ungepaarten Elektronen der äußeren Schale beteiligter Atome ausgebildet werden, dabei gelte die KOSSELSche Oktettregel. Die Elektronen des bindenden Elektronenpaares werden bei dieser Betrachtung formal jedem der beiden beteiligten Atome zugeordnet. Räumlich veranschaulicht bilden die beiden Atome eine gemeinsame, mit zwei Elektronen besetzte Elektronenwolke aus. Die zur Trennung kovalent gebundener Atome aufzuwendende Energie wird in Form der Bindungsenthalpie¹⁵ angegeben.

NYHOLM u. GILLESPIES „Valence Shell Electron Pair Repulsion-Modell“ (kurz VSEPR-Modell) (GILLESPIE, ROBINSON (1996)), und das EPA-Modell für „Elektronenpaar-Abstoßungsmodell“ sind weittragende Modelle für die strukture geometrischen Beschreibungen. Die von PAULING zugeordnete Elektronegativität für Atomsorten / Elemente führt zur Formulierung von polaren Bindungen durch Einordnung der Elektronegativitätsdifferenzen. Das Zustandekommen einer Bindung ist bisher durch die Überlagerung der Atomhüllen oder präziser der Elektronenwolken betrachtet worden. Mit Hilfe der Quantenchemie, d.h. mit Hilfe der Molekülorbitaltheorie (MO- Theorie) kann ein bisheriges vorwiegend räumlich-energetisch gedachtes Modell auf eine Ebene gebracht werden, die der zeitgemäßen quantentheoretischen Vorstellung entspricht. Da die Berechnungen insbesondere bei Molekülen mit mehr als zwei Atomen ausgesprochen kompliziert werden, bedient man sich des VB (valence-bond) Modells, das wiederum Überlappungen von Orbitalen und die Hybridisierung vorsieht.

Man unterscheidet zwischen den Atomen in mehr oder weniger stabilen Verbänden bei den wirksamen Bindungen streng genommen nur die drei Grenzfälle: kovalente, ionische u. metallische Bindung. Selten treten diese in reiner Form auf; meist liegen Übergänge zwischen den drei Grenzfällen vor, wobei einer davon überwiegt; die Elektronegativitätsdifferenz ist eine Maßzahl, welcher Typ charakteristisch dominiert.

Die Vorgänge der chemischen Reaktion auf der Teilchenebene fachlich zeitgemäß zu definieren heißt, sie als Änderungen der Elektronenkonfigurationen zu beschreiben: entweder durch die Bildung von Ionen z.B. aus ungeladenen Elementen (= Atomen, siehe Kapitel 4), der Trennung bestehender und Ausbildung neuer bindender Elektronenwolken oder der Formulierung neuer Molekülorbitale.

Abschließend müssen noch die Bindungstypen der metallischen Bindung und der Bindung in Komplexen kurz benannt werden. Metalle bestehen in ihrem submikroskopischen Bau aus Metallgittern, die kleinste Baueinheit ist hier also das Atom, d.h. für diesen stofflichen Ausschnitt sind die Begriffe „klassisches Teilchen“ und Atom identisch. Aufgrund dieser Gleichsetzung resultiert wahrscheinlich auch der Kugelteilchenbegriff. Der metallische Zustand wird vereinfacht mit dem Elektronengasmodell veranschaulicht: Gittergleich fest platzierte Atomkerne sind umgeben von einem Raum, in dem sich die Valenzelektronen frei bewegen. Nach dem quantenmechanischem Bändermodell liegen Bänder ähnlichen Energieniveaus vor, die sich aus den Mo-

¹⁵ Bezogen auf konstanten Druck und molaren Umsatz (ΔH)

lekulorbitalen eines Metallkristalls berechnen lassen. Leitungsbänder können durch Übergänge von Elektronen energiegleicher Molekülorbitale formuliert werden.¹⁶

Bisher nicht eingeordnet sind Modifikationen eines Stoffes. Verschiedene Erscheinungsformen eines Elements oder einer Verbindung, Modifikationen unterschieden sich in ihrem physikalischen, nicht aber im chemischen Verhalten:

„Bezeichnung für (das) Zustandsformen von Elementen und Verbindungen, die sich in der chemischen Zusammensetzung – zumindest der ihrer einfachsten molekularen oder formalen Einheit – nicht unterscheiden, jedoch in den physikalischen.“ (RÖMPP 1996 Schlagwort Modifikation)

Ursache ist die unterschiedliche Anordnung der Atome zu wiederkehrenden Einheiten, den Teilchen. Unabdingbar ist auch hier die Unterscheidung zwischen (kleinstem repräsentativen) Teilchen und den Atomen. Unproblematisch ist wohl, dass Modifikationsübergänge chemische Reaktionen sind, auch wenn die „Schwefelchemie“ im fachsystematisch orientierten Unterricht hier jahrzehntelang anders gedeutet wurde.

Abschließend ist festzustellen, dass die Fachliche Klärung auch Aspekte beinhaltet, die für den Anfangsunterricht irrelevant sind, diese Teile stellen die Anschlussfähigkeit der ersten Begriffsfindungen im historischen wie im didaktischen Sinne heraus.

2.2. Das Stoff-Teilchenkonzept in den curricularen Vorgaben der naturwissenschaftlichen Fächer

Der Anfangsunterricht Chemie unterliegt länderspezifisch unterschiedlichen Bedingungen. So ist der Beginn des Chemieunterrichts bereits zeitlich unterschiedlich, womit entwicklungsbedingt unterschiedliche Lernvoraussetzungen vorliegen. Rahmenpläne der Bundesländer unterscheiden sich in ihrer grundsätzlichen Ausgestaltung. Einige sind beispielsweise schon seit einiger Zeit kontextbasiert (z.B. die Rahmenpläne Nordrhein-Westfalens, Berlins, Hamburgs), andere nicht. Allen ist gemeinsam, dass sie als Ratifizierung der Bildungsstandards (2004) kompetenzorientiert neu formuliert wurden. So sind die rein fachsystematischen Auflistungen der Inhalte, wie beispielsweise in den Rahmenrichtlinien der Sekundarstufe I des Gymnasiums in Niedersachsen, die 2003 verabschiedet – und 2005 überarbeitet – wurden, 2007 abgelöst worden durch das Kerncurriculum, das auf Kompetenzorientierung und Basiskonzepte ausgerichtet ist.

Ziel des Kapitels ist nicht die Darstellung einer Synopse der bundesdeutschen Rahmenrichtlinien bezüglich des Stoff-, Teilchen- und Atombegriffs. Vielmehr soll demonstriert werden, dass das Konzept des Perspektivwechsels für alle Naturwissenschaften charakteristisch ist und dies auf verbindlicher Ebene der fachlichen Bildungsziele auch manifestiert ist.

Dann ist es wichtig, Gemeinsamkeiten und signifikante Unterschiede im Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer, - die horizontale Vernetzung - herauszuarbeiten, da sie als Bedingungen für die didaktische Strukturierung berücksichtigt werden sollten.

Da die empirische Studie an niedersächsischen Schulen – darunter vorrangig in Gymnasien durchgeföhrt wurde, verlief die Planung der Einheiten, in die die didaktisch strukturierten Schüsselemente eingebettet sind, selbstverständlich auf der Basis der hier gültigen Rahmenrichtlinien Chemie, diese erhalten daher hier besonderen Stellenwert.¹⁷ Für die Erststudie (Schuljahr

¹⁶ Auf den weiteren Fall der Bindung in Komplexen als Bindungen höherer Ordnung wird hier nicht eingegangen.

¹⁷ Eine in diesem Zeitraum erstellte Synopse der verbindlichen Vorgaben anderer Bundesländer wird in dieser Arbeit nicht dargestellt, da die Rahmenpläne nach der Verabschiedung der Bildungsstandards (KMK, 2004) verändert wurden, wodurch die Synopse nicht mehr ganz aktuell ist. Da die Veränderungen

2001/02) galten die Niedersächsischen Rahmenrichtlinien von 1994, die den Beginn des Unterrichts im Jahrgang 9 vorsahen; für die Folgeerprobungen erweist sich die Zuordnung der Inhalte zu den Jahrgängen als schwierig, da mit dem Unterricht sowohl in Jahrgang 9, als auch in den Jahrgängen 7 und 8 begonnen wurde und zeitgleich die Rahmenrichtlinien – zweimalig- überarbeitet wurden. Daher erscheint es sinnvoll, vor allem die inhaltliche Progression in den Rahmenbedingungen vorzustellen, bis hin zu zum aktuellen Kerncurriculum, auch wenn die für die Arbeit relevante Erprobungszeit nicht mehr in seinen Gültigkeitszeitraum gefallen ist.

Die Art des Diskontinuums in der vertikalen Entwicklung des Faches Chemie

Betrachtet wird die Entwicklung der Vorgaben in Niedersachsen im vergangenen Jahrzehnt. Die Frage ist, an welcher Stelle das Diskontinuum eingeführt wird, und ob die Behandlung des Diskontinuums unabhängig von der Atomidee vorgegeben wird.

Die bei der Erprobung gültigen Rahmenrichtlinien (*NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM, 1994*) geben die Leitlinien *Stoff, Reaktion, Modell, Umwelt* vor. In der Leitlinie *Stoff* wird in bezug auf den Anfangsunterricht die stofflich-phänomenologische Sicht beschrieben. Auf ein Teilchenkonzept wird mit Hinweis auf die fortschreitende Entwicklung (der Lerner im Chemieunterricht) mit dem *Bindungstyp* (*ebd.*, 10) und mit differenzierten Teilchenarten (Ionen, Moleküle) eingegangen. Im Bereich der Leitlinie *Modell* werden als Beispiele nur differenzierte Modelle (z.B. das Kern-Hülle-Modell) angesprochen.

Der Themenbereich 2 Stoffe- und Reaktionen auf der Teilchenebene, der auf den Themenbereich 1 Stoffe und Reaktionen aus phänomenologischer Sicht folgt, beinhaltet die zwei Teilbereiche Teilchenmodell und DALTONSche Atomhypothese, die zueinander keine Bezüge aufweisen. (*NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM, 25*) Die überarbeiteten niedersächsischen Rahmenrichtlinien für das Gymnasium (2003) haben in dieser Hinsicht keine Neuerungen ergeben. Zumeist sind sie im Wortlaut der Beschreibungen identisch. Den Rahmenrichtlinien von 1994 und 2002 ist in der Abfolge somit gemeinsam:

„Die Inhalte dieses Themenabschnitts beziehen sich vorwiegend auf sinnlich erfahrbare Phänomene (Kontinuumvorstellung)“ (*NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM 1994, 20, NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 3*)

Neu ist in der Überarbeitung von 2003:

„Die Betrachtung von Aggregatzustandsänderungen, der Diffusion, der Chromatografie und der Lösevorgänge bietet die Möglichkeit für den Übergang in die Diskontinuumsvorstellung. Mit dem Teilchenkonzept muss - der Altersstufe angemessen - sehr behutsam umgegangen werden, besonders im Hinblick auf die anschluss- und erweiterungsfähige Fortsetzung in den folgenden Jahrgängen. Es ist darauf zu achten, dass im siebten Schuljahrgang der Unterrichtsschwerpunkt im Bereich der Phänomene liegt, im Schuljahrgang 8 dagegen spielt das Denken im Diskontinuum eine zentrale Rolle. (...) Bei der Einführung einer Teilchenvorstellung und der Behandlung der Dichte ist eine Abstimmung mit der Physik erforderlich.“ (*NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2003), 3*)

Die Einführung des Diskontinuums im ersten Schuljahr (7) wird somit vorsichtig angeregt, sie ist nicht verbindlich. Wenn der Perspektivwechsel angestellt wird, dann - so die explizite Nennung von Vorgängen, die mit zusammengesetzten Teilchen (Molekülen, Ionenverbindungen) kann mit dem diskreten Teilchen nicht ausschließlich das Atom gemeint sein. In der Auflistung der verbindlichen Inhalte des Themenabschnitts 1 *Stoffe aus phänomenologischer Sicht* taucht das Stichwort Teilchenmodell nicht auf.

Sowohl in der Version der Rahmenrichtlinien von 1994 (als Abschnitt 1b) als auch 2003 (als Themenbereich 2) folgen die thematischen Abschnitte Reaktionen *aus phänomenologischer*

gen alle in die Richtung der Basiskonzeptorientierung gehen, kommen sie der ChiK-Konzeption entgegen, weshalb eine Dissonanz zum Basiskonzept Stoff-Teilchen unwahrscheinlich ist.

2. Die Fachliche Klärung

Sicht. Nach Behandlung der Phänomenologie chemischer Reaktionen im Jahrgang 8 wird mit dem Abschnitt *Stoffe und Reaktionen auf der Teilchenebene* festgelegt:

„Die Diskontinuität der Materie ist aus Sicht der Schülerinnen und Schüler eine wenig naheliegende Eigenschaft, da sie durch keine sinnliche Erfahrung erlebbar gemacht werden kann. Sie lässt sich aber aus geeigneten Experimenten erschließen. Mit der Möglichkeit der Erklärung bekannter Vorgänge (z. B. Aggregatzustandsänderungen, Diffusion etc.) anhand des Teilchenmodells wird den Schülerinnen und Schülern spätestens in diesem Schuljahrgang der Wert des Denkens im Diskontinuum verdeutlicht.

Die angenommenen Teilchen werden zunächst nicht nach Atomen und Molekülen unterschieden. Von Anfang an ist darauf zu achten, dass die Eigenschaften der Teilchen nicht mit den makroskopischen Eigenschaften der Stoffe gleichzusetzen sind.

Die Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen und die Existenz von Stoffkreisläufen finden eine überzeugende Deutung in der Vorstellung vom Erhalt der Atome. Die nicht weiter zerlegbaren Grundstoffe, die chemischen Elemente, bestehen offenbar nur aus je einer Sorte von Atomen. Die Interpretation des Gesetzes der konstanten Proportionen führt auf der Basis des Dalton'schen Atommodells zu der Vorstellung, dass Atome zweier oder mehrerer Elemente sich nur in einem bestimmten Zahlenverhältnis verbinden. Die Annahme der Umgruppierung der Atome liefert eine erste befriedigende Erklärung für den Stoffumsatz bei einer chemischen Reaktion.“ (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003, 7)

Inhalte
Teilchenmodell Teilchengröße Beschreibung bekannter Vorgänge im Teilchenmodell
Dalton'sche Atomhypothese Dalton'sches Atommodell Größe und Masse von Atomen Atommasseneinheit u Anwendung der Atomhypothese zur Erklärung der chemischen Reaktion, der chemischen Grundgesetze und der Stoffklassen

Tabelle 2.1: Ausschnitt der Rahmenrichtlinien (2003)

Die Rahmenrichtlinien fordern demnach, ein Diskontinuum unabhängig von der Atomhypothese einzuführen. Über eine anschließende Unterscheidung und Spezifizierung von Teilchen und Atomen findet sich keine verbindliche Festlegung.

Anzumerken ist noch, dass mit Verlegung des Chemieunterricht auf den Jahrgang 6 und der Verabschiedung der *Curricularen Vorgaben* für das niedersächsische Gymnasium Schuljahrgänge 5/6,– Naturwissenschaften (2004) weitere Neuerungen eingetreten sind. Diese beziehen sich (nun endlich) auf die Basiskonzepte dieses Faches Stoff-Teilchen-Konzept, Struktur-Eigenschafts-Konzept, Konzept der chemischen Reaktion, Energie-Konzept, und weisen als Themenfelder „Feuer, Luft und Wasser“, sie geben in keinem der Fächer in diesen Jahrgängen den Umgang mit dem Teilchen- oder Atommodell vor.

„Aufgrund der bisherigen Erfahrungen im Chemieunterricht des Schuljahrgangs 7 ist die Einführung des Teilchenmodells in den Schuljahrgängen 5 und 6 nicht empfehlenswert, da entwicklungspsychologische Gegebenheiten dieser Altersstufe berücksichtigt werden müssen. Dennoch werden in den Themenbereichen „Luft“ und „Wasser“ bereits erste Grundlagen für das Stoff-Teilchen-Konzept und das Struktur-Eigenschafts-Konzept gelegt und

2. Die Fachliche Klärung

im Rahmen des Spiralcurriculums in folgenden Jahrgängen aufgegriffen.“ (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM: Curriculare Vorgaben 5/6 2004, 22)

Es kann also festgestellt werden: Teilchenmodelle können und müssen im Anfangsunterricht unabhängig von der Atomhypothese eingeführt werden. Die Problematik einer Gleichsetzung von Teilchen- und Atombegriff geht aus den Rahmenrichtlinien nicht hervor. Die Mehrdeutigkeit des Begriffs Teilchen aufzuarbeiten und die konsistente Verbindung zwischen *Atom-* und *Teilchenbegriff* zu schaffen, kann und muss unabhängig von Vorgaben, geschehen.

Das Kerncurriculum

Wurden bisher die Vorgaben im Entwicklungs- und Erprobungszeitraum berücksichtigt, so muss nun auf die aktuellen Bedingungen eingegangen werden. Mit der Formulierung des Kerncurriculums Chemie hat etwas wie ein Paradigmenwechsel stattgefunden, weg von der bestimmenden Auflistung der Begriffe hin zu einer verbindlichen Beschreibung, „was Schüler „können“, nicht nur „wissen“ müssen (vgl. NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2007, BÜNDER et al. 2003).

Das Kerncurriculum weist ein eigenes Basiskonzept Stoffe- Teilchen“ auf – und damit einen stärker und systematischer entwickelten Aufbau dieser Thematik insgesamt¹⁸. Jedes Basiskonzept wiederum hat vier prozessorientierte Dimensionen, die des Fachwissens, der Erkenntnisgewinnung, der Kommunikation und der Bewertung. Auch hier werden im Jahrgang 5/6 keine Perspektivwechsel zum Diskontinuum vorgegeben. Die kompetenzorientierten Bildungsziele sind in Doppeljahrgängen zusammengefasst- und innerhalb dieser zu erreichen, ohne dass eine feste Chronologie vorliegt.

<p>Stoffe bestehen aus Teilchen/Bausteinen (kann übersprungen werden) Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • beschreiben anhand geeigneter Modelle den submikroskopischen Bau von Stoffen. 	<p>Modelle einführen und anwenden Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • unterscheiden zwischen Stoffebene und Teilchenebene. • erkennen den Nutzen des Teilchenmodells. • wenden ein einfaches Atommodell an. • gehen kritisch mit Modellen um. • erkennen die Allgemeingültigkeit von Gesetzen. 	<p>Fachsprache entwickeln Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • beschreiben, veranschaulichen oder erklären chemische Sachverhalte mit den passenden Modellen unter Anwendung der Fachsprache. • benutzen Atomsymbole. • prüfen Darstellungen zum Teilchenmodell in Medien und hinterfragen sie fachlich. 	<p>Chemie als bedeutsame Wissenschaft erkennen Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • zeigen an einem Beispiel die Bedeutung der Teilchenvorstellung für die Entwicklung der Naturwissenschaften auf. • stellen Bezüge zur Physik her.
<p>Atome bauen Stoffe auf Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • beschreiben den Bau von Stoffen mit einem einfachen Atommodell • und unterscheiden so Elemente und Verbindungen. • beschreiben in Stoffkreisläufen den Kreislauf der Atome. 			
<p>Atomanzahlen lassen sich berechnen Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • stellen die proportionale Zuordnung zwischen der Masse einer Stoffportion und der Anzahl an Teilchen/Bausteinen und Atomen her. • zeigen die Bildung konstanter Atomanzahlverhältnisse in chemischen Verbindungen auf. 	<p>Mathematische Verfahren anwenden Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • planen einfache quantitative Experimente, führen sie durch und protokollieren diese. • wenden in den Berechnungen Großgleichungen an. 	<p>Fachsprache um quantitative Aspekte erweitern Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • recherchieren Daten zu Atommassen in unterschiedlichen Quellen. • beschreiben, veranschaulichen und erklären chemische Sachverhalte mit den passenden Modellen unter Anwendung der Fachsprache. • diskutieren erhaltene Messwerte. 	<p>Chemie als bedeutsame Wissenschaft erkennen Die Schülerinnen und Schüler...</p> <ul style="list-style-type: none"> • wenden Kenntnisse aus der Mathematik (grafikfähiger Taschenrechner) an.
<p><small>Ergänzende Differenzierung der in den Kompetenzen genannten Inhalte und Begriffe: Nachweisreaktionen: Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Wasser; Dichte (proportionale Zuordnung); Trennverfahren: Chromatografie, Destillation</small></p>			

Abb.2.8: Kerncurriculum Chemie (2007), 48

¹⁸ Im Kapitel 4 wird unter maßgeblicher Berücksichtigung der Veröffentlichung der ChiK-Konzeption erläutert, was unter einem Basiskonzept zu verstehen ist.

Neben der grundsätzlichen anderen Art der Zielformulierung geht hervor, dass

- der Begriff Baustein dem Begriff Teilchen zur Seite gestellt wird. (siehe Kapitel 4)
- das einfache Diskontinuum eingeführt werden kann, aber nicht muss. Es ist möglich, den Perspektivwechsel direkt zu den Atomen vorzunehmen.
- Die anderen Kompetenzbereiche nutzen aber den Begriff „Teilchenmodell“ und fordern mit den ausformulierten Kompetenzen m. E. implizit, dass eine Verallgemeinerung auf „aus Atomen zusammengesetzten Teilchen bzw. Bausteinen“ angestellt werden muss.

Das Kerncurriculum lässt damit einen größeren fachdidaktischen Spielraum zu, gibt dem Perspektivwechsel durch die prozessorientierten Kompetenzen eine größere Verbindlichkeit.

Die horizontale Vernetzung des Konzepts

Der Lehrplan Physik greift einzelne Teilaspekte des Stoff-Teilchenkonzepts in Einzelthemen heraus, dies gilt für das Kerncurriculum wie auch für die vormalig gültigen Rahmenrichtlinien. Um eine horizontale Vernetzung darzustellen, sollen die Physikvorgaben mit den bereits dargestellten der Chemie verglichen werden. Zur Entwicklungs- und Erprobungszeit galten die niedersächsischen Rahmenrichtlinien Physik (1994) und darauf aufbauend die Empfehlungen für den Schuljahrgang 7, die mit der Abänderung der Studententafel 2002 formuliert wurden. Der Physiklehrplan Niedersachsens war streng fachsystematisch gegliedert und enthielt die Themengebiete Optik, Mechanik (I, II) Elektrik (I, II, III) sowie als mögliche immanente Leitlinie das Thema Energie.

Grundsätzlich sei vorangestellt, dass die Physik den Begriff des Körpers betrachtet, der Stoffbegriff wird nicht *explizit* verwendet und entsprechend nicht genannt. Im Jahrgang 7 wird innerhalb der Mechanik das Thema Teilchenmodell vorgegeben:

„Aus dem Themenbereich Mechanik: Untersuchung proportionaler Zusammenhänge, Teilchenmodell: Dichte, Hookesches Gesetz, Aggregatzustände im Teilchenmodell“ (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2003a, 4)

Vorab wird auf die Notwendigkeit der fachübergreifenden Absprachen besonders hingewiesen. Die Elektrizitätslehre I – platziert im Jahrgang 8 - gibt als Hinweis für den Inhalt *elektrische Ladung*: das Elektronen-Atomrumpf-Modell. Da im Vorfeld die Atomhypothese nicht genannt wird, besteht also keine Anschlussfähigkeit an das Schülerverständnis, allerhöchstens darin, dass der Begriff des Teilchens, welches für die Dichteerklärung herangezogen wurde, nun mit dem Atomrumpfbegriff gleichgesetzt wird - und damit liegt das bereits angesprochene Problem der fehlenden Trennschärfe in der Konzeptentwicklung vor.

Würde der Chemieunterricht das Konzept der Atome für die Physik zum richtigen Zeitpunkt bereitstellen, so würde trotzdem ein kognitiver Konflikt vorliegen: das DALTONSche Atommodell behandelt keine weitere Atomentitäten und DALTONSche Modellatome sind unteilbar. Bei vergleichender Betrachtung scheint es allzu verständlich, dass Schüler die inhaltliche Verbindung zwischen den Fächern nicht ziehen: Es würde in diesem Fall zu einer Dissonanz kommen. Der Hinweis der Rahmenrichtlinien, dass Anknüpfungsmöglichkeiten zum Atom- und Ionenmodell im Fach Chemie gegeben sind, trägt nicht. Dies waren vormalig Inhalte des Jahrgangs 10, nach neuen Vorgaben die des Jahrgangs 9. Umgekehrt muss bei der Behandlung des Kern-Hülle-Modells und der Ionenbildung im Chemieunterricht berücksichtigt werden, dass die Schüler vorrangig in bezug auf metallische Leiter, die metallische Bindung und die Vorstellungen über elektrischen Strom Vorkenntnisse mitbringen, die in unserem Fach relativiert und erweitert werden müssen.

Die Mechanik II – im Jahrgang 9 - beinhaltet ein gesamtes Kapitel Teilchenmodell, welches die Grundlage zur anschließenden Erarbeitung der Gasgesetze sowie der Energetik (z.B. innere Energie) bildet. Bemerkenswert ist, dass die Parallelitäten der Inhalte in den Themenbereichen nicht deutlich gemacht werden: Haben die Teilchen bei der Veranschaulichung der Kompressibi-

lität von Gasen (etwas) mit den differenzierten Atomen, die die Metalle bilden (wie vorher gelernt wurde), gemeinsam? Was haben sie miteinander zu tun? Wann ist es sinnvoll, eine Kugelteilchenbetrachtung anzustellen? Wann, ein Atomrumpfmodell zu benutzen? Fraglich ist also, ob die sukzessive Innenschau in das Teilchenmodell zum Zwecke der Differenzierung auch für die Lerner *expliziert* wird.

Die Rahmenrichtlinien schlagen keine spiralcurriculare Lösung vor, geschweige denn, sie nutzen die Möglichkeit der horizontalen Vernetzung. Die Probleme werden nicht benannt. Einzelne Merkmale des Stoff-Teilchenkonzepts vermögen eher unverbunden nebeneinander zu stehen. Hier könnte der Chemieunterricht, wenn er beim Einüben des Perspektivwechsels ein jeweils anschlussfähiges Konzept entwickelt, die notwendige metakonzeptuelle Kompetenz legen, die für das Stoff-Teilchenkonzept in beiden Fächern benötigt wird; Fächerverbindungen können dann erst erfahrbar gemacht werden. Inhaltliche Überschneidungen verlangen sprachliche Übereinkünfte und zeitliche Übereinstimmungen:

Im Kerncurriculum Physik tauchen Teilchenbetrachtungen im Hinblick auf einfache Teilchenvorstellungen in den verbindlichen Teilen des Dokuments gar nicht auf, es beginnt mit dem Kern-Hülle-Modell. Damit wurde der diffuse Zustand der vorherigen Vorgaben (rein formal) behoben. Diskontinuierliche Betrachtungen beginnen mit dem Atommodell, dass mit seiner Einführung im Jahrgang 9 zweckmäßig in die Elementarteilchen differenziert wird. Diese Differenzierung geschieht auch in der Chemie in dieser Jahrgangstufe, so dass ab hier vernetzend gearbeitet werden kann und muss.

Das Fach Biologie wendet Anteile des Stoff-Teilchenkonzepts in geeigneter zeitlicher Passung an, dies galt bereits für die Rahmenrichtlinien (1994), bei den Empfehlungen (2005), die u.a. auf die Veränderungen in der Stundentafel reagierten und gilt auch für das Kerncurriculum. Auch hier dient die niedersächsische Situation als Exempel. In den Rahmenrichtlinien findet sich der erste Abschnitt mit inhaltlicher Verbindung in den Themenbereichen Grundlagen des Stoffwechsels und der Ökologie: Der Vorgang der Photosynthese als Grundlage für biologische Stoff(system)-kreisläufe behandelt in stark vereinfachter Weise chemische Reaktionen. Er ist im Jahrgangsblock 7/8 angesiedelt, wobei in den Anstaltslehrplänen meist eine Durchführung im Jahrgang 8 vorgesehen wird, da mit zunehmendem Alter der Schüler auf ein höheres Abstraktionsniveau geschlossen wird. Da die Schüler spätestens mit Beginn der Klasse 8 chemische Reaktionen kennen lernen, bietet sich hier eine gute Möglichkeit der Vernetzung und Konzeptanwendung; dies gilt gleichermaßen für das Energiekonzept. Zudem bieten sich Möglichkeiten, diese behandelten Inhalte im Chemieunterricht als *biochemische* Konzepte herauszustellen. Dissonanzen in den verbindlichen Rahmenbedingungen sind nicht erkennbar.

Das Teilchenkonzept wird in keiner Stelle explizit erwähnt, dennoch taucht es vielfach auf: Im Zusammenhang mit Atmung und Blutkreislauf im Jahrgang 7/8 werden z.B. oft Veranschaulichungen mit Teilchen verwendet. Dabei werden allzu oft die Ebenen der Stoffe mit der der Teilchen vermischt (z.B. Sauerstoffteilchen in einem Kontinuum aus Blut statt auf Teilchenebene gebunden am Rezeptorteilchen Hämoglobin). Das Thema Nahrung und Verdauung enthält als verbindlichen Inhalt Wirkweise von Enzymen, die in der Durchführung zumeist eine Teilchenbetrachtung vornimmt. An dieser Stelle bietet es sich an, die oft verwendeten Symbole – die in der Biologie so passend als Bausteine bezeichnet werden – als die diskontinuierlichen Entitäten zu charakterisieren, wie die Schüler es aus dem Chemieunterricht kennen. Für die didaktische Inhaltsstrukturierung bedeutet dies, solche kognitiven Voraussetzungen zu nutzen, indem sie erkennbar gemacht und akzentuiert werden. Da die Biologielehrpläne der ehemaligen westdeutschen Bundesländer eine vergleichbare Aufteilung mit humanbiologischer Ausrichtung in der zweiten Hälfte des SI-Curriculums haben, können also großteils positive Bedingungen für die horizontale Vernetzung gesehen werden.

Das Kerncurriculum Biologie trennt in die *prozessbezogenen Kompetenzen Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung* und den *inhaltsbezogenen Kompetenzen*, die wiederum als *Basiskonzepte* (oder auch Erschließungsfelder) bezeichnet werden, dies sind acht.

2. Die Fachliche Klärung

Ein Stoffkonzept und der Perspektivwechsel werden laut diesen Vorgaben am Ende des Jahrgangs 8 benötigt. Innerhalb der prozessorientierten Kompetenzen wird im Bereich *Kommunikation* genannt:

„*Fach- und Symbolsprache verwenden: verwenden geeignete Symbole: Molekülsymbole, Wirkungspfeile.*“ (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2007), 70)

Über Teilchen wurde vorher nichts formuliert und der Molekülbegriff wird in der Chemie erst mit der Thematik der AVOGADROSCHEN Hypothesen zu Beginn des Jahrgangs 9 bereitgestellt. Insoweit erscheint diese Kompetenz sehr anspruchsvoll; Zumal im Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung* im Abschnitt „mit Modellen arbeiten“ auf Teilchenmodelle nicht eingegangen wird (*ibd.*, 69). Inhaltlich lässt sich der Begriff Molekül an dieser Stelle mit Teilchen gleichsetzen, sodass dies m. E. unproblematisch ist.

Innerhalb der *Inhaltsbezogenen Kompetenzen* werden den *Stoff- und Energieumwandlungen* ein eigenes, in sich konsistentes Basiskonzept gewidmet. Hierin finden sich viele Aspekte eines Stoffverständnisses und eines Teilchenmodells: Beim Aufbau energiereicher Substanzen, (Photosynthese), beim Abbau derselben (Bau der Nährstoffe, Verdauung und Zellatmung) (*ibd.*, 77). Beim *Struktur-Funktions-Basiskonzept* wird das Stoff-Teilchen-Konzept angesprochen mit dem Schlüssel-Schloss-Prinzip (am Beispiel der Enzyme), bei *Regelung und Steuerung* mit der Regelung physiologischer Prozesse (z.B. hormonelle Regelung des Abbaus), bei *Information und Kommunikation* mit den vereinfachten Vorgängen an chemischen Sinnesrezeptoren.

Innerhalb dieser Fächer lässt sich das Konzept nahezu optimal horizontal vernetzen, das Kerncurriculum weist auch auf die Fächervernetzungen hin, wobei die Verbindung über das angemerkte Maß hinausgehen sollte

3. Schülervorstellungen zum Stoff-Teilchenkonzept

„Ohne die Kenntnis des Standpunkts des Schülers ist keine ordentliche Belehrung desselben möglich“ (Aussage aus dem über 150 Jahre alten DIESTERWEGSSchen „Wegweiser zur Bildung für deutsche Lehrer“ zitiert nach DUIT 1992, 2)

„Die vorunterrichtlichen Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler in den Unterricht mitbringen, haben sich (...) als der wichtigste Faktor, von dem Lernprozesse abhängig sind, erwiesen“ (DUIT, RHÖNECK 1996, 7)

Worin liegt die Bedeutung - vorunterrichtlicher - Vorstellungen für Lernen? Dies soll eingangs im Kapitel geklärt werden. Im Anschluss werden die für den Themenausschnitt relevanten Schülervorstellungen zusammengestellt.

Die Analyse von Schülervorstellungen im Modell der Didaktischen Rekonstruktion schöpft ihren Geltungsanspruch durch die Feststellung, dass trotz ermittelter Labilität und kontextueller Gebundenheit von Vorstellungen (vgl. z.B. NIESWANDT 2001) bestimmte Denkfiguren oder tiefer gründende konzeptuelle Muster (vgl. GROPENGEIER 2002) stabil sind, d.h. dass Vorstellungen auf der Basis verankerter individueller kognitiver Strukturen generiert und reproduziert werden. Sie können intersubjektive Gültigkeit haben und von verschiedenen Subjekten in verschiedenen Kontexten verwendet werden. KATTMANN und GROPENGEIER (KATTMANN 1998) betonen, dass es um die Qualität dieser Konzepte, nicht um die Quantität dieser geht, womit zugleich ausgedrückt wird, dass das Forschungsmodell qualitativ-empirisch ausgerichtet ist.

3.1. Begriffsverständnis

Im Bereich der Vorstellungsforschung sind verschiedene Termini in Gebrauch, die alle mit dem Begriff *Vorstellung* verbunden werden können. DUIT bezeichnet Vorstellungen allgemein als

„geistige Entwürfe, die sich der Mensch von der ihn umgebenden und durch Sinneswahrnehmung auf ihn einwirkenden Welt macht“ (DUIT 1992, 6)

Im einfachen Sinne werden Begriffe wie *vorunterrichtliche Vorstellungen* oder *Präkonzept*¹⁹ (engl. *preconceptions*) mit *Vorwissen* gleichgesetzt. *Vorwissen* ist aber sehr mit Wissensbeständen verknüpft, die auch fachlich korrekt sind. Damit greift dieser Begriff zu kurz. Die zugefügten Bezeichnung bzw. Silbe *vorunterrichtlich* oder *Prä-* soll verdeutlichen, dass die Erklärungsmodelle bereits vor dem Unterricht vorhanden sind und „mitgebracht“ werden – wobei die Annahme, dass Vorstellungen „fertig vorhanden“ im Gedächtnis gespeichert sind, sich als unzulänglich erwiesen hat (vgl. AUFSCHNAITER, v. 2001, SPITZER 2000). Der ebenfalls früher häufig gewählte Begriff *Fehlvorstellung*, analog im angelsächsischen Raum *misconception*, der vorrangig in den naturwissenschaftsdidaktischen Forschungsrichtungen Verwendung fand bzw. z.T. noch findet, verdeutlicht, dass die lebensweltlich verankerten Vorstellungen häufig konträr stehen zu den wissenschaftlichen Vorstellungen.

Die konstruktivistische Perspektive von Lernen und Konzeptwechsel kehrt von diesem „falsch vs. richtig“ - Denken ab und wählt Termini wie *alternative Vorstellungen*, *alternative frame(works)*, *personal models of reality*, *script u.a.* (DUIT 1995, DUIT 1992). Aus dem Bereich der

¹⁹ Die Begriffe *Vorstellung* und *Konzept* werden in vielen Artikeln synonym verwendet (vgl. z.B. DUIT).

3. Die Schülerperspektive

Kognitionsforschung und aus der Sprachwissenschaftsdidaktik finden sich Termini wie z.B. *native belief*, *mentales Modell* und auch *subjektive Theorie* (vgl. MARGEWITSCH 2006).

Konzept und Vorstellung – eine Unterscheidung

In dieser Arbeit werden *Vorstellungen* oder *Konzepte* nicht mit zusätzlichen Beschreibungen wie *alternativ*, *vorunterrichtlich* etc. belegt; Der Begriff allein steht für ein *subjektives Konstrukt eines Lerners*. Im Folgenden wird zwischen *Vorstellung* und *Konzept* unterschieden.

Lernen wird in der Vorstellungsforschung als Wechsel oder eine Veränderung Vorstellungen angesehen. Die gängigen Begriffe dafür sind aber *Konzeptwechsel* oder *Konzeptveränderung*.

GROPENGLIEBER stellt innerhalb des *Modells der Didaktischen Rekonstruktion* sein Verständnis der Termini *Vorstellung* und *Konzept* vor. Er stellt voran, dass mit dem Verständnis immer drei Bereiche tangiert sind: der referentielle Bereich (Referent), der gedankliche Bereich (Vorstellung) und der sprachliche Bereich (Zeichen). Der Begriff *Vorstellung* ist hierin ein Oberbegriff des gedanklichen Bereichs, der spezifiziert wurde. Innerhalb der drei Bereiche lassen sich Ebenen unterschiedlicher Komplexität ausmachen. *Begriffe* (d.h. nur gedankliche Konstrukte) sind relativ *einfache Vorstellungen*; werden Begriffe verknüpft, so bilden sie *Konzepte*, versprachlicht werden sie zu Behauptungen, Sätzen, Aussagen (vgl. Abb. 3.1).

<i>referentieller Bereich</i>	<i>gedanklicher Bereich</i>	<i>sprachlicher Bereich</i>
Referent	Vorstellung (engl.: conception)	Zeichen
Wirklichkeitsbereich	Theorie	Aussagengefüge, Darlegung
Wirklichkeitsaspekt	Denkfigur	Grundsatz
Sachverhalt	Konzept	Behauptung, Satz, Aussage
Ding, Objekt, Ereignis aber auch: Vorstellung und Zeichen	Begriff (engl.: concept)	Terminus, (Fach-)Wort, Ausdruck auch: „Bezeichnung“ „Benennung“
Individuum		(Eigen-)Name

Abb. 3.1: Korrespondierende Termini für die Komplexitätsebenen im gedanklichen, sprachlichen referentiellen Bereich (GROPENGLIEBER 1997, 30)

Die Termini *Begriff*, *Konzept*, *Theorie* sind für ihn streng und allein dem kognitiven Bereich zugeordnet. In wieweit kann eine Trennung der Bereiche bei der Bearbeitung der Datenbasis dieser Arbeit eingehalten werden? Der referenzielle Bereich bezieht sich eindeutig auf Externa - auf Dinge, Objekte, Ereignisse, Sachverhalte, die zur Erhebung dienen. Der kognitive und sprachliche Bereich eines Subjektes können in Studien wie dieser nicht voneinander getrennt werden, denn alles was erhoben wird, geschieht über bildliche oder sprachliche Zeichen, über die auf kognitive Konstrukte geschlossen werden wird. Das Wort *Vorstellung* - allein für kognitiven Bereich - wird daher nicht in der GROPENGLIEBERSCHEN Trennschärfe verwendet.

Die „kleinste Einheit“ eines kognitiven Elements der Vorstellungswelt ist der *Begriff*, versprachlicht ist er mit dem Wort „Terminus, Ausdruck“ vernetzt. Auch hier wird von der Wahl

3. Die Schülerperspektive

des Wortes *Begriffs* für als rein kognitives Element abgesehen, da die gängige Verwendung des Wortes „Begriff“ zumeist auch eine sprachliche Dimension ausweist. (Man denke nur an die Vielzahl der *Fachbegriffe* im Chemieunterricht, die demnach Termini heißen müssten.) Da in der Analyse der Lernerperspektive keine eigenen Daten erhoben werden und damit auf das Auswertungsvokabular anderer, die diese Unterscheidung ebenfalls nicht tätigen, zugegriffen wird, erscheint eine Abkehr vom Gängigen ungeeignet.

Die Komplexitätsebenen innerhalb der Vorstellungswelt berücksichtigend, wird zwischen *einfachen Vorstellungen* (um die lange Beschreibung *Vorstellung geringer Komplexität* zu umgehen) und *Konzepte* unterschieden.

Als kleinste Elemente werden *einfache Vorstellungen angesehen*: die kognitive Repräsentation von *Stuhl, Tisch, Baum* ist eine Vorstellung, erfahrbar wird diese Vorstellung über die Zeichen im Bereich der Sprache. Für den relevanten Inhaltsausschnitt meines Vorhabens wäre dies beispielsweise: „Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen“ Ein *Konzept* repräsentiert eine weitere Ebene und beinhaltet Prozesscharakter: „auf einem Stuhl kann man sitzen“. Das Wort *Konzept* ist damit dem Terminus Rahmenvorstellung (*FRAMHAM-DIGGORY 1994 in DUIT 1996*) nahe: Für die Vorstellung „Stuhl“ ist ein dazugehöriges Konzept „Ein Stuhl ist etwas, auf dem man sitzen kann“. Im zu untersuchenden Inhaltsausschnitt wäre dies beispielsweise die Zuordnung von Eigenschaften oder die Darstellung von Prozessen: „Kleine Teilchen *stoßen sich ab*,“ (weil sie sich wie kleine Bälle verhalten). Oder aber: „Teilchen können schmelzen“ (weil sie stoffliche Eigenschaften haben).

Werden Konzepte wiederum vernetzt, entwickeln sich Denkfiguren und Theorien; Innerhalb der Vorstellungsforschung ist umstritten, ob Vorstellungen eher als eine Ansammlung unverbundener, z.T. gegensätzlicher, unstimmiger kognitiver Elemente zu verstehen sind, oder ob sie zu Gedankengebäuden zusammengefasst werden, die theorieähnlich, zumindest zu Teilen konsistent und kohärent zusammengefasst werden (*DI SESSA 1998*). Diese Arbeit kann diesem Diskurs nicht Rechnung tragen, notwendig ist lediglich eine Unterscheidung hinsichtlich der Komplexität. Nominelle, beschreibende Einzelaussagen, werden als einfache Vorstellungen benannt, ein komplexeres Gefüge, das in sprachlicher Dimension *erklärenden* Charakter hat, gilt im Folgenden als *Konzept*, nicht weiter hinterfragend, ob dies Theoriecharakter aufweisen könnte oder nicht: insgesamt werden die Begriffe *Vorstellung und Konzept* als kognitive Elemente verwendet, die auf der Basis externalisierter Produkte (Worte, Sätze, ikonische Zeichen) erhalten werden.

Die in den Daten dokumentierten Schüleräußerungen oder Verschriftlichungen sind als (Handlungs-) Ergebnis kognitiver Aktivität anzusehen und mit dieser folglich systematisch verbunden. Es sei betont, dass alle Regelhaftigkeit und Stabilität nur der Logik der *äußeren Beobachter* entsprechen und damit auf der Grundlage der von ihnen angenommenen Erklärungsmodelle (ihres kognitiven Systems) angestellt und beurteilt werden. Ich erfasse keine Schülervorstellungen im Sinne mentaler Strukturen, sondern sprachliche Externalisierungen, die auf kognitive Prozesse zurückzuführen sind; diese werden vom Forscher interpretiert. Damit ist ihre Interpretation etwas intersubjektives zwischen dem, was dem beobachtenden Forscher dargestellt wird und seinen eigenen konzeptuellen Anteilen, Forschungsergebnisse über Schülervorstellungen sind keinesfalls Etwas, was dem kognitiven System des Probanden kohärent sein *muss*; es sind allerdings die uns *zugänglichen* Produkte der Repräsentationen des jeweiligen Subjekts.

Abschließend: Deutlich wird, dass die Bezeichnungen *Konzeptwechsel* und *Konzeptveränderungen* gegenüber der des *Vorstellungswechsels* und der *Veränderung* mehr Prägnanz aufweisen: Lernen in den Naturwissenschaften zielt auf die Aneignung von komplexeren Erklärungsprozessen ab.

3.2. Ursache von Vorstellungen und Konzepten

Als Verständnis von Lernen hat sich in den letzten Jahrzehnten die konstruktivistische Perspektive des Lernens als *Conceptual Change* und *Conceptual Growth* durchgesetzt (VOSNIADOU 1994, DUIT 1995). Ansätze zu Strategien zum Conceptual Change haben mittlerweile eine Fülle von Varianten entwickelt (vgl. Kap. 5). In diesem Abschnitt soll auf die Entstehung und Verursachung von Vorstellung und Konzepten eingegangen werden.

DUIT unterscheidet zwischen Vorstellungen, die *ad-hoc* generiert werden, wenn wir etwas Neues entdecken und uns erklären, und solchen, die tief verankert sind. Erstere sind leicht durch geeignete Lernumgebungen zu verändern, letztere schwieriger (vgl. HÄUßLER et al. 1998, 169 ff).

Woher rühren diese tief verwurzelten Vorstellungen und Konzepte? Sie basieren auf der alltäglichen Erfahrung in der Individualentwicklung, sie bewähren sich im alltäglichen Leben, sie geben Sicherheit und Zufriedenheit. Damit sind die Bedingungen von Unterricht, der alternative, wissenschaftlich begründete Vorstellungen und Konzepte zur „Übernahme anbietet“, ungünstig; die Schülervorstellungen und Konzepte müssen hierfür als unbefriedigend und nicht ausreichend herausgestellt werden. SCHUMACHER et al. (1993) gehen sogar soweit, dass sie erklären, stabile Vorstellungen und Konzepte würden aufgrund einer generellen Resistenz des Menschen gegen Veränderungen nur sehr schwer zu verändern sein (ebd., 175).

GROPENGIEßER hat die *Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens* für das kausale Erklären von Schülervorstellungen mit dem Ziel, dahinter liegende Konzepte und subjektive Theorien auszumachen, für die biologiedidaktische oder allgemeiner für die naturwissenschaftsdidaktische Forschung adaptiert. Die Theorie stammt aus der Kognitionslinguistik (LAKOFF & JOHNSON 1987, vgl. GROPENGIEßER 2001).

„Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens werden die zentralen Kategorien unseres konzeptuellen Systems nicht objektivistisch und als Abbildungen der Realität („Spiegel der Natur“) gebildet, sondern durch unmittelbare Erfahrungen mit der Wahrnehmung, der Körperbewegung, unserer physischen und sozialen Umwelt. Die auf der Grundlage dieser Erfahrungen erwachsenen Vorstellungen werden als verkörperte Vorstellungen bezeichnet (LAKOFF 1987, 267). Vorstellungen, die nicht direkt auf verkörperter Erfahrung gründen, werden unter Verwendung von Metaphern aus den Bereichen mit körperlicher Erfahrung gebildet (Anm.: Kognition ist daher schöpferisch). Es wird dabei ein Verständnis erlangt, indem Vorstellungen aus einem Ursprungsbereich in einen Zielbereich übertragen werden. Die Theorie geht davon aus, dass Erfahrung und Kognition nicht willkürlich miteinander verknüpft werden; Erfahrungen legen die Vorstellungen zwar nicht fest, beschränken aber die Konzeptualisierung (GROPENGIEßER 1999, 62; LAKOFF 1987, 268). Es wird angenommen, dass Individuen - zumindest in einer Kultur - prinzipiell ähnliche grundlegende Erfahrungen machen, reiner Subjektivismus und totaler Relativismus sind deshalb nicht gegeben (LAKOFF 1987, 268)“. (JANSEN-BARTELS, SANDER 2004, 112)

GROPENGIEßERS Ansatz ist kompatibel mit einer konstruktivistischen Erkenntnistheorie ROTHs (1994), entwicklungspsychologische Referenz besitzt sie nicht.

Große Verbreitung besitzt die von CHI, SLOTTA und LEEUW (1994) entwickelte *kognitivistische Theorie* mit Hilfe so genannter *ontologischer Kategorien*, ihre Genese wird in der Entwicklungspsychologie für die Beschreibung kognitiver Entwicklung herangezogen: es sind die basalen Elemente, auf denen Wissen konstruiert wird; Vorstellungen werden sodann nach CHI et al. generiert auf der Basis dreier ontologisch entwickelter Kategorien: die der *Dinge* „matter“, der *Prozesse* „process“ und der *mental Zustände* „mental states“; sie arbeiten mit Untergliederungen jeder dieser Kategorien.

Zur ersten Hauptkategorie gehören Gegenstände und Eigenschaften, zur zweiten zeitliche Prozesse wie „lief ...ab“, „geschah gestern“, zur letzten Träumen, Bilder, Überzeugungen wie „ist wahr“. Diese Kategorien werden in Subkategorien untergliedert und hierarchisiert, so wird die Dingkategorie unterteilt in Artefakte und Naturdinge, letztere in lebendige und nichtlebendige „Dinge“. „Prozesse“ werden unterteilt in „Prozeduren“, „Ereignisse“, - diese in intentionale und zufällige – und so genannte *constraint-based interactions* (*constrain* engl. für *zwingen*) welche abstrakte Prozesse beinhaltet. Die ontologischen Kategorien haben keine gemeinsamen Eigenschaften, sie sind ontologisch verschieden und exklusiv.

Nach CHI et al. ist Lernen als Konzeptwechsel mit einem Wechsel der ontologischen Kategorien verbunden. Conceptual Change wird dann als *Veränderung des Kategorisierungsprozesses* angesehen. „Fehlvorstellungen“, die im Besonderen der constraint-based-Subkategorie zuzuordnen sind, sind dann Kategorisierungsfehler bzw. -schwächen.

Die Kategorisierung ist nicht unumstritten, ihre Zuordnungen werden gerade was Konkretisierungen betrifft, nicht als eindeutig empfunden:

„Bei der recht pauschalen Zuordnung, die das System von Chi et al zulässt, gehen für die Planung von Unterricht entscheidenden Feinheiten verloren.“ (DUIT 1996, 154)

Daneben kann das Modell in seiner allgemeinen Form der Domänenspezifität von Lernen selbstverständlich nicht recht werden. So birgt das Konzept von Stoffen in der Chemie (im engl. ebenfalls „matter“) Kategorisierungsschwierigkeiten in Abgrenzung zu den Dingen, Körpern, Objekten: (vgl. Kap 2):

„However, matter is not an ontological categorie. [...] From early ontological categories, the concept of matter is closest to the concept of object. Roughly, inferring only on the macro level, their relationship is shown in the following statements:

‘All objects are made of matter.’ ‘Any matter need not be an object.’“

(KRNEL et al. 1998, 260)

Daneben stellte VOSNIADOU et al. (1994) auf der Basis umfangreicher Studien zu „students conception of the earth“ eine andere „kognitivistisch“ orientierte Theorie über Conceptual Change und der Ursache von Konzeptentwicklung auf.

Die Arbeitsgruppe arbeitet mit rekonstruierten *mentalen Modellen* der Erde und untermauert verschiedene rekonstruierte mentale Modelle mit einem theoretischen Modell: ein *mentales Modell* ist in *kognitive Strukturen* eingebettet, die sie als *Rahmentheorien* bezeichnen. Sie sehen diese als Zwänge, Hürden, Schwierigkeiten (*constraints*) für die *Konzeptbildung* an. Es werden *domänenspezifische Rahmentheorien* und *spezifische Theorien* unterschieden, erstere ist laut STARK (2002) der „metaphysische“ Überbau und umfassen ontologische Überzeugungen (z.B. Raum Struktur, Eigenschaften von Gegenständen) und epistemologische Überzeugungen (z.B. dass die Dinge so sind, wie sie uns erscheinen). Unter diesem theoretischen Überbau werden Beobachtungen interpretiert und es entstehen Muster mentaler Modelle: die Erde ist flach, fest und unbeweglich; diese Annahmen bilden die speziellen Theorien für einen jeweiligen Lebensweltausschnitt (vgl. STARK 2002).

Wichtig ist, dass die Rahmentheorien für das Individuum möglichst kohärente Erklärungssysteme darstellen, die auf Alltagserfahrungen beruhen, sich konsistent entwickeln, hochgradig kognitiv vernetzt sind und sich zumeist bewähren. Deshalb sind sie relativ resistent gegenüber Veränderungen, eine Revision kommt einem (persönlichem) Paradigmenwechsel gleich.

CHI geht in ihrer Theoriebildung eher deduktiv vor, während VOSNIADOU wie auch andere kognitivistische Ansätze der Lehr-Lernforschung aus psychologischer Richtung stärker induktiv gearbeitet haben.

„Wenn man (nämlich) ontologische Kategorisierungen [Anm.: gemäß CHI et al.] als das implizite Wirksamwerden von Rahmentheorien interpretiert, kommt die Veränderung von Rahmentheorien einer neuen ontologischen Kategorisierung gleich. Insofern als die Ver-

änderung von Rahmentheorien auch mit weniger gravierenden ontologischen Konsequenzen einhergehen kann, stellt der Kategorisierungsansatz einen Spezialfall des Rahmentheorieansatzes dar.“ (STARK 2002, 11)

Beide Ansätze haben gemeinsam, dass sie defizitorientiert erarbeitet wurden: Sie richten ihren Fokus eindeutig darauf, was Probanden bzw. Lerner *nicht* können, was sie falsch machen. Somit wohnt beiden eine stark normative Komponente inne. Das *kognitivistische* Konzept- und Conceptual Change Verständnis wird von Seiten der konstruktivistischen Perspektive z.T. scharf kritisiert, STARK (2001) stellt ihm das situationistische oder kontextualistische Verständnis gegenüber. Dieses ist weniger normativ, sondern ressourcenorientiert. Perspektive ist in diesen die auf die *Ubiquität* der Konzepte und die *Abhängigkeit ihrer Nutzung* in jeweiligen Situationen. Beim Generieren eines Konzepts werden bereits verinnerlichte Schemata in Abhängigkeit vom Kontext wirksam, Ansätze situationistischer und kontextualistischer Art haben eine stärker *funktionale* Ausrichtung auf die *Bedingungen*: eine Situation im Alltag, beispielsweise „Das Haus ist durch den Brand zerstört, vernichtet“ kann durch andere Konzepte beschrieben werden als durch fachliche: Die Tatsache, dass all die Materie, die das Haus bildete - modellhaft in Form der Atome – noch vorhanden ist, hilft einem Brandopfer in keinem Fall weiter, scheint gar gänzlich unpassend! Ein weiterer Aspekt daran ist sicherlich die Abkehr von der „cold-cognition-perspective“ (PINTRICH 1993), so werden der Einfluss persönlicher Interessen, des Selbstkonzepts und Zielorientierung nicht berücksichtigt.

CARAVITA und HALLDÉN (vgl. HALLDÉN 1999) als Vertreter des kontextbasierten Conceptual Change entwickelten beispielsweise ein hierarchisches Kontextmodell. In diesem Modell wird zum einen zwischen Alltagskontext und wissenschaftlichem Kontext, zum anderen zwischen drei Abstraktionsebenen unterschieden. Kernaussage ist, dass auf den Ebenen II und III ganz unterschiedliche kognitive Ressourcen genutzt werden und die Interpretation einer bestimmten Aufgabe, eines bestimmten Problems bestimmen. Auch dieser Ansatz nimmt daher eine Hierarchisierung von Vorstellungen und Konzepten, von Theorien vor, gibt allerdings dem Anwendungskontext die entscheidende Rolle. Die Kontextualisierung ist immer Ergebnis der Interaktion von Merkmalen der wahrnehmenden Person mit wahrgenommenen *constraints* oder *affordances* (Anforderungen) der Situation (GREENO 1992, in STARK 2001). SALJÖ gibt der Konzeptualisierung zudem eine kulturelle Komponente. Der Konzeptgebrauch steht immer in einem bestimmten historischen, kulturellen und sozialen Kontext.

Elaborierte Modelle über tief gründende kognitive Strukturen in der Chemie zum Bau der Materie existieren nicht. Die Theorieentwicklung über die Konzeptentwicklung bei dem Lernen des Perspektivwechsels muss stattfinden.

Über einzelne „Fehlvorstellungen und Konzepte“ liegen Interpretationen vor, auf die in den Teilkapiteln auch eingegangen wird. Im Kapitel 5 wird auf den Prozess und die intentionalen Bedingungen des Veränderungsprozesses eingegangen. Diese Thematik streift oft auch die Herkunft, den „Ansatz für die Veränderung“. Um Redundanz zu vermeiden, sind diese Ansätze in diesem Kapitel nicht aufgeführt.

3.3. Kategoriensysteme der Schülervorstellungen

Schülerinnen und Schüler sind vor Eintritt in den Chemieunterricht hinsichtlich ihrer konzeptuellen Voraussetzungen nicht „wie unbeschriebene Blätter“ anzusehen. Sie treten mit z. T. tief verankerten Vorstellungen in den Chemieunterricht ein. Diese Schülervorstellungen und -konzepte entsprechen oft nicht den fachwissenschaftlichen Konzepten, sie sind als alternative zumeist wahrnehmungsbasierte Vorstellungen und Konzepte anzusehen, die stabil neben den im Unter-

richt vermittelten Konzepten bestehen bleiben oder vermischt werden zu fachlich inadäquaten Konzepten.

Die Erforschung von Schülervorstellungen hat in der Naturwissenschaftsdidaktik mittlerweile eine längere Tradition:

„Die wichtigsten Vorstellungen, mit denen im Unterricht zu rechnen ist, sind mittlerweile bekannt“ (DUIT 1995, 910)

So findet man für das hier in den Fokus gerückte Basiskonzept zahlreiche Publikationen, in denen alternative Vorstellungen zu Themen wie *chemical change*, *matter and its particulate nature*, *phases of matter and their properties* u.v.m. behandelt werden.

Aus diesem Grund ist es für das Forschungsvorhaben nicht notwendig, eigene grundlegende empirische Daten darüber einzuholen, *welche Vorstellungen die Schüler in den Unterricht mitbringen*. Vielmehr geht es im Sinne des Forschungsmodells der Didaktischen Rekonstruktion darum,

- die vorhandenen Ergebnisse systematisch zu ordnen und zu den Inhalten der Fachlichen Klärung in Beziehung zu setzen, um eine Grundlage (Inhaltsstrukturierung) für die Konstruktion von Unterricht zu generieren;
- ein Kategoriensystem als Auswertungsinstrument zu entwickeln, das als Grundlage für die Analyse dieser und zukünftiger Daten dienen kann.

Zum einen werden Vorstellungen zu stofflichen Phänomenen und Prozessen wie Lösungsprozessen und Aggregatzustandsänderungen und den Bau von Stoffen aus Teilchen gesucht und geordnet (vgl. Kap. 3.3.1), zum anderen Vorstellungen zu stofflichen Veränderungen bei chemischen Reaktionen. Auch hier interessieren Vorstellungen zur Deutung auf der Modellebene der Teilchen und Atome. (vgl. Kap. 3.3.2)

Hierfür werden die Ergebnisse einer Vielzahl von Studien herangezogen. Besonders hilfreich waren dabei die Literaturdatenbank von DUIT & PFUNDT (1991, *ständige Aktualisierung, letzte Aktualisierung März 2009*), sowie die Online-Datenbank CARD. (<http://www.card.unp.ac.za/home.asp>).

Für die Auswahl der verwendeten Studien gelten folgende übergeordnete Kriterien:

- *Stichprobenmerkmal Alter*: Probandengruppen, die ausschließlich (oder mitunter) schulstufengemäß der Sekundarstufe I entsprechen.
- *Erhebungsmethode*: keine geschlossenen Paper- and Pencil-Test (Multiple Choice), weil hier der Vergleich zu den Ergebnissen aus offenen Fragebögen und v.a. denen der Interviewverfahren meines Erachtens methodologisch nicht zulässig sein kann. Da geschlossene Varianten auch per Ausschlussverfahren beantwortet werden können und die Vorgabe von Antworten auch suggerierend wirken kann, besteht die Gefahr, dass die Daten nicht authentisch sein können und somit nicht der Qualität der offenen Erhebungstechniken gleich kommen.
- *Themenbezug*: Neben den Studien zu den Vorstellungen zu stofflichen Phänomenen und Prozessen (z.B. Vorgänge mit Gasen, Lösen von Feststoffen usw. und zum einfachen Teilchenmodell des Anfangsunterrichts liegt eine große Zahl von Ergebnissen zu Schülervorstellungen zu *chemical change* im Allgemeinen und zu *Verbrennungen* im Besonderen vor. Es liegen aber auch Querschnittstudien vor, die besonderen Fragestellungen unterliegen wie beispielsweise der Untersuchung der Komplexität der Vorstellungen in Abhängigkeit vom unterrichtlichen Werdegang (z.B. Modelldifferenzierung vom einfachen Teilchenmodell zum Modell des Ionengitters in Probandengruppen unterschiedlichen Alters (HILMING 2003), die Genese der Atommodelle vom einfachen Korpuskel zum Kern-Hülle Modell und den weiteren Differenzierungen, (TREAGUST 1989, 1996)). In diesen Fällen werden nicht explizit alle Vorstellungen derjenigen Probanden herausgesucht, die der Altersgruppe entsprechen, denn

eine erfolgte Globalanalyse erbrachte hier auch keinen zusätzlichen Gewinn. Ausgeschlossen werden auch solche, die auf die Erfassung bestimmter, mittels Intervention im Unterricht erarbeiteter Konzepte ausgerichtet sind – (wie beispielsweise den Aufbau von Salzen im differenzierten Atommodell in bestimmten Treatments) oder solche, die sich ausschließlich mit *einem* einzigen stofflichen Beispiel beschäftigten. Besondere Beachtung finden allerdings Vorstellungen zu Verbrennungen, da sie für die Entwicklung von Schlüsselementen von besonderer Bedeutung sein werden.

- *Validität*: Die Vorstellungen und Konzepte sollten durch verschiedene Studien in verschiedenen Aufgabenkontexten belegt worden sein. In der Card-Datenbank werden sie hierfür mit einem entsprechenden Status belegt, Level 3 und 4 belegen diese empirische Evidenz (vgl. <http://www.card.unp.ac.za/home.asp>).
- Es existiert eine Fülle von Sekundärliteratur, darunter sind auch solche Beiträge, die Kategorisierungen im Sinne von Reviews, teils von Metaanalysen auf der Basis der vorliegenden empirischen Befunde vorgenommen haben (vgl. ANDERSSON 1986, 1990. RENSTRÖM 1990, WANDERSEE et al. in GABEL 1993, STORK 1995, BARKE 2006). Um für die oben genannten Ziele ein System zu haben, das Stoff- und Teilchenebene systematisch aufeinander bezieht, müssen die bisherigen, bekannten Vorschläge neu strukturiert werden. Für diese neuen Kategoriensysteme bietet die Sekundärliteratur eine Grundlage und ein gutes Korrektiv.

In den Kategorien werden im Vergleich mit den fachlichen Grundlagen (vgl. Kap. 2) die Diskrepanzen herausgestellt. Dies dient als Grundlage für die Implikationen der Didaktischen Strukturierung. Daneben ist aus den Kategoriensystemen ein jeweiliger Kodierschlüssel für die Daten zu entwickeln.

3.3.1. Vorstellungen zu Stoffen und zum Aufbau von Stoffen aus Teilchen: Das Kategoriensystem I

Für den Chemieunterricht ist der Perspektivwechsel zwischen der Stoff- und der Modellwelt der Teilchen charakteristisch. Das Beherrschen dieses Wechselspiels ist eines der Basiskonzepte und eine zentrale Voraussetzung für den weiteren Lernzuwachs und -erfolg. Dieses Wechselspiel zwischen der Stoffebene und der funktionalen Nutzung der Teilchenebene wird von Schülern schwer, z.t. nicht akzeptiert bzw. adäquat umgesetzt. Im Folgenden werden Vorstellungen über das benannte Themengebiet aufgeteilt in solche, die der Stoffebene - die als Kategorie A bezeichnet wird - oder der Teilchenebene – die als Kategorie C bezeichnet wird - zuzuordnen sind. Zwischen diesen beiden kategorialen Ebenen liegt eine Kategorie B der „Zwischenebene“, der sog. duale Sichtweisen oder Mischkonzepte zugeordnet werden.

**Kategorie A: Vorstellungen zur Welt der Stoffe, aus denen Körper/
Gegenstände bestehen**

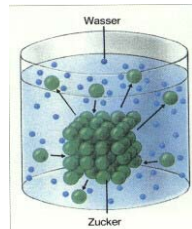


Tee: eine Lösung

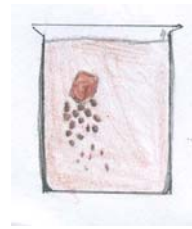


Eiskristalle: festes Wasser

**Kategorie B: Mischkonzepte aus Aspekten der stofflichen Ebene und
der Modellebene**

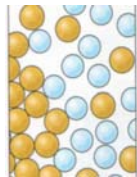


z.B. Teilchen in einem kontinuierlichen Medium



z.B. Teilchen entstehen – sind sie vorgebildet oder nicht?

**Kategorie C: adäquate Vorstellungen über Teilchen, die die Stoffe
bilden**



Lösen bedeutet Mischen von Teilchen



zwischen den Teilchen ist nichts

Abb. 3.2: Der Kategorienwechsel A – C, und die Mischung der Kategorien in B²⁰

Die inhaltliche Analyse der großen Datenbasis ermöglicht es nun, Vorstellungen zu verschiedenen Phänomenen strukturell zu aggregieren und Gemeinsamkeiten bei der Suche der konzeptuellen Elemente herauszustellen. Auf diese Weise werden Kategorien und eine begrenzte Zahl von Unterkategorien ausgewiesen.

Im Anschluss an die jeweilige Beschreibung der Schülervorstellung und an ausgesuchten Beispielen wird die Bedeutung für das Einführen fachlicher Konzepte eingeschätzt. So kann abgeschätzt werden, ob und in welcher Weise Vorstellungen eine Barrierenfunktion für die Akzeptanz einzuführender Konzepte haben können. Hierfür steht leider nur Literatur zur Verfügung, Urteile sind nicht immer empirisch abgesichert. Oftmals handelt es sich um prognostizierte Schwierigkeiten von Seiten der wissenschaftlich arbeiteten Fachdidaktik oder Erfahrungsberichte aus der Unterrichtspraxis.

²⁰ Bildquellen: oben: <http://www.pixelio.de/search> Stichworte: *Teetasse, Eiskristalle*, Mitte: HÄUBLER et al. 1996: 23, Schülerzeichnung: Gymnasium Adolfinum Bückeburg 2002, anonym, unten: http://www.elsenbruch.info/ch7_down/OHP_Loesen_Kristalle.jpg <http://www.tgs-chemie.de/seite210.jpg>

Das Kategoriensystem I

A Stoffebene

Dieser Kategorie werden phänomenologische Beschreibungen und ihre Deutungen zugeordnet, in denen *keine* Interpretationen auf submikroskopischer Ebene stattfinden. Der Inhaltsausschnitt dieser Kategorie besteht weniger in der Einordnung von Vorstellungen bzgl. der Frage „Welche Eigenschaften haben Stoffe?“ („Steckbriefe“), sondern vielmehr in der Beschreibung von *Prozessen*. Relevante Prozesse sind z.B. Aggregatzustandsänderungen, Lösungs- und Mischungs- bzw. Verteilungsvorgänge. Ebenfalls mit zugeordnet werden Vorstellungen, in denen mit Gegenständen/Körpern wie mit Stoffen sprachlich verfahren wird. Somit werden Vorstellungen erfasst, die für die erste(n) Unterrichtseinheiten im Fach Chemie relevant sind.

A1 Das Verschwinden von Stoffen zu nichts oder zu weniger

Vorstellungen dieser Unterkategorie werden vom visuellen Eindruck geprägt: Das Lösen von Stoffen in einem Lösungsmittel wird bei dieser Kategorie A1 als *Verschwinden* des Stoffes gedeutet. Derartige Vorstellungen erfasste bereits PIAGET (PIAGET 1969) bei der Untersuchung des kindlichen Verständnisses der Invarianz der Stoffe, (und der Masse und des Volumens): der Stoff ist nicht mehr erkennbar, also ist er nicht mehr vorhanden.²¹ Dieses vollständige Verschwinden von Materiellen wird bei Schülern der Jahrgänge der Sekundarstufe I nicht mehr auftreten, aber der quantitative Aspekt ist relevant:

Beispiele:

Wird Salz in Wasser (auf)gelöst, so wird angenommen, die Lösung wiege beispielsweise anschließend weniger als die getrennten Stoffportionen Salz und Wasser. Zumeist wird begründet, dass der Feststoff nicht mehr fest sondern flüssig oder verdünnt geworden ist und /oder nicht mehr sichtbar ist (PFUNDT 1981).²² Geschmolzenes Wachs ist leichter als dieselbe feste Wachsportion (STAVY 1990a). Eine bestimmte Menge verdampften Spiritus wiegt weniger als dieselbe Menge (genauer Masse) im flüssigen Zustand (NOVICK 1981 NUSSBAUM 1985).

Vernetzungen dieser Kategorie mit der Unterkategorie des so genannten *nonmaterial properties* – Konzept (siehe weiter) sind möglich: Stoffe verschwinden, lassen aber bestimmte Eigenschaften zurück; Zucker beispielsweise verschwindet, lässt *seine Süße* aber zurück.

Beurteilung:

Derartige Konzepte widersprechen dem Erhaltungsprinzip der materiellen Grundlage von Stoffen (vgl. Kap. 2). Sie widersprechen auch der Möglichkeit der vollständigen Rückgewinnung. Derartige Konzepte könnten somit eine Barriere für das Herleiten und Anwenden experimenteller Verfahren zur Untersuchung von Stoffen und damit zum Verständnis zentraler Methoden der Chemie sein.

Im außerschulischen Kontext ist es ohnehin problematisch: Bei diesem Konzeptverständnis kann ein sinnvoller Umgang mit materiellen Ressourcen *verstanden* werden, beispielsweise kön-

²¹ PIAGETSche Untersuchungen werden heute kritisch gesehen, sie dienen hier nicht als Quellen, wie Literaturangaben der Beispiele belegen.

²² Auflösen und Lösen wird in der Schülersprache häufig synonym verwendet. Wenn Schüler äußern oder schreiben „der Zucker löst sich auf“, bedeutet dies nicht unbedingt, dass das Konzept dem völligen Verschwinden des Stoffes entspricht. Auch JÄRV und KIKAS weisen in der Darstellung ihrer Untersuchungsergebnisse darauf hin, dass auflösen und lösen in der Kindersprache nicht unterschieden werden. (vgl. JÄRV, KIKAS 2002, 139) Daher ist es wichtig, in weiter Kontextführung zu interpretieren, ob im Sinnzusammenhang vom Vorhandensein des Stoffes ausgegangen wird oder nicht mehr.

ne Müll (genauer Stoffe, die Müll bilden) ja „zu nichts, zu weniger“ verschwinden – womit die ökologische Problematik nicht verstanden ist. Zudem können materielle Kreisläufe nicht erfasst werden, was sowohl in der Lebenswelt als auch in den Naturwissenschaften von Belang ist.

NOVICK und NUSSBAUM setzen Vorstellungen zum Verschwinden der in den gasförmigen Zustand überführten Stoffe mit einer zugrunde liegenden Denkfigur in Verbindung, dass Gase *per se* in den Vorstellungen der Schüler leichter seien als Flüssigkeiten und Feststoffe (vgl. NOVICK 1981): dass das *weniger werden* und *ganz verschwinden* von derselben Denkfigur herrührt.

Die Modelle der ontologischen Kategorien, die Kategorie „matter“ (CHI *et al.*) sowie die Rahmentheorie VOSNIADOUS könnte hier so interpretiert werden, dass Stoffe und Gegenstände keine materielle Konstanz aufweisen, weil sie visuell nicht mehr wahrgenommen werden. Aus der Alltagserfahrung heraus verlieren Stoffe und Körper auf diese Weise an Bedeutung, man kann mit ihnen oft keine Handlungen mehr vornehmen (z.B. sind luftgefüllte Flaschen nur noch *leere* Flaschen; selbstverständlich gibt es zahlreiche Ausnahmen wie die Luftpumpe). Wenn man hier aber insbesondere auch den GROPENIEBERS Ansatz des „verkörperten Denkens“ heranzieht, so spielt in der konkreten Wahrnehmung Luft oder Gase eine unbedeutendere Rolle als die zahlreichen Stoffe und Gemische anderen Zustands. Mehr noch, geht es auch um die Art der Wahrnehmung und ihrer Deutung: Die Ursache kann begründet werden mit einem *Kategorisierungsfehler im Ebenengebrauch*: Luftgefüllte Gegenstände sind leichter als die mit Flüssigkeit gefüllten (Erfahrungen der Gegenstandsebene), d.h. aber nicht, dass die Stoffe, die die Gegenstände bilden oder in sie gefüllt wurden, in der *Quantität* ungleich sein müssen: Man kann ein Kilo Luft und ein Kilo Wasser abfüllen und diese haben selbstverständlich gleiche Massen - sie haben allerdings ganz unterschiedliche Volumina! Die Argumente liegen demnach auf der Gegenstandsebene, sie werden aber mit denen der Stoffebene gleichgesetzt. Die Annahme, dass einzelne Qualitäten bestehen bleiben, tangiert einen weiteren Bereich dieses Konzepts (siehe weiter A4).

A2 Verdünnungs- und Verdichtungskonzepte

Im Konzept dieser Unterkategorie ist der Bau der Stoffe *kontinuierlich* gedacht; Kontinua werden verdünnt („weniger dicht“) oder verdickt, verdichtet.

Beispiele:

Stoffe verdichten und verdünnen sich bei Änderung ihres Aggregatzustandes oder beim Lösen in einem Lösungsmittel: „Wasser verdünnt sich zu Wasserdampf“; Kontinuierlich ist dabei die Qualität *Dichte* (gemeint ist nicht die physikalische Definition): ein Stoff ist als Kontinuum fähig, verdichtet (komprimiert) oder verdünnt (auseinander gezogen) zu werden *wie Watte*, wie *eine Wolke*. (PFUNDT 1981, 82). Wird ein Kupfersulfatkristall in Wasser gelöst, so wird das Kupfersulfat verdünnt, das Kupfersulfat verdichtet sich beim Auskristallisieren wieder. Verdunstet Ethanol, so verdünnt er sich (vgl. *ebd.*, WENINGER 1982). Beim molekularen Sieben (WILMS, OETKEN *et. al* 2004) verdünnen sich Farben (die Farbstofflösungen, dünne Farben können durch das Sieb hindurch diffundieren), dickere nicht (PEPER *et al.* 2007). Mit Verdichtungs- und Verdünnungskonzepten geht häufig ein Verwechseln bzw. Gleichsetzen von Lösungsvorgängen und Aggregatzustandsänderungen einher.

Beurteilung:

Verdichten und Verdünnen wird hier qualitativ interpretiert. Dieses Konzept hat daher vermutlich mit der Formalisierung auf quantitativer Ebene - bezogen auf den Massen/Volumenquotienten als fachliche Definition der Dichte - nichts gemeinsam. Im Sinne eines *Conceptual Growth* (vgl. Kap. 5) sollte es mit diesem zu verbinden sein. Die Frage, ob das Konzept eine Barrierenfunktion für die Erarbeitung des Teilchenkonzeptes haben könnte, kann nicht beantwortet werden. Möglich ist, dass hieran angeknüpft werden kann: Das stoffliche Konzept *Dichte* kann mit Hilfe des Modells von Teilchen vertieft und differenziert werden - ein Erweitern und Umdeuten ist gemeint. Dabei können aber auch (fachlich zu simple) Vorstellungen von statisch dichten Packun-

gen als Erklärung der stofflichen Dichte auftreten (ohne z.B. die Massen der Atome zu berücksichtigen, siehe weiter). Bemerkenswert ist, dass in einer der berücksichtigten Studien (PFUNDT 1981) auch ein Teil von Schülern, die das Teilchenmodell bereits kennen gelernt haben, konzeptuell solche Kontinua noch verwendet, was auf eine Präferenz des vorherigen Konzepts gegenüber einer mit dem Teilchenmodell vernetzten Denkweise hinweist.

A3 Mechanische und kraftbegründete Konzepte, Animismen

Vorstellungen dieses Konzepts zufolge *wohnt Stoffen eine Kraft, eine Stärke inne, die sie von innen heraus bewegt, etwas bewirken lässt*. Wichtig für diese Annahme sind signifikante Eigenschaften und Zustandformen des Stoffes. Zusätzlich kategorisiere ich hier auch Animismen²³ und das teleologische Konzept mit Hilfe finaler Aussagen.

Beispiele:

„*Heißes Wasser zieht, lässt Zucker zerspringen, greift an, zerstört*“ (STAVY 1990a, 1991). Auch *Kälte „macht stark“* und ist eine Art *Attraktor* (DRIVER 1985), Feststoffe sind *per se stärker* als Flüssigkeiten (DRIVER 1994). Neben diesen Konzepten werden hierzu auch Beschreibungen mit zugeordnet, denen ein so genanntes einfaches, mechanisches Verständnis zu Grunde liegt. *Wasser reibt, geht, drückt*. (PFUNDT & DUIT 1994, DUIT 1983, DUIT 1995). Der Stoff löst sich, weil er sich ausbreiten *will* (JÄRV et al. 2002).

Beurteilung:

Das erste der Konzepte widerspricht einerseits dem physikalischen Verständnis der Größe *Kraft*. Andererseits spricht es Stoffen Eigenschaften zu, die sie laut Fachkonzept nicht aufweisen. Dabei widerspricht das Konzept nicht den einzuführenden Fachkonzepten für das Lösen bzw. Mischen auf Stoff- (und auf Teilchen-) ebene, sondern kann als „weitere Zutat“ angesehen werden. Es kann als solches von den fachlichen Erklärungsmodellen unberührt bleiben. Beispielsweise kann ausgesagt werden: *Zucker ist wasserlöslich, Zucker löst sich und verteilt sich gleichmäßig im Wasser*. (im Unterricht erarbeitetes Fachkonzept), und auch, *weil das Wasser den Zucker nach und nach angreift, weil Wasser etwas davon abreibt* (zusätzliches Kraftkonzept).

Eine Klärung des Vorgangs auf fachlicher Ebene ohne Berücksichtigung der Schülerperspektive kann dazu führen, dass diese beiden Konzepte *nebeneinander* stehen könnten. Hinzu kommt, dass sich die Erklärungsweisen der Schüler zumeist auf die Kontinuumsebene beziehen und dort in der Regel alltagssprachlich beschrieben werden. Dies unterstützt die Verwendung eines alltagssprachlich diffus beschriebenen Kraftbegriffs. Auch daher sollte der Begriff explizit diskutiert werden.

Die Beispiele verdeutlichen, dass die *Stärke* von Stoffen oft an der Wahrnehmung evidenter Eigenschaften von Dingen, Körpern festgemacht wird. VOSNIADOUS Theorie entsprechend stellt es ein *initiales* Modell dar (VOSNIADOU 1992), das wenig von naturwissenschaftlichen Modellen (Kraft als physikalische Größe der Mechanik), sondern das dem handelnden Umgang mit Dingen des Alltags entspringt. Initiale Modelle haben dann Beständigkeit, wenn sie durch schulisches Lernen unangetastet bleiben, d.h. wenn keine kognitiven Konflikte auftreten (*ebd.*). CHI ordnet Strom, Wärme, Kraft und Licht der Subkategorie „constraint-based interaction“ der Kategorie Prozesse zu, und stellt fest, dass Kategorisierungsfehler darin bestehen, dass diese Phänomene der Ding-Kategorie zugeordnet werden. Auch dieser theoretische Ansatz stützt daher oben genannte Beurteilung (STARK 2002). Die Interpretationen lassen sich auch für die Fälle mechanischer und animistischer Sicht anwenden.

²³ Im PIAGETSchen Verständnis die Beseelung der unbelebten Natur als Brücke zwischen der Erfahrungswelt und dem neuen unbekanntem Ereignis (vgl. PÜTTSCHEIDER 2004, 167), Anthropomorphismus ist ein weiterer Fachbegriff hierfür.

Hinderlich erweisen können diese Konzepte sich in der Verknüpfung mit der Teilchenebene, die *Erklärungen* für Prozessabläufe gibt. Da aber mit einer inneren Kraft, Aktivität schon die Erklärung vorliegt, ist die Übernahme der neuen Informationen unattraktiv - insbesondere, wenn ein Austausch des Konzepts im Sinne eines kalten Konzeptwechsels gemeint ist. Das Teilchenmodell muss sich im Sinne eines Konzeptwachstums öfter als die der Kategorie A3 als brauchbarere erweisen, um akzeptiert zu werden. Der gezielte Einsatz von Animismen kann das Erlernen differenzierter, detailreicher und unanschaulicher Sachverhalte auch fördern (vgl. PÜTT-SCHNEIDER et al. 2004), das Konzept kann demnach als *ein* Ausgangspunkt der Reflexion von Schülervorstellungen genutzt werden.

A4 Nonmaterial properties, Eigenschaften sind übertragbar

In Vorstellungen dieser Kategorie bestehen Stoffe aus einem materiellen Bestandteil und immateriellen Eigenschaftszutaten („*There's a material core and added nonmaterial properties*“ STAVY 1990a, 256). Solche Eigenschaftszutaten können z.B. Farbe, Geruch, Geschmack, Wärme u.a. sein (ebd., PFUNDT 1981). Eine historische Parallele ist das ARISTOTELESSESche Konzept des Materiellen in der *Minima Naturalia* (Kap. 2).

Beispiele:

Aceton ist *Wasser*, das einen stechenden Geruch angenommen hat, die *Zutat* stechender Geruch wurde beigemischt (STAVY 1990a). Lösungsprozesse -und auch chemische Reaktionen, siehe weiter, Kapitel 3.3.2.- werden als Eigenschaftsänderungen *eines* Stoffes, der sich sonst in keiner Weise verändert, beschrieben. Ein Stoff nimmt eine neue, andere, zusätzliche Eigenschaft an. *Silber läuft schwarz an, das Eisen ist verrostetes Eisen. Eisen kann metallisch glänzend und rost/rostig sein* (PFUNDT 1982; HESSE et al. 1992).

Die Konsequenz der Annahme ist, dass die Eigenschaften von Stoff zu Stoff übertragbar sind – sie sind ja nicht an Materielles gebunden. Daher werden sie *immaterial* oder *nonmaterial properties* genannt.

Beispiel:

Das Salz Kupfersulfat *gibt seine Farbe an Wasser*, überträgt sich auf das Wasser (PFUNDT, 1979). Zucker gibt seinen Geschmack an Wasser ab. Das Süße überträgt sich, Zuckerwasser ist süßes Wasser (PIAGET, in ebd., EBENEZER et al. 1996).

Zudem wählen Schüler hier auch Eigenschaften, die fachlich nicht als solche anzusehen sind, sondern als energetische Erscheinungen anzusehen sind.

Beispiel:

Wolle besitzt die Eigenschaft *warm* und kann diese *Wärme abgeben* (DUIT 1986).

Eine andere Deutungsvariante solcher Aussagen ist, dass die genannten Eigenschaften wie Farbe, Wärme als eigenständige *Stoffe* betrachtet werden, die dann auch übertragbar und mit anderen Stoffen mischbar seien (KRNEL et al. 1998, DUIT 1992), Es liegt demnach ein *Stoff im Stoff* vor. Ein farbiger Reinstoff könne beispielsweise seinen *Farbstoff* abgeben. Spiritus könne seinen gasförmigen Geruchsstoff abgeben. Letztlich meinen beide Deutungen dasselbe: Eigenschaften, die an Stoffe, Materie gebunden sind, werden als selbständige, eigenständige Qualitäten betrachtet. Im Sprachgebrauch ist vermutlich die oben gewählte Variante stärker präsent, deshalb wird die erste Formulierung von *nonmaterial properties* beibehalten.

Beurteilung:

Im Konzept wird angenommen, dass ein Stoff eine *Auswahl* an Eigenschaften hat (Varianz der Eigenschaften). Das fachliche Konzept ist demgegenüber eine eindeutige Beschreibung von Stoffen durch typische, charakteristische Eigenschaftskombinationen unter definierten Bedingungen. Somit läuft dieses Konzept der Herangehensweise der Klassifizierung eines Stoffes zuwider. Stoffklassifizierungen sind notwendig, um im Folgeschritt Stoffveränderungen im Sinne chemischer Reaktionen zu erkennen, zu untersuchen und auch von anderen Vorgängen abzugrenzen. Wenn die Annahme besteht, Eigenschaften von Stoffen können verändert oder zerstört werden, ohne dass sich der Stoff selbst *ändert*, so können einzelne Eigenschaften bei chemischen Reaktionen übertragen oder abgelegt werden, dabei bleiben die Ausgangsstoffe selbst erhalten. Das vorunterrichtliche Konzept der variablen „Erscheinungsformen“ stellt somit eine klare Barriere zum Verständnis der chemischen Methoden der Erkenntnisgewinnung dar.

Im Anfangsunterricht könnte sich das Konzept bei der Beschreibung und Klassifizierung von Stoffen unter Umständen noch nicht deutlich zeigen. Da der zweite Unterrichtsabschnitt zum Themenfeld *chemischer Reaktionen* voraussetzungsgebunden ist, d.h. auf das Verständnis der Stoffklassifizierungen aufbaut, kommen ausgebliebene Konzeptveränderungen dann erst besonders zum Tragen. Daher müssen auch Quervernetzungen zwischen dem hier dargestellten Kategoriensystem 1 und dem noch folgenden Kategoriensystem 2 angestellt werden.

Die Ursache solcher immateriellen und übertragbaren Eigenschaften wird auch hier in der Übertragung der Prinzipien des Gegenstandsbereichs auf die der Stoffebene gesehen. Analoge Beispiele der Gegenstandsebene sind: Kleidung nimmt alltagssprachlich Geruch an, Gegenstände verfärben sich, sind aber immer noch dieselben, Bauklötze sind Bauklötze, auch wenn man sie anders anmalt usw. Sowohl nach CHIS Ansatz als auch nach dem Rahmentheorieansatz VOSNIA-DOUS handelt es sich daher um Kategorisierungsfehler. Neben dieser Deutung kann das erfahrungsbasierte Verstehen zu einer prozessbezogenen Interpretation führen. Die Übergabe und die Fähigkeit auf- bzw. anzunehmen kann man als tief verankertes Alltagsprinzip „Geben – Nehmen“ beschreiben. Auch MAICHLE (1981, 1985, nach DUIT 1992, 19) geht von einem solchen Alltagschema für die Erklärung von Elektrizitätsphänomenen in der Physik aus. Veränderungen auf der Ebene der Stoffe gehorchen demnach auch - unsichtbar – den Regeln dieses Vorgangs. Diese Deutungsvariante ermöglicht, dass die Veränderung dieses Konzepts nicht radikal- diskontinuierlich (vgl. Kap 5) über einen kognitiven Konflikt und dem Verwerfen des Konzepts, sondern in kontinuierlicher Weise erweitert und überarbeitet wird: Dabei könnte das Geben-Nehmen-Wechselspiel als Analogie für Prozesse auf der Teilchenebene oder als Begründung dieser dienen (siehe weiter).

A5 Gleichsetzung der Stoffebene wird mit der Gegenständlichen und mit phänomenologischen Erscheinungen

In Vorstellungen dieser Unterkategorie ziehen Schüler zur Beschreibung von *Stoffen* die Eigenschaften der *Stoffportionen oder Gegenstände* heran. Über Stoffe und Stoffeigenschaften wird wie über *Dinge*, über *Konkrete Körper*, *Gegenständliches* gedacht.

Beispiele:

Der Stoff Eisen unterscheidet sich, wenn es sich etwa um Pulver oder um einen Eisennagel handelt. Der Nagel besteht aus Eisen, das *andere Eisen* aus *Pulver* (DICKINSON 1987, VOGELZANG 1987 in KRNEL et al. 1998). Es muss demnach (mindestens) *zwei unterschiedliche Eisen* geben. *Pulver* wird auch als Zustand zwischen fest und flüssig angesehen (STAVY 1985). *Rost* ist immer noch (verrostetes) Eisen, weil ein Eisennagel auch verrostet immer noch ein *Nagel* ist. Ein Stoff hat nicht die Eigenschaft zähflüssig, sondern ist als Ganzes *Gelee*. Gelee ist dieser Denkweise nach *ein* Stoff, obwohl Gelee aus unterschiedlichen Stoffen bestehen kann. Gas wird verstanden als (der Name eines) Stoff(es), ähnliches gilt für konkrete Erscheinungen wie Rauch, Dampf. Die Begriffe werden verwendet wie der Name eines Stoff-

fes; der Name des Stoffes heißt Rauch, der Stoff, der Dampf bildet heißt *Dampf* (vgl. BARKE 2006).

Für derartige Vorstellungen ist die Form oder der Zustand des Gegenstandes für die Beschreibung ausschlaggebend. Beispielsweise ist zur Beschreibung eines *Stoffes* weniger relevant, dass eine Eigenschaft des Stoffes sein flüssiger Zustand ist, sondern, dass es sich um eine Flüssigkeit handelt. Die Ebene des Gegenständlichen wird zum zentralen Kriterium der Stoffklassifizierung. So könnten Eis und (flüssiges) Wasser als unterschiedliche Stoffe angesehen werden (dieses Beispiel ist allerdings empirisch nicht belegt). Ein weiteres Problem gleichen Konzepts ist, dass Lösen und Schmelzen verwechselt werden.

Beispiel:

Der Zucker wird *flüssig* (ANDERSSON 1990). Begründet wird diese Vorstellung mit der Schlierenbildung. Dieses Phänomen, das auf eine unterschiedliche Dichteverteilung und damit unterschiedliche Brechungsindizes zurückzuführen ist, kann auch dem Gegenstandsbe- reich zugeordnet werden: Die „Stoffgemischportionen“ weisen andere Eigenschaften auf als die Stoffe.

Beurteilung:

Wird nicht zwischen Stoffeigenschaften (intensiven Stoffeigenschaften, vgl. Kap. 2) und den extensiven Eigenschaften der Gegenstände unterschieden, kann das Klassifizierungsprinzip von Stoffen nicht nachvollzogen werden. Der konzeptuelle Fehler liegt in der Vermischung der Ebenen; Die von CHI vorgenommene Gleichsetzung o.g. Phänomene zu der Kategorie „matter“ (vgl. Kap 3.1) zeigt, dass die Unterscheidung – vorerst - als nicht so entscheidend angesehen wird. Stoffe und ihre Eigenschaften können nur durch gegenständliche Wahrnehmung erfasst werden, womit die beiden Ebenen, die der Stoffe und die der Dinge- zwingend miteinander verbunden sind. Der Schritt der Abstraktion, in welchem von der gegenständlich determinierten Wahrnehmung auf die Eigenschaften der Stoffe geschlossen wird, ist hier nicht erfolgreich. Das Anknüpfen und Reflektieren von Vorstellungen dieser Unterkategorie von großer Bedeutung.

Zu den Ursachen lassen sich abermals die bereits genannten Zuordnungsfehler heranziehen. Weiterführend kann auch auf die Theorien der kognitiven Entwicklung von DISSA et al (1983) und OGBORN et al. (1994) zum Konzept von Objekten und Stoffen in Abhängigkeit von Handlungen ((primitive) actions) verwiesen werden. Mit Perspektive auf die chemiedidaktische Aufgabe erfolgt hier keine nähere Darstellung. JUNG (1979) zählt zu den allgemeinen Rahmenvorstellungen (im Sinne von Konzepten gemeint) die „Dingekategorie“, deren Anwendung im Alltag überwiegt.

A6 Überinterpretation von Vorgängen als chemische Reaktionen

In dieser Unterkategorie werden Vorstellungen aufgeführt, in denen Vorgänge, die keine chemischen Reaktionen sind, als solche gedeutet werden. Die Kenntnis des Element- und Verbindungsbegriffs auf der Stoffebene kann diese Vorstellungen stützen.

Beispiel:

Wenn Wasser siedet, besteht das gasförmige Produkt aus Wasserstoff und Sauerstoff. Das Eindampfen einer Lösung verläuft wie eine Thermolyse (NOVICK (1981) (FISCHLER (1999)). (DE VRIES (2002), vgl. auch Einordnung BARKE (2004) in Kap. 2)

Beurteilung:

Die Stoffhaltung einerseits und Stoffzerstörung und -entstehung andererseits werden nicht voneinander abgegrenzt. Es handelt sich um ein zentrales Kriterium der Verfahrensunterscheidung in der Chemie. Es lässt sich experimentell aufarbeiten unter Erzeugung kognitiver Konflikte. Im

Folgekapitel, das Kategorisierungen zu chemischen Reaktionen vornimmt, wird dieser Aspekt wieder aufgegriffen. Zur Ursache urteilt BARKE: „hausgemacht“, d.h. durch den Chemieunterricht provoziert, (BARKE 2006, 25f), andere Einordnungen sind mir nicht bekannt. Wenn dieser Zuordnungsfehler allerdings durch Unterricht verursacht ist, dann ist das dahinter stehende Konzept nicht etabliert und kann durch veränderte Lernangebote vermieden oder aufgearbeitet werden. Da es gemäß CHI unpassende Deutungen innerhalb einer Unterkategorie sind, liegt es auch hier nahe anzunehmen, dass eine konzeptuelle Veränderung möglich ist.

Kategorie B: Mischkonzepte

In dieser Kategorie werden Beschreibungen eingeordnet, in denen entweder Vorstellungen mit Hilfe von Teilchen beschrieben werden, die nicht dem vollständigen Diskontinuumsmodell zuzuordnen sind oder solche, in denen makroskopische Merkmale auf diskontinuierliche Teilchen übertragen werden und umgekehrt. Damit sind solche gemeint, die sowohl **das Vorgebildetsein** von Teilchen **nicht** beinhalten als auch solche, in denen **Betrachtungsebenenüberschneidungen** von Stoff- und Teilchenebene auftreten. Da in beiden Fällen die Ebenen gemischt werden, spricht man von so genannten Hybridkonzepten.

B1 Kontinuierliche Körnigkeit

Stoffe zerteilen sich bei den Prozessen wie das Lösen und das Schmelzen aus einem Kontinuum, dem Ganzen heraus in kleinere, willkürlich (bzw. an willkürlichen Bruchstellen) entstehende, nicht mehr sichtbare Partikel. Sie teilen sich demnach in nicht-vorgebildete Teilchen. Die Zerteilungspartikel können auch wieder zu einem Kontinuum verschmelzen, zusammenfließen.

Beispiele:

Das Kupfersulfat zerteilt sich in ganz winzige Körnchen. Wenn das Salz wieder auskristallisiert, verbindet es sich wieder -nahtlos- zu einem kontinuierlichen Stoff. Das Zuckerstück zerbröselt in immer winzigere Teile, die nicht mehr sichtbar sind. (GOMEZ 1995, PFUNDT 1981, ANDERSSON 1990, RENSTRÖM 1990, MIKELSKIS-SEIFERT 2002)

Nach PFUND (1979,1981) werden diese kontinuierlichen Vorstellungen als „kontinuierliche Körnigkeit“ bezeichnet. D.h. die Vorstellung beinhaltet *das Konzept* von Teilchen im Sinne von körnigen Gebilden. Körnig meint dabei eine willkürliche Zerkleinerung, die nicht dem Grundgedanken des Diskontinuums entspricht. Wenn sich diese Teilchen aus einem Kontinuum heraus bilden, so haben als Konsequenz dieses Konzepts Teilchen die Eigenschaften der Stoffe (makroskopische Eigenschaften werden auf die Modellebene übertragen), Teilchen sind winzigste Stoffportionen. Vorstellungen dieser Kategorie beinhalten demnach sowohl den Zerteilungsgedanken als auch den der Eigenschaftsverlagerung.

Die Frage, ob das Zerteilen ein endlicher Vorgang ist und damit kleinste Bruchstücke entstehen, wurde in Schulbüchern gestellt, um das Modell kleinster Teilchen einzuführen (PFUNDT 1981, EILKS 2001). Für das Konzept dieser Unterkategorie ist nicht von Belang, ob dieses zerteilen unendlich weit vonstatten gehen kann, denn es beschreibt den *Entstehensprozess* der Teilchen – ob endlich oder nicht ist gleichgültig- ohne die Nutzung der Eigenschaft, dass die Teilchen vorgebildet sind. Im Hintergrund liegt hierbei die Parallele des Konzepts zum historischen Atomismus bzw. die Auseinandersetzung um die *Eigenschaften* der letzten Teilchen im Gegensatz zur stofflichen bzw. dinglichen Welt, wie ARISTOTELES sie postulierte (vgl. Kap. 2).

Beurteilung:

Die Vorstellung widerspricht dem Modellgedanken der Vorgebildetheit und zugleich der Spezifik der Teilchen eines Stoffes, die gerade *nicht* durch Qualitäten kleinster Stoffportionen gegeben

ist. Dass die Eigenschaften der entstehenden Teilchen die Eigenschaften der Stoffe haben, ist fachlich inadäquat.

Es handelt sich bei den oben genannten Beispielen um veranschaulichende, bildlich- mechanische Vorstellungen des Prozesses des Lösens. Das dahinterstehende Teilchenkonzept führt aber immer dann zu Verständnisbarrieren, wenn funktionale Teilchenbetrachtungen abgestellt werden, die die Phänomene auf der Stoffebene *erklären sollen*. Die zentralen definierten Teilcheneigenschaften wie beispielsweise das Modellkriterium, dass alle Teilchen *eines* Stoffes haben dieselbe Form oder Struktur und dieselbe Masse aufweisen und die Annahme, dass sie sich darin von den Teilchen eines anderen Stoffes unterscheiden müssen, sind nach diesem Konzept nicht von Belang. Es liegt demnach eine deutliche Diskrepanz zum wissenschaftlichen Modell vor. Daneben muss festgestellt werden, dass der Modellcharakter des Diskontinuums (Aussagekraft, Grenzen, Werkzeugcharakter) nicht erfasst wird. In weiterer Perspektive kann zudem festgestellt werden, dass das konzeptuelle Fundament zum Verständnis chemischer Reaktionen fehlt.

PIAGET & INHELDER leiteten aus ihren Untersuchungen ab, dass sich in der geistigen Entwicklung ein sog. *kindlicher Atomismus* als kognitives Instrument herausgebildet, der die Invarianz des Stoffes Zucker erklärt (PIAGET 1969). In der physikdidaktischen Lernprozessforschung finden sich Belege, dass für nicht-sichtbare Entitäten *Teilchen* häufig zur Beschreibung herangezogen werden. „Teilchen“ werden in diesen Kontexten als *kognitiver Attraktoren* bezeichnet. Kognitive Attraktoren wie das Teilchen werden demnach als Vorstellungen oder Übergangsvorstellungen häufig von Probanden auf Lernwegen generiert; *hypothetische*, oder *unbekannte, kognitive Werkzeuge* (AUFSCHNAITER & WELZEL 1997) sind andere Bezeichnungen hierfür. Zuweilen werden sie auch als ontologische Kategorie interpretiert. (vgl. Kap 3.1 und PETRI 1996, NIEDDERER 2001, PEUKERT 2001, WITTMANN 2001).

Im VOSNIADOUSchen Modell kann man das kontinuierliche Teilchen als *initiales* Modell ansehen. Von besonderer Bedeutung für die Nutzung der Teilchen- bzw. Körnchenvorstellung scheint das jeweilige Phänomen zu sein: handelt es sich um Prozesse mit Feststoffen, so könnte die Teilchenvorstellung allein aufgrund des Konzepts des sichtbaren Zerteilens suggeriert werden (WITTMANN 2001).

B1.1 Teilchen als Übergangsphänomen

Eine Besonderheit unter den oben genannten Vorstellungen tritt auf, wenn die kleinsten Teilchen sich nicht endlich zerkleinern, sondern unendlich bis sie gar nicht mehr vorhanden sind, sich ganz aufgelöst haben (vgl. ARISTOTELESsches Konzept, Kap. 2) (WENINGER 1982, siehe auch Kap. 2). Hier ist die Teilchenvorstellung nur eine sprachlich/visuelle Brücke. Es gelten oben genannten Beurteilungen.

B2 Betrachtungsebenenmischung

In Vorstellungen dieser Kategorie werden makroskopische Eigenschaften auf die Modellebene übertragen und umgekehrt. Häufig liegen Argumente zugrunde, die auch für die Kategorie B1 vorliegen (s.o.), aber die Übertragung geht nicht zwingend mit *der kontinuierlichen Körnigkeit* einher, d.h. dass der Zerteilungsgedanke nicht mit inbegriffen ist.

Beispiele:

Auch wenn der Diskontinuumsgedanke anerkannt ist, werden Aspekte der Stoffebene wie z.B. die Farbigkeit übernommen. *Kohlenstoffteilchen oder -atome sind schwarz*, oder: *Wasserteilchen sind transparent* (PFUNDT 1979, 1981, BEN-ZVI 1986). Die Teilchen des Wassers sind weich und anschmiegsam, weil Wasser sich im Glas an die Ränder schmiegt (DRIVER 1985). Atome und Teilchen werden beim Erhitzen flüssig, sie zerfließen beim Übergang in den gasförmigen Zustand oder sie werden kleiner (KIRCHER 1986).

Zwischen dem Konzept der Schüler und dem historischen Atomismus des DEMOKRIT und LEUKIPP, v.a. des EPIKURS kann eine Parallele gesehen werden, dahingehend, dass ein Konzept wie das dieser Kategorie auch im historischen Diskurs eine Rolle spielte, die zur Weiterentwicklung der atomistischen Thesen durch die Auseinandersetzung mit der Frage der Eigenschaften und der Beschaffenheit der materiellen Grundlage der Atome führte (*EPIKUR*, vgl. Kap. 2).

Beurteilung:

Wie bei der Beurteilung der Unterkategorie B1 genannt, können derartige Vorstellungen Verständnisbarrieren für den weiteren Basiskonzepterwerb und einen Mangel bei der Beherrschung der Modellkompetenz darstellen. Die Teilchenebene dient dazu, stoffliche Phänomene zu erklären, in Vorstellungen dieser Kategorie stellen Teilchen eine (möglicherweise erlernte) *Zutat* dar, die keinen Erkenntnisgewinn bringt, sondern mit der lediglich eine zusätzliche Beschreibung gegeben wird. Eine fachlich adäquate Deutung von Prozessen ist nicht korrekt möglich.

Es handelt sich offensichtlich um Hybridvorstellungen im VOSNIADOUSchen Sinne, die gebildet werden, um bisherige Konzepte (Wahrnehmbare Phänomene und Prozesse) mit neuen Elementen (der Existenz von Teilchen) möglichst widerspruchsfrei in Einklang zu bringen.

B3 Teilchen-in-Kontinuumskonzept

Hier werden Teilchensicht und stoffliche Sicht nebeneinander stehend bzw. auf einer Erklärungsebene verwendet, um einem Prozess oder ein Phänomen zu beschreiben. Dies geschieht häufig in graphischen Darstellungen in Schulbüchern (vgl. *Übersicht in EILKS 2001*): Flüssigkeiten werden auf Stoffebene gezeichnet (farbiger Hintergrund, Markierung für den Flüssigkeitsstand), Modellteilchen werden *in diesen Stoff hinein* gezeichnet. Diese Darstellungen unterstützen die Annahme: Teilchen *schwimmen* scheinbar *in einem kontinuierlichen Medium*.

Beispiele:

In Wasser schwimmen kleinste Wasserteilchen in einer transparenten Grundsubstanz, in einem kontinuierlichem Medium (*RENSTRÖM 1990*). Die Teilchen der Luftbestandteile sind von Luft umgeben, zwischen den Teilchen eines Gases ist Luft (*NOVICK 1981, STAVY 1985, GRIFFITH 1992*) Daneben werden auch Teilchen-in-Kontinuumsvorstellungen über den Aufbau von Reinstoffen beschrieben, die eigentlich eine Lösung/ein Gemisch darstellen: Alkohol ist eine Lösung aus Alkoholteilchen in einem Kontinuums aus Wasser (*ANDERSSON 1990, SANFORD 1991, EBENEZER 1996*).

Letztere Vorstellung wird unter anderen mit Assoziationen zum Wasser als Ursbstanz für klare Lösungen begründet (*ebd.*).

Beurteilung:

Die Teilchen-in-Kontinuumssicht macht das Diskontinuummodell mit nutzlos. Sind Teilchen in ein Kontinuum eingebettet, so können für die Deutung eines Phänomens stoffliche Qualitäten – wie beispielsweise das Verschwinden oder das Verdichten und Verdünnen (A1, A2) herangezogen werden: Teilchen sind ein Beiwerk, aber keineswegs Werkzeuge des Erkenntnisgewinns. Das Wechselspiel von Stoff- und Teilchenebene kann nicht adäquat beherrscht werden (z.B. mit Eigenschaftsbeziehungen auf Teilchen – und auf Stoffebene). Das konzeptuelle Problem besteht demnach darin, dass zwei verschiedene Ebenen der Bearbeitung eines Phänomens oder Prozesses genutzt werden. Erstere, die Stoffebene zur Beschreibung und die zweite, die Teilchenebene zur Erklärung, dieser *Perspektivwechsel* als metakonzeptuelle Kompetenz muss bei der Reflexion über derartige Vorstellungen akzentuiert werden.

Vorstellungen dieser Kategorie stellen eindeutig Hybridvorstellungen im VOSNIADOUSchen Sinne dar: Das Modell der Hohlkugel, die in ihrem Inneren eine flache Scheibe aufweist, auf der die Menschen leben, wird konstruiert, um dem Wissenselement *Die Erde ist eine Kugel* Rech-

nung zu tragen; Es wird ein synthetisches Modell entwickelt, welches das Bewährte und das Neue in Einklang bringen kann. Das Teilchen-in-Kontinuumskonzept stellt m.E. ein solches synthetisches Modell dar, um der populären Veranschaulichung mit Teilchen gerecht zu werden: die Teilchen werden in die phänomenologisch-stoffliche Vorstellung schlicht hinzugefügt.

B4 Animistische, teleologische Vorstellungen

Bei der Ursachensuche für den Ablauf eines Prozess oder eines Phänomens werden häufig teleologische Begründungen gesucht. Auf Teilchenebene werden dabei häufig willentliche Gründe gesucht, Vorstellungen schreiben Teilchen eine aktive Gestaltungsfähigkeit zu.

Beispiele:

Die Teilchen *wollen* möglichst viel Platz *haben*. Der Stoff verteilt sich im Raum, weil Teilchen immer den größten Abstand und möglichst großen Raum einnehmen *möchten* (STAVY 1990a). Die Teilchen bewegen sich beim Erhitzen schneller, *um der Hitze zu entkommen* (KIRCHER 1986). Die Teilchen ziehen sich beim Abkühlen zusammen, weil sie sich wärmen *wollen*. Atome sind *Lebewesen, sie leben und können wachsen* (HARRISON 1996).

Dieses Konzept kann, es muss aber nicht als Zusatz zu aktiv-kraftbegründeten Vorstellungen auf Stoffebene sein oder den finalen Konzepten.

Beurteilung:

Während die fachlichen Kriterien definiert und in ihrer Ausprägung verglichen werden können, sind teleologische Eigenschaften willkürlich und völlig variabel. Die Akzeptanz relevanter Eigenschaften auf Stoff- und Teilchenebene wird erschwert sein.

Zur Ursache lässt sich feststellen, dass auch hier wieder ein Kategorisierungsfehler vorliegt, dahingehend, dass Kriterien der belebten und unbelebten Welt vermischt werden. CHI ordnete hierfür zwei getrennte Unterkategorien zu. Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens kann man zuordnen und begründen, dass bei fehlender Erklärung zu einem Problem schnell eigenes Handeln und eigene Beweggründe zu ersten Antworten führen: Teilchen können nach dieser Vorgehensweise problemlos personifiziert werden. Die dann allerdings notwendigen Begründungen, sind oft nicht diskutabel, sondern für sich stehend: „It is just like that“ (ANDERSSON 1986).

C Vorstellungen zum diskontinuierlichen Bau der Materie aus Teilchen

Dieser Kategorie werden Beschreibungen zugeordnet, in denen Phänomene und Prozesse mit Hilfe eines Diskontinuummodells erklärt oder gedeutet werden. Qualitäten von Stoff- und Teilchenebene werden voneinander getrennt betrachtet, aber funktional in Beziehung gesetzt.

C1 Statische Teilchenmodelle

Im diskontinuierlichen Modell wird der Aspekt der Bewegung ausgeblendet. Zustände sind demnach statisch, Prozesse mechanisch ablaufend. Da man das Konzept auch als *unvollständig* ansehen kann, ist es im Bereich des adäquaten Modellverständnisses in die Kategorie C eingeordnet.

Beispiele:

Der Bau der Feststoffe wird dicht gepackt vorgestellt (STAVY 1990a) – passiv geordnet wie Obst im Karton. In den Vorstellungen über den Bau von gasförmigen Stoffen hingegen wird ein großer Abstand angenommen, und zwar unbegründet und v.a. unabhängig von der Eigenbewegung der Teilchen (NUSSBAUM 1985). Gasteilchen müssten sich eigentlich irgendwann am Boden sammeln. Dass dies nicht passiert, wird damit begründet, dass der von außen einwirkende Wind sie immer wieder verwirbeln würde (DRIVER 1994).

Beurteilung:

Derartige Vorstellungen missachten die funktionale Bedeutung eines Teilchenmerkmals und stellen einen Mangel in der vollständigen Anwendung für Prozessbeschreibungen dar. Andere alternative Konzepte werden dann zur Begründung herangezogen.

Die Ursache dieser Vorstellungen kann in der Dominanz der Alltagserfahrung gesucht werden: In Schülervorstellungen kommen Teilchen analog zu den Alltagserfahrungen über Gegenständliches zur Ruhe (*Driver 1994*). Dass die Teilchen der Luft nicht zur Ruhe kommen, liegt ausschließlich an der ständigen Unruhe durch Wind bzw. die Konvektionen.

C2 Überinterpretation der Teilchenebene

In dieser Kategorie werden Vorstellungen genannt, in denen sich beteiligte Teilchen beim Löseprozess oder bei Aggregatzustandsänderungen fest miteinander verbinden. Auch dies somit ist eine „statische“ Vorstellungskategorie: Die Teilchen ziehen sich an – aber derart, dass sie fest, statisch verbunden sind, dass sie aneinander festhalten o.ä. Im fachlichen bzw. fachdidaktischen Modell des Anfangsunterrichts müsste dann eine chemische Reaktion abgelaufen sein, denn es liegt ein neues Produkt vor. Solche Vorstellungen nehmen die feste Bindung von Teilchen an, auf der Ebene der Atome entspräche dies einer kovalenten Bindung.

Beispiele:

Beim Lösen von Zucker in Tee beispielsweise verbinden sich Wasserteilchen mit Zuckerteilchen und liegen dann nur noch gepaart vor (*EBENEZER 1996*). Ebenso werden Vorstellungen zugeordnet, in denen beim Lösen die beteiligten Teilchen zu einem Neuen verschmelzen (*ibd.*).

Beurteilung:

Wechselwirkung und Anziehung zwischen Teilchen ist ein Kennzeichen des Teilchenmodells. Die Vorstellungen entsprechen daher in ihrem Grundgedanken dem fachlichen Konzept. Das darin zum Ausdruck kommende statische Konzept des Baus der Materie wird m. E. im Sinne eines kontinuierlichen Lernweges veränderbar sein, in Richtung eines dynamischen, die Bewegung und Wechsel zulassenden Deutungsschemas. Daher sollten solche Vorstellungen gut ausbaufähig sein.

3.3.2. Vorstellungen über chemische Reaktionen: Das Kategoriensystem II

Dieses Kategoriensystem beschreibt Vorstellungen und Konzepte zu Vorgängen, die als chemische Reaktionen (vgl. Kap. 2) bezeichnet werden. Einen besonderen Stellenwert unter diesen kommt jenen Vorstellungen zu, die sich auf das alltägliche Phänomen der Verbrennung („Brände“) beziehen; diese Prioritätensetzung geschieht mit der Begründung, dass sich einerseits hier fachliche Erklärungsmodelle und Schülervorstellungen häufig gänzlich unvernetzt gegenüber stehen; andererseits, weil sie ein Anwendungsbeispiel für zentrale fachliche Konzepte darstellen, die gerade in lebensweltlichen Situationen zu fundierten Beurteilungen herangezogen werden können (vgl. Kapitel 5). Zur Erstellung dieses deduktiv gewonnenen Kategoriensystems werden Studien herangezogen, deren Auswahl mit denselben Kriterien begründet wird, wie in Kap. 3.3.1 formuliert. Das folgende Kategoriensystem versteht sich als Ergänzung bzw. Fortführung zum Kategoriensystem 1: innerhalb des Themenfeldes chemischer Reaktionen können ebenso Aspekte von Stoff- und Teilcheneigenschaften auftreten, die dem Kat. 1 zuzuordnen sind. Auch dieses Kategoriensystem ist dreiteilig entlang dem Betrachtungsebenenwechsel zwischen der Ebene der Stoffe (Kategorie A) und der Ebene der Teilchen - hier im besonderen die der Atome (Kategorie C) gegliedert. Die Ebene der Stoffe (Kategorie A) bezieht sich aber auf zwei Ausschnitte. Sie unterteilt sich in Kategorien über Vorstellungen zur Phänomenologie von *Verbrennungen* und solchen, die *allgemeiner* Vorstellungen und Deutungsmuster zum Ablauf *chemischer Reaktionen* behandeln. Die Kategorie B enthält abermals jene Vorstellungen, die aus einer Mischung von Stoff- und Teilchenebene her rühren.

Kategorie A: Stoffebene der chemischen Reaktionen

Ausschnitt:
Verbrennungen (kurz: V)



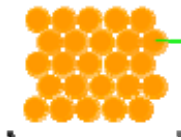
Benzin verbrennt und „verschwindet“

Verallgemeinerte Beschreibungsmuster
chemischer Reaktionen
(kurz: cR)



Eisen rostet, Gegenstand kaputt!

Kategorie B: Mischkonzepte aus Aspekten der stofflichen Ebene und der Modellebene



graue Silberatome, rote Kupferatome?



Atome können „verschwinden“

Kategorie C: Deutungen auf der Modellebene der Teilchen und Atome



Teilchen bestehen aus Atomen

Andere Teilchen, neue Atomverbände
bilden sich

Abb. 3.3: Das Wechselspiel der Kategorien A, C und das Mischen in B für das Themenfeld: chemische Reaktion²⁴

Das Kategoriensystem II

Kategorie A Stoffebene

In dieser Kategorie werden Vorstellungen geordnet, die sich entweder mit den Änderungen oder aber mit der Konstanz von Stoffen und deren Eigenschaften bei chemischen Reaktionen beschäftigen. In den jeweiligen Unterkategorien mit der Kennzeichnung (V) finden sich Vorstellungen über den Prozess der Verbrennung ohne Bezug zu fachwissenschaftlichen Konzepten, sondern ausschließlich Bezug nehmend auf phänomenologische Eindrücke. Unterkategorien mit der Kennzeichnung (cR) beschreiben über das Beispiel der Verbrennungen hinaus generalisierte oder anhand anderer Beispiele Vorstellungen über chemische Reaktionen. So ist beispielsweise die Zuordnung von eingesetzten Edukten und entstehenden Produkten aus dem Prozess der chemischen Reaktion ein verallgemeinerbares Merkmal einer Vorstellung über chemische Reaktionen - dies kommt einem höheren Grad an Abstraktion und an Verallgemeinerung gleich.

²⁴ Bildquellen: oben: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/2/2d/Benzinflamme_vor_Hauptseite.jpg , http://farm2.static.flickr.com/1103/558340997_3624613bdc.jpg Mitte: EISNER et al, 2004: 63, ASSELBORN et al. 2001: 28 verändert, sowie Clipartanteile, unten: ebd. 128

A1 (V) Vernichtung von Gegenstand, von Stoff und Materie

Diesen Vorstellungen nach führt *die Verbrennung* zur Vernichtung der Stoffe im Sinne der Stoffportionen, Körper und Gegenstände, Dinge.²⁵ Dies ist fachlich soweit korrekt, problematisch ist in der Folge die Annahme der Vernichtung von Materie und die Gleichsetzung der Gegenstands- Stoff- und Materievernichtung: Die Stoffe sind vernichtet, weil die Gegenstände, die sie bilden, vernichtet sind. Viele Studien belegen, dass Schüler der relevanten Jahrgangsstufen der Sekundarstufe I nicht eine Vernichtung *zu nichts* annehmen, sondern *zu weniger* (PFUNDT 1982, SUMFLETH 1992). Ebenso kann von *Vernichtung* in der Art ausgegangen werden, dass lediglich Reste übrig bleiben, dass der visuelle Eindruck über Rückstände die Vorstellung über den Gesamtvorgang prägt (SUMFLETH 1992, SUMFLETH 1995, BERGERHOFF 1996, ROSS 1991, PFUNDT 1979).

Beispiele:

PFUNDT stellte wiederholt fest, dass dem Verb *verbrennen* in Schüleraussagen keine weitere Beschreibung zugeordnet wird; es ist selbsterklärend. Im Kontext interpretiert steht es für *nicht mehr vorhanden, nicht mehr existent*. Die Verbrennung von Häusern, von Papier im Sinne von Dokumenten (Gegenstandsbereich) etc. wird als Analogie herangezogen. PFUNDT legte Wert auf die Endgültigkeit dieses Prozesses *Stoffe sind unwiederbringlich zerstört* (siehe auch Beschreibung A6, PFUNDT 1982). *Es bleiben nur noch Reste übrig, man kann den Brennstoff nicht ganz restlos vernichten* d.h. demnach durchaus teilweise (ANDERSSON 1990, RENSTRÖM 1990, GOMEZ 1995, WATSON 1997). *Die Produkte wiegen weniger, weil Stoffmasse verbrennt* (SUMFLETH 1992).

JOHANNMEYER et al. (2004) haben - in einer Fragebogenstudie mit offenen Items- belegt, dass auch noch im Jahrgang 11 Vernichtungsvorstellungen auftreten: *Da der Kohlenstoff verbrannt ist, nimmt die Masse ab. Der Kohlenstoff verbrennt ja etwas und wenn kein Kohlenstoff mehr da ist, kann das auch nichts mehr wiegen* (nach PETERMANN et al, 2008). Ein anderes Argument ist: *Die Masse nimmt ab, weil der Kohlenstoff beim Verbrennen Sauerstoff verbraucht*. Hierin wird ebenfalls eine Massenvernichtung angenommen.

Eine Vernichtung der materiellen Grundlage wird auch unter Berücksichtigung der Entstehung von Gasen angenommen, diese sind an sich leichter als Feststoffe.

Beispiele:

Die Masse verringert sich, weil ein Teil des Stoffes zu Gas wird (vgl. Kat.system I, A5) oder: ...,indem das Verbrennungsprodukt in den leichteren gasförmigen Zustand übergeht (SUMFLETH 1995, HAUPT 1981, vgl. auch Kat. System I A1). Wenn Kohle verbrennt, entsteht Dampf, und der ist leichter als Kohle. Beim Verbrennen entsteht Rauch und Dampf, sie wiegen nichts (BERGERHOFF 1996). Die Masse nimmt ab, weil gasförmige Stoffe leichter sind als feste Stoffe. Es ist ein Gas entstanden, das eigentlich nichts wiegen dürfte (PETERMANN 2008). Andererseits nennt JOHANNMEYER (2004) auch Beispiele, in denen der Massenerhalt nicht akzeptiert wird, weil eine systematische Betrachtung der Reaktion der Kohlenstoffverbrennung nicht geleistet werden kann: Die Masse (bei der Verbrennung von Kohlenstoff in geschlossener Apparatur) nimmt zu, weil Kohlenstoff mit dem Sauerstoff reagiert und Kohlenstoffdioxid entsteht, der schwerer als Sauerstoff ist. Dies liegt allerdings an der feh-

²⁵ Damit ist diese Kategorie die Fortführung von A1 des Kategoriensystems I. Mit der Assoziation von Verbrennung zur ganz allgemein formulierten Vernichtung besteht auch eine Parallelität zur konkret-gegenständlichen Kategorie A5 des Kategoriensystems I (Kap. 3.3.1): Stoffvorgänge werden an gegenständlichen Merkmalen/Qualitäten des Objekts (vgl. KRNEL 1996) festgemacht. Die *Stoffportion* hört auf zu existieren.

lenden Systematik: dem Vergleich der Masse der Gase, dem Ausblenden der Tatsache, dass der Feststoff vor dem Experiment mit gewogen wird (siehe ebd.).

Beurteilung:

Dass *Stoffe* nach Verbrennungen *nicht mehr vorliegen* ist fachlich korrekt (vgl. Kap 2). Während Schüler dies als endgültigen und damit als nicht weiter zu betrachtenden Prozess ansehen, ist fachlich gerade die Fortführung der Betrachtung der Produkte und die Systematik ihrer Entstehung von Bedeutung, so dass diese Vorstellungen als Anknüpfungspunkte für Problemstellungen genutzt werden müssen.

Das Konzept des Verschwindens von Materie bzw. von Masse in quantitativer Dimension steht in Widerspruch zum fachwissenschaftlichen Erhaltungsprinzip. Teil des Konzepts der quantitativen materiellen Vernichtung eine fachlich unzulässige Eigenschaftszuschreibung (STAVY 1990b): „Reste wiegen immer weniger“, „Gase sind immer leichter“. Dieses Konzept läuft der systemischen Betrachtungsweise der Fachwissenschaft und den Verfahren naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zuwider.

Die Ursache des Konzepts ist nahe liegend: prägnante und auch affektiv belegte phänomenologische Erfahrungen sind hier Grundlage des Deutungsmusters. In diesem Fall sind sie der Grund für die Kategorisierung im Gegenstandsbereich (der ontologischen Kategorie der Objekte nach CHI) und dem Kategorisierungsfehler (Übernahme für die Stoffebene).

Während das Konzept in qualitativer Hinsicht mit der Akzentuierung der Produkte (Untersuchung dieser, gezielte Nutzung) m.E. aufgegriffen werden kann, könnte die quantitative Aussage eine Barriere in der Basiskonzeptentwicklung sein. Mit der Argumentation auf der Gegenstandsebene könnte einhergehen, dass die fachlichen Konzepte die hier genannten Vorstellungen gar nicht erreichen bzw. tangieren. Die fachlichen Erklärungsmuster liegen auf anderen Ebenen - die Konzepte könnten unverbunden nebeneinander stehen. Dies spricht unbedingt dafür, chemische Reaktion anhand der Verbrennungen zu erarbeiten.

A2 (V) Aggregatzustandsänderung statt Verbrennung

In dieser Unterkategorie werden Vorstellungen zur Verbrennung – häufig von Flüssigkeiten – derart beschrieben, dass diese Brennstoffe verdunsten oder –sprachlich korrekt – verdampfen. Statt der chemischen Reaktion wird also konzeptuell die Aggregatzustandsänderung angenommen. Ursache für die Verdunstung ist die Flamme.

Beispiele:

Spiritus, Feuerzeuggas *verdunstet* durch die Flamme. Kerzenwachs *verdunstet* (PFUNDT 1982, MEHEUT 1985). Wenn ein Blatt Papier verbrannt wird, *verwandelt* es sich in Gas und steigt auf. Wachs wird *so* flüssig, dass es als Gas aufsteigt (NIESWANDT 2001). Bei der Kohlenstoffverbrennung existiert der Kohlenstoff weiterhin, ist aber irgendwie in den gasförmigen Zustand übergetreten (PETERMANN 2008). Auch wird argumentiert, dass das Verbrennungsprodukt Wasser (bei Einsatz organischer Brennstoffe) *schon vorher da gewesen sei, verdampfte und kondensierte* (MEHEUT 1985, BOUJOUDE 1991, WATSON 1997).

Vorstellungen dieser Art werden in einem Kategoriensystem von ANDERSSON (vgl. Kap. 3.3) als *Displacement-Vorstellungen*, die ein Auftauchen oder Verschwinden eines Stoffes durch Verändern des Ortes begründen, bezeichnet, das Verdunsten als das Verschwinden das Entstehen eines Stoffes als das Niederlassen (ANDERSSON 1990). Die Flamme wird hier häufig als etwas Stoffliches betrachtet (und nicht als Nicht- Stoff (LEERHOFF 2003, vgl. Kap. 2.1) bzw. als energetische Erscheinungen. Wärme, Licht etc. werden als Reaktanten oder als Produkte gesehen (HESSE 1992).²⁶

²⁶ Damit ergibt sich hier konzeptuell eine Parallele zu Kat system I, A5

Beurteilung:

Das Konzept widerspricht der Erklärung chemischer Reaktionen als Kombination aus der Eduktzerstörung und der Produktentstehung. Damit geht ein weiterer konzeptueller Aspekt einher, in welchem das Auftreten einer Flamme als energetisches Phänomen falsch interpretiert wird, sodass Flammen eine eigenständige Qualität erhalten und nicht an den stofflichen Vorgang gekoppelt verstanden werden. Die Energieerhaltung und die Umwandlung von Energieformen können nach diesem Konzept nicht verstanden worden sein.

Zur Erklärung dieses Konzepts muss man berücksichtigen, dass analog zum Verdunsten und Verdampfen die Brennstoffe oft rückstandslos *verschwinden*. Allerdings treten im Phänomen tatsächlich auch Verdampfungs- und Diffusionsprozesse auf, die erklären, dass beispielsweise ein Spiritus- oder Petroleumlämpchen den jeweilig charakteristischen Geruch verbreiten. Diese Wahrnehmung könnte das Deutungsmuster bestimmen und die Sicht auf die Veränderungen ausblenden. DE VOS & VERDONK unterstreichen verallgemeinernd

“It seems that most children at age of 14 still firmly adhere to an unspoken and unconscious idea, that each individual substance is conserved, whatever happens to it.” (zitiert nach ANDERSSON 1990, 56)

Das Konzept A2 steht im Gegensatz zu dem der erstgenannten Unterkategorie. Beide können sogar je nach Kontext von ein und demselben Probanden herangezogen werden, was die Toleranz von Widersprüchen bei der Konzeptanwendung verdeutlicht (HÄUßLER 1998). Vom fachwissenschaftlich gleichen Reaktionstyp der Verbrennung liegen demnach beispielabhängig unterschiedliche Deutungskategorien vor. Über die Ursache werden in Bezug auf Rahmentheorien und übergeordnete kognitive Strukturen in der Literatur keine weiteren Aussagen gemacht.

A3 (cR) Chemische Reaktionen als Mischungen und Entmischungen

In Vorstellungen dieser Kategorie entstehen Produkte durch Mischung der Ausgangsstoffe und damit der Eigenschaften der Ausgangsstoffe. Wie in Unterkategorie A2 tritt also kein eigentlicher Stoffumsatz auf, bereits die oben erwähnte Vorstellung vom isolierten Wasser aus einem „wasserhaltigen“ Ausgangsgemisch kann auch hier als Beispiel dienen (s.o.). Die Ausgangsstoffe sind *irgendwie verdeckt noch vorhanden*, bzw. die Produkte sind vorher nicht erkennbar, aber vorhanden gewesen. Hier könnte implizit eine Vermischung von Stoffebene und Modellebene/ submikroskopischer Ebene vorliegen (siehe Kat C). Der Fachunterricht könnte diese Vorstellungen gestützt haben (vgl. EILKS 2001).

Beispiele:

Enthalten chemische Verbindungen beispielsweise das Element Sauerstoff, so liegt es nahe, anzunehmen, dass latent vorhandener elementarer Sauerstoff aus diesen Verbindungen evakuiert wird (SUMFLETH 1995). Metallverbindungen werden als Gemische angesehen. So lassen sich aus Erzen die Metalle heraus schmelzen (BEN-ZVI 1986, DEL POZO 2001). Bei der Demonstration der Kupferfällung an Eisen (Reduktion von Kupferionen aus einer Kupfersulfatlösung) setzt sich den Vorstellungen nach Kupfer (an einem Eisennagel) ab - und zwar in dem Sinne, dass bereits elementar vorhandenes Kupfer aus der Lösung an der Oberfläche hängen bleibt (SUMFLETH 1995). Kupfersulfid ist diesen Vorstellungen nach ein Gemisch aus Kupfer und Schwefel, das auch wieder trennbar ist. Im Kohlenstoffdioxid ist die verbrannte Kohle ganz fein verfeilt. Im Wachs sind kleine Kohlenstoffteilchen, die den Ruß verursachen. Bei der Thermolyse von Silberoxid verdunstet der Sauerstoff aufgrund der Hitze (PFUNDT 1982, ANDERSSON 1986, KIRCHER 1986, HESSE 1992).

Beurteilung:

Um den konzeptuellen Fehlschluss zu erklären, muss, wie in Kap. 2 dargestellt, die Zustandsdimension und die Prozessdimension chemischer Reaktionen betrachtet werden. Stofflich sind unterschiedliche *Zustände* der Produkt- und Edukte der chemischen Reaktion erkennbar. Um den *Prozess* – z.B. auch seine Umkehrbarkeit – zu erklären, werden nun Aspekte dieses Prozesses auf die Zustandsebene umgelegt: Weil im Prozess Entitäten erhalten bleiben, müssen sie auch im vormaligen Zustand vorhanden gewesen sein, ohne dass sie wahrnehmbar sind. Dies bedeutet, dass die Zustandsebene umgedeutet wird, so dass der Prozess erklärbar wird. Letztlich könnte sich dahinter die Intention und der Grundgedanke der Atomhypothese verbergen. Daher ist das Konzept ambivalent zu bewerten: ohne Nutzung dieser Sichtweise für die Teilchen- und Atomebene ist aus Gründen, wie in der Unterkategorie A2 genannt, das Konzept als Verständnisbarriere einzuschätzen. Für die Nutzung der Teilchenebene kann es als Ausgangspunkt kontinuierlicher Lernwege genutzt werden, indem die Prozessebene mit Hilfe der Erhaltung von Atomen und ihrer Umgruppierung eine modellhafte Erklärung findet.

A4 (V&cR) Eigenschaftsänderungen bei Konstanz der Stoffe – Modifizierung

Vorstellungen dieser Gruppe nehmen an, dass Stoffe einzelne Eigenschaften ändern bzw. annehmen können, der Ausgangsstoff als solcher, oder die Ausgangsstoffe als solche aber immer noch vorliegt bzw. vorliegen: Der Stoff „selbst“ ändert sich nicht, er ändert nur sein Aussehen.

„Die Kinder arbeiten mit der Vorstellung eines Stoffes, der verschiedene Möglichkeiten (der Erscheinung) verwirklichen kann und dabei er selbst bleibt.“ (Pfundt 1982, 174)

Diese Vorstellung ist eine Parallele des in Kategoriensystem 1 beschriebenen *nonmaterial properties* Konzepts (vgl. Kategoriensystem 1 A4). Andersson kategorisiert derartige Vorstellungen unter dem Begriff *Modifizierungen* und verdeutlicht dies mit der Analogie, dass Sägespäne beispielsweise umgeformtes Holz seien, die entstehen, wenn Holz zersägt wird (Andersson 1990). Das Auftreten neuer Stoffe wird mit der „physischen“ Umformung des Stoffes gleichgesetzt. Beispiele dieses Konzepts finden sich sowohl für die Deutung von Verbrennungen als auch für andere chemische Reaktionen.

Beispiele:

(V) Asche ist *verbranntes Holz* – Holz in anderer *Form* (MEHEUT 1985, BOUJOUDE 1991). Kupfer wird verbrannt, es liegt kein Kupfer mehr vor, sondern *verbranntes Kupfer* – vorher war es *heiles Kupfer*; Kupferoxid bzw. basisches Kupfercarbonat ist jeweils Kupfer, das in Farbe und Oberflächenstruktur durch Hitze oder Feuchtigkeit modifiziert wurde (WENINGER 1982, RENSTRÖM 1990).

(CR) Rost ist Eisen - verrostetes Eisen, da ein Nagel immer noch ein Eisennagel ist (DRIVER 1985, SALOMON in HESSE 1992, DE VOS 1985, SUMFLETH (1995). Kristallwasserhaltiges Kupfersulfat wird beim Erhitzen weiß, *weil es seine Farbe ändert*.²⁷ Als Erklärung wird angegeben, es würde gebleicht (PFUNDT 1982).

Je nach Beispiel werden die Vorgänge als reversibel (Farbveränderungen) oder irreversibel angesehen (Verbrennung als endgültige Veränderung des Aussehens; siehe weiter).

Wiederholend sei festgestellt, dass dem Verb *verbrennen* in Schüleraussagen nach PFUND keine weitere Beschreibung zugeordnet wird, es ist selbsterklärend. Weil der Vorgang, d.h. der Prozess der chemischen Reaktion der Verbrennung nicht weiter hinterfragt wird, gilt das Adjektiv *verbrannt* als Wort, das eine Stoffeigenschaft beschreibt. Das konzeptuelle Element daran liegt also in der reinen Betrachtung der Zustandsebene (vgl. Kap. 2). Diesen Vorstellungen nach kann

²⁷ - vermutlich gerade *weil* die Reaktion als reversibel demonstriert wird.

man Holz von verbranntem Holz unterscheiden, in beiden Fällen handelt es sich aber um Holz. Das Adjektiv *verbrannt* ist dann ebenfalls ein Wort für eine „selbstverständliche Eigenschaft“.

Beurteilung:

Wie bereits im Kategoriensystem 1 unter A4 *Nonmaterial Properties* angedacht, werden mit diesen Vorstellungen sowohl zu den Verbrennungen als auch zu den anderen Reaktionen zentrale Aussagen zum Verständnis chemischer Reaktionen und zur Klassifizierung von Stoffen verletzt bzw. nicht verstanden. Das alternative Konzept der variablen *Erscheinungsformen* stellt somit eine klare Barriere zum Verständnis der chemischen Mittel der Erkenntnisgewinnung dar. Wenn Eigenschaften, Erscheinungsformen variabel sind, können Stoffe (Ausgangsstoffe wie auch Produkte) nicht eindeutig erkannt und unterschieden werden. Prinzipien der Analyse und Synthese von Stoffen können nicht verstanden und planvoll angewendet werden.

Eine Ursache liegt in der fehlenden Abgrenzung von Gegenständlichem (Gegenständliches kann verändert werden z.B. anders angemalt, verformt werden, aber immer noch aus denselben Stoffen bestehen, vgl. Kapitel 3.3.1). Gerade Deutungen über Änderungen der Farbigkeit liegen auf der gegenständlichen Ebene: gebleichte Haare sind immer noch Haare, Kleidungsstücke sind immer noch dieselben Kleidungsstücke (PFUNDT 1979). Zur Verursachung werden die Argumente des Kategoriensystems I, A4 herangezogen.

A5 (V&cR) Fehlende Systematik und Funktionalität (sog. Transmutation von Stoffen)

Bei dieser Unterkategorie wird der dynamische Prozess *zwischen* den Ausgangsstoffen nicht berücksichtigt. Bei Verbrennungen oder anderen chemischen Reaktionen handelt es sich um Phänomene, bei denen *Stoffe aufhören zu existieren, andere zu existieren beginnen*. Der Übergang ist irrelevant. Im Konzept dieser Vorstellungen besteht kein funktionaler Zusammenhang zwischen *Anfangszustand und Endzustand*, zwischen Ausgangsstoffen und Endprodukten. Dies bedeutet, dass die Zustandsbetrachtung von Edukt- und Produktseite unvernetzt nebeneinander stehen. Es verdeutlicht sich dadurch, dass die Argumentation in diesen Vorstellungen die notwendige *Dynamik im Umwandlungsprozess* der Reaktion, also die Prozessdimension meist ausschließt. In dieser Unterkategorie *mutiert eine Substanz in eine Neue* – was dem Zustandskonzept der chemischen Reaktion aus Edukten und Produkten formal entsprechen kann, was aber gerade den Zusammenhang der Produktentstehung *aus* den Edukten nicht gerecht wird. Anderson bezeichnet Vorstellungen dieser Kategorie als Transmutationsvorstellungen, wohl auch um die Parallele zu früheren alchemistischen Vorstellungen zu verdeutlichen (ANDERSSON 1990, SCHWENK 1998).

Auch hier liegen Beispiele aus beiden Themenbereichen vor.

Beispiele:

(V) Als generelles Verbrennungsprodukt wird *Asche* als ein spezifischer, einheitlicher Stoff genannt, der bei der Verbrennung gleich welcher Ausgangsstoffe entsteht (BOUJOUDE 1991, ROSS 1991). Bei Verbrennungen wird – dies als Beispiel für fehlende Dynamik und Funktionalität der Vorstellungen - in der Deutung die Beteiligung von Sauerstoff als Reaktionspartner nicht in die Vorstellung mit aufgenommen, sondern lediglich als Medium, in der die Verbrennung stattfindet (PFUNDT 1982, SUMFLETH 1992).

(cR) Verglüht Eisenwolle oder wird Kupfer erhitzt, so ist schwarzer Kohlenstoff entstanden (ANDERSSON 1990).

Als eine weitere Transmutationsform sieht ANDERSSON das Transmutieren von Masse und Materie in Energie an. Auch das Vernichten *zu nichts/ zu weniger* (vgl. Kat. A1) kann verallgemeinert als Transmutation gesehen werden, wenn das Verschwinden von Masse mit der Umformung in Energie begründet wird (ANDERSSON 1986).

Beispiel:

Wenn man alle Verbrennungsprodukte einer Verbrennung auffängt, so sind wie leichter als die Masse der Ausgangsstoffe, da ein Teil in Energie übergegangen ist (*RENSTRÖM 1990*).

Derartige Vorstellungen werden in diesem System der Kategorie A1 zugeordnet.

Beurteilung:

Vorstellungen dieser Unterkategorie verletzen die Dynamik und die Systematik des fachwissenschaftlichen Verständnisses, das sich in Reaktionsschemata und -gleichungen ausdrückt. Das Bilden neuer Stoffe entspricht nicht einem undurchschaubaren Auftauchen eines neuen Stoffes, sondern ist zu verstehen als Prozess. Das Berücksichtigen der Beteiligten und die Kenntnis deren Zusammenwirkens macht es möglich, Reaktionen steuern, vorhersagen, umkehren und ggf. verhindern zu können. Damit sind zentrale Inhalte des fachlichen Konzeptverständnisses ausgeblendet, was Interpretationen vom Ablauf der chemischen Reaktionen erschwert.

Zu den Ursachen kann man die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (*GROPENGLIEßER 2001*) in soweit heranziehen, dass Vorstellungen dieser Art rein descriptiv sind, sie erklären nichts. Wir verfahren mit vielen Dingen unserer alltäglichen Welt so, dass wir nicht hinterfragen: wir legen einen Schalter um und ein Gerät funktioniert, ein Zustand wird eingestellt z.B. die Beleuchtung. Daher müssten konzeptuelle Fachinhalte für die didaktische Strukturierung so vermittelt werden, dass der erklärende Erkenntnisgewinn deutlich wird.

A6 (V) Umkehrbarkeit und Endgültigkeit

Die Zerstörung oder Vernichtung von Stoffen (im Sinne von dinglichen Stoffportionen) *durch Verbrennungen* ist endgültig, nicht umkehrbar.

Beispiele:

Asche ist unwiederbringlich vernichtetes Holz (*PFUNDT 1979; HAUPT 1981*). „Der Formel nach kann man aus Kohlenstoffdioxid wohl Kohlenstoff herstellen. Aber in Wirklichkeit ist es unmöglich, aus einem farblosen Gas schwarzen Kohlenstoff herauszuholen (*PFUNDT, 1979, 27*).

Diese Unterkategorie bildet einen Gegenpol zur Unterkategorie der Mischungen und Entmischungen (A3) und der der Aggregatzustandsänderungen (A4).

Beurteilung:

Stoffe sind aufgrund des Erhaltungsprinzips (der Masse und ihrer Entitäten) prinzipiell wiederherstellbar. Für Holz und andere konventionelle Brennstoffe wie Benzin, Papier etc. ist dieser Prozess aufgrund der Komplexität und Kinetik der Umkehrreaktionen (z.B. der Grundlage der Photosynthese) nicht direkt experimentell belegbar: *genau* derselbe Ausgangsstoff – *diese* Stoffportionen, dieser Körper – ist nicht wieder zu gewinnen. Wiedergewinnung kann über das Formulieren von Kreisläufen (theoretisch) vorgenommen werden. Einfacher ist dies allerdings im Falle der Metalle aus Metallaschen (-oxiden), die durch Redoxreaktionen reduziert werden können zu elementaren Metallen, deren Dinglichkeit phänomenologisch gleich oder sehr ähnlich ist. Das fachwissenschaftliche Konzept der Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen ist daher bezogen auf die konventionellen Verbrennungen ein abstraktes, es bezieht sich nicht auf die phänomenologisch erfasste Stoffportion. Der abstrahierende Schritt von der gegenständlichen Stoffportion zu systemischen Stoffkreisläufen ist daher von außerordentlicher Bedeutung für das Verständnis der Erhaltung von Materie und prinzipiellen Rückgewinnung. Das hier beschriebene Konzept ist eines der Zustandbetrachtung chemischer Reaktionen, das ebenfalls die beiden Zustände – Anfangs- und Endzustand – nicht funktional in Beziehung setzt. Damit ist die in Unterkategorie A3 genannte Beurteilung von Belang.

Tief verankertes Wissen, das auf alltägliche Erfahrungen beruht und das sich auf die Gegenstandsebene bezieht, ist hier die konzeptuelle Grundlage. Die Akzeptanz des fachwissenschaftlichen Konzepts muss –reflektiert- zu einer Umdeutung aller bisher gemachten Erfahrungen führen. Gerade für die Deutung von Verbrennungen bzw. „Bränden“ liegt hier aber kein Anreiz bzw. keine Notwendigkeit vor: Weshalb sollte man die Verbrennung eines Hauses oder eines Wertstücks unter der Perspektive betrachten, dass sie stofflich wieder gewonnen werden können? Das verbrannte Gut ist doch unwiederbringlich vernichtet! Die affektive Dimension von Bränden könnte für diese Vorstellung einerseits stabilisierend wirken; diverse Studien belegen, dass trotz Unterricht Vorstellungen zu Verbrennungen wenig Veränderungen erfahren; neben der kontextuellen wird die motivationale Verankerung als ein wesentliches Argument hierfür gesehen (MEHEUT 1985, DE VOS 1985, ROSS 1991, SUMFLETH 1992, GOMEZ 1995, BERGERHOFF 1996). Unterrichtsstunden zum Thema Brände und Brandschutz stoßen meist auf ein hohes Interesse, Feuer ist faszinierend. Wenn zudem weitere Bedingungen für einen Conceptual Change Berücksichtigung finden, müsste die explizite Reflexion dieser Vorstellungen für konzeptuelle Entwicklung konstruktiv verlaufen können (vgl. Kap 5).

A7 (V&cR) Personifizierungen, Teleologische Aussagen

In dieser Vorstellung werden allgemein Vorgänge mit Vorgängen des Lebendigen gleichgesetzt. Hier sind nur wenige Beispiele empirisch belegt.

Beispiele:

Verbrennungen sind besonders schnelles, radikal beschleunigtes Altern eines Stoffes (DE VOS 1990). Säuren essen Metalle (HESSE 1992). Das Holz will brennen, Holz brennt, damit es wärmen kann (nach BARKE 2006).

Die Vorstellungen liegen konzeptuell den teleologischen und personifizierten Aussagen aus dem Kategoriensystem I Unterkategorie A3 nahe, in denen willentliche Kräfte zugewiesen werden.

Beurteilung:

Das Konzept läuft eindeutigen Deutungsmustern, die auf definierte Merkmale und belegbare Gesetzmäßigkeiten gründen, zuwider, zudem verwenden sie Aspekte des Lebendigen, ohne den Katalog der Kennzeichen des Lebendigen anzuwenden, was fachbiologisch inadäquat ist. Es ist fraglich, ob hierbei aus dem Bereich des Lebendigen *entlehnte* Worte (im Sinne von Metaphern) gewählt wurden, oder ob konzeptuell damit verstanden wird, dass Stoffe Kennzeichen des Lebendigen zeigen (vgl. PÜTTSCHEIDER, LÜCK 2004). Die Verwendung hat aber zur Konsequenz, dass die Beschreibungsebene gewechselt wird. Während die fachlichen Kriterien definiert und in ihrer Ausprägung verglichen werden können (Stoffe, Eigenschaften, Energieumsatz etc.), werden Beschreibungen gewählt, die allgemeiner und zugleich komplexer sind. (Beispielsweise enthält der Begriff *Altern* – u.a. - die physiologische Ebene, die zelluläre, die histologische, die organische Ebene, ohne dass dies expliziert wird.) Damit wird die Beschreibung nicht mehr *fassbar, diskutabel*. Die wiederkehrende Anwendung fachwissenschaftlicher Interpretationskriterien an verschiedenen Beispielen kann den Vorteil definierter Annahmen auf einer Erklärungsebene, der Ebene der Stoffe oder aber auf zwei Ebenen, die der Stoffe und die der Teilchen, herausstellen.

Als Zwischenergebnis sind in Tabelle 3.1 alle bisherigen Kategorien des Kategoriensystems II Ebene A genannt:

3. Die Schülerperspektive

Vorstellungen am Beispiel Verbrennungen (V)	Verallgemeinerte Konzepte: (cR für chem. Reaktion)
A1 (V): Vernichtung von Gegenstand, von Stoff und Materie	-
A2 (V): Aggregatzustandsänderung statt Verbrennung	-
-	A3 (cR): Mischung und Entmischung von Stoffen
A4 (V): Eigenschaftsmodifizierungen	A4 (cR): Eigenschaftsmodifizierung
A5 (V): Fehlende Systematik und Funktionalität (sog. Transmutation von Stoffen)	A5 (cR): Fehlende Systematik und Funktionalität (sog. Transmutation von Stoffen)
A6 (V): Umkehrbarkeit, Endgültigkeit	-
A7 (V): Personifizierungen, Teleologische Aussagen	-

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der bisherigen Kategorien der Stoffebene (V) und (cR)

Es gibt demnach nicht für alle Unterkategorien das Pendant im jeweils anderen Themenbereich.

Kategorie B: Mischkonzepte

Die Kategorien B und C enthalten Vorstellungen, die die Modellebene der diskreten Atome zur Erklärung chemischen Reaktionen aufnehmen. Sie ordnen, in welcher Art mit diesen Atomen und Teilchen der Ablauf chemischer Reaktionen modelliert wird.

Während in der Kategorie C die Merkmale der Erhaltung und die definierten Eigenschaften der Atomsorten bzw. Elemente adäquat berücksichtigt werden, enthält die Kategorie B wie auch schon im Kategoriensystem 1 Mischkonzepte, in denen die Vorstellungen über Atome mit makroskopischen Qualitäten oder Aspekten der gegenständlichen Welt verquickt sind. Die Unterteilung in Vorstellungen speziell für Verbrennungen und allgemeiner für chemische Reaktionen ist hier aufgrund der Quellenlage nicht von Nöten.

Hinsichtlich der Ursachen ist auch hier gültig, dass die konkreten, wahrnehmbaren Eigenschaften und Veränderungen zur Teilchen- und Atomebene „hinzuaddiert“ werden, um der abstrakten Ebene scheinbare Funktionalität zu geben. Die eigentlichen Modellkriterien, die auch fachwissenschaftlicher Sicht den eigentlich erklärenden Charakter haben, sind für die Schülerinnen und Schüler dann nicht attraktiv.

B1 Vernichtung von Atomen und submikroskopischen Entitäten

Das Erhaltungsprinzip wird nicht angenommen, Atome werden zerstört und sind nicht mehr vorhanden.

Beispiele:

Eisenatome der Eisenwolle verbrennen und sind anschließend nicht mehr da, sie wiegen auch nichts mehr (*DE VOS 1985*). Atome können abbrennen und sind „ruiniert“ (*ANDERSSON 1990, SUMFLETH 1995*).

Beurteilung:

Vorstellungen dieser Unterkategorie stellen eine Projektion der Annahmen wie in der Kategorie A1 auf der Teilchen- bzw. Atomebene dar und stehen den bereits genannten Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten gegenüber.

B2 Betrachtungsebenenmischung

In dieser Unterkategorie, die als Fortführung des Kategoriensystems I, B2 angesehen werden kann, werden Veränderungen in der submikroskopischen Welt der Atome beschrieben, die der makroskopischen Welt entnommen sind.

Beispiele:

Verrostetes Eisen wird auf der Atomebene so gedeutet, dass für Eisen Eisenatome als Kugeln bestimmter Größe gezeichnet werden. Für verrostetes Eisen werden Eisenatome *mit einer Umhüllung* gezeichnet, die für das *Rostigsein* auf der Atomebene charakteristisch ist (DE VOS 1990, ANDERSSON 1986).

Wenn Holz brennt, entflammen oder brennen auch die Kohlenstoffatome, bzw. die Teilchen des Holzes (ANDERSSON 1986). Atome enthalten eine Menge Sauerstoff und fangen deshalb sehr schnell Feuer (ANDERSSON, RENSTRÖM 1981 nach VOS DE 1990). Kupferatome laufen schwarz an (PFUNDT 1982, STAVY 1991).

Das Atommodell wird mit phänomenologischen Zutaten modifiziert, damit es den jeweilig speziellen Erklärungszweck erfüllt. Der konzeptuelle Fehlschluss liegt in der Übernahme makroskopischer Qualitäten für die Atomebene.

ANDERSSON interpretiert, dass Atome laut Schülervorstellungen in völlig neue Atome transformiert werden können. Beispielsweise, indem die Atome an „Gewicht“ zunehmen. Vor fachlichem Hintergrund interpretiert bedeutet dies, dass neue Elemente aus neuen Atomsorten das Ergebnis wären, da die Atommasse spezifisch für die elementaren Stoffe ist. Es ist allerdings fraglich, ob die Probanden diesen Folgeschluss leisten oder ob sie lediglich die erkennbaren stofflichen Veränderungen zur Atomebene *addiert* haben. Den Schüleraussagen nach liegen lediglich modifizierte Atome vor. Während ANDERSSON (1990) für diese Vorstellungen eine eigene Kategorie *Transmutation auf Atomebene* aufstellt, werden diese hier dem Konzept der Betrachtungsebenenüberschneidung mit zugeordnet. Die Nutzung makroskopischer Erfahrungen für diese Atomvorstellung ist das Kennzeichnende. Weniger entscheidend ist, dass die Massenzunahme und –zunahme im chemischen Sinne dann neue Elemente bzw. Atomsorten erbringt. ANDERSSONs weiteres Beispiel der Transmutation, dass Atome verbrennen können, so dass sie nicht mehr da sind, wurde der Kategorie B1 zugeordnet.

Beurteilung:

Wie bereits im Kategoriensystem 1, Unterkategorie B2 dargestellt, ist der Gebrauch der Atomvorstellung eher ein *Betrachtungszusatz* als eine *Erklärungsgrundlage* anzusehen, weil die wesentlichen Aspekte makroskopischer Art sind (schwarz anlaufen, brennen etc.).

Kategorie C: Ebene des Diskontinuums und der Atome

Diese Kategorie enthält Vorstellungen, die den Annahmen des Diskontinuummodell von Teilchen und dem einfachen und undifferenzierten Atommodell folgen. *Teilchenveränderung* und *Atomerhaltung* sowie die das Vermeiden von *Mischkonzepten* (gemäß B) sind die Aufnahmekriterien dieser Kategorie. Dennoch können Unzulänglichkeiten im Vergleich zum fachdidaktisch vollständigen Modell vorliegen.

C1 (Ent-)Mischung von Teilchen und Atomen = (Ent-)Mischung von Stoffen

Auf der Stoffebene wurde bereits in der Unterkategorie A3 beschrieben, dass nach Schülervorstellungen bei chemischen Reaktionen die Produkte als Stoffgemisch der Ausgangsstoffe angesehen werden oder als andersgeartetes Gemisch mit diskretem Vorhandensein der Ausgangsstoffe. In Vorstellungen dieser Kategorie werden diese Vorstellungen mit der Teilchenebene in Bezie-

hung gesetzt. Folge ist die Vorstellung von einer Produktentstehung als besondere Form des Mischens auf Stoff- und Teilchenebene.

Beispiele:

Synthese- Reaktionen des Typs $A + B$ reagieren zu C (Metallsulfidsynthesen, Metalloxidsynthesen) und deren Analyse werden häufig als Mischungs- und Entmischungsphänomene gedeutet. Dies ist in den Abbildungen, die auf Atomebene darstellt sind, auch implizit enthalten (rote und gelbe Atommodelle oder Teilchen sind *besonders stark* gemischt). (JUST 1985, EILKS 2001, vgl. Kap. 2)

Kupfer oder andere Metalle sind im Erz enthalten und müssen heraus geschmolzen werden, denn Kupfer- u.a. Metallatome liegen gemischt mit den Oxid- bzw. Sulfidteilchen vor. Wenn Wasser bei der Verbrennung von Kerzenwachs entsteht, so müssen die Wassermoleküle zwischen den Stearinmolekülen vorhanden sein (MEHEUT 1985). Wenn Kupfer anläuft, dann liegt es daran, dass sich Sauerstoffatome der Luft auf die Oberfläche legen (ANDERSSON & RENSTRÖM 1983).

Die Teilchenebene wird dahingehend benutzt, dass die (u.a. im konventionellen Unterricht eingeführte) Teilchenebene als Bestärkung der Stoffebendeutung dient (vgl. Kapitel 2): Da die Teilchen oder Atome, die die Stoffe bilden, unverändert bleiben, müssen die Stoffe im logischen Schluss nur gemischt sein. Diese Interpretation der Beobachtungen und Auswertungen auf der Ebene der Stoffe und Teilchen zeugen von der Akzeptanz des Konzepts *Teilchen*. Es geht weniger um die Modelle für die Zustandsbeschreibungen der Edukte und Produkte als vielmehr um den Fehler in der Interpretation mit Aspekten der Prozessebene (Wiedergewinnbarkeit durch Erhalt der diskreten Bausteine). Während in anderen Konzepten die Berücksichtigung der Zustandsbereichs charakteristisch war, ist es hier die Prozessdimension, die das gesamte Deutungskonzept bestimmt.

Beurteilung:

Im VOSNAIDOUSchen Verständnis würde eine falsche Rahmentheorie (Konstanz aller Modellkomponenten) herangezogen, die wiederum die phänomenologische Sicht beeinflusst (Annahme von vorhandenem Kupfer in gänzlich anders aussehendem Erz). Die Ursache könnte im Unterricht selbst liegen.

Wie bereits in der Beurteilung der Unterkategorie A3 genannt, steht dieses Konzept den Unterscheidungs- und Klassifizierungsprinzipien chemischer Verfahren gegenüber. Dennoch ist die Teilchenebene selbst - wenn sie auf die Atome bezogen wird - nicht falsch bzw. sogar fachdidaktisch präferiert (vgl. Kap. 2). Auch hier geht es im eigentlichen Sinne um die Vernetzung der Ebenen, die hier in Kategorie A und C so deutlich getrennt sind. Eine deutliche funktionale Verbindung von Atom- Teilchen- und Stoffebene anhand einer Vielzahl von Beispielen könnte diesen Kategorisierungsfehler verhindern und auch zur eine Reflexion offensichtlich machen (vgl. Kap .4).

C2 Unverbundene, duale Vorstellungsweise

Zu Vorstellungen dieser Kategorie lässt sich herausstellen, dass sowohl Betrachtungen auf abstrakter Symbol-Teichen- bzw. Atomebene als auch auf der Stoffebene angestellt werden, dass diese aber nicht miteinander verbunden werden. Die Symbolik von Reaktionsschemata wird als rein mathematischer Prozess ausgeführt, wird mit der Phänomenebene nicht in Verbindung gebracht. Hierfür sind wenige Beispiele aus Studien bekannt, obwohl das Phänomen im Unterrichtsalltag bekannt sein dürfte.

Beispiel:

Auch wenn die Reaktionsgleichung für die Eisenoxidbildung aufgestellt wurde, ist für Probanden Rost Eisen, auf dem sich ein Belag gebildet hat („Lack for Mobility across the levels“ (Anm.: the phenomenological and the atomistic level) in HESSE 1992, HARRISON 1996).

Beurteilung:

Konzepte dieser Art sind sicherlich unterrichtlich bedingt; Im Unterricht werden – notwendigerweise – Teilchen- und Atombetrachtungen besonders akzentuiert, sie werden dann von den Schülern lediglich formal, in diesem Fall formal korrekt, ausgeführt. Teilchen- und Atombetrachtungen sind aber um ihrer selbst willen nutzlos. Sie haben die Funktion stoffliche Phänomene zu erklären, und ohne Vernetzung werden sie im eigentlichen Sinne nicht auf Plausibilität geprüft. Auch hier liegt keine Verstehensbarriere vor, die *Funktion* des Perspektivwechsels ist der Mangel in der Kompetenz, der durch geeignete didaktische Entscheidungen behoben werden kann (vgl. Kap. 5).

3.3.3. Zusammenstellung beider Kategoriensysteme

Abschließend sollen die Titel aller Kategorien der Übersicht halber noch einmal zusammengestellt werden (vgl. Tab. 3.2). Dabei werden Parallelen zwischen den Kategoriensystemen I und II bezogen.

3. Die Schülerperspektive

Ebene	Kategoriensystem 1 Stoffliche Phänomene	Kategoriensystem 2 Chemische Reaktionen
A Stoffebene	A1 Das Verschwinden von Stoffen zu nichts oder zu weniger	A1 (V) Vernichtung von Gegenstand, von Stoff und Materie
	A2 Verdünnungs- und Verdichtungskonzepte	-
	A3 Mechanische und kraftbegründete Konzepte, Animismen	teilweise Passung mit A7 (V&cR) Personifizierungen, Teleologische Aussagen
	A4 Nonmaterial Properties, Eigenschaften sind übertragbar	A4 (V&cR) Eigenschaftsänderungen bei Konstanz der Stoffe – Modifizierung
	A5 Gleichsetzung der Stoffebene wird mit der Gegenständlichen und mit phänomenologischen Erscheinungen	A5 (V&cR) Fehlende Systematik und Funktionalität (sog. Transmutation von Stoffen)
	A6 Überinterpretation von Vorgängen als chemische Reaktionen	A2 (V) Aggregatzustandsänderung statt Verbrennung A3 (cR) Chemische Reaktionen als Mischungen und Entmischungen
	-	A6 (V) Umkehrbarkeit und Endgültigkeit
B Mischkonzepte Stoff- und Teilchenebene	-	B1 Vernichtung von Atomen und submikroskopischen Entitäten
	B1 Kontinuierliche Körnigkeit	-
	B2 Betrachtungsebenenmischung	B2 Betrachtungsebenenmischung
	B3 Teilchen-in-Kontinuumskonzept	-
C Teilchen- und Atomebene	B4 Animistische, teleologische Vorstellungen	-
	C1 Statische Teilchenmodelle	-
	C2 Überinterpretation der Teilchenebene	C1 (Ent-)Mischung von Teilchen und Atomen = (Ent-) Mischung von Stoffen
	-	C2 unverbundene, duale Vorstellungsweise

Tabelle 3.2: Zusammenfassung der Kategorien der Systeme I und II, (vgl. auch Anm. Anhang IV)

Die beiden Kategoriensysteme werden folgend in zweierlei Weise eingesetzt:

- Sie bieten die Grundlage für die Beachtung der Schülerperspektive bei der fachinhaltlichen Entwicklung der Basiskonzepte, d.h. der didaktischen Zielstrukturierung des Modells der fachdidaktischen Rekonstruktion
- Sie sind die Grundlage für die Kodierung der einzuholenden Daten; hierzu werden die fachlichen adäquaten Anteile des Basiskonzeptes aufgenommen Gesamtcodierschlüssel arrangiert.

4. Die didaktische Inhaltsstrukturierung

In der Darstellung des Forschungsvorhabens wurde das Modell der Didaktischen Rekonstruktion skizziert. Zwei Seiten des Dreiecks wurden bisher bearbeitet – die der Lernerperspektive und die Seite der fachlichen Klärung. Darauf aufbauend wird nun die didaktische Strukturierung bearbeitet, sie kann angesehen werden als fachdidaktischer Ertrag.

4.1. Einführung

Die Formulierung einer didaktischen Strukturierung kann nach KATTMANN wie folgt geartet sein (vgl. GROßENGIEßER 1997, KATTMANN et al. 1997,1998):

- (a) Grundlegende Leitlinien [...] für die Erarbeitung eines bestimmten Unterrichtsgegenstands,
- (b) konkrete Unterrichtselemente,
- (c) Unterrichtskonzepte und Curriculumseinheiten, die auf empirische Ergebnisse fußen.

Die *Substanz* der Didaktischen Strukturierung wurde und wird innerhalb des Forschungsmodells der Didaktischen Rekonstruktion umfangreich interdisziplinär diskutiert (z.B. Workshop-Skripte, unveröffentlicht). Ein Gütekriterium des Modells ist, *unterrichtsnahe Lernforschung* zu betreiben. Unterricht ist ein komplexes Geschehen. Welche Merkmale von Unterricht können auf Basis der Forschungsarbeit beschrieben werden? Können sie *abgeleitet* werden?

„Die Didaktische Strukturierung ist eine Planungsaufgabe und kann somit nicht gefunden werden – sie ist vielmehr zu erfinden. Anders formuliert: Das didaktische Strukturieren ist ein auf dem Vergleichen aufbauender heuristischer Prozess“ (zitierte Arbeitsdefinition HILBERT MEYERS Skript 2, 21.6.2003, 13)

Eine für die methodologische Verortung in Frage kommende Beschreibung ist die der *Abduktion* (in Angrenzung zur Deduktion und Induktion).

Es geht um die Frage, von welcher Art eine didaktische Strukturierung von empirischen Ergebnissen *abgeleitet* oder *hergeleitet* sein kann, die Ergebnisse der verschiedenen Forschungsarbeiten innerhalb des Kolloquiums haben ganz unterschiedliche Aussagekraft und Zielrichtung und wurden auf verschiedenen Seminaren des Forschungskolloquiums diskutiert. Die Didaktische Strukturierung der vorliegenden Arbeit ist methodologisch so positioniert, dass die Ergebnisse der Analyse zur Schülerperspektive und der fachlichen Klärung über den fachlichen Gegenstand zuerst *inhaltlicher Art* sind. Die *Verwirklichung* mittels Unterricht enthält dann eine Fülle weiterer Elemente, die nicht mit der rekursiven Analyse der beiden Schenkel des Dreiecks des Modells der Didaktischen Rekonstruktion zu entwickeln sind. Hier sind weitere Schritte nötig. MEYER stellt diese Relation zwischen Ergebnissen aus dem iterativen Forschungsprozess und den anderen Dimensionen des Unterrichts wie in Abbildung 4.1a und b dar (JANK, MEYER 2002 vgl. auch MEYER 2003, Skript 1 und 2):

4. Die didaktische Strukturierung

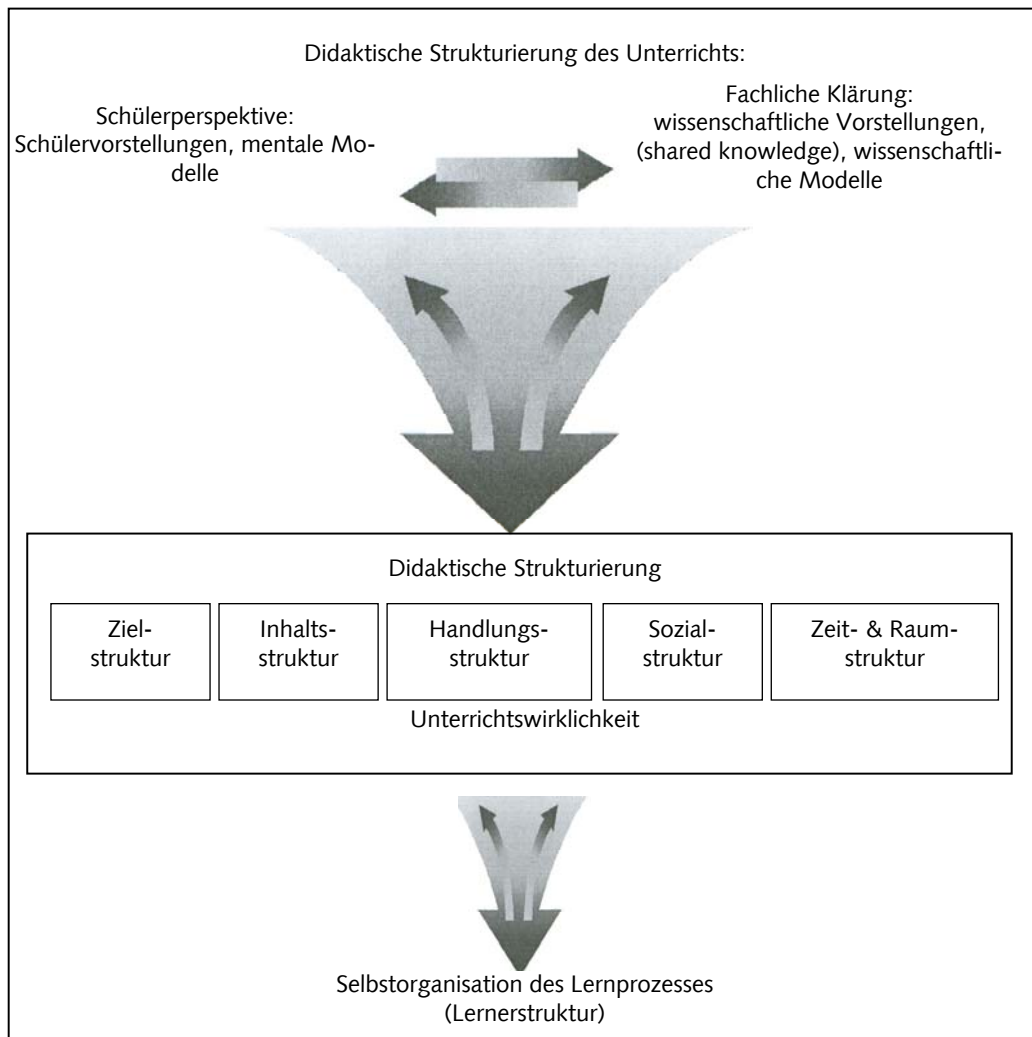


Abb. 4.1a: Die Unterrichtsstruktur, Lernstruktur und das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Skript 2, 21.06.2003), 36, nach: JANK & MEYER 2002, verändert

Die Planmäßigkeit des didaktischen Strukturierens realisiert sich nach MEYER als

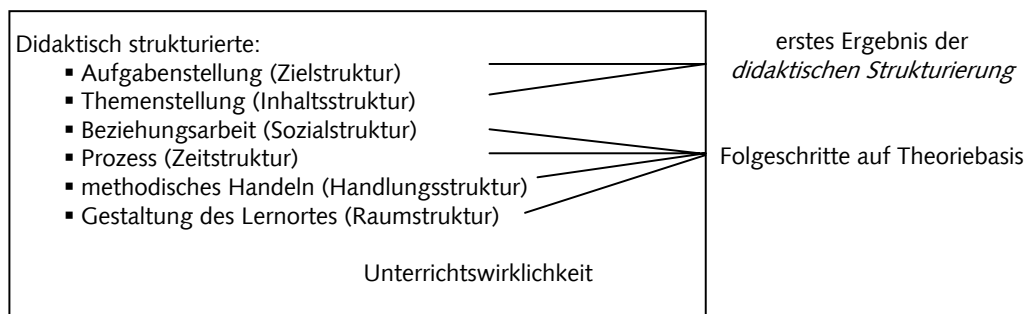


Abb. 4.1b: Das Strukturmodell MEYERS (ebd.) in der Anwendung auf diese Arbeit

4. Die didaktische Strukturierung

Im diesem Kapitel findet die Ziel- und Inhaltsformulierung statt, auf ihrer Grundlage werden in Kapitel 5 die anderen Planungsfelder bearbeitet und konkrete Unterrichtselemente entworfen.

Die *Zielstruktur* besteht in der Einführung und der adäquaten Anwendung des Perspektivwechsels zwischen der beschreibbaren phänomenologischen Welt und der Modellwelt der Teilchen und Atome, die konstruiert wird, um die phänomenologische Welt zu erklären. Der Schritt von der phänomenologischen Welt der Stoffe zur „Welt der Teilchen und Atome“ ist funktional - letztere hat keinen Selbstzweck, sondern man bedient sich ihrer, um beobachtbare Phänomene und Prozesse zu verstehen und zu begründen.

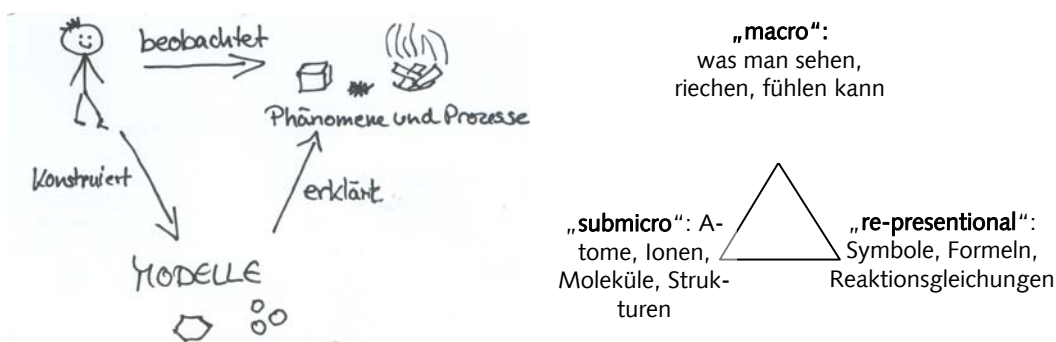


Abb. 4.2: links Tafelbild, das den Perspektivwechsel veranschaulicht, nach D. Rebentisch, unveröffentlicht, rechts: chemical triangle JOHNSTONES, nach BARKE (2006), 31

Ähnlich schlägt JOHNSTONE ein chemisches Dreieck (vgl. Abb. 4.2 rechts) vor, dessen gleichschenkelige Seiten für die makroskopische Seite, für die submikroskopische Seite und die Symbolseite oder Repräsentationsseite stehen. Nach JOHNSTONE resultieren Fehlvorstellungen aus der Vermischung der Seiten. MAHAFFY (vgl. BARKE 2002) ergänzt die drei Aussageseiten JOHNSTONES um den Aspekt des *human elements*, der für die lebensweltrelevante Komponente steht, und entwickelt aus dem chemischen Dreieck einen chemischen Tetraeder. Im gezeigten Tafelbild Abbildung 4.2 links geht diese Komponente ein, indem eine Ecke des Dreiecks das lernende Subjekt ist, das aus einer Frage- oder Problemsituation (die nach ChiK lebensweltlich orientiert und diesbezgl. sinnstiftend ist) heraus den Prozess des Perspektivwechsels vornimmt. Die lebensweltliche Komponente kann darüber hinaus ein Sammelbegriff für viele Dinge sein. Lebensweltlicher Bezug und alltägliche Erfahrung prägen jedes Lernen und auch diesen Perspektivwechsel im Besonderen, so dass die Idee MAHAFFYS der Subjektorientierung im Tafelbild deutlich aufgegriffen wird. Die Symbolseite JOHNSTONES wiederum ist für das Kennen lernen des Perspektivwechsels nicht von Nöten und für den Lerner im Anfangsunterricht noch unverständlich, so dass sie an dieser Stelle nicht mit aufgenommen wird. Die oben gemachte einfache Grafik zeigt das Wesentliche: den Ebenenwechsel und seine Funktion.²⁸

Die *Inhaltsstruktur* unterteile ich für den modellhaften Perspektivenwechsel in vier Ebenen und zwar wie folgt:

²⁸ Die Hervorhebung der Symbolseite wäre in dieser Grafik auch unpassend. Sie wäre in diesem Fall Teil der Modellebene, der Ebene der Teilchenwelt inne liegend. Johnstone hingegen bezweckt mit der Abbildung die Veranschaulichung der Denkebenen (levels of thought) der Chemie. Dies hat eine eigene Qualität, ist ein anderer Zweck. Jene Abbildung kann im Unterricht zu einem späteren Zeitpunkt gut eingesetzt werden.

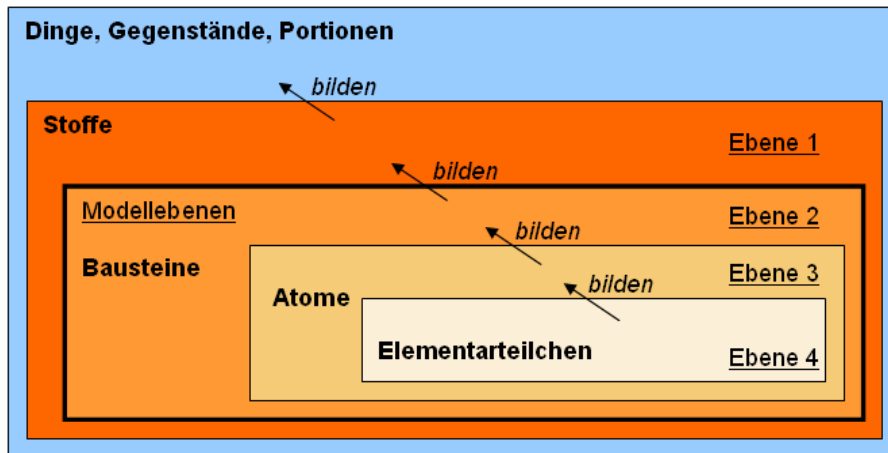


Abb. 4.3: Die Gliederungsebenen des Basiskonzepts

Die Inhaltsstrukturierung ist gegliedert in die Abschnitte 4.2.1 – 4.2.8:

Abschnitt	Inhalt
4.2.1	Ebene 1: Dinge, Stoffe und Eigenschaften
4.2.2	Perspektivwechsel der Ebenen 1 und 2: Der Bau von Stoffen aus Bausteinen
4.2.3	Ebene 1: Stoffzerstörung und –entstehung, die chemische Reaktion
4.2.4	Der Perspektivwechsel der Ebenen 1 und 2: Bausteinveränderungen bei chemischen Reaktionen
4.2.5	Der Perspektivwechsel der Ebenen 1, 2 und 3: Ein Modell der Atome
4.2.6	Der Perspektivwechsel der Ebenen 1, 2 und 3: Das Nutzen der Atomvorstellung für chemische Reaktionen
4.2.7	Zusammenfassung zur Systematik der Ordnung der Stoffe aufgrund der Art ihrer Bausteine
4.2.8	Ausblick auf Ebene 4: Atome und Elementarteilchen – das Konzept ist ausbaufähig –

Tabelle 4.1: Die Gliederung des Basiskonzepts Stoff-Teilchen

Jeder der Abschnitte 4.2.1-8 enthält zuerst die inhaltlichen Aussagen (gekennzeichnet mit einem Kasten), anschließend Beispiele zur Erläuterung und abschließend eine Begründung, als Resultat des Vergleichens der Ergebnisse

- über erfassten Schülervorstellungen (Kapitel 3 Kategoriensysteme)
- und der fachlichen Klärung (Kapitel 2).

Die inhaltlichen Aussagen sind als Ausformulierung des Basiskonzepts Stoffe- Teilchen anzusehen - als Basiskonzept im Begriffsverständnis der Konzeption *Chemie im Kontext* als auch im allgemein naturwissenschaftsdidaktischen Begriffsverständnis.

Ein Basiskonzept ist die

„strukturierte Vernetzung aufeinander bezogener Begriffe, Theorien und erklärender Modellvorstellungen, die sich aus der Systematik eines Faches zur Beschreibung elementarer Prozesse und Phänomene [...] als relevant herausgebildet haben“ (BÜNDER, PARCHMANN, et al. 2003, 125, PFEIFER et al. 2002, 40)

In den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (2005) wird das Verständnis von Basiskonzepten funktional beschrieben:

„Mittels dieser Basiskonzepte der Chemie beschreiben und strukturieren die Schülerinnen und Schüler fachwissenschaftliche Inhalte. Sie bilden für die Lernenden die Grundlage eines systematischen Wissensaufbaus unter fachlicher und gleichzeitig lebensweltlicher Perspektive und dienen damit der vertikalen Vernetzung des im Unterricht situiert erworbenen Wissens. Gleichzeitig sind sie eine Basis für die horizontale Vernetzung von Wissen, indem sie für die Lernenden in anderen naturwissenschaftlichen Fächern Erklärungsgrundlagen bereitstellen (zitiert nach NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2007), 49).

Das Kerncurriculum ist nach den vier Basiskonzepten „Stoff-Teilchen“, „Struktur-Eigenschaft“, „Chemische Reaktion“ und „Energie“ für das Fach Chemie im Sekundarbereich I strukturiert. Darin heißt es zum

„Stoff-Teilchen-Konzept

Für die Wissenschaft Chemie gilt die Vorstellung, dass alle Materie aus submikroskopisch kleinen Teilchen aufgebaut ist. Diese können isoliert vorkommen, lagern sich aber meistens durch Ausbildung chemischer Bindungen zu Verbänden zusammen. Sie bilden dabei mehr oder weniger große Aggregate mit spezifischen stofflichen Eigenschaften (z. B. Metalle oder Salzkristalle) aus. Die Vielfalt der Stoffe ergibt sich dabei durch die vielfältigen Kombinationen und Anordnungen einer nur begrenzten Anzahl unterschiedlicher Atomsorten.“ (ebd., 49)

Die gewählte Bezeichnung *Didaktische Inhaltsstrukturierung* ist zuerst forschungsmethodisch begründet, die eingängigere ist wohl die des Basiskonzepts. Allerdings ist die didaktische Strukturierung mehr als das Basiskonzept: Sie enthält zusätzlich die Beispiele und Begründungen, in denen bewusst alternative Vorstellungen, wie sie empirisch belegt wurden, aufgegriffen werden.

4.2. Das Basiskonzept Stoff-Teilchen als didaktische Inhaltsstrukturierung

Im Folgenden beinhalten die Umrahmungen eines Abschnittes - die „Kästen“ - die Aussagen des *Basiskonzepts*. Eingetückte Beiträge darin stellen Anwendungen und Zusatzklärungen zur Absicherung des Basiskonzeptanteils dar.

Beispiele, die sich auf konkrete Schülervorstellungen (z.B. „Eis ist kein anderer Stoff als Wasser in anderer Zustandsform“) beziehen und Begründungen für Basiskonzeptaussagen sind Erweiterungen, die zur *didaktischen Inhaltsstrukturierung* dazu gehören, nicht aber Teil des ausformulierten Basiskonzepts sind. Immer wieder wird auf die Kategoriensysteme Bezug genommen werden, dabei werden die Systeme mit KS I (für das Kategoriensystem I (vgl. S. 48ff) KS I, für das zweite KS II (vgl. S. 59ff).

Wer ist Adressat dieser didaktischen Strukturierung und des Basiskonzepts? Selbstverständlich vorrangig der Lehrer als Planer der unterrichtlichen Zielstruktur. Die didaktische Strukturierung zeigt, aus welchen Basiskonzeptanteilen das Stoff-Teilchen-Konzept sukzessive entwickelt werden kann. Das Basiskonzept selbst kann z.B. auch als Mittel der Rückschau zum Abschluss

(z.B. zum Abschluss zentraler Zyklen oder der Jahrgänge) Schülern zur Beurteilung ihres Lernerfolgs gegeben werden. Dies ist beispielsweise mit der Version aus PARCHMANN et al. (2003) mit positivem Feedback geschehen.

4.2.1. Dinge, Stoffe und Stoffeigenschaften

Die Chemie betrachtet Stoffe - Ebene 1

Unsere Welt, so wie wir sie wahrnehmen, besteht aus Dingen, Sachen, Gegenständen. (Kleider, Steine, eine Portion Zucker, eine Prise Salz ..) Dinge haben vielfältige Eigenschaften. Für die Chemie ist bedeutsam, *woraus* sie bestehen. Alle Dinge bestehen aus Stoffen. Im Alltag sagt man auch Material dazu. Substanz ist ebenfalls ein Wort für Stoff.

- In der Regel sind Dinge Stoffgemische, aus denen Reinstoffe isoliert werden können.
- Jeder Reinstoff weist unter definierten Bedingungen (z.B. Umgebungstemperatur) ein für ihn typisches Eigenschaftsspektrum auf. Unter anderen Bedingungen können sich Eigenschaften verändern.
- Von den Stoffen unterscheidet man „Nicht-Stoffe“, das sind zum Beispiel Feuer, Licht, Wärme, Kälte. Sie sind Energieformen - energetische Erscheinungen.

Beispiele:

Wasser ist bei Zimmertemperatur flüssig. Die Flüssigkeit Wasser wird aber durch Erniedrigen der Umgebungstemperatur zum Feststoff „Eis“. Aus Sicht von Chemikern handelt es sich bei Eis und Wasser um denselben Stoff Wasser, im Alltag verwendet man aus Gründen der eindeutigen Kennzeichnung jedoch zwei Namen. Dinge, Gegenstände sind dann zum Beispiel Kristalle aus Eis, Kristalle können aber genau so gut aus anderen Stoffen bestehen wie z.B. auch Salz.

Begründung:

Um Vorstellungen der Kategorie A5 (KS I: Gegenständliches und Phänomene statt *Stoffe*) zu reflektieren, werden Dinge, Gegenstände explizit mit aufgenommen und mit Beispielen versehen. Der Vorschlag LEERHOFFS et al. wird wie in Kap. 2 dargestellt, aufgenommen.

Klassifizierung von Stoffen - Ebene 1

Jeder Stoff hat unter definierten Bedingungen eine bestimmte, für ihn typische Kombination an Eigenschaften.

- Farbe ist z.B. nur eine Stoffeigenschaft, sie allein reicht nicht aus, um einen Stoff zu charakterisieren und eindeutig wieder zuerkennen: Nicht alle schwarzen Feststoffe sind Kohle, daher müssen immer mehrere Eigenschaften untersucht werden, um den schwarzen Stoff zu bestimmen.

Unter anderen Bedingungen können sich die Eigenschaften ändern.

Stoffeigenschaften nehmen wir durch Wechselwirkung dieser mit unseren Sinnesorganen wahr, meist indirekt über die Eigenschaften der Dinge und Stoffportionen (Eisen und Eisennagel, Zucker und Zuckerwürfel).

Stoffe können nach verschiedenen Kriterien sortiert werden, z.B. nach Wahl einer bestimmten Eigenschaft, und dann bestimmten Gruppen zugeordnet werden.

Das Ordnen von Stoffen kann z.B. nach Aggregatzuständen unter Normalbedingungen (Gase, Flüssigkeiten, Feststoffe) geschehen, eine Einteilung nach Eigenschaftsgruppen (Metalle, salzartige Stoffe, flüchtige Stoffe, ...) kann ebenso sinnvoll sein. Der Zweck bestimmt, nach welchen Eigenschaften klassifiziert wird.

Eigenschaften sind z.B. Farbe, Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig), Schmelz- und Siedetemperatur, Dichte, Härte, elektrische Leitfähigkeit, Löslichkeit in Wasser, Brennbarkeit.

- Man unterscheidet *messbare* Eigenschaften, die man mit Werten angibt, von *nicht messbaren*, so genannten qualitativen Eigenschaften, wie Geschmack, Geruch oder auch Farbe. Letztere sind nicht *genau* zu beschreiben, da sie individuell etwas unterschiedlich wahrgenommen werden können.

Wärme ist *keine* Stoffeigenschaft.²⁹ Ein Stoff besitzt auch keine innere Kraft, keine Seele oder Willen.

- Verschiedene Stoffe können bei Raumtemperatur und normalem Luftdruck in verschiedenen Aggregatzuständen vorliegen. Sie sind fest, flüssig oder gasförmig. Ein Stoff kann bei Änderung dieser Bedingungen in einen anderen Aggregatzustand übergehen.
- Bei der Umwandlung der Stoffe in verschiedene Aggregatzustände bleiben die Stoffe erhalten.
- Mischbarkeit und Löslichkeit in einem Lösungsmittel sind ebenfalls Stoffeigenschaften. Da man die Reinstoffe eines Gemisches wieder gewinnen kann, bleiben Stoffe erhalten, auch wenn man in gelöster Form ihr Spektrum der Eigenschaften nicht mehr wahrnimmt.

Bei Trennverfahren werden die unterschiedlichen Eigenschaften, z.B. den unterschiedlichen Siedepunkt bei der Destillation genutzt, um Reinstoffe zu isolieren.

Beispiele:

Zuckerwürfel (ein Ding, Gegenstand aus dem Stoff Zucker) lösen sich im Lösungsmittel Wasser, in dem die kleinen Kristalle verschwinden. Der Stoff ist auf diese Weise nicht mehr sichtbar, sein Vorhandensein kann am süßen Geschmack erkannt werden. Lässt man das Wasser aber verdunsten, so erhält man wieder kleine Kristalle des Stoffes Zucker zurück. Zur Wahrnehmung des Geschmacks von Zucker nutzen wir unseren Geschmackssinn. Wir nehmen dabei den Geschmack einer bestimmten Stoffportion Zucker wahr. Ist diese Stoffportion sehr klein, zum Beispiel in einer Zuckerlösung, stoßen wir auch an die Grenzen der Wahrnehmung: sie schmeckt nicht mehr süß, obwohl Zucker die Eigenschaft süßen Geschmack aufweist.

Das Wort Gas ist kein Name für einen bestimmten Stoff, ein Gas besteht aus einem bestimmten Stoff. Das Wort Gas beschreibt also nur, dass ein gasförmiger Stoff vorliegt. (vgl. KS I, A5). Kennt man den Stoff, kann das Wort für eine Portion dieses gasförmigen Stoffes stehen. Der Fachbegriff für das Alltagswort Gas ist gasförmiger Stoff, das Wort ist demnach mehr ein Nomen für das Adjektiv gasförmig.

Begründung:

Auf die Unterscheidung intensiver und extensiver Qualitäten von Stoffen wird eingegangen – ohne die entsprechenden Fremdworte mit einzuführen. Auf alternative Vorstellungen gemäß Unterkategorie A5 (KS I, „Gegenständliches, Phänomene statt Stoffe“) wird eingegangen, indem Gegenstandsbezug aufgenommen wird. Ebenso wird das alternative Kraftkonzept A3 (KS I, „ak-

²⁹ - wohl aber die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes-

tiv -, kraftgegründete Phänomene“) eingearbeitet. Auch die mögliche Vorstellung vom Verschwinden von Stoffen (KS I, A1) wird durch die explizite Formulierung von Lösungsprozessen und Aggregatzustandsänderungen im Beispiel eingegangen.

4.2.2. Perspektivwechsel Ebene 1 und 2: Der Bau der Stoffe aus Bausteinen

Stoffe und Stoffeigenschaften: Die Chemie betrachtet Stoffe ... - Ebene 1



... und den Aufbau dieser Stoffe aus Bausteinen - Ebene 2

Alle Stoffe *bestehen* aus für sie charakteristischen Teilchen, die im folgenden **Bausteine** genannt werden. Bausteine befinden sich *nicht in* einem Stoff, sondern *sie bilden den Stoff*. Diese Bausteine sind nicht wahrnehmbar, deshalb erstellt man Modelle, um Prozesse und Phänomene auf der Ebene der Teilchen zu veranschaulichen. Man bedient sich ihrer, um stoffliche Phänomene und Prozesse zu interpretieren und zu erklären. Modelle von Teilchen sind immer für diesen Zweck konstruiert.

- Jeder Stoff kann auch durch die modellhafte Darstellung seiner Bausteine beschrieben werden. Eigenschaften der Stoffe müssen folglich durch die Art dieser Bausteine, deren Anordnung und Wechselwirkungen verursacht werden.
- Da verschiedene Stoffe verschiedene Eigenschaften haben, müssen sie aus unterschiedlichen Bausteinen bestehen. Ein Stoff besteht auf der Modellebene nur aus einer Art von Baustein (Reinstoff), verschiedene Stoffe unterscheiden sich darin, dass die Bausteine sich voneinander unterscheiden.
- Stoffgemische sind demnach aus mehreren, verschiedenen Bausteinen aufgebaut.
- Bausteine können sich in Größe, Form und Masse unterscheiden. Dies sind die ausschließlichen Eigenschaften des Modells der Bausteine. *Ein* Baustein weist demnach nicht die Eigenschaften eines Stoffes auf: ein Kohlenstoff-Baustein ist nicht schwarz, ein Wasser-Baustein ist nicht flüssig.
- Die Bausteine sind in permanenter Eigenbewegung.³⁰
- Die Bausteine haben auch die Eigenschaft, untereinander in Wechselwirkung zu stehen und hierdurch zusammengehalten zu werden. Erst durch diese Zusammenlagerung der Bausteine kann man Stoffe als große Bausteinportionen z.B. sehend wahrnehmen.
- Wenn unterschiedliche Stoffe verschiedene Aggregatzustände haben, müssen die Wechselwirkungen zwischen den Bausteinen je nach Bausteinart unterschiedlich stark sein und die Eigenbewegung der Teilchen unterschiedlich hoch. In der Reihe von gasförmigen zu flüssigen und zu festen Stoffen nehmen die Wechselwirkungen und damit der Zusammenhalt zwischen den Bausteinen zu, ihre Bewegung nimmt ab.
- Da die Stoffe erhalten bleiben, wenn sie von einem Aggregatzustand in einen anderen überführt werden, müssen auch ihre Bausteine erhalten bleiben. Die Bewegung sowie die Wechselwirkungen zwischen diesen Bausteinen verändern sich jedoch. Ändern sich die Aggregatzustände der Stoffe, so verändern sich die Bewegung der und die Wechselwirkung zwischen den Bausteinen.

³⁰ Der Aspekt der Teilchenbewegung und der (inneren) Energie muss im Energiekonzept aufgegriffen und mit dem Stoff-Teilchen-Konzept vernetzt werden.

Eine Besonderheit: Gleiche Bausteine können manchmal auch unterschiedliche Stoffe bilden; Dies ist dann möglich, wenn sie unterschiedlich angeordnet sind. Bezeichnet wird dies als Modifikationen bei der Anordnung der Bausteine. Nur bei *Modifikationen* sind die Bausteine verschiedener z.B. zweier Stoffe gleich, sie sind aber unterschiedlich angeordnet. In der Regel aber bestehen unterschiedliche Stoffe aus unterschiedlichen Bausteinen.

Beispiele:

Charakteristische „Wasser-Bausteine“ bilden den Stoff Wasser. Diese sind auch im Eis vorhanden, allerdings ergibt sich durch ihre verringerte Eigenbewegung eine andere Anordnung. Die Bausteine bilden jetzt ein festes Gitter, der Stoff Wasser erscheint als Feststoff. Chemisch gesehen sind flüssiges Wasser und Eis derselbe Stoff, da beide aus denselben Bausteinen bestehen.

Demnach kann *nicht ein einzelner Baustein* die Eigenschaften eines Stoffes aufweisen: ein Kohlenstoff-Baustein ist nicht schwarz, ein Wasser-Baustein ist nicht flüssig.

Kann ein Stoff, z.B. Zucker in Wasser, gelöst werden, so müssen zwischen den Bausteinen der beiden Stoffe Wechselwirkungen möglich sein. Löst sich ein Stoff nicht in einem Lösungsmittel, so sind die Wechselwirkungen zwischen den gleichen Bausteinen stärker als die zwischen den Bausteinen des Stoffes und denen des Lösemittels.

Begründung:

Es wäre gut, den Terminus *Teilchen* durch *Baustein* zu ersetzen. Um zum einen zu verdeutlichen, dass Stoffe aus diesen aufgebaut sind - und nicht etwa Teilchen in einem Kontinuum „Stoff“ existieren (vgl. Schülervorstellungen KS I, B3) und um zum anderen der begrifflichen Nähe zum *Zerteilen* zu begegnen (vgl. KS I, B1): Das mit dem Begriff „Teilchen, Teilen“ verbundene Konzept aus dem Alltagsverständnis führt u.U. zu fälschlichen Assoziationen über ein kontinuierliches Zerteilen einer Stoffportion in immer kleiner werdende Stoffportionen, Körnchen. Zudem kann als Argument eine uneinheitliche Verwendung des Teilchenbegriffs (z.B. Elektron als Teilchen; Teilchenerhaltung bei chemischen Reaktionen meint Atomerhaltung vgl. fachliche Klärung, Kap. 2) zu grundlegenden Verständnisproblemen führen. Da der Teilchenbegriff allerdings etabliert ist, stößt eine Begriffsabkehr meist nicht auf positive Resonanz. Da er auch medial präsent ist, soll er nicht umgangen werden, ihm wird der Begriff Baustein zur Seite gestellt. Beide Begriffe sollten reflektiert werden.

Bausteine werden zudem entsprechend der fachlichen Klärung als Grundbaustein des Diskontinuummodells verwendet, damit ist hier ein eindeutiger Oberbegriff gegeben, der den Begriff Atom nicht als synonym entwertet, sondern ihn mit einschließt, aber auch nicht als die einzige diskontinuierliche Entität benutzt (d.h. im DEMOKRITischen Wortverständnis, aber nach heutigem Kenntnisstand über den Bau Stoffe). Die Eigenschaften des konventionellen Kugelteilchenmodells wurden übernommen, lediglich die *Form* wurde abweichend vom Kugelteilchenmodell nicht als kugelig bezeichnet – dies ist fachlich nicht haltbar (vgl. Kap. 2).

Der Begriff der Modifikation ist eigentlich verzichtbar, er ist im Chemiecurriculum nicht vorgesehen (vgl. z.B. *Niedersächsisches Kultusministerium 2007*). Er kann im Chemieunterricht der *Mittelstufe* für Einzelfälle Bedeutung haben (z.B. Kohlenstoff, ggf. Schwefel, Phosphor), für die höhere curriculare Einordnung stehen dann differenziertere Modelle zur Verfügung. Das dahinter stehende Konzept wurde der Vollständigkeit halber formuliert, könnte allerdings zur Ablenkung vom Wesentlichen führen: Hier wird eine Ausnahme für die Regel 'Stoffe bestehen aus (nur) für sie typischen Bausteinen' eingeführt bzw. behandelt. Der Begriff Modifikation wird in seiner Beschreibung konsequenterweise auf die Bausteinanordnungen bezogen und nicht - wie sonst häufig - auf das Element: (z.B. die Benennung *Modifikationen des Kohlenstoff*: Hier ist,

wie die fachliche Klärung gezeigt hat, die Bezugsebene unklar. Fachlich ist damit das Element im Sinne der Atomsorte gemeint, ohne dass es für den Lerner genannt wird.)

4.2.3. Die Chemie betrachtet Vorgänge der Stoffzerstörung und -entstehung; Die chemische Reaktion – Ebene 1

Stoffzerstörung und Stoffentstehung – Ebene 1

Den Vorgang, in dem Stoffe zerstört und neue Stoffe gebildet werden, nennt man chemische Reaktion. Die Ausgangsstoffe sind nicht mehr vorhanden, neue Stoffe entstehen an ihrer Stelle. Dabei findet auch immer ein Energieumsatz statt (vgl. Energiekonzept³¹)

- Aus verschiedenen Stoffen kann man durch chemische Reaktionen *gleiche neue Stoffe (Produkte)* erhalten.

Die neuen Stoffe einer chemischen Reaktion können wiederum **Ausgangsstoffe (Edukte)** weiterer chemischer Reaktionen sein. Verschiedene chemische Reaktionen können dann so kombiniert werden, dass Kreisläufe entstehen.

Beispiele:

Wenn Benzin verbrennt – zum Beispiel im Automotor- so wird es zerstört. Die alternative Idee, es könne sich lediglich der Aggregatzustand ändern, kann widerlegt werden, indem die Produkte aufgefangen und untersucht werden. Mit der Zerstörung geht immer eine Entstehung neuer Stoffe einher. Die Produkte der (vollständigen) Benzinverbrennung sind Kohlenstoffdioxid und Wasser, der Brennstoff ist nicht mehr vorhanden.

Gleiches stellt man mit dem Wachs einer Kerze fest, das Wachs verdampft nicht nur – es verflüchtigt sich, wie Schüler manchmal sagen - sondern es reagiert ebenfalls zu Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Bei einer leuchtenden Glühbirne findet allerdings keine chemische Reaktion statt: Es finden wohl Energieumwandlungen (von elektrischer Energie zu Licht und Wärme) statt, aber keine Stoffzerstörung und -entstehung. *Brennt* eine Lampe im geschlossenen Kolben durch, ist dies auch keine Verbrennung, der Draht ist gebrochen, weil Teile davon verdampften bzw. sublimierten (spezieller Aggregatzustandwechsel von fest zu gasförmig).

Begründung:

Hier wird mit dem Begriffspaar *Zerstörung der Ausgangsstoffe* und *Produktentstehung* betont, dass es sich weder um Eigenschaftsänderungen im Sinne einer „Verwandlung“ noch um eine Aggregatzustandsänderung handelt. Die mit der *Stoffumwandlung*, *-umbildung*, oder *-veränderung* verbundenen Probleme sind in Kap. 2 beschrieben worden. Es sind Begriffe, die vermutlich von Lehrkräften und Fachdidaktikern favorisiert werden, um die Begriffe Zerstörung, Vernichtung zu umgehen, da sie den Verlust von Materie sowie Irreversibilität suggerieren könnten. Diese Begriffswahl stellt die phänomenologische Ebene korrekt dar: dass die eingesetzten Stoffe nicht mehr vorhanden, demnach „zerstört“ sind. Er macht im Folgeschritt die Reflexion dieser Probleme notwendig und nimmt sie auf, statt sie zu umgehen (vgl. Schlüsselemente, Kap 6). Damit wird ein Verständnis als reine Eigenschaftsmodifizierung bei Erhaltung der Stoffe (KS II, A4) nicht gefördert.

³¹ Das Energiekonzept wird nicht als Teil der Arbeit formuliert, dennoch wird bereits auf die Vernetzung hingewiesen.

4. Die didaktische Strukturierung

Die Formulierung von Kreisläufen wird aufgenommen, um die Umkehrung und Umkehrbarkeit *in einem Schritt* und die verwirrende Erarbeitung von Hin- und Rückreaktionen zu vermeiden. Diese würden an dieser Stelle (Ent-) Mischungsvorstellungen fördern und die Unterscheidung von physikalischen Vorgängen erschweren. Erst die Atomebene kann hier ein echtes Verständnis geben, die Reversibilität erklären, d.h. ein vertieftes Verständnis ermöglichen (KS 2, A2 und A3) Eine Reaktion rückgängig zu machen, kann ohne Energiekonzept nicht verstanden werden, hierauf muss bei der Formulierung des Energiekonzepts eingegangen werden.

4.2.4. Bausteinveränderungen bei chemischen Reaktionen - Perspektivwechsel zwischen den Ebenen 1 und 2

Stoffzerstörung und -entstehung ...- Ebene 1



... und die Rolle der Bausteine bei der chemischen Reaktion - Ebene 2

Wenn bei chemischen Reaktionen neue Stoffe entstehen, so müssen dabei auch neue Bausteine gebildet werden.

- Da man Zusammenhänge zwischen den Ausgangsstoffen und den neu entstandenen Produkten beschreiben kann (Vorhersage von Produkten, Aufstellen von Stoffkreisläufen, Wiederherstellen von Ausgangsstoffen u.a.), muss es einen Zusammenhang zwischen den Bausteinen der Ausgangsstoffe und denen der Produkte geben. Die Bausteine der Produkte bilden sich *aus* den Bausteinen der Edukte. Sie müssen deshalb eine gemeinsame materielle Grundlage haben.

Diese Grundlage besteht darin, dass letztlich alle Bausteine wiederum aus kleineren materiellen Einheiten bestehen. Diese *Bausteine der Bausteine* nennt man **Atome**. Die Atome bleiben bei chemischen Reaktionen erhalten.

Beispiele:

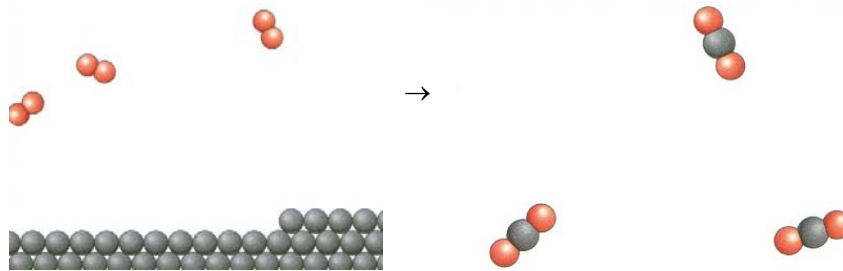
Gleich, ob ich Kerzenwachs, Campinggas oder Holz verbrenne, es entsteht immer Kohlenstoffdioxid. Die Grundlage für die Bildung dieses Kohlenstoffdioxid muss also in den Ausgangsstoffen vorliegen. Die Ausgangsstoffe werden aber von unterschiedlichen Bausteinen gebildet. Diese Bausteine bestehen wiederum u.a. aus Kohlenstoffatomen und diese Kohlenstoffatome bilden gemeinsam mit Sauerstoffatomen in der Verbrennung neue Kohlenstoffdioxidbausteine. Am Beispiel von Kohle verdeutlicht dies die folgende Abbildung 4.4, auf die im weiterhin auch noch eingegangen wird.



Abb. 4.4a: Zwei Atomsorten

4. Die didaktische Strukturierung

Modellvorstellung der chemischen Reaktion zwischen Sauerstoff und Kohlenstoff mit Hilfe der Atome:



Die Bausteine von Kohlenstoff (Gitter aus einzelnen Kohlenstoffatomen) und die des Sauerstoffs (je aus zwei Atomen) reagieren zu Kohlenstoffdioxidbausteinen, in denen sich die beiden Atomsorten verbunden haben.

Abb. 4.4b: Die Vorgänge auf der Ebene der Bausteine und Atome nach DEMUTH et al. (2009): Einband vorne

Begründung:

Der Doppelschritt von Stoffen zu Bausteinen und von Bausteinen zu Atomen wird damit begründet, dass das den Schülern bis dahin bekannte Diskontinuummodell nicht mit dem der Atome gleichzusetzen ist (vgl. Kap. 2). Die Tatsache, dass Bausteine auch aus lediglich einem einzigen Atom bestehen können - dass also in diesen Fällen die Begriffe Baustein und Atom gleichzusetzen sind - entwertet das Bausteinmodell nicht. Wird im Gegensatz dazu das Atom als Diskontinuumseinheit generalisiert, so stellt dies im Nachhinein ggf. von Schülern Gelerntes als falsch dar (vgl. Kapitel 2).

4.2.5. Ein Modell der Atome - Perspektivwechsel Ebene 1, 2 und 3

Stoffe werden zerstört und gebildet... - Ebene 1



Bausteine werden verändert – Ebene 2

Bausteine bilden Stoffe. Wenn neue Stoffe aus den Ausgangsstoffen entstehen, wenn neue Bausteine aus den ursprünglich eingesetzten entstehen, dann müssen diese Bausteinveränderungen mit ihrem jeweiligen Bau aus Atomen zu begründen sein.



... die Atome bilden Bausteine - Ebene 3

Man kennt heute nur die Anzahl von 109 verschiedenen Atomsorten,³² die durch die unterschiedlichen Kombinationen und Wechselwirkungen alle bekannten Bausteine und damit die Vielfalt unserer Stoffe bilden.

Wenn Atome in verschiedenen Bausteinen und damit in verschiedenen Stoffen erhalten sind, so können sie nicht die Eigenschaften der Stoffe haben. Bis heute ist nur eine begrenzte Anzahl verschiedener Atomsorten bekannt, diese werden als Elemente bezeichnet. Den Atomen werden nur sehr wenige Eigenschaften zugeschrieben, in denen sich verschiedene Atomsorten unterscheiden können:

- Nach einem einfachen Modell sind Atome kugelförmig und unterscheiden sich durch die Eigenschaften Größe und Masse (nach einem Modell von JOHN DALTON). Jede Atomsorte hat eine bestimmte Masse und Größe.
- Die Vielzahl von Stoffen wird mit Hilfe des Atommodells so erklärt, dass eine vergleichsweise geringe Zahl an Atomsorten zu zahlreichen verschiedenen Bausteinen zusammengesetzt/variiert werden (Atomsorte, Anzahl, Anordnung der Atome im Baustein); die Vielzahl der verschiedenen Bausteine erbringt unzählig viele Stoffe.
- Man unterscheidet Stoffe, deren Bausteine nur aus einer Atomsorte bestehen (vereinfacht ebenfalls Elemente genannt, besser *elementare Stoffe*) und solche, deren Bausteine aus verschiedenen Atomen zusammengesetzt sind. In ihnen sind verschiedene Atomsorten im Baustein *verbunden*, daher der Name *Verbindung*, zusammengesetzte verschiedenartige Atome (vgl. auch Abb. 4.4).

Es gibt Stoffe, deren Bausteine im Modell nur aus einem Atom bestehen. Hier ist der Baustein = das Atom (z.B. Edelgase, Metalle).

- Salze sind kristalline Feststoffe. In ihnen sind verschiedene Atomsorten in Gitterverbänden angeordnet. Diese Anordnung ist regelmäßig und darin treten in fester Zahl Atome zu so genannten Baugruppen wiederkehrend auf. Diese Baugruppe ist die kleinste wiederkehrende Einheit im Gitterverband und damit der repräsentative Baustein für das jeweilige Salz (vgl. Kasten in der Abb. 4.5a: Im Kochsalz treten Chlor- und Natriumatome (unterschiedlich groß veranschaulicht, im Zahlenverhältnis 1:1) immer wieder auf, sie sind der repräsentative Baustein des Kochsalzes).

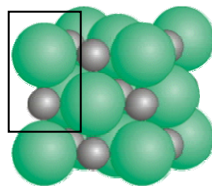


Abb. 4.5a: Kochsalzgitter, EISNER et al. (2004):167

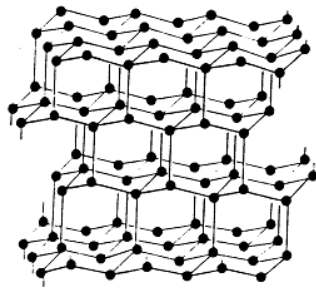
- Stoffe, deren Bausteine klar voneinander abgegrenzt werden können, wie beispielsweise bei Kohlenstoffdioxid, Wasser, Sauerstoff (vgl. Abb. 4.4 und Abb. 4.5b), werden auch Moleküle genannt.

³² Sie sind im Periodensystem der Elemente aufgeführt und sortiert.

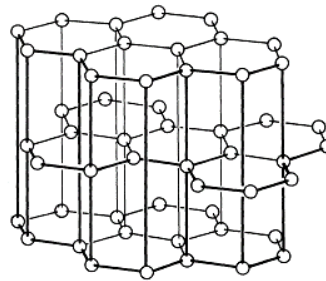


Abb. 4.5b: Wasserbaustein oder -molekül, Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidmolekül bzw. -baustein, DE-MUTH et al. 2008a: 29, 2009: 50f

Hinweis: Bei Stoffen, deren Bausteinen nur aus einem einzigen Atom bestehen, gibt es die Modifikationen. Sie bestehen aus derselben Atomsorte, die Stoffe haben allerdings unterschiedliche Eigenschaften. Ursache ist hierfür die unterschiedliche Anordnung der Atome (z.B. sind Diamant und Graphit Ergebnis unterschiedlicher Modifikationen der Kohlenstoffatome, vgl. Abb. 4.5c).



Diamant



Graphit

Abb. 4.5c: Strukturen einer Modifikation, JAHNKE-KLEIN et al. (1994):15

Beispiele:

Bei den Metallen bestehen die Bausteine lediglich aus einer Atomsorte. Sie sind in Gitterverbänden angeordnet. Es gibt auch elementare Stoffe, deren Bausteine aus zwei gleichartigen Atomen bestehen. Dies sind zum Beispiel die Gase Stickstoff und Sauerstoff, die den Großteil der Luftzusammensetzung ausmachen. Auch sie sind elementare Stoffe. In den Abbildungen 4.4 und 4.5b ist der Sauerstoffbaustein gezeigt, der aus zwei Sauerstoffatomen besteht. Luft ist ein Gasgemisch, das neben den genannten Elementen auch noch u.a. die Verbindung Kohlenstoffdioxid enthält. Kohlenstoffdioxid besteht aus Bausteinen, die von Kohlenstoffatomen und Sauerstoffatomen gebildet werden. Hier bilden also verschiedenartige Atome den Baustein der Verbindung: Wie in Abbildung 4.4 gezeigt, wird ein Kohlenstoffdioxidbaustein aus einem Kohlenstoffatom und zwei Sauerstoffatomen gebildet.

Die Bausteine der Stoffe Diamant und Graphit sind einzelne Kohlenstoffatome. Eigentlich müsste es sich also um ein und denselben Stoff handeln. Da die Stoffe aber deutlich verschieden sind, wird ein Modell entwickelt, dass verschiedene Anordnungen der Atome zeigt (siehe Abb. 4.5c).

Begründung:

Es gelten die Begründungen, die bereits zur Nutzung des Bausteinbegriffs Abschnitt IV angeführt wurden. Die Element- und Verbindungsdefinition erfolgt über die Baustein- und Atomebe-

ne, um ein eindeutiges Unterscheidungskriterium zu liefern (vgl. Kap. 2), auf der Stoffebene muss folglich von elementaren Stoffen gesprochen werden.

4.2.6. Das Nutzen der Atomvorstellung für chemische Reaktionen: Perspektivwechsel der Ebenen 1, 2 und 3

Stoffe werden zerstört und gebildet ... - Ebene 1



Bausteine werden verändert - Ebene 2

Bausteine bilden Stoffe. Da nach einer chemischen Reaktion die Ausgangsstoffe nicht mehr vorhanden sind, können auch die Bausteine dieser Ausgangsstoffe nicht mehr unverändert vorliegen. Wenn neue Stoffe aus den Ausgangsstoffen entstehen, müssen neue Bausteine aus den ursprünglich eingesetzten entstehen.



... Atome bilden und formen die Bausteine - Ebene 3

Die Veränderungen von Bausteinen werden damit erklärt, dass sich die Atome der Ausgangsbau- steine zu neuen Bausteinen der Produkte zusammensetzen (vgl. Abb. 4.18). Für die Bausteinver- änderung wird Energie zugeführt oder wird frei, dies ist von Reaktion zu Reaktion verschieden (vgl. Energiekonzept).

Bei einer chemischen Reaktion bleiben die Atome erhalten, es werden jedoch die Bausteine der Ausgangsstoffe umgebildet in der Art, dass aus deren Atomen neue Bausteine gebildet werden.³³ Der Zusammenhang besteht also darin, dass die Einheiten, die diese Bausteine bilden – die Atome – nicht vernichtet werden, sondern neue Bausteine (Verbände aus gleichen oder verschiede- nen Atomsorten) bilden.

- Die Erhaltung der Atome wird deshalb angenommen, da die Masse der Ausgangsstoffe gleich der Masse der Produkte ist, die Masse der Stoffe bleibt erhalten, weil die Atome als Träger dieser Masse erhalten bleiben.
- In einem Stoff-Kreislauf „kreisen“ im eigentlichen Sinne die Atome.
- Voraussetzung für die Bildung, aber auch die Trennung von Bausteinen (damit für die Zerstörung und Bildung von Stoffen) sind die Bewegung der und die Wechselwirkungen zwischen Atomen.
- Wenn sich Stoffe vom festen in den flüssigen und in den gasförmigen Zustand überführen lassen, ohne dass die Bausteine zerstört werden (die Stoffe also erhalten bleiben und keine chemische Reaktion abläuft), müssen die Wechselwirkungen innerhalb der Bausteine stärker sein als zwischen den Bausteinen. Im Falle einer chemischen Reaktion sind die Verhältnisse allerdings genau umgekehrt.

³³ *Hinweis:* Chemische Reaktionen werden manchmal als Umgruppierung der beteiligten Atome beschrieben.

Beispiele:

Wenn Benzin verbrannt wird, stimmt die Masse *aller* entstehenden Produkte mit der des Benzins und des benötigten Sauerstoffs überein. Der Grund: alle beteiligten Atome bleiben erhalten. In der Natur wird eine Vielzahl von Reaktionen und Kreisläufen formuliert, die die Dynamik und Vielfalt unter Annahme der Atomerhaltung *erklären*.

Wenn Wasser siedet, erhalten die einzelnen Bausteine durch größere Bewegung größeren Abstand. Die Atome eines Wasserbausteins bleiben aber verbunden. Liegt keine Bausteinveränderung vor, findet keine chemische Reaktion statt. Sieden ist keine chemische Reaktion, sonst würde durch Sieden Wasser chemisch zersetzt. Wasserdampf kann aber aufgefangen werden und kondensiertes Wasser ist immer noch Wasser und besteht aus denselben Wasserbausteinen wie gasförmiges und festes Wasser.

Begründung:

Die Massenerhaltung wird bewusst erst eingeführt, wenn sie mit Hilfe der Atome begründet werden kann, eine rein phänomenologische Feststellung auf der Stoffebene (platzierbar in Abschnitt 3) wird nicht gemacht. Mit der *erklärenden* Einführung an dieser Stelle wird der alternativen Vorstellung von der Massenvernichtung (KS II, A1) Konkurrenz geboten, denn hier wird eine Erkenntnis erweiternde Theorie geboten. Das Kreislaufprinzip muss sinnvoll beispielhaft erläutert werden (siehe Kap. 5), es erklärt dann die Phänomene der Stoffebene und verdeutlicht den Erkenntnisgewinn.

Auf die Veränderungen der Atome wird an dieser Stelle bewusst noch nicht eingegangen, da sie unverständlich sind. Hierfür muss ein nächster Schritt auf die Ebene IV gemacht werden.

4.2.7. Zusammenfassung: Systematik der Ordnung von Stoffen aufgrund der Art ihrer Bausteine, ihrer Atome

Stoffklassifizierungen - Ebene 1

Stoffe werden von Chemikern geordnet nach **Elementen** und **Verbindungen**, nach **kristallinen Stoffen**, **Metallen** und **Molekülverbindungen**; die Klassifizierungen können nur durch die Nutzung des Baus der Stoffe erklärt werden. Chemiker geben Formeln für die Stoffe an, diese beziehen sich auf den Bau der Stoffe, denn die Formeln kann man nicht „wahrnehmen“.



Baustein- und Atomklassifizierungen - Ebenen 2 und 3

Alle Bausteine bestehen aus bestimmten Einheiten, den **Atomen**. Jede **Atomsorte** ist gekennzeichnet durch ein **Symbol**: H für Wasserstoff-Atome, O für Sauerstoff-Atome usw...

Eine **chemische Formel** gibt das Verhältnis der verschiedenen oder gleichen Atomsorten in einem Baustein an (Atom-Anzahl-Verhältnisformel).

- Die Atome können selbst bereits Bausteine sein oder sie bilden in Verbänden Bausteine. Die Art dieser Verbände, ihre Anordnung und Wechselwirkungen können ebenfalls klassifiziert werden:
- Bausteine von gasförmigen Stoffen sind klar voneinander abgrenzbare Einheiten, deren Wechselwirkungen untereinander relativ schwach und deren Abstände damit relativ groß sind (zurückzuführen auf eine stärkere Eigenbewegung).

- Bausteine von Flüssigkeiten sind ebenfalls klar voneinander abgrenzbare Einheiten, deren Wechselwirkungen untereinander stärker und deren Abstände damit geringer sind (zurückzuführen auf eine schwächere Eigenbewegung).
- Bausteine von Feststoffen sind entweder klar voneinander abgrenzbare Einheiten oder bilden Gitterstrukturen ohne klare Grenzen, bei denen der Baustein die kleinste sich wiederholende Einheit der Gitterstruktur bildet. Zwischen diesen Bausteinen bestehen z.T. sehr starke Wechselwirkungen und sie weisen nur eine sehr schwache Eigenbewegung auf.

Wenn Bausteine klar abgegrenzte Verbände darstellen, bezeichnet man sie entweder als einzelne **Atome** oder als **Moleküle** (Gruppen miteinander verbundener Atome). Die Bausteine aller gasförmigen und flüssigen Stoffe sowie die Bausteine einiger Feststoffe sind einzelne Atome oder Moleküle. Die Atome, die metallische Stoffe bilden, sind in Gitterverbänden angeordnet. In diesem Fall beschreiben die Atome die kleinsten repräsentativen bzw. gleichen wiederkehrenden Einheiten des Gitters.³⁴

Beispiele:

Kohlenstoffdioxidbausteine mit der chemischen Formel CO_2 bestehen alle aus zwei Sauerstoff-Atomen und einem Kohlenstoff-Atom. O_2 – die chemische **Formel** für die Bausteine des Stoffes Sauerstoff – bestehen alle aus zwei miteinander verbundenen Sauerstoff-Atomen, wie die Abbildung 4.18b bereits zeigt.

Die Bausteine des Stoffes Helium sind im Vergleich dazu einzelne Helium-Atome. Die chemische Formel lautet hier He, oder genauer He_1 . Taucht ein Element in einer Formel nur einmal auf, so wird der Index 1 weggelassen. Auch Metalle haben als Formeln nur ihr Symbol, weil auch hier der Baustein aus einem einzelnen Atom besteht (s. weiter).

Die Nutzung des Perspektivwechsels in quantitativen Zusammenhängen wurde in Heft PdN, 7/52 dargestellt (vgl. *PARCHMANN et al. 2003*).

4.2.8. Ausblick: Der Perspektivwechsel zur Ebene 4: Der differenzierte Atombau

Bei der weiteren Klassifizierung von Bausteinen ist die Kenntnis von Modellen des subatomaren Bereichs von Nöten: Bausteine der Salze könnten näher mit Hilfe von Ionen beschrieben werden; Moleküle können mit Hilfe der kovalenten Bindung beschrieben werden, wofür das Elektronenpaarabstoßungsmodell herangezogen wird. Die fachliche Klärung ist hierfür im Kapitel 2 vor-skizziert worden, eine Analyse der Schülervorstellungen muss an anderer Stelle erfolgen. Die Feingestaltung von Unterrichtselementen für diesen fortgeschrittenen Bereich des Curriculums ist nicht vorgesehen; sie würde den Rahmen der Arbeit sprengen. Dennoch soll der bisherige Stand dieses Basiskonzeptsanteils dargestellt werden, um die Anschlussfähigkeit des Bisherigen darzustellen und einige Vernetzungen mit anderen Basiskonzepten zu verdeutlichen. Dieses Grundgerüst kann bei einem erneuten Durchlauf der Arbeitsbereiche der Didaktischen Rekonstruktion zu einer didaktischen Inhaltsstrukturierung (Prüfung und Überarbeitung des Basiskon-

³⁴ Hinweis 1: Geladene Bausteine, die Gitterstrukturen ohne klare Abgrenzungen bilden, bezeichnet man als Ionen, dies wird nach Kenntnis des Atombaus wieder aufgegriffen: Zur Entstehung von Ionen siehe „Ebene 4 chemische Reaktionen“. Hinweis 2: Chemische Reaktionen werden manchmal als Umgruppierung der beteiligten Atome beschrieben. Dies ist zulässig, wenn die Veränderung der Atome vernachlässigbar klein ist. Die Bausteine werden jedoch bei einer chemischen Reaktion immer verändert.

4. Die didaktische Strukturierung

zepts, Beispiele und Begründungen auf Basis einer differenzierten Analyse der Schülerperspektive) geformt werden.

Im Folgenden wird ein Vorschlag gemacht, wie eine Differenzierung des Modells eingeführt werden kann, diese Basiskonzeptanteile werden angerissen, nicht ausgeführt. Der Vorschlag vollzieht sich anhand von konkreten Einheiten, die im Rahmen dieser Arbeit nicht beschrieben werden. So soll das Phänomen der elektrischen Leitfähigkeit als roter Faden dienen, das differenzierte Atommodell, Ionen und Redoxreaktionen einzuführen (mit dem Kontext *Strom durch Chemie*, vgl. CD Chemie im Kontext), der Kontext *Rund ums Wasser*, (z.B. Athenaeum Stade, Fachgruppe Chemie, unveröffentlicht) führt zur kovalenten Bindung.

Stoffeigenschaften, chemische Reaktionen und elektrischer Strom - Ebene 1

Einige Stoffe und Stoffgemische leiten den elektrischen Strom, chemische Reaktionen können in experimentellen Varianten durchgeführt werden, bei denen elektrischer Strom fließt.



Ladungen und Elektronen - Ebene 2 und 3

Bausteine müssen Ladungen tragen, sie müssen einen Elektronentransport ermöglichen. Der elektrische Strom stellt einen Elektronenfluss dar. Da Bausteine aus Atomen bestehen, muss der Ursprung der Elektronen in den Atomen zu finden sein.



Ausschnitt: Atome bestehen aus Elementarteilchen - Ebene 4

Bei einer chemischen Reaktion können Elektronen von einem Stoff, damit von einem Baustein, damit von einer darin enthaltenen Atomsorte auf eine andere übertragen werden. Die Atome verändern sich demnach während einer chemischen Reaktion;

Atome können somit keine einheitlichen Gebilde sein, sie müssen Elektronen enthalten, die sie aufnehmen und abgeben können. (...)

Ausschnitt: Chemische Reaktion als Veränderung der Elektronenkonfiguration

Durch die Übertragung von Elektronen bei chemischen Reaktionen verändert sich das Ladungsverhältnis in einem Atom; es entstehen somit negativ (Überschuss an Elektronen) und positiv (Mangel an Elektronen) geladene Atome. Diese veränderten, geladenen Atome nennt man **Ionen**, da diese in wässrigen Lösungen zu elektrischen Polen „wandern“ (ion= griech. Das Wandernde).

- Gibt ein Atom Elektronen ab, so wird dies als **Oxidation** bezeichnet, eine Elektronenaufnahme wird als **Reduktion** bezeichnet. Elektronenaufnahme und Abgabe bedingen sich gegenseitig und können nur gemeinsam ablaufen.

Diese Teilprozesse sind mit energetischen Veränderungen verbunden. (...)

Hier liegt die Gelenkstelle, in der das Basiskonzept zum Donator-Akzeptor Basiskonzept überführt wird. Ebenso muss an dieser Stelle das Energiekonzept vernetzt werden.

Ausschnitt: Systematik der Stoffe nach dem Bau der Bausteine - Ebene 2

Leiten Stoffe oder Lösungen den elektrischen Strom so müssen die Bausteine dafür die Grundlage geben.

- Die Bausteine liegen in Gitterverbänden vor, die aus einzelnen Atomen bestehen, sie bilden Modellen nach gemeinsame zwischenatomare Bereiche für die beweglichen Elektronen. Dies liegt bei den Metallen sowie auch beim Graphit vor: die Elektronen sind beweglich, der Stoff ist elektrisch leitfähig.
- Die Stoffe bestehen aus geladenen Atomen oder Atomgruppen. In Lösung sind diese Ionen beweglich und wandern im elektrischen Feld. Die Stoffe bestehen aus Gittern, in denen die Ionen in ladungsausgeglichener Anzahl und bestimmter Weise sehr geordnet positioniert sind, sodass insgesamt ein ladungsneutraler Stoff vorliegt. Die Bausteine beschreiben dann die kleinsten wiederkehrenden repräsentativen Einheiten des Gitters (...)

Leiten Stoffportionen nicht, so sind die Bausteine so geordnet und gebaut, dass kein Elektronenfluss möglich ist, ein Grund ist, dass es sich um Molekülverbindungen aus ungeladenen Bausteinen, Molekülen handelt. (...)

- Die Bausteine aus mindestens zwei kovalent gebundenen Atomen sind untereinander klar abgrenzbar und zu trennen. Die Bausteine vieler gasförmiger und flüssiger Stoffe sowie die Bausteine einiger Feststoffe sind solche Moleküle.

Hinweis: Der chemischen Formel kann demnach nicht entnommen werden, ob es sich um abgegrenzte Moleküle – CO_2 – oder um Einheiten eines Gitters– NaCl – handelt!

Beispiele:

Natriumchlorid besteht aus Natriumchloridbausteinen, die wiederum aus einem positiven Natriumatom und einen negativen Chloratom bestehen. Die kleinste repräsentative Einheit ist demnach NaCl , die zugleich mit der chemischen Formel ausgedrückt wird. Die Bausteine des Stoffes Kohlenstoffdioxid sind Moleküle: immer zwei Sauerstoff-Atome und ein Kohlenstoff-Atom bilden die Kohlenstoffdioxid-Moleküle, ausgedrückt durch die **Formel** CO_2 .

Um den bisherigen Stand des Basiskonzept weiter auszubauen, müssen folgend die Ionenbindung und die kovalente Bindungen konkret eingeführt werden, wofür das Basiskonzept Donator-Akzeptor stärker differenzierte Atommodelle zur Verfügung stellen muss. Mit zunehmendem Theoriegewinn werden die weiteren Basiskonzepte eingeführt, sie werden komplexer und miteinander vernetzt, wie in Abbildung 4.6 in einfacher Weise veranschaulicht wird.

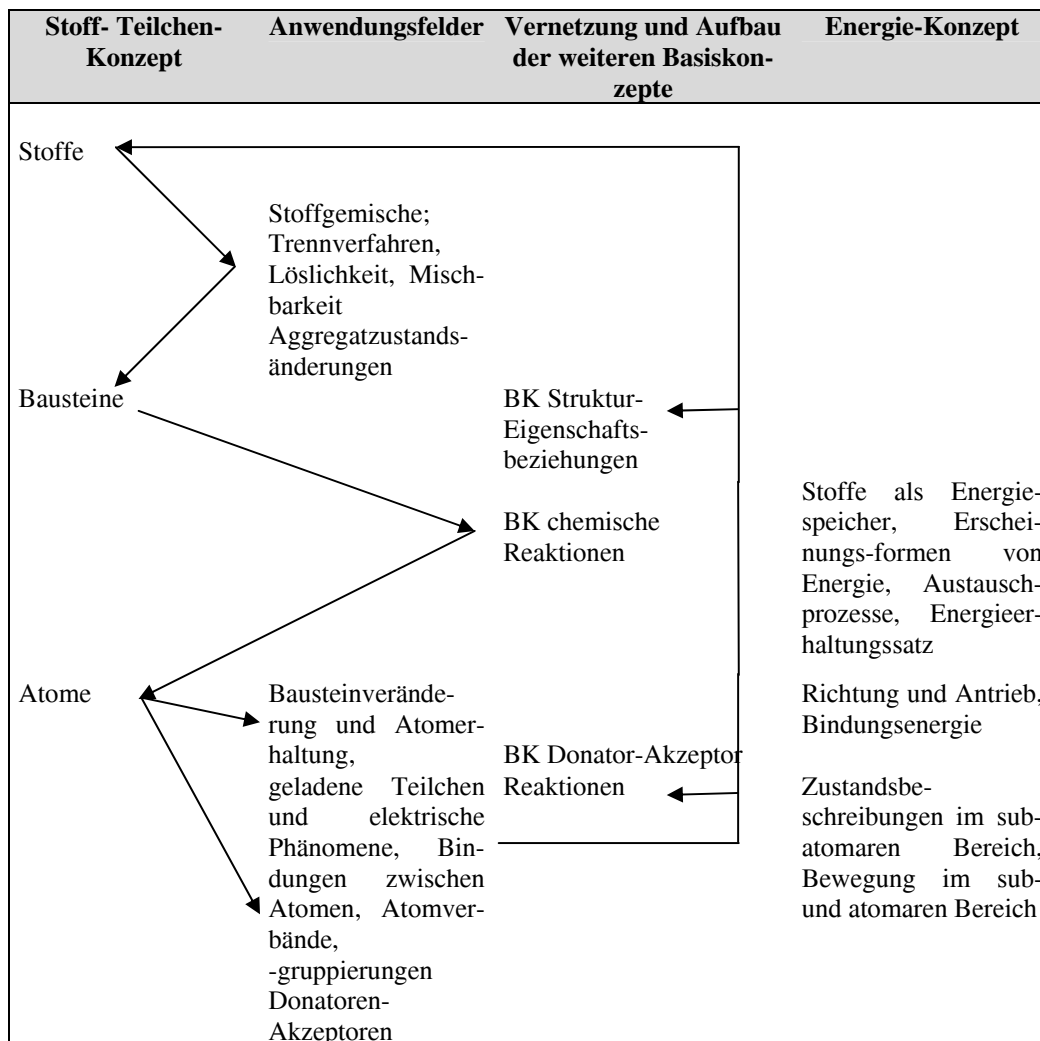


Abb. 4.6: Die Vernetzung der Basiskonzepte

Nach diesem Ausblick, der die Ausbau- und Anschlussfähigkeit des Basiskonzepts verdeutlichen soll, richtet sich der Fokus wieder auf die Einführung desselben: auf diesem inhaltlichen Fundament gilt es, unterrichtspraktische Konsequenzen zu ziehen, die so genannten Schlüsselemente zu entwickeln.

5. Die Didaktische Strukturierung: Entwicklung von Schlüsselementen für den Unterricht

Auf Basis der bisherigen Arbeitsschritte werden in den folgenden Teilkapiteln konkrete Unterrichtselemente entwickelt. Diese sind gerichtet auf

- den Anfangsunterricht mit der Einführung eines einfachen Diskontinuummodells
- die Einführung in die Phänomenologie chemischer Reaktionen und deren anschließende Deutung mit Hilfe des Atommodells.

Für diesen Entwicklungsschritt sind weitere theoriegeleitete, didaktische Entscheidungen notwendig, die nach der Darstellung von MEYER & JANK andere Strukturausschnitte der Unterrichtswirklichkeit betreffen (vgl. Kap. 4: S. 74).

Ein Unterricht, der sich an den Schülervorstellungen ausrichtet und zum Ziel hat, einen reflektierten Umgang mit Lebenswelt- und wissenschaftlichen Vorstellungen zu fördern, muss die Strategien zur Förderung von Conceptual Growth oder Conceptual Change berücksichtigen. In diesem Teil der Arbeit werden didaktisch-methodische Anregungen analysiert und aufgenommen, die der Planung der weiteren Strukturkomponenten dienen.

5.1. Strategien zur Förderung von Conceptual Change

„...Außerdem wurde untersucht, wie sich [...] Vorstellungen verändern. Dabei zeigte sich, daß der naturwissenschaftliche Unterricht es in der Regel nicht leistet, Schülerinnen und Schüler mit seinen Prinzipien und Grundbegriffen vertraut zu machen. Es entwickelten sich verschiedene Ansätze zur Überwindung der Schwierigkeiten. Dabei hat sich insbesondere die konstruktivistische Position bewährt. Der Lerner muß sein naturwissenschaftliches Wissen auf Basis von vorhandenen Vorstellungen gewissermaßen selbst konstruieren. Die vorhandenen Vorstellungen bestimmen des Konstruktionsprozeß sehr tiefgehend.“ (DUIT, RHÖNECK v. 1996, 7f)

Trotz einer Vielzahl von Forschungsanstrengungen (>8400 Publikationen, vgl. DUIT, PFUNDT 2009) hat die Beschäftigung mit alternativen Vorstellungen lange sehr wenig Eingang in die Ausbildungs- und Unterrichtspraxis des Chemieunterrichts gefunden, erst in den letzten Jahren hat es in der fachdidaktischen Literatur wieder mehr Bemühungen gegeben (z.B. SCHMIDT et al. 2003, PÜTTSCHEIDER et al. 2008, BARKE 2006). Tatsächlich sind empirische Kenntnisse darüber, in welcher Art und Weise Vorstellungen, die oftmals nicht konform sind mit fachlichen Erklärungskonzepten, effektiv in Lernprozesse eingebunden werden können, überwiegend auf Labor- oder Einzelfallstudien zurückzuführen. Diese Fragestellung stellt somit für die hiesige Unterrichtspraxis nach wie vor eine Herausforderung dar.

Veränderungen von Schülervorstellungen werden mit Hilfe von Theorien über *Konzeptwechsel*, wörtlich dem *Conceptual Change* beschrieben und untersucht. Die populärsten konkreten Unterrichtsversuche und die dahinter stehende Theorie über Strategien zum Conceptual Change beziehen sich auf einen klassischen Ansatz von POSNER & STRIKE et al. (1982) (z.B. das CLiS Projekt, der MaM Kurs, siehe weiter). Daneben existieren Vorschläge zur Förderung von Con-

ceptual Change, die entweder in umfassenderen lerntheoretisch begründeten Projekten eingebettet sind, wie die auf der Basis des situierten Lernens und der Kontextorientierung (vgl. STARK 2002) oder aber solche, die ganz spezielle Aspekte z.B. das Lernen mit Analogien oder mit Computerunterstützung (HÄUßLER et al. 1998) fokussieren. Da *Chemie im Kontext* ein Projekt ist, mit welchem neben der Förderung von Konzeptveränderungen viele weitere Aspekte der Optimierung von Lernangeboten (Interessiertheit, Motivation, u.v.m.) verbunden sind, ordnet sich auch der Ansatz über diese klassischen Ansätze von revolutionärer oder evolutionärer Vorgehensweise hinaus umfassender theoretisch ein (vgl. Grundlagenartikel z.B. PARCHMANN et al. 2000, PARCHMANN et al. 2001).

Die Tradition des Conceptual Change

Mit der Sichtweise von Lernen als Vorstellungs- und Konzeptwechsel beschäftigt sich das Forschungsfeld des Conceptual Change: Der Begriff legt einen Konzeptwechsel im Sinne eines Austauschs des vorunterrichtlichen Konzepts hin zum fachwissenschaftlichen nahe, versteht sich aber zeitgemäß so, dass Lernen ein Wechsel der Situationen ist, *in denen das Alte nicht mehr angemessen und das Neue als fruchtbarer angesehen wird*. Ziel ist also die Förderung der *Kompetenz*, situativ zu entscheiden, welche Vorstellung und Konzepte für ein erfolgreiches Handeln (z.B. Beurteilen, Erklären, Entscheidungen treffen) am besten geeignet sind, die *Kompetenz*, zu urteilen, dass in bestimmten Situationen die Alltagskonzepte keine ausreichende Orientierung mehr bieten und dass wissenschaftliche Modelle herangezogen werden müssen (vgl. z.B. KATTMANN et al. 1997).

Konzeptwechsel wurde zunächst als ein vorwiegend rational gesteuerter, *kalter* Prozess angesehen. Die klassische Theorie über die Strategie des Conceptual Change wurde von POSNER, STRIKE, HEWSON und GERZOG (1982) aufgestellt und gilt als paradigmatisch für dieses Forschungsfeld. Es lässt sich verstehen im Sinne des PIAGETSchen Modells von Lernen (Assimilations- und Akkomodationsmodell) und hält folgende vier Bedingungen für zentral:

- Man muss über bereits vorhandene Vorstellungen unzufrieden sein (dissatisfy)
- Die neue Vorstellung muss logisch verständlich sein (intelligible)
- Sie muss einleuchtend sein (pausable)
- Sie muss fruchtbar sein, sich in neuen Situation als erfolgreich erweisen (fruitful)

PIAGET spricht im Vergleich dazu von *Assimilation*, wenn die Diskrepanz zwischen einer neuen (wissenschaftlichen) Vorstellung nicht sehr groß ist und eine Vernetzung mit bereits vorhandenen Wissensselementen konfliktfrei möglich ist. In der *Akkomodation* sieht er dagegen einen Lernprozess der radikalen Umstrukturierung eines Wissensselements, die notwendig wird, wenn Vorstellungen im Widerspruch zueinander stehen. Deutlich wird, dass die Bedingungen, die POSNER & STRIKE formulieren, auf die fundamentale Veränderung von Vorstellungen ausgerichtet sind, sie spielen damit eine immer noch populäre Meinung wider, dass die alternativen Konzepte zu wenig mit den naturwissenschaftlichen in Diskrepanz stehen, als dass sie weiterhin Bestand haben dürften.

Ursprünge der Theorie liegen in wissenschaftstheoretischen Ansätzen zum Paradigmenwechsel (KUHN, LAKATOS). Auf didaktischer Ebene findet man daher auch *man as scientist* - bzw. *pupil as scientist* - Analogien (vgl. DUIT 1996, HÄUßLER et al. 1998). Auf diesem Modell aufbauend lassen sich die so genannten kognitivistischen Modelle zum Conceptual Change verstehen, wie sie beispielsweise von VOSNIADOU auf Theorieebene beschrieben werden: die Veränderung und das veränderte Nutzen mentaler Modelle (vgl. VOSNIADOU 1994, 1998, 1999, Kap. 3.2).

POSNER & STRIKE haben diese *kalte kognitive Theorie* mit dem Weg zur *conceptual ecology* als Zielzustand des Lernprozesses 1992 selbst einer radikalen Kritik unterworfen. Sie akzentuieren, dass eine Reihe weiterer Faktoren in Betracht gezogen werden müssen, um die Vorstellungsökologie der Schüler zu beschreiben (vgl. z.B. HÄUßLER, 1998, SCHNOTZ 2001).

Diverse Kritiken (vgl. z.B. STARK 2002) führten dazu, dass es mittlerweile viele Facetten der Spielweise des Conceptual Change gibt, gemeinsam ist ihnen, dass sie weitere, für das Lernen als Konzeptveränderung bedeutsame Faktoren beleuchten. Studien zeigten beispielsweise, dass rationale Aspekte stark mit affektiven Randbedingungen verwoben sind. Inzwischen wird Konzeptwechsel aufgefasst als Lernprozess, in dem kognitive Aktionen mit dem affektiv- motivationalen Zustand des Lerners verknüpft sind. So entwickelte PINTRICH (1993) ein Modellverständnis, das motivationale und situative Elemente berücksichtigt (Aufgabenstrukturen, Klassenraummanagement); sie wurden aufgefeilt in der Teildisziplin des Intentional Conceptual Change (vgl. SCHNOTZ 2001, CARRETERO 1999).

Für die angestrebte Kompetenz des Wechsels der Betrachtungsperspektive bedeutet dies also die Schaffung von geeigneten Kontextualisierungen, in der dieses Wechselspiel eingeführt, angewendet und geübt wird. Ansätze des Konzeptwechsels im oben genannten Sinne sind i.d.R. eingebettet in die konstruktivistische Sichtweise des Wissenserwerbs. Für das Verständnis dieser Sichtweise vom Lernen als Konzeptwechsel wird das von GERSTERNMAIER & MANDL (1995) moderat-konstruktivistische Verständnis herangezogen: Lernen wird als Prozess der kognitiven Entwicklung gesehen, der von bestimmten vorunterrichtlichen, also in der kognitiven Struktur bereits vorhandenen, Vorstellungen ausgehend zur naturwissenschaftlichen Sichtweise führt – eingebunden in einen sozialen Kontext. Somit beschreibt der Konzeptwechsel einen Lernweg (*learning pathway*, vgl. SCOTT 1992, NIEDDERER & GOLDBERG 1995), der unter anderem die metakonzeptuelle Elemente beinhaltet (vgl. DUIT 1996, WIDODO & DUIT 2004). Vertreter des Forschungsfeldes, die der konstruktivistischen Sichtweise von Lernen nahe stehen, stellen eine Forschungsgruppe dar, die eine starke Vernetzung der Fachdidaktiken - vorrangig in der Naturwissenschaftsdidaktik - mit der Kognitionspsychologie.

Unter den grundlegenden Strategien für die Realisierung eines Conceptual Change unterscheidet DUIT (2000) solche, die revolutionär ausgerichtet sind von solchen, die evolutionär eher einen conceptual growth (vgl. Abb. 5.1) annehmen:

Der erste, revolutionäre Ansatz geht von der Gestaltung eines kognitiven Konflikts, verbunden mit einer Revidierung der alternativen Vorstellung zu Gunsten der fachlichen Erklärungen aus - im kognitivistischen Sinne wie bei POSNER & STRIKE. Dieser *diskontinuierliche* Lernweg ist aus der Erkenntnis heraus entwickelt worden, dass vorunterrichtliche Vorstellungen Barrieren für naturwissenschaftliches Wissen darstellen, es geht um die *grundlegende Revision* dieser Alltagsvorstellungen. Der kognitive Konflikt ist hier ein zentrales Hilfsmittel. Aus der Sicht der Praxis ist anzunehmen, dass nicht jeder thematische Gegenstand zum wirklichen kognitiven Konflikt führt - zudem sollte man von einer einseitigen Ausrichtung aus motivationalen Gründen und aufgrund der Konsequenzen für das Selbstkonzept der Schüler absehen.

Im zweiten, evolutionären Ansatz werden das Aufgreifen alternativer Vorstellungen und deren Verbindung mit anderen Konzepten angenommen. Ziel ist hier nicht der Vorstellungswechsel i.e.S., sondern der reflektierte Umgang mit Vorstellungen dahingehend, dass situationsbezogen sinnvoll entschieden werden kann, welche Erklärungskonzepte als am besten geeignet angesehen werden. Dieser Ansatz der *kontinuierlichen* Lernwege versucht, an Aspekten vorhandener Vorstellungen anzuknüpfen, sie zu erweitern und kleinere Revisionen vorzunehmen. Dieser Weg wird akzeptiert für Inhalte, bei denen die vorunterrichtlichen Vorstellungen nicht konträr oder lernhindernd zu wissenschaftlichen stehen.

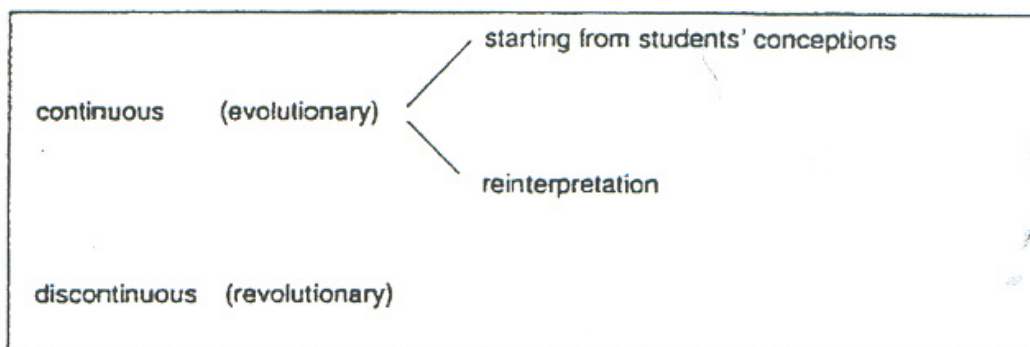


Abb. 5.1: Kontinuierliche und diskontinuierliche Konzeptveränderungen (aus DUIT, 2000)

Uneins ist man über die Tragweite des kontinuierlichen Lernweges (vgl. DUIT 1999, NIEDDERER 1996, SCHWEDES 2001, SCOTT 1992).

Beim kontinuierlichen Weg spricht man oft von Conceptual Growth, der Begriff Conceptual Change bezieht sich in der Literatur aber nicht immer zwangsläufig auf den diskontinuierlichen Weg. Weitere Begriffspaare sind *enrichment* versus *conceptual change* (CAREY 1991) sowie *weak* versus *radical reconstruction*; VOSNIADOU (1994) unterscheidet *enrichment* vs. *revision*; erkenntnis- und wissenschaftstheoretisch begründet findet man *Evolution* vs. *Revolution*. DUIT (1996) verweist darauf, dass über Analogien auch ein Weg möglich ist, der Alltagsvorstellungen komplett umgeht und daher weder diskontinuierlich noch kontinuierlich ist.

Aus der Kritik beider Wege lässt sich schließen, dass gerade bereichs- und themenspezifisch entschieden werden muss, welche Variante für die *Sache* geeignet ist. Sinnvoll scheint es, den Begriff des Konzeptwechsels ohne seine wörtliche Übersetzung neutral zu verstehen und offen zu halten sowohl für vorgeschlagene Wege und Lehr-Lernstrategien aus dem Lager des *conceptual growths* als auch des kalten *conceptual change*.

Die in Kapitel 3 gemachten Ausführungen über das Forschungsfeld zur Herkunft und Verursachung von alternativen Vorstellungen und Hybridvorstellungen münden (noch) nicht in einer etablierten Theorie zum Prozess des Conceptual Change. Sie sind im Ergebnis eher eine Beschreibung und teilweisen Erklärung über Widerstände gegen Konzeptwechsel bzw. Erklärungen zur Stabilität von Konzepten, Beliefs und subjektiven Theorien auf kognitionspsychologischer Ebene. Lehr-Lernverfahren sind aus ihnen nicht direkt zu schließen (vgl. VOSNIADOU 1998, SCHNOTZ 1999, STARK 2002, SÄLJÖ R. 1999). VOSNIADOU sieht darin den wesentlichen Forschungsauftrag der zukünftigen Conceptual Change Forschung und ihren Ertrag für die Curriculumsentwicklung und Unterrichtspraxis.

Der Forschungsansatz des Conceptual Change bietet dennoch Annahmen über förderliche Bedingungen im Prozess des Conceptual Growth bzw. Changes. Trotz grundsätzlicher Unterschiede, die u.a. durch wissenschaftliche und –theoretische Traditionen bedingt sind, sind die Leitlinien für die Gestaltung von Lernangeboten nur wenig verschieden. Im Folgenden sollen exemplarisch der Ansatz von VOSNIADOU und der der Bremer Physikdidaktischen Forschung NIEDDERERS skizziert werden, um die Gewinnung von Bedingungsfaktoren zu beschreiben: Sie verfassen dabei keine grundsätzlichen Lehr-Lern-Verfahren, sondern modellieren kognitive Schritte des Lernens. Durch die qualitative Einsicht in die Ergebnisse der Konzeptentwicklungen leiten sie induktiv Schlüsse über die Bedingungen erfolgreichen Lernens als Konzeptveränderung her. Grundsätzlich teilt sich die Forschung des Conceptual Change auch in eine solche, die grundlagentheoretisch forscht und eine weitere, die anwendungsorientiert den Prozess der Konzeptentwicklung in seinem authentischen Bedingungsgefüge untersucht. Erstere untersucht Fragen wie beispielsweise: Wie entwickelt sich kindliches Lernen in den Naturwissenschaften in der Weise,

dass der Erkenntnisstand den Status einer Theorie erreicht?“ „In wie weit ist Lernen domänen-spezifisch?“ Letztere beschreibt an exemplarischen Inhaltsausschnitten, welche Konzepte in Abhängigkeit von Expertise und Instruktion vorliegen: „Welche Konzepte sind schwer zu verändern, welche leicht? Welche Ursachen könnten zugrunde liegen? Welche Konzepte verändern sich, wenn assoziierte Lernangebote gegeben werden? Welche Bedeutung hat metakognitives Bewusstsein für die jeweilige Konzeptveränderung (WANDERSEE et al. 1993, SCHNOTZ et al. 1999)?

Letztgenannte Teildisziplin soll näher dargestellt werden, weil hier eine für das Vorhaben vorteilhafte Konkretheit vorliegt.

Ansatz der Veränderung mentaler Modelle (z.B. VOSNIADOU & BREWER et al.)

Strukturelle Grundlage der Theorie *mentaler Modelle* (z.B. JOHNSON-LIARD 1983, GENTNER 1983 nach VOSNIADOU et al. 1992) ist, dass Menschen interne Modelle der äußeren und inneren Realität generieren. Dabei werden die internen Modelle nicht als solche im Gedächtnis gespeichert oder abgelegt, sondern sie werden situationsbedingt und kontextspezifisch jeweils neu konstruiert (nach SCHWEDES 1996).

Ein mentales Modell stimmt in seinen strukturellen Merkmalen mehr oder weniger gut mit einem Original überein. Es kommt bei ihm vor allem auf die *Funktion* an, die es für das Individuum erfüllen soll, also auf seine Brauchbarkeit bzw. Viabilität. Mentale Modelle ermöglichen es, in der Lebenswelt zu *agieren*, d.h. Phänomene zu verstehen, Vorhersagen zu machen, Entscheidungen über Handlungen zu treffen und Ereignisse *stellvertretend zu erfahren* (VOSNIADOU 1998). Mentale Modelle können nicht nur Zustände, Gegebenheiten, sondern auch Prozessabläufe repräsentieren. Dies bedeutet, mentale Modelle können dynamische Prozesse vor dem geistigen Auge simulieren, diese können dann interpretiert werden und aus ihnen können Schlussfolgerungen für das weitere Handeln gezogen werden. Mentale Modelle sind sich natürlich entwickelnde Modelle. Aufgrund weiterer Interaktion mit dem Realitätsausschnitt wird das mentale Modell modifiziert, um zweckgebunden für den Konstrukteur jeweils aktuell brauchbar zu sein.

Conceptual development geht nach VOSNIADOU von einem *initial mental model* aus. Dies ist eingebunden in ein *mentales Netz* aus Überzeugungen, epistemologischen und ontologischen Theorien (einer sog. *framework theory*, *Rahmentheorie*; vgl. VOSNIADOU et al. 1992, 1994). VOSNIADOU diskutierte die Frage, ob das konzeptionelle Wissen der Kinder aus fragmentierten unzusammenhängenden Einzelteilen bestehe, die erst mit zunehmendem Alter als kognitive Entwicklung zu einer kohärenten Theorie verbunden werden (vgl. SOLOMON 1983) oder ob Kinder bereits im frühen Alter in sich geschlossene mentale Theorien entwickeln, die nach und nach umstrukturiert werden. Die von VOSNIADOU & BREWER (1992) vertretene Ansicht, ist, dass es sich um in sich konsistente, mentale Modelle handelt, die als geschlossene Elemente bearbeitet werden.

Conceptual Change unterteilt sich in den *spontaneous change* und dem *instructional-based change*. Ersterer geht nicht nachweislich von Instruktion, stattdessen auf die frameworkabhängige Interpretation des Lernens auf Begegnungen desselben mit seiner Umwelt zurück. In diesem Zusammenhang sind Konzeptveränderungen zum Konzept *Force* intensiv von NUSSBAUM & NOVAK, IONNIDES & BREWER ET AL. (vgl. VOSNIADOU 1999) untersucht worden. Dabei zeigte sich, dass Kinder altersabhängig ein Initialmodell z.B. über eine Körpern bzw. Objekten innewohnende Kraft verwerfen und ein anderes - in diesem Fall ein Übertragungskonzept - entwickeln. Interessant ist, dass sowohl das Konzept einer internen Kraft, als auch ein Übertragungskonzept im Sinne von *Geben - Nehmen* (vgl. Kap. 3.3.1) auch im Stoff-Teilchen-Konzept auftaucht, was auch die Wirksamkeit zugrunde liegender Frameworks spricht, über die Abfolge, d.h. den Tausch der angewendeten Kategorien kann in dieser Thematik noch nichts gesagt werden.

VOSNIADOU & BREWER (1992) zeigten zum *Konzept über die Erde und das Sonnensystem*, dass einige initiale Modelle resistent gegenüber Conceptual Development sind, andere spontanen Veränderungen unterliegen. Details sind hier nicht von Belang, da sie einen völlig anderen Inhaltsaufschnitt betreffen. Allerdings ist es von besonderer Bedeutung herauszufinden, welche der

5. Schlüsselemente für den Unterricht

in Kap. 3 aufgezeigten Konzepte besondere Stabilität aufweisen und damit für Konzeptentwicklung schwerlich kognitive Startpunkte sein können.

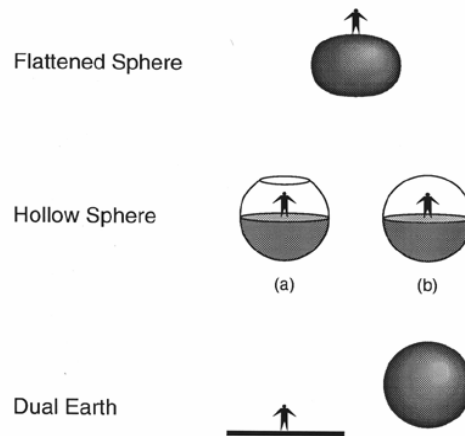


Abb.5.2: Durch Instruktion generierte Hybridkonzepte über den Bau der Erde, <http://www.psych.uiuc.edu/~wbrewer/earth.html> gesichtet 11.07.2009

Verändern sich Initialkonzepte durch Lernangebote (*instructionally-based changes*), so tun sie dies nicht zwangsläufig in der Art und Weise, wie intendiert. VOSNIADOU & BREWER zeigten mehrere *synthetische Modelle oder Hybridmodelle* über das kindliche Konzept über die Erde auf, in denen auf kreative Weise Elemente des Lernangebots mit Elementen des Initialkonzepts vermischt wurden. Dies geschieht mit dem Ziel, für die jeweilige Problemlösesituation einen inneren Widerspruch zu beheben.

Wichtig für die beiden Möglichkeiten des Conceptual Developments ist, dass der Übergang ein langsamer, gradueller, schrittweiser ist. Die Frage nach einer bestimmten Schrittfolge in der Entwicklung ist nicht kohärent geklärt. Beginnend mit Untersuchungen NUSSBAUMS & NOVICKS (1981, 1985) wurde für das kindliche Konzept der Erde ein Stufenmodell vorgeschlagen, das später von VOSNIADOU & BREWER noch erweitert wurde. Es lies sich aber keine festgelegte Entwicklungsreihe der Vorstellungen ermitteln, die alle Kinder in derselben Reihenfolge durchlaufen würden. Während es für Beispiele aus der Astronomie aber durchaus häufige Abfolgen von Initial- und Synthetischen Konzepten hin zum fachlich akzeptierten Modell zu geben scheint, ist dies empirisch nicht verallgemeinerbar. (z.B. für Beispiele aus der Mechanik) (SOMMER 2002, SEEL 2003). Sind Schrittfolgen erkennbar, spricht man von bei den Hybridkonzepten von Übergangskonzepten.

Ist auch eine stringente Stufung nicht erkennbar, so lassen für die graduelle Veränderung des kognitiven Netzes hin zu akzeptierten *mental Models* aufgrund der qualitativen Detailfülle zu verschiedenen Inhaltsausschnitten zwei verallgemeinerbare elementare Dinge fordern.

„Instructional interventions need to be designed to make a) students aware of their implicit representations, as well as of the beliefs and presuppositions that constrain them, and b) provide meaningful experiences to motivate students to understand the limitations of their explanations and be motivated to change them.“ (VOSNIADOU 1998, 1223-4)

Hier werden zwei wesentliche didaktische Leitlinien gefordert, die auch aus anderen lernpsychologischen und didaktischen Ansätzen bekannt sind. Grundlegend ist aber, dass den Übergangsvorstellungen oder alternativen synthetischen Modellen eine konstruktive Rolle für das Lernen zugeschrieben wird.

Im Bereich der Theoriebildung des *conceptual developments* ist die empirische physikdidaktische Lernprozessforschung u.a. mit NIEDDERER & GOLDBERG, SCHECKER, SCHWEDES, AUFSCHNAITER, LICHTFELDT seit langem sehr aktiv. Die Ansätze unterscheiden sich im (wissenschafts-)theoretischen Verständnis z.T. deutlich. Die Studien NIEDDERERS sind darauf ausgerichtet

„die Lernprozesse im realen Unterricht kontinuierlich zu verfolgen und zu versuchen, die Ergebnisse mit Blick auf die Veränderung kognitiver Strukturen zu analysieren.“ (NIEDDERER 1996, 120)

Sie sind deshalb von besonderem Interesse. Lernprozesse basieren auch nach NIEDDERER zum einen auf *aktuellen Konstruktionen* der Schüler im laufenden Unterricht, die zum *Lernen* führen können, aber nicht müssen; Zum anderen basieren sie auf *stabilen kognitiven Zuständen*. *Lernwege*³⁵ betreffen beide Komponenten des kognitiven Systems, bestehend aus aktuellen Konstruktionen und stabilen kognitiven Elementen. Sie sind Veränderungen der *Eigenschaften* von kognitiven Strukturen. Lernen kann sich aber nicht nur auf die Veränderung bestehender kognitiver Zustände beziehen, auch die Erzeugung neuer Zustände muss möglich sein. Lernen an und mit alternativen Vorstellungen bezieht sich allerdings vornehmlich auf die Veränderung bestehender kognitiver Zustände.

„Wichtige Aspekte [für die kognitive Beschreibung von Lernen] betreffen den Nachweis von Zwischenzuständen. Sie sind wesentlich beeinflusst durch die Selbstentwicklung des kognitiven Systems der Schüler, eine veränderte Sichtweise des kognitiven Zustands von Schülern am Ende eines Lernprozesses und die Differenzierung von *Conceptual Change* in Richtung auf Lernen als Bildung neuer kognitiver Strukturen einerseits und Lernen als Veränderung der Eigenschaften von bereits vorhandenen oder neu gebildeten kognitiven Systemen andererseits.“ (ebd., 119)

Von besonderer Bedeutung für die Beeinflussung eines kognitiven Zustands postulieren NIEDDERER et al. *effektive kognitive Konstruktionselemente*, anzusehen als metakognitive Werkzeuge, die den Übergang von einem kognitiven Zustand in einen veränderten bewirken. Diese sind derzeit (2009) nicht erkannt und zeichnen eine hermeneutische Perspektive in der Forschung auf: Diese seien nicht unbedingt domänenspezifisch, eine naturwissenschaftsdidaktische Lernprozessforschung könnte bei der Analyse dieser Grundlagenforschung menschlichen Lernens Pionierarbeit leisten.

Wichtig ist bei der Intention der Forschung, dass auch hier vergleichbar mit VODSNIADOU *Wege der Veränderung* kognitiver Zustände erfasst werden: Beginnend mit einer Anfangsvorstellung und ihrer konzeptuellen Verknüpfung (kognitiver Zustand 1, *Initial Conception*) hin zu einer Zielvorstellung und ihrer konzeptuellen Eingebundenheit (kognitiver Zielzustand, *Target Conception*) werden im Lernprozess verschiedene *Zwischenvorstellungen*, die auch Misch-, Übergangsvorstellung genannt werden, sowie nach intermediären Verknüpfungen dieser gesucht. Beispiele werden für die Physik (z.B. über den elektrischen Stromkreis) gegeben (NIEDDERER 2001).

Damit liegen die Modelle NIEDDERERS und VOSNIADOUS theoretisch sehr nah beieinander. Wichtig ist, dass dabei keine Abkehr vom Initialzustand gemeint ist, sondern ein neues Verständnis, das den Endzustand beschreibt mit einem nebeneinander Bestehen verschiedener kognitiver Strukturen. Der Begriff der *Schichtung* von kognitiven Strukturen tritt hierfür auf, in Zusammenhang mit der einer Statusbelegung (vgl. SCHNOTZ 1996, HEWSON & HEWSEN, in DUIT 1995). Eine Schülerin ist beim kognitiven Endzustand sowohl in der Lage, ihrem Alltagverständnis nach Gase als kontinuierliche Materie zu beschreiben, als auch das Teilchenmodell anzuwenden. Von der ersten Schichtung des Kontinuums wird im Zuge eines Fachgesprächs eine Aufschichtung zum Teilchenmodell vorgenommen, da dies im Hinblick auf den fachlich versierteren Gesprächspartner angemessen erscheint. Zum Prozess des *Umschichtens* gehören nach NIEDDE-

³⁵ *Learning pathways*; der Begriff geht auf SCOTT et al. 1992 zurück (vgl. DUIT 1995).

5. Schlüsselemente für den Unterricht

RER Zwischenschichten mit Übergangszuständen. NIEDDERERS Verständnis nach seien für erfolgreiches Lernen bestimmte Abfolgen von Übergangszuständen hilfreich, entsprechende Lernangebote zielen auf die Erzeugung, Artikulation, Reflexion und Erweiterung ab.

Interessant für die Gestaltung von Lernangeboten sind die Prozesse, die bei Schülern zu nicht geplanten und nicht gewünschten kognitiven Endzuständen, oder zu vorläufig stabilen Zuständen führen - nicht umsonst ist der Begriff *Fehlvorstellung* lange etabliert gewesen. Er wird innerhalb dieses Ansatzes als Hybridzustand bezeichnet – was dem VOSNIADOUSchen Ansatz entspricht. Im NIEDDERERSchen Ansatz sind die intermediären Konzepte so genannte *stepping stones* zum *target*-Konzept. Daneben ist für NIEDDERER die Suche nach *core concepts*, die zur Synthese der Hybridkonzepte verwendet werden, eine wichtige Forschungsaufgabe – zu verstehen als kognitive Werkzeuge. Darin kann eine Parallele zur Suche der Rahmentheoriemerkmale VOSNIADOUS gesehen werden.

Aufgrund der Analyse der physikdidaktischen Lernprozessforschung und seinen empirischen Ergebnissen formuliert NIEDDERER

„... eine generelle Hypothese: Es gibt themenspezifische ausgezeichnete Zwischenvorstellungen (intermediale conceptions) die von Schülern oder Studenten beim Lernen häufig unabhängig von dem speziellen Unterrichtskonzept entwickelt werden. Man könnte sie als Attraktoren der kognitiven Entwicklung ansehen.“ (NIEDDERER 1996, 131)

Alternative, den wissenschaftlichen Konzepten widersprechende Schülervorstellungen erhalten so eine wesentlich konstruktivere Bedeutung als schlichtweg falsch zu sein. WITTMANN hat in einer Studie zur Quantenphysik die Teilchenvorstellung (Teilchen im Sinne des Teils eines Ganzen) als *kognitive Attraktor* vorgeschlagen (vgl. WITTMANN 2001). Kognitive Attraktoren sind demnach Mittel um Zwischenzustände zu beschreiben, die besonders häufig vorkommen; sie sind streng genommen ein direkter Beleg für die Gesetzmäßigkeiten der Selbstentwicklung des kognitiven Systems [im Physikunterricht].

Lernwirkungen in bezug auf gemachte Unterrichtsangebote sind meist themenspezifisch, Wirkungen von Lernumgebungen auf Lernprozesse werden mit dem VON GLASERSFELD (1992) eingeführten Begriff der *Resonanz* beschrieben. Er sprach von einem angezupften Geigenton (Input des Unterrichts), der dann im Raum eine Resonanz erzeugen kann, wenn Raum und Ton zueinander passen (der physikalische Resonanzbegriff ist hier wenig von Belang). Bei der Wirkung von Lernangeboten ist zuallererst zwischen positiver Resonanz und keiner Resonanz zu unterscheiden, Lernangebote werden aufgegriffen oder nicht. Unterschieden wird bei positiver Resonanz zwischen *übereinstimmender* und *nicht-übereinstimmender* Resonanz, was bedeutet, dass die Elemente im Sinne des Anbieters (d.h. in diesen Zusammenhang im Sinne des wissenschaftlichen Konzepts oder auch einer Analogie zu dieser mit allen Merkmalen und ihrem Gültigkeitsbereich) oder nicht sind. Hybridkonzepte, in denen Modelle erweitert und reduziert werden, sind Modelle *nicht-übereinstimmender Resonanz*. In Physikstudien NIEDDERERS wird deutlich, dass es kognitive Zwischenzustände gibt, die unabhängig vom Lernangebot auftauchen (kognitive Attraktoren) und die vom Lehrer gar nicht intendiert wurden (nicht übereinstimmende oder (anscheinend) resonanzfreie Konzepte).

Ergänzend zu diesen lernprozessorientierten Ansätzen existieren eher konzeptionell arbeitende fachdidaktische Forschungsfelder. Sie bieten aus „einer anderen Richtung kommend“ unterrichtspraktische Beiträge zum Conceptual Change. Sie geben weniger auf der kognitivpsychologischen Ebene, sondern auf der Ebene der Fachdidaktik Vorschläge zur Gestaltung von Lernangeboten.

Unterrichtverfahren, die die Kompetenz des Konzeptwechsels fördern können

Mittlerweile sind diverse Lehrgänge veröffentlicht worden, die teils an die Vermittlung eines bestimmten Sachverhalts gebunden sind; die aber teils auch abstrahierend strategische Aussagen über Lernen als Konzeptwechsel machen. GUZZETTI et al. (in DUIT 1995, 917f) haben in einer

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Reanalyse verschiedene Lehrverfahren und Strategien zur Konzeptveränderung untersucht und kommen zum Schluss, dass solche wirksam sind, die ein systematisches Aufeinanderbeziehen von alternativen und fachlichen Vorstellungen (in Abhängigkeit von der Problemsituation) verwirklichen.

Darüber hinausgehende, inhaltsunabhängige Ansätze sind immer eingebettet in grundsätzliche lerntheoretische Innovationen (z.B. Ansätze zum *situated learning*).

„Die neuen Unterrichtsansätze, die sich bemühen, Schülervorstellungen ernsthaft zu berücksichtigen, sind häufig in umfassende Reformprojekte zum naturwissenschaftlichen Unterricht eingliedert, [...] die den engen Fachrahmen verlassen also auch die Bedeutung der Naturwissenschaften in Umwelt, Technik und Gesellschaft berücksichtigen und die offener Form des Unterrichts dem traditionellen vorziehen. Dies soll dazu beitragen, den Unterricht so gestalten, dass er von den Schülerinnen und Schüler als sie betreffend empfunden wird, dass sie ihn als lernwert ansehen.[...]“ (HÄUßLER et al. 1998, 199)

In Kurzdarstellung werden zuerst drei Projekte skizziert, die einerseits zum eigenen Vorhaben passen (Perspektivwechsel im Basiskonzept Stoffe – Teilchen), die andererseits explizit den Konzeptwechsel fokussieren.

Das NOVICK NUSSBAUM Projekt (1981) (1985) (vgl. auch MÜLLER et al. o.A, HÄUSLER 1998)
Das Projekt wurde entwickelt zur Erarbeitung der Teilchenstruktur von Gasen. Die Unterrichtseinheit umfasst 10 Stunden. Sie gliedert sich:

Phase	Titel	Inhalt
Phase 1	<i>Exposing event</i>	Gedankenexperiment, das die Vorstellungen der Schüler hervorlockt (Demonstration von Luft in einem Kolbenprober).
Phase 2	<i>Modelling</i>	gedachte, „magische“ Vergrößerungsgläser fordern zu Modellierung des submikroskopischen Bereichs auf
Phase 3	<i>Discrepant event</i>	Experiment zur Kompression von Luft, Deutung führt vom Kontinuum zum leeren Raum auf diskontinuierlicher Ebene

Tabelle 5.1: Das Nussbaum- Novick- Projekt

Das Projekt ist m.E. eher dem klassischen kalten Verständnis von Conceptual Change zuzuordnen, zumindest ist es kognitivistisch orientiert.

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Das Matter and Molecule Project (MaM), BERGHEIMER et al. (1988) (vgl auch ebd.)

Hierbei handelt es sich um ein großes Gefüge aus Unterrichtsmaterial (für 35 Stunden) und Hintergrundinformationen lernpsychologischer Art. Die Unterrichtsstrategie verläuft nach ANDERSON (1990) in fünf Schritten:

Phase	Titel	Inhalt
Phase 1	<i>Establishing a problem:</i>	Problemaufriss, Motivation
Phase 2	<i>Modelling</i>	Vorstellen der Lösungsansätze der Wissenschaft,
Phase 3	<i>Coaching</i>	Hilfestellungen für die Lösung des Problems von Schülerseite
Phase 4	<i>Fading</i>	Weiterführung von Phase3 mit nachlassender Unterstützung
Phase 5	<i>Maintenance</i>	Übung, Anwendung auf neue Beispiele, Transfer

Tabelle 5.2: Schritte des MaM-Projekts

Das Verständnis von Lernen beruht dabei auf dem konstruktivistischen Modell des *cognitive apprenticeship*. Diese Bezeichnung steht für kognitive Meisterlehre. Apprenticeship meint, dass Lernen der Wechsel der Praxis einer soziokulturellen Struktur in eine andere ist, z.B. von der Alltagspraxis in die Praxis einer Wissenschaftsgemeinschaft. Grundgedanke ist hier, dass der Experte den Weg in die neue Kultur weist. Die Verfahrensschritte sind – wie oben erkennbar:

- a) *Coaching*: Anleiten
- b) *Scaffolding*: Gerüst bauen, das dem Neuling das eigenständige Erklimmen des Gebäudes ermöglicht
- c) *Fading*: Das Leiten durch Experten wird zunehmend zurückgenommen, damit Neuling auf eigenen Füßen stehen kann.

(vgl. HÄUßLER et al. 1998, MÜLLER et al.o.A.)

Das MaM-Projekt ist bemerkenswert detailreich und praxisnah, strategisch ist mit dem *apprenticeship* eine klare Richtung vorgegeben. Als Unterrichtsprogramm ist es aber mit den konzeptuellen Leitlinien von ChiK nicht kompatibel - es ist rein fachsystematisch gegliedert.

Das Children's learning in Science –Project (CLiS), DRIVER & SCOTT (1994)

Das CLiS-Projekt umfasst beispielsweise 10 Doppelstunden zum Thema Teilchenstruktur der Materie, das im Weiteren relevant sein soll. In enger Zusammenarbeit von Forschern und Unterrichtspraktikern wurden auch andere Themen wie Fotosynthese, Radioaktivität ausgearbeitet (vgl. ANDERSON 1990). Das Projekt greift weitere Facetten des Bedingungsgefüges zum Lernen aus konstruktivistischer Perspektive auf: So werden metakonzeptuelle Aspekte aufgenommen (Methoden der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung), es wird methodisch auf Kleingruppenarbeit und eigenständiges Arbeiten gesetzt. Wichtiges Element ist die Rückschau auf das Vorwissen und den eigenen Wissenstand der Schüler.

5. Schlüsselemente für den Unterricht

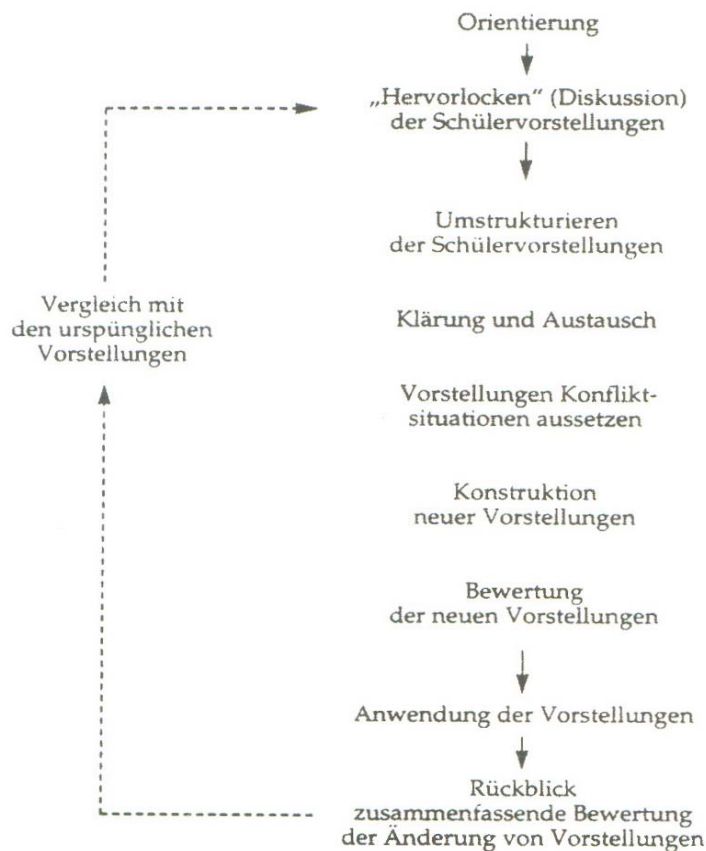


Abb. 5.3: Die Phasen der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie DRIVERS & SCOTTS (nach HÄUßLER et al. 1998, 215)

Konkret besteht der Unterrichtsgang, der in Abbildung 5.3 im Fließschema dargestellt ist, aus der Abfolge der in Abbildung 5.4 wiedergegebenen Phasen.

(A) Orientierung und „Hervorlocken“ der Schülervorstellungen

Das erste Stadium dient dazu, die Schülerinnen und Schüler mit Phänomenen vertraut zu machen, die sich mit dem Teilchenmodell deuten lassen, wie Kompressibilität von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern, Ausbreitung von Parfüm und die unterschiedliche Dichte von verschiedenen Materialien. Sie führen eigenständig eine große Anzahl von Experimenten durch und werden gebeten, ihre Deutungen und Vorstellungen aufzuschreiben. Zu einem Phänomen arbeitet jede Schülergruppe ein Poster aus, das ihre Vorstellungen darstellt.

(B) Zur Natur naturwissenschaftlicher Theorien und Modelle

Um den Schülerinnen und Schülern eine erste Vorstellung vom Modellcharakter der Teilchenvorstellung zu geben, werden einige Spiele durchgeführt. Bei einem geht es darum, die Regel zu erraten, die hinter einer Zahlenfolge steckt, bei einem anderen („murder mystery“) sollen Indizien gesammelt werden, mit denen man in einem vorgegebenen Fall einen Mörder identifizieren kann. Ihre Rolle bei der Untersuchung der Teilcheneigenschaft der Materie sollen die Schülerinnen und Schüler analog zur Arbeit eines Detektivs sehen. Es gilt Indizien zusammenzutragen, die eine Teilchenvorstellung unterstützen.

(C) **Eigenschaften von festen Körpern, Flüssigkeiten und Gasen**

Die in (A) begonnenen Versuche werden nun systematischer angegangen. Eigenschaften der Körper werden zusammengetragen.

(D) **Schülerinnen und Schüler konstruieren ihre Teilchentheorie**

Hier geht es ganz explizit darum, dass die Schülerinnen und Schüler auf der Basis der nunmehr umfangreichen Kenntnisse von Eigenschaften der Körper und Kennzeichen der Phänomene ihre Theorien (basierend auf den gesammelten Indizien) konstruieren.

(E) **Überdenken der eigenen Theorien - auf dem Weg zur physikalischen Teilchenvorstellung**

Die verschiedenen Schülertheorien werden verglichen. Die Lehrerin/der Lehrer führt die physikalische Vorstellung ein und erläutert, inwiefern sie besser zu den gesammelten Indizien passt. Wichtig ist an dieser Stelle, dass die Schülerinnen und Schüler über ihre Theorie nachdenken und sich eventuell bewusst werden, dass sie mit der physikalischen Teilchenvorstellung eine neue Sicht übernommen haben. Häufig wird es hier kognitive Konflikte zwischen den Schülervorstellungen und der physikalischen Vorstellung geben. Die Lehrerin/der Lehrer muss dabei sehr sorgfältig darauf achten, dass die Schülerinnen und Schüler den betreffenden Konflikt auch tatsächlich erkennen.

(F) **Anwendung der physikalischen Teilchenvorstellung**

Hier geht es um die Anwendung der neuen Vorstellung in bekannten (s. die in den vorangegangenen Schritten untersuchten Phänomene) und neuen Situationen. Dabei ist es in der Regel nötig, auf die vorangegangenen Stadien zurückzugreifen, z.B. zu klären, welcher Natur das Teilchenmodell eigentlich ist und wieso die physikalische Erklärung eine bessere Deutung gibt als die bisherige Schülertheorie.

Abb. 5.4: Die konstruktivistische Unterrichtsstrategie für den Weg zum Teilchenmodell (DRIVER & SCOTT 1994, zitiert nach HÄUßLER et al. 1998, 216f).

Das Vorgehen lässt sich m. E. innerhalb eines Unterrichts nach ChiK gut realisieren und kann als Planungsgrundlage behilflich sein. Dabei sollen die Elemente in der Abfolge (z.B. des *coaching*s) und deren Ausführung nicht als festes Korsett verstanden werden, denn die Direktive der Orientierung an Schülervorstellungen ist innerhalb von ChiK nur *eine* Veränderungsvariable; Zugleich ist es möglich, dass andere Innovationen auf den Bedingungen des Konzeptwechsels einwirken. Eine starre Phasierung des Unterrichts nach SCOTT & DRIVER ist aus diesen Gründen nicht sinnvoll.

Beispiele für Unterrichtsgänge ließen sich noch weiter ausführen. Das Lehr-Lernverfahren des *learning cycles* (LAWSON, ABRAHAM, RENNER 1989, STORK 1995) beispielsweise steuert gemäß dem PIAGETSchen Verständnis geradlinig und zügig auf den kognitiven Konflikt hin. Er umfasst drei Phasen: die Exploration führt zum kognitiven Konflikt, es folgt die Konzepteinführung, anschließend die Konzeptanwendung. MIKELSKIS-SEIFFERT stellt ein an Schülervorstellungen orientiertes Unterrichtsprojekt für das Fach Physik vor, das sich als Unterricht über Modelle versteht. (vgl. MIKELSKIS-SEIFFERT 2002). BUCK orientiert sich ebenfalls metakonzeptuell und stellt die Unanschaulichkeit und den Modellcharakter wissenschaftlicher Konzepte in den Vordergrund (vgl. BUCK 1994, 1987). Methodisch verläuft der Unterricht stark über die Methode des Sokratischen Gesprächs. PETERMANN et al. (2008) stellen für das Gesetz von der Erhaltung der Masse eine an der Reflektion von Schülervorstellungen orientierte Unterrichtssequenz vor, die sie als Lehrverfahren verallgemeinern und empirisch untersuchen werden, die wirksamen Elemente sind entweder experimentell, oder ein visuell-modellhaftes Leiten, das im Idealfall kognitive Konflikte auslöst. Auch hier sind die konkreten Maßnahmen für den Unterricht mit den bereits darge-

5. Schlüsselemente für den Unterricht

stellten Unterrichtsprojekten vergleichbar und ähnlich wie bei Chemie im Kontext ein Arrangement aus Aspekten der vorgeschlagenen Vorfahren. DUIT in HÄUBLER (1998), SCHWEDES et al. in DUIT (1996) arbeiten mit Schülervorstellungen über Analogien, die ebenfalls eine Schrittfolge *conceptual developments* annehmen und Analogien als Lernhilfen im Sinne von *stepping stones* wählen.

Die vorgeschlagenen Unterrichtsvorschläge haben gemeinsam, dass

- eine aktive, eigenständige Auseinandersetzung ermöglicht wird,
- das Anknüpfen an die Schülervorstellung ein elementarer Bestandteil ist,
- das Konfrontieren/Analysieren oder Umdeuten eine zentrale Funktion
- für das Einführen der wissenschaftlichen Idee hat: je nachdem, ob ein kontinuierliches Vorgehen oder ein diskontinuierliches praktiziert wird.
- das reflektierte Anwenden inbegriffen ist, das metakonzeptuelle
- Lernen mitbetont wird.

Das Ziel ist demnach, das für den jeweiligen Zusammenhang sinnvolle Modell begründet auswählen zu können: Welches Modell, welche Vorstellung ist zur Beschreibung eines bestimmten Phänomens geeignet? Fast alle Ansätze setzen auf Gruppenarbeit, die für eigenständiges Konstruieren und Rekonstruieren bessere Bedingungen bietet. Ein Merkmal aktiven Umgangs ist sicherlich, dass Raum und Zeit für den Konstruktionsprozess gegeben wird und dass wiederholtes Prüfen auf Tauglichkeit z.B. im Diskurs alternativer Varianten ermöglicht wird. Demnach kommt dem Schritt des Reflektierens von Vorstellungen große Bedeutung zu.

Welche Konsequenzen sollen für die Entwicklung von Unterrichtselementen nach Chemie im Kontext gezogen werden? Chemie im Kontext verschreibt sich keinem der kontinuierlichen als auch diskontinuierlichen Lernstrategien und Ansätze; In Abhängigkeit von der Sachstruktur und den vielfach belegten Vorstellungen wird pragmatische entschieden und versucht, an Schülervorstellungen anzuknüpfen, den Austausch, die Diskussion und Beurteilung dieser anzuregen, ggf. eine Konfrontation mit wissenschaftlichen Konzepten und v.a. die Vernetzung von Schülervorstellung zu erwirken. Dies geschieht mit dem Ziel der Kompetenzförderung, verschiedene Modelle und Vorstellungen – sowohl die lebenswelttauglichen als auch die wissenschaftlichen – in verschiedenen Kontexten anzuwenden und zu beurteilen.

- Die Vorstellungen der Lernenden sollen aktiv in den Unterricht eingebracht und damit auch bewusst werden. Dieses aktive Einbringen gelingt gerade an solchen Beispielen, in denen die Schüler ihre Konzepte ohnehin anwenden, also in alltäglichen Situationen. Die Behandlung abstrakter, alltagsferner Beispiele führt dagegen eher zu einem Ausgrenzen der Schülervorstellungen. (siehe weiter)
- Es sollen *Schlüsselsituationen* geschaffen werden, in denen die Vorstellungen der Schüler den fachwissenschaftlichen Konzepten zum Vergleich gestellt werden. Ziel ist die Reflexion beider Vorstellungen, so dass diese miteinander verbunden werden können und isoliert nicht nebeneinander bestehen bleiben. An diesen Stellen wird, wenn möglich, ein kognitiver Konflikt erzeugt.

Kritische Reflexion

Konzeptwechsel zu intendieren ist ein schwieriges Unternehmen (vgl. DUIT 1996, NIESWANDT 2001). Die meisten Lernenden sind mit ihren vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen durchaus zufrieden - bieten viele von ihnen doch im Alltag ausreichend Orientierung. Die Modelle, die insbesondere vom kognitiven Konflikt ausgehen, haben zu berücksichtigen, dass die gewollte

Unzufriedenheit tatsächlich nur hervorzurufen ist, wenn die Vorteile neuer, wissenschaftlicher Vorstellungen verstanden sind – also der zweite Schritt mit dem Erfolg des ersten Schritts nach POSNER & STRIKE und den abgeleiteten Strategien zugleich vollführt wird. Auch Plausibilität und Verständlichkeit wird erst dann erreicht, wenn die wissenschaftliche Vorstellung völlig durchschaut wird.

“In der Praxis führt dieses Vorgehen [allg. Ansatz des Konzeptwechsels] allerdings oft nicht zu den gewünschten Resultaten. Die bisher verwendeten Alltagskonzepte haben sich oft in der Vielzahl alltäglicher Situationen als brauchbar erwiesen, so dass kein Grund zur Unzufriedenheit besteht.[...] Alltagskonzepte sind deshalb bemerkenswert zählebig. Selbst nach Jahren systematischen Unterrichts stehen Alltagskonzepte und Schulwissen oft unverbunden nebeneinander, und die Alltagskonzepte gelangen in vielen Kontexten zur Anwendung.“ (SCHNOTZ in ROST 2001, 76f)

Dass der Konzeptwechsel nur schwer oder wenig zufrieden stellend gelingt, könnte mitunter darin begründet liegen, dass

- eine Veränderung durch *wenige* Beispiele im Chemieunterricht, einem sehr *speziellen* Lebensausschnitt der Schüler, mit speziellen experimentellen Beispielen, mit speziellen Fragestellungen – erwirkt werden soll.
- diese darüber hinaus oft mit *alltagsfernen Beispielen*, alltagsfernen Stoffen, „exotischen“ Namen, Experimentanordnungen usw. verändert werden sollen.

Dass Schüler die im Unterricht erarbeiteten Erklärungen nicht internalisieren und auch zur Klärung lebensweltlicher Phänomene heranziehen, könnte demnach auch am früheren, fachsystematischen Chemiecurriculum liegen. Chemie im Kontext ist in den Zielsetzungen eine über die Veränderung von Schülervorstellungen weit hinausgehende Unterrichtskonzeption. (Vgl. Kap. 5.3) Die Grundmerkmale von ChiK passen zu den oben angestellten Überlegungen, dass die Veränderung von alternativen Schülerkonzepten in solchen Unterrichtssituationen geschehen sollte, die *authentische, lebensweltliche Fragestellungen* bearbeiten.

Dies passt zu den Ansätzen über situationistische oder kontextualistische Strategien zum Conceptual Change, die bisher ausgeblendet wurden (vgl. STARK 2001 CARAVITA, HALLDÉN 1999, SEEL 2003). Hierfür ist die Theorie des *situated learnings* relevant und ihr wird ein gesonderter Gliederungspunkt gewidmet. Zur Grundlage für die didaktisch-methodische Ausgestaltung des Unterrichts müssen nicht nur durch Strategien und Theorien zum Conceptual Change begründet werden, vielmehr müssen die bisherigen Ausführung verquickt werden mit anderen theoretischen Ausschnittsbereichen, die die theoretische Grundlage der Konzeption Chemie im Kontext bilden und gute Argumente für zu wählende Unterrichtselemente geben, die sich an der Lebenswelt der Schüler orientieren.

5.2. Der Ansatz des Situiereten Lernens

Wie im vorherigen angerissen, lassen sich auch über die eher kognitivistisch ausgerichteten Ansätze zum Konzeptwechsel hinausgehende Lerntheorien finden, die auch eine Basis für einen Unterricht, der sich an Schülervorstellungen ausrichtet, geben können. Chemie im Kontext arbeitet unter dem moderat - pragmatischen Konstruktivismus mit den Ansätzen des Situiereten Lernens, damit werden hier nun die stärker situationistischen Betrachtungen berücksichtigt.

Situated learning fußt auf (radikal, wie auch moderat) konstruktivistischen Lernmodellen. Es wird also hier ein Bogen geschlagen zu Modellen, die unabhängig von der Conceptual Change Disziplin eher der Lernprozessforschung und Ansätzen neuer Entwicklungen in der Lerntheorie

5. Schlüsselemente für den Unterricht

zuzuordnen sind. TAYLOR & FRASER (1991) haben Merkmale konstruktivistischer Lernumgebungen beschrieben. Folgende Kriterien sollen auftauchen:

- *Merkmal Autonomie*: Schüler erhalten Gelegenheit, sinnvoll und selbstbestimmt zu arbeiten und unabhängig vom Lehrer und den anderen Schülern denken.
- *Merkmal Vorwissen*: Unterricht muss ermöglichen, dass Schüler ihr Vorwissen (und ihre Vorstellungen) mit dem neu Erlernten zu verbinden.
- *Merkmal Verhandlung*: der Unterricht bietet Möglichkeiten, dass Lernende interagieren, Bedeutungen aushandeln und Konsens bilden.
- *Merkmal Schülerorientierung*: Schüler erfahren Lernen als Prozess, der es gestattet, persönlich als schwierig empfundene Aufgaben und Probleme individuell zu lösen (nach DUIT 1995, 916).

Bei der Verwirklichung werden authentische Lernumgebungen gefordert (vgl. ROTH 1996). Der Ansatz des Situierens arbeitet mit dem Paradigma, dass Wissensbestände immer kontextgebunden sind, sie sind situiert verankert. Folglich sind sie auch situationsspezifisch aktivierbar. Lernen sei stets in die Situation des Erwerbs eingebettet; Es soll hier nicht um theoretische Detailbetrachtungen über die Tragweite des Konstruktivismus als Lern- (und Wissenschaftstheorie) gehen, um die Unterschiede zwischen radikal-konstruktivistischer Sicht (VON GLASERFELD) und der moderaten Sichtweise für den Wissenserwerb (vgl. GERSTENMAIER & MANDL 1995), sondern pragmatisch um den Nutzen dieses theoretischen Fundaments für die Didaktik und Methodik des Unterrichts. Hier muss unterstrichen werden, dass der Ansatz ermöglicht, dass Lernen heute mehr als früher mit den Bedingungen, in denen Wissen erworben wurde, verknüpft gesehen wird. Für die anspruchsvolle Kompetenz der Anwendung und des Wissenstransfers können wichtige Schlüsse und Prognosen angestellt werden (vgl. DUBS 1995).

GREENO (1993) stellt fest, wenn Wissen situiert sei, dann sei

„die Einübung einer Fertigkeit vor oder unabhängig von ihrer möglichen Anwendung wenig sinnvoll.“ (nach KLAUER 2001, 638)

Vielmehr sei es angebracht, direkt im Anwendungszusammenhang einzuüben. Somit müssen aus Anwendungsfeldern heraus konkrete Lernvorgänge initiiert werden. Weil Anwendungsfelder stets von komplexer Natur seien, soll auch die Lernsituation *komplex* sein. *Sozial* soll sie sein, weil dies motivationale Hilfe biete und kooperatives Lernen fördere, denn Lernen sei ein aktiver sozialer Prozess, so lauten Kernforderungen für die Gestaltung von Lernumgebungen. (vgl. *ebd.*) Wissen wird immer durch das Subjekt – situationsbezogen – konstruiert, Lernsituationen müssen ermöglichen, dass sich der Lerner einen Lerngegenstand aktiv erschließt. Lern- und Anwendungssituation müssen demnach sich decken oder annähern.

Eine starke Integration von lebensweltrelevanten Themen, in denen chemische Kenntnisse genutzt und entwickelt werden, sollte demnach die Anwendbarkeit fachlicher Konzepte deutlich erleichtern. Ebenso sollten sie erleichtern, verankerte Vorstellungen zu aktivieren und an ihnen zu arbeiten. Wissen und Vorkenntnisse müssen von den Schülern aktiv analysiert und reflektiert werden – und dies sollte in verschiedenen Kontexten geschehen.

Der Status erworbener Konzepte misst sich an der *Relevanz für das Individuum*, z.B. an der Tauglichkeit für persönliche Fragen und Probleme. Lernumgebungen des Situierens charakterisieren diese *Authentizität* durch folgende Merkmale:

- Komplexität (reale Probleme sind immer komplex)
- Multiple Perspektiven (sie müssen immer aus verschiedenen Perspektiven bearbeitet und z.B. auch antagonistisch beurteilt werden)
- Kommunikation, sozialer Austausch (geteiltes Wissen wird durch Artikulation und Reflektion intersubjektiv gewonnen) (nach PARCHMANN *et al.* 2000, 2001).

Erwähnenswert ist, dass sich die Forderungen für die Gestaltung von Lernangeboten mit zentralen Forderungen der Motivationsforschung in Einklang bringen lassen (DECI & RYAN 1993 nach PARCHMANN 2000): Motiviertes Lernen wird unterstützt durch ein hohes und positives Autonomie - und auch Kompetenzerfinden, durch Berücksichtigung persönlicher Relevanz und Interessen, durch soziales Eingebunden fühlen - gepaart mit hoher Instruktionsqualität bei Bedarf.

Der übergeordnete Ansatz des Situierens des Lernens gibt gepaart mit den Vorschlägen aus der Conceptual Change Disziplin eine Basis zur Erstellung von Unterrichtselementen; diese Elemente sind zu entwickeln vor dem Hintergrund der Gesamtkonzeption Chemie im Kontext, die im Folgenden dargestellt werden soll.

5.3. Die Konzeption Chemie im Kontext

Motive für die Entwicklung der Konzeption

Kritikpunkte am Chemieunterricht der 90er Jahre wie das mangelnde Interesse der Schüler am Fach, die geringe Motivation, das allenfalls mittelmäßige Leistungsniveau und die geringe Akzeptanz des Faches und der Wissenschaft Chemie wurden vielfach genannt (vgl. PARCHMANN *et al.* 2000).

Die konventionelle Vorgehensweise im Chemieunterricht, im extremen Sinne die reine Akkumulation von Fachwissen (entlang der Fachsystematik) schien demnach nicht sehr erfolgreich zu sein. Fähigkeiten wie kreative Problemlösung und lebenslanges Lernen im Bereich der Naturwissenschaften, der Mathematik und der Technik sind für die Zukunft eines Landes entscheidende Standortfaktoren, und insbesondere die Ergebnisse des ersten PISA Tests (Test aus 2000) des neuen Jahrtausend brache Ernüchterung, zuweilen den „Schock“ über die Effizienz des Deutschen Bildungssystems. Erreicht wurde hierdurch eine umfangreiche Debatte über die Unterrichtswirklichkeit im Allgemeinen, aber auch die der Didaktik im Kleinen.

Lebensweltbezogener Unterricht im Fach Chemie oder in Science hat im angloamerikanischen Raum eine längere Tradition; positive Effekte dortiger Curricula und die Prämissen der deutschen Unterrichtspraxis waren die Grundlage für die in den 90er Jahren begonnene Arbeit an der neuen Konzeption. Im Zuge der umfassenderen Kritik des letzten Jahrzehnts haben die Vertreter der Konzeption *Chemie im Kontext* an der Veränderung des Chemieunterrichts und seinen Bedingungen (Curricula, Standards) maßgeblich mitgewirkt.

Grundlagen der Konzeption

Der Konzeption Chemie im Kontext liegen auch in der Sekundarstufe I drei gleichberechtigte Prinzipien zu Grunde (PARCHMANN *et al.* 2001):



- *Kontexte* als zentrale Unterrichtsinhalte
- Entwicklung von *Basiskonzepten* als grundlegendes, anschlussfähiges Wissensfundament
- methodische Unterrichtsgestaltung nach *Prinzipien aktueller Lerntheorien*

Abb. 5.5a: Die Säulen der Konzeption, Parchmann et al. (2001): 3

Kontexte als zentrale Unterrichtsinhalte

Unter Kontexten verstehen die Vertreter einen übergeordneten, sinngebenden Zusammenhang, dessen Inhalte von Bedeutung für die Lernenden sein sollen und die Notwendigkeit zur Erarbeitung chemischer Kenntnisse für die Schüler offenkundig machen sollen.

Für die Auswahl von Kontexten und die Gestaltung der dazugehörigen Einheiten werden bestimmte Kriterien formuliert:

- Sie müssen möglichst authentische und damit oftmals komplexe Fragestellungen beinhalten;
- sie müssen für die Lernenden eine Relevanz aufweisen;
- sie müssen ermöglichen, dass Schülervorstellungen Eingang finden und dass an diesen angeknüpft werden kann, um neue fachliche Konzepte zu erarbeiten;
- sie müssen Fragen aufwerfen, von denen einige nur mit Hilfe chemischer Kenntnisse zu klären sind;
- sie müssen in der Schule durch möglichst große Eigenaktivität der Lernenden behandelt werden können.

Eine kontextorientierte Unterrichtsgestaltung erfüllt laut Theorie nicht nur motivationale Zwecke, sondern verankert weiterhin Fachkenntnisse in möglichst realen Anwendungssituationen. Ein späterer Transfer auf neue, auch außerschulische Problemstellungen sollte somit erleichtert werden (vgl. MANDL & GRUBER 1997). Weiterhin werden möglichst reale Handlungsfelder aufgezeigt und Entscheidungen diskutiert, zu denen die Wissenschaft Chemie und die chemische Industrie in der Gesellschaft einen Beitrag leisten.

Um Motivation sowie die Situierung von Wissen zu erhalten, dürfen die Kontexte nicht nur als Einstieg oder Verpackung dienen, sondern müssen Leitfaden und Rückgrat des Unterrichts sein. Die Erarbeitung der für ein Kontextverständnis notwendigen Fachinhalte muss sich folglich direkt aus Kontextfragen ergeben und auch wieder zum Kontext zurückführen. Es sollte demnach im Unterricht ein permanentes Wechselspiel aus Kontextaspekten und Fachinhalten umgesetzt werden:

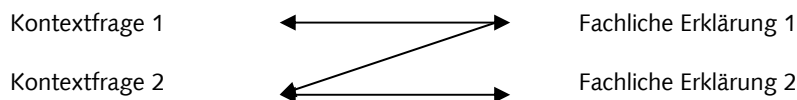


Abb. 5.5b: Die Vernetzung der zwei Säulen: Kontext und Basiskonzept der fachlichen Erklärung

Um auch in der Sekundarstufe I die Behandlung komplexer Kontexte zu ermöglichen, dabei aber die Lernmotivation durch viele konkrete Problemstellungen aufrecht zu erhalten und den *roten Faden* nicht zu verlieren, sollen die Kontexteinheiten Möglichkeiten zur Unterteilung in *in sich abgeschlossene* Untereinheiten aufzeigen.

Entwicklung von Basiskonzepten als grundlegendes, anschlussfähiges Wissensfundament

Neben der Entwicklung einer prinzipiellen Handlungskompetenz durch ein Kontextverständnis sowie die Anwendung chemischer Kenntnisse in solchen Kontexten ist es ein wesentliches Ziel dieser Konzeption, ein konsistentes Basiswissen im Sinne einer *scientific literacy* aufzubauen; dies einerseits als Beitrag naturwissenschaftlicher Grundbildung innerhalb der allgemeinen Bildungsziele, andererseits auch als Vorbereitung auf einen möglichen chemiebezogenen Beruf und/oder im Sinne eines Wissensfundaments, das für die Sekundarstufe II ausbau- und anschlussfähig ist.

Jede Kontexteinheit führt zur Erarbeitung bestimmter Fachinhalte, greift aber auch bereits erworbenes Wissen in einem neuen Zusammenhang wieder auf (Übung, Vertiefung, Erweiterung). Diese *Anwendung unter multiplen Perspektiven* ist ein zentraler Schritt, um zu erreichen, dass Wissen zwar zunächst kontextualisiert erworben wird, dann aber nicht isoliert in einem Kontext verhaftet bleibt.

Kontexte und damit das situiert erworbene Wissen müssen derart miteinander vernetzt werden, dass die systematische Entwicklung chemischer Basiskonzepte gelingen kann. Unter chemischen Basiskonzepten verstehen wir die zugrunde liegenden Prinzipien der Wissenschaft Chemie (Stoff-Teilchen-Konzept, Struktur-Eigenschafts-Konzept, Donator-Akzeptor-Konzept, Energie-Entropie-Konzept, Konzept des chemischen Gleichgewichts, Reaktionsgeschwindigkeits-Konzept sowie Methodenkompetenz, Einblicke in Wissenschaftsgeschichte und -theorie). Die Basiskonzepte werden dabei auf verschiedenen Niveaus formuliert und erarbeitet (vgl. *PARCHMANN et al. 2001*, *BÜNDER et al. 2003*, *DEMUTH et al. 2006* und Abb. 5.6b). Sie stellen die Basis für kumulatives Lernen dar: ausgehend von bereits existierenden Schülervorstellungen werden neue Konzepte eingeführt und erarbeitet, beide werden reflektiert und in Beziehung gesetzt. Um den Schülern ihren jeweiligen Lernfortschritt offenkundig werden zu lassen, sollten die neu erworbenen Konzeptaspekte immer wieder auch auf bereits zuvor behandelte Kontextfragen angewendet werden. Die Wahrnehmung des eigenen Kompetenzzuwachses ist ebenfalls ein, wenn nicht sogar der entscheidende Faktor zur Unterstützung intrinsischer Lernmotivation (*DECI & RYAN 1993*). Für ein Verständnis dieser übergeordneten Basiskonzepte ist es notwendig, diese aus den jeweiligen Kontexten zu abstrahieren (*Dekontextualisierung*), sie aber auch in neuen Kontexten wieder anzuwenden (*Rekontextualisierung*), damit sich die neuen oder veränderten Konzepte bewähren können (vgl. *STORK 1995*, siehe Abb. 5.6a). Folglich müssen im Unterricht nicht nur Aufgaben zur kontextualisierten Erarbeitung, sondern auch solche zur Anwendung, Übung, Vertiefung und schließlich zur Dekontextualisierung und Vernetzung der einzelnen Fachinhalte zu Basiskonzepten berücksichtigt werden. Diese können methodisch unterschiedlich umgesetzt werden (z.B. *concept mapping*, Lautes Denken).

Die Prozesse der De- und Rekontextualisierung sind dabei i.d.R. mit einem Perspektivwechsel von der phänomenologischen Ebene auf die submikroskopische Modellebene der Teilchen sowie mit einem wechselnden Grad an Abstraktion verbunden; beiden Aspekten sollte im Unterricht eine entscheidende Rolle zukommen.

Die folgenden Abbildungen 5.6a und b verdeutlichen die Strukturierung des Kompetenzerwerbs bei *Chemie im Kontext*:

5. Schlüsselemente für den Unterricht

on zu steigern, soll ein möglichst großes Methodenspektrum eingesetzt werden (z.B. Stationsarbeit, Planspiele, lautes Denken, Gruppenpuzzle, offenes Experimentieren, *storytelling*, *concept mapping*, Anlegen von Portfolios u.v.a.m.). Dazu gehören selbstverständlich auch die bisher im Chemieunterricht üblichen Methoden und Verfahren. Das kooperative Lernen sowie das Aufdecken von Lernschwierigkeiten soll unterstützt werden, indem verstärkt Phasen von Gruppenarbeit mit intensiver Artikulation und Reflexion eingeschoben werden.

Um die Lernmotivation zu fördern und um ein *inneres Anknüpfen* an Interessen und bereits vorhandene Vorstellungen und Erklärungskonzepte zu ermöglichen, sollen die Schüler stärker als bisher an der Planung und Gestaltung des Unterrichts beteiligt werden. Dies geschieht z.B. dadurch, dass sie zu Beginn eines Themenabschnittes ein Mindmap erstellen oder Fragen entwickeln, die die anschließende Bearbeitung des Themas aus Sicht der Chemie vorbereiten. Ebenso können in arbeitsteiligen Gruppenarbeiten inhaltliche und methodische Wahlmöglichkeiten angeboten werden. Die Einbeziehung der Schüler in die Planung und Erarbeitung ist wiederum förderlich aus Sicht der Motivationsforschung (Unterstützung des Autonomieempfindens (vgl. PRENZEL, DRECHSEL (1998) in PARCHMANN et al. 2000)) sowie aus Sicht der Lehr-Lern-Forschung. Dazu ist es jedoch notwendig, entsprechende Lernumgebungen zur Unterstützung vorzubereiten (vgl. z.B. REINMANN- ROTHMEIER 2001). Insbesondere im Anfangsunterricht Chemie sind die Schüler auf entsprechende Strukturierungshilfen seitens der Lehrenden angewiesen.

Die Unterteilung des Unterrichts in verschiedene Phasen erleichtert diese Strukturierung (PARCHMANN et al. 2000), sie wird jedoch von Kontext zu Kontext verschieden umgesetzt werden, z.B. in Abhängigkeit von möglichen Subzyklen:

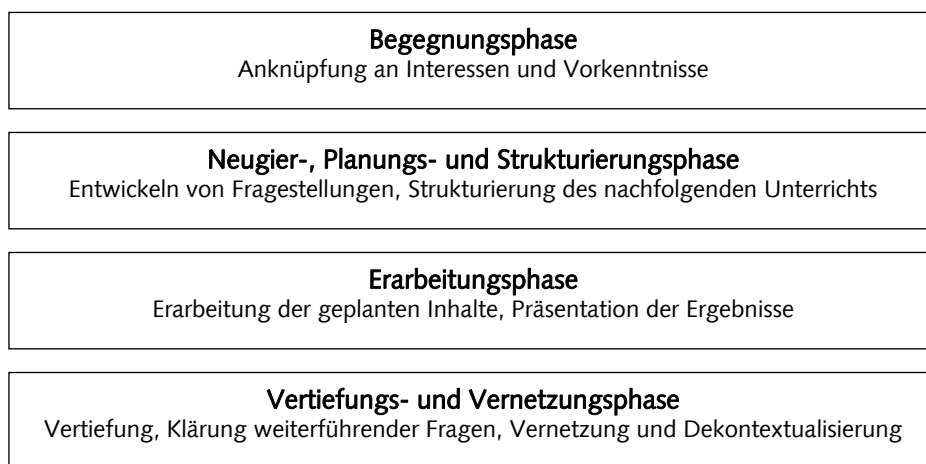


Abb. 5.7: Das Phasenschema ChiKs, nach: Projektgruppe ChiK 2000-2008 Materialien-CD

Die Phasen sind – bezogen auf verschiedene Einheiten - vielfach beschrieben worden, sie enthalten ein breites Spektrum an Medien und Methoden (vgl. z.B. Materialien-CD der Projektgruppe 2000-2008).

In Phase I erfolgt, wie der Name bereits andeutet, eine erste Begegnung mit dem Kontext, es soll Neugier geweckt werden. Sie soll an die Interessen und Vorkenntnisse der Schüler anknüpfen. Die Phase II dient dazu, die Schüler in die Planung ihres Lernweges zu involvieren. Die Fragen und Interessen der Lernenden geben dem weiteren Unterricht seine Struktur, ein Vorgehen zur Bearbeitung der Thematik muss ausgehandelt werden. Die weitere Vorgehensweise im Unterricht wird durch das Aufstellen eines Organisations- und Arbeitsplanes, der eben jene Schülerinteressen berücksichtigt, festgelegt. In der Erarbeitungsphase III sollen dann die sich aus dem Kontext ergebenden Fragestellungen bearbeitet werden. Hier erfolgen auch die Präsentation der Ergebnisse (bei arbeitsteiliger Vorgehensweise) sowie die Bewertung der erbrachten Leistungen.

Wurden arbeitsteilige Lernformen gewählt, ist nach der Präsentation als Orientierungshilfe eine Aufarbeitung und Zusammenfassung der Ergebnisse durch die Lehrperson angebracht. Schließlich bietet die vierte und letzte Phase die Möglichkeit zur wahlfreien Vertiefung einzelner Aspekte und zur Klärung weiterführender Fragen. Dekontextualisierung sowie die Vernetzung des Kontextes und der fachlichen Inhalte mit anderen Themen sind in dieser Unterrichtsphase angesiedelt.

Im Folgenden werden zwei Einheiten für das erste Unterrichtsjahr nach Chemie im Kontext vorgestellt. Innerhalb der Erarbeitungsphasen sollen dann Fragestellungen und Methoden angewendet werden, in denen mit Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Konzepten reflektierend gearbeitet wird. Diese Unterrichtssituationen haben innerhalb der Einheiten den Stellenwert von Schlüsselementen; das Augenmerk der Untersuchung wird auf der Analyse dieser Schlüsselsituationen liegen.

5.4. Didaktische Strukturierungen: Entwicklung konkreter Unterrichtselemente

Im Folgenden werden zwei Einheiten entwickelt, in denen die Berücksichtigung und Reflexion von Schülervorstellungen eine implizite Leitlinie darstellen. Selbstverständlich werden sich die Einheiten nicht ausschließlich dem Perspektivwechsel zwischen Vorstellungen über Stoffe und deren Bau aus Teilchen/Bausteinen widmen. Außerdem sind die Elemente eingebettet in komplexe Kontexte, die gegenüber konventionellem Chemieunterricht eine Vielzahl von Veränderungen ausweisen. Deshalb wird der didaktisch-methodische Planungsprozess mehr sein als das, was das Modell der Didaktischen Rekonstruktion vornimmt. Die vorgeschlagenen Schritte sind also nicht allein dem Prozess des didaktischen Strukturierens, nicht im Sinne von Ab- oder Herleitungen, auch nicht als Abduktionen innerhalb des Forschungsmodells zu sehen. Viele Schritte werden gemacht, weil die Konzeption von *Chemie im Kontext* diese beinhaltet. Die Abbildung 5.8 soll verdeutlichen, dass die Forschungsstrategie der Didaktischen Rekonstruktion im „Fundament von ChiK“ dort „auftritt“ und eingesetzt wird, wo es um die Entwicklung von Basiskonzepten geht, deren Leitlinien der Entwicklung auf der Basis des Modells aufgestellt werden.

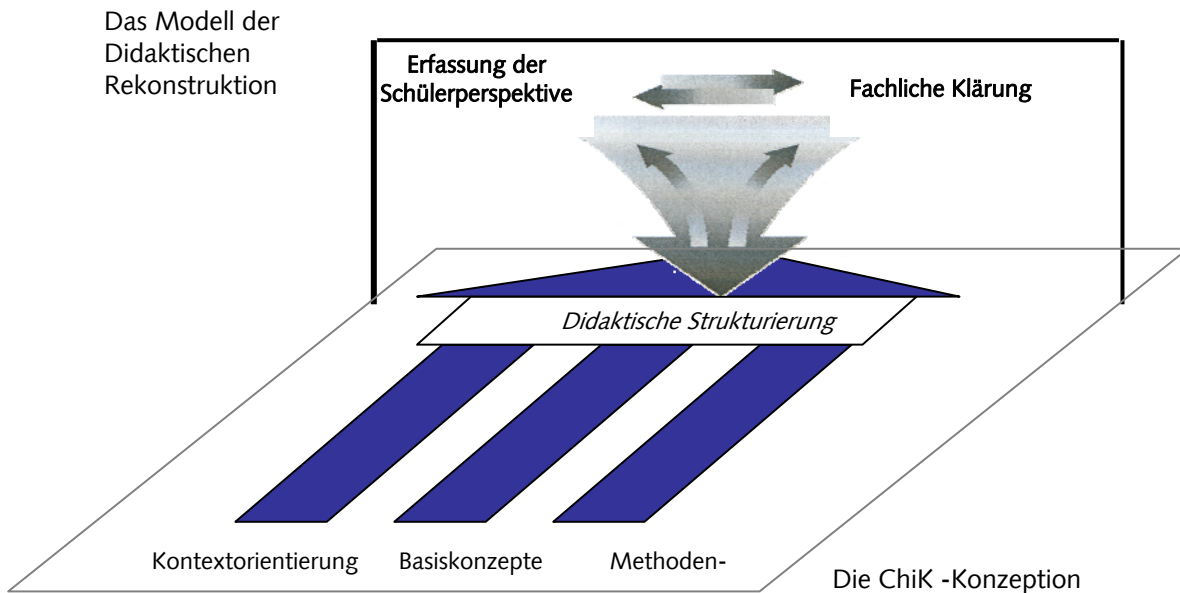


Abb. 5.8: Die Verbindung des Forschungsmodells mit der ChiK-Konzeption

Innerhalb der vorgeschlagenen Einheiten werden Schlüsselemente bzw. Situationen geplant, die explizit die Arbeit mit oder das Lernen an Vorstellungen zum Ziel haben. Diese sind als abduktives Ergebnis des Forschungsmodells der Didaktischen Rekonstruktion anzusehen.

Nach vorangegangenen Überlegungen muss ein derartiges Schlüsselement folgende motivationale und inhaltliche Verankerungen aufweisen:

- Es muss aus dem Kontext, also aus einer lebensweltlichen Problemstellung/Fragehaltung heraus erstellt werden können (vgl. Kap. 5.2)
- Es müssen Schülervorstellungen hervorgehoben werden können (vgl. Kap. 5.1)
- Es muss ein wissenschaftliches Modell geboten werden können, das erkenntniserweiternd, „klar“ d.h. verstehbar und attraktiv ist. (vgl. Kap. 5.1)
- Es muss ausbaufähig sein, d.h. es muss sich auch weiterhin bewähren können und wiederkehrend zur Reflexion von Vorstellungen in andere Zusammenhänge heranziehen können (vgl. Kap. 5.1 und 5.2).

Zusammenfassend wirken folgende Faktoren bei der Entwicklung von Schlüsselementen aufeinander ein:

5. Schlüsselemente für den Unterricht

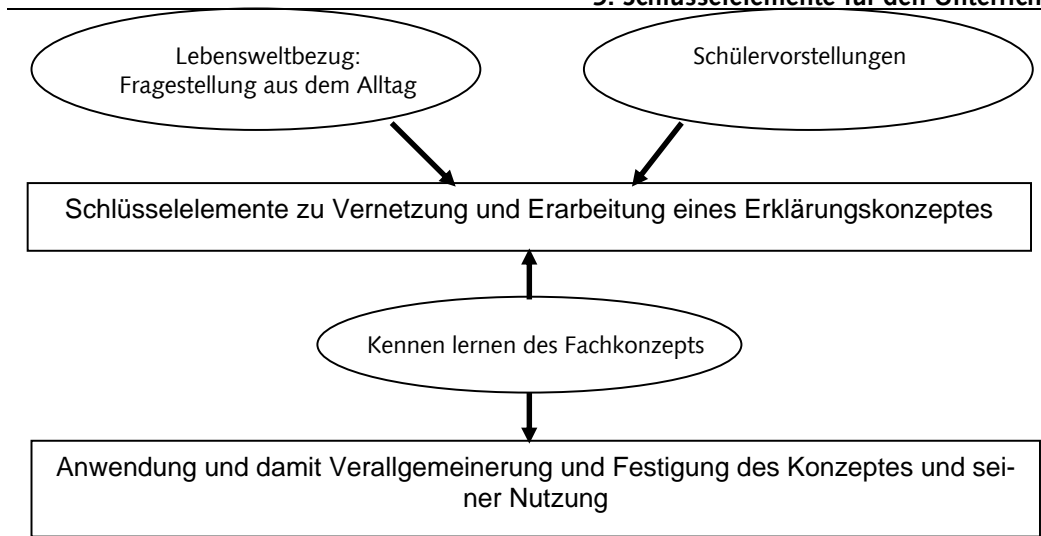


Abb. 5.9a: Inhaltliche Felder eines Schlüsselements – allgemeine Form

Ein Beispiel soll demonstrieren (vgl. Kap. 5.4.1), wie eine aktive Auseinandersetzung mit verschiedenen alternativen Vorstellungen der Schüler sowie mit den fachlichen Erklärungsmodellen nach *Chemie im Kontext* aussehen kann.

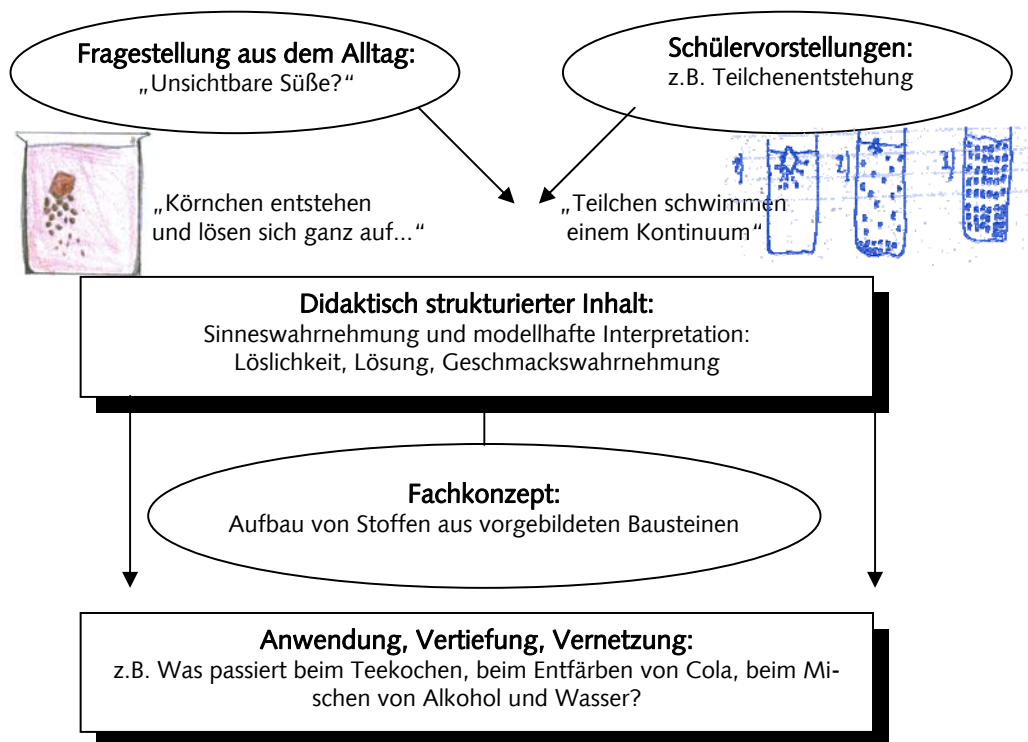


Abb. 5.9b: Zusammenwirkende Aspekte zur Entwicklung eines Schlüsselements: Schülervorstellungen (vgl. Kap. 2.2) werden „hervorgehoben“ und werden aus kontextuell entwickelter Fragestellung mit fachlichen Modellen vernetzt und reflektiert.

Im Kontext Der Vorkoster in Not- die Chemie ersetzt den Vorkoster (vgl. ausführlich in SCHMIDT et al. 2003 und Kap 5.4.1) werden u.a. Fragen wie Weshalb schmeckt man etwas, das man nicht sieht? Oder „Wo bleibt der Feststoff Zucker, wenn er gelöst wird?“ aufgeworfen. Die Schüler werden an dieser Stelle aufgefordert, ihre Vorstellungen über die bei der Herstellung einer Zuckerlösung ablaufenden Prozesse bildlich darzustellen oder zu beschreiben. Zu erwarten sind darunter sowohl Vorstellungen, die ein völliges Verschwinden (vgl. Kategorie A1, KS I), aber ein Zurücklassen der Süße beschreiben (A4), als auch solchen, die wir als Teilchenmischkonzepte der Kategorie B formuliert haben. Die Zeichnungen der Schüler sollten anschließend z.B. mit Hilfe einer Kamera präsentiert und gemeinsam diskutiert werden, so dass eine erneute „Artikulation und Reflexion“ der eigenen Gedanken angeregt wird. Der süße Geschmack der klaren Flüssigkeit kann dann über die im Wasser noch vorhandenen „Zuckerteilchen“ gedeutet werden. Für genauere Aussagen über die Möglichkeiten und Grenzen des Geschmackssinns sind Hintergrundinformationen notwendig. Damit ist eine Unterrichtssituation geschaffen worden, die Bausteinbetrachtungen notwendig macht bzw. sinnvoll platziert: eine Schlüsselsituation.

Die sinnliche Wahrnehmung *süß* erhält dann auf der Modellebene eine strukturelle Grundlage (anstelle eines materielosen Vorhandenseins der *Süße*). Mehr noch, das stetige *Funktionieren* des Geschmackssinns lässt sich nur plausibel erklären, wenn *alle* Teilchen die gleiche Struktur aufweisen. In diesem Fall ist es viel wahrscheinlicher, dass diese Teilchen bereits *vorgebildet* sind und durch den Prozess des Lösens lediglich aus ihrem Verband gelöst werden. Unter dieser Perspektive werden schließlich Schülervorstellungen sowie fachliche Modelle erneut diskutiert und reflektiert. Eine Zusammenarbeit ist mit den Biologiekollegen der Lerngruppen gut möglich, die Vorgaben z.B. im Curriculum in Niedersachsen fordern dies sogar.

Im Folgenden werden nun die Unterrichtseinheiten konkret beschrieben.

5.4.1. Der Vorkoster in Not - die Chemie ersetzt den Vorkoster

Die im Folgenden skizzierte Unterrichtseinheit soll drei Anforderungen genügen: Sie soll (1) anhand eines übergeordneten und für die Schüler sinngebenden Kontextes typische Fragestellungen und Aufgaben von Chemikerinnen und Chemikern aufzeigen, (2) eine erste Hinführung zu charakteristischen Denkweisen und Erklärungsmodellen der Chemie bieten – darunter den Perspektivwechsel von der phänomenologischen Ebene zur Modellebene der Bausteine und (3) eine Einführung grundlegender Arbeitsweisen ermöglichen. In den Zielsetzungen erkennt man, dass über die Verwirklichung der didaktischen Strukturierung hinaus Intention formuliert werden, die einem zeitgemäßen Chemieunterricht als Pfeiler der Entwicklung einer *scientific literacy* entsprechen (PARCHMANN et al. 2001, BÜNDER et al. 2003).

Diskussionen und unterrichtspraktische Erfahrungen haben gezeigt, dass verschiedene Kontexte Möglichkeiten zur Umsetzung der genannten Forderungen bieten (SCHMIDT et al. 2003, *Materialien- CD der Projektgruppe 2001-2008*).

Die Unterrichtssequenz - Module für eine Einheit

Wichtig ist voranzustellen, dass eine Einheit kein festes Gerüst aus Unterrichtsstunden darstellt; dies würde einem Kernpunkt der Konzeption widersprechen. Ziel der Darstellung hier folgender Segmente für den Unterricht ist es, die Schüler von Beginn an aktiv in die Planung sinnvoller Untersuchungen einzubeziehen und mit dem darauf folgenden Unterricht die zuvor genannten Forderungen (vgl. Kap. 5.2 und 5.3) umzusetzen.

Für die Entwicklung einer Einheit mit oben genannten Zielen muss ein übergeordnetes Thema des Kontextes gesucht werden. Ein Zugang wäre dabei die Synthese eines Produktes (z.B. Shampoo). Einen anderen wäre die analytische Seite der Chemie; hier bieten die Themenfelder Nahrungsmittel und Ernährung eine Grundlage, weil sie eine unmittelbare Relevanz für Schüler aufweisen. Im Folgenden wird ein Weg über die analytische Komponente der Chemie aufgezeigt.

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Die erste Begegnung in einen solchen Unterricht kann beispielsweise über einen Cartoon erfolgen, der die Möglichkeiten „menschlicher“ Untersuchungen von Nahrungsmitteln hinterfragt (vollständige Version siehe Anhang I).



Abb. 5.10a: Ausschnitt aus dem Einstiegsmaterial (nach UDERZO UND GOSCINNY: *Asterix und Kleopatra*, 1969, verändert von D. Rebentisch, unveröffentlicht), REBENTISCH et al., 2001)

Bilder aus einer Lebensmitteluntersuchungsanstalt werden gegenübergestellt (vgl. Anhang I). Die Schüler werden dazu aufgefordert, Fragen und Assoziationen zu den dargestellten Szenen zu notieren, dabei können nach unseren Erfahrungen u.a. folgende Antworten erwartet werden: *Wozu brauchte man früher einen Vorkoster? Was sind Gifte? Vergiften kann man jemanden nur, wenn man das Gift nicht schmecken kann! (Wie) kann man den Geschmacksinn überlisten? Wie untersucht man heute Lebensmittel?*. Solche Äußerungen sind Ausgangspunkt zum einen für die Sammlung von Vorkenntnissen der Schüler und zum anderen für die gemeinsame Planung des weiteren Unterrichts. *Was muss man alles untersuchen bzw. herausfinden, um diese Fragen klären zu können?* (Übergang zur Planungs- und Strukturierungsphase). Gerade das Erkennen und Formulieren zentraler Fragestellungen zur Untersuchung eines (komplexen) Problems ist eine grundlegende Fähigkeit, die im Unterricht entwickelt werden muss (vgl. Kap. 5.3).

Selbstverständlich spielen die Probleme eines Vorkosters heute keine Rolle mehr, sehr wohl aber die Täuschung und Unzulänglichkeit unserer Sinne zur *Analyse* von Lebensmitteln (vgl. auch DEMUTH et al. 2008a). Ein Beispiel, an dem dieses Problem deutlich wird, ist die Geschmackswahrnehmung verschiedener Getränke, bei denen der häufig sehr hohe Zuckergehalt durch die Existenz anderer Geschmacksstoffe sensorisch nicht erfasst werden kann. Ein für die Schüler erfahrungsgemäß motivierendes Beispiel ist dabei die Untersuchung von Coca Cola®, die sogar eine weitere Differenzierung zulässt: *Kann man Cola, Cola light und Cola koffeinfrei geschmacklich unterscheiden?* Aufhänger kann die in Abbildung 5.10b genannte Geschichte sein:

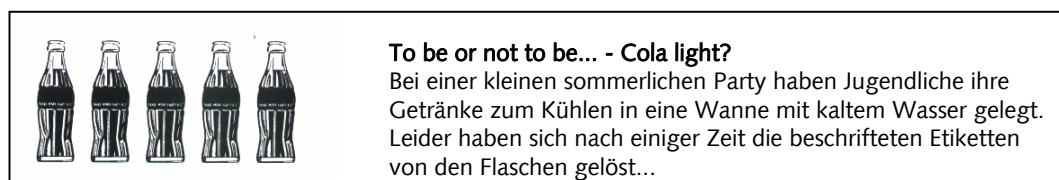


Abb. 5.10b: Ausschnitt aus der Einstiegsgeschichte für die Untersuchung der Grenzen des Geschmackssinns an der Cola (Begegnung und Neugier, vollständig siehe Anhang I), Bildquelle der Flaschen ohne Etikett: Tillmann, K. (2000): 40

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Der nachfolgende Unterricht rankt sich demnach um zwei zentrale Fragestellungen: a) Funktion und Grenzen der Geschmackswahrnehmung und b) weiterführende Untersuchungsmöglichkeiten von Chemikern. Dabei sollen die Ausgangsfragen und Interessen der Schüler wiederholt integriert werden; ebenso kann die Lerngruppe verschiedene Untersuchungen (Beispielsweise die systematische Analyse des Geschmacks verschiedener Cola-Getränke, Zuckerlösungen oder das Anfertigung von Verdünnungsreihen) selbst entwickeln und erproben. Über die modellhafte Interpretation des Geschmackssinns bietet sich ferner ein Zugang zu einer ersten Diskussion über Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe.

Lernzyklus I: Der Vorkoster in Not: Möglichkeiten und Grenzen der Sinne

Das nachfolgende Schema gibt einen Überblick über den ersten Zyklus der Unterrichtseinheit zum Thema *Grenzen der Sinne* (vgl. SCHMIDT et al. 2003):

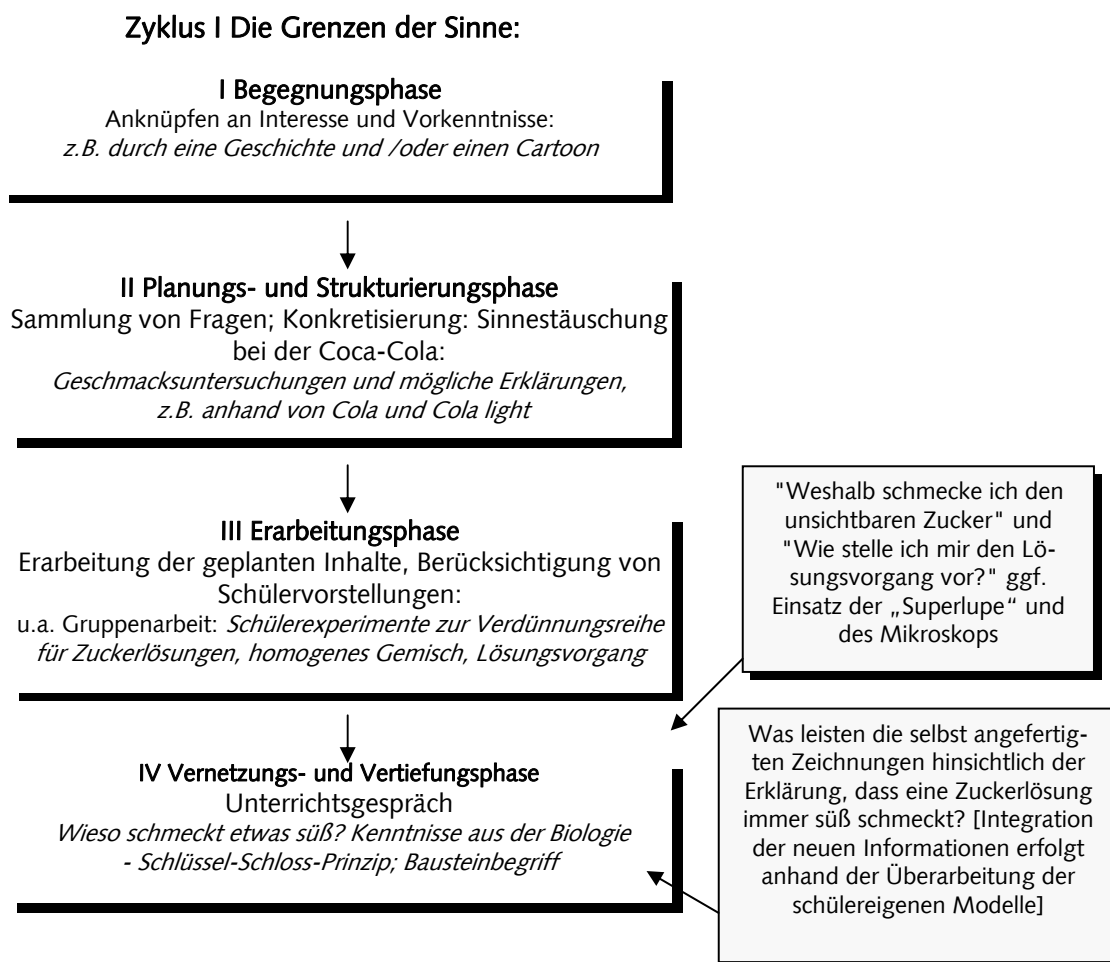


Abb. 5.11: Fließschema zur Gestaltung einer möglichen Unterrichtssequenz zum Thema „Möglichkeiten und Grenzen des Geschmackssinns“, die Kästen beinhalten die Elemente, die sich besonders an Schülervorstellungen richten

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Die erste Untersuchung zum geschmacklichen Vergleich verschiedener Cola-Sorten zeigt, dass sich der Geschmackssinn tatsächlich täuschen lässt: ein eindeutiges Erkennen der Sorte ist nach unseren Erfahrungen vielen Menschen nicht möglich. Diese Untersuchungen sollten im normalen Klassenraum durchgeführt werden. Ein anschließender Wechsel in den Fachraum kann damit das Verbot des Essens und Trinkens im Chemieunterricht auch symbolisch unterstreichen. Ebenso interessant ist ein Vergleich der Geschmackswahrnehmung von Cola und einer Zuckerlösung, die den gleichen Anteil an Zucker enthält: die Zuckerlösungen schmeckt um ein Vielfaches süßer. Für genauere Aussagen über die Möglichkeiten und Grenzen des Geschmackssinns sind an dieser Stelle differenziertere Prüfungen notwendig, beispielsweise über systematische Reihenuntersuchungen und mehrfache Messwiederholungen bzw. einem Vergleich der Untersuchungen verschiedener Schüler. Dabei werden nicht nur Fragen wie *Welche Zuckerkonzentrationen kann man unterscheiden, welche nicht mehr?, Bis zu welcher Verdünnung kann man noch einen süßen Geschmack wahrnehmen?* beantwortet, sondern die Schüler beschäftigen sich ebenfalls mit notwendigen Randbedingungen experimenteller Untersuchungen, beispielsweise der deutlichen Kennzeichnung von Proben oder dem exakten Arbeiten beim Herstellen von Verdünnungen. Auch einfache Konzentrationsberechnungen (x g Zucker in y mL Wasser) können thematisiert werden, was erfahrungsgemäß eine Schwierigkeit für viele Schüler darstellt.

Der Geschmackssinn auf dem Prüfstand

Gib 23 Würfel Zucker auf 500ml Wasser. Cola enthält dieselbe Menge Zucker.

1. Teste den Geschmack, teste zum Vergleich auch noch mal Cola!
2. Verdünne die Zuckerlösung im Verhältnis 1:2, 1:3, 1:10 und 1:1000 und mache hier den Geschmackstest (mit verbundenen Augen). Kannst du die Verdünnungen unterscheiden? Kannst du den gelösten Zucker noch schmecken?
3. Verfahre genauso mit den Cola-Verdünnungen!
4. *Zusatzversuch:* Lege ein Stück Zucker auf deine Zunge und prüfe den Geschmack! Gib anschließend etwas Wasser hinzu und beschreibe bzw. vergleiche die Geschmacksempfindungen!

Aufgaben:

- Protokolliere die Ergebnisse der einzelnen Versuche!
- Das Lösen von Zucker ist dir aus dem Alltag bekannt. Wodurch lässt sich das Lösen von Zucker in Wasser beschleunigen? Nenne verschiedene Möglichkeiten!
- Du hast im Biologie-Unterricht bereits das Thema „Geschmackssinn“ behandelt. Wie erklärst du die Ergebnisse der einzelnen Versuche mit Hilfe dieses Wissens?
- Berechne die Konzentration der Zuckerlösung in g/L. Berechne auch die Konzentration der Verdünnungen. Halte deinen Rechenweg genau fest.
- Die Zuckerlösung ist klar und farblos: Weshalb schmeckst du etwas, was du nicht mehr siehst?

Abb. 5.12: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt für die Untersuchung des Geschmackssinns Anmerkung: Der Zuckergehalt der Cola beträgt 12%, für die Herstellung sollten einige Zuckerwürfel gewogen werden, um deren durchschnittliche Masse zu bestimmen.

Im Anschluss an diese einleitenden Untersuchungen kann dann die grundlegende Frage nach der Funktion des Geschmackssinns bzw. des Schmeckens von Zucker aufgeworfen werden, z.B. über die Tatsache, dass man noch einen deutlich süßen Geschmack einer Zuckerlösung wahrnimmt, obwohl mit dem Auge kein Zucker mehr erkennbar ist. Der Fachbegriff *Lösung* als eine Form homogener Gemische muss hier thematisiert werden.

Damit wird in das Schlüsselement eingeführt (vgl. Kasten im Schema Abb. 5.9). Die Schüler können an dieser Stelle aufgefordert werden, ihre Vorstellungen über die bei der Herstellung einer Zuckerlösung ablaufenden Prozesse bildlich darzustellen oder zu beschreiben. Dabei ist zu erwarten, dass viele Schüler das Lösungsmittel Wasser als Kontinuum darstellen (vgl. KS I, Kategorie B3) und für den Zucker während des Löseprozesses Teilchen *entstehen* lassen (kontinuierliche Körnigkeit (vgl. Kategorie KS I, B1): „*Der Zucker zerlegt sich in so winzige Teilchen, dass er nicht mehr sichtbar ist, [...] Das Wasser löst den Zucker in so kleine Teile auf, dass man ihn mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennen kann. Diese Teilchen schwimmen im Wasser umher [...]*“ Die Zeichnungen der Schüler sollten anschließend z.B. mit Hilfe einer Kamera präsentiert und gemeinsam diskutiert werden, so dass eine erneute *Artikulation und Reflexion* der eigenen Gedanken angeregt wird (vgl. Kap. 5.1).

Der süße Geschmack der klaren Flüssigkeit kann dann über die im Wasser noch vorhandenen „Zuckerteilchen“ gedeutet werden. Ggf. kann an dieser Stelle auf Parallelen aus dem Biologieunterricht zurückgegriffen werden (vgl. Kap. 2.2) und zwar auf die Kenntnisse zur Funktionsweise des Geschmackssinns. Das Kerncurriculum der Naturwissenschaften in Niedersachsen (vgl. Kap. 2.2) ermöglicht und fordert eine Zusammenarbeit der Biologie und Chemie im Falle der Sinnesbiologie. So kann die sog. *Landkarte* der Zunge thematisiert werden, wobei auf deren Fehlerhaftigkeit ebenfalls eingegangen werden sollte (vgl. SMITH *et al.* 2001). Die Schüler können dabei erkennen, dass der Zucker offenbar auf der Zunge etwas bewirken muss, was schließlich die Geschmackswahrnehmung *süß* hervorruft. Im Folgenden kann nun auf der Basis des aktuellen Stands der Wissenschaft ein vereinfachtes Erklärungsmodell heran gezogen werden, das eine Wechselwirkung zwischen einem bestimmten Rezeptor-Typ (süß) und den *Zuckerteilchen*, *Zuckerbausteinen* vorsieht. Dafür müssen die Zuckerbausteine ein bestimmtes Merkmal aufweisen, das gerade an diesen Rezeptoren ein Signal auslöst. Ein einfaches Modell, das Schülern vom Prinzip her ebenfalls aus dem Biologieunterricht bekannt sein könnte, liefert eine mögliche Erklärung: Zuckerbausteine müssen eine bestimmte Struktur aufweisen; ein Bereich des Zuckerteilchen passt zur Struktur des Rezeptors wie der Schlüssel zu seinem Schloss. Die Abb. 5.13 veranschaulicht diese Modellvorstellung. Damit kann an dieser Stelle tatsächlich - wie gefordert - ein erster Zugang zu modellhaften Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe geliefert werden. Dabei wird ebenfalls die Notwendigkeit vereinfachter, modellhafter Darstellungen aufgezeigt, da kein sinnlicher Zugang zum Erkennen der „Zuckerbausteinen“ und damit zur Deutung der Geschmackswahrnehmung bzw. der Stoffeigenschaft „süß“ besteht.

Für den weiteren Unterricht können die „Zuckerbaustein“ daraufhin mit einem bestimmten Symbol (z.B. in Anlehnung an die Biologie als Sechseck) gekennzeichnet werden.³⁷

³⁷ Das Modell eines Sechsrings ist geeignet, obwohl Überlegungen anhand des Disaccharids Saccharose durchgeführt werden, um durch Details nicht vom wesentlichen Gedankengang (s.o) abzulenken.

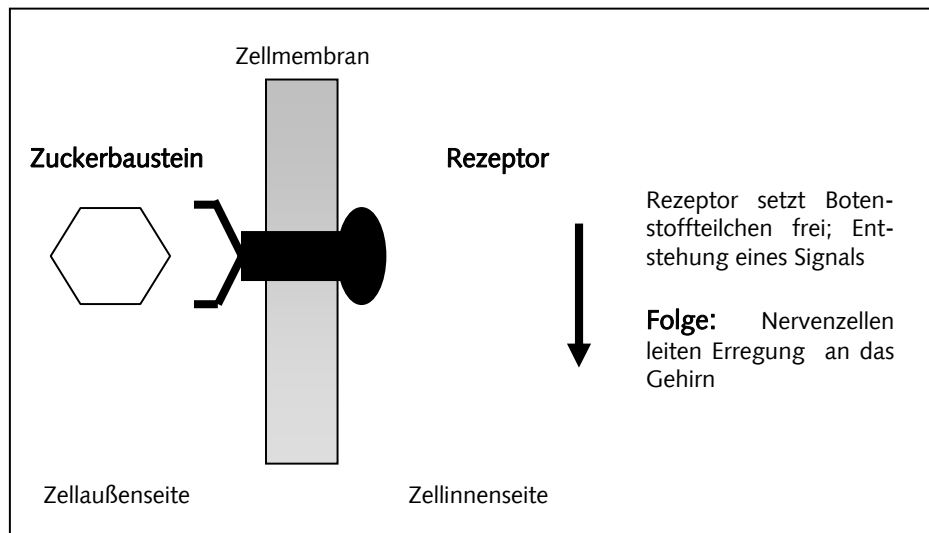


Abb. 5.13: Vereinfachtes Modell zur Interpretation der Geschmackswahrnehmung süß, Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt Die Zunge und der Geschmackssinn, siehe Anhang I

Auf die Betrachtung anderer Geschmacksrezeptoren sowie auf eine detaillierte Erklärung des süßen Geschmacks wird an dieser Stelle verzichtet. Im Sinne eines Spiralcurriculums kann dieses Thema zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgegriffen und erarbeitet werden, dass nach heutigen Erkenntnissen eine best. Atomgruppierung in einer best. Konformation („Wechselwirkung mit einem Rezeptordreieck“) für die Süßwahrnehmung verantwortlich ist (*Shallenberger-Modell*, vgl. PLASS *et al.* (1995), *Themenschwerpunkt Zentralabitur 2009*). Hier bieten sich sehr gute Möglichkeiten zur Vernetzung chemischer Grundlagen zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen mit sinnesphysiologischen Betrachtungen aus dem Fach Biologie an. Vertiefend kann hier ggf. eine Diskussion über die grundsätzliche Auswahl und Anwendung geeigneter Modelle geführt werden. *Welche Eigenschaft muss ein Modell aufweisen, um den Schmeckvorgang zu veranschaulichen? Welche, um die Änderung von Aggregatzuständen zu demonstrieren?*

Die sinnliche Wahrnehmung *süß* wird mit dieser Struktur *in einfacher Weise* in Verbindung gebracht. Es wird jedoch ebenso deutlich, dass diese Struktur der Bausteine *nur* in Verbindung mit den jeweiligen Sinnesfunktionen die Wahrnehmung hervorruft, die dann als Stoffeigenschaft bezeichnet wird (vgl. Basiskonzept Kap. 4).

Die eigentlich interessante Frage rankt sich nun aber um die Entstehung dieser Zuckerbausteine: Wenn Zucker *immer* süß schmeckt, kann die Form, die Struktur dieser Teilchen kein Zufall sein. Die Idee der Schüler, die Teilchen während des Lösevorgangs willkürlich entstehen zu lassen, wird somit hinterfragt und muss erneut diskutiert werden. Wenn tatsächlich *alle* Bausteine eine *gleiche* Struktur aufweisen, ist es viel wahrscheinlicher, dass diese Teilchen, Bausteine bereits vorgebildet sind und durch den Prozess des Lösens lediglich aus ihrem Verband gelöst werden!

Im Sinne der Forderungen nach Anknüpfen - Konfrontierens/Reflektierens/Umdeuten – Reflektiertes Anwenden (vgl. Kap. 5.2) wird so ein vereinfachtes wissenschaftliches Modell vom Zustandekommens süßen Geschmacks eingeführt und mit den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler vergleichend bearbeitet.

5. Schlüsselemente für den Unterricht

- **Anknüpfen:** Hervorlocken, Artikulieren und aktives Auseinandersetzen mit den eigenen Vorstellungen und denen anderer im soz. Austausch, *Perspektivwechsel: gedankliches Hineinversetzen in etwas, was nicht mehr (visuell) wahrnehmbar ist*
- **Erweitern/ Konfrontieren/ Reflektieren:** Authentische Information, aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse; die Schülerzeichnungen über den *unsichtbaren* Zucker in der Zuckerlösung sind unterschiedlich, ggf. einfacher; Das Modell nimmt eine sechseckige Form an.
- **Umdeuten:** Modelldiskussion über den Nutzen dieser Modelldarstellung; Welche Bausteineigenschaft des Zuckers müssen wir annehmen?
- **Anwenden:** Neues Modellieren der Vorstellung vom Lösen von Zucker in Wasser. Die „Sechseckform“ muss im Stoff Zucker schon „angelegt“ sein. (Betonung des bewussten Wechsels zwischen Modellebene und der kontinuierlichen – dazu gehört auch die körnige - Ebene des Stoffes Zucker)

Aufgrund der Betrachtung der individuellen Erklärungsmodelle der Schüler wird auf der Metaebene bewusst gemacht: *Wir benötigen gemeinsame Merkmale, Übereinkünfte über unsere Modelle, damit wir einander verstehen!* Es sollte ebenfalls auf der Metaebene des Modelldenkens die Verwendung des Begriffs *Baustein* und seine Unterscheidung zum Begriff *Teilchen* diskutiert werden, hierbei sollte unterstrichen werden, dass Bausteine kleinster Teil von etwas daraus konstruiertem ist. - und dass nicht etwa Teilchen in einem Kontinuum Stoff existieren und dass darüber hinaus die begriffliche Nähe zum Begriff des *Zerteilens derartiges nahe legt* (vgl. Kap. 3).

Es ist an dieser Stelle völlig akzeptabel, wenn das Lösungsmittel Wasser als kontinuierliches Medium gezeichnet wird – das Diskontinuumsmodell wird hier auf den Weg gebracht und in der Folge oder auch zu einem späteren Zeitpunkt der Einheit verallgemeinert werden. Ausgehend von der Frage nach der Funktionsweise und den Grenzen sinnlicher Wahrnehmungen kann somit ein erster Zugang zur Betrachtung des diskontinuierlichen Aufbaus von Stoffen geschaffen werden. Diese erste Idee vom Vorhandensein vorgebildeter Bausteine muss natürlich näher betrachtet werden und sich an verschiedenen Beispielen (z.B. Aggregatzustände, Mischbarkeit, Löslichkeit, Filtration, Diffusion) bewähren. Dabei sollte den Schülern immer wieder Gelegenheit gegeben werden, ihre Vorstellungen zum Ablauf der Prozesse bildlich darzustellen und zu formulieren, um sie selbst, aber auch die Lehrkraft das vorhandene Konzeptverständnis reflektieren zu lassen. Über den klassischen Ethanol-Wasser-Mischversuch (vgl. Kap 2) und seine Deutung auf der diskontinuierlichen Ebene *können* Schüler weiterhin zu der Erkenntnis gelangen, dass auch das Lösungsmittel Wasser diskontinuierlich aufgebaut sein muss.³⁸

Vertiefend können ferner Überlegungen dahingehend angestellt werden, dass es natürlich verschiedene Stoffe gibt, die einen süßen Geschmack auslösen, die aber in ihren sonstigen Eigenschaften sehr wohl verschieden sind. Die Schüler können dabei zu der Überlegung gelangen, dass diese Stoffe alle ein gemeinsames strukturelles Merkmal aufweisen müssen – zur Auslösung des Signals am Rezeptor -, dass sie in ihren sonstigen Strukturen aber verschieden sein müssten.

Das nachfolgende Schema fasst noch einmal den wesentlichen Gang des Schlüsselementes zusammen. Die kontextbasierte Fragestellung nach der Funktion und der Täuschung des Geschmackssinns führt zur Einführung erster modellhafter Betrachtungen vom diskontinuierlichen Aufbau der Stoffe:

³⁸ Der eintretende Effekt ist eher eine Ausnahme darstellt bzw. vorrangig durch veränderte intermolekulare Wechselwirkungen hervorgerufen wird, welche auf Grundlage der jeweiligen diskontinuierlichen Strukturen auftreten. Alternativ dazu können auch Aufnahmen von Teilchen (Molekülen) des Wassers als Ergebnisse von Untersuchungen mit Hilfe der Rastertunnelmikroskopie präsentiert und besprochen werden (z.B. WACKER 1997).

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Die Grenzen unserer Sinne: Cola kosten → Eine „getarnte“ Zuckerlösung!
Das unsichtbare Süße: Zuckerlösungen → „Zuckerteilchen“ in Wasser
Dem Geschmack auf der Spur: Schlüssel-Schloss-Modell → Struktur als Merkmal von Bausteinen
Zucker ist immer süß: Struktur als Merkmal aller Zuckerteilchen → Existenz vorgebildeter Teilchen

Zyklus II: die Chemie ersetzt den Vorkoster, chemische Analyse (vgl. SCHMIDT et al. 2003, DEMUTH et al. 2008a)

Der Kontext „Nahrungsmittelanalytik am Beispiel der Untersuchung von Cola“ wirft natürlich nicht nur die Frage nach den „geschmacklichen Irrungen“ auf, sondern ebenso danach, was denn tatsächlich in Cola enthalten ist. Ein Blick auf das Etikett liefert Informationen über Inhaltsstoffe, die den Schülern nur teilweise als Reinstoffe mit den jeweils typischen Eigenschaften bekannt sein werden.

<p>Zutaten: Wasser, Zucker, Kohlensäure, Farbstoff E150d, Säuerungsmittel Phosphorsäure, Aroma, Koffein</p>		<p>„Die Coca-Cola-Rezeptur gilt landläufig als das wohl am besten gehütete Geheimnis der Industrie. Es soll so geheim sein, dass es nach einer Marketing-Sage [...] in einem Banktresor [...] in Atlanta aufbewahrt wird“</p>
--	---	---

Abb. 5.14: „Etikettanalyse“: Einstieg in weitere Untersuchungen zur Analyse von Cola, Bildquelle: selbst

Vielmehr sind nach eigenen Erfahrungen (s.u.) allgemeine Assoziationen zu bestimmten Stoffen oder Stoffgruppen („Säuren sind ätzend!“, „Cola löst Fleisch auf!“) zu erwarten, die Ansatzpunkte für nachfolgende Untersuchungen bieten können. Die Thematisierung des angeblich „bestgehüteten Geheimnisses der Welt“ (vgl. PRENDERGAST 1993) als Ausgangspunkt für nachfolgende Analysen und Trennverfahren ist sicherlich sehr spannend, kann jedoch auch zu Frustrationen führen, da längst nicht alle Inhaltsstoffe in der Schule nachgewiesen werden können. Eine andere Möglichkeit für einen Einstieg in diesen zweiten Abschnitt der Unterrichtseinheit bietet sich durch die Demonstration eines Experiments (aus: ASSELBORN et al. 2001): Man taucht eine Dose Cola und eine Dose Cola light in ein Gefäß mit Wasser und beobachtet. Die Cola-light-Dose schwimmt, während die normale Cola untergeht. Anhand dieses Versuches kann der Begriff *light* hinterfragt und weiterführend die Dichte eines Stoffes eingeführt werden. Als Verursacher dieses Unterschieds kommt wiederum der bereits thematisierte Zuckergehalt in Frage; bereits ein einfaches Eindampfen beider Getränkesorten zeigt hier einen deutlichen Unterschied auf. Darüber hinaus kann der Zusammenhang zwischen der Zuckerkonzentration und der Dichte experimentell untersucht werden.

Im Zuge dieser Untersuchung kann die notwendige Sicherheitsbelehrung und Instruktion über die sichere Handhabung des Bunsenbrenners problemlos eingebettet werden.

Versuch: Eindampfen verschiedener Cola-Getränkessorten (Cola und Cola light)	
Arbeitsfrage: <hr/> <hr/> <hr/>	Regeln für das Erhitzen im Reagenzglas Beim Erhitzen einer Flüssigkeit im Reagenzglas kann es vorkommen, dass diese unvermittelt aus dem Reagenzglas herausspritzt. Ursache ist der so genannte Siedeverzug. Um das Sieden kontrolliert durchzuführen und niemanden dabei zu gefährden, gelten folgende Regeln für das Erhitzen: 1. Fülle das Reagenzglas höchstens zu einem Viertel. Gib ein Siedesteinchen hinzu. 2. Halte das Reagenzglas mit der Holzklammer schräg in die Flamme. Richte die Öffnung des Reagenzglases nicht auf andere Personen in deiner Nähe. 3. Schüttele das Reagenzglas ständig in der Flamme, damit der Inhalt gleichmäßig erhitzt wird.
Geräte: 2 Reagenzgläser, Reagenzglasgestell, Reagenzglashalter (Holzklammer) Bunsenbrenner, Zünder, Schutzbrille	
Durchführung:	
Beobachtung:	
Auswertung:	

Abb. 5.15: Arbeitsblatt - Ausschnitt: Eindampfen von Coca-Cola

Eventuell nennen die Schüler auch den Gehalt an Kohlenstoffdioxid bzw. allgemein an *Gas* (vgl. Kap. 4 und Kap. 3.3.1) als möglichen Verursacher des Schwimmens der Cola-light Dose. In dem Fall können verschiedene Untersuchungen rund um die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser durchgeführt werden (PASCHMANN *et al.* 2000). Weitere Untersuchungen zur Cola sind mehrfach beschrieben (z.B. STEINER 1998, KRAATZ 1997, TILLMANN 2000). Zwei Aspekte davon sollen hervorgehoben werden:

Die Untersuchung der enthaltenen Säuren zur Einführung spezifischer und unspezifischer Nachweise sowie zur Notwendigkeit von Blindproben und Kontrollversuchen. Die Abtrennung des Farbstoffs durch Filtration mit Aktivkohle kann zur erneuten Anwendung der Modellebene der Bausteine zur Deutung eines Phänomens führen.

Viele Schüler kennen das Phänomen, dass Cola Fleisch „zerfressen“ kann. Vermutlich bringen sie dieses Phänomen mit den enthaltenen Säuren in Verbindung, die nach ihren Vorstellungen *ätzend und gefährlich* sind. Folglich bietet es sich an dieser Stelle an, die enthaltenen Säuren etwas genauer zu betrachten und sie ggf. mit anderen Säuren bzw. sauren Lösungen zu vergleichen. Dabei können die Schüler anhand einfacher Demonstrationen (z.B. Zugabe von Schwefelsäure zu Zucker oder auf Papier) feststellen, dass Säuren tatsächlich eine ätzende Wirkung haben können. Ebenso können sie aber erfahren, dass andere Säuren in vielen Nahrungsmitteln enthalten sind und dort offenbar keinen Schaden anrichten (z.B. Essig(-säure), Zitronensäure, Ascorbinsäure). Die Untersuchung einer Lösung mit pH-Papier, die den Schülern oftmals schon z.B. aus der Werbung bekannt ist, liefert allerdings nur Auskunft über die saure Eigenschaft einer Lösung, nicht aber darüber, um welche Säure es sich handelt. Somit kann an dieser Stelle der Unterschied zwischen stoffspezifischen und unspezifischen Nachweisen eingeführt werden. Der Nachweis der Phosphorsäure (bzw. des Phosphats) kann sehr einfach durch die Zugabe von Cer(III)-nitrat er-

folgen (vgl. SCHMIDT 1989), wobei auf eine Auswertung der chemischen Reaktion selbstverständlich verzichtet wird.³⁹ Vielmehr können die Schüler die Spezifität des Nachweises durch Kontrollversuche und Blindproben erarbeiten.

Diese Experimente können unmittelbar zu einem weiteren überleiten: Bei der Untersuchung der Cola ist der Niederschlag aufgrund des enthaltenen Farbstoffes nicht eindeutig zu erkennen, so dass ein Weg gefunden werden muss, den Farbstoff zuvor zu entfernen. In diesem Zusammenhang haben die Schüler erneut Gelegenheit, die Interpretation eines Phänomens auf der Modellebene von Stoffbausteinen zu üben, indem sie den Adsorptionsprozess des Farbstoffs an Aktivkohle auf Stoffebene beschreiben und auf der Bausteinebene deuten sollen- ggf den begrenzten Nutzen des Modells, wenn sie die universelle Einsetzbarkeit der Aktivkohle (z.B. als Kompresse) berücksichtigen.

Der zweite Abschnitt der Unterrichtseinheit kann wie folgt zusammengefasst werden:

³⁹ Der spezifische Nachweis kann auch konventionell mit Ammoniummolybdatlösung (JANDER, BLASIUS (1990), 111f) Dieser Nachweis hat sich bei der Cola im Chemieunterricht manchmal als unsicher erwiesen. Er ist durch den Bedarf an konzentrierten Säuren für ungeübte Schülergruppen evtl. nicht geeignet. Die Cerphosphatfällung ist in diesem Fall *im Vergleich* zur Voruntersuchung *spezifisch*, da im Gegensatz zum Säure-Base-Indikator nicht alle Säuren (bzw. aus ihrer Reaktion resultierende saure Lösungen) angezeigt werden, sondern beim Vergleich verschiedener Säuren nur die eine, die Phosphorsäure.

Zyklus II: Die Sinne des Chemikers

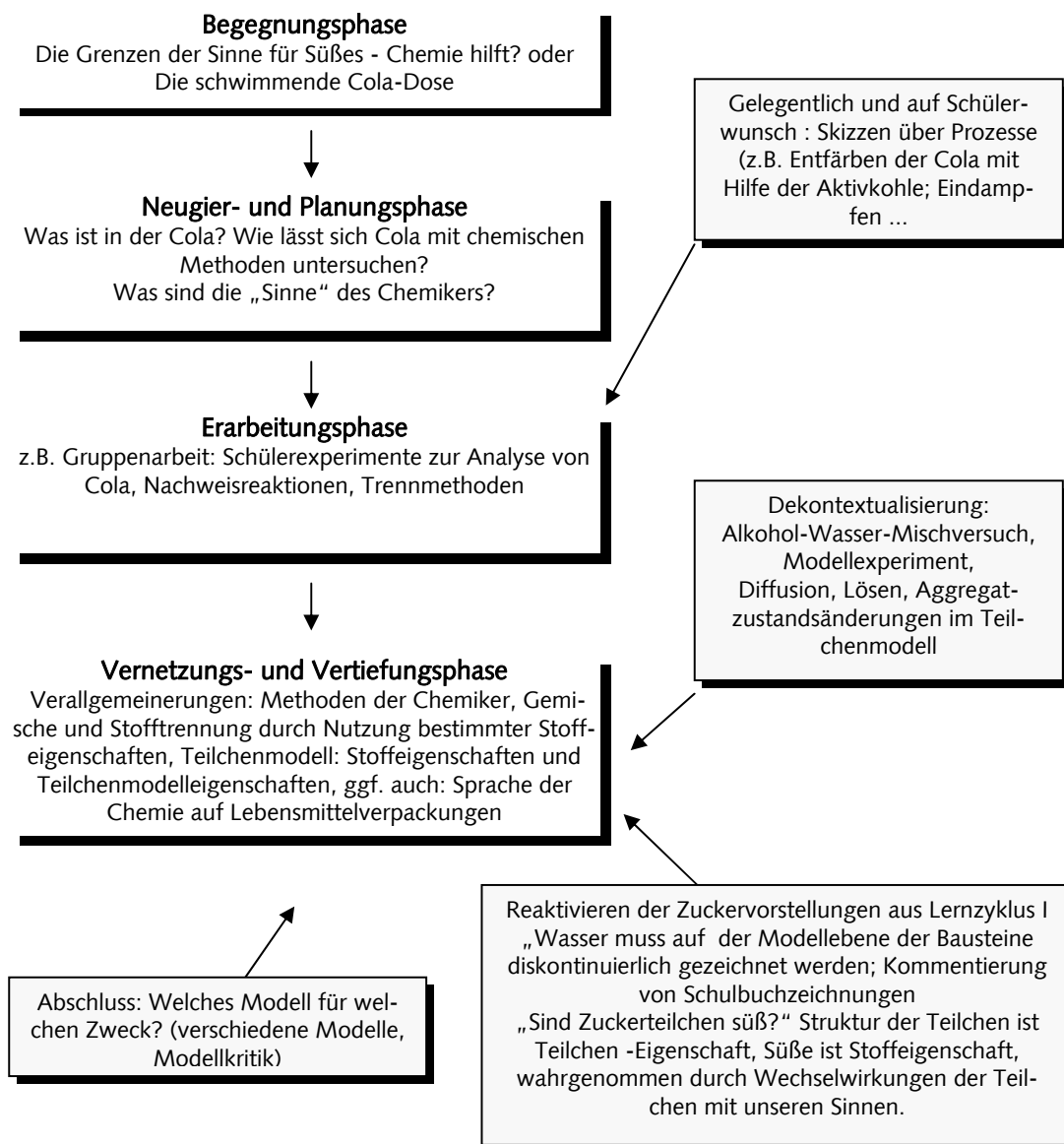


Abb. 5.16: Fließschema zur Gestaltung einer möglichen Unterrichtssequenz zum Thema „Die Sinne des Chemikers“

Eine abschließende Betrachtung der Angaben auf verschiedenen Lebensmittelverpackungen kann einen Einblick in die Sprache der Chemie geben; sie stellt gleichzeitig aber auch die Informationskraft dieser Angaben in Frage, wenn diese Sprache nicht ausreichend beherrscht wird.

Alternative Einheiten wie „Shampoo-Herstellung“ (vgl. z.B. *Material CD der Projektgruppe 2000-2008, Kontext bisher unveröffentlicht*) oder „Pommes-grün-weiß“ (Hellerberg 2002) können die Schlüsselemente (im ersten Fall über den Geruchssinn, Arbeitsblatt Anhang I) ebenfalls

einsetzen und diese Basiskonzeptanteile auch erreichen, wenn auch die Inhalte anders gelagert sind.

5.4.2. Brände, Erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen

(vgl. SCHMIDT et al. 2003a, DEMUTH et al. 2009)

Aus den theoretischen Vorarbeiten (vgl. 5.1-5.3) leitet sich die Forderung ab, Lernumgebungen so zu gestalten, dass Schüler ihre bereits vorhandenen Erklärungskonzepte einbringen können, dass sie aber gleichzeitig in einer möglichst alltagsrelevanten Problemsituation auch die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Konzepte erkennen. Die neu erarbeiteten Konzepte müssen sich direkt an einer möglichst realen Fragestellung bewähren, wodurch ein späterer Transfer auf ähnliche Fragen erleichtert werden sollte. Folglich ist es notwendig, das exemplarisch erworbene Wissen aus seinem konkreten Kontext herauszulösen, es auch in anderen Situationen anzuwenden und auf einer abstrahierten Ebene allgemeine Lösungsstrategien sowie ein kontextunabhängiges Konzeptverständnis aufzubauen (REINMANN-ROTHMEIER 2001, MANDL et al. 2001).

Der Themenkomplex Brände-Verbrennungen-Brandschutz ist zu Zeiten der Entwicklungsphase dieses Vorhabens ein verbindlicher Inhalt in allen Lehrplänen der Sekundarstufe I gewesen (und auch heute werden viel Kompetenzen damit verknüpft), dennoch sind gerade mit dieser Thematik häufig auch noch nach dem Unterricht alternative Vorstellungen, „Fehlvorstellungen“ verbunden (vgl. Kap 3, KSII). So werden Verbrennungen oftmals mit der Vernichtung von Materie in Verbindung gebracht, (da diese Vorstellung den phänomenologischen Eindruck widerspiegelt und die verbrannten Stoffe in der Tat nicht mehr vorhanden sind) obwohl das fachwissenschaftliche Konzept von der Erhaltung der Materie (genauer der Atome) dieser Vorstellung gegenüber steht und erlernt wurde. Vermutlich aus dem Unwohlsein heraus, möglicherweise eine fachlich falsche Vorstellung zu bestätigen, werden aus dem Alltag bekannte Verbrennungen zur Erarbeitung der Kennzeichen chemischer Reaktionen oftmals nicht thematisiert. Alltägliche Verbrennungen sind in Schulbüchern i.d.R. in einem eher phänomenologisch ausgerichteten Kapitel zu finden, das den Kapiteln zur Einführung der chemischen Reaktion und der Massengesetze hinten angestellt wird (Kennzeichen, Bedingungen, Brandschutz) und das viele neue Aspekte gar nicht aufgreift. Stehen demnach die Forderungen aus dem Bereich der Lehr-Lern-Theorien (siehe Kap. 5.2 und 5.3) im Widerspruch zu den Ansprüchen einer Entwicklung von fachwissenschaftlich korrektem Wissen und Verständnis?

Der Kontext *Brände, Erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen* lässt sich dabei in mehrere Teilabschnitte einteilen. Er beginnt mit dem Abschnitt *Feuer und Flamme*, der in diesem Rahmen zur Einführung des Begriffs der chemischen Reaktion genutzt werden soll. Die eigentliche Akzentuierung der Alltagskonzepte erfolgt über die Auseinandersetzung mit *unerwünschten Folgen* von *erwünschten Verbrennungen*. Damit verbunden ist die Zielrichtung, über die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Edukt und Produkt sowie der Betrachtung von Stoffkreisläufen das Konzept von den Atomen und deren Erhaltung einzuführen.

Zyklus I: Es brennt! Feuer und Flamme

Im ersten Unterrichtsabschnitt steht der Begriff der Verbrennung im Mittelpunkt. Zur unterrichtlichen Gestaltung des Themas *Brände und Brandschutz* sind zahlreiche Anregungen in der fachdidaktischen Literatur zu finden (z.B. HeLP 1999, DEMUTH et al. 2009). Noch bei der Gültigkeit der früheren Rahmenrichtlinien schlug die ChiK-Arbeitsgruppe vor, diesen Themenabschnitt innerhalb des Curriculums soweit nach vorne zu legen, dass er zur *Einführung des Konzepts der chemischen Reaktion* dienen kann. Die Thematisierung kann z.B. durch eine Fotocollage verschiedener Brände und durch die reale Demonstration einiger spektakulärer Verbrennungen oder auch einem Lagefeuer erfolgen.

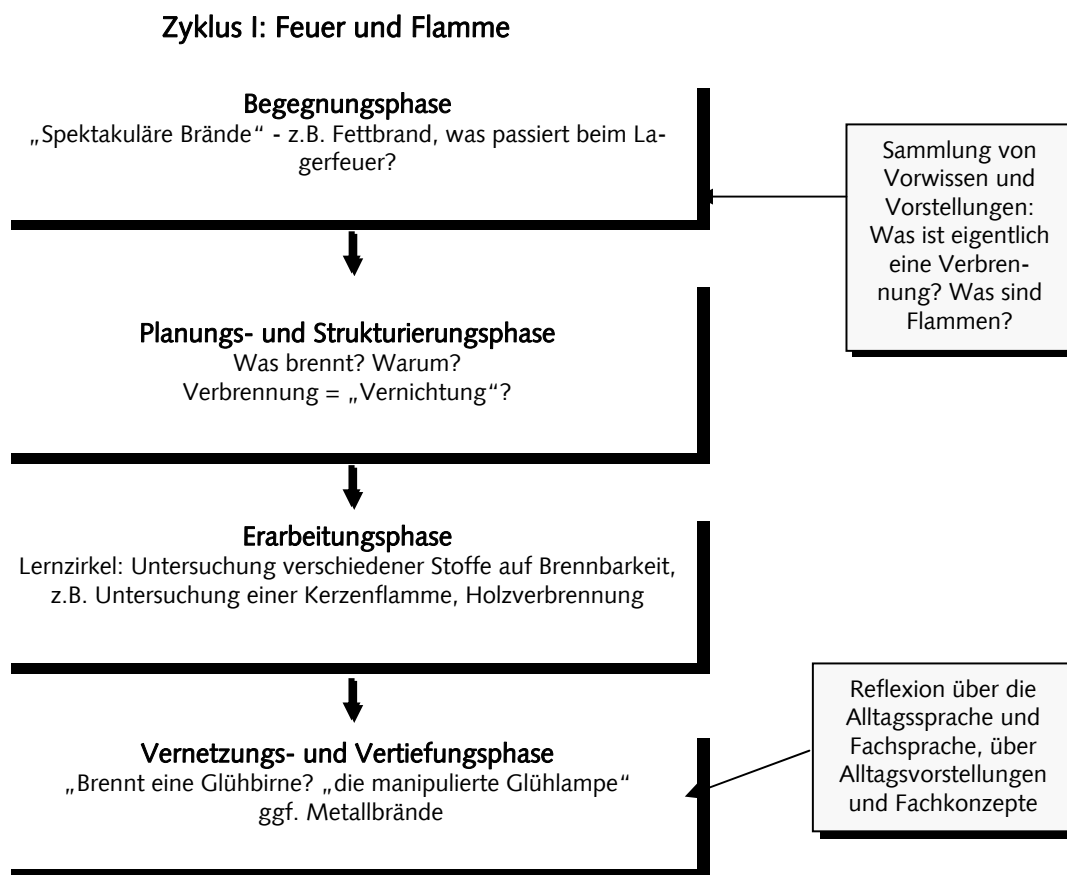


Abb. 5.17: Phasenschema des ersten Zyklus

Ziel der nachfolgenden Erarbeitung, wie sie in Abb. 5.17 skizziert ist, ist ein Übergang vom alltäglichen Gebrauch der Begriffe *Brände* und *brennen* zu einer fachwissenschaftlichen Definition des Begriffs *Verbrennung*. Dabei werden zentrale Merkmale einer chemischen Reaktion angesprochen: die Veränderungen auf stofflicher Ebene sowie der Austausch von Energie mit der Umgebung. Hier wird zugleich mit der „Vernichtung“, Zerstörung der Ausgangsstoffe auch das damit einhergehende Entstehen neuer Stoffe betont. Bei der Sammlung der Kennzeichen von Bränden lässt sich dabei zwanglos die Frage stellen: *Was passiert eigentlich mit einem Brennstoff bei seiner Verbrennung?*⁴⁰ Dabei können nach bereits vorgeschlagener Technik Vorstellungen der Schüler hervorgehoben und diskutiert werden.

Die mit der *Stoffumwandlung* verbundenen Probleme sind bereits erörtert worden (vgl. Kap. 2, Kap. 4). Deshalb wird das Begriffspaar Stoffzerstörung und -entstehung gewählt. Zur Sicherung der erarbeiteten Begrifflichkeiten und Definitionen kann ferner das folgende – den Schülererfahrungen nach eher untypische - Experiment eingesetzt werden (vgl. Abb. 5.18).

⁴⁰ Oft kann auch auf Vorerfahrungen aus der Grundschule aufgebaut werden (vgl. z.B. Chemol-Konzept).

„Brennt eine Glühbirne?“

„Die Lampe brennt.“; „Ich habe das Licht brennen lassen.“ - Aussagen wie diese gehören zweifellos zum Alltagsjargon. Mit der Erarbeitung der Inhalte des ersten Abschnitts sind die Schüler in der Lage, den Ablauf einer chemischen Reaktion beim Betätigen einer herkömmlichen Glühlampe auszuschließen: eine Energieumwandlung findet statt, aber keine Stoffvernichtung und –entstehung. Diese immanente Wiederholung der Kriterien einer chemischen Reaktionen liefert zugleich einen Weg, die Alltagssprache auf den Prüfstand zu stellen. Eine erneute Reflexion gelingt durch ein weiteres, überraschendes Experiment: Wird in den Glaskolben einer Glühlampe ein kleines Loch präpariert und die Lampe anschließend betätigt, tritt Wolfram mit Sauerstoff (nach der Zufuhr der Aktivierungsenergie) in Reaktion.



Die manipulierte Glühlampe (nach JANSEN 1982)

Demoversuch: Betätigen einer (besonderen) Glühlampe

Bei der betätigten Glühlampe handelt es sich um eine manipulierte Glühlampe; eine Lampe, in deren Glaskolben mit Hilfe des Bunsenbrenners ein kleines Loch geschmolzen wurde. Dieses Loch ist kaum bzw. nur bei genauem Hinsehen erkennbar. Vorbereitung:

Material: Gasbrenner, Glühlampe (40-100W) und Fassung, Spannungsquelle, Kabel

Vorbereitung: In den Glaskolben einer Glühlampe wird mit Hilfe des Brenners ein kleines Loch geschmolzen; dafür muss erst der gesamte Kolben vorsichtig erwärmt werden, um danach die nichtleuchtende Flamme auf einen Punkt der Fassung zu fokussieren, bis sich der Kolben nach außen wölbt und schließlich platzt.

Durchführung: Eine 40W (-100W) Glühlampe wird in eine Lampenfassung geschraubt, eine Spannung wird angelegt.

Wird diese Glühlampe in eine Fassung gegeben und eine Spannung angelegt, so leuchtet die Lampe kurz sehr hell auf und erlischt dann. Die Glühwendel ist anschließend gebrochen und nicht mehr vollständig vorhanden, stattdessen hat sich ein weiß-gelbliches Produkt (Wolframoxid) gebildet und an der Innenwand der Glasfassung niedergeschlagen.

Aufgabe: Halte alle wichtigen Beobachtungen fest.

Welche Erklärung hast du für das Gesehene?

Worin siehst du Unterschiede zum normalen „Durchbrennen“ einer Lampe?

Welche weiterführenden Fragen ergeben sich und wie könnten diese geprüft werden?

(z.B. Womit sind herkömmliche Glühlampen gefüllt? Weshalb wölbt sich der Glaskolben beim Schmelzen nach außen? Welches Gas ist das für die ablaufende chemische Reaktion Verantwortliche? Was geschieht beim „normalen Durchbrennen“?)

Abb. 5.18a und b: Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt für den Lernzyklus II, mit Lösungen

Erfahrungen nach erzeugen diese Beobachtungen, die im Gegensatz zum herkömmlichen „Durchbrennen“ stehen, eine starke Verwunderung. Das Experiment regt die Schüler zu Diskussionen über die Herkunft des Lochs in dem Glaskolben sowie zur Deutung der überraschenden Beobachtung an. Vermuten die Schüler den Tatbestand, dass das Loch bereits vorher in den Kolben geschmolzen wurde, so können sie schlussfolgern, dass die zugeführte elektrische Energie eine Reaktion zwischen dem Wolfram und der eindringenden Luft ermöglicht hat. Oftmals nennen sie dabei Sauerstoff als den eigentlichen Reaktionspartner. Dies kann näher untersucht werden, indem man einen weiteren Glaskolben präpariert und mit Sauerstoff füllt, bevor man die Reaktion auslöst. Das Ergebnis zeigt, dass der Wolframdraht nach dieser Reaktion sogar vollständig verschwunden ist. Das beschriebene Experiment kann darüber hinaus dazu genutzt wer-

5. Schlüsselemente für den Unterricht

den, um die Frage nach der Brennbarkeit von Metallen allgemein zu untersuchen. Auch die Zusammensetzung der Luft sowie die Eigenschaften verschiedener Gase inkl. der Edelgase können hier erarbeitet werden.

	Leuchtende Glühlampe	Durchgebrannte Glühlampe	Geöffnete Glühlampe
Beobachtungen am Wolframdraht und im Glaskolben	Draht glüht: gibt Wärme und Licht ab	Draht nicht mehr durchgängig vorhanden, z.T. kleine schwarze Flecken am Glas	Draht fehlt, statt dessen weiß-gelblicher fester Stoff am Glaskolben
Deutung der Beobachtungen	„Reibungswärme“ durch Strom	Wolfram an einer Stelle mit der Zeit sublimiert (und resublimiert).	Neuer Stoff entstanden. Wolfram hat mit einem Bestandteil der Luft reagiert, vermutlich mit Sauerstoff

Abb. 5.19: Arbeitsblatt für die Zusammenfassung, siehe Anhang I

Zusammenfassend können schließlich als Kriterien einer chemischen Reaktion festgehalten werden, dass die eingesetzten Stoffe zerstört werden (im Falle einer alltagsrelevanten Verbrennung der Brennstoff und Sauerstoff), neue Stoffe entstehen und Energie umgeformt wird (bei einer Verbrennung werden Wärme und Licht an die Umgebung abgegeben). Verbrennungsprodukte müssen untersucht und nachgewiesen werden (vgl. z.B. DEMUTH et al. 2009). Eine Verbrennung kann im Besonderen definiert werden durch das Auftreten von Flammen und Wärmeentwicklung (das Verglühen kann ggf. davon abgegrenzt werden, vgl. RÖMPP 1996, DEMUTH et al. 2009, 24ff). In einem nächsten Schritt soll nun diese phänomenologische Beschreibung mit dem fachlichen Konzept der Erhaltung der Materie verknüpft werden.

Zyklus II: Erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen – Gibt es bessere Alternativen für eine mobile Gesellschaft?

(vgl. SCHMIDT et al. 2003a, DEMUTH et al. 2009)

Ausgangspunkt für die nachfolgende Erarbeitung ist die gesellschaftlich geführte Diskussion um Kohlenstoffdioxid und dessen mittlerweile als gesichert anzusehender Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt (vgl. PARCHMANN, KAMINSKI et al. 1995, PARCHMANN, JANSEN 1996, HUG 2000, IPCC 2006). Die Fragestellung wird in diesem Unterrichtsgang exemplarisch für die Betrachtung einer *mobilen Gesellschaft*, folglich für die Verbrennung von Treibstoffen verfolgt. Die in Abbildung 5.20 gezeigten Elemente wie der Verkehrsstau („Immer mehr Autos“) und Zeitungsheadlines können an Gesprächsanlass dienen und mit einer Schülerrecherche um Daten und Fakten bereichert werden.

5. Schlüsselemente für den Unterricht



„Das wärmste Jahr überhaupt!“ (2006)

Abb. 5.20: Einstiegsmaterial zur Problematisierung, Quelle: links: Karikatoon 2004, rechts: http://87.106.16.9/wohnraumhelden/cms/uploads/pics/stau_DW_Sonstiges_P_171036g.jpg, gesichtet 6.10.2009

Gemeinsam mit den Schülern können eine Reihe von Fragen entwickelt werden, die die weitere Erarbeitung strukturieren: „Produziert die Verbrennung von Treibstoffen immer Kohlenstoffdioxid? Kann man die Produkte von Verbrennungen vorhersagen?“ u.a.m... Diese Fragen können anschließend in konkrete Arbeitsfragen überführt werden: „Welche Treibstoffe erzeugen durch ihre Verbrennung Kohlenstoffdioxid, welche nicht? Gibt es einen vorhersagbaren Zusammenhang zwischen den Treibstoffen und den entstehenden Produkten?“ Die Abbildung 5.21 skizziert den möglichen Gang des zweiten Zyklus.

Zyklus II: „Erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen“

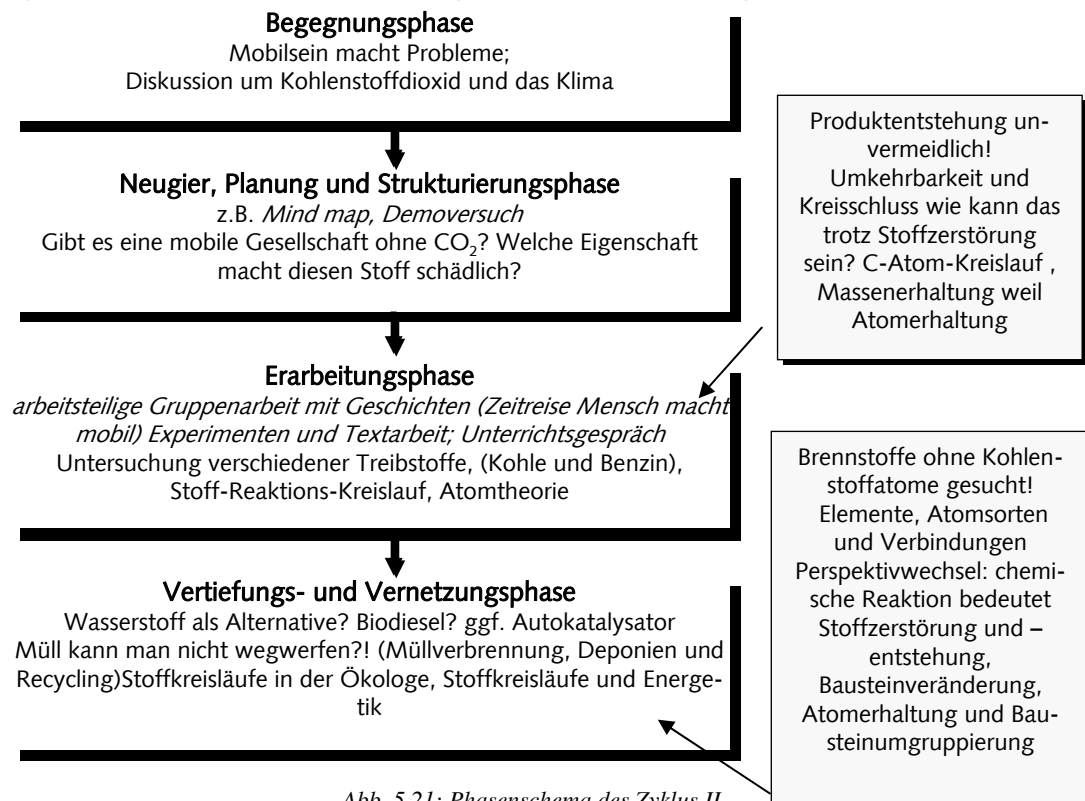


Abb. 5.21: Phasenschema des Zyklus II

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Durch eine arbeitsteilige Gruppenarbeit sollen die Schüler für ausgewählte Treibstoffe (*Mobil mit der Bahn* am Beispiel Kohle, *Auto-Mobil* am Beispiel Benzin) Informationen über deren Herkunft, Einsatz und mögliche Folgen der Verbrennung zusammenstellen. Eine Zeitreise zum Thema Mobilität (vgl. Abb. 5.22 und Anhang I) kann diese Erarbeitung gliedern. Die Schüler bekommen Material zur Verfügung gestellt, sollen aber ebenfalls auf Kenntnisse aus anderen Fächern (z.B. Biologie: Fotosynthese) zurückgreifen. Für die anschließende Präsentation bekommen die Gruppen ferner den Auftrag zu demonstrieren, dass bei der Verbrennung „ihres“ Treibstoffs tatsächlich Kohlenstoffdioxid entsteht⁴¹.

Geschichte einer mobilen Gesellschaft⁴² (Abbildungen, Versuche, Texte) Ausschnitte:

„Blicken wir ins 18. Jahrhundert, denn dort setzt in Sachen Mobilität etwas nahezu Revolutionäres ein. Bis dahin wurde jegliches Gefährt aktiv kraft des Menschen oder von Tieren, z.B. von Pferden, angetrieben und in Bewegung gesetzt. Auf diese Zeiten ist z.B. die Bezeichnung „PS“ für „Pferdestärken“ (1PS = Bewegung, die durch ein Zugpferd ausgeübt wird) zurückzuführen. Aber um das Jahr 1700 nehmen sich verschiedene Forscher in Deutschland und England der Aufgabe an, die eingesetzte Kraft der Tiere und der Menschen durch Maschinen zu ersetzen, die Energie so umsetzen, dass diese zum Antrieb, beispielsweise zur Fortbewegung genutzt werden kann. [...] Wie konnte so eine „Kraftmaschine“ konstruiert werden?“ [...]

Es fehlte nicht an warnenden Stimmen: „Die schnelle Bewegung muß den Reisenden unfehlbar eine Gehirnkrankheit ...erzeugen, Wollen aber dennoch Reisende dieser grässlichen Gefahr trotzen, so muß der Staat wenigstens die Zuschauer schützen...“ (*Aus dem Gutachten des Bayrischen Obermedizinkollegiums 1838, zitiert aus Hug 1975, 166*)

[...]

Wir widmen uns nun der Geschichte des Automobils. Wann wurde der Sonntagsausflug nicht mehr mit der Kutsche, sondern mit Motorkutschwagen und Automobilen begangen? [...]

Die Maschine, die dem Automobil zur heutigen Bedeutung und Beliebtheit verhalf, arbeitete nicht mehr indirekt, d.h. über den durch Verbrennung von Kohle oder anderen Brennstoffen erzeugten Wasserdampf, sondern nach „direktem“ Prinzip, bei dem der Brennstoff selbst bei der Verbrennung den Kolben in Bewegung setzt: ein Kraftstoffmotor!

[...]⁴³

Fragen:

Nenne die Energieumwandlungsschritte beim Kraftstoff-Motor und den Dampfmaschinen. Was wird in allen Fällen zum Antrieb benötigt?

...

Abb. 5.22: Ausschnitt aus der mehrseitigen Zeitreise zum Thema Mobilität, siehe Anhang I

Die Ergebnisse dieser Gruppenarbeit können als Postersession verglichen werden. Die Zusammenführung kann schließlich in Form einfacher Reaktionsschemata an der Tafel geschehen:

Verbrennung von Kohle:

Kohle + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid

Entstehung von Kohle:

Kohlenstoffdioxid + Wasser → Traubenzucker + Sauerstoff

Traubenzucker → ... → Blätter, Holz → ... → Kohle

⁴¹ Der Kohlenstoffdioxid-Nachweis mit Kalkwasser ist aus dem Unterricht ja bekannt.

⁴² Die vollständigen Materialien zur Unterrichtsreihe können der CD im Anhang entnommen werden.

⁴³ Zusammenstellung aus: BLUME, KUNZE et al. 1995, BOYSEN, GLUNDE et al. 1991, HÄUSLER, PFEIFER et al. 1996, HELP 1999; ARBEITSKREIS ENERGIE 1995.

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Die Schüler können nun zu den eingangs formulierten Fragestellungen festhalten, dass es offensichtlich einen Zusammenhang zwischen den verbrannten Stoffen und den neu entstehenden Produkten gibt, dass sich „stofflich der Kreis schließt“: „Der Kreislauf beginnt immer wieder von neuem, [...] die Stoffe können wieder gewonnen werden!“ (Aussage eines Schülers, Jahrgang 9, vgl. SCHMIDT et al. 2003). Gemeinsam kann daraufhin ein einfacher Kohlenstoffkreislauf aufgestellt werden; dieser kann je nach Unterrichtsverlauf natürlich beliebig erweitert werden, z.B. durch die Integration anderer Prozesse (Zuckerverkohlung) oder durch energetische Angaben (vgl. z.B. Abb. 5.23).

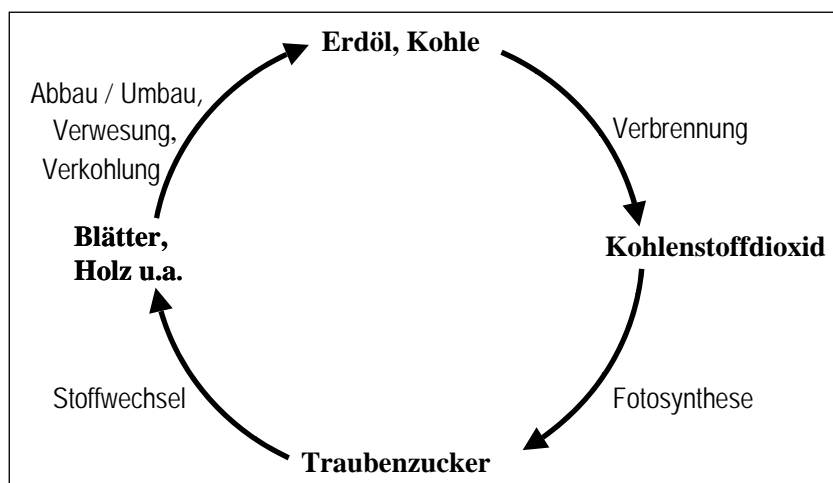


Abb. 5.23: Einfacher Kohlenstoffkreislauf zur Entstehung und Verbrennung fossiler Rohstoffe

Sie können somit konstatieren, dass die verbrannten Stoffe prinzipiell wieder hergestellt werden können; eine Tatsache, die die Idee einer vollständigen Vernichtung von Materie zumindest in Frage stellt. An dieser Stelle reichen ihre bisherigen Erklärungskonzepte allerdings nicht mehr aus, um diese Ergebnisse zu interpretieren. *Was kreist eigentlich in einem Stoffkreislauf? Wie wird die Entstehung der Produkte durch die Ausgangsstoffe vorbestimmt?* Mit der Erarbeitung des Stoffkreislaufs können die Schüler dazu motiviert werden, nach einer Erklärung *hinter der stofflichen Ebene* zu suchen, d.h. Spekulationen auf der Modellebene der Teilchen (Bausteine, vgl. Kap. 4) anzustellen. Die Schüler benötigen hier weiterführende Ideen und Theorien, die ihnen nachfolgend aus der Wissenschaft Chemie angeboten werden.

Damit ist der Weg zur Erarbeitung des Erhaltungskonzepts, dass konventionell zuerst allein über die Stoffebene (Massenerhaltung, meist anhand einer reinen Feststoffreaktion) eingeführt wird, konsequent an die lebensweltliche Verbrennungsvorstellungen gebunden.

Auch wenn Schüler die Massenerhaltung und die Atomerhaltung kennen gelernt haben, so wenden sie dieses Konzept bezogen auf *Verbrennungen* oft nicht an, so belegen Studien zu Vorstellungen zur Verbrennung (vgl. z.B. SUMFLETH 1992, BERGHOFF 1996, BOUJOUDE 1991 und Kap. 3.3.2). Dies geschieht demnach bei einer Themenstellung, bei der gerade ein Erhaltungskonzept als über die Grenzen des Faches hinaus als bedeutsam und sehr sinnvoll angesehen werden muss (Beurteilung, Handlungsfähigkeit, gesellschaftliche wie individuelle Verantwortung). Daher nimmt die *Chemie im Kontext*-Konzeption zur Einführung der Kennzeichen chemischer Reaktionen - wie gefordert - gerade diese Beispiele auf, um Vorstellungen als Ausgangspunkt nach kontinuierlichen Lernweg-Verständnis für das Legen neuer wissenschaftlicher Vorstellungen zu nutzen: Über die gleichzeitig immer auftretende *Entstehung neuer Stoffe* wird problemati-

5. Schlüsselemente für den Unterricht

siert, dass eine *Anlage* der Produkte in den Ausgangsstoffen auf Teilchenebene vorhanden sein muss.

Schlüsselement: Ideen großer Chemiker - Das Konzept von den Atomen

Verschiedene historische wie aktuelle Textstellen zum Konzept von der Existenz und der Erhaltung von Atomen sind geeignet, um Schülern ein Erklärungskonzept anzubieten, beispielsweise die nachfolgende Aussage von JOHN DALTON

„Wir können wohl versuchen, einen neuen Planeten dem Sonnensystem einzuverleiben oder einen anderen zu vernichten als ein Atom zu erschaffen oder zu zerstören. Änderungen, die wir hervorbringen können, bestehen immer nur in der Trennung von Atomen, die vorher verbunden und in der Vereinigung solcher, die vorher getrennt waren.“ (JANSEN 1982, 27)

Entscheidend für die Akzeptanz eines neuen Konzepts ist u.a. dessen Tauglichkeit und Bewährung in verschiedenen realen Problemsituationen (vgl. Kap. 5.3. und DUIT 1995). Die Schüler bekommen daher den Auftrag zu prüfen, ob das Konzept von der Existenz und Erhaltung der Atome geeignet ist, den oben aufgezeigten Zusammenhang zwischen Brennstoffen und Produkten zu erklären. Verschiedene Bedingungen müssen im Falle einer Zustimmung erfüllt sein, z.B. das Vorhandensein von Kohlenstoffatomen in allen Stoffen des Stoffkreislaufs, unabhängig von den Eigenschaften der jeweiligen Stoffe. Ein von JOHANNMEYER et al. (2001) publiziertes Experiment kann ebenfalls als Bestätigung herangezogen werden: In einer Variante des traditionellen Boyle-Versuchs kann demonstriert werden, dass die Masse bei der Verbrennung von Kohle in Sauerstoff erhalten bleibt, obwohl der Kolben nach der Reaktion scheinbar leer ist (vgl. Abb. 5.24)! Etwaige Schülervorstellungen, dass Gase per se leichter seien (STAVY 1990, vgl. Kap. 3.3.2 KS A1) als Feststoffe und Masse verschwindet, können hier explizit erörtert werden, die Beobachtung von der Vernichtung der Stoffe kann mit der Theorie von der Erhaltung der Atome wiederum in Einklang gebracht werden. Die Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen wird somit in dem von uns vorgeschlagenen Weg in einem Zuge mit der Einführung der Atomerhaltung erarbeitet und auf eben diese Erhaltung zurückgeführt. Die mögliche Vernichtungsvorstellung kann der experimentell bestimmbar Massenerhaltung gegenübergestellt, was diesem Experiment entscheidenden funktionalen Charakter gibt: der Erzeugung eines kognitiven Konflikts.

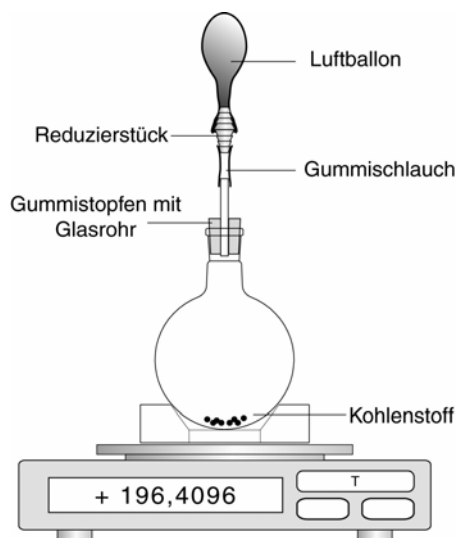


Abb. 5.24: Der „Boyle“-Versuch mit Kohlenstoff nach JOHANNMEYER, et al. (2001)

5. Schlüsselemente für den Unterricht

Schlüsselemente sind das Ergebnis einer didaktischen Strukturierung im Dreieck der didaktischen Rekonstruktion unter Zuhilfenahme der Vorschläge zum Conceptual Change. Der Vorschlag soll nunmehr einer Prüfung der Kriterien unterliegen. Das folgende Schema veranschaulicht die miteinander vernetzten Teilaspekte:

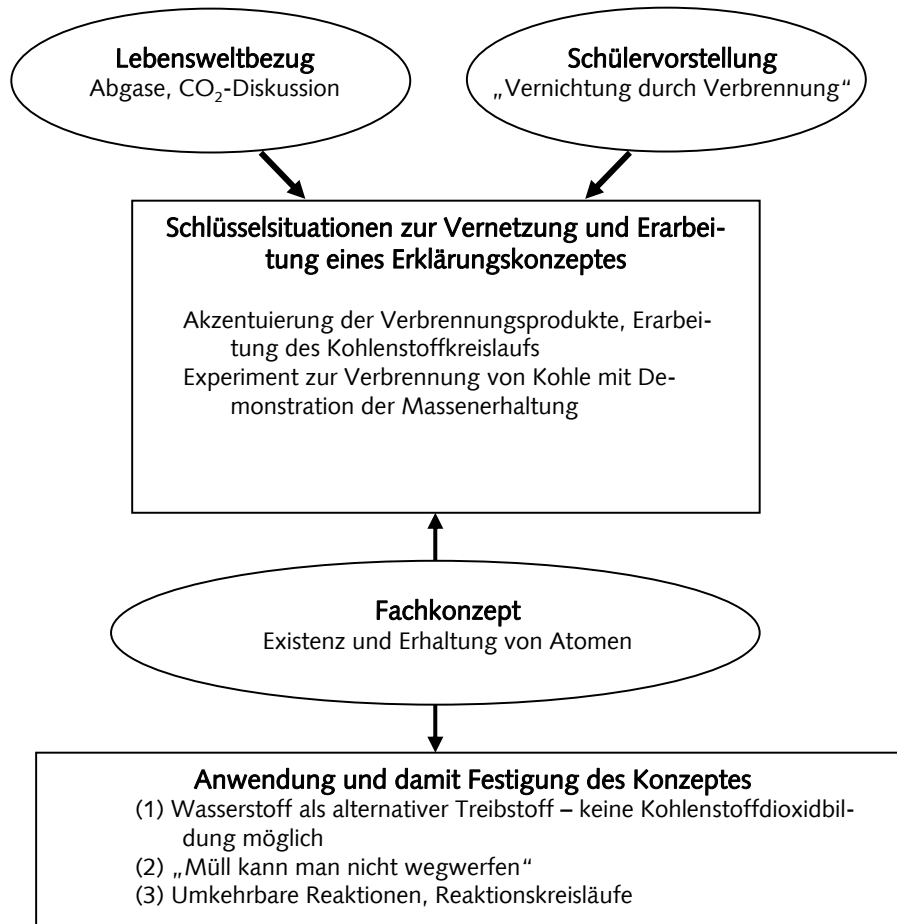


Abb. 5.25: Schlüsselement im Zyklus II

Auf die Merkmale eines an den Schülervorstellungen ausgerichteten Unterrichts wird geprüft:

- Merkmal *Anknüpfen*: Hervorlocken und Aufgreifen von Schülervorstellungen zur Verbrennung sind von zentraler Bedeutung. Der erste Zyklus ermöglicht eine phänomenologische Herangehensweise, in der die Artikulation und der Austausch von Vorstellungen stattfinden. Die Deutungen der Schüler werden damit zum Ausgangspunkt für weitere Schritte.
- *Authentisches Problem*: Das bekannte Thema ist Mittel der Konzepterweiterung im Sinne eines kontinuierlichen Lernweges:
- Das Aufwerfen einer Problemstellung, die gesellschaftliche Relevanz hat und nicht allein fachlich motiviert ist, unterstützt die Rahmenbedingungen für Conceptual Change (vgl. Kap. 5.1. und 5.2). Zentraler Punkt für die Diskussion um die Folgen von nutzbaren Verbrennungen ist die Frage nach der *versteckten Systematik*, die die Entstehung des Pro-

duktes Kohlenstoffdioxid aus verschiedenen Brennstoffen entscheidet. Für die Problembewältigung sind Betrachtungen auf der Modellebene der Teilchen und Atome notwendig, das Stoff-Teilchenkonzept wird geprüft und notwendigerweise ausgebaut.

- Ermöglichen des *diskontinuierlichen Lernweges* durch den kognitiven Konflikt: *Das Verschwinden* von Kohle – die Masse bleibt konstant! Der Versuch kann Dissonanzen erzeugen, die für Schüler, die der Stoffebene treu sind, einen Übergang zur Modellebene *des nicht mehr Sichtbaren* attraktiv machen. Damit wird ein weiterer Lernweg geboten.
- *Aktives Auseinandersetzen und Umdeuten*: Die Schüler sollten anhand ihres bisherigen Teilchenkonzepts einen Lösungsvorschlag erarbeiten und die Begrenztheit des Modells herleiten. Damit wird konzeptuelle Kontinuität geboten: Das Atommodell wird nicht unabhängig vom Teilchenkonzept angeboten, wie es in den Vorschlägen im Kap. 2 der fachlichen Klärung kritisiert wurde.
- *Fruchtbarkeit und Gewinn der Konzepterweiterung*: Der Aufwand der kognitiven Erweiterung wird honoriert, weil nicht ein einzelner Versuch betrachtet und ausgewertet, sondern ein komplexes Problem, damit die Gesamthematik, bewältigt wird. Damit wird der Zusammenhang den Forderungen des Situated Learning gerecht.
- *Bewähren der neuen Vorstellungen in anderen Kontexten*: Die Behandlung des Atomkonzepts muss selbstverständlich im Anschluss weiter vertieft und variiert werden, z.B. durch eine Betrachtung weiterer Kreislaufprozesse, umkehrbarer Reaktionen u.a.m.. Entscheidend für die Umsetzung der Prinzipien des situierten Lernens ist es, die neu eingeführte Theorie auch wieder auf die ursprünglich aufgeworfenen Fragestellungen zu beziehen, in diesem Fall also auf die Frage nach alternativen Treibstoffen. Die Einschätzung der Güte der alternativen Brennstoffe kann systematisiert werden, denn strategisch wird nach darin enthaltenen Atomsorten gesucht. Die Biologischen Vorgänge Photosynthese und Atmung sowie weitere Stoffsystemkreisläufe (z.B. Wiederverwertung von Müll) werden verständlich.

Anwendung: Auf der Suche nach alternativen Treibstoffen

(vgl. SCHMIDT et al. 2003, DEMUTH et al. 2009)

Gibt es Treibstoffe, die nicht zur Kohlenstoffdioxid-Produktion beitragen? - Die Schüler können dieser Fragestellung zunächst einmal durch experimentelle Untersuchungen nachgehen, als Beispiele wurden Wasserstoff oder auch Biodiesel genannt. Darüber hinaus können die Ergebnisse wiederum mit dem Konzept der Atome interpretiert werden: Wenn die Verbrennung von Wasserstoff kein Kohlenstoffdioxid und auch sonst keine Kohlenstoffhaltigen Produkte erzeugt, kann Wasserstoff keine Kohlenstoffatome enthalten! Zu diesem Zeitpunkt können verschiedene Atomsorten sowie der Begriff der Elemente eingeführt und erklärt werden. Auch eine weiterführende Betrachtung der Eigenschaften des Wasserstoffs kann sich problemlos anschließen. Schwieriger ist die Frage nach der Beurteilung des Biodiesels als Alternative, dessen Verbrennung erzeugt nämlich sehr wohl Kohlenstoffdioxid und widerlegt – scheinbar – den Werbeslogan, der *Biodiesel als Kohlenstoffdioxidfreien oder neutralen Treibstoff* darstellt. Hier können die Schüler erklären, warum es sich dennoch um eine allerdings begrenzt nutzbare Alternative handelt, indem sie erneut den Kohlenstoffkreislauf heranziehen und die Herkunft des Biodiesels mit der von Kohle oder Benzin vergleichen.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um alternative Treibstoffe kann – und muss - thematisiert werden, dass das Konzept von den Atomen zwar *eine* sinnvolle Basis zur Bewertung von Treibstoffen liefert, weil es eine Basis zur Vorhersage möglicher Reaktionsprodukte bietet, dass eine tatsächliche Bewertung von Treibstoffen aber von zahlreichen weiteren Folgen abhängt (Folgenabschätzung durch eine kritische Betrachtung des anthropogenen Treibhauseffektes, wirtschaftliche Faktoren, Energieaufwand zur Herstellung der Treibstoffe u.v.a.m.).

Zusammenfassung

Die dargelegte Einheit verfolgt Ziele auf verschiedenen Ebenen: Zum einen wird eine gesellschaftlich relevante Diskussion aufgegriffen und die Schüler erarbeiten eine fachlich fundierte Basis, auf der sie Entscheidungen verstehen oder auch selbst treffen können (BAUMERT 2001). Zum anderen wird anhand dieser übergeordneten Fragestellung ein zentrales Konzept der Chemie angesprochen und mit den bisherigen Kenntnissen verknüpft: das Konzept von der Existenz und der Erhaltung der Atome. Die Vernetzung von Alltagskonzepten und fachlichen Konzepten erfolgt über reale Fragestellungen, in denen sich beide Konzepte bewähren müssen (vgl. Abb. 5.26 und z.B. STEINHOFF (2004)). In diesem Erarbeitungsprozess wird das Alltagsverständnis und Vorwissen zur Entwicklung kontextbezogener Fragen genutzt. Diese müssen in einem nächsten Schritt in fachspezifische Fragestellungen überführt werden, damit sie Ausgangspunkt für fachliche Erarbeitungen werden können. Die für die Beantwortung der Fragen eingeführten Fachkonzepte werden sowohl auf den Ausgangskontext (1. Schritt: Kohlenstoffatome im Kohlenstoffkreislauf; 2. Schritt: Übertragung auf andere Atomsorten, z.B. Wasserstoff, in anderen Treibstoffen) als auch auf andere Kontexte (z.B. Müllentsorgung, Kreisläufe in einem Ökosystem) angewandt. Das folgende Schema veranschaulicht diesen Wechsel aus kontextbezogenen und abstrakten Betrachtungen.

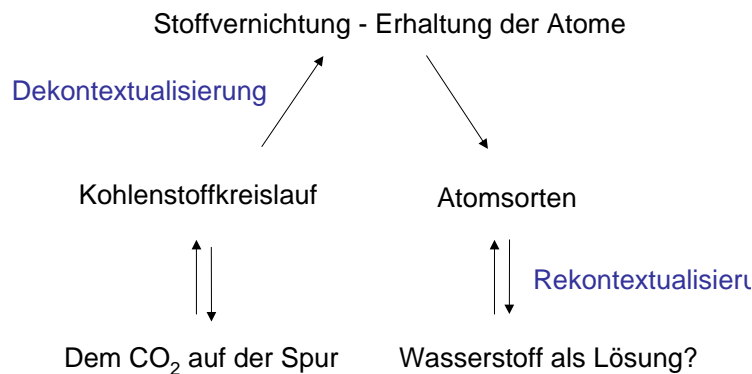


Abb. 5.26: Wechsel aus kontextbezogenen Fragestellungen und der Erarbeitung und Anwendung fachlicher Konzepte (SCHMIDT et al. 2003:219)

Ergänzung: Treibstoffe und das Basiskonzept Energie

Die dargelegten Überlegungen zum Stoff-Teilchen-Verständnis können darüber hinaus um energetische Betrachtungen ergänzt werden: Eigene Erfahrungen haben gezeigt, dass gerade die Betrachtung von Bränden und Feuer einen guten Ansatzpunkt bietet, um die Begriffe *Aktivierungsenergie* sowie *exotherme und endotherme* Reaktionen voneinander abzugrenzen. Für Schüler ist das Anzünden eines Feuers oftmals so dominant, dass sie behaupten, diese Reaktion sei endotherm. Gerade die zuvor ausführlich diskutierte Nutzung von Verbrennungsreaktionen macht jedoch schnell deutlich, dass hier offensichtlich Energie an die Umgebung abgegeben wird, dass es sich also um exotherme Reaktionen handelt.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist die (einfache) Erörterung des Energiegehalts von Stoffen. Treibstoffe und Brennstoffe werden ebenso wie Nahrungsmittel häufig als Energieträger bezeichnet. Dabei scheint es kein Zufall zu sein, wie viel Energie ein Stoff enthält, da bestimmte Vorhersagen, beispielsweise über die Reichweite einer Tankfüllung oder den Brennwert eines Schokoriegels, möglich sind. Der Energiegehalt scheint demnach eine ebenfalls stoffspezifische Konstante (unter bestimmten Bedingungen) zu sein. Anhand der *erwünschten* Verbrennungen kann nachfolgend erarbeitet werden, wie die Energie, die in den Brennstoffen enthalten ist (ge-

5. Schlüsselemente für den Unterricht

speicherte Energie, Innere Energie, vgl. *Kerncurriculum 2007, Anhang Naturwissenschaften*) freigesetzt bzw. umgewandelt werden kann: durch eine chemische Reaktion mit Sauerstoff. Dabei können der Vorgang der Verbrennung und der der Atmung miteinander verglichen werden, da dieses Themengebiet oftmals parallel im Biologieunterricht des 9. Jahrgangs behandelt wird. Am Beispiel des Kohlenstoffkreislaufs kann ferner erarbeitet werden, dass die Energie, die in einem Brennstoff gespeichert ist, letztlich umgewandelte Sonnenenergie ist. Hier wird – wiederum mit Bezug auf den Biologieunterricht, Thema *Ökologie* – gleichzeitig deutlich, dass es zwar *Stoffkreisläufe* (genauer *Kreisläufe der Atome*) gibt, dass die Energie aber nicht gleichermaßen *kreist*, sondern immer wieder neu von der Sonne zugeführt wird (Fotosynthese).

Mit diesen Teilkapiteln hat die didaktische Strukturierung eine Konkretheit erhalten, die über die reine Triangulation des Forschungsmodells hinausgeht, die aber theoriegeleitet verlief. (vgl. Kap. 4, vorne). Im nächsten Schritt werden die beiden Einheiten *Der Vorkoster in Not- die Chemie ersetzt en Vorkoster* und *Erwünschte Verbrennungen- unerwünschte Folgen* in der Praxis erprobt und empirisch begleitet.

6. Die empirische Untersuchung

6.1. Forschungsdesign und Aufgaben der Untersuchung

Aufgabe ist es, die Einheiten mit ihren Schlüsselementen praktisch umzusetzen und dies für die Analyse sinnvoll zu begleiten. Die Rahmenbedingungen der Konzeption Chemie im Kontext einerseits sowie die Basiskomponenten des Modells der Didaktischen Rekonstruktion andererseits haben das Arbeitsfundament geboten (vgl. Kap. 5, Abb. 5.8). Die Analyse der Erprobung wird Rückwirkungen auf die Inhaltsbereiche der Felder des Modells der didaktischen Rekonstruktion haben, das Kategoriensystem kann optimiert werden, das Basiskonzept kann überarbeitet werden. Neue Hypothesen können gebildet werden und neue Gestaltungselemente können entwickelt werden, die Wirksamkeit der Schlüsselemente kann abgeschätzt werden u.a.m. Dies bedeutet auch, dass die Einheiten der Konzeption somit formativ evaluiert werden können. Welches Untersuchungsdesign ist hierfür geeignet?

Bei der Erprobung liegt ein komplexes Merkmalsgefüge vor, woraus für die Analyse dessen, was an Treatment und Entwicklungsarbeit geleistet wurde, sinnvolle Ausschnitte gebildet werden müssen.

Forschungsinteressen	Konkrete Forschungsaufträge für die Untersuchung
In welcher Weise kann die Kontextualisierung des Chemieunterrichts mit Schülervorstellungen arbeiten?	Welche Schülervorstellungen und -konzepte treten im Unterricht nach <i>Chemie im Kontext</i> auf? Welche Veränderungen treten ein?
Wirken die Schlüsselemente als Lernangebote?	In welcher Weise verändern Vorstellungen und Konzepte sich, bzw. nicht? Gibt es Bezüge zum Unterricht ? Wenn ja, welche?

Tabelle 6.1: Die formulierten Forschungsfragen

Im Folgenden sollen zentrale Schlüsselbegriffe für die Charakterisierung des Designs der empirischen Untersuchung in Anlehnung an BORTZ & DÖRING (1995, 294ff) und MEYER & JANK (2002) abgehandelt werden.

Der empirische Teil dieser Arbeit ist eine *qualitative Feldstudie* und von *explorativem* sowie *formativem* Charakter:

Qualitative Forschung steht für kategoriengeleitetes oder -entwickelndes Interpretieren von verbal- oder schriftsprachlichen oder nicht-numerischen Material (Bortz 1995, 272).

„Aufgrund ihrer offenen Form erhöhen qualitative Datenerhebungen die Wahrscheinlichkeit, in dem detailreichen Material auf neue Aspekte eines Themas zu stoßen“ (ebd., 357f)

Demgegenüber steht Quantitative Forschung für das Messen und Quantifizieren von operationalisierten Parametern der beobachteten Welt.

Die aufgezeigten Forschungsfragen sind qualitativ ausgerichtet (*Welche Vorstellungen tauchen auf, in welcher Weise verändern sie sich?*) Sie zielen auf die Deskription individueller Produkte und Prozessverläufe ab. Wie in Kapitel 5 dargestellt, werden verschiedene Aspekte der Förderung von Konzeptveränderung umgesetzt, darunter metakonzeptuelle wie die Förderung der Reflektion, inhaltliche (lebensweltliche Kontextualisierung) wie auch methodische (eigenständiges Lernen). Damit werden miteinander komplex verwobene Merkmale des Unterrichts verändert, deren (quantitative) Operationalisierung zu diesem Zeitpunkt nicht möglich ist und für die Fragestellungen sogar hinderlich sein könnte. In Bezug auf die Schülervorstellungsveränderungen besteht aufgrund des geringen Forschungsstands über Entwicklungsverläufe in diesem sachfachlichen Zusammenhang und bezogen auf diese konzeptuellen Rahmenbedingungen kaum eine Grundlage, um quantitativ-geschlossen vorzugehen; der Operationalisierung entbehrt die Grundlage.

Aufgrund des Forschungsstands des Projekts ist eine *qualitativ* möglichst detailreiche Einsicht auch aus anderer Perspektive gewinnbringend: Die Erprobungen von ChiK-Unterricht vollziehen sich auf der Grundlage einer skizzierten Einheit mit Schlüsselementen, die in enger Zusammenarbeit mit Lehrkräften nach ihren jeweils eigenen didaktisch- methodischen Leitlinien umgesetzt werden (vgl. *symbiotische Implementationsstrategie z.B. in FUßANGEL et al. 2008*). Die praktische Umsetzung ist daher bewusst nur wenig normiert, jeder Praktiker setzt unterschiedliche Schwerpunkte, die Unterrichtssequenzen unterscheiden sich. Ein Vergleichsdesign wäre daher nicht sinnvoll. Die Offenheit und Vielfalt i.S. der qualitativen Empirie hat den Vorteil, dass durch die individuelle Umsetzung in der authentischen Unterrichtspraxis neue deskriptive Ergebnisse für den Ausbau der Konzeption und die Dissimination bereitgestellt werden könnten. Die Ergebnisse sind zuallererst qualitative Einzelergebnisse, aus denen sich in der Folge neue Forschungsfragen und Hypothesen entwickeln können, was für eine *explorative Herangehensweise* steht:

„Explorative Untersuchungen werden in erster Linie mit dem Ziel durchgeführt, in einem relativ unerforschten Bereich neue Hypothesen zu entwickeln oder theoretische, bzw. begriffliche Voraussetzungen zu schaffen, um erste Hypothesen formulieren zu können. Sie sind relativ wenig normiert.“ (BORTZ 1995, 49f)

Die Studie hat ferner *evaluativ formativen* Charakter für die konzeptionelle Arbeit an *Chemie im Kontext*: Ihr Forschungsertrag soll innerhalb des Entwicklungsprozesses der *Chemie im Kontext* Konzeption der gezielten Überarbeitung und Optimierung der bisherigen Vorlage dienen und Grundlage weiterer Erprobungen sein. Aufbauend kann dann mit größerer Stichprobe und quantitativem Design gearbeitet werden. Aus den Überlegungen scheidet ein Vergleichsgruppendesign aus, zugunsten eines qualitativen *Fallstudiendesigns*. Mit diesen Überlegungen geht einher, die mögliche Veränderung von Vorstellungen durch Chemie im Kontext- Unterricht im *authentischen Zusammenhang* im Feld zu erforschen müssen, d.h. mit *allen* Veränderungen, die ChiK-Unterricht mit sich bringt. Daher fällt die Erfassung der Daten in Laborsituationen ebenfalls aus.

In der Folge stellt sich die Frage nach der Validität der Ergebnisse und der Auswertungsmethodologie. Für die qualitativ und explorativ arbeitende empirische Forschung ist das Paradigma der Induktion charakteristisch. Quantitative und explanative Empirie steht für die hypothesenprüfende Ausrichtung mittels Deduktion.

Der Induktionsschluss führt vom Besonderen zum Allgemeinen, vom Einzelnen zum Ganzen usw. (Schluss von der *Conclusio* und der *Praemissa minor* auf die *Praemissa maior*, vgl. *ARBEITSKREIS ABDUKTIONSFORSCHUNG 2009*). Der Deduktionsschluss, eher der explanativ-nomothetischen Quantitativen Forschungstradition zuzuordnen, verläuft in entgegengesetzter Richtung: Vom Allgemeinen zum Speziellen, vom Ganzen zum Einzelnen (Schluss von der *Praemissa maior* und der *Praemissa minor* auf die *Conclusio*). Damit ist die Deduktion logisch stringent: Sind die Prämissen zutreffend und Ableitungsregeln richtig angewendet, so ist das Er-

gebnis der Deduktion zweifelsfrei wahr. Deduktionsschlüsse sind wahrheitskonservativ.⁴⁴ Induktion arbeitet demgegenüber immer mit der Unsicherheit über die Richtigkeit der Ergebnisse, weil sie nicht mit der logischen Eindeutigkeit arbeitet; streng lässt allerdings nur die Induktion neue Erkenntnisse zu (Empirismus). Ergebnissicherheit der Deduktion begründet sich nur darin, dass kein neues Wissen erzeugt wird. Mit Induktion ist daher per se auch das *Induktionsproblem* verbunden, welches keine Lösung erfährt. Induktion wird immer implizit unter der Voraussetzung der Unsicherheit und mit der *pragmatischen Begründung* für den Erkenntnisprozess betrieben (vgl. BORTZ 1995, JANK 2002, MEYER, Skript Prodidworkshop 23.06. 2003).

Welche Schlussfolgerungen haben die beiden methodologischen Positionen auf das Design der Untersuchung? Der Stand der empirischen Forschung zu Vorstellungen zum Stoff-Teilchenkonzept ist weit fortgeschritten – ein Kategoriensystem liegt vor (vgl. Kapitel 3.3.1 und 2). Aufgabe der Erfassung von Schülervorstellungen könnte demnach deduktiv bewältigt werden. Die Frage nach der Veränderung von Schülervorstellungen könnte ebenso mittels Deduktion beantwortet werden, dies hätte allerdings rein deskriptiven Charakter. Bei der hypothetischen Erklärung der Veränderungen in bezug auf die wirksamen Unterrichtselemente sind Deduktionsschlüsse nicht mehr möglich. Ein Verstehen der Daten und entwickelten Ergebnisse ist durch Induktion zu gewinnen. Die Veränderung von Schülervorstellungen und –konzepten ist einzubetten in die theoretische Basis des Conceptual Change und der Situated Cognition (vgl. Kap. 5), sie bilden formal die Basis für Induktionsschlüsse. Wesentlich ist aber, dass sowohl das theoretische Feld als auch der Untersuchungsgegenstand multikausale Bedingungsgefüge sind. Daraus folgt, dass induktive Schlüsse große Gefahr laufen, nicht vom Einzelnen zum Allgemeinen und der einen zugrunde liegenden Konklusion zu führen, sondern auf eine eventuell mögliche Prämisse unter anderen. Es ist prinzipiell nicht sicher, dass der Forscher unter der unendlichen Vielzahl der möglichen Gesetzmäßigkeiten gerade die richtige ausgewählt hat. Befinden sich unter den *hypothetisch erwogenen* Gesetzmäßigkeiten nur *falsche* Erklärungen, so kann auch im Prozess des Ausschleusens unzutreffender Hypothesen nicht am Ende die zutreffende Erklärung übrig bleiben. Diese methodologische Problematik ist charakteristisch für die Abduktion, einem weiteren, insbesondere in der empirischen Sozialforschung betriebene Methodologie: Das Verfahren des hypothetischen Schließens. Es geht zurück auf PEIRCE (1839-1914) und wurde im Rahmen der qualitativen Sozialforschung in Deutschland wiederentdeckt (vgl. z.B. OEVERMANN et al. 1979, REICHERTZ 2003).

Der abduktive Schluss sucht zu einer gegebenen Beobachtung eine mögliche allgemeine Gesetzmäßigkeit, die diese Beobachtung erklären könnte. Der abduktive Schluss spekuliert, er wertet Indizien.

„Der Abduktionsschluss ist rhetorisch, das heißt vielleicht wahr, und er ist potenziell Wahrheit entdeckend. Er bedarf zu seiner Absicherung unbedingt der Überprüfung mittels der hypothetisch-deduktiven Methode.“ (siehe ⁴³)

Aufgrund meiner theoretischen Vorlage erweist sich für die Suche nach Erklärungen, nach dem Verstehen von – u.a. unterrichtsdeterminierten - Veränderungen der abduktive Schluss.⁴⁵ Selbstverständlich werden die Abduktionen vorerst eine geringe Validität aufweisen, in Bezug-

⁴⁴ Wahrheit ist ein schwieriger Begriff. Konstruktivistisch kann darunter „intersubjektiv gültig“ verstanden werden.

⁴⁵ Generell betrachtet bleibt für die Abduktion offen, inwieweit sie neben Deduktion und Induktion *überhaupt eine Form des Schließens* sein kann. Es hängt die Beantwortung dieser Frage nach ALTENSEUER (2000) allein davon ab, "welches Vorverständnis man vom Begriff des Schlusses und des Schließens mitbringt", der überhaupt darauf verzichtet, die Abduktion explizit als "Schluss" zu bezeichnen: "Dieser Verzicht hat zwar keine guten Gründe, aber es hängt auch nichts daran, ob man den Prozess der Generierung von Hypothesen nun als "Schluss" oder aber als "Suche" bezeichnet. Entscheidend ist allein die Frage, wie Hypothesen gebildet werden". [zitiert nach: Arbeitskreis für Abduktionsforschung <http://user.uni-frankfurt.de/~wirth/>], gesichtet 12.07.2009

nahme auf den Stand des Projekts und des aufgezeichneten Arbeitsfundaments ist dies aber die Methode der Wahl und wird fruchtbar sein für Folgeuntersuchungen.

6.2. Das methodische Instrumentarium

Eingangs werden relevante Methoden kurz beleuchtet. Allererstes Ziel ist die Dokumentation von Vorstellungen bei einem Unterricht nach ChiK (vgl. Tabelle 6.1 mit Forschungsinteressen). Die klassische Methode der Erfassung von Schülervorstellungen ist das Interview. In anderen Fällen werden teils geschlossene, teils offene Paper und Pencil-Versionen eingesetzt (z.B. *TREAGUST 1986, 1989, NOVICK & NUSSBAUM 1985*), wenn eine entsprechende Ergebnisdichte über mögliche Vorstellungen und Konzepte aus vorherigen Studien dies zulässt. In jüngerer Vergangenheit werden verstärkt auch Concept-maps und so genannte Ownwordmaps eingesetzt (z.B. *MIKELSISS-SEIFFERT 2002, SCHANZE 2006*).

Interviews bieten den *Vorteil der Prozessbezogenheit*. In verlaufsoffenen, oder vorstrukturierten Interviews kann bezogen auf den stattgefundenen Dialog gezielt interveniert werden (z.B. durch Nachfragen bei Verständnisschwierigkeiten). So können die Daten eine hohe interne Validität erhalten, sie können kommunikativ validiert werden. Allerdings besteht prinzipiell auch die Gefahr der Beeinflussung durch den Verlauf des Interviews selbst. Daneben muss zur Vergleichbarkeit verschiedener Interviewdaten für eine Übereinstimmung der Hinweise und Leitfragen gesorgt werden. Interviewdaten haben eine große Dichte und sind umfangreich; dies und der organisatorische (z.B. zeitliche) Aufwand begrenzt i.d.R. die Stichprobengröße (*GREVE & WENTURA 1997*).

Paper- und Pencil-Verfahren weisen die Möglichkeit gezielter Intervention nicht auf, was prinzipiell nachteilig ist. Demgegenüber zeigen sie erhebliche organisatorische Vorteile, denn sie können eingesetzt werden ohne entsprechendes Training der Organisatoren (z.B. Lehrer), während Interviews von trainierten Interviewern oder vom Forscher selbst durchgeführt werden müssen. Zugleich entfällt das mögliche Element der Beeinflussung durch den Forscher. In der Regel sind die Daten weniger umfangreich, so dass der organisatorische Vorteil und die Datenmenge eine größere Stichprobe zulassen (*ebd., BORTZ 1995*).

Die weiteren Forschungsaufgaben, die sich auf die Wirkung des Treatments beziehen, fordern, dass der Verlauf der Erprobung ebenfalls festgehalten wird. Solche Felddaten über Vorstellungen können durch protokollierte Unterrichtsbeobachtungen und Audiomitschnitte oder durch die mittlerweile präferierte Methode der Videos ermittelt werden. Einer der Vorteile dieser Methode besteht in der Konservierung, was die Wiederholbarkeit der Beobachtung ermöglicht. Die Methode des Beobachtungsprotokolls ist prinzipiell fehleranfälliger, da hier bereits bei der Erfassung subjektive Faktoren des Erfassers die Qualität der Daten beeinflussen können (Verlust durch Unaufmerksamkeit, bewusste oder unbewusste Ausschnittsbildung). Als nachteilig für die technikgestützte Dokumentation ist lediglich zu bewerten, dass die Videoerfassung gerade durch die Präsenz des auffälligen Kameramaterials als verzerrender Faktor wirken kann und zu unauthentischem Verhalten der Probanden führen kann. Untersuchungen zur Stärke dieses Effekts kommen aber zu entschärfenden Ergebnissen und bestätigen die Zuverlässigkeit der Methode (*GREVE 1997*). Als weiterer Nachteil gilt der Wegfall des sog. Cocktailparty-Effekts bei technisch vermittelter Beobachtung: Während natürliche Beobachter relevante Dialoge aus einem Grundrauschen von Stimmen heraus diskriminieren können, fällt es bei Mitschnitten schwerer, irrelevanter Geräusche und Gespräche systematisch auszublenden. Hierauf kann in Unterrichtssituationen ggf. durch Fokussierung von Ausschnitt und Mikroführung präventiv eingewirkt werden.

Methodische Entscheidung: Der Lernbegleitbogen

Die Erfassung von Vorstellungen gesamer Lerngruppen wird mithilfe eines Paper- und Pencil-Verfahrens vorgenommen, dem so genannten Lernbegleitbogen. Dies als Instrument für die Forschungsfragen *Welche Schülervorstellungen und -konzepte treten in diesem Unterricht nach Chemie im Kontext auf? In welcher Weise verändern Vorstellungen und Konzepte sich, bzw. sich nicht? Haben die Unterrichtsinhalte und die darin thematisierten Vorstellungen Effekte auf die Vorstellungen über andere Phänomene, die nicht Unterrichtsgegenstand sind* (vgl. .1 6)?

Der Lernbegleitbogen ist ein offener Befragungsbogen. Vor, während und nach der jeweiligen Einheit werden diese Fragebögen eingesetzt. Darin werden Aufgaben zu einem bestimmten *lebensweltlichen* Phänomen (Bsp. *Teekochen, Müllentsorgung*) gestellt, die wiederholt beantwortet werden sollen. Die Aufgaben bieten aufgrund erfolgter Analyse der empirischen Ergebnisse über alternative Schülervorstellungen die Möglichkeit, potentielle Vorstellungen dieser Art zu erfassen, aber auch die Möglichkeit, die vermittelten fachlichen Erklärungskonzepte anzuwenden. D.h. die entsprechenden Aufgaben sind nicht auf den im Unterricht behandelten Kontext bezogen, lassen aber die chemischen Kenntnisse des Kontextes zur Anwendung kommen und zielen immer auf die Beschreibung eigener Vorstellungen ab.

Neu an diesem Instrument ist sein wiederholter Einsatz. Die Schüler bekommen bei den mehrfachen Ausgaben des Bogens im Verlauf einer Einheit ihre *eigenen, ursprünglichen Bögen* mit samt den Antworten zurück und können somit ihre Vorstellungen kommentieren, ggf. korrigieren oder ganz neu formulieren – und somit auch ihren Lernfortschritt selbst verfolgen. Der jeweilige Bearbeitungsstand wird durch Kopie und Transkription der Versionen gesichert dokumentiert.

Mithilfe eines Paper-and Pencil- Instruments können Daten aus der Gesamtgruppe eingeholt werden. Alternativ könnte die inhaltlich gleich ausgerichtete Erfassung per Interview verlaufen und vermutlich sogar zu umfangreicheren Daten führen. Sie hätte aber Nachteile, die ich als gewichtiger einschätze. Da *Veränderungen* von Vorstellungen – vorrangig - in Beziehung zum Unterricht stehen, müsste bei einer Erfassung per Interview eine Gruppe von Schülern mit möglichst kurzem zeitlichen Abstand zum Unterricht für die Untersuchung akquiriert werden. Diese Art der Erfassung ist störanfällig („*Pausenklau*“ und Zeitdruck, damit einhergehend motivationale Aspekte). Individuelle Erfahrungen mit einer „*Spotlight-Interviewmethode*“ nach Unterrichtsschluss in einem Leistungskurs am selben Gymnasium in einer anderen Pilotstudie ließen mit zunehmend negative Erfahrungen machen (z.B. dadurch, dass nicht immer dieselben Probanden interviewt werden konnten. Ein Wechsel der Interviewkandidaten wäre für die jetzige Erprobung nicht akzeptabel). Zeitökonomische Aspekte führen dazu, die Probanden gemeinsam zu interviewen. Dabei können sich die Schüler gegenseitig beeinflussen und man erhält kollektive Daten, wie im Unterricht selbst (Videographie, siehe weiter). Wichtiger ist meines Erachtens noch, dass das Interview selbst den Stellenwert eines Treatments einnehmen könnte. Bei mehrfachem Interview könnten die Probanden eher als bei einer anonym und unterrichtsbegleitenden Bogenerfassung gegenüber der restlichen Gruppe aufgrund des Interviewinhalts sensibilisiert werden. Dies hätte einerseits Konsequenzen für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse in der Gruppe, aber auch andererseits für die Analyse des Verhaltens der Probanden im Unterricht selbst. Zuletzt sei als Nachteil verzeichnet, dass die verringerte Stichprobengröße bei der Interviewmethode die Breite der Daten einschränkt. Die Möglichkeit der Beeinflussung durch die Interviewsituation und die pragmatischen Gesichtspunkte der Durchführung ließen mich von der Wahl dieser Methode abrücken, wenngleich damit ein Verlust in der Tiefe zugunsten der Breite einhergeht.

Der Lernbegleitbogen unterscheidet sich von konventionellen Pre- and Postfragebögen. Es handelt sich um ausschließlich offen gestaltete Aufgaben. In geschlossenen Formen könnten die wählbaren Antworten die Variabilität der Daten eingrenzen, induktiv zu gewinnende Erkenntnisse sind dann nicht möglich. Des Weiteren hat der Ersteinsatz einen anderen Stellenwert als bei klassischen Pre-Postvarianten. Während eine konventionelle Pre-Variante den Ist-Stand vor Treatmentbeginn festhalten soll und jede weitere Erfassung als Neuerfassung ohne Bezug zur Pre-Variante durchgeführt wird, sollen beim Lernbegleitbogen die Antworten der Pre-Variante

als *Arbeitsvorlage* für die weiteren Bearbeitungen sein. Damit soll lernpsychologischen Aussagen Rechnung getragen werden, dass für die Veränderung von Konzepten Verfahren wie *Rückschau* und *Reflexion meiner eigenen Ideen, Vorstellungen, Bilder* sehr bedeutsam sind. Solche metakognitiv ausgerichteten Elemente werden insbesondere bei Lerntagebüchern und Portfoliomethoden (MAYRING 1999, ALTRICHTER & POSCH 1998) eingesetzt. Reflektionsfördernde Komponenten sollten daher in diesem schriftlichen Befragungselement eine Rolle spielen. Die Idee der Rückgabe der Ursprungsantworten findet man innerhalb der Assessmententwicklung beispielsweise im *IOWA ASESSMENT HANDBOOK (1991), 19f.*

Die Entwicklung eines Paper- und Pencil-Verfahrens ist über die Durchführung erster Fallstudien hinaus für die Projekt-Entwicklung gewinnbringend. Für die Implementation des Projektes ist es wichtig, Lehrerinnen und Lehrern Instrumente an die Hand zu geben, mit denen sie ihren eigenen Unterricht untersuchen können und zugleich sensibilisiert werden für die Schülerperspektive beim Lernen chemischer Erklärungsmodelle. Der Lernbegleitbogen bietet dafür hervorragende Möglichkeiten, er ist einzusetzen ohne direktes Vorhandensein eines wissenschaftlichen Begleiters und kann durch Information von und Rücksprache mit mir bzw. der Projektgruppe qualitativ ausgewertet werden. Hierin liegt ein wichtiger implementationsmethodischer Gewinn. TREAGUST et al. (2004) stellen fest, dass Lehrkräfte häufig den Umgang mit Schülervorstellungen scheuen (nach PETERMANN (2008), 111). Eingebettet in die Implementationsstrategie des ChiK Curriculums werden den Lehrkräften neben vielen anderen Materialien Schlüsselemente und ein Diagnoseelement mitsamt voraussichtlich auftretender Vorstellungen und Veränderungsvarianten an die Hand gegeben (vgl. Material-CD der Projektgruppe). Für die Implementationsbemühungen bedeutet dies, dass Lehrkräfte in den Forschungsprozess mit eingebunden werden und einen Kompetenzzuwachs zur Evaluation ihres eigenen Unterrichts erfahren. Dieser Aspekt soll für die Methodik kein Auswahl entscheidendes Argument sein, sondern kann als positiver Nebeneffekt gewertet werden.

Methodenentscheidung II: Verlaufskonservierung

Im Lauf der Einheiten werden darüber hinaus verschiedene Aufzeichnungen angefertigt, die eine Erweiterung, Überarbeitung, Anwendung im Unterricht erfahren. Diese schriftlichen Ausfertigungen, wie z.B. die eigenen Beschreibungen und Zeichnungen aus den Schülerunterlagen dienen ebenfalls zur Dokumentation von Vorstellungen und deren Veränderung. Sie dokumentieren den jeweiligen Stand und die Entwicklung des inhaltlichen Fortschritts des Stoff-Teilchen-Konzepts; (der Umgang mit diesem Material wird durch die Videobeobachtung erfasst).

Die Erprobung wird vollständig per Video erfasst. Eine vollständige Analyse der videographierten Einheiten würde allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen, allerdings kann im Sinne einer Globalanalyse bei Bedarf auf diese Daten zurückgegriffen werden, um die weiteren Forschungsinteressen gegebenenfalls mit Prozessdaten zu verfolgen. Dies bereichert die erfassten Vorstellungen aus der Lernbegleitbogenerfassung um analysierbare Dialoge aus dem Unterricht und gibt darüber hinaus die wichtige Möglichkeit, Sequenzen, Schlüsselemente im Unterricht genauer zu analysieren, auf die die Analyse und Interpretation der Lernbegleitbögen hinweist.

6.2.1. Der Lernbegleitbogen zum „Vorkoster in Not...“

Wie in Kap. 5.4 dargestellt, sehen die Einheiten eine Fülle von Lernzielen vor, im Fokus für die konkrete Entwicklung der Lernbegleitbögen stehen konzeptuelle Elemente, die das Wechselspiel zwischen der phänomenologischen Sichtweise der Stoffe und modellhafter Erklärungen untersuchen. Die in den Lernbegleitbögen enthaltenen Phänomene können - müssen aber nicht - auf Teilchenebene beantwortet werden. Sie sollen aber ebenso die Möglichkeit bieten, mit Hilfe von empirisch belegten alternativen Konzepten zu antworten.

Nach Abwägung verschiedener Beispiele und Stichprobenbefragungen wurde ein Phänomen gewählt, dass im Folgenden begründet werden soll.

„Man nehme getrocknete Teeblätter, fülle sie in ein Teefilter aus grobporigem Papier und gieße sie mit siedendem Wasser auf. Es entsteht ein herrlich aromatisches, wohlschmeckendes Getränk.“

Aufgaben:

- 1.1) Schildere Deine Erklärung dafür, dass durch dieses Verfahren aus braunen, getrockneten Blättern und einer klaren Flüssigkeit (Wasser) Tee hergestellt wird.
- 1.2) Was hat Teekochen mit Chemie zu tun?
- 1.3) Wenn man Tee zu lange ziehen lässt, wird er stark und bitter. Gib hierfür eine Erklärung!
- 1.4) Beschreibe, was beim Lösen von Kandis in Tee passiert! Du kannst auch gern eine Zeichnung anfertigen.
- 1.5) Wenn du Eistee (kalten Erfrischungstee) herstellen möchtest, würdest du wie oben beschrieben vorgehen oder gleich kaltes Wasser nehmen? Begründe!

Abb. 6.1: Der Lernbegleitbogen I

Die Beschreibung des Tee Zubereitens gewährt einerseits, dass vorunterrichtliche Vorstellungen auf Stoffebene beschrieben werden können, auch die alternativen, wie sie im Kategoriensystem beschrieben wurden (vgl. Kap. 3.2.1). Andererseits können durch das Treatment der Einheit bei weiteren Einsätzen fachinhaltliche Vorstellungen zu Löslichkeit und Lösungsvorgängen erfasst werden. Das Beispiel ist darüber hinaus kontextuell so wenig belegt, als dass sofort Teilchenbetrachtungen angestellt müssen, sie sind aber möglich.

Im Folgenden werden neben möglichen alternativen Vorstellungen auch die zum Basiskonzept konformen Erläuterungen genannt werden. Bevor dies geschieht, soll analog zu einer fachlichen Klärung im Modell der didaktischen Rekonstruktion auch eine kurze fachliche Erläuterung zu dem in der Methodik genutzten Phänomen der Tee Zubereitung erfolgen.

Die als aromatisch und anregend wahrgenommenen ätherischen Öle und Alkaloide entstehen durch Fermentation der Blätter des Teestrauchs (*Camellia sinensis*). Die wichtigsten darunter sind Theobromin und Theophyllin. Diese Aromastoffe sind gut wasserlöslich. Mit Verweilzeit der Blätter im Aufguss erhöht sich die Konzentration dieser Geschmacksstoffe; zudem lösen sich nach längerer Zeit die weniger gut löslichen, hydrolysierten Gerbstoffe (Catechingerbstoffe), die für den zunehmend bitteren Geschmack verantwortlich sind. Die Zusammensetzung des Extraktgemisches ist hier nicht weiter von Belang. Die Gerbstoffe weisen je nach Sorte eine gelblich-orange Farbe auf (vgl. RÖMPP (1996), SPEKTRUM VERLAG (HRSG.) HERDER LEXIKON DER BIOLOGIE (1994) Bd. 2,8).

Zuerst werden Antworten in fachlich adäquater Weise aufgestellt, diese sind als Idealversion im Post-Einsatz des Bogens zu verstehen.

6. Die empirische Untersuchung

1.1 Schildere Deine Erklärung dafür, dass durch dieses Verfahren aus braunen, getrockneten Blättern und einer klaren Flüssigkeit (Wasser) Tee hergestellt wird.	
<p>Sinngemäße Antworten auf Stoffebene: 1.1 In den Teeblättern sind wasserlösliche Stoffe enthalten, die für den Geschmack und die Farbe des Tees verantwortlich sind. Sie lösen sich im Wasser und verteilen sich gleichmäßig. Es entsteht ein homogenes Gemisch/eine Lösung.</p>	<p>Schülerbeispiele: 1. Durch kochendes Wasser werden Farbstoffe und Aromastoffe gelöst, die sich durch Geschmack und Farbe bemerkbar machen. 2. Die Aromastoffe lösen sich und verteilen sich gleichmäßig im Wasser.</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Verschiedene Teilchen, die für Geschmack und Farbe des Tees verantwortlich ist, mischen sich gleichmäßig zwischen den Teilchen des Wassers. Dies verursacht den Geschmack und das Aussehen des Teegetränks.</p>	<p>Verschiedene Teilchen aus den Teeblättern werden herausgelöst, weil die Teilchen des Wassers so stark in Bewegung sind, daher kommen Geschmack und Farbe zustande.</p>

1.3 Wenn man Tee zu lange ziehen lässt, wird er stark und bitter. Gib hierfür eine Erklärung!	
<p>Die Frage hat die Funktion, häufig auftauchende Vorstellungen noch einmal zu explizieren und die Kohärenz zu prüfen. Fachlich ist die Abhängigkeit des Lösungsvorgangs von der Zeit und das Konzept Konzentration („mehr Stoff pro Volumen“) gefragt.</p>	
<p>Sinngemäße Antworten auf Stoffebene: Es lösen sich immer mehr Geschmacks- und Farbstoffe, der Tee wird konzentrierter. Zu viele Aromastoffe in der Lösung schmecken bitter, die hohe Konzentration an Farbstoffen erkennt man daran, dass der Tee dunkel aussieht. Plausibel – und fachlich differenzierter - ist die Annahme, dass mit der Zeit neben den oben genannten Stoffen andere Stoffe (die Gerbstoffe des Tees) gelöst werden, die den bitteren Geschmack verursachen.</p>	<p>Schülerbeispiele: 1. Der Geschmack wird intensiver, weil sich immer mehr Aroma und Geschmacksstoffe lösen. 2. Es lösen sich andere, bitter schmeckende Stoffe.</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Mit der Zeit befinden sich immer mehr Teilchen der Farb- und Geschmacksstoffe in der Lösung.</p>	<p>Schülerbeispiel: Er wird stark, weil immer mehr und mehr kleinste Teilchen sich verteilen.</p>

6. Die empirische Untersuchung

<p>1.5 Wenn du Eistee (kalten Erfrischungstee) herstellen möchtest, würdest du wie oben beschrieben vorgehen oder gleich kaltes Wasser nehmen? Begründe! Die Funktion ist, Vorstellungen zu explizieren und die Kohärenz zu prüfen. Die Abhängigkeit des Lösungsvorgangs von der Temperatur und das Konzept der Konzentration sind gefragt.</p>	
<p>Sinngemäße Antwort auf Stoffebene: Lösen ist temperaturabhängig. Von den gut wasserlöslichen Stoffen lösen sich pro Zeiteinheit mehr Stoffe, wenn eine hohe Temperatur verwendet wird. Sind die Stoffe weniger gut löslich, so verbleiben sie bei kaltem Wasser in den Teeblättern und gelangen nicht in den Tee.</p>	<p>Schülerbeispiel: Ich würde kochendes Wasser nehmen, denn durch Erwärmen werden Stoffe schneller oder besser gelöst. Alternativ, zusätzlich: Die Stoffe müssten sich auch in kaltem Wasser lösen, es würde nur viel länger dauern.</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Eine höhere Temperatur steht für eine größere Teilchenbewegung. Das Mischen der Teilchen geht schneller von statten. Durch die höhere Teilchenbewegung werden auch solche Teilchen aus den Blättern gelöst, die schwer zu trennen sind.</p>	<p>Zusätzlich: Durch höhere Teilchenbewegung mischen sie sich schneller.</p>

Tabelle 6.2a, b c: Antworten auf die Aufgaben 1.1, 1.3, 1.5

Mit den Aufgaben 1.1, 1.3, 1.5 wird das Artikulieren und Umdeuten der Vorstellungen über *nonmaterial properties* (Kategorie A4) möglich: Insbesondere *Farbigkeit, Geruch und Geschmack* sind laut verschiedener Studien stoffunabhängige Eigenschaften; etwaige Vorstellungen dieser Art können im Ersteinsatz formuliert werden und im weiteren kommentiert oder beibehalten werden. Dasselbe gilt für kraftbegründete, mechanische Vorstellungen (Kategorie A3), da ein kraftbeeinflussender Faktor, die Temperatur („Hitze und Kälte“) im Phänomen eine Rolle spielt. Darüber hinaus können Gegenstands- und Stoffebene getrennt werden: *Teeblätter* und *Stoffe der Teeblätter*, aber nach alternativen Konzepten auch gemischt werden (Kategorie A5).

Bezugnahme zum Kategoriensystem alternativer Vorstellungen	Schülerbeispiele:
A1: Die Stoffe und Dinge verschwinden	Die Blätter werden zersetzt und lösen sich (teilweise) auf. ...lösen immer weiter auf..., sind ganz zersetzt.
A2: Verdünnungs- und Verdichtungskonzepte	Der Tee verdichtet sich, wird dicker.
A3 mechanische und kraftbegründete Konzepte	Die Hitze greift die Blätter an[...] Das heiße Wasser saugt die Blätter aus.
A4 Nonmaterial properties	Der Tee gibt die Farbe und den Geschmack ab, die Blätter geben den Geschmack an das Wasser ab.
A5 Phänomenologische und gegenständliche Sicht	Siehe oben: Die Blätter zerteilen sich im Wasser, zersetzen sich
A6 Überinterpretation i. S. der chem. Reaktion	Das Wasser verbindet sich mit dem Tee, das Wasser reagiert mit den Teeblättern, die Stoffe verändern sich

Tabelle 6.2d: Bezug zum Kategoriensystem

6. Die empirische Untersuchung

Die Aufgaben könnten darüber hinaus zu Teilchenbetrachtungen anregen, die der Mischebene B zuzuordnen sind. Für die Aufgabe 1.4. werden Schülerbeispiele für Hybridvorstellungen gegeben, die vergleichbar sind (siehe weiter).

Die Aufgabe 1.4 beinhaltet fachchemisch selbstverständlich ebenfalls nur den Lösevorgang, allerdings in einfacher, d.h. einer weniger komplexer Form, wenn ein Kandis als Zuckerstück verstanden wird. Die oben genannte Zielsetzung für 1.1, 1.3, 1.5 hinsichtlich des Basiskonzepts als auch die Ausrichtung auf alternative Vorstellungen trifft auch hier zu.

.1.4 Beschreibe, was beim Lösen von Kandis im Tee passiert. Du kannst auch eine Zeichnung zum Text anfertigen!	
<p>Sinngemäße Antwort auf Stoffebene: . Der Zucker löst sich und verteilt sich im Tee. Das Gemisch schmeckt süß. (keine Aggregatzustandsänderung, sondern das Lösen; Die Süße ist Resultat des Lösens, nicht das Übertragen von Süße von Zucker auf Wasser.)</p>	<p>Schülerbeispiel: Kandis besteht aus Zucker, dieser löst sich und verteilt sich im Tee. der Tee schmeckt jetzt süßlicher.</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Der Kandis besteht aus Zuckerteilchen, diese lösen sich /trenne sich voneinander und verteilen sich; sie mischen sich zwischen die Wasserteilchen und denen Teilchen, die für Geschmack und Farbe des Tees verantwortlich sind. (Zeichnungen mit vorgebildeten Teilchen, Wasser als Medium (vereinfacht) wird diskontinuierlich dargestellt.)</p>	<p>Zusätzlich: Die Wasserteilchen mischen sich mit den Teilchen vom Kandis. Rührt man, sind alle Teilchen gleichmäßig im Tee verteilt, zusammen mit den Teeteilchen für den Geschmack [...]</p>

Tabelle 6.3a: Antworten auf die Aufgabe 1.4

Die Vorstellung vom völligen „Verschwinden“ wird vermutlich aufgrund der Altersvoraussetzung nicht mehr auftauchen, wohl aber könnten andere alternative Konzepte in den Vorstellungen Anwendung finden. Sie sind mit den genannten zu 1.1,3 und 5 vergleichbar (kraftbegründete, (A3, Bsp.: das heiße Wasser greift den Kandis an), rein phänomenologisch-gegenständliche, Übertragung von Eigenschaften (A4) „Der Zucker überträgt seine Süße“ oder (A5) „Der Kandis zerspringt und zersetzt sich“).

Die Aufgabe 1.4 erlaubt zudem das Erfassen von Hybridvorstellungen, da hier das klassische Beispiel des Lösens eines Feststoffes in einem flüssigen Medium mit aufgegriffen wurde (Hybridebene B des Kategoriensystems 1).

Art des Hybridkonzepts	Schülerbeispiele: Zeichnungen oder sinngemäße Aussage
B1 Kontinuierliche Körnigkeit	..., in denen unterschiedlich kleine Stückchen vom Kandis abbrechen
B2 Teilchen als Übergangsphänomen	...in denen Teilchen entstehen, die sich anschließend ganz auflösen
B3 Betrachtungsebenenüberschneidung	... die Kandisteilchen sind/werden ganz klein, farblos, verändern ihre Form und werden flüssig
B4 Teilchen in Kontinuumssicht	Die Teilchen des Kandis werden von Wasser umschlossen, Wasser reibt kleine Teilchen vom Kandis ab.
B5 Animismen, Teleologische Vorstellungen	Die Kandisteilchen wollen sich ausbreiten, verteilen.

Tabelle 6.3b: Bezug zum Kategoriensystem

Abschließend muss auf den Einsatz der Aufgabe 1.2 *Was hat Teekochen mit Chemie zu tun?* eingegangen werden. Die Funktion liegt nicht direkt in der Erfassung von Vorstellungen zum Stoff-Teilchen-Konzept. Sie dient zum offenen Assoziieren zu „Chemie“ und zum Chemieunterricht. Sie kann der methodischen Absicherung dienen, denn mit ihr kann ggf. rückgeschlossen werden, ob Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung des Bogens generell Bezüge zum stattgefundenen Unterricht anstellen und ob sie sich überhaupt mit dem Thema des Bogens auseinandersetzen, es könnte auch sein, dass dort codierbare Aspekte zum Stoff-Teilchenmodell in anderer, ggf. eindeutiger Weise angeführt werden. Die Antworten werden nicht generell codiert, sondern werden nur im Bedarfsfall mit herangezogen (unklare Aussagen in anderen Antworten, Abschätzung der Bearbeitungsintensität).

1.2. Was hat Teekochen deiner Meinung nach mit Chemie zu tun?	
Assoziationen der Stoffebene	Schülerbeispiele: Es handelt sich um Lösevorgang, um eine Extraktion. Tee kann man anhand seiner Eigenschaften identifizieren, seine Zusammensetzung mit chemischen Nachweismethoden untersuchen. Daher kann man Tee und Chemie schon in Verbindung bringen.
der Teilchenebene:	Die Chemie beschäftigt sich mit Modellen für Vorgänge wie das Lösen mit Hilfe von Teilchen. Dies könnte man für dem Vorgang auch machen, so dass die beiden Begriffe schon etwas miteinander zu tun haben.

Tabelle 6.4: Antworten auf die Frage 1.2

Damit sind die zentralen Basiskonzept-Inhalte der Einheit, die hier nicht in allen Unterpunkten nochmals erwähnt sind, (vgl. Kap. 4.2) abgedeckt.

6.2.2. Der Lernbegleitbogen zu „Brände, erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen

Im Gegensatz zum ersten Lernbegleitbogen enthält dieser Lernbegleitbogen drei thematische Einzelabschnitte mit jeweils unterschiedlichen Intentionen, die im Folgenden erklärt werden.

Der Themenabschnitt 1) erfragt allgemein die alltagssprachliche Vernetzung zweier Begriffe ohne eine thematische, beispielbezogene Konkretisierung vorzunehmen:

1. Häufig wird das Wort „Verbrennung“ mit Zerstörung, Vernichtung gleichgesetzt!

Aufgaben:

1. 1 Weshalb?

1.2 Meinst du, dass diese Begriffe zueinander passen? Hältst du die Verbindung der Begriffe für richtig bzw. sinnvoll? Begründe deine Meinung.

1.3 Meinst du, man könnte aus einem verbrannten Stoff den ursprünglichen Stoff wieder zurückgewinnen? Begründe kurz deine Antwort!

Abb. 6.2a: Der Lernbegleitbogen 2, Teil 1

Für die Erstversion können mithilfe dieser Aufgaben vorunterrichtliche Vorstellungen zur Verbrennung hervorgehoben werden, die durch die vermittelten Unterrichtskonzepte überarbeitet erfahren können, teilweise erfahren müssen (insb. Aufgabe 1.3).

Bevor die sinngemäßen Antworten genannt werden, erfolgt auch hier eine kurze fachliche Klärung des Verbrennungsvorgangs. Verbrennungsprozesse sind Pyrolyseprozesse⁴⁶ bei Entwicklung von Flammen. Sie sind exotherme chemische Reaktionen, genauer Redoxreaktionen. Durch Zündung wird die Aktivierungsenergie für die Thermolyse des Materials gespendet, diese erste Zersetzung bildet gasförmige Stoffe, welche unter Flammenbildung mit einem Oxidationsmittel, meist Sauerstoff, unter Freisetzung von Wärme und Licht reagieren. Dadurch wird die Nachlieferung weiteren Brennstoff gewährleistet. Die Verbrennung ist in diesem Sinne eine Kettenreaktion. Je nach Brennstoff liegen unterschiedliche Produktgemische vor, bei unvollständigen Verbrennungen enthält das Produktgemisch auch Eduktspuren oder weiter oxidierbare Pyrolysegase. Dieses Abgas enthält bei konventionellen (d.h. Kohlenstoffatomhaltigen) Brennstoffen hauptsächlich Kohlendioxid und Wasser. Je nach Art der Verbrennungsführung können verschiedene weitere Stoffe im Abgas enthalten sein, z. B. Kohlenmonoxid, Stickoxide. Bei fetter Verbrennung (z.B. Kraftstoffüberschuss) von Kohlenwasserstoffen kann außerdem Ruß entstehen. Feste Rückstände, die die Asche bilden, bestehen aus mineralischen Oxiden und nicht brennbaren Bestandteilen des eingesetzten Materials. Die Flamme erscheint immer dann, wenn gasförmige Stoffe reagieren, geht die Pyrolyse ohne Flammenentwicklung von statten, so kann dies Verglühen genannt werden (*SPEKTRUM CHEMIE-LEXIKON 2005*).

⁴⁶ Der Vergleich mehrerer fachlexikalischer Werke erbringt keine Trennschärfe in den Definitionen von Pyrolyse und Thermolyse (vgl. *Spektrum Lexikon der Chemie, Duden Chemie, Römpf Chemie Lexikon*)

6. Die empirische Untersuchung

1.1 Weshalb (Verbrennung = Vernichtung)?	
<p>Sinngemäße Antwort auf Stoff- und Gegensebene: Bei Verbrennungen werden die eingesetzten Materialien zerstört. Aus chem. Sicht werden die eingesetzten Stoffe zerstört, aus ihnen entstehen die Verbrennungsprodukte, die größtenteils gasförmig, teils auch fest, sogenannte Asche, sind.</p>	<p>Schülerbeispiel: Die Brennstoffe werden vernichtet, sie werden zerstört. Die Brennstoffe sind nach der Verbrennung nicht mehr vorhanden. Statt dessen liegen neue Stoffe, die Produkte vor (z.B. Asche, Rauch als Feststoffe sowie Gase).</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Die beteiligten Atome werden nicht vernichtet, sie gruppieren sich zu neuen Teilchen der Produkte.</p>	<p>Zusätzlich: Gegen eine Vernichtung spricht, dass alle Atome erhalten bleiben, auch wenn die Ausgangsstoffe nicht mehr vorhanden sind.</p>
1.2 Meinst du, dass diese Begriffe zueinander passen? Hältst du die Verbindung der Begriffe für richtig bzw. sinnvoll? Begründe deine Meinung!	
<p>Sinngemäße Antwort auf Stoff- und Gegensebene: Der Begriff könnte missverstanden werden, in dem Vernichten „zu nichts“ damit verbunden werden könnte. Allerdings ist keine Materie vernichtet, sondern liegt in Form anderer Stoffe vor.</p>	<p>Schülerbeispiel: Sinnvoll, da alles verbrannte unbrauchbar und zerstört ist. Chemisch gesehen entstehen allerdings aus den Ausgangsstoffen (Brennstoff und Sauerstoff) die Produkte, insgesamt ist von der Masse nichts verloren gegangen</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Verbrennungen sind chem. Reaktionen, bei denen die Atome, die die Bausteine/Teilchen der Stoffe bilden, erhalten bleiben und zu neuen Teilchen neuer Stoffe zusammengesetzt werden. Mit Vernichtung oder Zerstörung ist zugleich auch Entstehung verbunden</p>	<p>Zusätzlich: Die Atome der Bausteine werden getrennt und bilden neue Bausteine, alle Atome sind noch vorhanden, sie sind nicht vernichtet</p>
1.3 Meinst du, man könnte aus einem verbrannten Stoff den ursprünglichen Stoff wieder zurückgewinnen? Begründe kurz deine Antwort!	
<p>Sinngemäße Antwort auf Stoff- und Gegensebene: Da die Masse der Ausgangsstoffe und die sie aufbauenden Atome erhalten bleiben, könnten Stoffe, wenn die Bedingungen machbar sind, wiederzugewinnen sein. Stoffkreisläufe erklären beispielsweise die Rückgewinnung.</p>	<p>Schülerbeispiel: Mit Reaktionen eines Atomkreislaufs kann man verbrannten Traubenzucker prinzipiell zurückgewinnen, Kohle lässt sich mithilfe von Magnesium aus Kohlenstoffdioxid wieder herstellen. Verbrennungen sind daher rückgängig zu machen.</p>
<p>ggf. Zusätze auf Teilchenebene: Durch die sinnvolle Wahl der Bedingungen und Produktbausteine kann man die Eduktbausteine wieder herstellen.</p>	<p>Zusätzlich: Die Atome der Produktteilchen müssen durch die Atome anderer Stoffe wieder getrennt werden und sich mit den ursprünglichen verbinden (Bsp. Magnesium und Kohlenstoffatome).</p>

Tabelle 6.5a, b, c : Antworten auf den Lernbegleitbogen

6. Die empirische Untersuchung

Alternativ und vorunterrichtlich tauchen sicherlich Vorstellungen auf, die sinnvollerweise von einer Zerstörung der Gegenstände und deren aufbauenden Stoffe ausgehen. Auch kann nur auf phänomenologische Reste, evtl. „quantitativ weniger“ als Ergebnis angesehen werden. Solche Vorstellungen können im späteren Einsatz mit den Kennzeichen chemischer Reaktionen in Verbindung gebracht werden; zugleich können mögliche, auch durch Unterricht erzeugte Vorstellungen zu chemischen Reaktionen, z.B. im Sinne von Eigenschaftsänderungen eines bestehenden bleibenden Stoffes reflektiert werden. Darüber hinaus ist bei der Reflektion dieses alltäglichen bzw. alltagssprachlichen Begriffspaares die Trennung von Gegenstands- Stoff und Teilchenebene sinnvoll - letzte aber nicht notwendig. Die letztgenannten Antworten auf die Aufgabe 1.3 zielen auf ein abstraktes, prinzipielles Verständnis des atomaren Erhaltungsprinzips ab, mit welchem Umkehrreaktion, Sauerstoffübertragungsreaktionen und Stoffkreisläufe interpretiert werden können, dessen Anwendung kann nur in der Postversion erfolgen; womit ursprüngliche Vorstellungen, die sich sicherlich gegen eine Rückgewinnung der Ausgangsstoffe aussprechen überarbeitet werden können. Diese Aufgabe enthält das höchste Abstraktionsniveau des Fragebogens. Alternative Konzepte für die Teilaufgaben 1.1-1.3 könnten zusammenfassend wie folgt auftreten.

Konzept	Schülerbeispiele:
A1 Vernichten zu nichts, zu weniger	Anschließend ist ja nichts mehr vorhanden, oder: es bleibt ja nur etwas Asche übrig
A2 Stofferhaltung statt chemischer Reaktion	Denkbar, aber vermutlich nur für flüssige Brennstoffe. Die Stoffe verflüchtigen sich ja in die Luft, sie sind nicht vernichtet.
A4 Eigenschaftsmodifizierungen	Die Sachen sind zwar vernichtet, aber es liegt ja noch verbranntes Holz vor.
A5 Keine wechselseitige Prozessbetrachtung, keine Systematik	Vernichtung passt, da ja nichts mehr, nicht mehr alles vorhanden ist, dies ist endgültig. Asche kann man zu nichts anderes mehr umwandeln.
A6 Umkehrbarkeit, Endgültigkeit	Eine Rückgewinnung ist nicht möglich, da die Stoffe ja unwiederbringlich weg sind.
A7 Teleologische Aussagen, Personifizierungen	Die Stoffe sind durch die Hitze, das Feuer ein für alle Mal abgetötet.

Tabelle 6.6: Bezug zum Kategoriensystem

Der Themenabschnitt 2 ist eingebettet in eine konkrete Kontextualisierung: der Müllentsorgung; mit einem Leitspruch des Dualen System Deutschland DSD (2000), heute müsse der Wortlaut aktualisiert werden.

2. In einem Expo-Pavillon stand das Themenschild „Müll kann man nicht wegwerfen“!
 (mit *wegwerfen* ist *verschwinden lassen, zerstören gemeint*)

Aufgaben:

2.1 Was könnte mit dieser Aussage gemeint sein, wo es doch genügend Müllverbrennungsanlagen und Deponien gibt, in denen Müll „entsorgt“ wird?

2.2 Wie beurteilst du diese Aussage? Wie könnte man verständlicher formulieren, was mit dem „Nicht-wegwerfen-können“ gemeint ist?

Abb. 6.2b: Der Lernbegleitbogen 2, Teil 2

Ziel ist es hier, im kontextualisierten Zusammenhang Vorstellungen zu den Ergebnissen einer Verbrennung zu generieren. Damit können die oben aufgezeigten Vorstellungen in einer kontextualisierten Form zur Anwendung kommen.

Da diese zweite Aufgabe auf das *Nicht-wegwerfen-können* i.S. von *vernichten, zerstören* abzielt, kann ein kognitiver Konflikt erzeugt werden, wenn die oben genannte Aufgabe nicht im Sinne einer fachlichen Betrachtung der Kennzeichen chemischer Reaktion bearbeitet wurde. Hier könnten weitere vertiefende oder verändernde Aussagen über Vorstellungen hervorgehoben werden, die z.B. über die Art der Inkonsistenz in den Konzepten Aufschluss geben könnten. Wenn im ersten Aufgabenteil von Vernichten im gegenständlichen Sinne argumentiert wurde (z.B. „die Verbindung der Begriffe stimmt, denn das verbrannte ist ja vernichtet“), so wird hiermit eine Präzisierung angereizt, was dann zu einer Erweiterung der Daten führt.

Während die unter 1. aufgezeigten Aufgaben mit qualitativen Aspekten (Stoffe werden zerstört, Produkte entstehen) beantwortet werden kann, legt diese zweite Aufgabe unter dem Aspekt „Nicht wegwerfen, vernichten, zerstören“ darüber hinaus nahe, auch Aussagen über quantitative Aspekte zu nennen, wie beispielsweise in Erstversionen (z.B. „nicht alles ist zu vernichten möglich“).

2.1 Was könnte mit dieser Aussage gemeint sein, wo es doch genügend Müllverbrennungsanlagen und Deponien gibt, in denen Müll „entsorgt“ wird?	
<p>Stoffebene Die Stoffe, die den Müll bilden, reagieren zu Produkten unter Erhaltung der Masse.</p>	<p>Schülerbeispiel: Mit der Aussage ist gemeint, dass die Stoffe des Mülls nicht wirklich verschwunden sind. Sowohl auf den Deponien als auch bei der Müllverbrennung finden chemischen Reaktionen statt, die zu neuen Stoffen führen, sie besitzen dieselbe Masse wie die eingesetzten Stoffe des Mülls des Sauerstoff. Die Masse der im Müll enthaltenen Stoffe bleibt erhalten.</p>
<p>Zusatz auf Teilchenebene: Aufgrund der Atomerhaltung wird von der Masse des Mülls nichts zerstört, die Atome der Stoffe des Mülls liegen anschließend in Form der Produkte immer noch vor.</p>	<p>Alle Atome bleiben vorhanden, sie bilden Produktbausteine, die dieselbe Masse haben wie die Masse aller Atome der Ausgangsstoffe.</p>

6. Die empirische Untersuchung

2.2 Wie beurteilst du diese Aussage? Wie könnte man verständlicher formulieren, was mit dem „Nicht-wegwerfen-können“ gemeint ist?	
<p>Stoff – und ggf. Teilchen/Atomebene Nicht wegwerfen soll verdeutlichen, dass die Materie nicht weg ist, sondern in Produkten (z.B. beim Vorgang der Müllverbrennung enthalten ist). Es gilt bei allen chemischen Vorgängen die Massenerhaltung.</p>	<p>Schülerbeispiel: Man sollte auf die prinzipielle Entstehung neuer Stoffe bei der Müllverbrennung hinweisen. Der Müll ist dann nicht stofflich nicht mehr vorhanden, doch seine Materie - seine Atome - bestehen in Form der Produkte weiter.</p>
<p>Erklärt werden kann diese Erhaltung damit, dass alle Atome, die die Stoffe des Mülls bilden, nicht vernichtet werden, sie bilden Produkte, die z.B. dann schwieriger wahrzunehmen sind (z.B. Gase). (Art des Urteils (gute oder verbesserungswürdige Formulierung) ist variabel).</p>	<p>Da viele Produkte von Verbrennungen gasförmig sind, sind sie nicht sichtbar, aber in der Atmosphäre vorhanden, so dass beispielsweise Schadstoffe und Kohlenstoffdioxid verstärkt an die Atmosphäre abgegeben werden müssen. Da die Folgen ökologisch bedenklich sein können, sollte daher möglichst wenig Müll verursacht werden.</p>

Tabelle 6.7: Antworten auf den Teil 2

Alternative Konzepte	Schülerbeispiele:
A1 Vernichten zu nichts, zu weniger	Es könnte gemeint sein, dass immer etwas übrig bleibt, man kann es wohl nicht restlos zerstören.
A2 Stofferhaltung statt chemischer Reaktion	Der Müll wird erhitzt und gasförmig steigt er auf
A4 Eigenschaftsmodifizierungen	Der <i>verbrannte Müll</i> verflüchtigt sich, steigt durch das Verbrennen gasförmig in die Luft. Der Müll ist gasförmig geworden und nicht mehr sichtbar.
A5 Keine wechselseitige Prozessbetrachtung, keine Systematik	Der Müll wird zu Gas, der Müll wird kleiner
A6 Umkehrbarkeit, Endgültigkeit	Vermutlich tauchen irgendwo Reste, taucht der Müll wieder auf, wenn er durch die Verbrennungsanlagen in die Luft geblasen wurde (korrespondiert zu A4)
A7 teleologische Aussagen	-

Tabelle 6.8a : Bezug zum Kategoriensystem

Beide Aufgabenkontexte lassen Betrachtungen auf der Modellebene der Bausteine und Atome zu. Wie die bereits genannten sachgemäßen Antworten auf Teilchenebene zeigen, stellt ihre Nutzung einen Zugewinn in der Erklärung dar. Ihre Berücksichtigung ist als qualitativ anspruchsvoll aufzufassen, denn in der Anlage der Aufgaben können sie zur Erklärung des Erhaltungsprinzips – der *Erhaltung von Materie und der Masseträger, den Atomen* - herangezogen werden. Die in

6. Die empirische Untersuchung

Kap. 3.2.2 genannten Unterkategorien haben gemeinsam, dass sie Projektionen der Stoffebene auf die Teilchenebene sind. Teilchen und Atome sind dort eine konzeptuelle, gelernte „Zutat“ für etwas, das im Schülerverständnis eigentlich mit stofflich-phänomenologischen Attributen beschrieben bzw. gedeutet werden kann. Der Prognose nach werden Teilchen- und Atomvorstellungen entweder gar nicht, oder i.w.S. adäquat verwendet werden: zur Begründung der Erhaltung. Sollten Hybridkonzepte auftreten, so ließen sie sich mit dem Kategoriensystem aber problemlos erfassen. Beispiele solcher möglichen Alternativvorstellungen werden nun kurz für beide Themenkomplexe gemeinsam abgehandelt.

Alternative Konzepte	Schülerbeispiele:
B1 Vernichtung von Atomen und submikroskopischen Entitäten	Bei der Verbrennung werden die Stoffe und alle Teilchen vernichtet. Die Atome verbrennen. Man kann es nicht rückgängig machen, denn die Atome sind zerstört.
B2. Betrachtungsebenenüberschneidung: Makro-Mikro	Die Stoffe verbrennen, die Atome verteilen sich in der Luft und werden leichter. Der Müll wird in seine Atome zerlegt, dies ist nicht wieder zu reparieren. Die Atome verkohlen.

Tabelle 6.8b: Bezug zum Kategoriensystem

Der Themenabschnitt 3 hat verbindende Funktion zur ersten Unterrichtseinheit und dem dazugehörigen Lernbegleitbogen.

3. Bei einem Feuerzeug aus durchsichtigem Material erkennt man im Inneren eine Flüssigkeit. Drückt man auf das seitliche Ventil („Taste“), so hört man ein Rauschen, es strömt aber keine Flüssigkeit aus – auch nicht, wenn man das Feuerzeug auf den Kopf stellt!

Aufgabe:

3.1 Gib hierfür eine Erklärung!

Man kann das Feuerzeuggas einfach so ausströmen lassen, oder aber durch den Feuerstein anzünden und verbrennen.

Aufgabe:

2 Wo liegen die Unterschiede?

Abb. 6.3: Der Lernbegleitbogen 2, Teil 3

Diese weitere kontextualisierte Aufgabe dient explizit dazu, die Unterscheide zwischen der chemischen Reaktion und einer Aggregatzustandsänderung reproduktiv abzufragen, um eine Aussage über Vorstellungen über die Konstanz der Stoffe bei chemischen Reaktionen – insbesondere bei flüssigen Brennstoffen- zu erhalten (vgl. Kap. 3.2.2); die ersten beiden Ausgaben decken diesen Aspekt nicht ab.

6. Die empirische Untersuchung

Damit besitzt diese Aufgabe einen großen Bezug zur vorherigen Einheit „der Vorkoster“ in welcher Gase und Aggregatzustandsänderungen (Kohlensäure, Kohlenstoffdioxidgasflasche) thematisiert wurden.

3.1 Gib hierfür eine Erklärung!	
<p>Öffnen lässt den partiellen Druckausgleich zu, der Stoff strömt als Gas aus, da er unter normalen Bedingungen gasförmig ist.</p>	<p>Schülerbeispiel: Das Feuerzeuggas ist unter hohem Druck dort eingefüllt worden, wird die Taste betätigt, öffnet man den Behälter des Feuerzeugs, beginnt der Druck zu sinken, das Gas wird wieder gasförmig, wie es unter normalen Bedingungen ist.</p>
3. 2 Wo liegen die Unterschiede?	
<p>Im ersten Fall findet eine Aggregatzustandsänderung statt, im zweiten Fall eine chemische Reaktion, Lässt man es einfach nur ausströmen, verteilt es sich gleichmäßig. Verbrennt das Gas, ist es nicht mehr vorhanden, die Produkte der Verbrennung verteilen sich dann im Raum.</p>	<p>Wenn man es ausströmen lässt, verteilt es sich in der Luft, wenn man es entzündet, reagiert es mit der Luft (zu Kohlenstoffdioxid und Wasser), dann läuft also eine chemische Reaktion ab, im ersten Fall nicht.</p>
<p>Ggf. Zusatz auf Teilchenebene: Die Teilchen bleiben im ersten Fall erhalten, die Teilchen werden im zweiten Fall verändert.</p>	<p>Die Teilchen des Feuerzeuggases verteilen sich im Raum, in anderen Fall reagieren sie mit Teilchen der Luft zu neuen Produktteilchen.</p>

Tabelle 6.9: Antworten auf den Teil 3

Unter den alternativen Konzepten sind die Vorstellungen gemäß der Konzeptkategorie A2 besonders relevant. Manchmal findet ihre Nutzung auch implizit statt, indem auf das Wesentliche nicht eingegangen wird.

Alternative Konzepte	Schülerbeispiele:
<p>A2 Stofferhaltung statt chemischer Reaktion: Die stoffliche Veränderung wird nicht in den Fokus gerückt.</p>	<p>1. Einmal tritt Feuer dabei auf, das andere Mal nicht. 2. In beiden Fällen strömt das Gas aus, im letzten Fall wird dabei die Energie des Stoffes abgegeben.</p>
<p>A5 keine wechselseitige Prozessbetrachtung, keine Systematik</p>	<p>Vgl. Bsp. 1: Einmal tritt eine Flamme auf, das andere Mal nicht. Einmal wird es warm, einmal nicht.</p>

Tabelle 6.10: Bezug zum Kategoriensystem

Es hier klargestellt, dass es sich nicht um fehlerhafte Konzepte handeln muss, sondern um eine ausbleibende oder nicht veränderte fachliche Sicht.

Insgesamt sprechen die drei Aufgabenteile die Kernaussagen des Basiskonzepts an.

6.2.3. Videographie der Einheiten

Der Unterricht in der ersten Erprobung, der „Fallstudie Varel“, wird per Video erfasst, dies geschieht mit dem vordergründigen Ziel, das Unterrichtsgeschehen zu konservieren. Dadurch wird zuerst einmal „nur“ eine große Rohdatenmenge erzeugt. Diese Daten können im Sinne einer Globalanalyse hinzugezogen werden, wenn die Auswertung der Lernbegleitbögen es erfordert. Nach Abschluss der gesamten Erfassung (d.h. beider Einheiten) stellten fast alle Teilnehmer ihren Code zur Verfügung, so dass potentiell Rückschlüsse gezogen werden können.

Ausgewählte Sequenzen werden transkribiert, dabei werden die konventionellen Regeln einer kommentierten Transkription angewendet (vgl. z.B. *IPN-Videostudie, PRENZEL et al. 2001*). Anschließend wird das Transkript minimal geglättet (*MAYRING 1999*): Es erfolgt eine Übertragung der verbalsprachlichen Stils in Schriftdeutsch, Dialekt wird bereinigt, bedeutungslose Füllwörter (hm, äh...) werden gestrichen, Satzbaufehler behoben.

Vor dem Hintergrund des explorativen Charakters der Untersuchungen dient die Konservierung allerdings vornehmlich dazu, in der Folge eine Datenbasis zu haben: werden Hypothesen, beispielsweise über Lernwege oder die Wirkung von Lernangebot auf der Basis der Schriftsätze gewonnen, so könnte in Folgearbeiten das Unterrichtsgeschehen genauer und ggf. nach quantitativen Analyseverfahren aufgearbeitet werden. Der Videographie liefert beispielsweise eine hohe Dichte der Informationen über Vorstellungen, sie können alle codiert werden. Die Kategoriensysteme stellt diese Arbeit zur Verfügung. Die Unterrichtssituationen können deskriptiv codiert werden können, insbesondere jene, in denen die Schüler ihre Vorstellungen äußern und reflektieren (inhaltlich, methodisch, medial), so dass folgend diese hinsichtlich ihrer Wirkung qualitativ beurteilt werden können.

Ein erster Schritt ist hierzu bereits getan, *DALEHEFTE (2007)* analysierte zentrale Stunden (Stunden 5 und 6, 18-21) nach ihrer Sichtstruktur (*IPN Videostudie*) nach einem geschlossenen Codiersystem auf der Suche nach Art der zugrunde liegenden Unterrichtsskripte. Eine Verbindung dieser deskriptiven Ergebnisse mit den qualitativen Ergebnissen dieser Studie kann ein formativer Gewinn für die Konzeption sein.

6.2.4. Auswertungsverfahren

Die Qualitative Inhaltsanalyse nach *MAYRING (1999)* ist bisher innerhalb des Modells der Didaktischen Rekonstruktion die Methode der Wahl gewesen, (vgl. *Dissertationen des Prodid-Programms, <http://www.diz.uni-oldenburg.de/20506.html>*).

Die Qualitative Inhaltsanalyse als systematische Interpretationstechnik sieht diese Schritte vor:

- *Zusammenfassung* – Die Rohdaten werden selektiert, geordnet und zu verallgemeinernden Paraphrasen reduziert.
- *Explikation* – Die zusammenfassenden Ergebnisse werden durch Zuordnen von (definierten) Kriterien bzw. Material interpretiert, um das Verständnis der jeweiligen Stellen zu erweitern, verstärken.
- *Strukturierung* – Die zusammengefasste und explizierte Version wird vor theoretischen Hintergrund geordnet und gegliedert; was eine anschließende inhaltliche, typisierende oder skalierende Strukturierung ergibt, in welcher das gesamte Material eindeutig zuordnet und agregiert ist (*MAYRING 2001*).

Die Beschreibung dieser Schrittfolge bezieht sich - nicht nur, aber auch – auf große verbalsprachliche Datensätze wie sie beispielsweise in Interviews oder Gruppendiskussionen auftreten. In Schriftdaten, wie sie in meiner Untersuchung auftreten, ist eine Zusammenfassung m. E. nicht

von Nöten. Für das Ziel der Erfassung von Vorstellungen und Konzepten und ihrer Veränderungen muss gewährleistet sein, dass die Vorstellungen und Konzepte kategorisiert werden und Veränderungen als Kategorienwechsel ausgemacht werden können. Dies ist die wesentliche Arbeit der Explikation und der Strukturierung.

Als Fundament dient das in Kapitel 3 auf Literaturbasis entwickelte Kategoriensystem. Nach deduktivem Verfahren müsste nun kategorial nach einem geschlossenen Codierschlüssel zugeordnet werden; nach induktivem Auswertungsverfahren wären Codes zu entwickeln, die kategorial aggregiert werden könnten bzw. müssten. Um die Güte der Auswertung zu sichern, werde ich nicht allein deduzierend verfahren. Aus der Datenbasis werden im Sinne einer Explizierung (vgl. z.B. MAYRING 1999) Codes gewonnen, die dann strukturiert und mit den Kategorien von Schülervorstellungen (Kap. 3) und den Anteilen des Basiskonzepts als fachinhaltliche Didaktische Strukturierung (Kap. 4) abgeglichen werden. Dadurch werden einerseits das Kategoriensystem und das Basiskonzept validiert, andererseits werden die Vorteile der induktiver Analyse nutzbar: Neue Aspekte werden nicht ausgeblendet, Widersprüche und Uneindeutigkeiten werden aufgezeigt. Nach STEINKE (2000) ist diese Kohärenz ein für die Güte qualitativer Empirie bedeutsames Merkmal in der Ergebnisergebnisgewinnung.

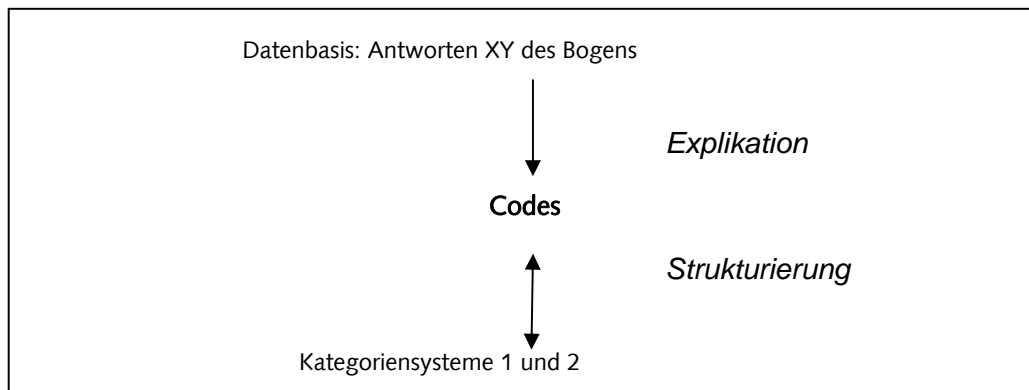


Abb. 6.4: Schema des Auswertungsvorgehens

Damit ist der Umgang mit den Lernbegleitbogendaten induktiv und wird aufgrund der anschließend Iteration mit dem Kategoriensystem und den Ergebnissen der fachlichen Klärung auf seine innere Konsistenz hin geprüft. Der Prozess der kategorialen Zuordnung wird auf diese Weise viabel.

Die Daten werden computerunterstützt codiert, ich verwendete hierfür Software zur qualitativen Analyse, namentlich das Programm Atlas.ti. In den Kapiteln 6.3.1 und 6.5.1 werde ich die Codierung der Daten und darauf aufbauend den strukturierenden Prozess erläutern. Jede Arbeit muss sich einer Beurteilung der Güte stellen, innerhalb der qualitativen Forschung sind die Gütekriterien nicht messbar oder zu quantifizieren (vgl. BORTZ 1995, FLICK et al. 2000, GREVE & WENTURA 1997).

Fragen nach der Güte sind:

- Lässt sich die Gesamtinterpretation tatsächlich zwingend bzw. plausibel aus den Daten ableiten (interne Validität)?
- Inwieweit sind die herausgearbeiteten Muster und Erklärungen auf andere Situationen übertragbar bzw. auf andere nicht untersuchte Fälle verallgemeinerbar (externe Validität)?

Um die Validität der Daten zu sichern, werden Verfahren der kommunikativen Validierung und Validierung durch interpersonalen Konsens mittels Supervision vorgeschlagen.

Die Interpretation der Daten lässt sich aus diesen Gründen nicht als zwingend valide ableiten, wohl aber als plausibel. Wie wird dies gewährleistet?

1. Die Explikation durch Codierung und die Strukturierung werden systematisch dokumentiert: der Weg von den Daten zu den Interpretationsergebnissen transparent dargestellt.

2. Eine kommunikative Validierung kann aufgrund der Anlage und dem Umfang der Studie nicht erfolgen (etwaige Schülerbefragungen, vgl. Anlage der Untersuchung, 6.2). Dennoch ist interpersonalen Konsens wichtig für die Güte. Die Daten werden von mir sowie von zwei wissenschaftlichen Hilfskräften, die in die Codes eingewiesen wurden, unabhängig voneinander codiert, eine kommunikative Validierung findet durch den Austausch statt. Uneindeutige Aussagen bzw. Codierunterschiede werden akzeptiert, indem diese durch dazugehörige Codes (z.B. Sprachbarrieren“tonne“, nicht kategorisierbar) explizit bestimmt und aus der Analyse herausgenommen werden. Weitere Stimmigkeit wird bewirkt, indem eine dritte Person eine Codierprüfung in Stichproben vornimmt.

3. Die Frage nach der externen Validität (siehe oben) beschäftigt das Forschungsprogramm Didaktische Rekonstruktion, im Besonderen die Frage nach der Stichprobengröße, um extern valide zu arbeiten. (vgl. Janßen-Bartels & Sander 2004). Die Stichprobengröße umfasst eine repräsentative Größe und liegt höher als in anderen deskripten, qualitativen Studien (vgl. ebd.). Da die Codes und die Kategorisierung deduktiv kontrolliert bearbeitet werden und das Kategoriensystem auf eine Vielzahl von Einzelstudien basiert, weisen in Kombination mit dem Codierverfahren eine für qualitative Analysen hohe externe Validität auf.

Was die Interpretation von Wirkungen des Lernangebots angeht, so liegt eine im ersten Durchgang eine Einzelfallerprobung vor, die Ergebnisse werden zwangsläufig keine hohe externe Validität aufweisen und sind zu verstehen als Schlüsse formativer Art für die weitere Optimierungsarbeit: Durch die Einsatzzeitpunkte des Bogens in zeitlicher Nähe zum Schlüsselement können Implikationen in Form von Vermutungen abduktiv gewonnen werden. Sie beziehen sich immer auf den Einzelfall dieser einen Lerngruppe, damit steht die interne Validität vor der externen Validität. Konzeptveränderungen können aber müssen nicht auf das jeweilige Schlüsselement zurückzuführen sein, höchstens auf die Gesamtheit des bis dahin stattgefundenen Unterrichts und valide nicht einmal das, denn die darüber hinaus vorgelegenen Einflüsse sind gar nicht erfasst (Recherche der Schüler, Medien, Gespräche, etc.). Die interne Validität dieser Aussagen ist vorerst gering. Zu diesem Zeitpunkt der Konzeptionellen Entwicklung ist aber jedes diesbezügliche Detail prinzipiell fruchtbar.

6.3. „Der Vorkoster in Not “ - die Fallstudie I

6.3.1. Der Ablauf der Einheit

Die Fallstudie Varel enthält die Ersterprobung der Unterrichtseinheit „Der Vorkoster in Not - die Chemie ersetzt den Vorkoster“; dabei wurde basierend auf der voraus gestellten Skizzierung der Unterrichtseinheit im Schuljahr 2001-2002 eine Stundensequenz entwickelt und durchgeführt, die insgesamt über einen Zeitraum von 23 Stunden umgesetzt wurde.⁴⁷

Die Einheit gliederte sich in zwei Untereinheiten: Zyklus I „Die Grenzen der Sinne“ und in einen weiteren „Chemische Sinne“ - chemisches Arbeiten.

⁴⁷ Wie üblich, fiel dabei ein Teil der Unterrichtszeit auf organisatorische bzw. fachunabhängige Inhalte, so dass einige Stunden verkürzt waren.

Die zwei Teilzyklen haben unterschiedliche Längen: Der Zyklus I nahm sechs Unterrichtsstunden ein, der Zyklus II 17, wobei sechs Stunden auf die dekontextualisierte Aufarbeitung des Teilchenmodells verfielen.

Chemie im Kontext-Unterricht weist je nach Lehrerintention und v.a. auch Schülerinteressen unterschiedliche Facetten auf. Im Fall dieser Studie hat der Erprobungslehrer als Leitlinie für die Einheit besonderen Wert auf die Arbeit an und mit Schülervorstellungen gelegt. Zudem war ihm wichtig, innerhalb der Zyklen Dekontextualisierungen vorzunehmen, sodass auch experimentelle Beispiele ohne direkten Bezug zum stofflichen Beispiel der Coca-Cola vorlagen. Diese Sequenzen sind aber nicht als Dekontextualisierungen expliziert worden. Die Zyklusgrenzen sind nicht trennscharf zu ziehen, eine klare zweite Begegnungsphase war nicht notwendig, sie ergab sich zwanglos aus den Schülervorschlägen. Als Besonderheit ist herauszustellen, dass methodisch gerade vor dem Hintergrund des gemeinsamen Reflektierens von Vorstellungen Unterrichtsgespräche (Lehrer-Schülergespräche) einen großen Anteil eingenommen haben. Aufgrund dieser Schwerpunktsetzung sind offene Schüler-Schülerinteraktionsphasen z.B. in längeren Gruppenarbeitsphasen zurückgetreten. Der Unterrichtsverlauf war dadurch weitestgehend linear in einzelne Arbeitsfragen fragmentiert, wie es dem klassischen entwickelnden Unterrichtsgang entspricht. Dies machte ein zeitökonomisches Erarbeiten der Lernziele möglich und die Fokussierung von Vorstellungen aus Schülersicht und Wissenschaftssicht möglich.

Die nun folgende Beschreibung des Verlaufs soll eine zusätzliche Grundlage für die nachfolgende Analyse bieten.

Die Einheit begann mit der Sammlung von Assoziationen zum Vorkoster-Comic (Anhang I. und II Medienliste) und der gegenübergestellten Darstellung chemischer Verfahrensweisen. Drei Aspekte und Fragen wurden im Unterrichtsgespräch thematisiert: *Sinne lassen sich überlisten, Methoden der Chemie setzen an, wo die Sinne versagen und Werden auch unsere Sinne überlistet?* Ein fließender Übergang zur ersten Erarbeitung war dadurch gegeben, dass Schüler das in Aussicht genommene Beispiel *Untersuchung von Colasorten* selbst zur Sprache brachten. Das für die Planungs- und Strukturierungsphase entwickelte Inventar (Geschichte für den Colatest) für diese Konkretisierung war deshalb nicht notwendig. Weitere Schritte der Planung, wie sie eine Strukturierungsphase vorsieht, wurden aus demselben Grund an dieser Stelle nicht umgesetzt, so dass Elemente wie die Betrachtung des Vorgehens und der Gegenüberstellung von Sinneswahrnehmung und „chemische Sinne“ auf spätere Sequenzen des Unterrichts verlagert wurden. Aus diesem Grund entfiel die Erstellung einer mindmap, in welcher die Fragen und Ideen, Assoziationen festgehalten und gegliedert werden konnten.

Die Stunden 2 bis 4 wurden mit der Durchführung von Geschmackstests von Cola, Cola light, Cola koffeinfrei und Zuckerlösungen sowie mit umfangreichen Konzentrationsberechnungen gefüllt. Stunde 2 enthielt den direkten Vergleich der Sorten, (vgl. Anhang II, er enthält auch das Klassenergebnis). Anhand des Ansatzens einer gleich konzentrierten Zuckerlösung wurde hier der Fachbegriff Lösung eingeführt und Vorschläge zur Beschleunigung des Lösungsvorgangs gesammelt. Im Geschmackvergleich wurde die Zuckerlösung von vielen als „ekelig“ wahrgenommen. Die Stunden 3 und 4 führten anfangs zu Berechnungen der Verdünnungen sowie die weiteren Geschmackstests der Verdünnungen. Auch im ersten Teil der Stunde 5 wurden Konzentrationsberechnungen- diesmal aus bereits bekannten Verdünnungen heraus - zur Festigung der Dreisatzberechnungen geübt. Alle Sequenzen zeigten, dass diese Rechnungen eine große Schwierigkeit darstellten, auch die Umrechnungen von Größen gestaltete sich als schwierig (Beispiel: auf die Frage wie viel Liter oder Milliliter 2 cL (angegebene Größe des Probebechers) sind, gab es viele unverhältnismäßige Vermutungen wie z.B. 200mL, 2mL). Die Berechnungen nahmen gegenüber der Durchführung größeren Raum ein, weil für die Lösungen nicht der einfachste Rechenweg zu nehmen war, sondern jeweils das gleiche Endvolumen hergestellt werden sollte; diese fachmännische Vorgehensweise bedeutete einen größeren Rechenaufwand und weniger Schüleranteil, weil diese vermutlich einfachere rechnerische Wege mit dem Ergebnis jeweils

unterschiedlicher Volumina gewählt hätten. Die Verkostung der verschiedenen Verdünnungen konnten in Stunde 4 recht gut in Reihe zugeordnet werden - Folgeerprobungen zeigten da andere Ergebnisse und verdeutlichen besser, dass die geschmackliche Sensitivität ganz unterschiedlich ausgeprägt sein kann. Stunde 4 endete mit einer Betrachtung der Etikettangaben und verband damit auch den Konzentrationsbegriff. Hier zeigten - auch anhand von bereits angestellten Eigenrecherchen - die Schüler ein starkes Interesse an die Analyse der weiteren Bestandteile in der Cola.

Im Anschluss an die Berechnungen der **5. Stunde** wurden anhand der Ergebnisse der Geschmackproben und der Tatsache, dass *unsichtbarer Zucker* geschmeckt werden kann, erstmals explizit Schülervorstellungen zu einem Phänomen hervorgehoben und in dieser Stunde sowie in der 6. Stunde ausgetauscht. Entsprechende Sequenzen werden ausführlich dargestellt. Der Schmeckvorgang im Modell wurde daran anknüpfend erarbeitet und versucht, mit den vorunterrichtlichen Vorstellungen in Verbindung zu bringen.

Der dekontextualisierte Teil über Modellbetrachtungen (**Stunde 6**) nahm aufgrund der Schwerpunktsetzung zum Abschluss des Kontextes keinen breiten Raum ein. Festgehalten wurde, dass Interpretationen stofflicher Phänomene Teilchen berücksichtigen (eigene, aber auch wissenschaftliche wie das Schmeckmodell) und dass derartige Interpretationen auf einer Ebene, „die wir nicht mehr sehen können“, nicht im Widerspruch zu Beobachtungen stehen dürfen.

In der **Stunde 6** fand aufgrund von Schülerüberlegungen ein nahtloser Übergang zum **Zyklus II** „chemische Sinne“ – *die Chemie ersetzt den Vorkoster* statt. Dies wurde durch den Lehrer durch den zweiten Teil der Einstiegsfolien (vgl. Anhang I) nochmals akzentuiert.

Entsprechend der Schülervorschläge wurde versucht, unsichtbaren Zucker durch Verdampfen des Lösungsmittels wiederzugewinnen. An dieser Stelle wurden die Sicherheitsregeln und die Handhabung des Brenners - Fertigkeiten, die sonst vorab trainiert werden - innerhalb des Kontextes sinnvoll eingebettet.

Die Methode des Eindampfens wurde daher in den **Stunden 6 und 7** als erstes chemisches Verfahren im Schülerversuch angewendet und als Demoversuch zur Bestätigung der Annahme, dass Cola light (nahezu) zuckerfrei ist, angeschlossen.

Der Zyklus II weist im Folgenden eine starke Gliederung in Einzelaspekte auf, die nacheinander gemeinsam bearbeitet wurden.

Nachdem der Bestandteil *Zucker* abgehandelt wurde, wurde durch einen geeigneten Einstieg des Lehrers zu Beginn der **8. Stunde** das Augenmerk auf die Phosphorsäure gelenkt. Säuren im Allgemeinen hatten auf die Schüler eine stark affektive Wirkung, verschiedenste Säuren wurden demonstriert, wobei erkennbar war, dass gerade die Säuren des Chemikers aus der Sammlung ihren Reiz hatten. Inhaltlich wurde der Unterrichtsgang so entwickelt, dass ein spezifisches chemisches Untersuchungsmittel notwendig war, um speziell die Phosphorsäure als solche erkennbar zu machen. Denn anhand verschiedener Stoffe, die u.a. als Hausaufgabe untersucht wurden (Haushaltschemikalien) erwies sich das von den Schülern geforderte Indikator-Papier als unspezifisch. Als Ergebnis wurde der pH-Wert als einfache Maßzahl beschrieben, um saure oder alkalische Lösungen zu identifizieren. Der Begriff der Konzentration wurde hier immanent angewendet, indem ätzende Wirkung und „Genießbarkeit“ zum Thema gemacht und untersucht wurde. Aufgrund dieser Problematisierung war die Einführung eines spezifischen Nachweises für Phosphorsäure (zur „Spezifik“ siehe Kap. 5.4, S.122) gegeben. In den **Stunden 9 und 10** wurde dieser Nachweis durchgeführt, wobei im selben Zuge Cola entfärbt wurde. Hierfür waren umfangreiche Instruktionen und Protokollierungsschritte notwendig. **Stunde 11** enthielt die Auswertung des komplexen Versuchs. Dabei wurden die Fachbegriffe Adsorption und Filtration gesichert sowie die Begriffe Emulsion und Suspension geklärt, indem eine Bezeichnung aus den Beobachtungen genauer reflektiert wurde: *milchig* für die Trübung der Phosphorsäurelösung mit Cernitrat. *Milchig* und *Milch* wurden gegenübergestellt, Milch und die Cerphosphataufschwämmung wurden mikroskopiert. Auch in diesem Zuge wurden Vorstellungen hervorgehoben, die Konzepte von Teilchen und Körnchen aufzeigten; die bei der Analyse berücksichtigt wurden. Dieser Experi-

mentierphase folgte eine **Teilstunde 12**, in der dekontextualisiert Trennverfahren und Gemische mit Hilfe des Schulbuches (vgl. *Chemie heute (2001), Anhang I*) verallgemeinernd besprochen wurden.

Die **Stunde 13** erhielt für die Gliederung des Zyklus II in einzelne Fragmente einen weiteren Einstieg: die schwimmende Cola light Dose. Aufbauend auf die Vermutung: die „light“-Dose sei leichter, wurde quantitativ ermittelt, wie schwer ein jeweils definiertes Colavolumen ist. Anhand der Schülerüberlegungen konnte die Bezeichnung spezifisch leichter/schwerer als Dichtevergleich eingeführt werden. Die Ursache für den Dichteunterschied sahen die Schüler im Zuckergehalt. Im Folgenden wurde mit Hilfe von Arbeitsblättern die Dichte als physikalische Größe eingeführt und ihre Abhängigkeit von der Temperatur besprochen (Stunde 13a⁴⁸).

Anschließend wurde aufbauend auf die bisherigen Überlegungen zur Cola das Gas, das Cola sprudeln lässt, untersucht. In den **Stunden 13a und 14** wurde das Gas aus Coca-Cola isoliert, ein entsprechendes Verfahren mit den Schülern entwickelt und anschließend wurde es auf seine Eigenschaften hin untersucht. Sowohl die erstickende Wirkung auf Flammen als auch das Nachweisreagenz Kalkwasser wurde von Schülern vorgeschlagen; hier wurde aufbauend auf Schülerwissen in einem forschend-entwickelnden Unterrichtsgang gearbeitet. Auch hier traten klassische vorunterrichtliche Vorstellungen über Masse, Volumen und Flüchtigkeit von Gasen auf, die der Analyse bedürfen.

In den **Stunden 15 – 17** wurde die Eigenschaft Dichte auf eine dekontextualisierte Ebene gestellt; klassisch wurde mit Würfeln unterschiedlichen Materials gearbeitet. Die Vorüberlegungen aus den Stunden 13 und 14 aufgreifend, wurde die Dichte von Kohlenstoffdioxid, die als geringer als die von Luft vermutet wurde, experimentell bestimmt. Auf den Kontext zurückführend musste geklärt werden, wie die Verpackungsaufschrift Kohlensäure mit der Tatsache, dass es sich um ein Gas namens Kohlenstoffdioxid handelt, zu verstehen ist. Anhand der Säuerung von Wasser mithilfe eines Soda-Streamers und anschließender Indikatorzugabe wurde ein weiteres Mal ein stoffgruppenspezifisches Nachweisverfahren angewendet.

Stunde 17 führte in die dekontextualisierte Phase des Zyklus II über: Die Dekontextualisierung sollte den Alkohol-Wasser-Mischversuch beinhalten, vorbereitend bzw. überleitend wurden von den Schülern qualitative Mischversuche durchgeführt. Öl, Alkohol und Wasser wurden gemischt, hierbei wurde von den Schülern irrtümlicherweise das Konzept der Dichte als Kriterium für die Löslichkeit herangezogen. Dieser Gedankengang wurde anhand der experimentellen Dichtebestimmung in Stunde 18 falsifiziert. Teilchenbetrachtungen wurden dabei nicht angestellt. Im zweiten Teil der **18. Stunde** wurde der als spektakulär aufgefasste Mischversuch durchgeführt (in einer sehr großen Rohr-Versuchsvariante). Während die Schüler in dieser Stunde vom „Verdunsten der Lösung oder Entstehen von Luft“ ausgingen, folgten **in Stunde 19** sofort Äußerungen, die auf die Teilchenebene abzielten. Der so von den Schülern formulierte Teilchengedanke wurde dann explizit zum Thema gemacht.

Es folgten dann zwei „Phantasiereisen“, in denen der Lehrer seine Lerngruppe zuerst in eine Dimensionsreise in die „Kleinheit“ führte, anschließend zur einer „Reise an den Südpol zu den Pinguinen“. Dabei präsentierte er eine Vielzahl unterschiedlicher Pinguinmodelle, an welcher er metakonzeptuell und wissenschaftspropädeutisch die Funktion und die determinierten Merkmale von Modellen besprach. Ein wiederholender Schüler schlug daraufhin einen Modellversuch mit Kugeln zur Erklärung des Mischversuchs vor, welcher zur Veranschaulichung der Vorgänge auf Teilchenebene dienen sollte. **In Stunde 20** wurden die Ergebnisse von Real- und Modellversuch gegenübergestellt und abschließend die Grundaussagen des Modells des Teilchenmodells gesichert. Der Bausteinbegriff wurde nicht verwendet, weil der Teilchenbegriff für den Lehrer als etablierter Begriff vorgezogen wurde.

⁴⁸ Die Nummer 13a resultiert daraus, dass die Videographie der Stunde 13 auf Lehrerwunsch verworfen wurde.

Nun wurde an eine frühe Phase des Zyklus I des Kontextes zurückgeführt, in dem nochmals das Lösen von Zucker thematisiert wurde: ein weiteres Mal konstruierten die Schüler ihre Vorstellungen.

In Stunde 21 stellten einige Schüler entsprechende Teilchenmodelle vor, auch wurde vergleichend mit Schulbuchdarstellungen gearbeitet. Metakognitives Lernziel war die zweckgebundene Brauchbarkeit von Modelldarstellungen bzw. deren Mängel. Als weiterer Lehrer-Impuls wurde versucht, einen mit Klarlack versehenen Zuckerwürfel zu lösen - wobei die Lackierung vom Lehrer verschwiegen wurde und der Zuckerwürfel sich zum Erstaunen der Schüler nicht löste. Der verhinderte Kontakt zwischen Wasser und Zucker wurde im Zuge des Unterrichtsgesprächs gefordert und führte zum erneuten Perspektivwechsel, bei dem der Prozess des Lösens auf Teilchenebene beschrieben wurde. Die Suche nach der Ursache des speziellen Phänomens und des Lösens im Allgemeinen führte somit zum Aspekt der Bewegung von Teilchen, der bisher noch nicht akzentuiert wurde. **Stunde 21** schloss mit der Erarbeitung der Fachbegriffe zu den Aggregatzustandsänderungen des Wassers, welche in **Stunde 22** vervollständigt und geübt wurden. Stunde 22 behandelte anhand dekontextualisierter Beispiele das Thema Diffusion, Brom hatte dabei die Funktion eines farbigen Modellgases. Mit Übungen zu den Symbolen der Aggregatzustände und ihre Veranschaulichung auf Teilchenebene endete die Einheit in Stunde 23. Eine Rückschau auf die Einheit („*Was haben wir mit Hilfe chemischer Methoden zur Analyse der Cola erreicht?*“ usw.) blieb aus, da aber auch zu Beginn kein Mindmap erstellt wurde, war ein derartiger didaktisch-methodischer Kreisschluss nicht zwingend.

Die folgenden Schemata geben eine Übersicht über den Verlauf der Lernzyklen und stellen wesentliche Punkte heraus.

Zyklus I: Die Grenzen der Sinne

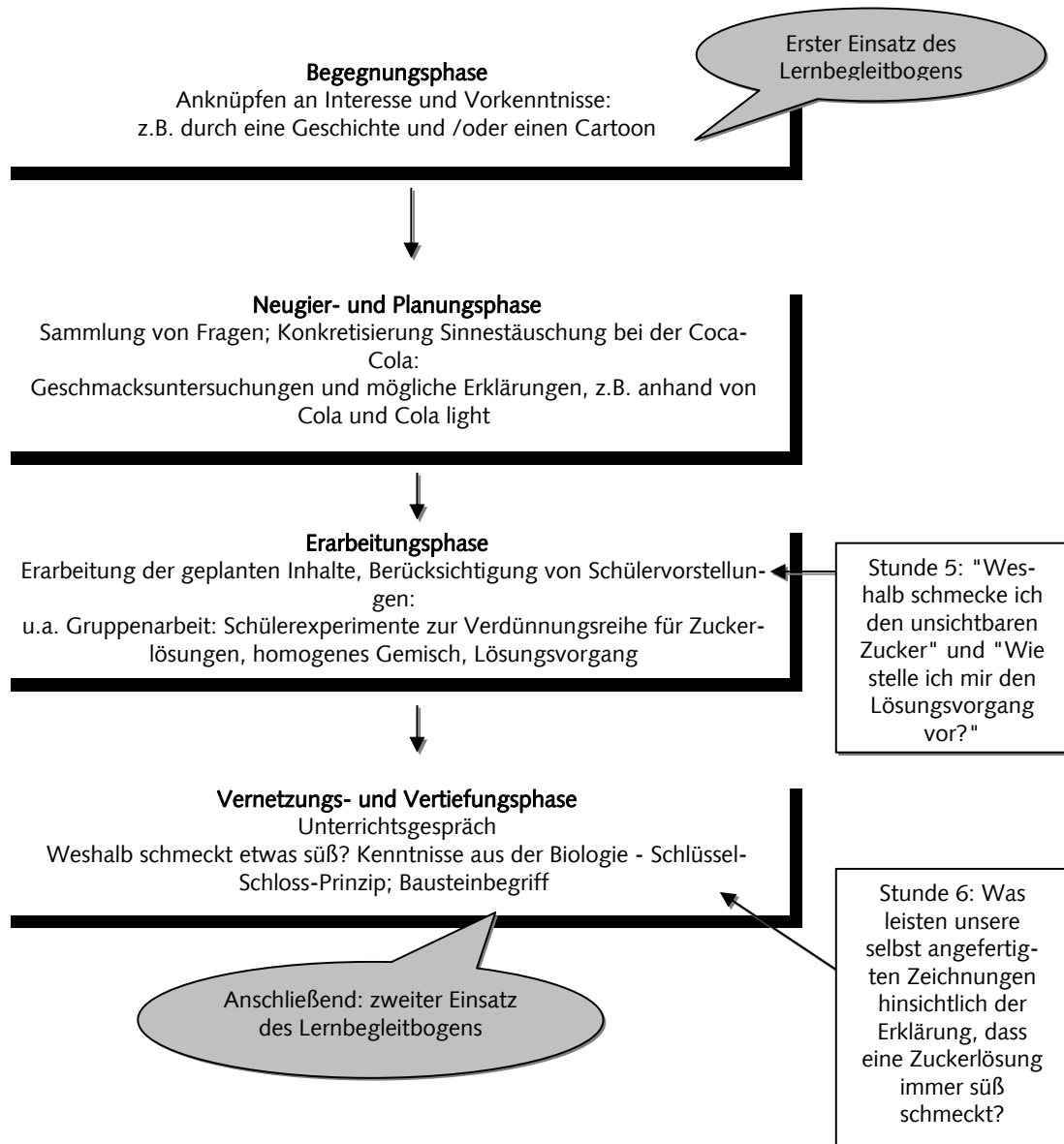


Abb. 6.5a: Lernzyklus I schematisch

Zyklus II: „Chemische Sinne“

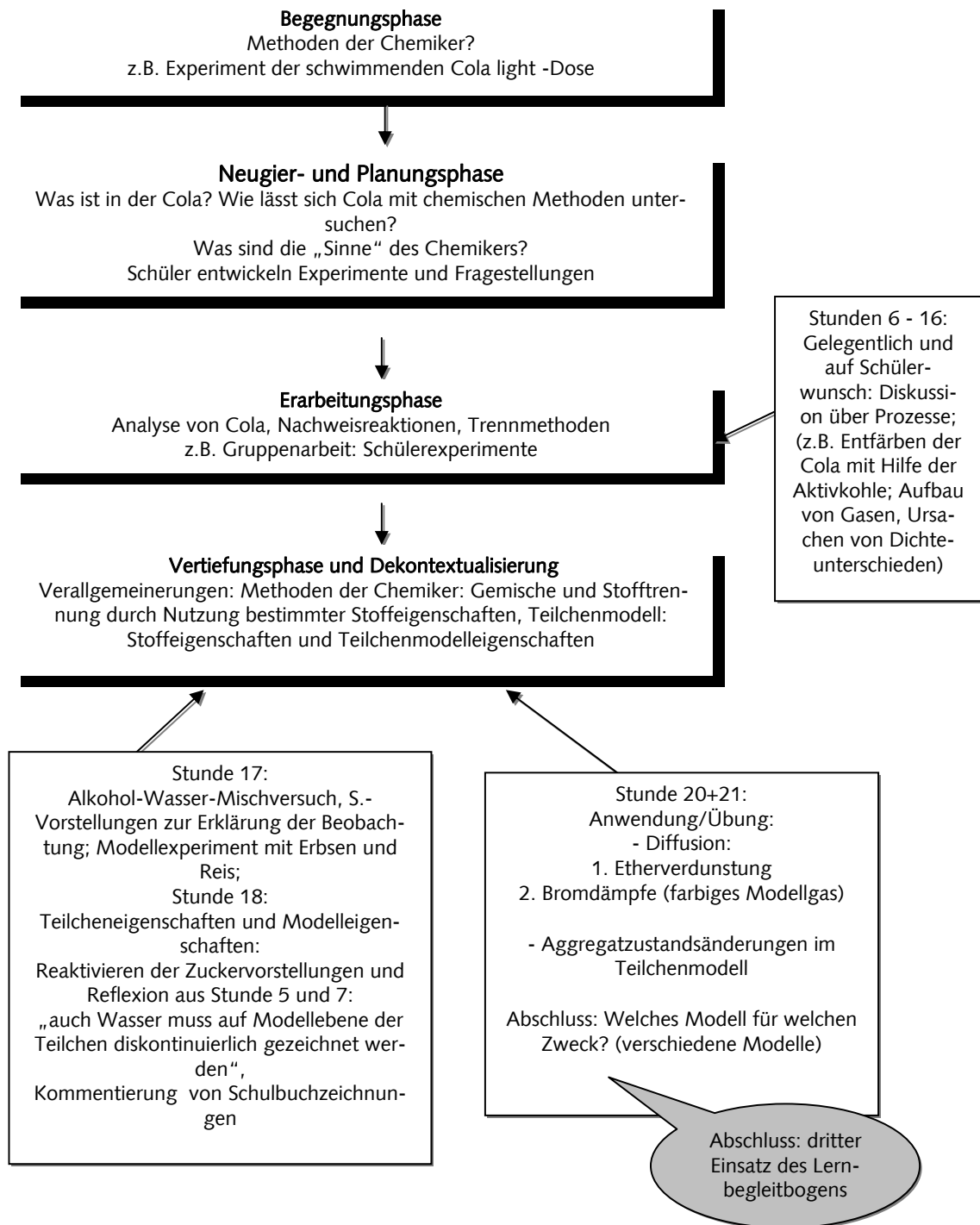


Abb. 6.5b: Lernzyklus II schematisch

6.3.2. Organisatorisches

Im Fokus der Erststudie stehen die *Erfassung auftretender Schülervorstellungen* und die *Untersuchung der Veränderungen* im Kontext der Unterrichtssituation (vgl. Forschungsfragen Kap. 6.1: S. 139). Anhand des ersten Datensatzes muss sich das Kategoriensystem bewähren, es kann optimiert und bereichert werden.

Der Lernbegleitbogen zum Thema *Teeaufguss* und zum *Lösen von Kandis* im Tee erfasst Vorstellungen zu einem Phänomen, das selbst nicht direkt Gegenstand des Unterrichts gewesen ist. (vgl. Kap. 6.2.1).

Einsatzzeitpunkte des Lernbegleitbogens

Direkt vor Beginn der Unterrichtssequenz wurden die Bögen im Sinne eines Pre-Tests eingesetzt. Der Einsatz wurde von der wissenschaftlichen Begleitung durchgeführt und bei der Erklärung des Verfahrens wurde darauf hingewiesen, dass es hierbei nicht um „falsche oder richtige“ Antworten gehe, sondern um ein allgemeines Interesse an den Schülervorstellungen bzw. -erklärungen. Zu Beginn wurden die Schüler bereits darüber informiert, dass sie ihren jeweiligen Bogen zurückerhalten werden und dass sie diesen auch einfordern können. Die Bearbeitungszeit lag bei 20 Minuten, wobei hier gewartet wurde, bis alle nach ihrem individuellen Arbeitstempo arbeiten konnten – der Großteil der Gruppe benötigte ca. 15 Minuten, einige Jungen beendeten ihre Arbeit eher.

Der Zweiteinsatz erfolgte nach der sechsten Stunde, aus Zeitgründen erfolgte dies in Abstimmung mit dem Lehrer als Hausaufgabe. Er war damit im Anschluss an die Diskussion über die Modellierungen zum „unsichtbaren“ Zucker platziert. Zwischenzeitlich forderten einzelne wenige Schüler ihren Fragebogen zur Überarbeitung zurück, aus Gründen der Vergleichbarkeit der Probandenergebnisse bei der Auswertung wurde auf eine Einzelausgabe aber verzichtet. Über die Bearbeitungszeit des Bogens als Hausaufgabe lässt sich nichts aussagen. Da die Zahl der Veränderungen gering ist, ist zu vermuten, dass sich einige Probanden zu Hause leider nicht intensiv damit beschäftigt haben.

Zwischen dem Dritteinsatz und dem Zweiteinsatz lagen 16 Unterrichtsstunden. Der abschließende Dritteinsatz erfolgte nach der 23. Stunde und auffällig war die weite Spanne der individuellen Bearbeitungszeit. Sie betrug maximal 18 Minuten. Die Videoerfassung dokumentiert die Bearbeitungsaktivität der Probanden, so dass bei der folgenden Analyse auf diesen Aspekt eingegangen werden kann.

Die Daten wurden anonymisiert mit individuellen Codes erhoben, nach Abschluss der Hospitation beider Einheiten haben die Schüler ihre Codes zur Verfügung gestellt, so dass für die Analyse die schriftlichen Daten mit Unterrichtsdaten verbunden werden können.

Die Zahl der Probanden liegt bei 24, eine Schülerin der Klasse nahm am Verfahren nicht teil, sie fehlte beim Ersteinsatz, den Zweiteinsatz in Form einer Hausaufgabe vergaß sie, auf den Dritteinsatz wurde verzichtet, da die Postversion allein methodisch nicht sinnvoll gewesen wäre.

6.3.3. Die Codes des Lernbegleitbogens

Die Aufgaben des Lernbegleitbogens aus Kap 5.3 beziehen sich einerseits auf das Ansetzen von Tee (Aufgabe 1.1), die Folgen, wenn Tee lange zieht (1.3) und auf die Verwendung heißen oder kalten Wassers (1.5). Andererseits geht es um das Lösen von Kandis in Tee (1.4), einem Phänomen, dass dem Unterrichtsbeispiel *Lösen von Zucker* kontextuell nahe liegt.

Wie in Kapitel 5.2 geklärt, wird im ersten Codierdurchgang induktiv codiert und anschließend wird in der (Explikation und) Strukturierung aggregiert und nach den Konzepten des Kategoriensystems eine Passung gesucht bzw. Unterschiede und Erweiterungen herausgestellt.

Der Anhang III.1 listet die Codes auf. Wie in Kapitel 6.2. bereits genannt, werden uneindeutige Einzelaussagen als solche codiert. Bei intersubjektiv validierter Uneindeutigkeit können die Antworten im Sinne einer weiten Kontextführung (vgl. MAYRING 1999) mit Codes zu anderen Aufgaben verglichen werden, was die Interpretation erleichtern kann. Zudem wird die Häufung uneindeutiger Codes auch zur Überarbeitung des Erhebungsinstruments führen.

Basiskonzeptcodes und kategoriale Zuordnungen

In Kap. 6.2.2 wurde der Lernbegleitbogen mit den sinngemäß erwarteten Antworten gemäß der Anteile des Basiskonzepts beantwortet. Antworten, die den Basiskonzeptanteilen entsprechen, werden als adäquates Konzept mit dem jeweiligen Anwendungszusatz bezeichnet. Es handelt sich in allen Fällen um Lösevorgänge, die sowohl auf stofflicher Ebene, als auch auf Teilchenebene beantwortet werden können.

Die Codeliste nennt für die Einzelaufgaben 1.1, 1.3 und 1.5 zuerst die fachlich adäquaten Codes, die der Stoffebene und die der Teilchenebene. (vgl. Anhang III.1), in der Weise wie sie auch das Basiskonzept beschreibt. Anschließend werden die Codes genannt, die sich sofort als Beispiele für die Unterkategorien des Kategoriensystems ausmachen lassen. Methodologisch ist festzuhalten, dass das Codieren und Abgleichen mit dem deduktiv gewonnenen Kategoriensystem in einem Schritt erfolge, was *pragmatisch* ist.

Induktive Codes

Datensätze enthalten selbstverständlich auch Aussagen, die entsprechend dem Codierschlüssel nicht gleich einer Unterkategorie des bisherigen Kategoriensystems zuzuordnen sind (beispielsweise nur Teilaspekte einer Kategorie oder Uneindeutigkeiten). Hierfür wird nach Bedarf induktiv codiert und in weiteren Auswertungsschritten mit der Kodiervorlage verglichen. Mit der Codierarbeit werden also neue Codes hinzugefügt, die im Anhang III.1 im Anschluss aufgelistet werden.

Dies verhindert einen qualitativen Verlust von Ergebnissen zu einzelnen Vorstellungsaspekten und ermöglicht es, besonders differenziert zu kodieren. Nach deduktiv geschlossenem Verfahren würden diese Datensätze herausfallen oder unsicher zugeordnet. Besonderen Anteil unter diesen Codes haben die, die für Mischkonzepte aus adäquaten Anteilen und kategorialen Anteilen stehen. Gelegentlich sind Codes enthalten, die individuelle Besonderheiten nennen, sie sind zuweilen für die intersubjektive Validierung genutzt worden (begründen eine Code-Zuordnung o.ä.), sie sind Teil der Interpretationsarbeit, auch wenn sie für die Explizierung und Strukturierung der Daten nicht immer von Belang gewesen sind.

Diese neu hinzukommenden Codierungen sind für den Forschungsertrag auch deshalb wertvoll, weil sie die Notwendigkeit des iterativen Vorgehens bei der Ergebnisfindung innerhalb des Forschungsmodell der Didaktischen Rekonstruktion unterstreichen: Die Schülerperspektive, die fachliche Klärung und ihr bisheriges Ergebnis der Didaktischen Strukturierung werden dadurch Optimierungen erfahren.

Das Aggregieren der Antworten gleichen Kontexts

Die Antworten der Schüler zu den Aufgaben 1.1, 1.3 und 1.5 werden aufgrund des gemeinsamen Kontextbezugs auf Grundlage der Kodierungen zusammengestellt zu Explizierungen über das oder die insgesamt angewendeten Konzept(e). Dies entspricht im Ergebnis einer Strukturierung im Analyseverfahren der qualitativen Inhaltsanalyse MAYRINGS (d.h. gleiches Thema in allen drei Aufgaben, unterschiedliche Bedingungen, vgl. Kap. 6.2). Die Antworten der Aufgabe 1.4 werden gesondert expliziert und strukturiert, weil sie einen anderen Kontext besitzen. Aufgabe 1.2 wird dann für die Analyse mitgenutzt, wenn ein direkter Bezug zum fachlichen Phänomen enthalten ist.

Quantitative Auswertung innerhalb der Probandengruppe

Für das Aggregieren der Daten verschiedener Probanden werden Code-Gruppierungen vorgenommen. Auch die induktiv gewonnenen Codes werden dabei zusammengestellt; sie sind ja zuweilen so definiert, dass sie Besonderheiten hervorheben, aber innerhalb einer Unterkategorie bzw. Kategorie liegen. Hier ist eine Passung oder Zugehörigkeit leicht zu organisieren. Der Anhang III.1 Codeliste listet die Codes bereits der Übersicht halber in der kategorial geordneten Form auf. Auf Besonderheiten und Neuerungen wird an geeigneter Stelle eingegangen. Bei Uneindeutigen oder unvollständigen Codes wird im Hinblick auf das Erkenntnisinteresse und der Beurteilung (vgl. B 3.3.1) eine Teilaussage ausgewählt mit höherem Status belegt. Die Gruppierungen werden abschließend gemäß dem Kategoriensystem mit A für die Stoffebene, B für die Mischkonzeptebene und C für die diskontinuierliche Sicht zusammengefasst.

6.3.4. Ergebnisdarstellung

Im Folgenden zuerst ein qualitativer Einblick dahingehend gegeben, welche vorunterrichtlichen Vorstellungen bei der Ersterfassung auftreten. Im nächsten Schritt werden quantitative Ergebnisse zur Verteilung der Vorstellungen und ihrer Veränderung vorgestellt. Der dritte Schritt besteht in der Darstellung individueller Verläufe der Konzeptveränderung.

6.3.4.1 Vorstellungen zum Teeaufguss

Welche vorunterrichtlichen Vorstellungen treten zum Teeaufguss, zum „Ziehen lassen“ und zum Einfluss der Temperatur auf? Die folgende Auswertung bezieht sich auf die Gesamtheit der Aufgaben 1.1, 1.3 und 1.5, da die benötigten Fachkonzepte zur Beantwortung dem gleichen Basis-konzept angehören. Die Aufgaben 1.3 und 1.5 sind häufig nur sehr kurz beantwortet worden und beinhalten dann rein deskriptive Aussagen („Der Tee wird schwarz“). In anderen Fällen dienen sie allerdings der nochmaligen Artikulation einer in Aufgabe 1.1 aufgetretenen Vorstellung und bestätigen zugeordnete Codes oder ermöglichen dort eine sichere Zuordnung.

Die Vorstellungen und Konzepte verteilen sich sowohl auf solche, die den konzeptuellen Kategorien zugeordnet werden können als auch auf solche speziellen Codes, die induktiv gewonnen werden. Die folgenden Tabellen zeigen die wesentlichen Ergebnisse, die induktiv codiert wurden und dann mit den deduktiv gewonnenen Kategorien abgeglichen wurden.

Der Lernbegleitbogen erfasst demnach prognostizierte Vorstellungen und Konzepte. Zudem treten interessante Kombinationen und Varianten der Konzeptverwendung auf.

Adäquate Antworten auf Stoff- und Teilchenebene:

⇒ Codierungen
Anhang III.2

Ein kleiner Teil der Schüler wendet ein adäquates Stoffkonzept an, dies allerdings nicht immer konsistent in allen drei Teilaufgaben. Antworten gemäß der Kategorie C traten nicht auf.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.3d1 und 1.5 d1	Her- kunft
Code: Adäquat Lösen inkl. Auswaschen o.ä. (Induktiver Code)	Die Blätter haben irgendeinen Stoff gespeichert, der vom Wasser ausgewaschen wird.	P21
	Stoff von Blätter wird durch heißes Wasser gelöst und gehen ins Wasser über.	P10
Code: Eigenschaften auf stofflicher Grund- lage (Induktiver Code)	Die Aromastoffe in dem Tee lösen sich im siedenden Wasser auf und verteilt sich gleichmäßig (deswegen muss man es manch- mal umrühren).	P13
	Dadurch, das in den Blättern eine Art Farbstoff ist	P12
	Es lösen sich dann andere bittere (z.B. schlecht schmeckende) Stoffe aus dem Tee, wodurch er sich schlecht trinken lässt.	P13
	Es werden zu viele Farb- und Geschmackstoffe abgegeben. Der Tee schmeckt viel intensiver und evtl. bitter. Auch die Farbe wird dunkler	P15
	Wenn man z.B. schwarzen Tee zu lange ziehen lässt wird er bitter, weil dann zu viele Aromastoffe aus den Blättern gekocht werden weil die Stoffe nur beim Erhitzen freigegeben werden.	P1 P5

Tabelle 6.11: Adäquate Antworten auf Stoffebene, siehe Anmerkung

Die Antworten sind grammatikalisch und hinsichtlich der Rechtschreibfehler nicht korrigiert. Hervorhebungen stammen von der Autorin.

Beispiele zu kategorial belegten alternativen Konzepten

⇒ Codierungen
Anhang III.2

Viele der prognostizierten Konzepte werden verwendet, so dass sich der Bogen nach Erstcodierung in der Untersuchungsphase als geeignet bzw. reliabel herausgestellt hat. Die folgenden Zitate sind z.T. mehrfach codiert, sie gehören oft nicht allein *einer* Unterkategorie an, was für qualitative Ergebnisanalyse nicht ungewöhnlich, sondern hilfreich ist.

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.1,1.3 und 1.5 d1	Her- kunft
Code: A3 mechanisch, kraftbegründet	Aus den Blättern wird der Geschmack und der Farbstoff gezo- gen.	P6
	das Wasser zieht aus den braunen Blättern das Aroma	P17
	Das siedende Wasser, das auf die getrockneten Blätter gegossen wird macht die Teeblätter nass und entzieht daraus den Geschmack, man kann die Teeblätter nur einmal benutzen	P18
	Das heiße Wasser saugt die Stoffe aus den Blättern.	P20:
	Die Aromastoffe werden durch das warme Wasser aus den Blättern gesaugt , was dann den Geschmack des Tees ergibt. Und die Farbe kommt auch auf die Farbe der getrockneten Blätter an	P24

6. Die empirische Untersuchung

Code: A4 nonmaterial properties	Diese Blätter haben ein bestimmtes Aroma , das sich auf die Flüssigkeit überträgt . Legt man zum Beispiel eine Wurst in ein Kleidungsstück, so wird dieses den Wurstgeruch annehmen . [...] Ich würde warmes Wasser nehmen, da sich die Aromen , die ja auch im Eistee sind, bei erhitztem Wasser besser entfalten können.	P14
	Durch heißes Wasser wird die Farbe von den Blättern freigesetzt und ins Wasser übertragen	P16
	Das siedende Wasser, das auf die getrockneten Blätter gegossen wird macht die Teeblätter nass und entzieht daraus den Geschmack , man kann die Teeblätter nur einmal benutzen	P18
Code: A5 phänomenologisch-gegenständlich	Das heiße Wasser weicht die Teeblätter auf und dadurch geben die Blätter ihr Aroma an das Wasser ab .	P7
	Auf den Teeblättern ist eine Schicht aus Teestaub . dieser entfernt sich von den Blättern sobald das Wasser darüber gegossen wird und vermischt sich mit dem Wasser, es entsteht Tee. Der Tee wird zu stark, da immer mehr Teestaub zum Wasser gelangt [...] Ich würde ich erst mit heißem Wasser aufgießen und dann abkühlen lassen, sonst kann sich das Pulver nicht vom Blatt lösen	P11
	[...] Ich würde erst heißes Wasser nehmen damit die Blätter mehr Aroma abgeben und dann abkühlen.	P17

Tabelle 6.12: Beispiele der Lernbegleitbogenergebnisse zu kategorial belegten Vorstellungen Kategorie A: Stoffebene

Die Erläuterungen sind in sieben Fällen *aktiv-kraftbegründet* (Unterkategorie A3). In mehreren Äußerungen findet dabei die Temperatur als *Eigenschaft* „warm, heiß“ Berücksichtigung, ein Aspekt, der für das *Zuschreiben von Stärke* konzeptuell bedeutsam ist (vgl. STAVY 1995, Kap. 3.2). Von Wichtigkeit ist, ob diese aktiv-kraftbegründete Sicht in Kombination mit einem Konzept der stoffgebundenen Eigenschaften auftritt oder aber in Kombination mit anderen alternativen Konzepten. Im ersten Fall könnte der Begriff *des Ziehens* dann eher eine alltagssprachliche Nuance für das *Lösen* sein, es findet alltagssprachlich genau diese Verwendung: „Man lässt den Tee ziehen“, (vgl. Aufgabenformulierung), die sprachliche Wahl ist daher nicht ungewöhnlich. Das Verb „saugen“ [2] ist allerdings alltagssprachlich weniger im Aufgabenkontext beheimatet und lässt eine Zuordnung zum *Konzept* der Kategorie A3 gesicherter zu.

In einigen Fällen [4] ist die Zuordnung zu den Codes für *adäquat Lösen* und *Eigenschaften auf stofflicher Grundlage* gegeben - dies ist für das Basiskonzept sehr viel wertvoller (vgl. Kap. 3.3.1) als die Nutzung aktiv kraftbegründeter Formulierungen oder Denkmuster. In den anderen Beispielen tauchen neben der Zuordnung des Konzepts A3 auch Codes noch anderer Unterkategorien auf. Diese sind vermutlich gemäß der Beurteilung in Kap. 3.3.2 wichtiger. Für die Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts Energie im ChiK-Curriculum sollten die Ergebnisse Berücksichtigung finden.

Des Weiteren sind Vorstellungen der Codes *nonmaterial properties* (A4) und *phänomenologisch-gegenständlich* (A5) vorhanden. Äußerungen dieser Unterkategorien haben gemeinsam, dass Eigenschaften – Aroma, Geschmack und Farbe - getrennt oder als Synonym für die eigenschaftsübertragenden Stoffe verwendet werden. Zumeist wird das *Übertragen* im Sinne eines Geben- Nehmen- Prinzips formuliert: „Wasser hat anschließend Geschmack, der Tee oder die Blätter nicht mehr“ (Redigierte Aussage) Wie den Antworten zu entnehmen ist, werden die *Eigenschaften Aroma* und *Farbe* als *eigenständige Qualitäten* des Gegenstandsbereichs (Blätter, auch Tee als *Ding*) auf den Stoff Wasser *übertragen*. Das Interessante an diesen Ergebnissen ist,

6. Die empirische Untersuchung

dass die Codes der Kategorie A4 und A5 häufig *in Kombination* auftreten. Damit schießen sie gerade die wichtige Betrachtungsebene der Stoffe aus; jene Basiskonzeptebene, auf der chemische Betrachtungen ihren Ausgangspunkt nehmen! Es kommt nicht zum Ausdruck: *Stoffe der Teeblätter lösen sich im Wasser, sondern die Blätter geben Farbe, Aroma/Geschmack an Wasser ab*. Die fehlende Unterscheidung von Stoff- und Gegenstandsebene, auf die KRNEL (1996) UND EILKS (2002) hinweisen, wird demnach anhand der Lernbegleitbogendaten belegt bzw. bestätigt.

Das Auftreten von Vorstellungskombinationen ist eine Auffälligkeit, die hinsichtlich ihrer Veränderbarkeit im Lernbegleitbogen und ihrer Genese und Überarbeitung weiter untersucht werden soll.

Ein weiteres Ergebnis ist, dass die Ebenen der Stoffe mit dem Konzept der übertragbaren, unabhängigen Eigenschaften kombiniert werden. Folgende Äußerungen deuten eine duale Sichtweise an: *Stoffe* und unabhängige *übertragbare Eigenschaften* sind am Prozess beteiligt.

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.1.,1.3 und 1.5 d1	Herkunft
Code: Adäquat Stoffe und (A4 nonmaterial properties (Induktiver Code)	Es nimmt Aroma an und Stoffe werden freigegeben [...] unter anderem auch Teeine,	P5, P22
	Den Blättern wird das Aroma und der Farbstoff entzogen	P3
	Aus den Blättern wird der Geschmack und der Farbstoff gezogen.	P6

Tabelle 6.13: Beispielantworten mit kategorialer Zuordnung A4 und A5

Die Angaben sind fachlich widersprüchlich: *Geschmack/Aroma* als werden als übertragbare Eigenschaft, *Farbe* als stofflich gebundene Eigenschaft verwendet, wohinter sich also eigenschaftsspezifische Unterschiede verbergen können. Es ist zumindest angedeutet, dass Geschmacksgabung sich stoffunabhängig vollzieht. Des Weiteren konnte in einigen Fällen (1.1 [2], 1.3 und 1.5 [5]) das Wort *Aroma* in Kurzaussagen nicht interpretiert werden. Es ist fraglich, ob die Probanden bei Nachfrage „Aromastoff“ meinen würden, wenn dann kann dies in der Folgeversion korrigiert werden, denn mit zunehmendem Gewinn an Fachwissen und fachsprachlichem Ausdruck könnten sie Korrekturbedarf erkennen. Dies bleibt zu verfolgen.

In den Antworten finden sich einige wenige Teilchenvorstellungen [3], die angelehnt an die Mischkategorie B interpretiert werden können.

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.1.,1.3 und 1.5 d1	Herkunft
Code: B1 Körnig	Das siedende Wasser, dass auf die getrockneten Blätter gegossen wird zersetzt sie teilweise und nimmt kleinste Teilchen auf, dann fließt der Tee weiter durch den Filter in die Kanne	P23
Code: B2 Teilchen in Kontinuum Code: Teilchen statisch	Das Getränk wird kühl und kann die kleinsten Teilchen nicht mehr halten. Ein Bodensatz bildet sich.	
Code: B2 Teilchen in Kontinuum	Ich würde heißes Wasser nehmen, damit soviel kleinste Teilchen aufgenommen werden können wie eben möglich ist.	P23

6. Die empirische Untersuchung

	Die Blätter geben das Aroma und <i>Farbstoffe</i> in Form von Atomen an das Wasser ab. Das Wasser nimmt diese auf und bindet sie in die eigene Struktur ein. deshalb hat das "Teewasser" auch nach Entnahme der Blätter Geschmack und eine Farbe	P15
Code: B5 dual Stoffe und Teilchen	Durch Erhitzung des Wassers werden der braune Farbstoff und die aroma Teilchen herausgefiltert	P4

Tabelle 6.14: Beispielantworten mit Mischkonzepten der Kategorie B

Die Konzepte treffen die Beschreibungen der genannten Unterkategorien B 2 und B3, z.T. in Doppelungen (P23)]. Selbstverständlich beinhaltet ein Konzept der *Körnigkeit* immer auch eine Teilchen in Kontinuumssicht, dies ist aber für das Konzept dieser Unterkategorie nicht von Belang und wird deshalb nicht mit codiert (vgl. Kap. 3.3.1) In der letzten Aussage (P4) wird einerseits die Eigenschaft *Farbe* – fachlich korrekterweise - stofflich gebunden, andererseits Aroma auf der Basis von Teilchen modelliert. Die Beschreibung liegt daher nicht konsequent auf einer Ebene. Es könnte sogar interpretiert werden, dass der Proband meint, die Teilchenhaftigkeit könne nicht für alle Stoffe herangezogen werden. Da sich Vorstellungen mit dieser konzeptuellen Mischung häufen, wurde – wie in der Codeliste beschrieben - eine neue Unterkategorie B5 für diese „duale unverbundene Sicht“ gebildet, die dazugehörigen induktiven Codes beginnen immer mit „*dual* :...“.

Insgesamt liegt aber der überwiegende Teil der Antworten auf der Stoffebene – oder eben auf der Gegenstands- und Phänomenebene.

6.3.4.2 Vorstellungen zum Lösen von Kandis

Vorab sei festgestellt, dass einige Antworten [4] alltagssprachliche Kurzformulierungen wie „Der Tee wird gesüßt“ „Der Zucker löst sich auf und es schmeckt süß“ „Der Kandis löst sich auf und verstüßt den Tee“, oder „der Tee wird süß“ nicht weiter interpretiert werden. Sie sind gegenständlich-phänomenologisch festgestellt und in soweit korrekt, aber sehr kurz und damit schwerlich weiter interpretierbar. Das Verb *auflösen* ist hierbei zwar auffällig, eine Interpretation im Sinne der Unterkategorie A1 erscheint mir unsicher. Deshalb sind Kurzantworten wie die folgend genannte nicht eindeutig interpretierbar und mit dem entsprechenden Code belegt.

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.4	Herkunft
Code: A1 verschwinden auflösen? (Induktiver Code)	Durch die Hitze zerspringt der Kandis und löst sich auf.	P3, P9 P17

Tabelle 6.15: Beispiel kurzer alltagssprachlicher Antworten

Ob mit „löst sich auf“ ein *materielles Verschwinden* gemeint ist oder nur die Tatsache, dass der Kandis nicht mehr sichtbar ist, bleibt unklar. Neben einigen solchen Kurzantworten werden aber vorrangig die kategorial belegten Vorstellungen und Konzepte angewendet.

Nur ein Proband wählt den Begriff *Zucker* für den zu lösenden Stoff, der den Kandis bildet, damit liegen die anderen Prozessbeschreibungen für den Kandis fachlich eher auf der Gegenstandsebene. Folgebeschreibungen verdeutlichen aber, dass in einigen Fällen Kandis im Sinne eines Stoffkonzepts verwendet wird.

Adäquate Interpretation auf Stoff- und Teilchenebene

⇒ Anhang
Codierungen III.2

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.4	Herkunft
Code: Adäquat lösen incl. Auflösen	Der Kandis löst sich auf und süßt den Tee. Nimmt man zuviel Kandis, löst er sich nicht mehr, weil der Tee schon „gesättigt“ ist.	P1
	Da der Tee heiß ist, löst sich der Kandis auf und der Tee wird süß. Ist der Tee allerdings kalt, kann der Kandis sich nicht auflösen und vermengt sich auch nicht mit dem Tee.	P11

Tabelle 6.16: Beispiele adäquater Antworten der Kategorie A

Diese weiteren Ausführungen zeigen, dass vom Verschwinden nicht ausgegangen wird. Eine Antwort liegt schon beim Ersteinsatz auf diskontinuierlicher Ebene, Kategorie C:

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.4	Herkunft
Code: Lösen diskontinuierlich	Die Moneküle des Zuckers lösen sich auf und mischen sich zwischen die Wassermoneküle	P13

Tabelle 6.17: Beispiele adäquater Antworten der Kategorie C

Das Wort *Moneküle* ist zwar falsch und auch die Formulierung etwas überarbeitungswürdig (auflösen), aber die Gesamtaussage beinhaltet ein Diskontinuumsmodell. Die Antwort ist zugleich ein Beispiel dafür, dass das Wort *Auflösen* für *Lösen* verwendet wird (vgl. oben).

Beispiele zu den kategorial belegten Vorstellungen

⇒ Anhang
Codierungen III.2

Hierbei werden zuerst die Antworten der stofflich-phänomenologischen Ebene genannt.

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.4	Herkunft
Code: A4 nonmaterial properties Code: A1 verschwinden auflösen	Der Tee bekommt einen süßen Geschmack Wenn man Kandis in Tee auplöst bekommt der Tee einen süßlichen Geschmack [bei Codierung für nonmaterial properties in 1.1 und 1.5]	P 12 P7,
	Code: A5 phänomenologisch-gegenständlich	Er schmilzt [...] durch die Erwärmung wird der Kandis flüssig Der Zucker löst sich und wird flüssig
		Der Kandis Kristall löst sich in seine ursprüngliche Form zurück auf

Tabelle 6.18: Beispielantworten der Kategorie A

Die o.g. ersten Beispiele können dahingehend interpretiert werden, dass auch hier eine Übertragung der *Eigenschaft süß* angenommen wird (A4, Geben-Nehmen- Prinzip von Eigenschaften). Dies erscheint besonders dann angebracht, wenn auch im Aufgabenkontext 1.1-3-5 von Nonmaterial Properties ausgegangen wird.

6. Die empirische Untersuchung

Uneindeutig ist, ob es hierbei in Kombination mit dem eher altersuntypischen Konzept des „Verschwindens“ des Zuckers (A1) genutzt wird. Dies kann nur in einem Fall ausgeschlossen werden.

Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.4	Herkunft
Code: Adäquat und A4 nonmaterial properties (Induktiver Code)	Der Kandis löst sich von dem heißen Wasser und gibt dem Tee einen süßen Geschmack . Anmerkung: (Nonmat. In 1.1, Aroma in 1.3 und 1.5)	P18

Tabelle 6.19: weitere Antwort der Kategorie A

Die induktive Methodik belegt also auch hier eine Vorstellung zum Code des Mischens der Stoffebene mit dem nonmaterial properties- Konzept.

Das Konzept A2 „Verdünnen und Verdichten“ taucht nicht auf.

Die Besonderheit des Schmelzens von Kandis als phänomenologisch-gegenständliche Beschreibung ist vermutlich mit der Beobachtung der Schlierenbildung zu begründen. Das Schmelzen eines annähernd klaren, kristallin aussehenden Eiswürfels in Wasser kann als Analogon für diese Vorstellung dienen, damit liegt ein Kategorisierungsfehler vor (vgl. *CHI et al.*, Kap. 3.1). Dies sollte bei der Optimierung des Unterrichtsangebots Berücksichtigung dahingehend finden, dass in einem Schlüsselement gedeutet wird, was passiert, wenn ein Zuckerwürfel und ein Eiswürfel in Wasser gegeben werden.


Codes der Kategorie	Beispiele aus Aufgabe 1.4	Herkunft
Code: B1 Körnig	Zeichnung mit Körnchenbildung:  <p>*Anm.: Vorhandensein von untereinander ähnlichen Körnchen. Dazu der Wortlaut: Der Zucker löst sich auf.</p>	P10
Code B2 Makro Mikro (umgekehrt) Code: B1 Körnig	das Wasser, das ständig in Bewegung ist, reibt kleinste Teilchen vom Kandisstück ab und nimmt sie auf.	P23
Code: B3 Teilchen in Kontinuum	Sie lösen sich auf, Der Zucker löst sich und verteilt sich im Tee. Das kommt durch die Moleküle , die sich beim Erhitzen oder bei Berührung mit Wasser voneinander trennen.	P14
	Ich denke der Kandis besteht aus winzigen Teilchen die sich durch das Wasser auseinander teilen und dann im Wasser rumschwimmen	P20
Code: B3 Teilchen in Kontinuum umgekehrt Code: Körnig, Code: Teilchen und Kraft Stärke (Induktiver Code)	Der heiße Tee (die kleinen Teilchen) schwingen so stark, das sie den Kandis von allen Seiten angreifen und dieser langsam zerfällt	P16

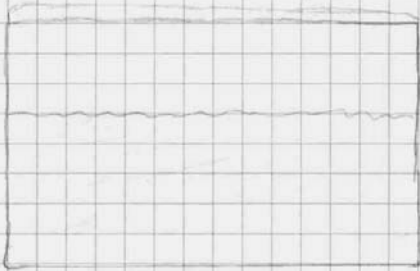
Tabelle 6.20: Beispielantworten mit Mischkonzepten der Kategorie B

6. Die empirische Untersuchung

Unter den Teilchenbetrachtungen finden sich solche, die ein Vorgebildetsein von Teilchen bereits annehmen (P14, P20) Von einem Probanden wird das Medium als partikulär gebaut aufgefasst, dies wird allerdings für Zucker nicht mit aufgenommen (P16). Auch der Begriff „Atom“ im Fall P6 ist zwar nicht korrekt, meint aber vermutlich eine diskontinuierliche Entität auf der Modellebene und ist somit dem Fachkonzept entsprechend (Der Aggregatzustandswechsel ist dann allerdings ein Fehlkonzept der Kategorie A.).

Einige Zeichnungen des Schlüsselements aus dem Unterricht veranschaulichen ebenfalls die Nutzung des Teilchengedankens nach Konzepten der Kategorie B, gezeigt sind jene, die im Unterricht präsentiert wurden und über deren Auseinandersetzung die Videographie vorliegt.

Meine Vorstellung über eine Zuckerlösung, in der 31
der Zucker nicht mehr sichtbar ist.



Das erwärmte Wasser löst den Zucker in so kleine Teile auf, dass man ihn mit dem bloßen Auge nicht erkennen kann. Diese Teilchen schwimmen im Wasser umher und verbinden sich mit dem Wasser. Nur das Aroma kann der Mensch mit seinen sinn-organen erkennen.

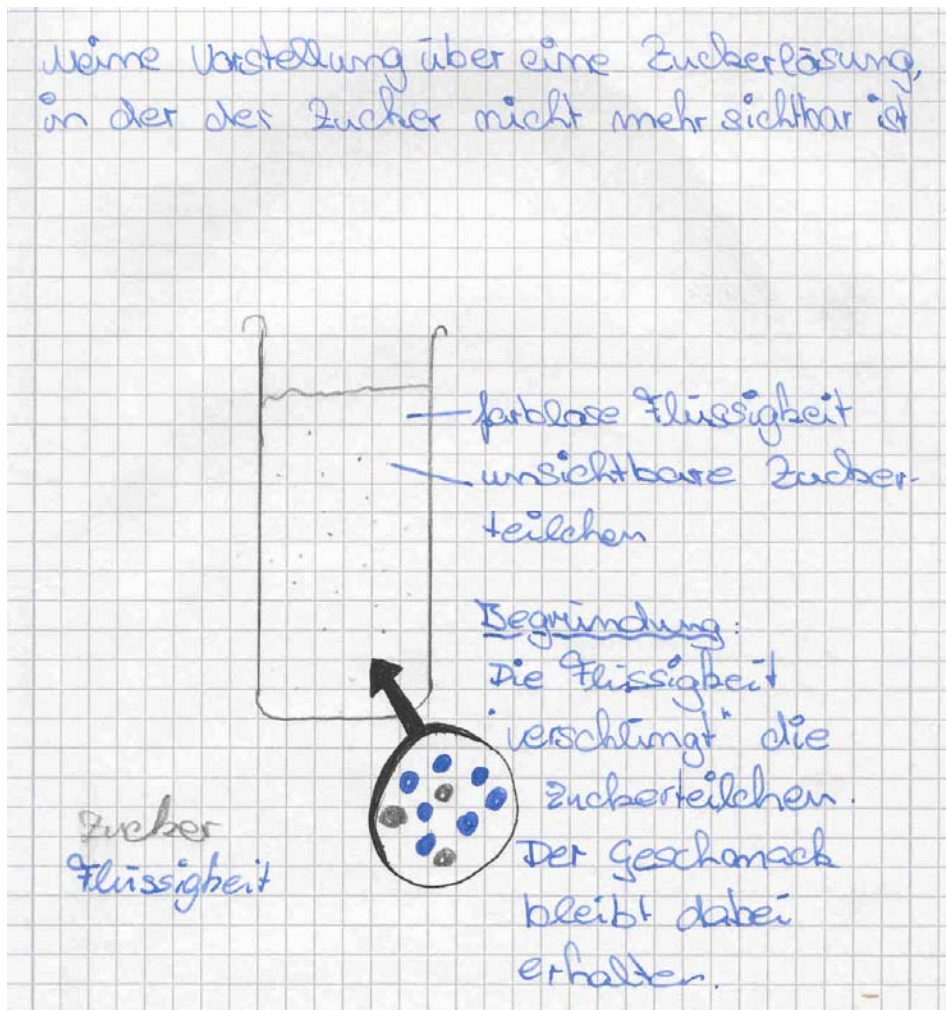


Abb. 6.6a, b: Schüleraufzeichnungen aus der Phase des Schlüsselements

Die häufigen Prozessbeschreibungen unter Berücksichtigung von Teilchen in der ersten Antwortversion – wie auch im Unterricht – unterstützen die von NIEDDERER (2001) und WITTMANN (1994) formulierte Annahme, das Konzept der Teilchen oder des Partikulären stelle einen kognitiven Attraktor dar. Allerdings regt fast ausschließlich das zweite Thema, das das Lösen und damit wahrnehmbare Verschwinden eines Feststoffes in Frage stellt, Schüler zur Assoziationen mit Teilchen an. Der Aufgabenkontext des Teezubereitens stützt die Attraktor-Theorie nicht. Hierzu könnte eine genauere Bedingungsanalyse erfolgen: In beiden Fällen sind feste Stoffe beteiligt, im Fall des Tees bleiben aber offensichtlich feste Stoffe bzw. ein wahrnehmbarer Körper – die Teeblätter – zurück. Eine Deutung unter Berücksichtigung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens und des Deutungsmusters des „Teil – Ganzes“ Denkens (vgl. Kap. 3.2 und 3.3.1) kann zur Hypothese führen, dass immer dann Teilchenbetrachtungen bevorzugt angestellt werden, wenn ein eindeutiges makroskopisches Unsichtbarwerden damit einhergeht (Schwierigkeiten der Betrachtungsebenenüberschneidungen wären vermutlich dann sehr bedeutsam). Sollte sich in Folgestudien diese Datentendenz beweisen, so könnten Vorstellungen zu Löse- und Mischexperimenten mit Merkmalsunterschieden (Flüssigkeiten in Flüssigkeiten, Lösen von Feststoffen und von Feststoffgemischen in Wasser, bei denen lediglich Komponenten in Lösung gehen) in einer

Laborstudie mit Hilfe von Interviews untersucht werden, um die Begründungsmuster zu erforschen.

Wie bereits aufgeführt, wird auch hier ein Beispiel für eine unverbundene Sicht der stofflichen Ebene und der Modellebene (Unterkategorie B5) gegeben: P15 argumentiert diskontinuierlich, er beschreibt einen Mischvorgang von Atomen. Er setzt aber die Stoffebene (z.B. durch die Worte „deshalb, dadurch verschwindet der Kandis“) nicht kausal in Beziehung. Mit „der Kandis selbst“ und der Aussage, dass sich dieser in kleine Teilchen teilt, gibt er eine weitere Erklärung, die für sich stehen könnte (und die dann der Unterkategorie B1 angehören würde): Auf der Teilchenebene scheint ein Mischvorgang stattzufinden, daneben zerteilt sich das Kontinuum Zucker im Sinne einer körnigen Sichtweise immer weiter in kleinste, nicht mehr sichtbare Teilchen/Bruchstücke.

Das Konzept dieser Art – Teilchen und Stoffe nicht in Beziehung zu setzen - ist im Kategoriensystem bisher nicht explizit beschrieben. Deshalb ist hierzu eine neue Unterkategorie B5 für die duale, unverbundene Sicht einzurichten. Der Titel „dual: Stoffe und Teilchen“ wird hierzu gewählt. Es tauchen (v.a. in den Folgesätzen des Bogens) ebenfalls Vorstellungen auf, in denen diese duale Sicht (bei der Codierung) noch spezifiziert werden kann; je nach Nutzung alternativer Konzepte der Stoffebene werden sie dann z.B.: „dual: Teilchen und nonmaterial properties.“, „dual: Teilchen und Kraft, Stärke“ genannt. Sie sind alle Teile der neuen Unterkategorie B5. Beispiele werden noch folgen.

Insgesamt verdeutlichen die beispielhaften Antworten unterschiedliche Unzulänglichkeiten im Vergleich zum fachlichen Konzept. Damit stellen auch die Antworten zu Aufgabe 1.4 interessante Startpunkte für die Untersuchung von Veränderungen dar.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des Ersteinsatzes des Lernbegleitbogens, dass die erfassten vorunterrichtlichen Vorstellungen zum Thema Teezubereitung den in der Literatur geschriebenen Konzepten gut zuzuordnen sind. Es ist demnach festzuhalten, dass mit der Thematik des Fragebogens nicht nur situative, sog. Ad hoc Vorstellungen (vgl. HÄUßLER *et al.* 1996) erfasst werden, sondern solche, deren dahinter liegende und verankerte Konzepte auch in anderen Zusammenhängen empirisch belegt sind, d.h. sie sind verallgemeinerbar im Sinne qualitativer Forschung (viabel). Das in Kap. 3.2.1 erstellte Kategoriensystem bildet eine gute Grundlage für die Auswertung. Es wird auf Grundlage der Daten sogar um eine Unterkategorie in den Mischkonzepten bereichert.

Der Prozess des Teekochens wurde zunächst getrennt betrachtet vom Lösen von Kandis im Tee. Zum Phänomen Teeaufguss tauchen neben aktiven, kraftbegründeten Beschreibungen, denen weniger Bedeutung beigemessen wird, solche Vorstellungen auf, bei denen das Konzept der nonmaterial properties angewendet wird, und solche, die konzeptuell ausschließlich dem gegenständlichen Bereich zugeordnet werden können. Das Auftreten der Kombination beider Konzepte ist bisher in der Literatur nicht dokumentiert, sie verdient für weitere Untersuchungen besonderes Augenmerk und muss in die Überarbeitung der bisherigen Didaktischen Strukturierung einfließen.

Zum Lösen von Kandis im Tee findet man auffälligerweise bereits in der Erstversion zahlreiche Teilchenvorstellungen, die der Kategorie B zuzuordnen sind, z.B. körnige und Teilchen-in-Kontinuumvorstellungen sowie auch dual unverbundene Beschreibungen von Teilchen und Stoffen, die zu einer neuen Unterkategorie zusammengefasst wurden. Es ergibt sich somit die Frage nach der Ausbaufähigkeit dieser Vorstellungen und Konzepte.

Die quantitative Verteilung der Vorstellungen befindet sich in Anhang III.3

6.3.4.3 Veränderungen von Vorstellungen - der quantitative Überblick

Die quantitativen Daten werden über das Aggregieren konzeptuell vergleichbarer Antworten gewonnen. Vorab wird ein quantitativer Überblick hinsichtlich formeller Ergebnisse gegeben. Die Zahl der Veränderungen insgesamt wird in Tabelle 6.21 dargestellt:

Antworten der Aufgabe	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
d2 verändert [N]	6	8	5	9	5
d3 verändert [N]	14	14	10	17	14
nicht veränderte Antworten [N]	8	5	11	2	7

d= Durchgang

Tabelle 6.21: Zahl der Veränderungen

Die Ergebnisdarstellung beginnt mit der Analyse des Aufgabenkontextes *Lösen von Kandis*, weil hier einerseits deutlicher Progressionen zu erkennen sind und weil andererseits eine größere Nähe zum Unterrichtsgeschehen besteht.

Mit der Nennung absoluter Veränderungszahlen ist nicht gemeint, dass mit einer Neuformulierung jeweils auch konzeptuell eine Veränderung stattfindet. Es treten auch Fälle auf, in denen eine Neuformulierung einem vorherigen Konzept entspricht.

Sie soll zeigen, inwieweit die Lerngruppe bezogen auf die Aufgabenkontexte Veränderungsanlass sah, der dann mit der Gesamtheit des Unterrichts bzw. der dazwischen liegenden Phasen in Verbindung gebracht werden kann.

Deutlich wird, dass sich im Durchgang d3 zum Abschluss der Einheit bei allen Aufgaben die Probanden häufiger als nach d2 veranlasst sahen, Änderungen vorzunehmen als nach der ersten Sequenz, in der der Lösevorgang auf Stoffebene besprochen und erste Modellierungen anhand von Teilchen am Beispiel des Zuckers angestellt wurden, d.h. relevantes Wissen thematisiert wurde.

Die höchste Anzahl von Veränderungen tritt in Aufgabe 1.4 auf. Diese Aufgabe wurde insgesamt nur von zwei Schülerinnen und Schülern nicht überarbeitet, die sich insgesamt nicht erkennbar aktiv mit dem Bogen auseinandersetzen.⁴⁹

6.3.4.4 Veränderungen zum Thema Lösen von Kandis

Die folgende tabellarische Übersicht gibt die Kategorienwechsel und die Konzeptkonstanz in der Lerngruppe (bezogen auf N=[22]) an. Für die Veränderungen werden die jeweiligen Unterkategorien nicht dargestellt, da dies zu einer so starken Partialisierung führt, dass wesentliche Tendenzen ob der Detailfülle nicht akzentuiert werden würden. Die Anhänge III.2 und 3, die die Co-verteilerungen enthalten, stellen diese der Übersicht halber gleich in ihrer gruppierten Weise dar.

⁴⁹ Vgl. Anmerkung Anhang III.2

6. Die empirische Untersuchung

Veränderungen vs. Stabilitäten

⇒ Anhang
Codierungen
III.2 III.3

Anzahl von Veränderungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Kategorie A → Kategorie C	Gesamtzahl für den Wechsel von der Stoffebene* zur Diskontinuumsebene; *keine Unterscheidung zwischen dem adäquaten Konzept der Stoffebene und den alternativen Konzepten	4	18,2	P3,7,11,24
darunter	Kategorie A adäquat → Kategorie C	1	4,5	P11
Kategorie A → Kategorie B	Der Wechsel von der Stoff- zur Teilchen-ebene findet statt, es liegen aber Hybridkonzepte oder unvollständige Konzepte vor.	7	31,8	P1,2,8,9,18,19,21
darunter	Kategorie A adäquat → Kategorie B	1	4,5	P1
Kategorie B → Kategorie C	Ein alternatives Teilchenkonzept wird in die Richtung des fachwissenschaftlichen Konzepts ausgebaut.	6	27,3	P6, 10,14,15,20,23
Summe der Veränderungen		17	77,2	
Summe adäquater Antworten in d3		10	45,5	

Tabelle 6.22: Antworten mit kategorialen Veränderungen

Anzahl von Stabilitäten von Kategorien					
Kategorie A → I Kategorie A	Es wird durchgängig auf der Ebene der Stoffe argumentiert.		3	13,5	P5, 12,17
darunter	Kategorie A → Kategorie A adäquat	Ein alternatives Konzept der Stoffebene wird überarbeitet und korrigiert	1	4,5	P5
Kategorie B → I Kategorie B	In jeweils neuen Formulierungen wird stabil ein Hybridkonzept angewendet		1	4,5	P16
Kategorie C → I Kategorie C	Hier liegt zu Beginn ein Diskontinuummodell vor, das in Neuformulierungen bestätigt wird		1	4,5	P13
Summe keine konzeptuellen Veränderungen			5	22,7	
Summe stabiler adäquater Antworten in d3			2	9%	
Summe adäquater Antworten in d3 insgesamt			12	54,5%	
unberücksichtigt	Keine Veränderung des gesamten Bogens, auch nicht in anderen Aufgaben P4: keine Antwort P22: A5: Schmelzen statt Lösen		2	9,1	P4 P22
Gesamt			24		

Tabelle 6.23: Antworten mit gleich bleibendem Konzept

Die Fallstudienresultate für diesen Aufgabenkontext sind,

- dass insgesamt eine deutliche Akzeptanz der Teilchenbetrachtung stattfindet (Summe der Antworten der Kategorie B und C im Post-Einsatz [19], 86%),
- dass zum Abschluss etwas häufiger adäquate Erklärungskonzepte der Kategorie C generiert werden [11] als Konzepte der Vorstellungskategorie B [8].
- dass die Probandengruppe, die von einer reinen Stoffebeneansicht (Kat. A) ausgehend zu einer adäquaten Diskontinuumsanwendung gelangt [4] vergleichbar groß ist wie die, die von einem Hybridkonzept (Kat. B) [6] dorthin gelangt.
- dass mehr Probanden von einer stofflichen Perspektive aus (Kat. A) eine alternative Teilchenvorstellung (Kat. B) entwickeln [7] als eine adäquate Diskontinuumsansicht (C) [4].
- dass vorunterrichtliche Hybridkonzepte der Kategorie B häufiger verändert werden [6] als stabil zu bleiben oder sich innerhalb dieser Kategorie zu verändern. [1]

Wenn verfahrensmäßig davon ausgegangen wird, dass die Veränderungen auf Unterrichtsangebote zurückzuführen sind, dann kann festgestellt werden, dass der durchgeführte Unterricht nach ChiK, der das Reflektieren über Teilchenmodellen besonders betont hat, in hohem Maße zum Generieren von Teilchenvorstellungen der Kategorie B und C führt. Ein Blick in die „Wege zum Diskontinuum“ und zu Hybridkonzepten muss hierzu weiteren Aufschluss geben. Dies ermöglicht Rückschlüsse und ggf. Optimierungen für die didaktische Strukturierung.

Interessant ist, dass sogar etwas weniger Probanden den „Sprung ins Diskontinuum“ ausgehend von einer stofflichen Sicht nehmen [4] als von einem Mischkonzept [6] (d.h. Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ im Vergleich zu $B \rightarrow C$). Diese Fallstudie lässt demnach bestreiten, dass alternative Teilchenvorstellungen per se Verständnisbarrieren sind, wie in der Unterrichtspraxis oft vermutet wird. Wenn vorunterrichtliche Teilchenvorstellungen vorgelegen haben, hat der Unterricht zur Reflexion und zur Überarbeitung angeregt. Hier fand ein Übergang zum Diskontinuumsmodell über das Hybridkonzept statt.

Der Anteil der während der bzw. durch die Unterrichtssequenz entwickelten Hybridvorstellungen [7] ist höher als der für die adäquaten Vorstellungen [4]. (d.h. Kategorienwechsel $A \rightarrow B$ im Vergleich zu Kategorienwechsel $A \rightarrow C$). Dies bedeutet, kritisch angemerkt, der Unterricht erzeugt ausgehend von einer stofflichen oder gegenständlich-phänomenologischen Sicht der Probanden häufiger inadäquate Teilchenkonzepte als adäquate. Da sich alternative Teilchenvorstellungen, wie im vorherigen Aspekt genannt, als ausbaufähig erweisen, könnte hierin ein Lernweg liegen. Zumindest sprechen diese Einzelfalldaten dafür, dass auf ein Lernangebot hin kreative Modellierungsprozesse stattfinden, die mindestens mit gleicher Wahrscheinlichkeit zu Hybridvorstellungen führen wie zu fachlich adäquaten.

Faktisch halten sich die Probandenzahlen, die ein Mischkonzept überarbeiten [6] und die eines im Zuge der Studie entwickeln [7] fast die Waage. Könnte es so sein, dass alternative Teilchenvorstellungen und duale Denkweisen sogar als „Trittbretter“ für das Verständnis des diskontinuierlichen Baus anzusehen sind? Vielleicht befinden sich die Probanden, die Mischkonzepte anwendeten, „auf dem Weg zum Diskontinuum“, jenen Weg, den die Probanden der Kategorie C bereits durchlaufen haben - über die Mischkonzepte im Sinne von Übergangsvorstellungen. Sowohl NIEDDERER (1995, 1996) als auch PFUNDT (1979) postulieren und untersuchten empirisch solche Wege über Übergangsvorstellungen, NIEDDERER schlägt dabei eine konkrete Stufung über Mischkonzepte hin zu fachlich adäquaten fachlichen *Target*vorstellungen vor (siehe Kap. 5.1).

Rückschlüsse auf die Unterrichtszyklen

Im Folgenden soll die Frage nach der Wirkung der beiden Teilsequenzen der Unterrichteinheit untersucht werden. Wie wirkte die erste Modellierungssequenz zum Lösen von Zucker auf die

Vorstellungen zum Lösen von Kandis in Tee? Wie wirkte die dekontextualisierte Phase zum Teilchenmodell auf die Vorstellungen?

Kat. wechsel	Durchgang von ... zu...(→)	[N]	Probanden
A→IA	d1 →d2	2	P12, P17
A→A _{ad}	d1 →d3	1	P5
A→C _{aq}	d1 →d3	3	P3, P7, P24
A→C _{aq}	d1 →d2	1	P11 ¹
B→C _{aq}	d1 →d3	4	P15, P14, P6, P10
B→B→C _{aq}	d1 →d2 →d3	2	P20, P23 ²
C→IC	d1 →d3	1	P13
A→B	d1 →d3	4	P1, P8, 9, P21
A→B	d1 →d2	2	P19, P2 ³
A→A→B	d1 →d2 →d3	1	P18 ⁴
B→B→IB	d1 →d2 →d3	1	P16 ⁵
Summe	9 17	22	

d= Durchgang, aq= adäquat

Tabelle 6.24: Veränderungen unter Berücksichtigung der Einsätze

Der erste Zyklus der Einheit (vgl. S. 116ff, 159ff)

Der erste Lernzyklus mit den ersten Modellierungen auf Teilchenebene (Schlüsselement Schmeckmodell) hat bewirkt:

- In einem Fall den Sprung von der Stoffebene auf die Teilchenebene im fachlich adäquaten Modell; (siehe ¹ in der Tabelle 6.24)
- In zwei Fällen eine Überarbeitung dessen, was in d1 unter Berücksichtigung von Teilchen beschrieben wurde. Das neue Konzept ist weiterhin der Kat. B zuzuordnen, d.h. es liegt kein kategorialer Wechsel vor (dieser verlief zwischen d2 und d3), (siehe ² in der Tabelle 6.24).
- In zwei Fällen Hybridvorstellungen, (die in d3 nicht weiter überarbeitet wurden) (siehe ³ in der Tabelle 6.24),
- in zwei weiteren Fällen eine Überarbeitung innerhalb der Kategorie A bzw. innerhalb Bs, die abschließend in d3 innerhalb der Kat. B verbleiben (siehe ⁴ und ⁵ in der Tabelle 6.24).

Insgesamt stellen neun Schüler Veränderungen an, wovon sechs die Entität Teilchen berücksichtigten. Ein vollständig diskontinuierliches Modell innerhalb der Antworten ist zu diesem Zeitpunkt kein erwartetes Ergebnis: das Vorgebildetsein von Teilchen im Sinne von Bausteinen ist ausschließlich am Beispiel des Zuckers bzw. des süßen Geschmacks erklärt worden. Eine Generalisierung wurde nicht thematisiert. Wird das Vorgebildetsein in die Vorstellungen mit aufgenommen?

P11 wechselt von der Stoffebene ins Diskontinuum, P20 wechselt eindeutig von einem Konzept der Mischvorstellungen zum Diskontinuum, die Hybridkonzepte von P19 und 23 sind körnig, uneindeutig sind die von P2 und P16, aus ihnen geht die Herkunft der kleinsten Teilchen (vorhanden oder gebildet?) nicht hervor. „Er [der Kandis] löst sich in seine kleinsten Teile auf,“(P2) könnte so gedeutet werden, dass die kleinsten Teile vorhanden sind, aber auch, dass sie das letzte Ergebnis einer kontinuierlichen Teilung sind. „Die Atome des Wassers bewegen sich so stark das der Kandis auseinander fällt“ (P16) (ungeglättete Form) deutet eher auf ein diskontinuierliches Verständnis hin, denn es wird ja explizit für das Lösemittel angenommen, allerdings wird auf den Bau des Kandis nicht eingegangen. Der Begriff Atom, der fachlich falsch angewendet wird, deutet allerdings gerade nicht darauf hin, dass Inhalte des Schlüsselements assoziiert wurden. Hier wurden andere Begriffe angeboten! (Teilchen, kleinste Teilchen, Bausteine), die

Vorstellung beruht vermutlich auf andere Assoziationen. NIEDDERER argumentiert für die Wirkung von Lernangeboten mit dem Begriff der *Resonanz*. (vgl. Kap. 5) Eine positive Resonanz ist ein Aufnehmen des Angebots in die Denkstruktur des Rezipienten. Lernangebote, die die Schüler ihren eigenen Denkmustern entsprechend *modifizieren*, haben dann eine nicht-übereinstimmende Resonanz. Ein vollständiges Akzeptieren eines Fachkonzepts entspricht einer übereinstimmenden Resonanz.

Festgestellt werden kann, dass es in neun Fällen eine positive Resonanz gibt, wobei die nicht übereinstimmende Resonanz einen großen Anteil hat.

Relativierend muss hier noch genannt werden, dass die Bearbeitung des Bogens als Hausaufgabe erteilt wurde. Fraglich ist, ob diese Hausaufgabe insgesamt von vielen Schülern intensiv bearbeitet wurde.

Der zweite Zyklus der Einheit (vgl. S. 122ff, 160f)

Die Sequenz II besitzt mit dem dekontextualisierten Teil einen Schwerpunkt zum Thema Teilchenmodell. Wie kann sie anhand dieser Ergebnisse beurteilt werden? Sie hat viele Probanden [17] zu einer veränderten Antwort veranlasst. In d3 berücksichtigen 16 der aktiv teilnehmenden Probanden *Teilchen* in ihrer Antwort. 19 Probanden nutzen diese Entität in ihren Antworten insgesamt, denn drei akzeptieren ihre in d2 gemachte Antwort mit „Ich bin immer noch der gleichen Meinung“ o.ä. Es liegt eine deutlich positive Resonanz vor. Die Hälfte ist nun in der Lage, das Diskontinuumsmodell anzuwenden [11], der Anteil übereinstimmender Resonanz in diesem Kontext liegt demnach bei 50%. Etwas weniger Probanden wenden partielle Teilchenvorstellungen wie auch Teilchenvorstellungen nicht übereinstimmender Resonanz an [8]. Die Ergebnisse sprechen insoweit für einen Erfolg des Unterrichts, als dass ein prinzipielles Vorgehen der Erkenntnisgewinnung, das in der zweiten Sequenz mehrfach geübt und an verschiedenen Beispielen angewendet und reflektiert wurde, verinnerlicht wurde: die Zuhilfenahme des Perspektivwechsels zur Erklärung stofflicher Phänomene. Insgesamt geschieht dieses Anwenden des Wechselspiels von Stoff- und Teilchenebene - auch nach wiederholter Anwendung - fast ebenso häufig nicht erfolgreich, d.h. nicht übereinstimmend zum Fachkonzept wie erfolgreich d.h. übereinstimmend.

Während nach der ersten Sequenz sechs Probanden das Teilchenkonzept verwenden, tun dies nun 19. Das Wiederholen des Schlüsselements, d.h. die nochmalige Reflexion der ursprünglichen Zeichnungen zum Lösevorgang (sowie auch der Zeichnungen aus Schulbüchern), könnte sich als fruchtbar erwiesen haben, selbstverständlich kann die Wirkung auch auf andere im Zyklus II umgesetzte Unterrichtsangebote liegen (Alkohol-Wasser-Mischversuch, Diffusion von Bromdampf etc.) Allerdings liegen diese stofflichen Beispiele weiter entfernt vom Aufgabenkontext, und für den Zusammenhang zwischen Ergebnissen und Ursachen ist das Wirken dieses Schlüsselements der nahe liegende Rückschluss.

Aus den Ergebnissen für das kontextnahe Beispiel Kandislösen stellt sich die Frage nach der Übertragbarkeit unterrichtlicher Konzepte auf ein kontextferneres Beispiel.

6.3.4.5 Veränderungen zum Thema Teeaufguss

Wie bereits genannt, werden aus den Antworten zu den drei Aufgaben 1,1, 1,3 und 1.5 zusammengefasst die verwendeten Konzepte expliziert und strukturiert. D.h. die Codierungen für diese drei Aufgaben werden als Gesamtheit betrachtet und analysiert (im Sinne einer weiten Kontextführung MAYRINGS) Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht über Veränderungen und – Konstanz der Konzepte.

Veränderungen vs. Stabilitäten

⇒Anhang
Codierungen III.2

Anzahl von Veränderungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Kategorie A adäquat → Kategorie C	Wechsel von der Stoffebene zur Diskontinuumsebene. Dabei ist das Ausgangskonzept der Stoffebene adäquat	1	4,5	P13
Kategorie A → Kategorie B	Wechsel von der Stoffebene (adäquates Konzept der Stoffebene oder ein alternatives) zur Mischkonzeptebene.	4	18,2	P8,14,19,21
Kategorie B → Kategorie C	Ein alternatives Teilchenkonzept wird fachlich adäquat überarbeitet.	1	4,5	P23
Kategorie A → Kategorie A adäquat	Das alternative Konzept der Stoffebene wird überarbeitet.	1	4,4	P6
Kategorie A adäquat → Kategorie A adäquat, +C	Das Stoffkonzept wird kaum überarbeitet, aber es werden Zusätze auf Teilchenebene hinzugefügt, die wenig Anwendungsbezug haben, aber reproduziert wurden.	3	13,6	P3,10,20
Summe Veränderungen		10	45,5	

Tabelle 6.25: Antworten mit kategorialen Veränderungen

Anzahl von Stabilitäten – auch in Neuformulierungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Kategorie A adäquat →I Kategorie A adäquat	Das adäquate Stoffkonzept ist etabliert.	3	13,5	P1, 12, 24
Kategorie A →I Kategorie A	Alternative Konzepte werden nicht verändert, zum Teil trotz Neuformulierungen.	8	36,4	P2, 5, 7, 9, 11, 16, 17, 18
darunter	Kategorie A 4+5→I Kategorie A 4+5 Kombinationen aus A4 und A5 bleiben stabil	3	13,6	P2, 9, 16
darunter	Uneindeutige Fälle Durch die Verwendung des Begriffs <i>Aroma</i> sind die Antworten uneindeutig	3	13,6	P7, 17, 18
darunter	A5 phänomenologisch-gegenständlich und dual: Stoffe und A4 nonmaterial properties (induktiver Code)	2	9	P5, 17

6. Die empirische Untersuchung

Kategorie B →I Kategorie B	Ein Hybridkonzept bleibt erhalten	1	4,5	P15
Summe Stabilitäten		12	54,5	
Keine Auswertung	In den Sonderfällen, in denen der Bogen nicht überarbeitet wurde, liegt - ein Mischkonzept aus Stoffen und übertragbaren Eigenschaften vor - ein Mischkonzept aus Stoffen und Teilchen (B5)	2		P4, 22
Insgesamt		24	100	

Tabelle 6.26: Antworten mit gleich bleibendem Konzept

- Die Fallstudienresultate für diesen Aufgabenkontext zeigen,
- dass weitaus weniger Veränderungen auftreten als für den anderen Aufgabenkontext (45,5% gegenüber 77,3%),
 - dass sich alternative Konzepte der Stoffebene als stabil erweisen,
 - dass weniger Probanden Teilchenkonzepte nutzen als beim Kandis (C adäquat 9%), sie als kurzen Zusatz nennen,
 - dass sie, wenn sie diese nutzen, oftmals Mischkonzepte generieren (18,2%).

Für die Beurteilung der Resultate muss vorab festgestellt werden, dass die Aufgaben keineswegs das Nutzen der Teilchenebene fordern (vgl. Kap. 5.2), sie können fachlich adäquat auf der Stoffebene beantwortet werden.

In großer Zahl verbleiben die Probanden bei alternativen Konzepten der phänomenologischen Perspektive, die das Phänomen phänomenologisch-dinglich beschreiben und die von einer materiellen Eigenschaftsübertragung ausgehen. Dies könnte mit der Prägnanz der Gegenstandsebene (siehe weiter) zusammenhängen. Für die Unterrichtsgestaltung und das Basiskonzept Stoff-Teilchen ist daher unabdingbar, deutlicher zwischen der Gegenstandsebene und der Stoffebene zu unterscheiden. Ein Forschungsertrag ist demnach, das Basiskonzept explizit um eine weitere Ebene zu ergänzen: die Ebene der Gegenstände, Dinge, Körper (vgl. Kap 7).

Dass in diesem Aufgabenkontext weniger Veränderungen eingetreten sind, kann einerseits bedeuten, dass die Schüler das erlernte Konzept auf das komplexere Phänomen entweder nicht anwenden konnten, oder aber andererseits keine Veranlassung sahen, es auch hierfür heranzuziehen. Beide möglichen Gründe belegen, wie etabliert die alternativen Konzepte sind: von ihrer Anwendung wird auch durch die Behandlung verschiedenster Beispiele oft nicht abgerückt. Diese Resultate sind mit den Resultaten derzeitiger Leistungstest in Einklang zu bringen, die immer wieder betonen, dass die Anwendbarkeit erlernter Konzepte zu bemängeln sei. (BAUMERT, 2001, PRENZEL et al. 2004) Empirische Resultate aus der Transferforschung (vgl. SCHNOTZ 1996, MANDL 2001) aus dem Forschungsfeld des situated cognition Modells unterstreichen ebenso, wie wichtig das Herauslösen aus den Kontexten anhand multipler Anwendungen für den Kompetenzerwerb sei. Reichte demnach die Zahl der behandelten Themen und Beispiele des Unterrichts oder die Auswahl dieser für die Nutzung der adäquaten Fachkonzepte nicht aus? Oder liegt hier ein Aufgabenartefakt vor?

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Aufgabenkontext zum Lösen von Kandis und dem des Teeaufgusses ist – dies sei wiederholt – der, dass im ersten Fall ein homogener Feststoff vollständig gelöst wird und im anderen Fall ein Stoffgemisch, das in seiner Gesamtheit Blätter als Gegenstand bzw. Sache bilden, teilgelöst wird. Gemeinsam ist, dass in beiden Fällen das Ergebnis des Lösungsphänomens sensorisch wahrgenommen werden kann (Aussehen, Geschmack).

Dennoch bleibt im zweiten Fall der scheinbar unveränderte Gegenstand, die Sache „Teeblätter“ zurück.

Eine Klärung kann in Folgeuntersuchungen erbracht werden, wenn zum Abschluss der Einheit das Phänomen im Unterricht thematisiert wird. Dies war auch angedacht (inklusive einer kleinen Videosequenz), konnte aber aus organisatorischen Gründen nicht umgesetzt werden. Da im Unterricht allerdings mit dem Beispiel Coca-Cola aber sowohl ein Stoffgemisch gewählt wurde, in denen die Eigenschaften Farbe, Aroma, Geschmack bedeutsam waren, hat sich die Wirkung der Unterrichtselemente als weniger effizient erwiesen als erhofft. Auch in anderen Studien wie z.B. bei NIESWANDT (2001) zeigte sich, dass die *Fähigkeit der Konzeptanwendung* in unterschiedlichen Themen sehr heterogen war und dass der Teil adäquater Antworten oft gering war. Auch NIESWANDT sieht darin bestätigt, wie anspruchsvoll Entwicklungen dieser Art sind.

An dieser Stelle kann aus dieser Studie hergeleitet werden, dass bei der Entwicklung von Unterrichtselementen für die ChiK-Einheit „Der Vorkoster ...“ Zusätze zur Reflexion jener Vorstellungen eingearbeitet werden müssen, die auf der gegenständlich- phänomenologischen Ebene „stehen bleiben“ und insbesondere solche, die die Fehlvorstellung der *nonmaterial properties* hinterfragt bzw. zur Diskussion stellt.

Daneben zeigen die Ergebnisse, dass weitaus weniger Probanden das Teilchenkonzept heranziehen als im anderen Aufgabenkontext; Es gilt einerseits für die Antworten im Ersteinsatz ([2] 9% gegenüber [8] 36,4%) als auch andererseits für die Überarbeitungen ([9] 40,9% gegenüber [17] 77,3). Dies kann für die Kontextabhängigkeit der Nutzung des Teilchenkonzepts stehen. Wenn von den Probanden Überlegungen über Teilchen in die Beschreibungen einfließen, dann sind dies i.d.R. Mischkonzepte oder z.T. kurze zusammenhangslose Zusatzannahmen (vgl. Code: Prozess mit Teilchen). In Bezug auf diesen Aufgabenkontext ist also die Fähigkeit der adäquaten Nutzung des Teilchenmodells oft nicht gelegt.

Damit kann geschlussfolgert werden, dass dieses komplexere Alltagsphänomen die Schülerinnen und Schüler zwar gelegentlich zum Assoziieren unterrichtlicher Einzelaspekte aufgefordert hat, aber oft nicht zur adäquaten Anwendung des Stoff- wie auch des Teilchenkonzepts hat. Für die formative Evaluation der bisherigen Didaktischen Strukturierung ist daher der klare Auftrag zur besseren Einbindung alternativer Stoffkonzepte wie z.B. das *nonmaterial properties* Konzept und der geeignet kontextualisierten Unterscheidung von Stoff- und Gegenstandsebene abzuleiten. In den Phasen der De- und Neukontextualisierung (vgl. Phasenschema von ChiK) sollten zu diesem Zweck viele Übungsbeispiele bereitgestellt werden (vgl. Kap 7).

Die folgende Tabelle stellt dar, welche Veränderungen und Stabilitäten bei *Vergleich* der beiden Aufgabenkontexte auftreten. Diese Fallunterscheidung führt ansatzweise zur Bildung kleiner Gruppen⁵⁰. Sie sind mit * gekennzeichnet:

⁵⁰ Bei dieser geringen Stichprobengröße innerhalb der qualitativen Empirie ist die geringe Probandenzahl in den Gruppen ein selbstverständliches Ergebnis und nicht vergleichbar mit explanativ erreichter Gruppenbildung bzw. Fallauswahl.

6. Die empirische Untersuchung

Kategorienwechsel für Kontext „Kandis“	Kategorienwechsel Teeaufguss	Überschneidung		
		N	%	Proband
Kategorie C → I Kategorie C [1]	Kategorie A → Kategorie C	1	4,5	P13
Kategorie A → Kategorie C [4]	Kategorie A → I Kategorie A (und z.T. Kategorie C)	4*	18,2	P3, 7, 11, 24 P3,7 mit kurzer Reproduktion zu Kategorie C
	<i>Darunter:</i> Kategorie A adäquat → I Kategorie A adäquat	2*	9	P3, 24
Kategorie B → Kategorie C [6]	Kategorie B → I Kategorie C	1	4,5	P 23
	Kategorie A → Kategorie A (und C)	2	9	P10, 20 (beide kurze Reproduktion zu Kategorie C)
	Kategorie A → Kategorie A adäquat	1	4,5	P 6
	Kategorie A → Kategorie B	1	4,5	P14
	Kategorie B → I Kategorie B	1	4,5	P15
Kategorie A → Kategorie B [7]	Kategorie A → Kategorie B	3*	13,6	8,19,21
	Kategorie A → I Kategorie A	4*	18,2	P1, 2, 9,18
<i>Darunter</i> Kategorie A adäquat → Kategorie B	Kategorie A adäquat → I Kategorie A adäquat	1	4,5	P1
Kategorie A → I Kategorie A	Kategorie A → I Kategorie A	3*	13,6	P5, 12,17
Kategorie B → Kategorie B	Kategorie A → I Kategorie A	1	4,5	P16

Tabelle 6.27: Vergleich der Veränderungen zwischen den beiden Aufgaben

- Vier Probanden, die das Diskontinuumsmodell im Kontext *Lösen von Kandis* anwenden, verbleiben im Kontext Teeaufguss auf der Stoffebene, d.h. sie sehen – und dies ist völlig akzeptabel - keinen Bedarf für die Nutzung des offensichtlich erlernten Konzepts im unterrichtsferneren Zusammenhang, sie können es aber für unterrichtsnahe Aufgabenstellungen reproduzieren. Zwei erwähnen den Teilchenbegriff kurz im reproduktiven Sinne.
- Zwei Probanden verändern ein Hybridkonzept der Kategorie B im Kontext *Lösen von Kandis* in Richtung des adäquaten Teilchenmodells, generieren aber im anderen Kontext neue (P14, 15). Für diese Fälle könnte gelten, dass die Reflektion über das Hybridkonzept in einem Zusammenhang ein Heranziehen des Teilchenmodells im anderen Zusammenhang förderte. Dies zeigt aber auch, dass die Kompetenz des Perspektivwechsels noch nicht sicher etabliert ist. Zwei Probanden überarbeiten Mischkonzepte beim Kandisbeispiel, beziehen sich im Aufgabenteil Teeaufguss neben einer beschreibenden stofflichen Sicht auf Teilchen, ohne das Modell funktional erschöpfend zu verwenden.
- Drei Probanden generieren ausgehend von einer stofflichen Sicht Hybridkonzepte oder unvollständige Teilchenkonzepte. Dies geschieht in beiden Aufgabenkontexten, die Art der Hybridkonzepte.
- Vier Probanden generieren Mischkonzepte über Teilchen am Kandisbeispiel, verbleiben aber, darunter einmal fachlich adäquat, in der Erklärung des Teeaufguss auf der stofflich phänomenologischen Ebene.
- Drei Probanden sind in beiden Fragestellungen „stoffebentreu“.

Eine Analyse der Veränderungszeitpunkte (d2, d3) analog zum Aufgabenkontext *Lösen von Kandis* erübrigt sich, da insgesamt von den 22 Probanden im zweiten Durchgang nur von sechs Probanden Veränderungen vorgenommen wurden. Damit hat der Bezug zur sinnlichen Wahrnehmung des gelösten Zuckers in Getränken wenig Assoziationen zu anderen Geschmacksempfindungen, wie beim Trinken von Tee geweckt.

In der Vorstellungsforschung werden konzeptionelle Entwicklungen in Form kognitiver Wege mit Übergangsvorstellungen postuliert bzw. angenommen (vgl. Kap. 3 und 5). Die Fallgruppen und auch die Tatsache, dass noch zwei weitere Kandidaten in beiden Kontexten Perspektivwechsel vornehmen, wobei sie das Diskontinuumsmodell im Kontext *Lösen von Kandis* heranziehen, aber ebenfalls wie die zweitgenannte Gruppe Mischkonzepte für den Kontext Teeaufguss wählen, könnte dies stützen: Der Weg in die diskontinuierliche Sicht verläuft zumindest *auch* über Hybridkonzepte. Die Darstellung der Gruppierungen zeigt - wenn auch nicht mit repräsentativen Zahlen und Signifikanzen - dass Mischkonzepte der Kategorie B nicht als stabilisierte Lernbarrieren angesehen werden müssen.

Ob es für die Hypothese über Lernwege mit bzw. durch Übergangsvorstellungen zum Stoff-Teilchenkonzept tatsächlich Korrelationen gibt, könnte durch die Analyse des videographierten Unterrichts in Folgenanalysen näher befohrt werden. Auch sollte sie durch geeignete Fallauswahl bei einer Untersuchung mit größerer Stichprobe untersucht werden. Veränderungstendenzen in Abhängigkeit vom Aufgabenkontext müssten mit größerer Stichprobe untersucht werden.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, mit welchem hohem konzeptuellen Anspruch die Nutzung eines konsistenten Teilchenkonzepts belegt ist. Sie zeigen, dass die gelernten Inhalte auch in weiter vom Unterricht entfernten Kontext assoziiert werden können, dass dies aber in einer vollständig adäquaten Weise zur Entwicklung eines in sich geschlossenen Erklärungsmodells meist schwerlich gelingt.

Ein weiteres und abschließendes wichtiges Ergebnis ist die Wirkung des Lernbegleitbogens, er kann diagnostisch und unterrichtsdidaktisch wirkungsvoll eingesetzt werden. Mit Hilfe des Bogens konnte deutlich herausgestellt werden, dass transportierte Modellerklärungen, über die im Klassengespräch vielfach kommuniziert wurde, zu Vorstellungen übereinstimmender, aber auch nicht - übereinstimmender Resonanz führten.

Im Folgenden sollen einige Fälle der Konzeptentwicklung exemplarisch aufgezeigt werden. Es erfolgt eine stärkere Detaileinsicht in die Konzepte der Unterkategorien und letztendlich eine konkrete Darstellung auch individueller Annahmen.

6.3.4.6 Konkrete Wege konzeptueller Veränderung

Die Antworten zu Aufgabe 1.4 *Lösen von Kandis* sollen Beginn der jeweiligen Verlaufsbeachtung sein, anschließend wird der Verlauf mit dem Antwortbild zum komplexeren Aufgabenkontext 1.1-3-5 *Teeaufguss* verglichen.

Abschnitt 1: Wege zu fachlich adäquaten Anwendungen

„Optimalergebnisse“, die für fachlich adäquate Vorstellungen der Stoffebene oder für eine konsistente Anwendung des Diskontinuummodells in einem oder beiden Aufgabenkontexten stehen, liegen nur in sechs Fällen vor (vgl. Anhang III.3), wobei in den Antworten anderer Probanden auch wesentliche Konzeptanteile gelungen sind, weitere Äußerungen aber zu einer Zuordnung zur Kategorie B führten. Die Antworten vieler anderer Probanden sind also nicht grundsätzlich falsch. Beispiele werden dies im Weiteren verdeutlichen.

Aus dieser Gruppe ist Proband 13 insoweit wenig exemplarisch, da der Proband aus außerunterrichtlichen Zusammenhängen bereits ein Diskontinuumsmodell kannte:

P13: d1 „Die Moneküle des Zuckers lösen sich auf und mischen sich zwischen die Wassermoneküle.“ (Ausdrucksfehler übernommen) d2 „Die kleinen eckigen Zuckerteilchen werden vom Kandis abgelöst“ [...] Anmerkung: Diskontinuum für Lösemittel ist wesentlich, der fehlerhafte Begriff „Monekül“ wird ignoriert.

Hierbei ist festzustellen, dass der Proband nach dem Zyklus 1 durch das Wirken des Schlüsselements sein Teilchenkonzept modifiziert („eckige Teilchen“) und sich veranlasst sieht, seine Antwort zu differenzieren (sog. positive, übereinstimmende Resonanz). Hier hat das Schlüsselement gefruchtet. Im dritten Durchgang – nach vielfältiger Übung des Perspektivwechsels – wendet er das Diskontinuumsmodell nicht nur für das Aufgabenbeispiel *Lösen von Kandis*, sondern auch für den Kontext *Teeaufguss* das Diskontinuumkonzept an (vgl. Anhang III.2).

Die Antworten der anderen Probanden zeigen auch eine adäquat progressive Lernentwicklung, sie haben aber im Vergleich zu P13 andere „Startpunkte“. In den Lernwegen werden Teilchenbetrachtungen differenziert oder Stoffebenenbetrachtungen werden präzisiert. Im ersten Fall wird der Wechsel ins Diskontinuum von einer stofflichen Sicht aus vorgenommen (A → C). Dieser Schritt wird mehrfach nur für den unterrichtsnahen Kontext *Lösen von Kandis* vorgenommen, nicht aber für das weniger assoziative Beispiel *Teeausguss* [4].

6. Die empirische Untersuchung

Fallbeispiel P3: Kategorienwechsel A→C

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1. Durch die Hitze zerspringt der Kandis und löst sich auf .	Gegenständlich- phänomenolo- gisch
d2 Genau das, was ich auf dem anderen Blatt geschrieben hab.	s.o
d3 Zeichnung (diskontinuierlich zwei Teilchenarten) Prozessbeschreibung: Die Wasserteilchen schieben sich zwischen die Zuckerteilchen	Lösen diskontinu- ierlich

Ergebnis:⁵¹

Von einer phänomenologischen Sicht zum Diskontinuum

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
d1. Den Blättern wird das Aroma und der Farbstoff entzogen (1.1) er Tee wird bitter und dunkler (bei schwarzem Tee) (1.3) Ich würde wie oben vorgehen und ihn abkühlen lassen, weil er ansonsten kein Aroma entfaltet . (1.5)	Aroma? ⁵² Kraft/Stärke
d2. wie auf dem alten Blatt (1.1) (1.3) (1.5)	

⁵¹ Hinweis: Am Ende eines Aufgabenteils wird in der Tabelle ein kurzes Ergebnis (im Sinne inhaltsanalytischer Methodik *strukturierend*) verfasst.

⁵² Vgl. Anhang III.1 sowie Kap. 6.3.3: nicht eindeutige Aussagen wurden vorsichtshalber mit einem Fragezeichen versehen.

6. Die empirische Untersuchung

<p>d3 Das Wasser entzieht den Blättern das Aroma. Außerdem einen Farbstoff, wie man ja sehen kann. Bei kaltem Wasser geben die Teeblätter ihr Aroma und die Farbe, während man umrührt. Also könnte es ja sein, dass es auch etwas mit der Bewegung der Teilchen zu tun hat.(1.1) Zusatz 1.2 Ja, (Anm.: es hat was mit Chemie zu tun) da die Inhaltsstoffe des Tees ja auch Stoffe sind und wie in a) gesagt hat Teekochen etwas mit Teilchenbewegung zu tun. (1.2) Die Teeblätter geben zuviel Aroma ab und der Tee wird bitter. Auch der Farbstoff wird weiter abgegeben und der Tee wird dunkler. Ich würde wie oben vorgehen und ihn abkühlen lassen, weil er ansonsten kein Aroma entfaltet. (1.3) Ich würd's immer so machen wie auf dem ersten Blatt. Weil wenn man gleich kaltes Wasser nimmt musste man ja ewig rühren bis man das Ergebnis hat! (1.5)</p>	<p>adäquat Lösen mit Aroma? nonmat. properties? Anm.: hier revidiert</p> <p>Prozess mit Teilchen</p>
---	---

Ergebnis: Zusammenhang zu den Teilchen wird gesehen, aber nicht angewendet

Tabelle 6.28: Fallbeispiel P3: Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ adäquat und C (1.1/3/5)

Proband 3 sieht einen Zusammenhang zum Teilchenkonzept, führt dies aber über "könnte zu tun haben" hinaus nicht weiter aus. Im unterrichtsnahen Zusammenhang kann das Konzept zeichnerisch überzeugend angewendet werden. Die Beschreibung auf stofflicher Sicht ist durch den Begriff Aroma uneindeutig, die Wahl des Wortes Farbstoffe lässt die Deutung zu, dass Eigenschaften auf stofflicher Grundlage verstanden werden.

Im Folgenden sollen hierzu drei Fälle dargestellt werden die verdeutlichen, dass Mischkonzepte Anlass für eine erfolgreiche und anwendfähige Konzeptentwicklung sein können.

Fallbeispiel P6: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ und innerhalb von A

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1 Die Atome breiten sich aus, denn durch die Erwärmung wird der Kandis flüssig	Prozess mit Teilchen A5: Schmelzen statt Lösen
d2 -	-
d3 Der Kandis zersetzt sich und die Atome gehen in die Lücken der Wasseratome, Zeichnung:	adäquat Lösen diskontinuierlich

Ergebnis: Von einer unvollständigen Sicht zum Diskontinuum

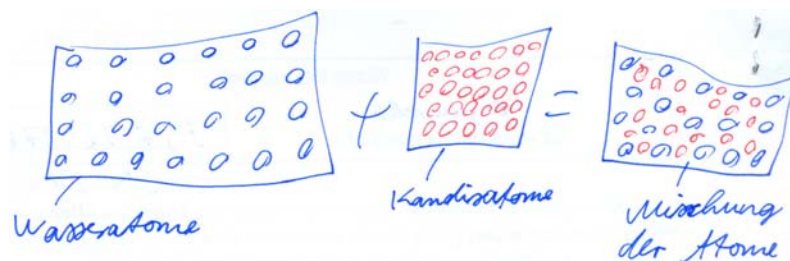


Tabelle 6.29a: Fallbeispiel P6: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ adäquat (1.1/3/5)

6. Die empirische Untersuchung

P6 formuliert in der Erstversion ein fachlich unvollständiges Teilchenmodell – wobei der Begriff Atom hier als synonym für Teilchen aufgefasst wird. Die erste Unterrichtssequenz und damit die erste Modellbetrachtung über Zuckerteilchen veranlasst ihn nicht zu einer Veränderung (beispielsweise zur Änderung des Schmelzens hin zum Lösungsvorgang oder dem Austausch des Begriffs Atom). Am Ende der Einheit veranlasste ihn der Unterricht – in welchem insbesondere eine modellpropädeutische Phase der Dekontextualisierung stattfand (vgl. Kap 5.2 und 6.3) zur Anwendung des Diskontinuummodells, wobei der Fachausdruck optimierbar ist (z.B. „gehen“ *in die Lücken*, kein Abrücken von der Bezeichnung *Atom*). P6 überarbeitet demnach das vorunterrichtliche Konzept – auch wenn er das ursprünglich angenommene Schmelzen nicht explizit als erkannten Fehler kommentiert. Verändert sich auch die Vorstellung zum Teekochen?

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
d1 Aus den Blättern wird der Geschmack und der Farbstoff gezogen (1.1) Der Geschmack ist zu stark und er schmeckt nicht mehr (1.3) Ich würde kaltes Wasser nehmen und stark umrühren, denn es dauert zu lange, wenn man wartet. (1.5)	Dual: Stoffe und nonmat. properties (induktiver Code) Beschreibung n c
d2. –(1.1, 1.3 1.5)	
d3 Es werden verschiedene Farbstoffe und Geschmacksstoffe den Blättern entzogen und in das Wasser getan . (1.1) Es werden zu viele Geschmacks- und Farbstoffe entzogen, deswegen schmeckt. (1.3) Ich würde kaltes Wasser nehmen, denn wenn ich umrühre, löst sich der Kandis auch. (1.5)	Eigenschaften auf stofflicher Grundlage Kraft/Stärke

Ergebnis:

Überarbeitung der stofflichen Sicht

Tabelle 6.29b: P6: Kategorienwechsel B→C(1.4), A→Aadäquat(1.1/3/5)

Hier wendet P6 ein Konzept auf der Stoffebene an, welches im Einsatz III sprachlich korrigiert wird, so dass konzeptuell nun deutlich wird, dass die relevanten Eigenschaften an Materie gebunden aufgefasst werden. Die implizite Anwendung des „aktiv-kraftbegründeten“ (A3) Konzepts soll hier weniger von Belang sein; wesentlich ist, dass in keiner dieser Aufgaben Teilchenbetrachtungen angestellt werden. Das Fallbeispiel zeigt, dass das Teilchenkonzept im Kontext verankert ist und von P6 nicht übertragen wird, die generalisierte Anwendungsmöglichkeit des Teilchenmodells wird vermutlich noch nicht erkannt.

Fallbeispiel P20: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$, $A \rightarrow C$

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1 Ich denke der Kandis besteht aus winzigen Teilchen , die sich durch das Wasser auseinander teilen und dann im Wasser rumschwimmen .	Teilchen in Kontinuum Insb. vorgebildete Teilchen
d2. Die Zuckermoleküle verbinden sich mit den Wassermolekülen , somit hat es sich aufgelöst und ist nicht mehr sichtbar	Überinterpretation Teilchenebene
d3. Die kleinsten Teilchen des Zuckers lösen sich voneinander , denn die Wasserteilchen gehen zwischen die Zuckerteilchen . Somit schwimmen die Kleinsten Teilchen vermischt herum	Lösen diskontinuierlich

Ergebnis: Vom Teilchen in Kontinuumskonzept zur diskontinuierlichen Sicht

Tabelle 6.30a: P20: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ und C (1.1/3/5)

P20 startet mit einer Teilchenvorstellung, diese wird überarbeitet in Richtung der im Unterricht intendierten Elemente (sog. übereinstimmende Resonanz). Bereits die erste Unterrichtsphase führt zu einer verallgemeinerten Teilchensicht, die auch das Lösemittel einschließt (ein Aspekt, der von den Schülern bereits in den Unterrichtsstunden diskutiert und mit Hilfe des Schulbuchs auch auf Eigeninitiative einzelner hin recherchiert wurde). Hier zeigt sich also ebenfalls, dass an Schülervorstellungen über Teilchen in progressiver Weise angeknüpft werden kann und dass das Schlüsselement Wirkung zeigt.

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
d1. Das heiße Wasser saugt die Stoffe aus den Blättern . Daraus entsteht nun der Geschmack des Tees (1.1) Ich würde sagen, der Tee wird zu stark, weil das heiße Wasser ja die ganze Zeit den Aroma aus den Blättern zieht . (1.3) Ich glaube in heißem Wasser löst sich das alles besser (1.5)	Eigenschaften auf stofflicher Grundlage, adäquat Lösen (Ggf. Kraft/Stärke)
d2. gleiche Meinung (1.1-3-5)	s.o.
d3. (1.1-3) - ; Gleiche Meinung, da die Teilchen schneller sind, wenn sie heiß sind, löst sich der Zucker und das Aroma besser . (1.5)	Prozess mit Teilchen

Ergebnis: Berücksichtigung der Teilchenebene

Tabelle 6.30b: P20: Kategorienwechsel ($B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ und C (1.1/3/5))

Es zeigt sich in diesem Fall, dass auch Möglichkeiten der Anwendung des Modells nur wenig genutzt werden. Der Lösungsprozess der Inhaltsstoffe des Tees als modellhafter Mischungsprozess wird in Aufgabe 1.1. nicht angenommen. Lediglich in A1.5 kann bei der Beurteilung der Abhängigkeit des Lösungsprozesses eine Berücksichtigung der Teilchenebene angeregt werden. Hier findet allerdings keine saubere Trennung der Ebenen statt: Teilchen werden schneller *und* heiß/wärmer; ein Beispiel für eine Betrachtungsebenenüberschneidung von Makro- und Mikrowelt. Aufgrund der Kürze der Darstellung dieses Aspekts wurde dies aber weit gefasst als *Prozess mit Teilchen* codiert, um solche etwas wagen Fälle von klaren Betrachtungsebenenüberschneidungen abzugrenzen. Die Akzeptanz der Antworten der Erstversion zeigt: eine angemessene stoffliche Sicht ist vorhanden und diese Antworten sind in der Grundaussage korrekt.

Fallbeispiel P23: Kategorienwechsel B→C

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1. Das Wasser, das ständig in Bewegung ist, reibt kleinste Teilchen vom Kandisstück ab und nimmt sie auf.	Körnig, Makro-Mikro
d2. immer noch wie Seite 1, Mischmasch aus den ganzen Teeteilchen und den Zuckerteilchen	s.o.
d3. Die Wasserteilchen mischen sich mit den Teilchen vom Kandis. Rührt man sind alle Teilchen gleichmäßig im ganzen Tee verteilt. Zusammen mit den Teeteilchen für den Geschmack und so	Lösen diskontinuierlich

Ergebnis: Veränderung vom Entstehen von Teilchen hin zum Diskontinuum

Tabelle 6.31a: P23: Kategorienwechsel (B→C (1.4), B→C (1.1/3/5))

P23s konzeptueller Start zeichnet sich durch verschiedene Aspekte aus: kleinste Teilchen werden berücksichtigt - sie werden eingebettet in Vorstellungen, die der Kategorie B der Mischkonzepte zuzuordnen sind. Darüber hinaus wird die Ebenenvermischung Stoffe - Teilchen hierin deutlich, dass Aspekte der Teilchenebene auf die Stoffebene übertragen werden - und nicht, wie häufig passiert, umgekehrt. Da die Teilchen des Wassers in Bewegung sind, ist auch der Stoff Wasser *ständig in Bewegung*. Das Auflösen begründet der Proband dann mechanisch durch Reibung. P23 formuliert in Einsatz III die Vorstellung neu und in adäquater Form, d.h. er revidiert somit seine ursprüngliche Darstellung. Tritt dies auch beim kontextferneren Beispiel auf?

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
d1. Das siedende Wasser, das auf die getrockneten Blätter gegossen wird zersetzt sie teilweise und nimmt kleinste Teilchen auf, dann fließt der Tee weiter durch den Filter in die Kanne (1.1) Das Getränk wird kühl und kann die kleinsten Teilchen nicht mehr halten . Ein Bodensatz bildet sich. (1.3) Ich würde heißes Wasser nehmen, damit soviel kleinste Teilchen aufgenommen werden können wie eben möglich ist (1.5)	Teilchen in Kontinuum & Körnig(1.1d1) Teilchen statisch, Makro-Mikro (1.3/5d1)
d2. Das kann erklärt werden, weil es Lösevorgänge sind. Stoffe aus Teeblättern sind anschließend im Tee - also im ehemaligen Wasser. (1.1) Immer mehr Stoffe gehen ins Wasser , siehe Seite 1 (1.3) [wie in I] wegen der Bewegung (1.5)	adäquat Lösen Stoffebene (1.1d2) sonst: siehe oben (1.3/5)
d3 Verschiedene Teilchen aus den Teeblättern werden herausgelöst , weil die Wasserteilchen so stark in Bewegung sind , daher kommt der Geschmack und die Farbe zustande . (1.1) gleiche Meinung! (1.3) Eigentlich müsste es mit der zeit eigentlich auch kalt gehen, weil die Teilchen des Wassers immer in Bewegung sind (??) (1.5)	Lösen diskontinuierlich

Ergebnis: Überarbeitung vorunterrichtlicher Mischkonzepte hin zu einer Anwendung des Diskontinuummodells

Tabelle 6.31b: P23: Kategorienwechsel (B→C (1.4), B→C (1.1/3/5))

Für P23 ist es attraktiv, die Komponente *Teilchen* in Erklärungsmodellen einzuflechten (vgl. WITTMANN 2001). Während er in der Erstversion zur Aufgabe 1.4 eine dynamische Sicht des Lösens formuliert, ist seine Beschreibung für den Aufgabenkomplex 1.1-3-5 z.T. von einer statischen Sicht über Teilchen geprägt: *Wasser kann die kleinsten Teilchen nicht mehr halten*. Analog zu Aufgabe 1.4 werden die Vorstellungen als Mischkonzepte zwischen stofflicher Sicht und modellhafter Teilchenwelt generiert, die in der Drittversion nicht mehr auftauchen.

P23 dient daher als Fallbeispiel für eine progressive Entwicklung hin zur kompetenten Anwendungsfähigkeit des Diskontinuuummodells. Für Proband P24 sei abschließend kurz festgestellt, dass er mit einer kurzen Antwort auf Stoffebene „Der Zucker löst sich in dem warmen Wasser auf“ startet, die er in d3 differenziert. „Die kleinsten Teilchen bewegen sich im warmen Teewasser schneller und so löst sich der Kandis auf. Die kleinsten Zuckerteilchen lösen sich voneinander.“

Das im zweiten Zyklus vielfach angesprochene Modell der Teilchen wird fachlich angemessen eingesetzt, dies ausschließlich für das Kandisbeispiel, für das Beispiel des Teeaufgusses bleibt eine stofflich adäquate Sicht:

„Die Aromastoffe werden durch das warme Wasser aus den Blättern gesaugt, was dann den Geschmack des Tees ergibt. Und die Farbe kommt auch auf die Farbe der getrockneten Blätter an. (1.1) Der Geschmack wird intensiver und das kommt wahrscheinlich dadurch, dass immer mehr Aroma- oder Geschmacksstoffe herausgezogen werden.(1.3)Ich würde erst Tee kochen und dann abkühlen lassen, da sich das Aroma in kaltem Wasser nicht so gut ausbreitet, wie in warmen (1.5). [Zitat P24 (A→C (1.4), Adäquat →I (1.1/3/5)]

Abschnitt 2: „Mischkonzepte (Kategorie B) kommen und gehen“

Jene Fälle, in denen Teilchenmischkonzepte überarbeitet wurden, sind von besonderem Interesse, da so verdeutlicht werden kann, dass ein Anknüpfen an Hybridkonzepte durch den Unterricht erreicht werden kann. Die Qualität der Veränderung soll exemplarisch gezeigt werden (siehe z.B. Fall P20). Die Betitelung des Abschnitts zeigt aber, dass neben dem Abbau der Mischkonzepte auch neue entwickelt werden. Der nächste Fall zeigt, dass eine konzeptuelle Präzision im unterrichtsnahen Kontext *Lösen von Kandis* zu einer kreativen Neugestaltung des Modells der Teilchenebene im Sinne eines charakteristischen Hybridkonzepts nach VOSNIADOU führen kann.

Fallbeispiel P14: Kategorienwechsel B→C, aber A→B

P14 entwickelt im Verlauf des Fragebogeneinsatzes parallel zum Unterricht für den Aufgabenkontext 1.4 ein diskontinuierliches Modell:

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1. Sie lösen sich auf, Der Zucker löst sich und verteilt sich im Tee. Das kommt durch die Moleküle, die sich beim Erhitzen oder bei Berührung mit Wasser voneinander trennen	Teilchen in Kontinuum Inbs. vorgebildete Teilchen
d2 -	
d3. Dabei kolidieren die kleinste Wasserteilchen mit den großen, auch aus kleinsten Teilchen bestehenden Würfel Zucker. Dabei lösen sich die kleinsten Zuckerteilchen unter die Wasserteilchen. Dadurch verschwindet der Zucker langsam.	Lösen diskontinuierlich

Ergebnis: Von einem Hybridkonzept zum Diskontinuum

Tabelle 6.32a: P14: Kategorienwechsel B→C (1.4), A→B (1.1/3/5)

6. Die empirische Untersuchung

Welchen Startpunkt und welche Veränderungen treten bei P14 im Kontext Teeaufguss auf?

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
<p>d1 Diese Blätter haben ein bestimmtes Aroma, das sich auf die Flüssigkeit überträgt. legt man zum Beispiel eine Wurst in ein Kleidungsstück, so wird dieses den Wurstgeruch annehmen. (1.1) Das Aroma wird zu stark und er wird bitter und damit ungenießbar (1.3) Ich würde warmes Wasser nehmen, da sich die Aromen, die ja auch im Eistee sind, bei erhitztem Wasser besser entfalten können.</p>	Kombination: Nonmaterial properties und Gegenständlichphänomenol. (A4, A5)
d2 -	s.o.
<p>d3 Ich glaube, das die im Tee enthaltenen Geschmack, Aromen usw. sich auf die kleinsten Teilchen des Wassers übertragen können. (1.1) Wahrscheinlich werden dabei zuviel Inhaltstoffe der Teeblätter auf das Wasser übertragen und das Wasser würde einen zu starken geschmack bekommen (Pfeil) er wird bitter (1.3) Ich würde heißes Wasser nehmen, da sich die kleinsten Teilchen im Wasser dadurch schneller bewegen und so die Inhaltsstoffe besser aufnehmen könnten. Im kalten Wasser würde, wenn auch langsamer, auch gehen. (1.5)</p>	nonmaterial Prop. auch für Teilchen (B5) Teilchen in Kontinuum

Ergebnis: Entwicklung eines Mischkonzeptes aus nonmaterial properties und Aspekten des Diskontinuummodells

Tabelle 6.32b: P14 Kategorienwechsel B→C (1.4), A→B (1.1/3/5)

In diesem Fallbeispiel zeigt sich, dass vorunterrichtliche Konzepte einerseits stabil sind, andererseits aber nicht unangetastet von neu erfassten Konzepten bleiben. (vgl. VOSNIADOU, Kap.5.3) Sie werden konzeptuell verknüpft, es findet eine Konzeptveränderung sog. nicht-übereinstimmender Resonanz (NIEDDERER) statt. Das vorunterrichtliche Verständnis übertragbarer Eigenschaften bringt P14 mit der erlernten Teilchensicht in Einklang. Auch andere Antworten, wie beispielsweise die des Probanden P8 zeigen, dass das Teilchenkonzept des Unterrichts zwar akzeptiert wird, aber die Konzeptveränderung so vollzogen wird, dass die ursprünglicheren alternativen Konzepte ihre Gültigkeit behalten, das Teilchenverständnis wird „dazu addiert“. Proband P 8 überarbeitet seine Antwort zum Teeaufguss wie folgt.

„Die kleinsten Teilchen werden mit anderen Stoffen aus den Blättern gezogen. (1.1) der Tee schmeckt pelzig, die kleinsten Teilchen setzen sich ab sind nicht wie im Anfang im Tee verteilt. (1.3)

Der kurze Ausschnitt verdeutlicht zweifach „Konzepttreue“: Im ersten Teil der Antwort wird der Begriff Teilchen und die dazugehörige Vorstellung zur stofflichen Sicht dazu addiert, eigentlich wird stofflich beschrieben. In der zweiten Antwort liegt eine typische Betrachtungsebenenüberschneidung vor. Die Teilchen müssen sich so wie Partikel in der wahrnehmbaren Welt verhalten, sich absetzen.

Die bisher umfangreichere Darstellung von Fällen, die gerade *Misch*konzepte enthalten, hängt u.a. damit zusammen, dass die Probanden durch ihre Beschreibungen ein größeres „Materialangebot“ zur Deutung ihrer Vorstellung bieten. Ihre Antworten sind umfangreicher als die der anderen, die beispielsweise auf der stofflichen oder phänomenologischen Ebene liegen. Daraus könnte durchaus postuliert werden, dass diejenige Probanden, die im Einsatzzeitraum des Lernbegleitbogens Teilchenbetrachtungen anstellten, dies mit „Kreativität“ machen, was in der Folge mit einem Fehlerrisiko einhergeht – d.h. mit der höheren Wahrscheinlichkeit einhergeht, Hybridvorstellungen zu bilden. Diejenigen Probanden, die vergleichsweise viel geschrieben haben und sich in beiden Kontexten umfangreicher geäußert und gezeichnet haben, dokumentieren eine

6. Die empirische Untersuchung

stärkere Auseinandersetzung als mach anderer Proband. Diese umfangreichere Auseinandersetzung führt - so denkbar - über „die kreativen Fehler“ der Hybridkonzepte zum Diskontinuum.

Wesentlich ist die Feststellung: Nutzen sie die Entität „Teilchen“, so findet man die für das Fach charakteristischen *erklärenden* Aussagen. Hierfür können als gute Fallbeschreibung die Antworten des P15 dienen, P15 hat bereits ein Diskontinuumskonzept (er nennt die Entitäten Atome), er wendet sie in beiden Aufgabenkontexten an und formuliert in Folgeinsätzen größtenteils adäquat diskontinuierliche Erklärungen. Sein Beispiel zeigt, dass die Nutzung eines Teilchenkonzepts zu wirklich *erklärenden* Aussagen führt, Antworten wie die seine liegen auf einem vertieften Niveau im Gegensatz zu denen, die auf der Ebene der Kategorie A verbleiben.

Fallbeispiel: P15: Kategorienwechsel B → C überwiegend

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1 Zusätzlich zu den Farb- und Geschmacksatomen kommen Zuckeratome hinzu. Der Kandis selbst teilt sich soweit in so kleine Teilchen das er nicht mehr/kaum noch zu sehen ist.	Teilchen in Kontinuum Dual Stoffe und Teilchen
d2 alles wie beim alten	
d3 Der Kandis, der aus vielen kleinen Teilchen besteht , wird durch die hohe Geschwindigkeit der kleinen Wasserteilchen langsam aufgelöst. Die kleinen Kandisteilchen fallen auseinander.	adäquat Lösen diskontinuierlich

Ergebnis: Das Teilchenkonzept wird angewendet und zunehmend genau benutzt.

Tabelle 6.33a: P15: Kategorienwechsel B → C(1.4), B → C(1.1/3/5)

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
d1 Die Blätter geben das Aroma und Farbstoffe in Form von Atomen an das Wasser ab. Das Wasser nimmt diese auf und bindet sie in die eigene Struktur ein. deshalb hat das "Teewasser" auch nach Entnahme der Blätter Geschmack und eine Farbe. (1.1) Es werden zu viele Farb- und Geschmacksstoffe abgegeben. Der Tee schmeckt viel intensiver und evtl. bitter. Auch die Farbe wird dunkler. (1.3) Nein, denn das heiße Wasser unterstützt den Vorgang der Überleitung der Geschmack- und Farbstoffe, sowie den des Auflöses des Kandis erheblich. Beim kalten Wasser würde es viel länger dauern oder gar nicht richtig funktionieren. (1.5)	Teilchen in Kontinuum adäquat Lösen adäquat Lösen
d2 alles wie beim alten	Teilchen in Kontinuum
d3 Das warme/heiße Wasser beschleunigt die kleinsten Wasserteilchen, wodurch sich der Lösevorgang schneller vollzieht.	Teilchen in Kontinuum/ ggf. adäquat diskontinuierlich

Ergebnis: Ein vorhandenes Teilchenkonzept bewährt sich.

Tabelle 6.33b: P15: Kategorienwechsel B → C(1.4), B → C(1.1/3/5)

6. Die empirische Untersuchung

Die Eingangsversionen des Probanden 15 sind noch uneindeutig, da nicht klar ist, ob alle Komponenten des Gemisches diskontinuierlich aufgefasst werden, daher erfolgte eine „strenge“ Codierung, die aber auch nur aufgrund sprachlicher Vereinfachung gründen kann. Bemerkenswert sind auch P15s Unterrichtsprodukte aus den Schlüsselementensituationen Stunde 5 und 21: Sie erweisen sich als adäquat, sodass Fälle wie diese Antworten bei der Lernbegleitbogenanalyse zwar nicht als vollständig optimal im Sinne des Basiskonzepts eingeordnet wurden, eine weitere „Kontextführung“ (im Sinne MAYRINGS) unter Zuhilfenahme von Unterrichtsmaterial bei der Interpretation aber genau den kritischen Aspekt aufarbeitet: Proband 15 wendet ein diskontinuierliches Modell an.

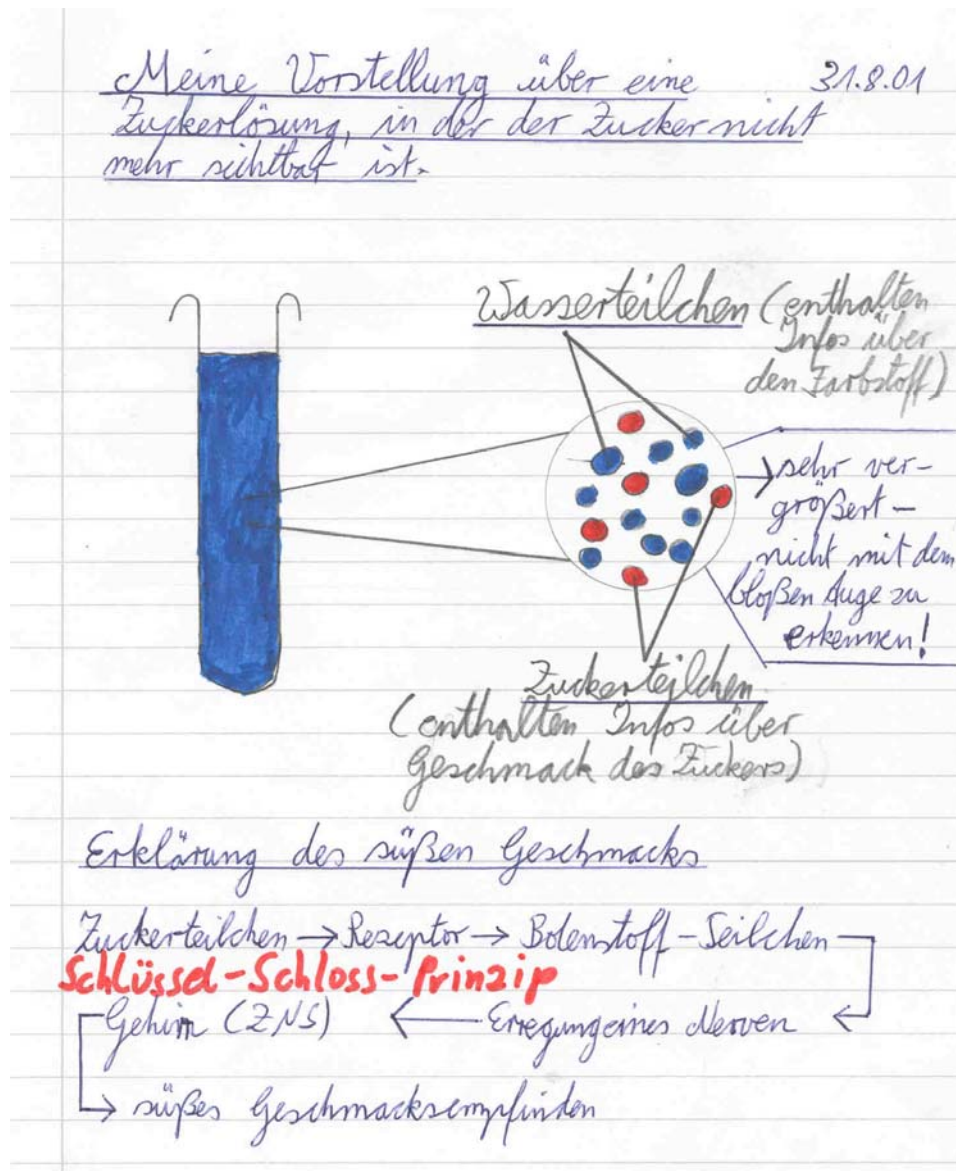


Abb. 6.7a: Zeichnung des P15 aus der 5. Unterrichtsstunde

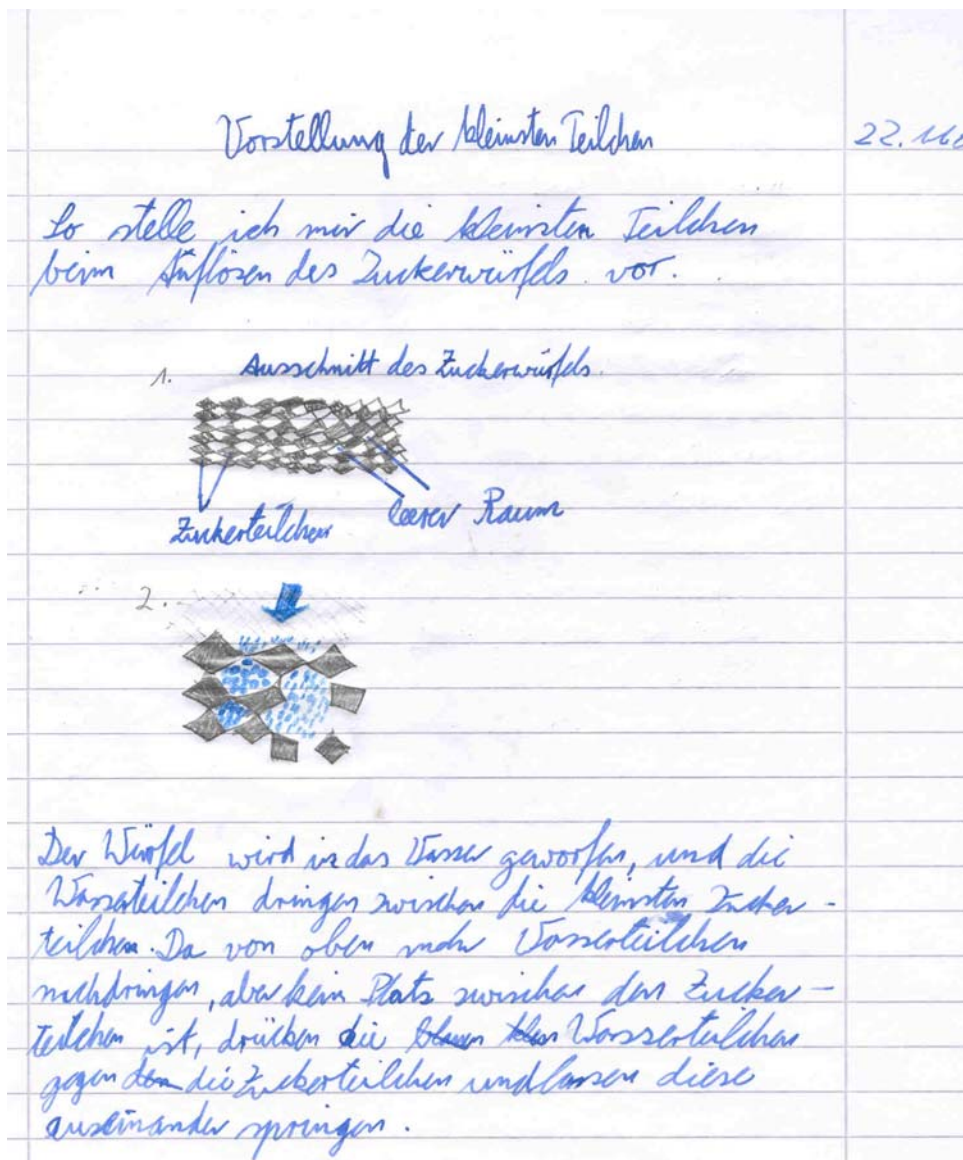


Abb. 6.7b: Zeichnung des P15 aus der 21. Unterrichtsstunde

Die hierin liegende gegenständlich-mechanische Sicht (zuzuordnen der Kategorie B2: Makro-Mikro) bleibt unberücksichtigt, die Deutung ist hilfreich für die Entscheidung, ob eine vollständige und funktionsbezogene Diskontinuums-vorstellung vorliegt. Dies ist der Fall.

Abschnitt 3: Einseitige Resonanz

Hierunter fallen zuallererst jene Beschreibungen, die auf der rein phänomenologischen Ebene verbleiben „der Zucker löst sich auf und süßt den Tee“ der Tee wird stark und schwarz“. Sie wenden weder die Lernangebote der stofflichen noch der Teilchenwelt an (wie Tabelle 6.27 zeigt, gilt dies für drei Probanden). Auf der Stoffebene liegen keine nennenswerten Konzeptveränderungen vor, sei es, sie waren adäquat oder auch von alternativer Natur.

6. Die empirische Untersuchung

Hier soll noch abschließend gezeigt werden, dass alternative Konzepte vom Lernzuwachs in andere Themenzusammenhängen gänzlich unberührt bleiben können:

Fallbeispiel P11: Einseitige Resonanz

Antwort 1.4 Lösen von Kandis	Codierung und Analyse
d1 Da der Tee heiß ist, löst sich der Kandis auf und der Tee wird süß . Ist der Tee allerdings kalt, kann der Kandis sich nicht auflösen und vermengt sich auch nicht mit dem Tee.	adäquat Lösen Stoffebene (weil <i>vermengen</i>)
d2 Da der Tee heiß ist können sich die kleinsten Teilchen vom Kandis lösen und vermischen sich automatisch mit den Teeteilchen . Dadurch wird der Tee süß. Wenn der Tee kalt ist kann sich der Kandis gar nicht oder nur sehr langsam auflösen. Da sich die Teilchen nicht vom Kandis lösen können .	Lösen diskontinuierlich
d3 siehe Mitte	

Ergebnis: Eine frühzeitige Akzeptanz des fachlich adäquaten Teilchenmodells

Tabelle 6.34a: P11: Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow \neg A$ (1.1/3/5)

Demgegenüber unterscheidet sich das angewendete Konzept für den weiteren Aufgabenkontext völlig:

Antworten 1.1/3/5	Codierung und Analyse
d1 Auf den Teelättern ist eine Schicht aus Teestaub , dieser entfernt sich von den Blättern sobald das Wasser darüber gegossen wird und vermengt sich mit dem Wasser, es entsteht Tee. Der Tee wird zu stark, da immer mehr Teestaub zum Wasser gelangt. Ich würde ich erst mit heißem Wasser aufgießen und dann abkühlen lassen, sonst kann sich das Pulver nicht vom Blatt lösen .	Phänomenologisch gegenständlich
d2 siehe vorne (1.1/3/5)	s.o.
d3 siehe Mitte (1.1/3/5)	s.o.

Ergebnis: Keine Konzeptentwicklung

Tabelle 6.34b: P11 :Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow \neg A$ (1.1/3/5)

Das in der Vorstellungsforschung beschriebene Konzept der Stoffe oder Eigenschaften als konkrete „Dinge, Körper, Sachen“, vgl. Kap. 3.2, tritt in dieser Deutlichkeit in dieser Probandengruppe nur einmal auf. Ein weiteres Mal wird von Aroma als konkrete Flüssigkeit gesprochen. Das alternative Konzept, das keine stoffliche Basis hat, wird mit Unterrichtsinhalten in keiner Weise assoziiert. Bei der Optimierung des Unterrichtsangebots sollte - wie bereits angeführt wurde-, auf die zu gering akzentuierte Trennung der Gegenstandsebene geachtet werden, zusätzliche gestalterische Elemente und geeignete Einsatzpunkte sind vorzuschlagen.

Nach Darstellung der Lernbegleitbogenergebnisse der Fallstudie 1 folgt zweierlei: Schlussfolgerungen im Sinne von Abduktionen werden gemacht und sind in Kapitel 7 im Forschungsertrag darstellt. Die Verallgemeinerbarkeit einiger Ergebnisse kann untersucht werden, indem der Lernbegleitbogen in einer Studie mit größerer Stichprobe eingesetzt und ausgewertet wird. Ergebnisse sind in Kap 6.4. aufgeführt.

Die Beurteilungen der Kategorien aus dem Kapitel 3.3.1 sind mit dieser Studie bereits fallbasiert geprüft, sie können mit der Zweitstudie mit größerer Stichprobe wiederholt bestätigt oder ggf. differenziert werden.

6.4. Die Zweituntersuchung mit größerer Stichprobe

In diesem Teilkapitel werden Ergebnisse einer Zweituntersuchung mit dem Lernbegleitbogen dargestellt, die im Anschluss an die erste qualitative Fallstudie aufgenommen wurde. Diese Untersuchung wurde im Schuljahr 2002-2003 im Niedersächsischen Lehrersetz des Forschungsvorhabens „Chemie im Kontext – Implementation einer innovativen Unterrichtskonzeption“ eingebettet. (vgl. GRÄSEL, PARCHMANN 2004, DEMUTH et al. (2008)). Damit ist diese Untersuchung eine Facette der Untersuchung von Strategien der Optimierung von Unterrichtsprozessen.

Unter den verschiedenen Forschungsaufgaben ist es ein Ziel gewesen, im Sinne der symbiotischen Implementationsstrategie (FUßNAGEL et al. 2008) Forschern und Lehrern Instrumente an die Hand zu geben, mit der sie Effekte ihrer Unterrichtsinnovationen wahrnehmen können. Der Lernbegleitbogen bietet zudem die Möglichkeit, dass Lerner ihren eigenen Lernfortschritt erkennen. Der Einsatz des Lernbegleitbogens hat in diesem Zusammenhang nicht nur das Ziel, Konzepte und Konzeptveränderungen deskriptiv zu erfassen, sondern eines der Werkzeuge zur Evaluation zu sein, d.h. bei der Zusammenarbeit der Lehrer untereinander und der Forscher bei der Reflektion des Unterrichts und der Entwicklung innovativer Wege behilflich zu sein.

6.4.1. Rahmenbedingungen

Symbiotische Implementationsstrategie

Das Forschungsprojekt mit dem oben genannten Titel untersucht die Umsetzung der neuen Unterrichtskonzeption Chemie im Kontext mit einer kontinuierlich zusammenarbeitenden Gruppe aus Lehrern und Forschern und Mitarbeitern der Schulbehörden. Anders als nach der *Top-Down* Strategie und der *Bottom-up* Strategie (vgl. z.B. BLK- SINUS) arbeitet dieses Projekt in einer Weise, für die PARCHMANN et al. (DEMUTH et al. 2008) den Begriff der *symbiotischen Implementationsstrategie* prägten (vgl. Abb. 6.8). Kennzeichnend ist die Entwicklung von Unterrichtsinnovationen und die formative Evaluation dieser in *Kooperation*.

Es werden keine fertigen Unterrichtseinheiten für den Chemieunterricht „weitergegeben“, sondern es werden ein konzeptioneller Rahmen und Beispiele angeboten. Auf dieser Grundlage entwickeln die Lehrkräfte in Arbeitsgruppen (Sets oder *Lerngemeinschaften*) selbst Unterrichtseinheiten, erproben sie und reflektieren den Verlauf und die Ergebnisse ihres Unterrichts. Diese Lerngemeinschaften ermöglichen einen unmittelbar auf die Schulpraxis bezogenen Austausch verschiedener *Unterrichtsexperten*: Neben den Lehrkräften nehmen auch Unterrichtsforscher, Personen der Schuladministration und der Lehrerfortbildung teil. Dadurch wird zum einen ein enger Austausch zwischen Forschung und Praxis gewährleistet, zum anderen können dadurch die Bedingungen der jeweiligen Länder und Schulen beachtet werden (z. B. Lehrpläne und Lehrplanentwicklungen). Chemie im Kontext erhebt nicht den Anspruch, eine „fertige Konzeption“ zu verbreiten. Vielmehr soll die Konzeption einen Anlass und Rahmen für eine Diskussion und Weiterentwicklung von Unterricht darstellen. Zentral für diesen Prozess ist die enge und partnerschaftliche Kooperation zwischen Praxis und Forschung.

6. Die empirische Untersuchung

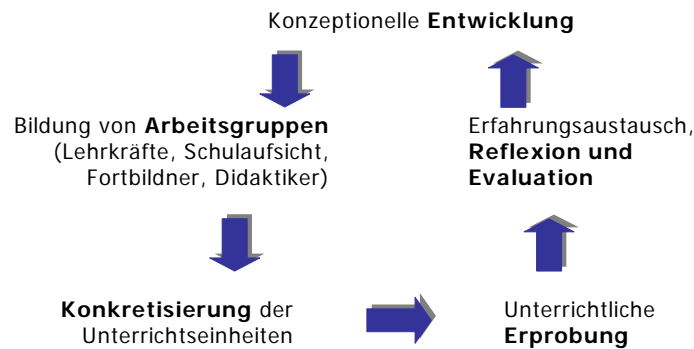


Abb. 6.8: Symbiotische Implementation, vgl. FUßNAGEL et al. (2008), 61

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion kann für die kooperative und prozessorientierte Strategie wiederum einen Rahmen darstellen, wie Abbildung 6.9 veranschaulicht.

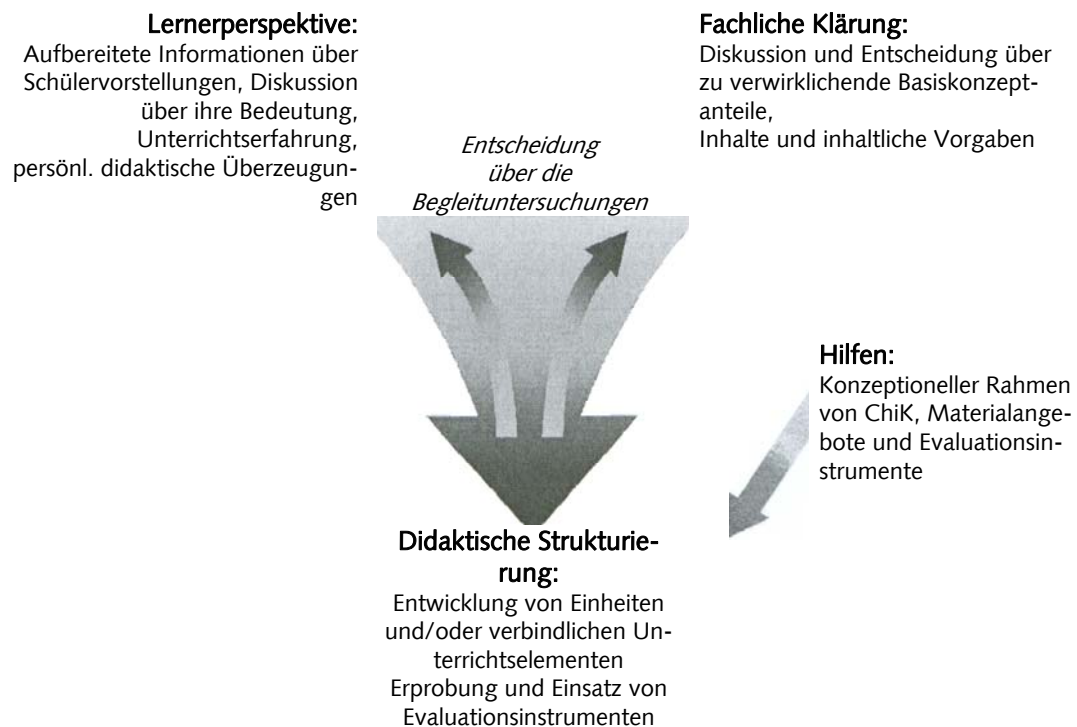


Abb. 6.9: Das Implementationsprojekt und das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Die von Seiten der Forschung einfließenden Ergebnisse über Schülervorstellungen können beispielsweise mit den Zielsetzungen und praktischen Erfahrungen der Lehrkräfte verbunden werden und zur Gestaltung bzw. Optimierung von Schlüsselementen genutzt werden. Neben der fachinhaltlichen Strukturierung von Einheiten spielt in den Arbeitsgruppen auch die methodische Gestaltung des Unterrichts eine zentrale Rolle, auch hier kann die Gruppe von der jeweili-

gen Expertise der einzelnen Kollegen profitieren, andererseits können wiederum Ergebnisse aus der Forschung zum Conceptual Change einfließen.

Im niedersächsischen Set arbeiten 14 Lehrkräfte zusammen. Die Autorin betreute die Gruppe von Mai 2002 bis Juli 2003. Zu Beginn entschied die Gruppe, dass sie den Anfangsunterricht kontextbasiert gestalten möchte. Im Anhang III.4 befindet sich eine Übersicht, die die umfangreiche Zusammenarbeit zusammenfasst. Die Zusammenarbeit und die Effekte für das Lehrerhandeln und Schülerverhalten wurden umfangreich von der Universität des Saarlandes, später der Universität Wuppertal dokumentiert und untersucht (DEMUTH *et al.* 2008). In diesem Kapitel dargestellte Untersuchungsgegenstand ist damit innerhalb des Projekts nur einer von vielen. In den Treffen wurden in bezug auf mein Untersuchungsvorhaben versucht, wesentliche Aspekte zu verwirklichen:

- Für eine aktive Arbeit mit Schülervorstellungen zu sensibilisieren
- und möglichen relevante vorunterrichtlichen Vorstellungen kennen zu lernen und Erfahrungen mit ihnen zu berichten.
- Eine gemeinsame fachliche Klärung über das Teilchenkonzept mit seinen Schwierigkeiten bzw. Dissonanzen zu leisten.
- Methodische Wege für die Arbeit mit Schülervorstellungen kennen zu lernen und ihre Umsetzung konkret zu planen. Die Ziele und die Details des Lernbegleitbogeneinsatzes kennen zu lernen.
- Schlüsselemente kennen zu lernen und zu entwickeln.

Die Fokussierung und Untersuchung der Konzeptentwicklung von Schülern ist nur eine Facette der Konzeption und damit auch nur eine Facette des veränderten unterrichtlichen Geschehens gewesen. In den Treffen sind oft auch andere Aspekte der Unterrichtsreflexion in den Vordergrund getreten, je nach den Bedürfnissen der Kollegen zum jeweiligen Zeitpunkt.

In Schuljahr 2002-2003 gab es aufgrund der Veränderungen der Stundentafel drei Jahrgänge mit Anfangsunterricht Chemie.⁵³ Für die Untersuchung wählten die Kollegen sowohl Lerngruppen des Jahrgangs 7 als auch 9 (Alter 12-14 Jahre), viele erteilten in beiden Jahrgängen Unterricht, so dass sie Erfahrungen mit der Gestaltung der Einheit in beiden Jahrgängen sammeln konnten.

Die Kollegen unterrichteten unterschiedliche Einheiten, entweder den *Vorkoster in Not* - [...] oder einen Kontext zur Analyse von Schokolade oder eine Einheit zur Herstellung eines Shampoos. Im Anschluss unterrichtete ein Großteil der Kollegen den Kontext zur Verbrennung, ein Kollege unterrichtete ein Variante, bei der Feuerwerk und Knaller im Vordergrund standen, zwei führten die chemische Reaktion über einen Kontext zur Reduktion von Metalloxiden (vgl. Material-CD der Projektgruppe).

6.4.2. Organisatorisches zur Erhebung

Das Instrument Lernbegleitbogen

Auf Basis der Erststudie „Varel“ und Erfahrungen mit anderen Vortestgruppen wurde der Lernbegleitbogen verändert. Die Frage *Was hat das mit Chemie zu tun?* wurde herausgenommen. Sie hatte für die Auswertung gemäß einer Globalanalyse bisher eine andere Funktion als der restliche Teil, was in einigen Fällen hilfreich gewesen ist (vgl. Kap. 5.2). Da eine Feincodierung, die sich auf das Stoff-Teilchenkonzept bezieht, hiermit nicht gemacht wird, wurde sie von vornherein

⁵³ Grund war die Erhöhung der Stundentafel der Sekundarstufe I mit Vorverlegung des Chemieunterrichts vom vormaligen Beginn im Jahrgang 9 auf den Jahrgang 7. Im genannten Schuljahr wurde somit im Jahrgang 7, 8 und 9 Chemieanfangsunterricht erteilt.

nicht aufgenommen. Für den Einsatz in großer Stichprobe erscheint der etwaige Aufwand einer anderweitigen induktiven Codierung nicht pragmatisch. Aus den Fragen 1.3 und 1.5 wurde zugunsten eines weiteren Aufgabenkomplexes (siehe weiter) eine der Fragen nicht mehr berücksichtigt (Aufgabe 1.5, d.h. zum Teeansatz mit kaltem Wasser, vgl. Ergebnisse in Kap. 6.3).

Als neues Element wurde ein Thema aufgenommen, das Vorstellungen über den Bau von Gasen erfassen soll. Dabei geht es um die Autoreifenfüllung Power Air, die damals stark beworben wurde.

Die vollständige Werbeanzeige befindet sich im Anhang III.4, ebenso das aktuelle Angebot der Firma.

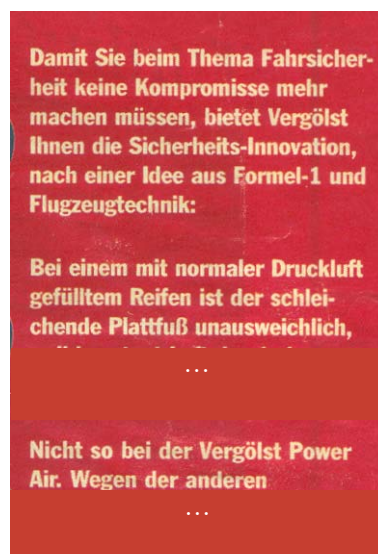
Im zweiten Teil des Lernbegleitbogens sollst du dich mit der Füllung von Autoreifen beschäftigen.

Der vermeidbare Plattfuss!

Du bist (noch) kein Autofahrer, keine Autofahrerin. Aber das Problem, zu dem der oben genannte Anbieter eine Lösung zu haben scheint, kennst du wahrscheinlich auch aus einem anderen Zusammenhang:

Bläst man einen Luftballon prall auf, so ist er nach ein paar Tagen schon recht zusammengeschrumpelt- auch, wenn man ihn gut verknotet hat.

Im Werbetext rechts der sind die Erklärungen, die die Firma Vergölst verwendet, abgedeckt. Finde selbst eine plausible Erklärung!



Aufgaben:

2.1 Wie erklärst du dir das Sinken des ursprünglichen Drucks sowohl beim Autoreifen wie auch beim Luftballon?

2.2 Spekuliere darüber, worauf beruhen könnte, dass dieser Verlust mit der sogenannten „Power Air“ nicht auftritt!

Abb. 6.10: Power Air - das weitere Lernbegleitbogenthema, Quelle ADAC-Heft 1/2002

Die erste Teilaufgabe zielt ähnlich wie in anderen Studien (vgl. STAVY 1990, NOVICK & NUSS-BAUM 1981) auf die Vorstellungen zum Bau von Gasen ab und kann sowohl auf der Teilchen-, als auch auf Stoffebene beantwortet werden. Der zweite Teil kann nur sinnvoll *erklärend* beantwortet werden, wenn der diskontinuierliche Bau berücksichtigt wird. Mit der Wahl dieses weiteren Kontexts soll gewährleistet werden, dass auch über zu Vorstellungen von Gasen Daten vorliegen.

Der Nutzen dieser Füllung ist umstritten, so dass eine Klarstellung im Unterricht erfolgen sollte, das Produkt sollte nicht etwa umworben werden.

Es handelt sich um eine Stickstofffüllung. Der Anbieter erklärt wie folgt:



Abb. 6.11: Erklärung des Anbieters zur Wirkung von Power Air, Quelle: <http://www.vergoelst.de/medien/105.gif>, gesichtet 25.11.2009

Es wird somit über die unterschiedlichen Molekülgrößen bzw.- radien argumentiert. Der kovalente Radius des Stickstoffs ist mit $r_{\text{cov}}(\text{N}_2)=73\text{pm}$ allerdings etwas kleiner als der des Sauerstoff mit 74pm [AYLWARD *et al.* 1999, 11]. Die dargestellte einfache Argumentation kann also nicht stimmen. Die verringerte Diffusion muss andere Gründe haben, alternativ wird auch diskutiert, dass das Abreagieren des Sauerstoffs der Luft mit Reifenbestandteilen einen Verlust des Reifendrucks bewirkt, der bei reinem Stickstoff nicht auftritt.

In Zusammenarbeit wurde beschlossen, dass wir dieses Thema trotz des fachlichen Hintergrunds nutzen wollen, um die Schülervorstellungen *hervorzulocken* und insbesondere zu untersuchen, ob die Unterrichtsangebote der Einheit zum Perspektivwechsel anregen. Es geht also mehr um den Perspektivwechsel als um die fachliche erschöpfende Erklärung. Unproblematisch hingegen ist es, im Unterricht auch die Begrenztheit der Aussagekraft von Modellen zu verdeutlichen und Themenfelder zu beleuchten, die fachlich nicht voll geklärt werden können. Angemessen ist, sich nach dem Lernbegleitbogeneinsatz kritisch damit auseinander zusetzen, sonst läuft man Gefahr, sogar Werbung in dieser Sache zu betreiben.

Stichprobe und Lernbegleitbogeneinsatz

Lerngruppen in	N [Lerngruppen]	N [Schüler]
Jg. 7	7	213
Jg. 8	1	
Jg. 9	9	236
	20 in Erprobung, davon 17 an der Erhebung teilnehmend	449

Tabelle 6.35: Erhebungszahlen

Der Großteil der Gruppe hat den Bogen nur zweimal und damit wie einen Test im Pre-Post-Design zu Beginn und zum Abschluss der Einheit angewendet.

Zahl der Einsätze	Lerngruppen
d1+d2	[13]
d1+d2+d3	[4] (Jg. 7)

Tabelle 6.36: Anzahl der Einsätze

N [Lerngruppen]	Jahrgang	Thema der Einheit
3	7	Schokolade
2	8,9	Shampoo
4	7	Vorkoster
8	9	Vorkoster

Tabelle 6.37: Lerngruppen und Themen

Die vier Lerngruppen, die wie in der Erststudie drei Einsatzzeitpunkte wählten, haben den Einsatzzeitpunkt d2 im Anschluss an die Einführung des Teilchen/Bausteinbegriffs nach Behandlung des Schlüsselements zum Schmeckvorgang eingesetzt. Aus pragmatischen Gründen wird in der Auswertung für die gesamte Stichprobengröße ein Pre-Post-Vergleich vorgenommen.

Für die hier dargestellte Analyse wurden nur die Daten aus den „Vorkosterguppen“ gewählt, da diese Einheit Gegenstand der didaktischen Strukturierung ist. Ausschließlich diese Daten dienen der Optimierung der Unterrichtsstrukturierung. Die Stichprobengröße beträgt N [Schüler] = 324.

Die Vielzahl veränderter Variablen und die (bewusst) fehlende Operationalisierung des Unterrichtsgeschehens lässt eine vergleichende Analyse nicht sinnvoll erscheinen. Selbstverständlich wurden auch die anderen Lerngruppen ausgewertet, alle Lerngruppen und Kollegen haben Rückmeldungen erhalten. In der Stichprobengröße liegt somit eine Ungleichverteilung im Jahrgang vor.

6.4.3. Auswertung

Mit der Fragebogentechnik kann eine große Stichprobe erfasst werden, von Nachteil ist allerdings, dass nicht entschieden werden kann, ob eine uneindeutige Antwort auf einem verankerten ggf. alternativen Konzept basiert oder ob es sich um eine sprachliche Uneindeutigkeit handelt (vgl. den Begriff Aroma in Kap 6.3.1). Die Rückmeldung an die Lehrer über solche evtl. ausdrucksbezogenen Schwierigkeiten gibt aber Anlass, über solche Sprachbarrieren mit den Schü-

6. Die empirische Untersuchung

lern zu reflektieren, sodass auf diese Weise auch eine aktivere Auseinandersetzung mit Schüler-
vorstellungen erfolgen kann.

6.4.3.1 Operationalisierung der Codierung

Für die Analyse wird auf der Basis der Ergebnisse aus der Erststudie ein Codierschema entwi-
ckelt, darin werden selbstverständlich die wesentlichen Unterkategorien übernommen.

Kategorie A Codes 10- 20 Gegenstands- und Stoffebene	Kategorie B Codes 21- 30 Mischkonzepte und duale Denkweisen	Kategorie C Teilchenebene Codes 31-40
11: Verschwinden zu nichts/weniger 12: Verdichten und Verdünnen von Continua 13: aktiv-kraftbegründete Stoffannahmen 14: flexible und übertragbare Eigenschaften 15: rein gegenständliche (statt stoffliche) Sicht oder rein phänomenologische Betrachtung	21: kontinuierliche Zerteilbarkeit: „Teilchen“ als makroskopische Körnchen 22: Betrachtungs- ebenenüberschneidung: Makro- Mikro 23: Teilchen-in-Kontinuum 24: teleologische Annahmen, Personifizierungen 25: statische Vorstellungen 26: kreative Teilcheneigenschaften	31: Überinterpretation physikalischer Vorgänge als chemische Reaktionen auf Teilchenebene
Uneindeutigkeit 16 :Sprachbarrierentonne		Uneindeutigkeit 32 Prozess mit Teilchen Aufbau von Stoffen aus vorgebildeten Teilchen unvollständige, nicht falsche Antworten
Basiskonzept 17 Stofferhaltung bei Aggregatzustandsänderungen und Lösungsprozessen, Eigenschaften an Materie gebunden		Basiskonzept 33: adäquate Nutzung von Baustein-/ Teilcheneigenschaften des Diskontinuummodells
Neu: 41: Kombination aus Konzepten der Codes 14+15	Neu: 27: unverbundenes Nebeneinander von Stoff- und Teilchenebene (Codes der Unterkategorie B5, vgl. Kap. 6.3.1)	

Tabelle 6.38: Codierung der Antworten

Die Codierung wurde von der Autorin sowie von zwei studentischen Hilfskräften, es handelt sich um zwei Studierende des Lehramts Chemie, die mit Hilfe der Ergebnisse aus der „Varelstudie“ und gemeinsam erarbeiteten Codierschlüsseln in die Thematik eingearbeitet wurden. In der Erststudie sind Mehrfachcodierung üblich: In einer längeren Aussage können mehrere Konzepte benutzt werden. Dies ist auch in dieser Zweituntersuchung möglich, wobei die maximale Codezahl pro Teilaufgabenantwort drei beträgt. Dies hat den qualitativen Vorteil, dass kaum Verlust

6. Die empirische Untersuchung

an Details (Datentiefe) stattfindet, es hat für die Quantifizierung allerdings auch Nachteile. So wird der Datensatz durch die Zuordnung dreier möglicher Codes verdreifacht, was für die Interpretation weit reichende Folgen hat. Um Häufigkeiten auf die tatsächliche Stichprobengröße zu beziehen, mussten dann wieder Zusammenfassungen vorgenommen werden, damit zwei Codes in einer Antwort (z.B. Code 22 und 23) nicht für zwei Probanden stehen.

6.4.3.2 Ergebnisse

Um eine Vergleichbarkeit zu den Daten der Erststudie zu gewährleisten, wird an dieser Stelle vorerst eine Auswertung der Daten für den Themenkomplex Teeaufguss und Kandislösen aufgeführt.

Ergebnisse ausgewählter Codes

⇒ Codierungen
Anhang III.4

Kategorie des Konzepts	Beispielantworten	Häufigkeit der Antworten (N=324) für die Aufgaben "Tee" und „Kandis“
Kategorie A Stoffebene: Adäquate Antworten lt. Basiskonzept (Code 17)	Ich denke, das ist ein spezieller Stoff in den Teeblättern, der sich löst und sich im Wasser mischt. Der Kandis besteht aus Zucker, der sich löst, deshalb schmeckt der Tee süß.	Pretest Tee: 30,8% [100] Kandis: 17,9% [58] Posttest Tee: 20,9% [68] Kandis: 8,6% [28]
Kategorie A Nonmaterial properties (Code 14)	Die Blätter enthalten Geschmack, der herausgefiltert wird. Der Kandis löst sich auf und überträgt seine Süße auf das heiße Wasser	Pretest Tee: 18,8% [61] Kandis: 10,8% [35] Posttest Tee: 14,5% [47] Kandis: 3,4% [11]
Mischkonzept der Gegenseitigkeit und der Stoffebene: Nonmaterial properties und phänomenolog. gegenständig (41):	Gibt man heißes Wasser auf die Blätter, lösen sie sich auf, nur der Geschmack kann durch den Filter Vielleicht geben die Blätter ihre Farbe und ihren Geschmack an das Wasser ab, wenn sie nass werden.	Pretest Tee: 16,4% [53] Posttest Tee: 9,8% [32]
Kategorie C: Adäquate Antworten (32, 33)	Verschiedene Teilchen aus den Teeblättern werden herausgelöst, weil die Wasserteilchen so stark in Bewegung sind, daher kommt der Geschmack und die Farbe zustande. Die Moleküle des Zuckers mischen sich mit denen des Wassers.	Pretest Tee: 0,9% [3] Kandis: 2,7% [9] Posttest Tee: 11,1% [36] Kandis: 36,7% [119]

6. Die empirische Untersuchung

Kategorie B. Mischkonzepte zwischen Stoff- und Teilchenebene Teilchen in Kontinuum (23)	Die Teilchen der Blätter lösen sich und schwimmen im Wasser. Die Zuckerteilchen lösen sich und verteilen sich im Tee. Die einzelnen Zuckerbausteine schwimmen im Wasser rum	Pretest Tee: 0,6% [2] Kandis: 3,1% [10] Posttest Tee: 7,7% [25] Kandis: 13,8% [45]
Kontinuierliche Körnigkeit (21)	Das heiße Wasser reibt kleinste Teilchen vom Kandis ab.	Pretest Tee: 1,5% [5] Kandis: 12,7% [41] Posttest Tee: 3,4% [11] Kandis: 14,5% [47]
Betrachtungsebenen- überschneidung Stoffliche Eigenschaften für Teilchen (22)	Die Teilchen des Kandis werden flüssig.	Pretest Tee: 0,6% [2] Kandis: 0,6% [2] Posttest Tee: 4,0% [13] Kandis: 4,9% [16]

Tabelle 6.39: wesentliche verwendete Konzepte in der Zweitstudie und ihre Häufigkeiten

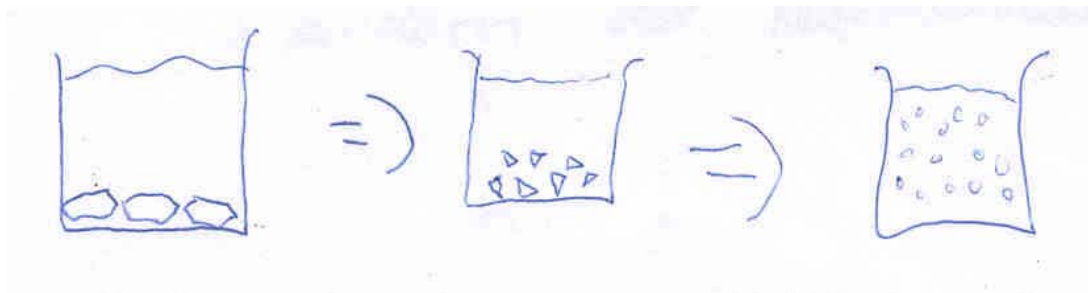


Abb. 6.12a: Bildliches Beispiel für den Code 21

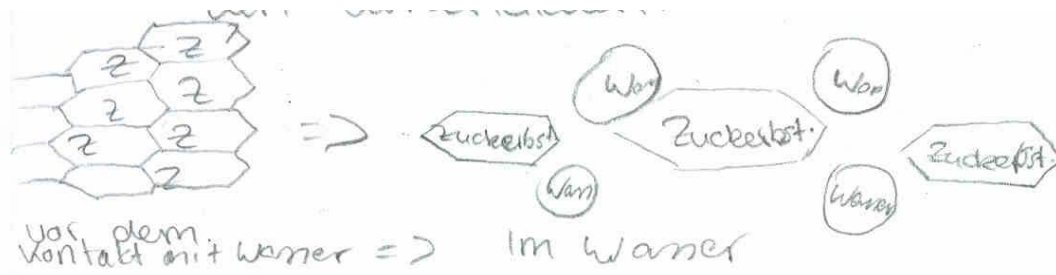


Abb. 6.12b: Bildliches Beispiel für den Code 33

Detailergebnisse zum Thema Teeaufguss

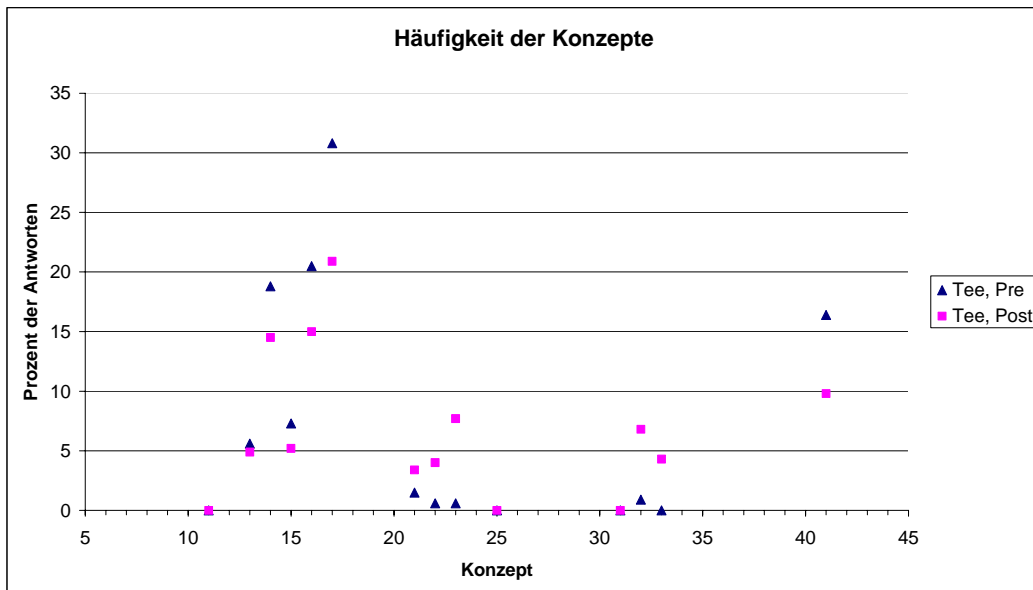
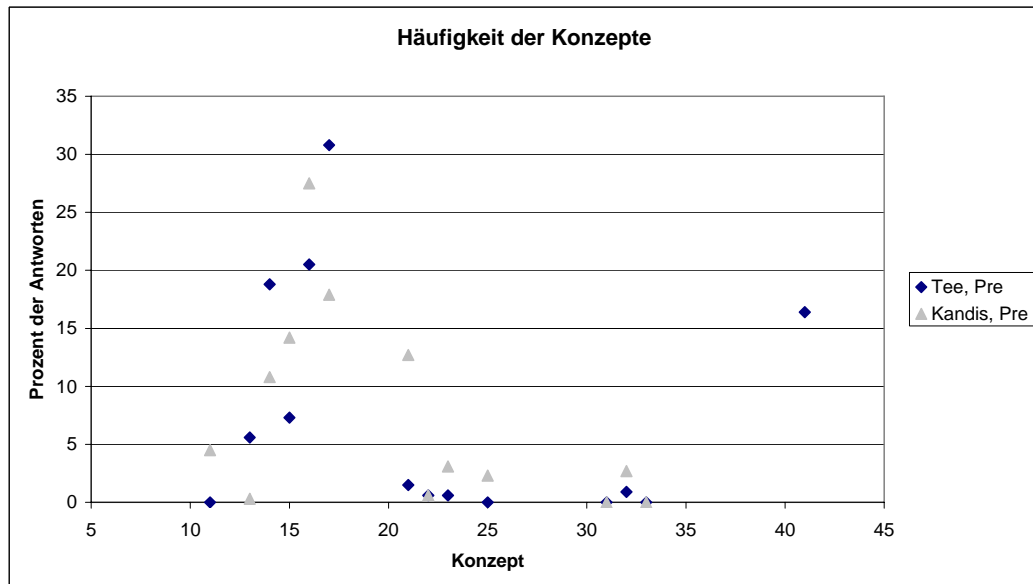


Abb. 6.13: Konzepthäufigkeiten im Thementeil Teeaufguss, Quelldaten Anhang III.4

Die größten Häufigkeiten findet man für das fachlich adäquate Konzept der Löslichkeit auf Stoffebene (Code 17), für rein phänomenologische Gegenstandsbeschreibungen (15) und für das nonmaterial-properties-Konzept (14). Dies gilt sowohl für die Pre- als auch für die Postversion. Mit 35,2% aller Ersteinsätze (Code 41 und Code 14) tritt auch in der Großgruppe das nonmaterial properties Konzept (Kategorie A4 des Kategoriensystems Kap. 3.3.1) als charakteristisches auf, ein mit der ersten Fallstudie korrespondierendes Ergebnis.



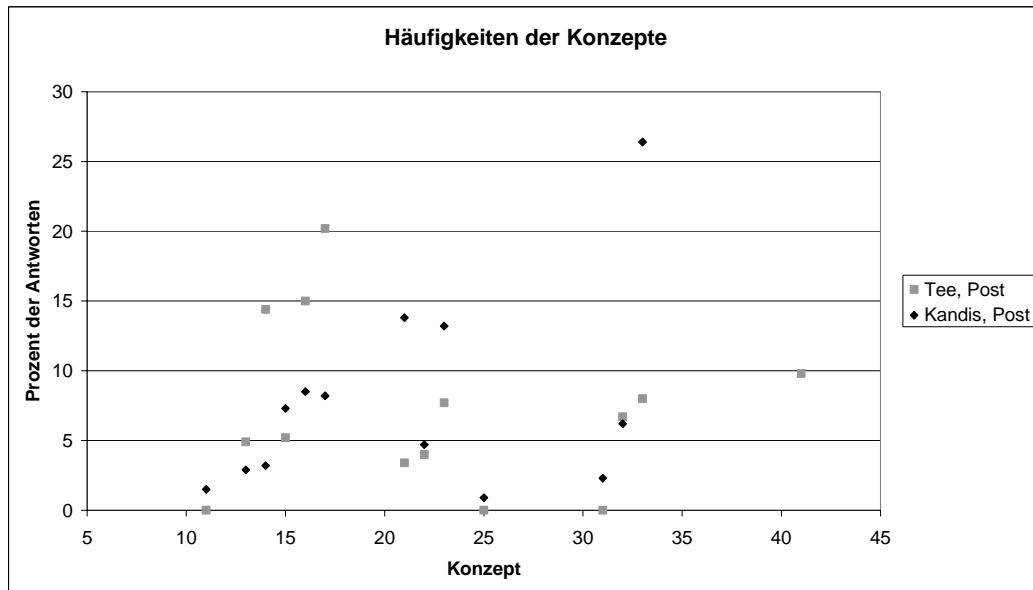


Abb. 6.14a und b: Vergleich der Konzepthäufigkeit zwischen der Tee und der Kandisaufgabe, a: Pretest b: Posttest, Quelldaten Anhang III.4

Der Vergleich der Ergebnisse der beiden Themen in Abb 6.14 a und b zeigt die Kontextabhängigkeit der Konzeptanwendung. Die größten Unterschiede gibt es in der Anwendung eines einfachen Teilchengedankens (kontinuierliche Körnigkeit: 12,7% beim Kandis gegenüber 1,5% beim Tee) und der adäquaten Deutung als Lösungsprozess auf der Stoffebene (30,8% beim Tee gegenüber 17,9% beim Kandis). Das *nonmaterial properties* Konzept taucht mit einem prozentualen Anteil von 18,8% und 16,4% in Kombination mit einer gegenständlichen Sicht für das Teebeispiel auf. Mit insgesamt 24,3% ist das *nonmaterial properties* Konzept auch noch im abschließenden Lernbegleitbogeneinsatz ein häufig auftauchendes Konzept, das bei vielen Schülern für diesen komplizierten Lösungsvorgang, dem unterrichtferneren Phänomen manifestiert ist. Die weitere Untersuchung in der Fallstudie (vgl. Kap. 6.5 Lernbegleitbogen II) zeigt, dass dieses Konzept ein Verständnis im Folgeunterricht erschweren kann, so dass sich die Forderung nach der Entwicklung neuer Schlüsselemente bekräftigt wird (vgl. Kap. 7). Wenn in unterschiedlichen Aufgabenkontexten deutliche Unterschiede in der Wahl der Konzepte auftreten, so lässt sich auch als Ziel formulieren, möglichst viele verschiedene Phänomene zu behandeln und vielfältige Anwendungsmöglichkeiten zu schaffen.

In den Postversionen steigt die Häufigkeit für die Benutzung von adäquaten Teilchenvorstellungen deutlich (von 0,9% auf 11,1%), es steigt aber auch die Zahl der Teilchenvorstellungen gemäß der Kategorie B in ungefähr gleichem Maße. (von 2,7% auf 15,1%). In der Aufgabe zum Teeaufguss wählten insgesamt 26,2% Antworten auf Teilchenebene. Die Nutzung der Teilchenebene liegt damit niedriger als in der Erststudie in Varel (41% Kap. B und C).

Detailergebnisse zum Thema Lösen von Kandis

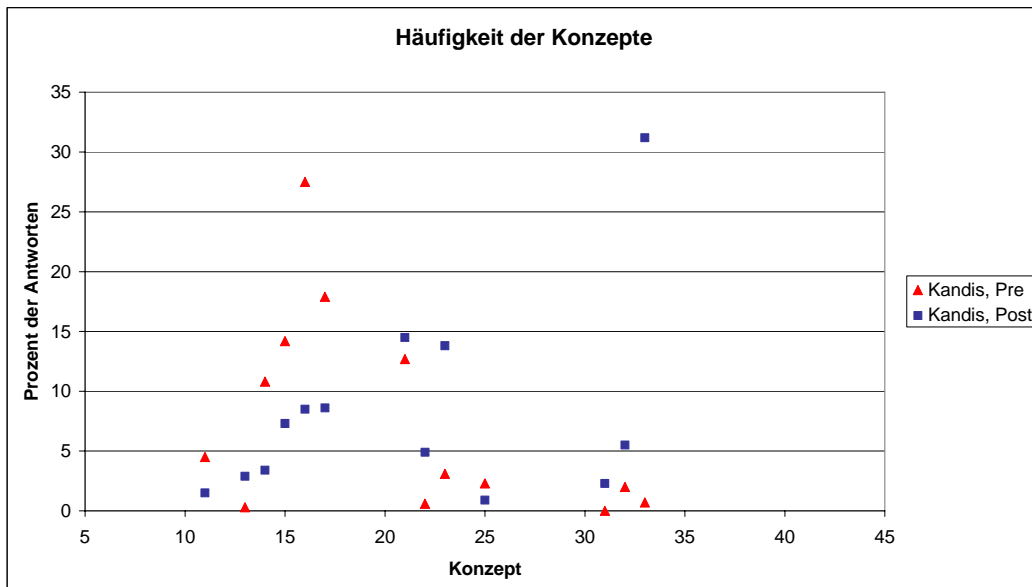


Abb. 6.15: Vergleich der Konzepthäufigkeiten Pre/Post bei der Kandisaufgabe, Quelldaten Anhang III.4

Auch für das Kandisbeispiel wurden in großer Zahl Antworten erhalten, die rein beschreibender Art sind, ebenso wie korrekte Antworten auf der Stoffebene. Im Vergleich zu den Ergebnissen der ersten Fallstudie nutzen hier mit einer Häufigkeit von 10,8% mehr Probanden für das Kandislösen ein nonmaterial properties Konzept (Preversion).

Auch die quantitative Auswertung der Daten ergibt deutlich häufiger Übergänge auf Konzepte unter Nutzung der Teilchenebene (Kategorien B und C) für die Aufgabe zum Süßen des Tees als für das Teekochen (vgl. Abb. 6.15).

- Im Gegensatz zum Antwortverhalten zum Teeaufguss verwenden bereits 19,1% der Probanden im Pre-Einsatz Teilchen zur Beschreibung und Erklärung des Phänomens (Teeaufguss 3,6% [12]). Darunter befinden sich allerdings nur 2,7%, die das adäquate Modell nutzen. Dieses Ergebnis deckt sich tendenziell mit den Ergebnissen der Erststudie.
- In der Postversion wendet der Großteil der Probanden die Teilchenebene (72,2%) an, darunter geben 36,7% fachlich adäquate Antworten (Code (32), (33), 33,2% wählen Mischkonzepte, den größten Anteil nehmen darunter das Konzept der kontinuierlichen Körnigkeit (Code (21) 14,5%) und das der Teilchen in Kontinuum (Code (23) 13,8%) ein. Mehr als zwei Drittel der Stichprobe greifen demnach das im Unterricht vermittelte Teilchenkonzept auf und versuchen, es in ihre Vorstellungen zu integrieren. Ca. ein Drittel verfährt dabei im Sinne einer *nicht übereinstimmenden Resonanz*, z.B. weil die ursprünglichen konzeptuellen Anteile mitgenutzt werden (synthetische Konzepte VOSNIADOUS).
- Die Kategorie der Übertragung von makroskopischen Eigenschaften auf die Modellwelt der Teilchen tritt auch in dieser Studie geringer auf als die anderen Unterkategorien (Code (22), 4,9% bei der Kandisaufgabe, 8,9% für beide Aufgabenkontexte).

Das Instrument erfasst auch in der großen Stichprobe jene konzeptuellen Anteile, die auch in der kleinen Stichprobe auftreten.

- Auch hier finden deutlichere Veränderungen der vorunterrichtlichen Vorstellungen und Konzepte zum Themenfeld Lösen von Kandis als zum Teeaufguss statt (vgl. Tabelle 6.39).
- Auch hier zeigt sich deutlich die Kontext- oder Phänomenabhängigkeit der Nutzung des Teilchen- oder Bausteinmodells.
- Wie in Kap. 6.3.1 gezeigt, enthalten die Vorstellungen in der Erststudie häufig das nonmaterial properties Konzept und eine Kombination der Konzepte aus nonmaterial properties und den gegenständlichen Argumentationen. Diese findet man auch hier, insbesondere für das Beispiel Teeaufguss.

Fachlich adäquate Antworten

In der Postversion geben insgesamt 35,7% für die Tee-Aufgaben und 45,3% für die Kandisaufgabe fachlich adäquate Antworten. NIESWANDT (2001) betont in der Analyse ihrer Studie die Schwierigkeiten, die Schüler beim Erklären von Mischungs- und Löslichkeitsphänomenen, in ihrer Studie gaben nur 17,3% fachlich korrekte Antworten. (vgl. NIESWANDT (2001), 46, *Vergleichswert für diese Ergebnisse ist (t3) ihrer Studie*). Für eine erstmalige Thematisierung des Teilchenkonzepts sind die gewonnenen Ergebnisse daher durchaus als zufrieden stellend zu beurteilen.

Fallauswahlen

Im Folgeschritt werden *Konzeptveränderungen* und *–stabilitäten* über Fallauswahlen quantitativ untersucht. Dabei werden unterschiedliche Kriterien herangezogen.

Kriterium: gleiche Konzeptkategorie in beiden Aufgabenkontexten

Ähnlich wie in der ersten Fallstudie erhält man auch hier nur kleine Gruppen, bei denen das in der Antwort verwendete Konzept unabhängig vom Aufgabenkontext korrespondiert. Die größte Übereinstimmung findet man bei der korrekten Nutzung des Stoffkonzepts in der Pre-Version für beide Fragestellungen ([21] von [56], 37,5%). Da sonst kaum Korrelationen zwischen den Antwortmustern der Schüler zwischen den beiden Aufgabenkontexten gefunden werden, kann festgestellt werden, dass der Kontext bzw. das Phänomen die Wahl der Erklärung bestimmt. Wird in Fall des Kandislösens eine Antwort gemäß der Kategorie C gegeben, kann im Fall Teekochens durchaus das alternative Konzept der nonmaterial properties vom selben Schüler akzeptiert bleiben. Auch NIESWANDT (2001) stellt fest, dass Schüler abhängig vom erfragten Phänomen ganz unterschiedliche Vorstellungen generieren: Wird in der einen Aufgabenstellung ein fachliches Konzept adäquat angewendet, so wird in der nächsten Aufgabe, in der dasselbe Konzept benötigt wird, nicht darauf zurückgegriffen. Kontextmerkmale scheinen also die Wahl eines heranzuziehenden Erklärungsmodells maßgeblich zu bestimmen. Dies spricht dafür, im Unterricht mit möglichst vielen, verschiedenen Beispielen unterschiedlicher Komplexität und Kontexte zu arbeiten und die fachlichen Modelle sowie die alternativen Konzepte zu diskutieren.

Kriterium: Konstanz vs. Veränderung

63,8% der Stichprobe veränderten für das Beispiel Teeaufguss das Konzept nicht (d.h. nicht, dass der Wortlaut der Antwort unverändert blieb), 23,8% gaben im Pre-Test adäquate Antworten gemäß dem Code 17 und behielten sie bei.

Im Kandisbogen war der Anteil an Veränderungen weit größer als im Aufgabenteil zum Teeaufguss, nur 36,3% bleiben konzeptuell bei ihrer Erstantwort.

Pre-Test	Post-Test Adäquate Antworten Kat. A oder C (Codes 17, 33)
„Falsche“ Antwort Tee	12,6%
„Falsche“ Antwort Kandis	30,8%

Tabelle 6.40: Veränderungen Pre-Post Teeaufguss

Die Änderungen zu adäquaten Konzepten liegen beim Kandisbeispiel höher: Die Übertragung auf ein kompliziertes Beispiel (vgl. Kap. 5.2) bereitet größere Schwierigkeiten als die Aufgabe mit mir Unterrichtsbezug.

Kriterium: Veränderung der Stoffebenensicht

Aufgabe	Pre-Post - Codes Codes	Adäquat Stoffebene (17)	Hybridkonzepte >20	Diskontinuum >30
Teeaufguss	17	65%	13,3%	19,8%
Kandis	17	42%	29,7%	25,4%

Tabelle 6.41: Konstanz vs. Veränderung der adäquaten Antwort der Stoffebene

Eine korrekte stoffliche Beschreibung zum Teeaufguss bleibt weitaus häufiger stabil als eine für den Kandiskontext. Stoffliche Beschreibungen nehmen aber immer jeweils auch in den Postversionen die größte Häufigkeit ein. 65% bzw. 42% stehen für eine gewisse *Stoffebentreue* bei den Probanden.

Kriterium: Nonmaterial Properties Konzept

In der ersten Fallstudie hat sich das Konzept der übertragbaren und flexiblen Eigenschaften als sehr stabil erwiesen, hier ergibt sich dargestellt nach Aufgabenkontext ein ähnliches Ergebnis:

Pre Teeaufguss	Davon Post-Test nonmaterial properties-Konzept	
nonmaterial properties Konzept (Code 14, 41) [114]	57,9%	
Pre Kandislösen	Davon Post-Test nonmaterial properties-Konzept	Davon Post-Test Kategorie C (Code 33)
nonmaterial properties Konzept (14, 41) [35]	18,2%	42,5%

Tabelle 6.42: Stabilität des Nonmaterial Properties Konzepts

Die Anzahl derer, die das Konzept für das Kandisbeispiel nutzen, ist auch in dieser Studie weitaus kleiner als der Anteil, der es für die Erläuterung des Teeaufgusses benutzt. Fast die Hälfte dieser Probanden verändert diese Sicht hin zum adäquaten Teilchenkonzept. Hier hat sich also gezeigt, dass die alternative Sicht besonders durch die Verbindung mit der Modellebene erreicht

6. Die empirische Untersuchung

und überarbeitet werden kann, was in diesem Aufgabenzusammenhang die Reorganisation des Wissens aus der Einheit bedeutet. Die Fallauswahlen zum Teeaufguss bestätigen dies nicht.

Kriterium: Weg zu den adäquaten Teilchenkonzepten

Betrachtet man als Ausgangspunkt der Fallauswahl die Postantworten für den Kontext *Teeaufguss*, gelangt der größte Teil der adäquaten Antworten für die Teilchenmodellebene von adäquaten Antworten auf der Stoffebene (44,4%). Die Analyse von Kreuztabellen zur Nutzung von Teilchenvorstellungen der Kategorie B im Pre- und Post-Test für die Kandisaufgabe gibt folgenden Aufschluss:

Pre-Test	Post-Test	Hybridkonzepte (Codes >20)	Adäquates Teilchenmodell Gemäß Code 33
Konzepte der Stoffebene (ohne Codes 15, 16) [213]		29,7% [63]	25,4% [54]
Hybridkonzepte Kategorie B [55]		47,4% [26]	41,7% [23]

Tabelle 6.43: Teilchenkonzepte beim Aufgabenteil Lösen von Kandis

In der Erststudie ist im Ergebnis offen geblieben, ob Teilchenhybridkonzepte so genannte *Stepping Stones* sein könnten oder nicht (vgl. Kap. 5.3). Daher sind diese Daten von besonderem Erkenntnisinteresse. Wie Tabelle 6.43 zeigt, geben sie allerdings auch keine Antwort. Bei Erhöhung der Stichprobengröße kann nur wiederholt werden, was auch in der Erststudie erkennbar ist. Probanden, die eingangs Mischkonzepte generieren, überarbeiten sie mit ähnlicher Häufigkeiten wie sie sie beibehalten ([23] zu [26]).

Der Großteil derer, die die Teilchenebene adäquat nutzen, nimmt den konzeptuellen Startpunkt auf der Stoffebene ([54] von insgesamt [119], vgl. Tabelle 6.43), was nicht für die Brücken- oder Hilfsfunktion der Hybridkonzepte spricht. Gegen eine Bevorzugung der stofflichen Sicht spricht aber wiederum, dass von Probanden dieser Kategorie in annähernd gleichem Maße in der Folge Hybridvorstellungen wie adäquate generiert werden ([63] zu [54] von [213]).

Dies bedeutet, dass Teilchenmischvorstellungen weder ausschließlich als Barrieren zur Akzeptanz des fachlichen Erklärungsmodells noch als „Sprungbrett“ angesehen werden können.

Inadäquate Mischkonzepte können, sie müssen aber nicht als Barrieren des Verstehens der Teilchenebene angesehen werden, wie der Verbleib etwa der Hälfte der Vertreter dieser Kategorie verdeutlicht ([26] von [55]).

Die Ergebnisse des Lernbegleitbogens aus dem Erprobungsdurchgang mit vergrößerter Stichprobe weisen deutliche Parallelen zu den Tendenzen der ersten Fallstudie auf: die Wirkung und die Funktion der Hybridkonzepte kann nicht *auf eine Weise* beantwortet werden.

Kriterium: Jahrgang (Alter), Lehrkräfte

Um Rückschlüsse zur Optimierung der didaktischen Strukturierung bzw. sich im Detail unterscheidenden Unterrichtselementen ziehen zu können, wurden Kreuztabellen über die Klassen und Lehrkräfte in Abhängigkeit von der Kategorie der Antworten und den Veränderungen der Antworten erstellt. Für die Gruppenunterscheide wurden χ^2 -Tests bestimmt. Das Alter, bzw. die Zugehörigkeit zum Jahrgang zeigt signifikanten Einfluss; für den Kontext Teeaufguss mit $\chi^2 = 19,37$ (df = 4); $p < .001$. Der Anteil der Schüler, die bereits im Pre-Test eine korrekte Antwort geben, ist im Jahrgang 9 höher als im Jahrgang 7 (29,6% im Vergleich zu 13,1%), obwohl beide Probandengruppen im Vorfeld keinen Chemieunterricht erhalten hatten. Zudem ist die Zahl der

6. Die empirische Untersuchung

Schüler, die ihre alternativen Antworten für diesen Aufgabenkontext nicht veränderten, mit 49,5% für den Jahrgang 7 höher als nur 35,5% für Probanden des Jahrgangs 9. In den Jahrgängen 7 liegt die Verwendung der Teilchenvorstellungen unter der in den Jahrgängen 9. Dieses Ergebnis steht wohl dafür, dass die Abstraktionsfähigkeit mit Modellen auch stark vom Alter determiniert ist. Im Set wurde über das Generieren von Teilchenvorstellungen in Bezug auf die gesamte Stichprobe [449], ebenfalls Probanden, die im Unterricht eine andere Einheit kennen gelernt haben) intensiv diskutiert.

	Jg. 7+8 [213]		Jg. 9 [236]	
	Teeaufguss	Kandislösen	Teeaufguss	Kandislösen
Hybridkonzepte Codes 20-30)	7,5 % [16]	29,1% [62]	16,5 % [39]	41,1 % [97]
Adäquate Teilchenmodelle (Codes 31-33)	8,9 % [17]	35,2% [75]	11 % [26]	24,2 % [57]
Fazit der Setarbeit:	Mit 16,4% insgesamt weniger Teilchenkonzepte als im Jg. 9 (Tee) aber: [Kat. C] / [Kat. B] = 1,19	Mit 67,9% großer Anteil von Teilchenkonzepten, mit Jg. 9 vergleichbar hohe Reproduktionsfähigkeit [Kat. C] / [Kat. B] = 1,21	Mit 27,5 % im Vgl. zu Jg. 7 mehr Teilchenkonzepte, aber [Kat. C] / [Kat. B] = 0,66	Mit 65,3% deutlich mehr Teilchenkonzepte als für Tee, aber [Kat. C] / [Kat. B] = 0,59

Tabelle 6.44: Vergleich der Anteile von Hybridkonzepten und adäquaten Teilchenkonzepten

Während jüngere Jahrgänge für das Beispiel Kandislösen mit einem Anteil von 35,2% das adäquate Teilchenmodellvorstellungen entwickeln, führen die Neuntklässler mit größerer Häufigkeit alternative Teilchenvorstellungen an; Auch hier kann vermutet werden, dass diese Schüler mit dem Unterrichtsangebot kreativer umgehen würden (Modelle nicht übereinstimmender Resonanz). Mit insgesamt 27,5% zeigen sie aber eine größere Anwendungsfähigkeit des Perspektivwechsels als die jüngeren Jahrgänge.

Darüber hinaus ergeben sich signifikante Korrelation für den Einfluss des Lehrers ($\chi^2 = 67,06$ (df = 28); $p < .001$ für die Aufgabe Teeaufguss, $\chi^2 = 95,88$ (df = 28); $p < .001$ für die Aufgabe Kandis). Der vom Lehrer gestaltete und akzentuierte Unterricht hatte unterschiedlichen starken Einfluss auf die Fähigkeit zur Veränderung der Antworten.

In einigen Klassen änderten nur 16% der Schüler ihre Antworten zum Teeaufguss nicht, bis hin zu 0% für den Kandis-Aufgabenkontext. In anderen Lerngruppen bleiben bis zu 71,4 % (Teeaufguss) bzw. 56% (Kandis) bei ihrer ursprünglichen Antwortversion.

Dieses Ergebnis führt dazu, dass im Sinne der symbiotischen Implementationsstrategie ein Austausch über die gewählten Unterrichtelemente stattfand. Über (potentiell) effektive Elemente konnte diskutiert werden und in der Folge konnten diese gemeinsam neu erprobt werden. Um die unterschiedlichen Ergebnisse in Bezug auf die Lehrkraft und die Unterrichtsorganisation interpretieren zu können, wurde ein kurzer Befragungsbogen eingesetzt, den alle Setteilnehmer ausfüllten (vgl. Anhang III.4). Eine der Lehrkräfte, dessen Lerngruppen-Ergebnisse sehr hohe Veränderungsraten aufwies und die einen hohen Anteil adäquater Teilchenkonzeptanwendungen enthielten, berichteten, dass die Lerngruppen über sehr viele verschiedene Aktivitäten im Um-

gang mit dem Teilchenmodell geschult wurde, z.B. eigene Schülerzeichnungen mit der „Superlupe“, Rollenspiele für die Teilchenbewegung bei Aggregatzustandsänderungen, Modellexperimente u.a.

Mit der Zweitstudie werden maßgeblich die Ergebnisse aus der qualitativen Fallstudie gestützt. Für die Hypothesen über die Funktion von Hybridvorstellungen kann kein eindeutiges Urteil gefällt werden. Für Folgeuntersuchungen steht nun ein operationalisierter Codierschlüssel zur Verfügung. Mit den Codierungen und der kurzen Lehrerbefragung steht ein Datensatz zur Verfügung, der potentiell mit den Ergebnissen anderer Begleituntersuchungen in Verbindung gebracht werden kann. Der Anhang IV enthält zudem Material, das die Handhabung des Lernbegleitbogen (häufige, mögliche Antworten, Zeile des Bogens, Kategorien von Vorstellungen etc) auch ohne wissenschaftliche Begleitung gut ermöglicht.

6.5. Die Einheit „Brände sind Verbrennungen“ - Fallstudie II

6.5.1. Der Ablauf der Einheit

Die Fallstudie II enthält die erste Erprobung der Unterrichtseinheit „Erwünschte Verbrennungen - unerwünschte Folgen“, in Zusammenarbeit mit einem Lehrer wurde eine Einheit entwickelt, die insgesamt über einen Zeitraum von 22 Stunden umgesetzt wurde. Wie üblich entfiel dabei ein Teil der Unterrichtszeit durch organisatorische bzw. fachunabhängige Inhalte, so dass einige Stunden verkürzt sind.

Der Problematisierung unerwünschter Produkte kommt anders als im Vorschlag (vgl. Kap. 5.4 und SCHMIDT *et al.* 2002) dargestellt, keine übergeordnete, d.h. die Einheit wie eine Klammer umspannende Funktion zu, sie wird erst im hinteren Teil der Einheit thematisiert. Der Titel der Einheit ist deshalb *Brände sind Verbrennungen*, in kleineren Teilzyklen werden unterschiedliche Verbrennungen und Reaktionen ohne Flammenbildung abgehandelt. Ein wesentlicher übernommener Gedankengang ist die Einführung des Perspektivwechsels von der Stoffebene zur Atomebene über die Herleitung und Darstellung eines Atomkreislaufs bzw. Reaktionszyklus. Dabei wählte der Lehrer vor der Entwicklung des Kohlenstoffkreislaufs ein weniger komplexes Beispiel: die Wiedergewinnung „verbrannter Kohle“ durch die Reaktion von Magnesium. Damit ist ein zentrales Prinzip für den Perspektivenwechsel und damit für die Herangehensweise bei der Umsetzung der Zielstrukturierung beibehalten worden, wenngleich sich für die Art der Kontextualisierung einige Veränderungen ergeben haben.

Die Begegnung in **Stunde 1 und 2** erfolgte über das Sammeln von Assoziationen über Brände (Medial: Zeitungsartikel: Fettbrand und Gasexplosion). Die Neugierphase wurde mit dem Entzünden verschiedener Brennstoffe auf dem Schulhof sowie dem Löschen dieser Brände initiiert.

Anhand dieser originären Eindrücke wurden in den **Stunden 2 und 3** als erste Erarbeitung Kennzeichen von Verbrennungen zusammengestellt. In dieser Phase wurde stark mit vorunterrichtlichen Vorstellungen gearbeitet. So wurde beispielsweise ein nächster Untersuchungsauftrag entwickelt, denn es wurde über den Verbleib des Brennstoffs diskutiert. Einige Schüler gingen, wie prognostiziert, vom Verdunsten oder Verdampfen desselben aus, andere von seiner Zerstörung. Sodann wurde eine Apparatur entwickelt, mit der der Brennstoff aufgefangen werden konnte, zugleich aber auch die Produkte. Auf diese Weise wurden Wasser und Kohlenstoffdioxid isoliert und nachgewiesen und die Schülervorstellung experimentell widerlegt. Ergebnis war die Einführung des Begriffs der chemischen Reaktion.

Es folgte in den Stunden **4, 5, und 6** zwanglos die Erarbeitung der Flammenbildung, diese war als ein Merkmal genannt worden und durch Lehrersteuerung nun vertiefend zu behandeln. Auch hier nahm die Reflexion vorunterrichtlicher Vorstellungen großen Raum ein.

In Schülerversuchen (*ASSELBORN et al. 2001, 76 V2*) wurden verschiedene Aspekte in mehreren kleinen Versuchen an der Kerze erarbeitet. Eine Teilgruppe führte abermals die Untersuchung der Produkte mit der vormals entwickelten Apparatur durch und wies somit nochmals die Reaktionsprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser nach. Die Flamme wurde als Reaktionsort für brennbare Gase mit Luftbestandteilen beschrieben und gedeutet. Nach dieser und der Folgestunde trat aufgrund eines Praktikums und der Weihnachtsferien eine lange Pause ein und beim Wiedereinstieg in Stunde 6 „Wie entstehen bei der Verbrennung von Holz Flammen?“ wurde Vorwissen reaktiviert und von den Schülern gefolgert: Es müssen auch hier brennbare Gase entstehen. Abermals wurde ein Versuchsverfahren erarbeitet, das Erhitzen von Holz und die Prüfung der möglicherweise entweichenden Gase auf Brennbarkeit. Dies wurde im Schülerversuch durchgeführt (Holzverkohlung, Holzgasentzündung). In der **7. Stunde** wurden die Prozessabläufe am Beispiel des Holzgasautos systematisch beschrieben und um energetische Aspekte bereichert. In der **8. Stunde** wurde der Frage nach der Herkunft der Energie (Licht, Wärme) nachgegangen, auch hier wurden Schülervorstellungen gesammelt und das Konzept der inneren Energie eingeführt und vergleichend reflektiert. In einer weiteren Teilstunde, die aus organisatorischen Gründen im Datensatz als Stunde 8a aufgeführt wird, werden Energieschema und Brenn- und Heizwerte thematisiert und eine komplexe Anwendung am Beispiel eines Kohlekraftwerks behandelt: „Welche Energieumwandlungen finden statt?“

In der **9. Stunde** wurde anhand von Beispielen geübt, eine chemische Reaktion von anderen Vorgängen zu unterscheiden (Anhang II: AB „Chemische Reaktion oder nicht?“) und damit aus dem Kontext heraus verallgemeinert. Des Weiteren wurde in eine neue Teilsequenz überführt, die fachsystematisch die Bildung von Metalloxiden beinhaltet, die allerdings hervorstechend kontextualisiert werden konnte durch die in Kap. 5 vorgeschlagene Fragestellung: „Brennt eigentlich eine Glühlampe?“ Dabei wurden im Folgenden nicht nur Wolframlampen, sondern Kohlefadlampen und Blitzlichtlampen aufgeführt und dann zwanglos zum Element Eisen überführt, woran weitere Aspekte, teilweise entlang der historischen Erkenntnisgewinnung, erarbeitet wurden (**Stunde 10**). Eine vom Lehrer vorgelesene, kurze Passage aus *Onkel Wolfram* (*Oliver Sachs 2002, 49f*) unterstrich die Besonderheiten des Wolframs. Gegen Ende der **10. Stunde** lenkte der Lehrer dann mit der Frage „Kann man auch das günstigere Eisen verwenden?“ zum nächsten Schülerversuch in **Stunde 11** über, bei dem Eisenwolle mit Hilfe von Blockbatterien zur Reaktion gebracht wurde. Dann wurde Eisenwolle ebenfalls an der Brennerflamme zur Reaktion gebracht, um eine Äquivalenz in der Aktivierung zu erarbeiten. In **Stunde 12** wurde nach klassisch problemorientiertem Unterrichtsverfahren Eisenwolle an der Balkenwaage entzündet und eine Vorabfrage über die Schülererwartungen durchgeführt. Hierbei tauchen die im Kategoriensystem breit erfassten Vorstellungen und Begründungen auf. Bei der Auswertung der Versuchsbeobachtungen fand neben der Reflektion der massenbezogenen Vorstellungen ganz ungeplant auch noch eine Diskussion über die Vorstellungen zu exothermen und endothermen Vorgängen auf, der videographierte Unterricht bietet hier eine sehr interessante Datenquelle für die Untersuchung über die Energetik chemischer Reaktionen.

In den **Stunden 13 und 14** wurden der Kolbenproberversuch zur Bestimmung der reagierenden Komponente der Luft und zur Bestimmung des Sauerstoffanteils in der Luft durchgeführt sowie der historisch angelehnte „Boyle-Versuch“: die Reaktion von Eisen und Sauerstoff im geschlossenen Rundkolben und die Demonstration der Massenkonstanz bzw. des Zischens und der Massenzunahme bei Öffnen des Kolbens. Dies ist ein methodischer Teil des vorgeschlagenen Schlüsselements, wobei hier Eisen und nicht Kohlenstoff verwendet wurde. In **Stunde 15** wurden die Ergebnisse zusammengefasst und gefestigt. Die Eigenschaften der Gase Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid wurden anschließend vergleichend besprochen und dann der Stoff Kohlenstoffdioxid in den Vordergrund gestellt, womit ein weiterer Abschnitt der Einheit begonnen wur-

de. Bei der Sammlung von Vorwissen zum Thema Kohlenstoffdioxid war erstaunlicherweise festzustellen, dass kein Schüler die Klimarelevanz in diesem Zusammenhang erwähnenswert fand, es blieb bei einer fachsystemischen Steckbriefaufzählung. Kohlenstoffdioxid als Löschmittel wurde von Schülerseite als Anwendung genannt. Auf die ökologische und gesellschaftliche Relevanz ging die Lehrkraft dann kurz ein. Abschließend wurde - affektiv ansprechend - eine Zigarette und eine Kohlekomprette in reinem Sauerstoff verbrannt; zwei Versuche, bei denen Kohlenstoffdioxid (u.a.) entsteht. An dieser Stelle lagen die Osterferien. In **Stunde 16** wurde bewusst vorerst nicht daran angeknüpft, dies sollte später geschehen. Eine weitere Lampe, das früher handelsübliche Blitzlicht, wurde präsentiert. *Magnesium reagiert mit Sauerstoff* wurde erarbeitet, der Versuch wurde quantitativ durchgeführt, was nochmals die Massenkonstanz demonstrierte und nunmehr nach mehreren Beispielen die Formulierung der Gesetzmäßigkeit zuließ. Der Lehrer präsentierte ebenfalls eine Kohlenfadenlampe, und geklärte, dass eine Reaktion mit eindringender Luft zur Bildung von Kohlenstoffdioxid führen würde. Kohlenstoff wurde nochmals in Sauerstoff verglüht, diesmal wurde vom Lehrer die Eigenschaft, Flammen zu ersticken, akzentuiert (Feuerlöscher). Im Folgenden leitete der Lehrer zur nächsten Problemstellung über: Autos werden möglichst leicht gebaut, dazu diene u.a. Magnesium. Ein brennendes Auto könne mit einem konventionellen Kohlenstoffdioxid-Löscher behandelt werden, für den Labormaßstab sähe der Löschversuch so aus, dass ein brennender Magnesiumspan in Kohlenstoffdioxid gehalten würde. Hiermit wurde in die nächste Teilsequenz überführt, die die Erarbeitung der Atomidee und des Atomkreislaufs zum Ziel hatte. Die **Stunden 17- 19** beinhalteten die Deutung der Reaktion von Magnesium in Kohlenstoffdioxid, wobei der Versuch nochmals in einer Quarzrohrvariante wiederholt wurde und verschiedene Medien (Arbeitsblätter, Zitate und Schemata) Einsatz fanden. Wiederkehrend wurden die Schüler veranlasst, Lernangebote mit ihren Vorstellungen in Verbindung zu bringen. Stunde 19 sicherte die Ergebnisse mit Hilfe des Arbeitsblattes, das die Prozesse auf der Stoff- und der Teilchenebene beschreibt und deutet (vgl. Anhang I). Die Atomhypothese ist somit auf der Basis von Schülerideen eingeführt und angewendet worden. In **Stunde 20** wurde verallgemeinernd auf Elemente und Verbindungen eingegangen und 20 wichtige Elemente benannt.

Die noch ausstehende Kontextualisierung um das Kohlenstoffdioxid und unerwünschte Folgen der Verbrennung begann mit **Stunde 20**, vorbereitend beschäftigten sich die Schüler in einer Hausaufgabe (*ASSELBORN et al. 2001, 293 Aufgabe 1 und 2*) mit dem Kohlenstoffkreislauf. Besprochen wurde die Thematik in **Stunde 21**, anhand von drei Aufgaben (siehe Kopie einer Schüler-Aufzeichnung „Mappe M.“, Anhang II.2) wurden Eingriffe in den Kreislauf in Gruppen bearbeitet und im gemeinsamen Unterrichtsgespräch reflektiert. Diese Stunde diente in dieser Gesamtanlage der Einheit als Anwendung und Vertiefung der Atomidee. In der **22. Stunde** wurde im Unterrichtsgespräch ein klassisches Schema zur Einteilung der Stoffe entwickelt und nur verbal in Hinblick auf den Bau der Stoffe kurz gedeutet. Damit fand die Einheit ihren Abschluss, denn hier wurde die Kupfersulfidsynthese im qualitativen Versuch durchgeführt, um diesen anschließend für die Formelbestimmung zu nutzen. Ein Abschluss der vorherigen Einheit im Sinne einer Rückschau fand nicht statt.

Die folgenden Schemata stellen den Unterrichtsgang dar:

Lernzyklus I: Feuer und Flamme

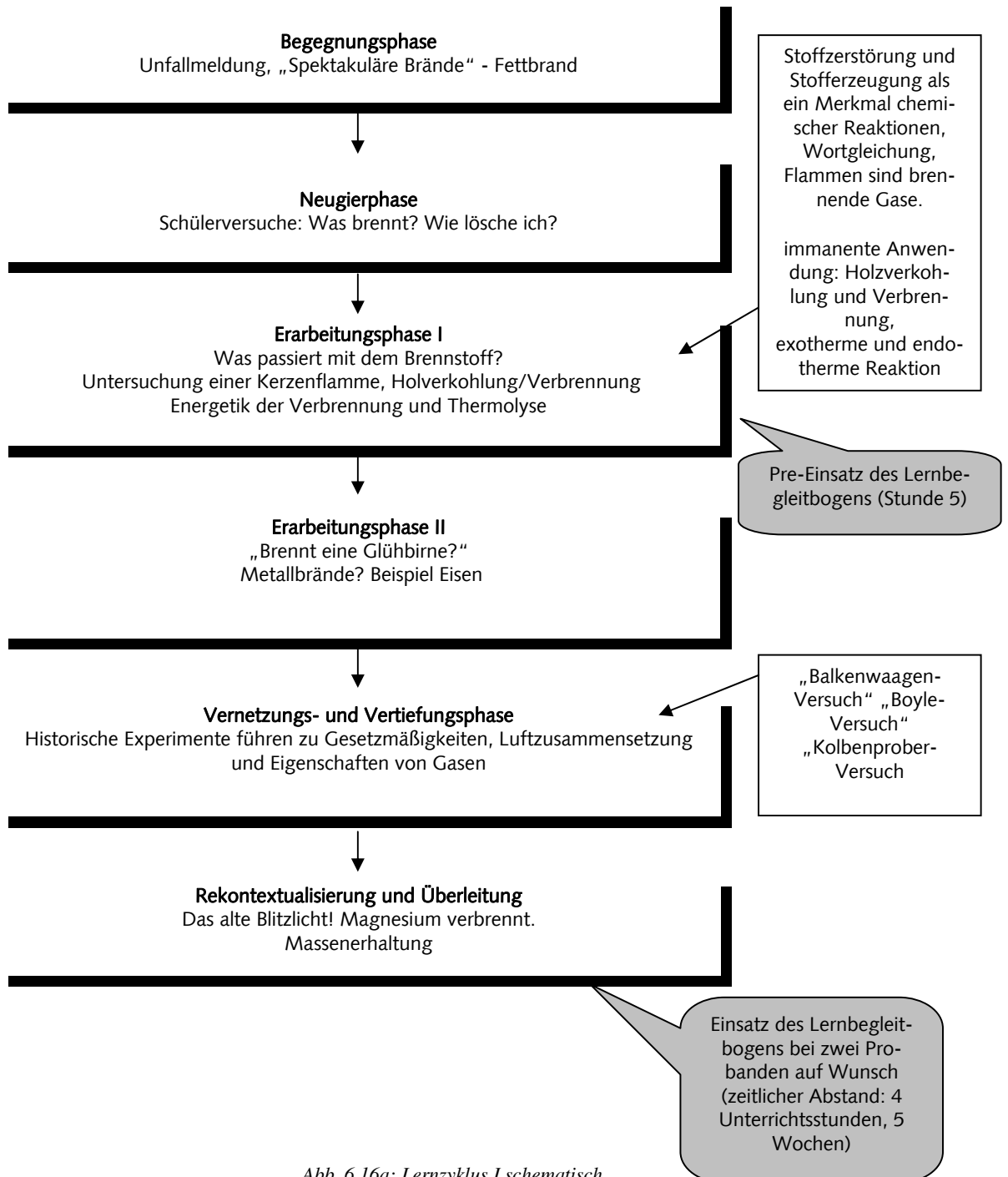


Abb. 6.16a: Lernzyklus I schematisch

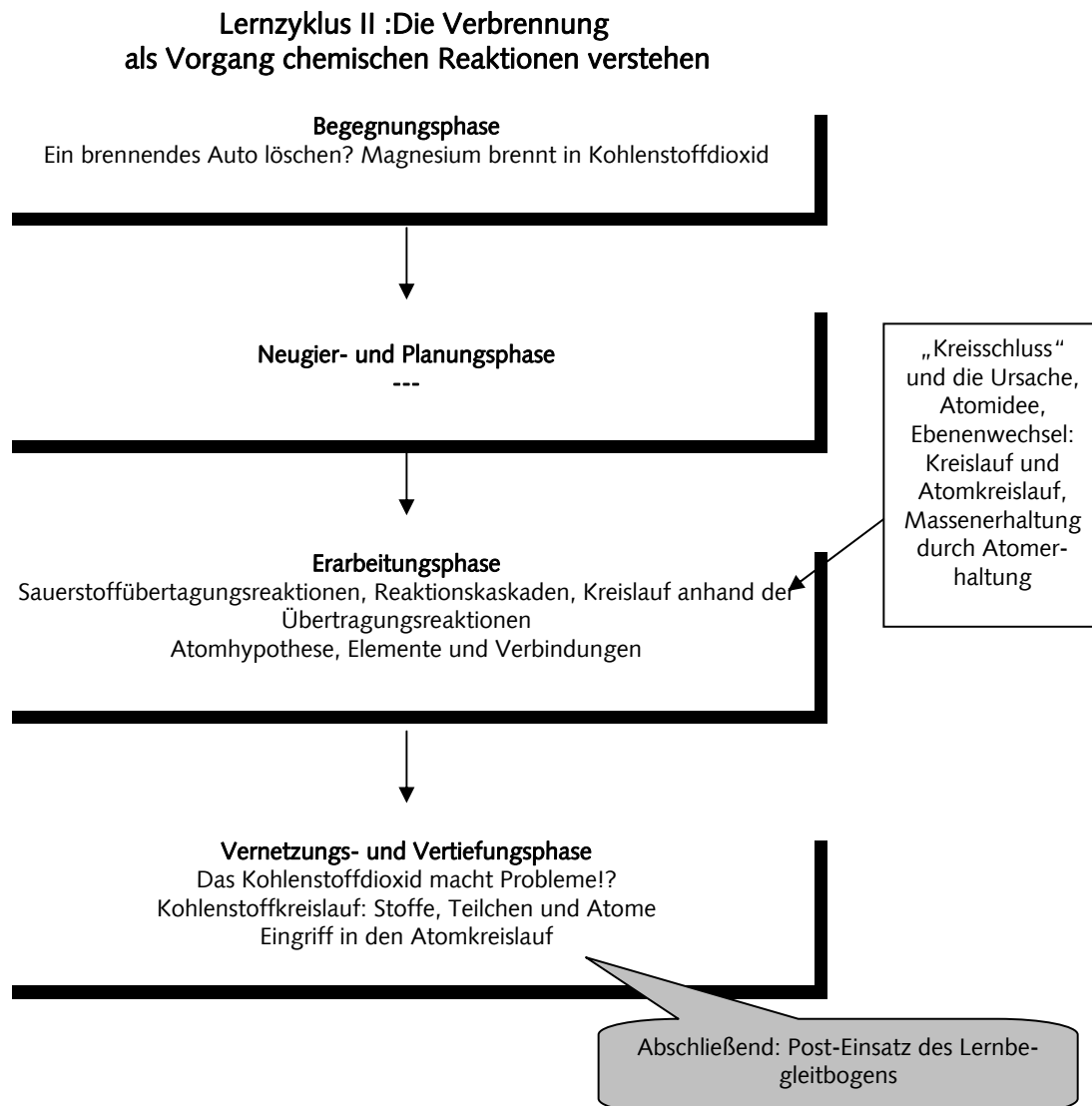


Abb. 6.16b: Lernzyklus II schematisch

6.5.2. Organisatorisches

Im Fokus dieser Fallstudie II stehen die *Erfassung von Schülervorstellungen und Konzepten* zum Phänomen der Verbrennung und verallgemeinernd zu chemischen Reaktionen und ihrer *Veränderungen* durch den durchgeführten Unterricht. Hierbei muss sich das Kategoriensystem II bewähren und es kann optimiert werden. In der Folge wird auch das Auffinden von Zusammenhängen zwischen den Vorkoster-Ergebnissen und diesen Ergebnissen wichtig sein. Der Lernbegleitbogen erfasst Vorstellungen zu Themen, die unterschiedlich stark mit dem Unterrichtsgeschehen verbunden sind (vgl. Kap. 5.2).

Einsatzzeitpunkte des Lernbegleitbogens

Gegenüber der Vorkoster-Erhebungsvariante gab es einige Veränderungen: Da der Abschluss der Einheit *Der Vorster in Not ...* nahtlos in die Begegnungsphase zum Kontext *Brände sind Verbrennungen* überging, bot sich in Absprache mit dem Fachlehrer ein sofortiger Einsatz des Lernbegleitbogens für die Pre-Version nicht an, denn die Schüler hatten gerade erst den Vorkoster-Fragebogen ausgefüllt. Die freiwillige Beteiligungsbereitschaft der Teilnehmer sollte nicht überstrapaziert werden. Somit erfasst der Bogen keine *vorunterrichtlichen* Vorstellungen, sondern ggf. bereits unterrichtsdeterminierte. Im Hinblick auf den *Perspektivwechsel* sind die Vorstellungen unbeeinflusst, da der Unterricht hierauf nicht eingegangen ist und die Videographie auch belegen kann, dass von Schülerseite diese Ebene nicht beschritten wurde.

Zu Beginn der Einheit wurde phänomenologisch experimentell gearbeitet, dieser thematische Abschnitt sollte durch den Einsatz des Bogens nicht durchbrochen werden. Im Anschluss an diesen Abschnitt (in Stunde 5) fand der Ersteinsatz statt, zum Abschluss der Einheit wurde dann die Postversion erhoben.

Der Bogen wurde zwei Schülerinnen auf Wunsch zwischenzeitlich ein weiteres Mal ausgegeben (Im Anschluss an den Lernzyklus I, siehe Abb. 6.16a), nur für diese beiden liegen drei Erhebungen vor. Mit der beginnenden Auswertung des ersten Lernbegleitbogens wurde die eher verhaltene Resonanz beim zweiten Einsatz deutlich. Vom individuellen Wunsch nach Überarbeitung des Lernbegleitbogens wurde aus erhebungspraktischen Gründen dort auch abgesehen. In dieser Fallstudie wurde deshalb *für* den zusätzlichen, individuell geforderten Einsatz entschieden.

Die Bearbeitungszeit des Einsatzes in der Großgruppe war unterschiedlich, viele benötigten zwischen 20 und 25 Minuten.

Zur Lerngruppe muss gesagt werden, dass zum Halbjahreswechsel ein Schüler in die Klasse neu aufgenommen wurde; er nahm an der Befragung nicht teil, da nur eine Post-Erhebung möglich gewesen wäre, das Angebot der Teilnahme lehnte er ab. Während beim Tee-Lernbegleitbogen 24 Probanden teilnahmen, aber nur 22 dauerhaft aktiv, liegt die Größe nun dennoch bei 25, da die Schülerin, die aus organisatorischen Gründen in der ersten Studie ausfiel (vgl. Kap. 6.3), nun beteiligt ist.

Der Darstellung der Ergebnisse geht auch in diesem Fall die verfahrensmäßige Beschreibung der Auswertung voraus.

6.5.3. Die Codes des Lernbegleitbogens

Der Lernbegleitbogen

Der Lernbegleitbogen enthält, wie in Kap. 5.2 dargestellt, drei Aufgabenbereiche. In den Aufgaben 1.1 und 1.2 handelt es sich um kontextnahe Aufgaben (später mit Reproduktionsanteil): das Erfassen von Assoziationen und der Beurteilung der Begriffsassoziation *Verbrennung und Vernichtung*. Die Aufgabe 1.3 erfordert mit der Frage nach der *Wiedergewinnung zerstörter Stoffe* Transfer.

Die Aufgaben 2.1 und 2.2 erfassen die Kompetenz, einen neuen Zusammenhang mit Hilfe der bisherigen Kenntnisse über chemische Reaktionen und Verbrennungen als chemische Reaktionen zu beurteilen. Es geht um das Anwenden des *Erhaltungsprinzips* chemischer Reaktionen im Kontext der *Müllverbrennung*.

Die Aufgaben 3.1 und 3.2 stellen ein lebensweltliches Anwendungsbeispiel dar für die Unterscheidung von Aggregatzustandsänderung und chemischer Reaktion, allerdings an einem unbekanntem Beispiel (Beispiel *Feuerzeuggas*) und mit neuen Aspekten der Bedingungen (Druckveränderung).

Wie beim Tee-Lernbegleitbogen wird im ersten Codierdurchgang induktiv kodiert, anschließend werden in der Explikation und Strukturierung mit den Konzepten des Kategoriensystems eine Passung gesucht bzw. Unterschiede und Erweiterungen herausgestellt (siehe Kap 6.3.3).

Grundlage der Explikation und Strukturierung ist das Kategoriensystem aus Kapitel 3.2.2 und das Basiskonzept aus Kapitel 4.

Der Anhang IV.1 listet die Codes auf. Die Codierung wird intersubjektiv validiert. Wie in Kapitel 6.2. bereits genannt, werden uneindeutige Einzelaussagen als solche codiert. Bei Uneindeutigkeit können die Antworten im Sinne einer weiten Kontextführung (vgl. MAYRING 1999) mit Codes zu anderen Aufgaben verglichen werden, was die Interpretation erleichtern kann. Zudem wird die Häufung uneindeutiger Codes auch zur Überarbeitung des Erhebungsinstruments führen.

Jeder der Aufgabenkontexte kann phänomenologisch in bezug auf die Verbrennungen (Kat. A, V), auf verallgemeinernder Ebene chemischer Reaktionen (Kat. A, cR) oder auf der Modellebene (Kat. C) bearbeitet werden. Auch hier gibt es eine Hybridebene für Mischkonzepte (Kat. B).

Basiskonzeptcodes und Kategoriale Zuordnungen

In Kap. 6.3.2 wurde der Lernbegleitbogen mit den sinngemäß erwarteten Antworten auf Grundlage des Basiskonzepts beantwortet. Antworten, die den Basiskonzeptanteilen entsprechen, werden als adäquates Konzept mit dem jeweiligen Anwendungszusatz z.B. „adäquat chemische Reaktion: Produktentstehung“ bezeichnet. Wie auch für die Vorkoster-Codierung wird auch hier eine Zuordnung zu den Aufgaben und zum Durchgang vorgenommen (Bsp: 1.3d1 Ausgangsstoffzerstörung endgültig), der Anhang IV.1 listet zuerst die fachlich adäquaten Codes auf.

Induktive Codes

Hier werden in Abhängigkeit vom Aufgabenkontext Codes gewonnen, die Inhalte abdecken, die das Kategoriensystem nicht abdeckt (vgl. Fallstudie I, Kap. 6.3).

Das Aggregieren der Antworten gleichen Kontexts

Antworten zu den Aufgaben 1.1 und 1.2 werden zusammengefasst codiert, d.h. Antworten werden hier aggregiert. Ebenso wird mit Aufgaben 2.1 und 2.2 sowie mit 3.1 und 3.2 verfahren. Da die Antworten miteinander in Beziehung stehen, ist dies nahe liegend und im Sinne MAYRING-scher Inhaltsanalyse *ein* explizierender Schritt.

Quantitative Auswertung innerhalb der Probandengruppe

Wie bei der ersten Lernbegleitbogenanalyse listet der Anhang IV.1 (Codeliste) die Codes bereits der Übersicht halber in der kategorial geordneten Form auf. Häufigkeiten werden durch Gruppenbildungen untersucht, wobei wie bei der Analyse des ersten Lernbegleitbogens die Einzelcodes und Unterkategorien zu größeren kategorialen Gruppen zusammengefasst werden, obwohl sie en Detail für Vorstellungen unterschiedlicher Art stehen. Dies ist für die Suche nach Gruppentendenzen notwendig.

6.5.4. Ergebnisdarstellung

Die Darstellung gliedert sich derart, dass zuerst aufgezeigt wird, welche Vorstellungen die Schüler zu den Themen des Bogens generierten, gliedert in die Aufgabenkomplexe 1, 2 und 3, anschließend werden jeweils quantitative Veränderungen zusammengestellt und abschließend wird erläutert, welche Verläufe sich qualitativ zeigen bzw. welche ausblieben. Dadurch, dass bereits Unterricht zur Phänomenologie von Verbrennungen oder Bränden sowie eine stoffliche Einführung des Konzepts chemischer Reaktionen stattgefunden hat, ist der Ersteinsatz der Bögen nicht als *unterrichtsunabhängige* Pre-Variante einzuordnen.

6. Die empirische Untersuchung

6.5.4.1 Vorstellungen zu „Verbrennung = Vernichtung“ und zur Umkehrbarkeit

Welche Vorstellungen tauchen auf? Wie beurteilen die Probanden die Assoziation von Verbrennung und Vernichtung oder Zerstörung (Aufgaben 1.1. und 1.2) ?

Als relevanter Unterrichtsinhalt muss berücksichtigt werden, dass chemische Reaktionen auf der Stoffebene definiert wurden als Prozess der Ausgangsstoffzerstörung und neuer Stoffentstehung. Die Begriffe *Edukt* und *Produkt* wurden eingeführt. Insoweit hat die Aufgabe eine reproduktive Anforderung. Wichtig ist, dass der Vernichtungs- oder Zerstörungsgedanke in diesem Verständnis auf Stoffebene betrachtet und reflektiert wird. Insoweit müssten vorrangig Beschreibungen gemäß Kategorie A (cR) auftauchen. Diese liegen in der Häufigkeit auch vor, allerdings treten auch solche der Kategorie A (V) auf. Einige Schüler beziehen sich in ihrer Beurteilung allerdings trotz des Unterrichts – dem Alltagssprachgebrauch entsprechend - auf den Gegenstandsbereich.

Der Lernbegleitbogen erfasst prognostizierte Vorstellungen und Konzepte- sowohl die unterrichtlich gelegten als auch die alternativen.

Adäquate Antworten auf der Stoffebene:

⇒ Codierungen
Anhang IV.2

Mit großem Anteil sind Antworten erfasst, die einen Produkt-Edukt-Zusammenhang herstellen (beurteilend zustimmend oder ablehnend oder überlegend), der Unterricht zeigt erwünschte Wirkungen: Verbrennungen werden mit dem Konzept chemischer Reaktionen abstrahierend in Verbindung gebracht.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.2d1	Herkunft
Codes: Adäquat S-Ebene Produkt- Edukt und Code: Adäquat Umwandlung und Code: Ausgangsstoff zerstört	1.1 Weil ein Stoff zerstört wird und ein neuer entsteht . 1.2 Nein da ja ein neuer Stoff entsteht .	P10
	1.1 Weil bei der Verbrennung ein Stoff zerstört wird und ein neuer entsteht (z.B. Gas/ oder aus Holz wird Asche und Gas) 1.2 Eigentlich ist es ja schon sinnvoll, weil der alte Stoff wirklich zerstört wird und ein neuer entsteht .	P24
	1.1 Weil bei der Verbrennung der Ausgangsstoff „zerstört“ wird und ein neuer Stoff entsteht . 1.2 Ja, weil eben gerade das passiert. Der Stoff wird zerstört .	P1

Sowie:

Code: Umwandlung	1.1 Weil der Grundstoff verloren geht und ein neuer Stoff entsteht . 1.2 Nein. Ich halte diesen Begriff nicht für sinnvoll, weil bei einer Verbrennung nichts zerstört wird, sondern umgewandelt	P5
	1.1 Da ein Stoff in einen anderen "zerstört" wird. 1.2 Nein, da es eigentlich nur eine Umwandlung bzw, Verbindung mit Sauerstoff (o. anderen Stoff) und Kohlenstoff (meistens (Holz, Kohle,...)) zu CO ₂ ist bzw. (anderer Stoff)	P13
	1.1 Weil bei einer Verbrennung z.B. von Holz wird das Holz zu Asche. Viele denken das Holz wird vernichtet. Aber es wird nur umgewandelt . 1.2 Ich weiß nicht, da aus dem alten Stoff ja ein neuer wird .	P20
	1.1 Weil bei der Verbrennung das Produkt zerstört wird und ein neuer Stoff, der Ausgangsstoff , entsteht. 1.2 In gewisser Hinsicht schon: 1 Stoff verschwindet, 1 neuer entsteht . Doch eigentlich wird der Stoff ja nur umgewandelt . Also ja und nein.	P14
	1.1 Weil durch Verbrennung ein Stoff zerstört und ein neuer Stoff gewonnen wird . 1.2 Eher weniger, weil der Stoff ja nur „umgewandelt“ wird und nicht vollkommen weg ist .	P22

Tabelle 6.45: Beispiele adäquater Antworten

P14 hat vermutlich die Fachbegriffe verwechselt, das wesentliche Konzept, das „Wechseln von Stoff zu Stoff“, ist aber richtig und akzeptiert worden. Interessant daran ist, dass ein großer Teil der Schüler die Bezeichnung *Umwandlung* verwendet, obwohl dieser im Unterricht nicht explizit gelegt wurde. Vorkenntnisse oder das Heranziehen von Schulbuchinformationen können hierfür die Begründung sein.

In Kap. 3.2.2 sowie Kap. 5.4 wurde auf die Schwierigkeit dieser Begriffswahl eingegangen, weiter unten sollen einige Beispiel verdeutlichen, dass „*Umwandeln*“ auch die Vorstellung vom Verwandeln i. S. einer Eigenschaftsänderung bei Konstanz der Stoffe bedeuten kann. Bei der Entwicklung der Einheiten muss man demnach berücksichtigen, dass der Begriff von Schülerseite aus eine große Attraktivität besitzt und dass man diese Tatsache konstruktiv nutzen muss und z.B. mit Schülerzitate eine Begriffsreflexion ermöglicht. Von der Verwendung dieses Begriffs wurde bisher abgesehen. Wenn aber von Schülerseite aus der Begriff eingebracht wird, muss ein an Schülervorstellungen orientierter Unterricht dies selbstverständlich berücksichtigen.

In diesem Zusammenhang sei nochmals festgestellt, dass der Vernichtungs- oder Zerstörungsgedanke für die Gegenstandsebene völlig adäquat ist und entsprechend codiert wird. P23 stellt als Begründung fest - auch wenn er sich gegen die Begriffsverwendung äußert-:

„Nein, weil die Stoffe nur umgewandelt werden. Wenn ein Haus brennt, kann man das schon Zerstörung nennen.“ (1.2, P23) (Code Adäquat Unterscheidung Gegenstand Stoff)

Diese Feststellung zeugt von reflektiertem Umgang mit Konzept und Sprache bereits zu Beginn der Erfassung. Die gegenständliche Sicht allein zeigt allerdings, dass ein Bezug zu den fachlichen Inhalten der Stoffebene nicht angestellt wird, ob er von den Probanden geleistet werden kann, kann mit Hilfe des Lernbegleitbogens zu dieser Aufgabe nicht ausgesagt werden. Die Kon-

6. Die empirische Untersuchung

zepte zu den Antworten der Aufgabe 2 lassen aber Rückschlüsse zu, denn sie zielen konkret auf das Basiskonzept chemischer Reaktionen ab. An dieser Stelle seien die gegenständlichen Aussagen demnach erst einmal für sich gestellt.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.2d1	Herkunft
Code: gegenständlich Zerstörung	1.1 Wenn etwas brennt wird es vernichtet oder zerstört. 1.2 Ja denn es ist ja auch so wenn was brennt wird es vernichtet oder zerstört	P17
	1.1 Wenn etwas brennt, wird etwas zerstört oder vernichtet. 1.2 Ja, denn dadurch wird etwas zerstört..	P19
Code: gegenständlich Zerstörung Code: Ausgangsstoff zerstört	1.1 Durch Flammen werden Stoffe meistens vernichtet und es entsteht das Wort. 1.2 Ich denke schon, weil ja etwas zerstört wird.	P9
	1.1 Wenn etwas verbrennt (z.B. Häuser, Holz,...) wird etwas zerstört , ich denke mal das das deswegen häufig gleichgesetzt wird. 1.2 Ja, weil bei einer Verbrennung ein Stoff verbrannt wird.	P25

Tabelle 6.46: Beispiele einer gegenständlichen Argumentation

Während P18 und 19 vollständig auf der Ebene der Gegenstände, Dinge argumentieren, werden in den beiden Antworten P9 und P25 Stoffe und Dinge gleichgesetzt, was fachlich in der Folge unangebracht ist; der Produktbezug wird bisher nicht hergestellt.

Neben den adäquaten Antworten kommen nun im Vorfeld der alternativen Konzepte solche, die interessanterweise einen Übergang zum Fachkonzept darstellen könnten. Auch hier sind die Entwicklungen von besonderem Interesse. Zwei Probanden stellen die Theorie chemischer Reaktion noch nicht als allgemeingültig auch für alle Verbrennung heraus.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.2d1	Herkunft
Code: Gegenständlich und Code: teilweise Produkt-Edukt, nicht allgemein	1.1 Weil das Feuer Dinge verbrennt und sie dadurch zerstört. 1.2 Eigentlich schon, Feuer kann aber auch nützlich sein und durch zerstören eines Stoffes einen Neuen erzeugen.	P2
	1.1 Wenn etwas brennt, geht es kaputt ; es wird zerstört und vernichtet. 1.2 Ja, denn bei einer Verbrennung wird etwas vernichtet. Jedoch entsteht oftmals auch ein neuer Stoff.	P3

Tabelle 6.47: Beispiele der Kategorie A gegenständlich

Hier wird auf Gegenstandsebene formuliert, wohl aber - als Möglichkeit, nicht allgemein - in Betracht gezogen, die Erzeugung neuer Stoffe zu erwirken. Hier wird deutlich, dass noch nicht in einem „allgemeinen stofflichen Schema“ argumentiert wird.

Nicht falsch, aber nicht weiter hinsichtlich eines *Konzept chemischer Reaktionen* zu interpretieren sind kurze Äußerungen, die sich nur auf die Eduktseite der Stoffebene beziehen:

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.2d1	Herkunft
Code: Ausgangsstoff zerstört	1.1 Wenn etwas verbrannt wird, wurde der Ausgangsstoff zerstört . Daher wird es gleichgesetzt. 1.2 Ja, warum nicht, die Leute die die Wörter so benutzen werden sich dabei schon etwas gedacht haben.	P19
	1.1 Bei einer Verbrennung wird der Ausgangsstoff zerstört bzw. vernichtet. Deshalb kann man es gleichsetzen. 1.2 -	P11
	1.1 Weil durch die „Verbrennung“ ein Stoff zerstört wird . 1.2 Nein weil die Verbrennung etwas ganz anderes ist.	P12:

Tabelle 6.48: weitere Beispiele der Kategorie A

Hier wird die Folgeaufgabe nicht genutzt, die Begriffe aufgrund des erlernten Fachkonzepts zu relativieren, der letzte Satz des Probanden ist unverständlich.

⇒ Codierungen
Anhang IV.2

Beispiele zu kategorial belegten alternativen Konzepten

Wie im Kategoriensystem Kap. 3.2.2 beschrieben, sind *Asche und Reste* selbsterklärend: dies beinhaltet die Phänomenologie (Unterkategorie A5), als ggf. auch die quantitative, materielle Ebene (Unterkategorie A1):

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.2d1	Herkunft
Code: Reste/Asche/übrig	1.1 Weil die Flammen den Ausgangsstoff zerstören . Z.B.: Das Holz wird abgebrannt und was zurück bleibt ist Asche . 1.2 Ja, es wird ja der Ausgangsstoff zerstört oder vernichtet.	P7
	1.1 Weil durch eine Verbrennung ein Stoff zerstört wird und ein neuer Stoff (Produkt) entsteht. 1.2 Nein, weil der Stoff ja eigentlich noch erhalten ist oder zumindest ein Rest.	P16

Tabelle 6.49: weitere Beispiele der Kategorie A, alternativ

Es treten Vorstellungen auf, in denen Produkte im Sinne von Resten, von Asche, von Rückständen inbegriffen sind. Da hierin Edukte und Produkte nicht systematisch in Beziehung stehen, sind sie wohl eher phänomenologische Beschreibungen: mit *Zurückbleiben* ist ein isoliertes Ergebnis der Verbrennung beschrieben, nicht ein Produkt einer beispielhaften chemischen Reaktion. Im zweiten Fall wird formuliert, dass der Stoff noch erhalten ist, aber im Sinne eines Rests. Auch hierin liegt keine stoffliche Systematik (der Klassifizierung von Stoffen). Die Antworten sind Beispiele für Konzepte der Unterkategorie A5: *fehlende Systematik*.

Neben diesen Vorstellungen tauchen auch solche auf, die Eigenschaftsmodifizierungen im Sinne der Unterkategorie A4 verwenden:

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.1d1, 1.2d1	Herkunft
Code: Umwandlung als Eigenschaftsänderung	Wahrscheinlich, weil viele Stoffe beim Verbrennen umgewandelt werden und dann, wie z.B. Holz, zerstört aussehen weil es dann schwarz ist.	P4
Code: Umwandlung als Eigenschaftsänderung	1.2 - Weil eine Substanz meist in eine andere Substanz umgewandelt wird. Von ihrem Ursprungssehen in einem anderen. 1.2 I Ich halte sie für sinnvoll. Bsp.: Streichholz heile à zerstört	P8
	Weil ein Stoff nach der Verbrennung nicht mehr in seiner ursprünglichen Form vorhanden ist. 1.2 I Nein, weil es keine Zerstörung, sondern eine Umwandlung ist.	P21

Tabelle 6.50: weitere Beispiele der Kategorie A ,alternativ

Hier wird in der Beschreibung auf veränderte Eigenschaften wie Form und Aussehen eingegangen, interessant ist, dass ebenso wie in den Ergebnissen der ersten Studie manchmal die Gegenstände Ausgangspunkt der Betrachtung sind: beispielsweise argumentiert P4 (redigierte Aussage): Die Stoffe, die beim Verbrennen umgewandelt werden, „sehen dann zerstört aus“. (→ Eigenschaftsänderung des Stoffes), „das Holz ist anschließend schwarzes Holz“ (Eigenschaftsänderung des Gegenstands).

Insgesamt haben mehr Vorstellungen bereits ein Reaktionsverständnis zur konzeptuellen Grundlage als solche, die den Kategorien alternativer Konzepte zuzuordnen wären. Es stellt sich die Frage, inwieweit die Anwendung dessen möglich ist, wenn eine Kontextualisierung vorgenommen: wird auch anhand des Beispiels Müllverbrennung das Prinzip chemischer Reaktionen angewendet? Vorab sollen jedoch die Antworten zur dritten Teilaufgabe kurz dargestellt werden.

⇒ Codierungen Anhang IV.2

Vorstellungen zur Reversibilität

Die Prinzipien der Rückgewinnung und Umkehr chemischer Reaktionen sind einerseits anspruchsvoll, da sie die Abstraktion von der jeweiligen konkreten Stoffportion oder dem Gegenstand erfordern und andererseits sind sie fern der lebensweltlichen Erfahrung. Den schulischen Vorkenntnissen entsprechend sollten hier zu Beginn wohl vor allem aufgrund fehlender Erfahrungen aus dem Alltag verneinende Antworten auftreten. Dies ist auch der Fall. Die Begründungen sind nicht nur gemäß der Unterkategorie A6 codiert, sondern mit Bezugnahme auf andere Konzeptkategorien, wie im Anhang IV.2 erläutert ist:

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 1.3	Herkunft
Code: A6 ohne Begründung	Nein, das kann ich mir nicht vorstellen.	P7
Code: A6 Unumkehrbarkeit endgültig	Nein! Wenn etwas verbrannt ist, ist es eben zerstört!	P3
	Nein. Wenn einmal etwas total zerstört ist kann man es nicht wieder in den Ausgangsstoff zurück wandeln.	P1
	Nein da der Ausgangsstoff vernichtet ist.	P10
Code: Zerstörung= Irreversible Eigenschaftsänderung	Nein ich denke nicht, denn der Stoff wird ja verändert z.b. er ändert Farbe, aussehen, Größe, Geruch und das kann man nicht rückgängig machen.	P17
Code: gegenständlich Zerstörung Code: Reste/Asche/übrig	Ich denke nicht, der Stoff ist verbrannt, also zerstört. Ein Blatt Papier z.B. wird schwarz und zerfällt, Holz ebenfalls. Übrig bleibt nur Asche.	P2
Code: Gase!	Ich denke nicht, da sehr viele Gase an die Luft abgegeben wird. Außerdem wird der Stoff zerstört.	P11
	Nein, da bestimmte Stoffe in Gase „umgewandelt“ worden sind und dann vernichtet wurden.	P22

Tabelle 6.51: weitere Beispiele der Kategorie A6 mit Gründen

Für P3 ist die Verbrennung selbsterklärend für Zerstörung („eben“), die Vernichtung der Ausgangsstoffe ist ebenso selbstverständlich endgültig (P1, P10), neben der Konzeptkategorie A6 für *Irreversibilität* wird hier auch das Konzept der Kategorie A1 Vernichtung zu nichts/weniger tangiert. „Übrig bleibt nur Asche“ (P2) Mehrfach taucht hier auch hier auf, dass die Stoffe nicht zurückverwandelt werden können. (P1), die Antworten zu anderen Aufgabenteilen lassen dann im Sinne weiter Kontextführung darauf schließen, ob hier die Kategorie A4 für Eigenschaftsänderungen zugrunde liegt.

Ebenso taucht als konkreter Grund auf, dass der Gasverlust ein Rückgängigmachen gar nicht erlaube (P11, 22), denkbar ist, dass er für eine gegenständlich-phänomenologische Sicht steht, aus der – vor dem Hintergrund der Vorkenntnisse der Schüler völlig verständlicherweise - keine Systematik hervorgeht. Dies ist ein neues Beispiel für eine Facette der Kategorie A5: keine systematische Prozessbetrachtung, der durch die induktive Codierweise erkannt wurde.

In allen Fällen ist demnach die Entwicklung dahingehend von Interesse, ob die Deutungsebene der Atome genutzt wird, bzw. ihre Anwendbarkeit hier erkannt wird.

6.5.4.2 Vorstellungen im Aufgabenkontext Müllverbrennung

In Gegensatz zur ersten Aufgabe tauchen hier vorrangig alltagsorientierte Antworten auf, es ist ein viel geringerer Fachbezug erkennbar. Dieses Ergebnis deckt sich mit bekannten Ergebnissen über die geringe Anwendungskompetenz von Wissen. Das Spektrum der Antworten ist vielfältig.

Adäquate Antworten auf der Stoffebene:

⇒ Codierungen
Anhang IV.2

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 2.1d1, 2.2d2	Herkunft
Code: Adäquat Erhaltung S-Ebene, Code: adäquat Erhaltung materiell	2.1 In den Verbrennungsanlagen wird der Müll (Papier/Kunststoff) zum oxidieren gebracht wobei sich im Kunststoff der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff zu CO₂ verbindet und auch giftige Nebenprodukte frei werden. 2.2 Die chemischen Elemente woraus der Müll besteht bleiben nach der Verbrennung erhalten und können sich sogar zu giftigen Stoffen verbinden.	P13
	2.1 Der Müll selbst verschwindet zwar optisch, aber es entstehen Verbrennungsprodukte , vor allem Gase, die sehr schädlich sind und nicht einfach entsorgt werden können. 2.2 Auch bei der Verbrennung bleiben die giftigen Bestandteile des Mülls in Form von Gasen über.	P15
	2.1 Weil der Ausgangsstoff zwar zerstört wird, aber das Produkt erhalten bleibt, dass genau so viel Müll ist. 2.2 Der Ausgangsstoff kann nicht so zerstört werden, dass kein Produkt mehr da ist.	P16
Code: Umwandlung	2.1 I Beim verbrennen wird ein Stoff zwar zerstört, aber nur in der Hinsicht das es in nicht mehr gibt. Dafür entsteht jedoch ein neuer Stoff. Solche Stoffe sind meistens sehr giftig, z.B. Gase. 2.2 Müll verschwindet nicht – er wird umgewandelt (nicht sichtbar, oder will nicht gesehen werden)	P14
	2.1 Der Müll wird teils recycled oder verbrannt, in kleinere Stoffe „umgewandelt“ , auf einen Haufen gefahren und über Jahre gelagert. 2.2 Müll ist nach einer Verbrennung nicht weg, sondern er wird nur in andere Stoffe „verwandelt“.	P22

Tabelle 6.52: Beispiele adäquater Antworten

In diesen Antworten spiegelt sich ein klares Verständnis des stofflichen Konzepts chemischer Reaktionen wider. Aufgrund der ausgebliebenen klassischen Vortest-Erhebung kann nicht eindeutig belegt werden, dass sich hierbei allein um einen unterrichtsgeleiteten Erkenntnisfortschritt handelt. Es zeigt sich aber, dass die Vorstellungen in übereinstimmender Resonanz zu den Unterrichtsinhalten stehen, was *für* die Thematisierung von Verbrennungen zur Einführung chemischer Reaktionen spricht: Ein auf naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten basierendes Argumentieren in lebensweltlichen Zusammenhängen ist ein wesentliches Bildungsziel nach dem Scientific Literacy Verständnis (vgl. z.B. *Kerncurriculum Chemie, 2007*).

6. Die empirische Untersuchung

⇒ Codierungen
Anhang IV.2

Beispiele zu kategorial belegten alternativen Konzepten

Die meisten Pre-Testantworten sind als allgemeine, teils diffuse Statements ohne Bezug auf Unterrichtsinhalte und Fachkonzepte anzusehen. Zuweilen ist die in der Aufgabe gestellte Problemstellung nur wenig aufgegriffen oder erkannt worden.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 2.1d1, 2.2d2	Herkunft
Code: allgemeine Hinweise	Es gibt zwar viele Verbrennungsanlagen, allerdings werfen einige Leute Sachen weg , die man noch gebrauchen kann. Mit diesem unnötigen „Müll“ werden die Anlagen dann überfüllt. 2.2 Ich finde die Aussage ist ein wenig zweideutig und kann daher falsch verstanden werden. Mein Vorschlag: „Es ist nicht alles Müll, was wir wegwerfen.“	P25
Code: allgemein mehr Müll	2.1 Der Müll wird ja nicht wirklich entsorgt. Müllhalden stapeln sich immer höher...	P2

Tabelle 6.53: Beispiele Antworten mit wenig Fachbezug

Diese und viele weitere Antworten bieten keine Grundlage für die Codierung nach dem Basis-konzept- Stoffe –Teilchen (die diesbzgl. relevanten Codes beginnen mit dem Wort „allgemein“, s.o.). Sollten sich hier keine Änderungen im weiteren Testeinsatz ergeben, müssen erfassungsmethodische Schlussfolgerungen gezogen werden.

Eine vergleichbar große Probandengruppe formuliert Antworten, die die Stoffebene tangieren, diese Antworten legen mit dem Entstehen von Gasen und Reststoffen ein Verständnis dar, das dem Schema von Eduktzerstörung - Produktentstehung im Sinne des Fachkonzepts zwar folgt. Unterschiedlich klar ist jedoch der quantitative Zusammenhang: Ist die Masse von Produkten im Vergleich zu der der Edukte unverändert?

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 2.1d1, 2.2d2	Herkunft
Code: Reste, Asche, übrig	2.1 ... und beim Verbrennen bleibt Asche übrig und der Rauch verpestet die Luft. 2.2 Auf den ersten Blick habe ich nicht so ganz verstanden. Man könnte es mit kurzen Texten und Bildern erläutern oder wie hier in einer Klammer darunter. Man könnte auch schreiben "Müll kann man nicht entfernen"! Oder "Müll verschwindet nicht"!	P2
	2.1 Es gibt immer wenn man etwas verbrennt Reststoffe übrig. 2.2 Ich würde sagen das besser passen würde Müll kann man nicht loswerden. Wir haben nunmal ein Müllproblem und es wird immer größer. Wenn man den Müll verbrennt bleibt ein Reststoff vom Müll übrig, das lässt sich nicht ändern.	P5
	2.1 Der Müll kann nicht von der Natur selbst entsorgt werden und in den Verbrennungsanlagen bleiben ja auch Reste erhalten , die wieder neu aufbereitet werden. Also verschwindet der Müll ja nie ganz.	P24

6. Die empirische Untersuchung

	2.1 Selbst wenn man Müll verbrennt bleibt ja Asche über. 2.2 Ich finde die Aussage ein wenig schwachsinnig bzw. unverständlich. Ich denke „verschwinden lassen“ wäre passender.	P9
	2.1 Man kann nicht alle Produkte des Mülls vernichten. Es bleiben immer Stoffe über .	P11
	2.1 Es entsteht ja trotzdem ein neuer Stoff. Sei es Asche. oder sonstiges. Es bleibt immer etwas übrig . 2.2 Man könnte sagen: Müll ist unzerstörbar	P3
	Weil es immer ein Endstoff gibt. Bei der Verbrennung bleibt Asche. D.h. dass dieser Stoff auch irgendwie entsorgt werden muss.	P21

Tabelle 6.54: Beispiele für Antworten

Neben den allgemeinen Ausführungen sind mit *Resten, mit Asche und Gasen* immer Produkte angesprochen. Mit dem Übrigbleiben wir allerdings meistens das Konzept vom *Verschwinden* dessen, was *nicht Rest* ist, suggeriert (vgl. Kategorie A1). Die erfassten Vorstellungen sind ausbaufähig unter Zuhilfenahme der im Lauf des Unterrichts zu erwerbenden Konzepte.

Eine unsystematische Antwortkategorie (A5) ist die, die pauschal von Giftstoffen als Produkte ausgeht und damit keine weiteren systemischen Überlegungen anstellt: Es wird zwar neuen Stoffen gesprochen, aber nicht im systematischen und v.a. auch hier nicht im quantitativen Sinne.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 2.1d1, 2.2d2	Herkunft
Code: Giftige Stoffe	2.1 Die Müllverbrennung setzt giftige Gase frei, die dann in die Atmosphäre aufsteigen. So ist immer noch etwas übrig geblieben. 2.2 Müll wird es immer geben. Wenn man Mülldeponien errichtet, dann ist der Haufen auch irgendwann voll und es wird Erde darauf gefahren. Die Giftstoffe gelangen dann ins Grundwasser und können wiederum eine Seuche auslösen.	P7
	2.1 Das schon, aber durch die Verbrennung gelangen giftige Gase in die Umwelt, zerstören Bäume, Tiere, die Ozonschicht, etc.	P1
	2.1 Müllberge auf Deponien bleiben für lange Zeit und bei Müllverbrennungsanlagen entstehen Schadstoffe .	P23
	2.1 Bei der Verbrennung entstehen bestimmt giftige/schmutzige Gase , die in unsere Atmosphäre gelangen.	P19

Tabelle 6.55: weitere Beispiele für Antworten

Die Nennung der Produkte scheint eher als Erfahrungswissens denn als die Anwendung eines systematischen Reaktionsverständnisses zu sein. Der Kern der Aufgabenstellung ist auf diese Weise nicht getroffen. Hier ist interessant, ob aus dieser Perspektive mehr systematisches Konzeptverständnis entwickelt wird.

6. Die empirische Untersuchung

6.5.4.3 Vorstellungen zu Vorgängen am Feuerzeug

Der Aufgabenkontext 3 müsste aufgrund des vorangegangenen Unterrichts adäquate Beantwortungen hervorrufen, sofern vorunterrichtliche Vorstellungen dazu keine Barrierefunktion darstellen.

Der Großteil der Probanden liefert hier die adäquate Vorstellung der Unterscheidung zwischen Gasausstrom und Verdampfen, das der Einfachheit halber mit dem Verdunsten gleichgesetzt wird, denn es geht hierbei im Wesentlichen um das konzeptuelle Verständnis der Stoffhaltung und nicht um die fachsprachliche Korrektheit.

⇒ Codierungen Anhang IV.2

Adäquate Antworten auf der Stoffebene:

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 3.1, 3.2	Herkunft
Code: adäquat Druck- Aggr.zustand	3.1 Das brennbare Gas im Feuerzeug wird meistens unter hohem Druck in eine Flüssigkeit verwandelt . Wenn aber wieder normaler Druck von aussen kommt, wird es wieder zu einem Gas .	P6
Code: adäquate Unterscheidung	3.2 Wenn man das Gas ausströmen lässt dann bleibt es erhalten und verteilt sich in vorhandenem Raum . Wenn man es aber verbrennt, entstehen andere Gase die sich in der Luft verteilen (z.B. Kohlenstoffdioxid). Diese Gase sind nicht mehr brennbar. Wenn der Raum in dem sich das Gas aus dem Feuerzeug verteilt nicht groß genug ist und auch nur ein Funken da ist kann es explodieren.	
	3.1 Die Flüssigkeit verdunstet . 3.2 Wenn man es ausströmen lässt verteilt sich das Gas im Raum. Wenn man es entzündet verbrennt das Gas und wird in einen anderen Stoff umgewandelt .	P12
	3.1 Wahrscheinlich ändert sich bei Druckabfall der Aggregatzustand der Flüssigkeit zu gasförmig. 3.2I Lässt man das Gas ausströmen, passiert ja nichts . Lässt man jedoch ein Fünkchen sprühen, fängt das hoch entflammare Gas an zu brennen .	P14

Tabelle 6.56a: Beispiele für adäquate Antworten

An der Antwort P6, die völlig korrekt ist, erkennt man, dass der Begriff „verwandeln“ hier für einen Prozess benutzt wird, der keine chemische Reaktion ist. Begriffe, die auf „wandeln“ basieren, sind also intersubjektiv unterschiedlich belegt: „umwandeln“ wird von P12 für die chemische Reaktion benutzt.

Viele Schüler weisen der Luft eine falsche Rolle zu, sie argumentieren mit dem Verdampfen bzw. Verdunsten, dies aber unter Einfluss der Luft. Dies wurde explizit kodiert, wobei dies nicht als falsch angesehen wurde, da hierfür der Interpretationshintergrund fehlt.

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 3.1, 3.2	Herkunft
Code: adäquat verdunsten, aber Rolle der Luft Code: adäquate Unterscheidung	3.1 Das Gas verdunstet, sobald es an die Luft kommt. 3.2 Gelangt es durch Ausströmen an die Luft, verdunstet es und verteilt sich. Entzündet man es, verbrennt es.	P2
Code: Atome!	3.1 Ich denke, dass sich die Flüssigkeit mit Stoffen aus der Luft vermischt und so gasförmig wird. 3.2 Die Atome aus der Flüssigkeit vermischen sich mit den Atomen aus der Luft und wird so gasförmig. Beim entzünden findet eine chemische Reaktion statt. Das Gas wird verbrannt. Es entstehen Wärme und ein neues Gas. Wenn man das Gas so ausströmen lässt wird es nicht zerstört und verteilt sich im zur Verfügung stehenden Raum.	P11
Code: adäquat verdunsten, aber Rolle der Luft Code: Flamme als Erscheinung	3.1 Das Gas verdunstet, sobald es an die Luft gerät. 3.2 Wenn das Gas einfach nur ausströmt brennt ja nichts, ansonsten entsteht eine Flamme.	P9
	3.1 Vielleicht siedet es sofort bei Kontakt mit der Luft. 3.2 Bei dem einen ist eine Flamme zu sehen bei dem anderen nicht.	P10
Code: nc	3.1 Es sublimiert bei dem Kontakt mit Sauerstoff. 3.2 einfach ausströmen lassen: das ist verdammt stumpf. Ausserdem soll das Gas nicht verschwendet werden. Entzünden und verbrennen: MAN NUTZT DAS GAS SINNVOLL!	P21

Tabelle 6.56b: Beispiele für adäquate Antworten

Eine *aktive* Rolle der Luft wäre dann (bei P9, 10, P21) konzeptuell dem Kategoriensystem I (KS I), Kategorie A3 zuzuordnen (vgl. 3.3.1). Auch der Fachbegriff *sublimieren* ist falsch, der Vorgang der Aggregatzustandsänderung aber soweit korrekt. Es wird rein phänomenologisch, nicht kausal argumentiert.

Die Antworten könnten allerdings teilweise auch systemisch gemeint sein, d.h. dass mit „verdunsten an der Luft“ „unter normalen Bedingungen, wie an der Luft“ gemeint sein (z.B. denkbar bei P2, P11).

⇒ Codierungen
Anhang IV.2

Beispiele zu kategorial belegten alternativen Konzepten

Typisch sind Erklärungen, die sich Konzepten des Kategoriensystem I und II, Kategorie A5 zuordnen lassen. Dazu gehören zum einen die oben genannten Zitate, die die Flamme als Phänomen an sich ins Zentrum rücken (KS I und II, Kategorie A5), dieses Antwortverhalten taucht oft auf. Zwei weitere Konzeptkategorien werden benutzt:

Codes der Kategorie	Beispiele aus den Aufgaben 3.1, 3.2	Herkunft
Code: Wärmequelle	3.1 Irgendwie muss die Flüssigkeit erwärmt werden , damit sie ihren Aggregatzustand ändern kann und zum Gas wird. 3.2 Wenn nur das Gas ausströmt entsteht keine Flamme , wenn man den Feuerstein entzündet schon.	P25

6. Die empirische Untersuchung

Code: falsch chem. Reaktion	3.1 Ich denke das Gas reagiert mit der Luft und aus dem flüssigen wird Gas . Dieses verteilt sich im Raum. 3.2I Das Feuerzeuggas brennt erst wenn ein Funke es entzündet. Es kann immer ausströmen und es entzündet sich nicht erst wenn es durch einen Funken entzündet wird.	P20
-----------------------------	--	-----

Table 6.57: weitere Beispiele

Auch die Antwort „Im Inneren des Feuerzeugs herrschen andere Temperaturen, wo das Gas in einer kalten Umgebung flüssig bleibt“ (P22) wird mit dem gleichen Code wie bei P25 belegt, da in beiden Varianten exakt, wie STAVY beschrieb, eine diskrete Kraftquelle (die in diesem Fall für die notwendige Temperatur sorgt) kausal eingebunden wird (Kategorie A3). Diesem Konzept wurde bisher wenig Barrierenfunktion bei der Konzeptentwicklung zugewiesen, diese Prognose kann hieran verfolgt werden.

Die Überinterpretation von Vorgängen im Sinne chemischer Reaktionen (vgl. KS I, A6) findet sich bei einigen Probanden. Interessant ist, dass mit der fehlenden Kompetenz zu unterscheiden eine gegenständliche Sicht, wie sie für Konzepte dieser Kategorie typisch ist, insgesamt einhergeht.

Wichtig ist bei dieser Probandenanalyse nicht nur, die Entwicklung zu verfolgen, sondern auch die Analyse aus dem Lernbegleitbogen 1 mit dieser in Beziehung zu setzen.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des Ersteinsatzes des Lernbegleitbogens, dass die erfassten Vorstellungen und Konzepte ein breites Spektrum aufweisen. Aufgrund der konkreten Unterrichtsvoraussetzungen sind die Ergebnisse des Ersteinsatz besonders interessant: der gewählte Einstieg in das Thema *chemische Reaktion* über das Phänomen Verbrennungen zeigt, dass das Fachkonzept auf die Beschreibung der Verbrennung und die Stellungnahme zum Begriff *Vernichtung* angewendet werden können. Neben den adäquaten Antworten tauchen auch die für diese Aufgabenstellung typischen Vorstellungen, die kategorial beschrieben sind (vgl. Kap 3.3.2), auf. In der Kontextualisierung zum Thema *Müll* treten die fachlich adäquaten Antworten gegenüber den alternativen in den Hintergrund. Hier finden sich Vorstellungen, die konzeptuell erwartungsgemäß waren, dahingehend, dass der Test eigentlich vor Beginn der Einheit eingesetzt werden kann. Das Kategoriensystem hat sich als geeignet erwiesen, es werden weniger induktive Codes benötigt als in der ersten Fallstudie, es gibt weniger gar nicht codierbare Antworten. Unerwartet viele Antworten treffen in Aufgabe 2 allerdings den Kern der Aufgabenstellung nicht und beinhalten allgemeine Hinweise. Die Frage, ob die Aufgabe ihre Intention verfehlt, lässt sich nach dem Folgeinsatz abschätzen. Allerdings veranschaulicht das Ergebnis, was aus Lernerfolgsmessungen (vgl. z.B. STEINHOFF 2002, NIESWANDT 2001) belegt wird: die Anwendung bzw. -sfähigkeit von Wissen ist eine weitaus anspruchsvollere Kompetenz als die Nutzung desselben innerhalb der Zusammenhänge, die auch für die Lernsituation galten.

Die Unterscheidung der chemischen Reaktion von der Aggregatzustandsänderung gelingt vielen, wenngleich die ursächlichen Vorstellungen zum Verdampfen oft alternativ sind. Sie sind die bereits im Lernbegleitbogen der ersten Fallstudie aufgetreten und nutzen oft die Konzepte A5 *gegenständliche, phänomenologische*, hier v.a. die *unsystematische Sicht* (KS I, vgl. Kap. 3.3.1) Mit Blick auf die Analyse von Entwicklungen gilt das besondere Interesse folgenden Aspekten:

a) Zu welchen Ergebnissen kommt die vergleichende Analyse der Entwicklungen für die Themenkomplexe Aufgabe 1 und Aufgabe 2, (Konzeptentwicklung und Anwendungskompetenz)?

b) Welche Ergebnisse hat der Vergleich der Auswertung des ersten Lernbegleitbogen mit diesen in Bezug auf die Abschätzung, ob bestimmte Konzepte Barrierenfunktion haben könnten oder nicht.

6. Die empirische Untersuchung

Von den Konzeptveränderungen und auch von der Konzeptkonstanz sollen einige konkrete Beispiele aufgezeigt werden. Diese Fallauswahl erfolgt über die vorherige quantitative Aggregation, die Fälle sollen *exemplarisch* sein. Deshalb wird vor der Darstellung konkreter Antwortwege die quantitative Analyse der Veränderungen angestellt.

6.5.4.4 Veränderungen von Vorstellungen - der quantitative Überblick

Im Vergleich zur ersten Fallstudie zeigt sich auffällig, dass in diesem Fall ein weitaus größerer Teil der Probanden keinerlei Veränderungen vorgenommen hat. Acht Probanden nahmen überhaupt keine Veränderungen vor, vier lediglich jeweils eine kurze.

Aufgabe	1.1+2	1.3	2.1+2	3.1+2
Summe Veränderungen	15	10	11	7
Summe keine Veränderungen	10	15	14	18
Summe keinerlei Veränderungen	8			
Summe vollständiger Veränderungen	5			

Tabelle 6.58: Verteilung des Veränderungsverhaltens

Daraus ergibt sich - bezogen auf den Inhalt der Erstversionen - die Frage, ob in diesen Fällen bereits ein stoffliches Vorverständnis aus dem Teil des ersten Unterrichtszyklus zur Anwendung gekommen ist, oder ob vorunterrichtliche und alltagssprachlich geprägte Vorstellungen auftauchen, die darauf schließen lassen, dass der Unterricht bei diesem Kreis keinerlei Wirkungen auf die Beantwortung der zur Frage gestellten Kontexte zeigt.

Des Weiteren lässt sich als Implikation für den Unterricht bereits ableiten, dass eine höhere Motivation wünschenswert wäre. Wie kann die Motivation für die Beantwortung des Bogens gefördert werden (vgl. Kap. 7) ?

Die Aufgabe 1 wurde am häufigsten verändert, die Aufgabe 3, gemeinsam mit der Teilaufgabe 1.3, selten. Durch den reproduktiven Charakter muss bei der Analyse berücksichtigt werden, ob der geringe Veränderungsanteil mit einer adäquaten und folgend akzeptierten Eingangsversion begründet werden kann oder nicht. Für den am abstraktesten und zugleich lebensweltfernen Aufgabenteil 1.3 ist das Antwortenverhalten durchaus erwartungsgemäß.

Insgesamt sei nochmals angemerkt, dass im Vergleich zur Erststudie in allen Aufgaben weniger nicht kategorisierbare Vorstellungen auftauchen. Zugleich ist die Anzahl der jeweiligen Codes geringer.

Für die Detailanalyse sei auf die Codeverteilungen im Anhang IV.3 hingewiesen sowie auf die Codierdokumente im Anhang IV.2.

6.5.4.5 Veränderungen zum ersten Aufgabenkomplex

Die folgende tabellarische Übersicht gibt die Kategorienwechsel und die Konzeptkonstanz in der Lerngruppe, bezogen auf N=[25], an. Für die Veränderungen werden zumeist Unterkategorien nicht dargestellt.

Veränderungen vs. Stabilitäten

⇒Anhang
Codierungen IV.2
IV.3

Anzahl von Veränderungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Kategorie A, adäquat → Kategorie A, adäquat	Adäquate Antworten werden dahingehend ausgebaut, dass sie fachlich konkretisiert werden (Massenerhaltung, Gesetzmäßigkeit, konkrete Produkte, systematisch argumentiert).	5	20	P1, P10, P14, P16, P23
Kategorie A unvollständig → Kategorie A, adäquat	Code: Ausgangsstoff zerstört aus d1 wird nun vervollständigt, hierbei wird die Stoffebene benutzt.	1	4	P6
Kategorie A, adäquat → Kategorie C adäquat	Ein Übergang von der Stoff- auf die Teilchenebene wird dahingehend gemacht, dass die Atomerhaltung genutzt wird, oder die Neugruppierung von Atomen bei chemischen Reaktionen angewendet wird.	1	4	P15
Kategorie A, unvollständig → Kategorie C adäquat	Der Code. Ausgangsstoff zerstört aus d1 wird nun vervollständigt, hierbei wird die Atomebene benutzt.	1	4	P19
Kategorie A, alternativ → Kategorie C adäquat	Von einer alternativen Sicht wird ein adäquates Reaktionskonzept auf der Basis des Atommodells entwickelt.	1	4	P3
Kategorie A, alternativ → Kategorie A, adäquat	Alternative Vorstellungen erfahren eine konzeptuelle Überarbeitung zum Basiskonzeptverständnis.	2*	8*	P2, P6
Darunter: Gegenständliche Sicht und Stoffliche Sicht (Mischung)	Die Zerstörung von Gegenständen (Holz etc) und der Edukte wird in d1 nicht unterschieden, in d2 richtig mit dem Basiskonzept in Verbindung gebracht.	2	8	P2, P6
teilweise Produktentstehung	Überlegungen wie: <i>manchmal</i> entstehen auch neue Stoffe, <i>es gibt auch</i> Produkte, wenn zu prinzipiellen Aussagen ausgebaut.	2	8	P2, P3 (in dz)
Andere Veränderungen	Hier liegen individuell andere Fälle vor.	2	8	P4, P17
Summe Veränderungen		12	48	

*Doppelte Zuordnung P6 nötig

Anzahl von Stabilitäten von Kategorien				
Kategorie A, adäquat → I Kategorie A, adäquat	Das Zusammenspiel von Eduktzerstörung und Produktentstehung wird genutzt, die gegenstands- und Stoffebene wird unterschieden, ggf. wird der Fachbegriff Umwandlung eindeutig und adäquat genutzt.	4	16	P5, P13, P22, P24
Kategorie A, alternativ → I Kategorie A, alternativ	Alternative Vorstellungen und die daran zugeordneten Konzepte werden nicht überarbeitet.	9	36	P7, P8, P9, P11, P12, P18, P20, P21, P25
Darunter: Umwandlung als Eigenschaftsänderung	Die Begriffe <i>umwandeln</i> , <i>zurückverwandeln</i> , <i>verwandeln</i> werden im Sinne einer Eigenschaftsänderung des / der Stoffe/s beschrieben, dies wird fachsprachlich nicht überarbeitet.	2	8	P8, P21
Darunter: Reste, Asche/übrig	Es wird nur mit phänomenologisch wahrnehmbaren oder bekannten Resten argumentiert.	1	4	P7
Darunter unvollständig: Eduktzerstörung	Die Sicht ist unvollständig, die Antwort wird nicht differenziert.	2	8	P11, P12
Darunter gegenständliche Sicht	Eine Unterscheidung der gegenständlich-phänomenologischen Ebene zur unterrichtlich vorgenommenen stofflichen Sicht wird nicht vorgenommen.	1	4	P18
Darunter: gegenständl. Sicht, und Eduktzerstörung (Mischung)	Hier liegen zwei Codes beieinander: es wird sich auf Gegenstände bezogen und unverbunden dazu festgestellt, dass die Ausgangsstoffe zerstört werden.	3	12	P9, P20, P25
Summe: Konstanz		13	52%	

Tabelle 6.59: Veränderungen und Stabilitäten zum Thema 1

Bereits zehn Probanden geben im Einsatz d1 adäquate Beschreibungen unter Berücksichtigung des Produkt-Edukt- Zusammenhangs. Die Zuordnung erfolgt, wenn *eine* eindeutig adäquate Antwort entweder in Aufgabe 1.1 oder in 1.2 verfasst wurde. Meist geschah dies in beiden Teilaufgaben und die Antworten erwiesen sich als einander ergänzend. Wie bereits erläutert, nennen sieben Probanden zusätzlich [5] oder ausschließlich [2] den Begriff des *Umwandelns* der eingesetzten Stoffe, dies wird in sechs Fällen – als Ergebnis der Analyse der Antwort im Gesamtbild des Bogens - ebenfalls als adäquate Beschreibung gewertet. Umwandlung könnte auch als Verwandeln der Erscheinungsform, der sinnlichen Eigenschaften bezeichnet im Sinne flexiblen Eigenschaftskonzeptes bei möglicher Konstanz des Stoffes selbst verstanden werden. Dieses Konzept wird in zwei Fällen (P8, P21) in den Formulierungen nicht überarbeitet. Da der Anteil der möglicherweise fehlleitenden Konzepts von Umwandlung gegenüber dem adäquaten Umwandlungsprinzip zurücksteht ([2] zu [5]), kann bezogen auf diese Gruppe wenig Nachteil aus der von den Schülern selbst gewählten Bezeichnung gesehen werden.

- Der Anteil derer, die in der Folgeversion d2 adäquate Antworten geben, zeigt auf 15 an, womit 60% Gruppe gemeint sind. Drei Probanden verwenden die Atomebene.
- In der Gruppe derer, die in Version d2 keine Veränderungen vornehmen ([10] ohne weitere Formulierung, [3] auch nach Neuformulierung einer Antwort), sind vier Probanden, die in Version d1 adäquate Antworten, wie die in Kap. 6.5.4.3 genannten, entwickelten und diese weiterhin akzeptieren. Der andere Teil nicht veränderter Antworten [9] bleibt demnach auf nicht adäquatem Niveau. Es sind typische, kategorial beschriebene Konzepte, die hierbei zur Anwendung kommen,
- Darunter treten in drei Fällen - eine Parallele zu einem Ergebnis aus der ersten Fallstudie - duale Vorstellungen auf, in denen zwischen der gegenständlichen Welt und der Welt der Stoffe nicht getrennt wird. Die Ebenen können dabei entweder unverbunden nebeneinander stehen (entspricht konzeptuell eher der Kategorie A5, keine systematische Prozessbetrachtung) oder aber in den kognitiven Konzepten gleichgesetzt werden (entspricht eher Kategorie A1, Vernichten von Gegenstand, Stoff, Materie).
- Demgegenüber bauen sechs der insgesamt zehn Probanden für die Codes „adäquat Produkt-Edukt“ und „Umwandlung“ ihre Antworten in Version d2 noch aus. Sie akzentuieren ihre Ergebnisse: „Es entsteht immer mindestens ein neuer Stoff!“ „Der Stoff, der verbrennt ist zerstört, aber nicht zu nichts, sondern zum Produkt.“

Welche Wege führen hin zum adäquaten Verständnis auf Stoffebene? Der Zuwachs an adäquaten Antworten [5] ergibt sich aus einer unvollständigen Antwort (P6), einer Überarbeitung unter Nutzung des Atommodells und vier Antworten, in denen die Ebenen in d2 systematisch voneinander getrennt werden und das Basiskonzept auf der Ebene der Stoffe nun eindeutig angewendet werden kann. Im Fall P4 ist dies vermutlich sprachlich nicht ganz gelungen, wenngleich das Konzept (im Sinne weiter Kontextführung bei der Analyse des Gesamtbogens) wahrscheinlich adäquat ist.

Drei Probanden verwenden in ihren Antworten die Atomebene, z. B:

„P3: Wenn etwas brennt, geht es kaputt; es wird zerstört und vernichtet. 1.2 Ja, denn bei einer Verbrennung wird etwas vernichtet. Jedoch entsteht oftmals auch ein neuer Stoff. Dz [Zusatzversion] 1.1 -1.2 -III 1.1 Bei einer Verbrennung wird etwas zerstört. Wie wir es bei vielen chemischen Reaktionen sehen konnten. Jedoch entsteht auch immer ein neuer Stoff.1.2 Nein, denn obwohl ein Stoff zerstört wird, entsteht ja trotzdem auch ein neuer Stoff. Denn alle Atome bleiben erhalten.“

Der geringe Anteil könnte in der Unterrichtssituiertheit begründet liegen. Der reproduktive Charakter der Aufgabe ist hoch und da der Start in die Einheit und das neue Konzept stofflich ausgewertet wurden, wurde *diese* Ebene verwendet. Zugleich muss festgestellt werden, dass der stoffliche Zusammenhang, völlig zu Recht, für die Schüler ausreicht, den Begriff Vernichtung kritisch zu relativieren. Die Atomebene ist für eine adäquate Konzeptanwendung nicht von Nöten.

Unter den Probanden mit Konzeptkonstanz sind sechs, die insgesamt im Bogen keine, bzw. nur eine kurze Änderung vorgenommen haben. Bezeichnete man diesen Teil als *nicht aktiv teilnehmende* Probanden und ignorierte sie bei den Aggregierungen, so erhielte man Vergleichshäufigkeiten über die Veränderungen gegenüber denen der Konzeptstabilität, die die positive übereinstimmende Resonanz zu den Unterrichtsinhalten noch etwas deutlicher herausstellte ([12] zu [7]).

6. Die empirische Untersuchung

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass die Einführung der chemischen Reaktion am Beispiel der Verbrennungen in der Gesamtheit einen zunehmend reflektierten Umgang mit dem Alltagsverständnis (bzw. dem sprachlichen Verständnis) ermöglicht hat. Insgesamt erweist sich die Aufgabe als geeignet zur Generierung unterrichtlich vermittelter Konzepte und Reflexion der Assoziationen der Schülerinnen und Schüler; Ein großer Anteil [9] nicht aktiv teilnehmender Schüler liegt vor, der Einsatz des Bogens ist aus motivationalen Gesichtspunkten optimierbar.

6.5.4.6 Quantitative Veränderungen im kontextualisierten Aufgabenteil „Müll...“

Der Anteil unveränderter Antworten liegt hier mit N=14 oberhalb der Klassenhälfte und nur unwesentlich höher als der Anteil im ersten Fragebogenteil. Wesentlich ist, dass anders als im ersten Teil hier der Anteil der Antworten, die allgemein oder lebensweltlich statt fachchemischer Natur sind, weitaus höher ist und auch bleibt.

Anzahl von Veränderungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Kategorie A, alternativ → Kategorie A, adäquat	Das Fachkonzept der chemischen Reaktion wird in der Art angewendet, dass auch die quantitative Ebene deutlich wird: die Erhaltung der Materie	3	12%	P1, P3, P17
Darunter Kategorie A, alternativ → Kreislauf	Es wird auf das Kreislaufprinzip, das im Unterricht besprochen wurde, eingegangen.	1	4	P1
Darunter Kategorie A, alternativ → Erhaltung systemisch	Der Code systemisch enthält systemlogische Begründung für das Prinzip (vgl. vorne)	2	8	P3, 17
Kategorie A, adäquat → Kategorie A, adäquat	Ein richtiges Fachkonzept wird noch ausgebaut: zB: es gilt das Gesetz der Massenerhaltung	1	4	P13
Kategorie A, adäquat → Kategorie C adäquat	Die Modellebene wird aufbauend auf das adäquate Fachkonzept der Stoffebene eingesetzt.	4	16	P6, P10, P14, P15
Kategorie A, alternativ → Kategorie C adäquat	Die Modellebene wird benutzt, um vormalig verkürzte oder fachsprachlich wenig ausgereifte Antworten zu korrigieren oder richtig zu stellen.	2	8	P2, P23
Summe: adäquater Ergeb.		10	40	

6. Die empirische Untersuchung

Kategorie A, adäquat		4	16	
Kategorie C a-däquat		6	24	
Umwandlung→ teilweise Erhaltung	Umwandlung wird hier uneindeutig verwendet, auch die Zweitversion ist nicht deutlich, könnte als partielles Erhaltungskonzept interpretiert werden.	1	4	P4 (Sprachtonne)
Summe Veränderungen		11	44	

Anzahl von Stabilitäten von Kategorien				
Kategorie A, adäquat →I Kategorie A, adäquat	Das adäquate Konzept wird nicht weiter verändert oder wird als richtig bestätigt.	2	8	P16, P22 (Umwandlung)
Kategorie A, alternativ →I	Alternative Konzepte oder unvollständige Sichtweisen bleiben akzeptiert	12	48	P5, P7, P8 P9, P11, P12, P18, P19, P20, P21, P24, P25
Darunter allg. →I	Aussagen ohne Fachbezug	6	24	P5, P8, P12, P18, P21, P25
Darunter Reste→I	Antworten des kategorialen Konzepts A1 bleiben bestehen.	8	32	P5*, P7 P9, P11, P18*, P19, P20, P24
Summe Konstanz		14	56	

*= Doppelcodierung

Tabelle 6.60: Veränderungen und Stabilitäten zum Thema „Müll“

Beginnt man mit der Aggregation der Antworten der Erstversionen, so lassen sich drei größere Gruppen bilden:

Ein Teil [6] von Antworten ist einer Gruppe mit ausschließlich allgemeinen Aussagen ohne Fachbezug zuzuordnen. Diese Probanden treffen den Kern der Fragestellung nicht oder blenden Aufgabeninformationen aus (z.B. Problematisierung der scheinbaren Vernichtung (von Materie) gegenüber dem „Nicht-wegwerfen-können“). Der eigentliche Aufgabeninhalt wird dahingehend nicht getroffen, dass ein Bezug zur stofflichen Sicht (Was passiert mit den Stoffen, die den Müll bilden?) nicht vorgenommen wird. Mit einher geht für die Teilaufgabe 2.2 manchmal eine rein gegenständliche Betrachtung (Bezug zur Kategorie A5), andere Antworten auf Teilaufgabe 2.2 konnten manchmal gar nicht codiert werden (5 Codes.) („Schon gut so!“ o.ä.). Diese allgemeinen Codes sind insgesamt häufig vertreten [11], da in den Antworten aber auch anderweitig codierbare Anteile enthalten sind (z.B. Code: allgemein mehr Müll und Code: Reste/Asche/übrig), werden die Probanden den anderen Gruppen zugeordnet.

Mit zu dieser Codegruppe allgemeiner Antworten ohne Fachbezug werden ebenfalls die Antworten von Probanden aggregiert, die zwar Aussagen über Stoffe machen, diese aber nicht systematisch mit einem Reaktionskonzept verbinden und die eher lebensweltlich bekannt sind: „Es entstehen giftige Stoffe, die das Grundwasser und die Luft verpesten“, „Gase sind schädlich“. Fünf solcher „stofflich – diffusen“ Antworten liegen vor, wobei sie in zwei Fällen zusätzliche Codes zu ohnehin allgemein Codes bereits in diese Gruppe zugeordnet sind, in zwei Fällen (P7, P19) dieses Codes liegen weitere Codierungen vor, die eine andere Gruppenzuordnung ermöglichen. Nur P 1 wird ausschließlich aufgrund dieses Codes „Gifte“ hier zugeordnet.

Eine weitere Gruppe [11] argumentiert im Sinne der Konzeptkategorie A1 nur „mit Resten“, „mit Asche“, „mit etwas, das übrig bleibt“, womit in einigen Fällen auch Gase gemeint sind. Ihre Vorstellung entspricht daher keinem übergeordneten chemischen Reaktionskonzept, sondern ist speziell mit der Verbrennungsphänomenologie zu begründen, in drei Fällen geht damit auch eine rein gegenständliche Sicht einher (P3,9,19). Diese Kategorie wird mit dem Aufgabenkontext 2 besser erfasst als mit der ersten Aufgabe.

Die dritte Konzeptgruppe [8] generiert in diesem kontextualisierten Teil Beschreibungen des Prinzips „Produkte entstehen aus den Edukten“ unter Berücksichtigung der Erhaltung des Materiellen. Die Fälle P4 und P22 sind unter diesen Fällen nicht eindeutig, was am fachsprachlichen Ausdruck liegen könnte, daher kann mit Sicherheit von sechs Fällen mit adäquaten Ausgangskonzepten gesprochen werden. Gegenüber den Ergebnissen zum Aufgabenteil 1 [10] liegt hier ein erwartungsgemäß geringer Anteil vor.

Ergebnisse der Überarbeitung nach Folgeseinsatz d2:

- Ausgehend von den alternativen Vorstellungen werden in fünf Fällen konzeptuelle Veränderungen hin zum adäquaten Konzept entwickelt, in drei Fällen in Bezug auf die Stoffebene, in zwei Fällen unter Berücksichtigung der Atomebene.
- In der d2 Version benutzen sechs Probanden das Atommodell, im Vergleich dazu sind es in Aufgabenteil 1 drei, sie beschreiten sie häufiger ausgehend vom adäquaten Stoffebenenkonzept als von einer alternativen Vorstellung aus.
- Unter den Probanden konzeptueller Konstanz liegen zwölf Fälle vor, in denen alternative Vorstellungen nicht überarbeitet werden (zwei weitere Fälle der Konstanz sind fachlich adäquat).

Neun der zwölf Fälle von Konstanz wird durch Probanden gebildet, die *keinerlei* Veränderungen vornahmen. Die Probandengruppe dieser *nicht aktiv Teilnehmenden* ist in die folgenden Gruppen geordnet: Gruppe *allgemeine Antworten* ohne fachlichen Bezug und nicht weiter aktiv teilnehmend [4], Gruppe *Reste, Asche, übrig* und nicht weiter aktiv teilnehmend [5] (vgl. Anhang IV.3). Es ist zu vermuten – und die videodokumentierte Bearbeitung des Bogens legt dies aufgrund der Kürze der Beschäftigung nahe –, dass hier neben kognitiven auch motivationale Gründe vorliegen, sie könnten hier bestimmend sein. Angenommen, die Probandengruppe *aktiv teilnehmender Schüler* wird nur von jenen gebildet, die mindestens eine umfangreiche Veränderung oder Kommentierung vornahmen, so dezimiert sich der Probandenkreis auf 13, die progressive Veränderung alternativer Konzepte hin zum adäquaten Konzept würde aber deutlich die Konstanz überwiegen. Rein statistisch liegt aber hier ein geringerer Veränderungsanteil [5] alternativer Konzepte gegenüber der Konstanz [12] vor.

Der Anteil des Codes *Reste, Asche, übrig* sinkt nur gering (von [11] auf [89]), was Ausdruck dafür sein könnte, wenn man die Gründe nicht in der Motivation und Beschäftigung sucht, dass hier ein Stoffverständnis insbesondere unter Berücksichtigung quantitativer Aspekte nicht erfolgreich gelegt wurde. Mit N=12 liegt ein 48%iger Anteil derer vor, die eine adäquate Konzeptanwendung leisten.

Die Nutzung des Atommodells tritt in sechs Fällen auf, in dieser Fallstudie ist es offenbar so, dass ein adäquates Stoffverständnis den Ausbau zum Teilchenverständnis attraktiver macht als ein alternatives ([4] zu [2]). Wichtig ist anzumerken, dass die Nutzung des Atomkonzepts hier immer in Zusammenhang mit der Erhaltung steht, eine konkrete Ausführung des Modells ist nicht von Nöten, deshalb werden Vorstellung der Konzeptkategorie B (Mischkonzepte über Atome) nicht erhoben. Um eine Anwendung des Modells im Konkreten zu fördern, kann hier der Lernbegleitbogen noch ausgebaut werden (vgl. Kap 7). Alle Antworten sind also der Kategorie C zuzuordnen.

6. Die empirische Untersuchung

Interessant sind die Fälle P3 und P17, die jeweils die Zusatzerfassung⁵⁴ auf Wunsch der beiden Schülerinnen enthält. Sie gelangen in diesem Zwischeneinsatz im Anschluss an die Unterrichtssequenz zur manipulierten Glühlampe zum Konzept der Erhaltung aus systemischer Sicht.

„2.1 dz: Man könnte den Müll mit einer geschlossenen Glühlampe vergleichen. Denn auch bei der Verbrennung von Müll geht nichts verloren und es wird nichts dazugewonnen.“

2.2 dz Man könnte sagen „Müll ist unzerstörbar“, denn wie oben genannt, entsteht bei der Verbrennung immer wieder Stoff. Es geht nichts verloren und es wird nichts dazu gewonnen“. (P17)

Das Experiment der manipulierten Glühlampe hat nachhaltige Wirkung und zwar auf ein thematisch entferntes Beispiel.

Methodisch ist der Aufgabenteil 2.2 ambivalent zu bewerten. Rein formal fand hier in 21 Fällen keine Veränderung statt, auch der Anteil (in d1) von fünf nicht kategorisierbaren ist hier höher als in den anderen Aufgabenteilen.

Die qualitativen Ergebnisse decken sich zumeist mit denen aus Aufgabe 2.1, aber es gibt auch vertiefende „aufdeckende Erkenntnisse“, in denen eine allgemeine Aussage in 2.1 doch durch ein Stoffkonzept in 2.2 bereichert wird (siehe z.B. P3)) Auch für die Fälle P4, P22 erweist sich dieser Aufgabenteil als hilfreich bestätigend oder korrigierend.

Allgemein kann die geringe Bearbeitungs- und Veränderungshäufigkeit so interpretiert werden, dass einerseits hier kaum Bezug zum Unterricht des zweiten Zyklus gesehen wurde, andererseits auch, dass das genaue Neuformulieren unter Berücksichtigung der Fachkonzepte als sehr anspruchsvolle und nicht zu bewältigende Aufgabe angesehen wurde. Beides spricht für die Überarbeitung der Aufgabe oder dem Angebot einer Hilfe (vgl. Kap. 7). Andererseits zeigt sie für die Fälle progressiver Konzeptverläufe gute Ergebnisse: Das stoffliche wie auch das Atomerhaltungskonzept wird auch in der Eigenformulierung aufgegriffen, sodass ein gänzlichliches Streichen dieser Teilaufgabe nicht sinnvoll ist. Aus diesen Überlegungen heraus, in einer größeren Probandenzahl könnten hier, wie in den Einzelfällen gezeigt, zusätzliche Details von potentiellen Verständnisschwierigkeiten aufgedeckt werden.

6.5.4.7 Parallelen und Unterschiede zwischen den Aufgaben 1 und 2

An dieser Stelle soll verglichen werden, ob die Schüler das fachliche Konzept aus Eduktzerstörung und Produktentstehung in einer der beiden Themenstellungen oder in beiden Themenstellungen anwenden. Wie bereits genannt, liegt im ersten Aufgabenteil ein hoher reproduktiver Anteil vor, im zweiten liegt eine unterrichtsferne Anwendung vor.

1.1+2 d1 adäquat ... aber nicht 2.1+2	...und 2.1+2 d1 adäquat	2.1+2.2 d1 adäquat aber nicht 1.1+2
P 1, 5, 23, 24 (ggf.20*)	10, 13, 14, 15,16, 22	6*
N=4 (5)	N=6	N=1

* uneindeutige Fälle, Sprachbarrieren

Tabelle 6.61a: Vergleichshäufigkeiten der Ergebnisse für den Ersteinsatz d1

Erwartungsgemäß wird das Konzept im Kontext Müllverbrennung auch meist dann angewendet, wenn es im gelernten Zusammenhang als Konzept reproduziert werden kann. Eine gleichgroße Probandengruppe hat das Konzept reproduziert, „kennt es“, vermag es aber nicht für den neuen Zusammenhang anzuwenden. Auch dies ist kein unerwartetes Ergebnis. Der Kontext Müll, der zur kritischen Auseinandersetzung mit dem alternativen Konzept der Vernichtung anregen soll, kann nur in einem Fall das adäquate Konzept erwirken, ohne dass es in nicht kontextuali-

⁵⁴ gekennzeichnet mit „dz“

6. Die empirische Untersuchung

sierter Form der Aufgabe 1 wiedergegeben werden kann. Dies könnte ein Artefakt aus sprachlichen und organisatorischen Gründen sein (P6).

1.1+2 d2 adäquat ... aber nicht 2.1+2	...und 2.1+2 d2adäquat	2.1+2.2 d2adäquat aber nicht 1.1+2
4*, 5,19,24	1,2,3,6,10,13,14,15,16, 22,23	17
N=4	N=11	N=1

* uneindeutige Fälle, Sprachbarrieren

Tabelle 6.61b: Vergleichshäufigkeiten der Ergebnisse für den Einsatz d2

Konzepte in Anwendungssituationen anzuwenden und als *anwendungsfähig* heranzuziehen, ist kognitiv wesentlich anspruchsvoller als eine Reproduktion. Diese Prämisse wird auch im in Tabelle 6.61b angestellten Vergleich deutlich. Dass nur der Anwendungskontext das adäquate Konzept generiert ist, abermals die Ausnahme. Der Anteil der in beiden Aufgaben erfolgreich arbeitenden Probanden hat sich stark erhöht: Das im Unterricht entwickelte Konzept chemischer Reaktionen und die quantitativen Erhaltungsprinzipien werden bei 44% der Schüler anwendungsfähig.

Interessant ist der Vergleich insoweit auch, dass hier inhaltlich qualitative Details zu Tage treten: Wenn beispielsweise im Aufgabenteil 1 ein fachlich adäquates Stoffverständnis codiert wird, so kann die Aufgabe 2 verdeutlichen, dass für das quantitative Verständnis ein alternativ-vorunterrichtliches Konzept des „weniger Werdens“ im Sinne der Kategorie A1 angenommen wird:

„1.1 Weil der Grundstoff verloren geht und ein neuer Stoff entsteht.

1.2 Nein. Ich halte diesen Begriff nicht für sinnvoll, weil bei einer Verbrennung nichts zerstört wird, sondern umgewandelt.

2.1 Es gibt immer wenn man etwas verbrennt Reststoffe übrig.“ (P5)

„1.1 Weil bei der Verbrennung ein Stoff zerstört wird und ein neuer entsteht (z.B. Gas/oder aus Holz wird Asche und Gas)

1.2 Eigentlich ist es ja schon sinnvoll, weil der alte Stoff wirklich zerstört wird und ein neuer entsteht.

2.1 I Der Müll kann nicht von der Natur selbst entsorgt werden und in den Verbrennungsanlagen bleiben ja auch Reste erhalten, die wieder neu aufbereitet werden. Also verschwindet der Müll ja nie ganz.“ (P24)

Andere Fälle sehen zwischen der Aufgabe 1 und der Aufgabe 2 keinen Zusammenhang, z.B.:

„1.1 Weil ein Stoff nach der Verbrennung nicht mehr in seiner ursprünglichen Form vorhanden ist.

1.2 I Nein, weil es keine Zerstörung, sondern eine Umwandlung ist.

2.1 I Weil man ihn wiederverwerten kann (Altpapier usw.)“ (P21)

Andererseits wird bei einigen Kandidaten der quantitative Aspekt gerade durch die Aufgabe 2.1+2.2 hervorgehoben.

„1.1 Weil bei der Verbrennung das Produkt zerstört wird und ein neuer Stoff, der Ausgangsstoff, entsteht.

6. Die empirische Untersuchung

1.2 In gewisser Hinsicht schon: 1 Stoff verschwindet, 1 neuer entsteht. Doch eigentlich wird der Stoff ja nur umgewandelt. Also ja und nein.

2.1 Beim verbrennen wird ein Stoff zwar zerstört, aber nur in der Hinsicht das es in nicht mehr gibt. Dafür entsteht jedoch ein neuer Stoff. Solche Stoffe sind meistens sehr giftig, z.B. Gase.“ (P14)

Nahe liegend ist, dass eine alternative Sicht für die Beantwortung beider Aufgabenkontexte voraussetzungsgebend ist. Neben den o.g. Details bestätigt sich diese Annahme, allerdings vorrangig für den Ersteinsatz des Bogens:

1.1+2 d1 alternativ aber nicht 2.1+2	...und 2.1+2 d1 alternativ	2.1+2.2 d1 alternativ aber nicht 1.1+2
6	2,3,4,7,8,9,17,18,21,23,25 zusätzlich unvollständig: 11,12,19 (Code: Eduktzerstörung)	1,5,20,24
N=1	N=11+3	N=4
N= 19		
1.1+2 d2 alternativ aber nicht 2.1+2	...und 2.1+2 d2 alternativ	2.1+2.2 d2 alternativ aber nicht 1.1+2
17	7,8,9,18,21,25 Unvollst.:11,12	4,5,19,20,24
N=1	N=6+2	N=5
N=14		

Tabelle 6.62a und b: Vergleichshäufigkeiten der Ergebnisse für die Einsätze d1 und d2

Die vorunterrichtlich alternative Sicht wird vorrangig in beiden oder im zweiten, eher anwendungsorientierten Aufgabenkontext beibehalten. Fünf Probanden fallen im Zweiteinsatz aus der Fallauswahl aus, weil sie hierin nicht mehr mit alternativen Konzepten arbeiten. Sie zeigen demnach konzeptuelle Erfolge – teils bezogen auf beide Aufgabenteile.⁵⁵ Diese Fälle erfolgreicher Entwicklung werden en Detail dargestellt.

Die größte Gruppe dieser Fallauswahl arbeitet auch im Zweiteinsatz mit fachlich nicht adäquaten Konzepten. In Kap. 3.3.2 wurden einige Konzepte potenziell als Lernbarrieren angesehen, ebenso wurde auf hinderliche Konzepte im ersten Kategoriensystem hingewiesen. Hier ist zu prüfen, welche kategorialen Konzepte vorliegen und auch, welche Voraussetzungen auf der vorherigen Einheit „Der Vorkoster“ und den dort erfassten Vorstellungen und Konzepten aus dem Lernbegleitbogen I vorgelegen haben.

Es ist an dieser Stelle sinnvoll, den Vergleich zwischen den Ergebnissen der Studie I und die der Studie II anzustellen, womit einerseits Wege konzeptueller Entwicklung verglichen werden können (beispielsweise: *Führt eine progressive Entwicklung in der Studie I auch zur progressiven Entwicklung in der Studie II?*), andererseits auch untersucht werden kann, welche Arten von Konzeptstabilität in der Studie I auch in der Studie II ggf. zu konzeptuellen Fehlschlüssen führen. Mit welchen konzeptionellen Voraussetzungen zum Stoff-Teilchen-Konzept aus der ersten Einheit hat dieser Probandenkreis diese Einheit beschrritten?

⁵⁵ - Wenn man davon absieht, dass sie im Einsatz d2 nicht nur eine rein sprachliche Verbesserung der Erstversion vorgenommen haben könnten und ihr Konzeptverständnis vorher auch schon adäquat war.

6.5.4.8 Vergleich der Studienergebnisse der Fallstudien I und II

Die Frage nach dem Entwicklungspotential alternativer Vorstellungen oder ihrer Stabilität aufgreifend, werden solche Fälle aggregiert, die sowohl in Fallstudie I als auch in Fallstudie II (vorrangig oder auch unter anderem) alternative Vorstellungen der Stoffebene oder der Teilchenebene (Hybridebene Kategorie B in der Fallstudie I) verwendeten. Die Aufgaben 1.3. und 3 wurden global mitberücksichtigt, die Zuordnung zur Fallauswahl führte aber nur über die Aufgaben 1 und 2. Die Aufgabe 3 gibt Bezüge zum Stoff-Teilchenkonzept des ersten Bogens und hilft bei der Gesamtanalyse in der Weise, die MAYRING (2001) als weite Kontextführung bezeichnet: siehe dient der Bestätigung oder der Grenzziehung der Interpretation.

Studie I d2 Ergebnisse		Studie II d2 Ergebnisse		
		A adäquat	A alternativ	C adäquat
A alternativ	P51 [P4] ² P2,5,7,9,11, 12,16,17,18	P2, P16	P51[P4] ² P5, P7, P9, P11, 12,17, 18	P2*

¹uneindeutig, ggf. Code: S aq in beiden Studien

²(nicht aktiv teilnehmend)

* Doppelcodierung, weil Stoff- und Teilchenebene getrennt voneinander verwendet werden.

Tabelle 6.63: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Von neun Probanden gelangen sieben auch in der Folge nicht zu adäquaten Konzepten, was dafür spricht (bei sicherlich statistisch nicht repräsentativer Stichprobengröße) von konzeptuellen Voraussetzungen auszugehen, die einer Entwicklung hinderlich gewesen sind - dies unter einer rein „kalten“ kognitivistischen Direktive, die das Wirken anderer Variablen, z.B. motivationaler Art unberücksichtigt lässt (vgl. Kap. 3.2 und 5.1). Aufbauend auf der quantitativen Auswertung der Implementationsstudie mit großer Stichprobe sollte daher in einer Folgearbeit diesem ersten qualitativen Ergebnis nachgegangen werden: Erweisen sich auch in statistisch repräsentativer Weise diese alternative Deutungsmuster wie die der Kategorien A4 und A5 (KS I), als hinderlich für die Konzeptentwicklung in Bezug auf die Deutung chemischer Reaktionen? Die Bearbeitung von P11 wurde Kap. 6.3. als Fall einseitiger Resonanz behandelt, er wird exemplarisch für die ausbleibende Konzeptentwicklung wieder aufgegriffen.

Studie I d2 Ergebnisse		Studie II d2 Ergebnisse		
		A adäquat	A alternativ	C adäquat
Kategorie B	P1, 8,19*,21	P1	P8,19*,21	P19*
B gepaart mit alternativer Vorstellung Kat A	P2, P9, [P22] ²	[P22] ²	P2*,9	P2*

* Doppelcodierung, weil Stoff- und Teilchenebene eher getrennt voneinander verwendet werden.

²nicht aktiv teilnehmend

Tabelle 6.64: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

In der Gruppe von Probanden, die ausschließlich [4] oder neben alternativen Konzepten [3] die Ebene der Mischkonzepte in der Studie I [7] verwendeten, verbleiben in der Zweitstudie drei ausschließlich auf dem Niveau alternativer Konzepte. Nur zwei der Probanden nehmen die Teilchenebene, hier konkret die Berücksichtigung der Atome, in ihre Antworten mit auf. Hier zeigt

6. Die empirische Untersuchung

sich demnach ein geteiltes Bild. Für mehr als die Hälfte [4] dieser Fallauswahl bleibt das Teilchen- und Atommodell ohne nachhaltige Resonanz. Der Fall P2 soll hierfür ein Exempel sein.

Die Probandin P1 erweist sich als „stoffebentreu“: Sie antwortet im Gegensatz zur Erststudie (Hybridkonzepte) hier ausschließlich auf der Ebene der Stoffe. Die Analyse des Unterrichtsvideos unterstützt dies, bei der entsprechenden Schülerin etabliert sich im Lauf des Schuljahres ein Stoffkonzept, die Teilchenebene wird nur dann benutzt, wenn dies intendiert wird und führt oft zu Mischkonzepten. In Folgekapitel werden Antworten des Falls P1 näher erläutert.

Im Vergleich wird aufgeführt, in welcher Weise die Teilchenebene eine Resonanz erfährt. Dabei werden Probanden wie in Studie I kategorial so zugeordnet, dass im Sinne der Gesamtexplikation eine Zuordnung wie „hauptsächlich adäquat“ oder „insgesamt eher der Hybridebene“ vorgenommen wird.

Studie I d2 Ergebnisse		Studie II d2 Ergebnisse		
		Kategorie C	A adäquat:	A alternativ
Kategorie C	P3,6,7,10,11,13,14,15,20,23,24	P3, 6,10,14,15,23	P13,	P7, 11, 20, 24
Summe	[11]	[6]	[1]][4]
Kategorie B	P1, 8,9,16,18,19, P21	19*	P1, 16	P8,9,18,21, P19*
Summe	[6]	[1]	[2]	[4]

* Doppelcodierung, weil Stoff- und Teilchenebene eher getrennt voneinander verwendet werden.

Tabelle 6.65: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Mit N=17 Probanden verwendet in Studie I ein großer Teil der Lerngruppe das Teilchenmodell, entweder in übereinstimmender Resonanz (Kategorie C, adäquat) oder überwiegend im Sinne der Mischkonzeptebene Kategorie B, bei sieben Probanden (d.h. 41,2% der Fallauswahl) hat sich diese Anwendung etabliert und vertieft mit der Nutzung des Atommodells: etabliert in dem Sinne, dass sie das Modell hier anwenden. Ob die anderen es prinzipiell anwenden *können*, kann nicht ausgesagt werden. Elf Probanden dieser Fallauswahl nutzen das Modell hier nicht, es ist gar so, dass lediglich drei im Sinne fachlich adäquater Beschreibungen der Stoffebene argumentieren, alle anderen verwenden alternative Vorstellungen. Die Funktion des Teilchenmodells ist es ja, Phänomene und Prozesse zu *erklären*, die auf der Stoffebene vorrangig *beschreibend dargestellt* werden können. Diese Funktion ist demnach bei vielen der Probanden nicht gelegt, zumindest dahingehend nicht, dass auch die Stoffebene hiermit angemessen erfasst und beschrieben werden kann.

Unter dem Probandenkreis, der in Studie I das Teilchenmodell erfolgreich anwendet (Kategorie C), wird es bei der Hälfte (N=6) in adäquater Weise ausgebaut. Daneben gelangt auch ein Proband, der Hybridkonzepte generierte, in der Folgestudie zur erfolgreichen Anwendung der Atomvorstellung, diese Anzahl tritt aber gegenüber jenen, die eine alternative Sichtweise ohne Modellebene nutzen, zurück [4].

Zwei Fragestellungen sind anknüpfend an die Ergebnisse der Erststudie und der Frage nach der Art der Entwicklung oder der Konstanz der Konzepte von Interesse:

Welche Subkategorien liegen bei ausbleibender Konzeptentwicklung vor? Wie gestalten sich erfolgreiche Wege? Um die Veränderungen und Konstanz konkreter zu veranschaulichen, sollen analog zum Kap 6.3 repräsentative Fälle aufgeführt werden.

6.5.4.9 Verläufe konzeptueller Entwicklung

Sinnvollerweise werden die im Kapitel 6.3.4.8 analysierten Fälle wieder aufgegriffen. Andererseits tragen die oben gezeigten Aggregierungen, aus welchen Gruppen exemplarisch Bearbeitungen gezeigt werden sollten.

Im Kapitel 6.3.4.6 (Falldarstellungen der Studie I) wurden in drei Abschnitten drei Gruppen von Probanden mit exemplarischen Analysen dargestellt. Diese Abschnitte *Wege zur fachlich adäquaten Konzeptanwendung*, *Mischkonzepte kommen und gehen* sowie *einseitige und ausbleibende Resonanz* können auch diese weitere Analyse gliedern. Für die folgende Darstellung der Fälle werden die noch zu analysierende Teilaufgabe 1.3 *Reversibilität* und die dritte Aufgabe *Vorgänge am Feuerzeug* mit berücksichtigt. Die noch fehlende quantitative Ergebnisverteilung zu diesen Teilaufgaben wird im Anschluss aufgeführt.

Von den 25 Probanden der Zweitstudie nahmen nur 24 auch in der ersten Studie teil. Die beiden nicht aktiv teilnehmenden Probanden P4 und 22, nehmen auch nach Erstbeantwortung in der Zweitstudie keine Veränderungen vor. Die Antworten sind von unterschiedlicher fachsprachlicher und inhaltlicher Qualität, für den Studienvergleich werden sie nicht berücksichtigt: der Vergleich der Daten beider Studien wird auf N=22 bezogen.

Abschnitt 1: Wege zu fachlich adäquaten Antworten

Elf Probanden geben in der Abschlussversion der Studie 2 fachlich adäquate Antworten. Einige werden als Exempel für diese erfolgreiche Konzeptentwicklung dargestellt, darunter auch Vertreter der ursprünglichen Gruppe „Mischkonzepte kommen und gehen“ aus der Studie I. Sie verwenden hier durchgehend adäquate Fachkonzepte, d.h. für alle Aufgabenbereiche, eine geteilte Kompetenz wie in der Erststudie zeigen sie hier erfreulicherweise nicht.

Mit N=6 verfügt annähernd die etwa ein Viertel der Probandengruppe (27,3%) über die Kompetenz, alle Themen der *beiden* Lernbegleitbögen überwiegend fachlich adäquat auf der Stoff- und/oder auf der Teilchenebene zu behandeln. In der Fallstudie 1 wurden für progressive Wege die Antworten mehrerer Vertreter (vgl. Kap. 6.3.4.6) dargestellt, für die zweite Studie kommen einige darstellungswerte Vertreter dazu.

Von den sechs „Fällen des Erfolgs“ in beiden Studien wurden die Fälle P3, 6, 15 und 23 bei den Fallbeschreibungen zur Erststudie behandelt. Sie sollen hier wieder aufgegriffen werden. Allerdings werden nicht alle Antworten hier eingefügt, sondern die auf redigierten Aussagen bestehende Analyse (vgl. Kap. 6.3.4.8).

Der Proband P6, der hier nicht vollständig zitiert wird, zeigt eine generelle Kompetenz, das Stoff-Teilchenkonzept anzuwenden. In der Erststudie verwendet er im Kandisteil ausgehend von einem Mischkonzept die Teilchenebene, bei der Aufgabe zum Teeaufguss wird die Antwort auf der Stoffebene sinnvoll überarbeitet. In dieser Studie wird in Aufgabe 1 die anfänglich gegenständliche Sicht, (die hier korrekt ist: „Ja, denn es wird ja etwas vernichtet“) so überarbeitet, dass die Stoffebene adäquat genutzt wird, im Aufgabenteil 2 wird die angemessene stoffliche Sicht mit Hilfe der Atomidee vertieft. P6 generiert in diesen zentralen Aufgaben demnach keine echten Fehlkonzepte im Sinne von „Barrieren“, sondern Unvollständiges oder fachlich noch wenig Akzentuiertes.

Die Antwort zur Frage nach der Reversibilität zeigt, dass der Schüler aus anderen Zusammenhängen als den unterrichtlichen Vorkenntnissen verfügt.

6. Die empirische Untersuchung

Antwort Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
d1 Ja, das kann man. Wenn man Eisenoxid hat und es dann mit Magnesium verbrennt hat man dann wieder Eisen und Magnesiumoxid.	Reversibilität, stoffebenenbegründet
d2 Meine Antwort war richtig.	s.o

Ergebnis: Reversibilität ist stoffebenenbegründet, vermutlich aufgrund von Vorkenntnissen

Tabelle 6.66a: Antwort P6 Aufgabe 1.3

Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus den Unterrichtsbeobachtungen. In den Transkripten sind immer wieder Sequenzen zu finden, in denen der Schüler spezielle Informationen in die Unterrichtsgespräche einbringt. Insoweit ist dieser Proband nicht repräsentativ. Dass er sein Wissen optimal einsetzen kann, verdeutlicht die hervorragende Qualität seiner Antwort zum Thema 3:

Antwort Aufgabe 3	Codierung und Analyse
d1 3.1 Das brennbare Gas im Feuerzeug wird meistens unter hohem Druck in eine Flüssigkeit verwandelt. Wenn aber wieder normaler Druck von aussen kommt, wird es wieder zu einem Gas. 3.2 Wenn man das Gas ausströmen lässt dann bleibt es erhalten und verteilt sich in vorhandenem Raum. Wenn man es aber verbrennt, entstehen andere Gase die sich in der Luft verteilen (z.B. Kohlenstoffdioxid). Diese Gase sind nicht mehr brennbar. Wenn der Raum in dem sich das Gas aus dem Feuerzeug verteilt nicht groß genug ist und auch nur ein Funke da ist kann es explodieren.	Adäquat Druck- Aggr.zustand Adäquate Unterscheidung
d2 3.1 Meine Antwort ist richtig 3.2 Antwort ist richtig.	s.o.

Ergebnis: Optimale Antwort

Tabelle 6.66b: Antwort P6 Aufgabe 3

Dass auch Proband P6 nicht frei von Fehlkonzepten den Unterricht bestreitet, belegen einige seiner ersten Antworten (d1). Ihm gelingt in allen Fällen die Überarbeitung. Er arbeitet ausgesprochen intensiv mit, ist hoch motiviert und beschäftigt sich offensichtlich über den Unterricht hinaus mit chemischen Phänomenen - selbstverständlich muss diese optimale Haltung zu Konzeptveränderungen führen. Welche Variable die wirkungsvolle oder -vollste daran ist, kann selbstverständlich nicht festgestellt werden.

Vergleichbar sind die Entwicklungen in den Fällen P23, P15 und P10, wobei bei diesen keine offensichtlichen besonderen Gründe vorliegen. Konkret hat aber - wie bereits gesagt - jeder Verlauf seine individuellen Details.

Fallbeispiel P 23: Fortführung der ersten Studie (Kap 6.3.4.6, S.191)

Veränderung in der Studie 1	
Teeausguss B→C	Kandis B→C
Das Hybridkonzept über das Entstehen von Teilchen (körnig) und die Betrachtungsebenenüberscheidung (Makro-Mikro) wird zum adäquaten Verständnis hin überarbeitet.	Hier ebenfalls vorliegende Konzepte der Kategorie B 1 und B2 werden verbessert.

Tabelle 6.67a: Antwort P23 Vergleich der Studienergebnisse

6. Die empirische Untersuchung

Die Antworten und die Codes für die beiden ersten Aufgabenthemen der Zweitstudie lauten:

Antwort Aufgabe 1	Codierung und Analyse
d1 1.1 Weil von dem verbrannten Ausgangsstoff meistens nicht mehr viel übrig bleibt. 1.2 Nein, weil die Stoffe nur umgewandelt werden. Wenn ein Haus brennt, kann man das schon Zerstörung nennen.	Edukt zerstört, Umwandlung Unterscheidung G-S
d2 1.1 Der Ausgangsstoff ist wirklich nicht mehr da! Aber man hat bei einer Reaktionsgleichung immer eine Produktseite, wo das neue auftaucht 1.2 bin einverstanden	Adäquat Stoffebene Unterscheidung G-S

Ergebnis: Präzisierung der korrekten stofflichen Sicht

Antwort Aufgabe 2	Codierung und Analyse
d1 2.1 Müllberge auf Deponien bleiben für lange Zeit und bei Müllverbrennungsanlagen entstehen Schadstoffe. 2.2 Müll kann man nicht loswerden.	Allgemein: Müll nicht weg, giftige Stoffe
d2 2.1 Mit den Verbrennungsanlagen ist gemeint, das der Müll in Form von Atomen bleibt. 2.2 S. (Pfeil nach oben)	Adäquat Teilchenebene

Ergebnis: Konzeptanwendung gelingt zuerst nicht, in d2 wird Anwendbarkeit erkannt.

Tabelle 6.67b: Antwort P23 Vergleich der Studienergebnisse

P23 verbindet in der Erstversion die allgemeine Fragestellung mit den relevanten Unterrichtsinhalten und geht auch kritisch mit dem neu gelernten Unterrichtskonzept um, die Anwendung in Bezug auf das kontextualisierte Problem gelingt vorerst nicht. Anders als in der Erststudie verwendet der Proband dann in der Zweitversion nur in Zusammenhang mit Aufgabe 2 die Teilchenebene, für den ersten Themenbereich nutzt er – fachlich völlig adäquat, aber anders als seine vorherige Herangehensweise, die Stoffebene. In diesem Sinne ungewöhnlich ist auch die Antwortebene zur Aufgabe 1.3 (Reversibilität).

Antwort Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
d1 Ja, ich glaube, dass das über irgendwelchen Umwegen möglich ist.	Ja, ohne Begründung
d2 Das stimmt (Pfeil) Kreislauf (Pfeil) in der Natur möglich oder durch geeignete Experimente.	Adäquat Kreislauf

Ergebnis: Kurze Antwort, die verdeutlicht, dass das Prinzip durchschaut wurde.

Antwort Aufgabe 3	Codierung und Analyse
d1 3.1 Die Flüssigkeit kondensiert. 3.2 Bei der Verbrennung wird das Gas in irgendein anderes Gas umgewandelt.	Sprachtonne, adäquate Unterscheidung, Umwandlung
d2 - 3.1 Die Flüssigkeit verdampft, wenn der Druck nicht mehr da ist. 3.2 richtig!	Adäquat Druck-Aggr.zustand s.o.

Ergebnis: Kurze, sprachlich unsaubere, konzeptuelle aber prinzipiell korrekte Antwort, die wenig überarbeitet wird.

Tabelle 6.67c: Antwort P23 Vergleich der Studienergebnisse

6. Die empirische Untersuchung

P23 tritt wie P6 nicht mit wirklichen Fehlkonzepten in die Studie ein, die unvollständigen oder den Kern nicht treffenden Antworten erfahren eine Neubearbeitung. Für den Fall P15 gilt das gleiche, wobei dieser Proband bei den zentralen Aufgabenteilen 1 und 2 die Teilchenebene wählt und diese in optimaler Weise erklärend nutzen kann.

Antwort Aufgabe 2 .1	Codierung und Analyse
d1 2.1I Der Müll selbst verschwindet zwar optisch , aber es entstehen Verbrennungsprodukte , vor allem Gase, die sehr schädlich sind und nicht einfach entsorgt werden können.	Adäquat Stoffebene
d2 Auf der Erde bzw. im Universum gibt es eine bestimmte Anzahl Atome. Sie können nicht verschwinden. Bei chemischen Reaktionen lösen und verbinden sie sich lediglich neu.	Adäquat Teilchenebene

Ergebnis: Vertiefung der Erklärung durch die Nutzung Modellebene

Antwort Aufgabe 2.2	Codierung und Analyse
d1 Wenn man sämtliche Verbrennungsprodukte auffängt, wäre dies mit Hilfsmitteln und teilweise viel Geduld möglich.	Reversibilität, stoffebenenbegründet
d2 Ja, denn jedes Atom bleibt im Universum erhalten.	Atomerhaltung

Ergebnis: Erklärung durch die Modellebene

Tabelle 6.68: Antwort P15 Aufgabe 2

Die angemessenen Antworten aus der Erstbefragung erfahren eine Überarbeitung. Der Proband hat nur während der Erstversion alternative Konzepte gebildet und diesbezügliche Antworten überarbeitet (Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $B \rightarrow C$ (1.1/3/5)), d.h. er tritt mit optimalen Voraussetzungen in die Zweitstudie ein. Im Anhang befindet die Deutung der Experimente zum Reaktionskreislauf (Magnesium und Kohlenstoffdioxid, vgl. Anhang II), die sein Verständnis des Kreislaufprinzips unterstreicht und als Erweiterung der kurzen Antwort 1.3d2 angesehen werden kann.

Im Ergebnis und vom Weg her teilweise vergleichbar ist der Fall P10. Auch bei ihm werden Mischkonzepte (Kategorie B) in der Erststudie hin zum adäquaten Teilchenkonzept überarbeitet, und in der Zweitstudie liegen die Antworten auf in beiden Kategorien auf angemessenem Niveau. Allerdings: Die Aufgaben 3 und die Aufgabe 1.3 können nicht bewältigt werden.

Antwort Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
d1 1.3 Nein da der Ausgangsstoff vernichtet ist.	Unumkehrbarkeit, endgültig
d2 Man den vernichteten Stoff manchmal wiedergewinnen. In der Theorie schon, aber ob's klappt?	Reversibilität, ohne Begründung

Ergebnis: Konzeptveränderung, aber uneindeutig und nicht auf prinzipiellem Niveau

Antwort Aufgabe 3	Codierung und Analyse
d1 3.1 Vielleicht siedet es sofort bei Kontakt mit der Luft. 3.2 Bei dem einen ist eine Flamme zu sehen bei dem anderen nicht.	Rolle der Luft Flamme als Erscheinung
d2 3.1 so, 3.2 so	s.o.

Ergebnis: Keine Veränderung, alternative Sichtweise bleibt akzeptiert.

Tabelle 6.69: Antwort P10 Aufgabe 1.1 und 1.3

6. Die empirische Untersuchung

Auch die Antworten der Probandin P3 zeigen die Grenzen der Anwendbarkeit der überarbeiteten Konzepte. Die Probandin hat den Bogen dreimalig bearbeitet.

Fallbeispiel P3 – Fortsetzung der Erststudie (Kap. 6.3.4.6, S. 192f)

Veränderung in der Studie 1	
Teeausguss $A \rightarrow A_{aq} + C$	Kandis $A \rightarrow C$
Von einem alternativen Stoffkonzept (Codes: A3 und A-roma) zur stofflich adäquate Sicht, ein Zusammenhang zu den Teilchen wird gesehen, aber nicht angewendet.	Von einer gegenständlich-phänomenologischen Sicht zum Diskontinuum

Tabelle 6.70a: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Reproduktiver Teil Aufgabe 1	Codierung und Analyse
d1 1.1 Wenn etwas brennt, geht es kaputt ; es wird zerstört und vernichtet . 1.2 Ja, denn bei einer Verbrennung wird etwas vernichtet. Jedoch entsteht oftmals auch ein neuer Stoff .	Gegenständlich Teilweise Edukt-Produkt
d2 1.1 - 1.2 -	s.o.
d3 1.1 Bei einer Verbrennung wird etwas zerstört . Wie wir es bei vielen chemischen Reaktionen sehen konnten. Jedoch entsteht auch immer ein neuer Stoff . 1.2 Nein, denn obwohl ein Stoff zerstört wird, entsteht ja trotzdem auch ein neuer Stoff. Denn alle Atome bleiben erhalten .	Adäquat Stoffebene Atomerhaltung

Ergebnis: Von einer phänomenologischen Sicht zur Atomerhaltung

Tabelle 6.70b: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Kontext Müll	Codierung und Analyse
d1 2.1 Es entsteht ja trotzdem ein neuer Stoff. Sei es Asche oder sonstiges. Es bleibt immer etwas übrig . 2.2 Man könnte sagen: Müll ist unzerstörbar	Reste, Asche übrig Gegenständlich: nicht verschwinden
d2 2.1 Man könnte den Müll mit einer geschlossenen Glühlampe vergleichen. Denn auch bei der Verbrennung von Müll geht nichts verloren und es wird nichts dazu gewonnen . 2.2 Man könnte sagen „Müll ist unzerstörbar“, denn wie oben genannt, entsteht bei der Verbrennung immer wieder Stoff. Es geht nichts verloren und es wird nichts dazu gewonnen.	Adäquat Erhaltung systemisch Adäquat S-Ebene
d3 2.1 und 2.2 Gleiche Meinung	s.o.

Ergebnis: Von einer phänomenologischen Sicht zum Fachkonzept der Stoffebene

Tabelle 6.70c: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

In Fall P3 wird erkennbar, dass die Probandin in beiden Studien ihre ursprüngliche Herangehensweise zur Erklärung der Phänomene, die auf der gegenständlich-phänomenologischen Ebene liegt, überarbeitet. Anhand dieses Beispiels kann man festhalten, dass Vorstellungen, denen ein echtes Fehlkonzept zugrunde liegt, bearbeitet wird. (Kategorie A1, sowie Kategorie A5, KS 1).

6. Die empirische Untersuchung

Eine derartige Überarbeitung ist in dieser Probandengruppe aber eher die Ausnahme. Die Glühlampenexperimente haben bei der Reflexion eine Rolle gespielt, die Schülerin hat nach dieser Unterrichtssequenz ihren Bogen zurückgefordert und bezieht sich auch darauf.

Wie im Ersteinsatz auch, verwendet sie die Modellebene nach individuellem Erklärungsbedarf und nicht konsequent in allen Aufgabenteilen. Der Nutzen des Atommodells wird nicht in Gänze durchschaut, wie die folgende Antwort zeigt.

Antwort Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
d1 1.3 Nein! Wenn etwas verbrannt ist, ist es eben zerstört!	A6
d2 1.3 -	
d3 1.3 Gleiche Meinung, wie auf dem alten Blatt!	A6

Ergebnis: Keine Anwendung erlernter Prinzipien

Tabelle 6.70d: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Damit zeigt die Probandin konzeptuell in beiden Studien ein vergleichbares Antwortverhalten. Abschließend zeigt die Antwort zur Aufgabe 3 allerdings, dass die Anwendung des bisherigen Stoff-Teilchenkonzepts in ganz neuen, komplexeren Zusammenhängen zum Beibehalten der ursprünglichen Herangehensweise, gegenständlich-phänomenologisch orientiert, führt:

Antwort Aufgabe 3	Codierung und Analyse
d1 3.1 Eine Flamme besteht aus brennbaren Gasen . Deshalb wird auch hier ein Gas benutzt. 3.2 Wenn das Gas so ausströmt, muss erst eine bestimmte Temperatur erreicht werden, damit sich das Gas von selbst entzündet und durch den Feuerstein wird das Gas gleich eine Flamme , so ein Gas aus dem Feuerzeug benötigt Aktivierungsenergie.	n.c Flamme als Stoff/ Erscheinung
d2 -	s.o.
d3 Gleiche Meinung	s.o.

Ergebnis: Die Konzeptanwendung gemäß A5, KS 1 ist beständig

Tabelle 6.70e: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Die Vorgänge am Feuerzeug zu thematisieren, ist ein konzeptuelles Element, die Studien inhaltlich zu verbinden. Gerade hierin arbeitet die Probandin nicht mit Hilfe des Stoff-Teilchenkonzepts, die alternative Sicht gemäß der Kategorie A5 (KS 1) bleibt akzeptiert. Hiermit kann gut verdeutlicht werden, welcher kognitiv umfangreiche Leistung die die generelle Akzeptanz von Fachkonzepten oder der reflektierte Umgang mit diesen und den ggf. eigenen alternativen ist. Hier wird deutlich, dass kontextabhängig die Fachkonzepte angewendet werden *können*, ein genereller Austausch der Alternativen gegen die Fachkonzepte, wie er kalt-kognitivistisch angenommen wird, kann Ergebnisse wie diese nicht konstruktiv erklären.

Abschnitt 2 Mischkonzepte kommen und gehen

Abschnitt a) „unerwartete“ adäquate Wege

Wie bereits genannt, geben viele Probanden am Ende der Zweitstudie adäquate Antworten, haben allerdings im Zweiteinsatz der Erststudie nicht fachlich adäquat argumentiert [5]. Unter Annahme der einfachen Prämisse, dass die Inhalte des Basiskonzepts aufeinander aufbauen, ist dies ein ungewöhnliches Ergebnis: Das Beherrschen des Konzepts chemischer Reaktionen setzt das Verständnis der vorherigen, ersten Anteile zur Klassifizierung und zum Bau von Stoffen (vgl. Kap

6. Die empirische Untersuchung

4.2 Abschnitt 1 und 2) voraus. Von welcher Art waren die alternativen Konzepte in Studie 1, sodass sie nicht zu Verständnisschwierigkeiten führten?

Vorab soll noch unterschieden werden in solche Fälle, die zwar in d2 der Erststudie nicht vollständig adäquat argumentieren, dies aber bereits in Einsatz d1 der Folgestudie tun [4] und einer Probandin, für die bei der Erststudie gleiches gilt, die aber erst im Lauf der Zweitstudie von einem alternativem Konzept zur fachlich adäquate Konzeptanwendung gelangt. (P2) Von welcher Art waren die in der Studie I erfassten Konzepte?

Fallbeispiel P2 Konzeptentwicklung in der Zweitstudie

Veränderung in der Studie 1	
Teeausguss $A_{alt} \rightarrow A_{alt} (A4+5)$	Kandis $A_{alt} \rightarrow B$
Das alternative Konzept (Codes: A4 und A5) wird konzeptuell nicht überarbeitet (trotz Neuformulierung)	Das Konzept A5 (Code: Schmelzen statt Lösen) bleibt bestehen, zusätzlich wird eine Teilchen in Kontinuumssicht entwickelt.

Tabelle 6.71a: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Antworten Aufgabe 1	Codierung und Analyse
d1. 1.1 Weil das Feuer Dinge verbrennt und sie dadurch zerstört. 1.2 Eigentlich schon, Feuer kann aber auch nützlich sein und durch zerstören eines Stoffes einen Neuen erzeugen.	Gegenständlich Zerstörung, teilweise Edukt-Produkt
1.1 Der Begriff ist gut, aber man sollte auch nennen, das zur Zerstörung immer auch eine Stoffentstehung geschieht. 1.2 wie vorne Stoffe entstehen auf Kosten der verbrannten Stoffe	Adäquat Stoffebene

Ergebnis: Unvollständiges Konzept wird vervollständigt und verallgemeinert

Antworten Aufgabe 2	Codierung und Analyse
d1 2.1 Der Müll wird ja nicht wirklich entsorgt. Müllhalden stapeln sich immer höher und beim Verbrennen bleibt Asche übrig und der Rauch verpestet die Luft. d1 2.2 Auf den ersten Blick habe ich nicht so ganz verstanden. Man könnte es mit kurzen Texten und Bildern erläutern oder wie hier in einer Klammer darunter. Man könnte auch schreiben "Müll kann man nicht entfernen"! Oder "Müll verschwindet nicht"!	Allgemein: Müll nicht weg, Reste, Asche, übrig
d2 2.1 wie vorher (Pfeil) statt des Mülls hat man die Gase und den Rauch. Alle Atome sind ja noch da. d2 2.2. Der Satz is schwer. Wenn man das in Atomen ausdrückt wird es auch nicht leichter ...(Smily)	Adäquat Atomebene

Ergebnis: Von einer phänomenologischen Beschreibung zum Konzept der Atomerhaltung

Tabelle 6.71b: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Ein qualitatives Vorverständnis, das als – an sich nicht falsche - gegenständliche Sicht und als alternatives Konzept der Kategorie „Verschwinden zu nichts/zu weniger“ (A1) beschrieben wer-

6. Die empirische Untersuchung

den kann, wird in allen Themenabschnitten differenziert zum adäquaten Konzept. Im Verlauf der Studie I wurden keine adäquaten Konzepte angewendet, z.B. beschreibt die Probandin den Löseprozess anfangs diffus mit *auskochen und herauslaufen*, wobei sie annimmt, *Aroma* sei eine *konkrete Flüssigkeit*). Im Kandisteil wird ein Mischkonzept der Kategorie B entwickelt und geht vom Schmelzen des Kandis aus, behält dies bei. Schlussendlich muss man feststellen, dass P 2 die Hypothese der Barrierenfunktion alternativer Konzepte widerlegt; dahingehend, dass eine gegenständliche Sicht und oder das nonmaterial properties Konzept ein Hindernis für den Erwerb der Kompetenz sei, chemische Reaktion zu deuten und diese auch von anderen Vorgängen zu unterscheiden. Die Antworten zu den Aufgaben 1.3 und 3 unterstreichen dies.

Antworten Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
d1 1.3 Ich denke nicht, der Stoff ist verbrannt, also zerstört. Ein Blatt Papier z.B. wird schwarz und zerfällt, Holz ebenfalls. Übrig bleibt nur Asche. Man kann aber auch nicht jeden Stoff verbrennen	Gegenständlich Zerstörung, Reste Asche übrig
d2 Doch (Pfeil) Magnesium und Kohle (Pfeil) Versuch	Adäquat Kreislauf

Ergebnis: Von einer phänomenologischen Feststellung zum Kreislaufprinzip

Antworten Aufgabe 3	Codierung und Analyse
d1 3.1 Das Gas verdunstet , sobald es an die Luft kommt. d1 3.2 Gelangt es durch Ausströmen an die Luft, verdunstet es und verteilt sich. Entzündet man es, verbrennt es.	Adäquat Verdunsten, aber Rolle der Luft? Adäquate Unterscheidung
d2 3.1 wie vorher 3.2 Die Atome stecken wenn es brennt in anderen Stoffen als im normalen Gas - das ist der Unterschied?	s.o. Adäquat Atomebene

Ergebnis: Chemische Reaktionen können abgegrenzt werden, unter Nutzung der Atomebene

Tabelle 6.71c: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Deutlich wird, dass die Konzepte am Ende der ersten Studie bei der Erklärung dieser Themen keine Auswirkung haben, die Probandin hat *im Lauf der zweiten Unterrichtseinheit* diese konzeptuellen Unzulänglichkeiten im Hinblick auf das Verständnis chemischer Reaktionen behoben.

Andere Fälle zeigen, dass die Fehlkonzepte am Ende der Studie bereits nach der ersten Unterrichtssequenz zum Thema „Brände sind Verbrennungen“ für die Probanden bei der Beantwortung eine untergeordnete Rolle spielen. Sind diese Konzepte deshalb nicht mehr vorhanden, sodass hier Conceptual Change bzw. Conceptual Growth stattgefunden hat? Die Bearbeitung der Probandin P1 soll exemplarisch dargestellt werden und unter Berücksichtigung von Unterrichtsdialogen interpretiert werden:

6. Die empirische Untersuchung

Fallbeispiel P1: Konzeptentwicklung in der Zweitstudie

Veränderung in der Studie 1	
Teeausguss $A_{aq} \rightarrow A_{aq}$	Kandis $A_{aq} \rightarrow B$
Die adäquate Beschreibung auf der Stoffebene wird erklärend ausgebaut	Eine Teilchen- in- Kontinuumssicht wird in der d2 Version entwickelt, zusätzlich wird in der d2 Version vom Aggregatzustandwechsel des Kandis ausgegangen.

Tabelle 6.72a: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Antworten Aufgabe 1	Codierung und Analyse
d1 1.1 Weil bei der Verbrennung der Ausgangsstoff „zerstört“ wird und ein neuer Stoff entsteht. 1.2 Ja, weil eben gerade das passiert. Der Stoff wird zerstört.	Adäquat S-Ebene
d2 1.1 Ich sehe das immernoch so weil wir im Unterricht bei chemischen Reaktionen (Verbrennungen) immer ein Edukt und ein Produkt haben. 1.2 Ja ich halte es immer noch für sinnvoll.	Adäquat S-Ebene

Ergebnis: Akzentuierung der adäquaten Beschreibung gemäß Kat. A

Antworten Aufgabe 2	Codierung und Analyse
d1 2.1 Das schon, aber durch die Verbrennung gelangen giftige Gase in die Umwelt, zerstören Bäume, Tiere, die Ozonschicht , etc. 2.2 Nein, ich finde man könnte es gar nicht besser beurteilen.	Giftige Stoffe
d2 2.1 Meine Meinung hat sich dies bezüglich nicht geändert. „Kohlenstoffkreislauf“ 2.2 --	Giftige Stoffe Kreislauf

Ergebnis: Die Allgemeinaussage wird um die sinnvolle Assoziation zum Fachkonzept bereichert.

Tabelle 6.72b: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Zur Aufgabe 2 kann die Antwort unter Zuhilfenahme der Antwort Aufgabe 1 als richtig angesehen werden, auch wenn die Aufgabe 2 keine Interpretation hinsichtlich der Quantität zulässt. Der kurze Zusatz in der d2 Version verdeutlicht, dass die Probandin hier das adäquate Konzept assoziiert, auch wenn sie dieses Konzept nicht ausführt. In Studie 1 zeigt die Probandin Schwierigkeiten, die Ebene der Stoffe von der der Teilchen zu trennen. Diese Schwierigkeit umgeht sie hier, indem sie die neuen Anteile des Stoff-Teilchenkonzepts, die Atome, nicht verwendet. Bereits bei der Hospitation und der Videographie habe ich die äußerst aktive Probandin als „stoffebentreu“ bezeichnet. Diese Treue hat zur Folge, dass Aspekte nicht präzise erfasst werden, der nötige Ebenenwechsel gelingt schwerlich. Ein Zitat aus dem Unterricht, 21. Stunde, zum Kohlenstoffkreislauf verdeutlicht dies:

Aufgabe: „Im Text heißt es findet ein ständiger Austausch von Kohlenstoff statt“ Überlege genau, was damit eigentlich gemeint ist.“

P1: Ja, Kohlenstoff ist ja ein Feststoff, eigentlich wird Kohlenstoffdioxid- das Gas ausgetauscht.“

Lehrer: T[...]:

T[...]: Nur die gasförmigen Teilchen des Kohlenstoffs werden ausgetauscht.

Lehrer: M[...]

M[...]: (*liest vor*) Fortlaufend und selbstständig gehen die Kohlenstoffatome Verbindungen mit anderen Atomen ein. So ist eine der Lieblingsverbindungspartner des Kohlenstoffatoms das Sauerstoffatom. Zusammen bilden sie ein Kohlenstoffdioxidteilchen. Die Verbindungen lösen sich aber wieder auf, wenn der Kohlenstoff wieder ein Element bildet oder die Kohlenstoffatome neue Verbindungen mit anderen Stoffen der Luft, im Wasser oder mit Feststoffen eingehen.

-längere Pause-

Lehrer: Es gibt also eigentlich zwei verschiedene Richtungen der Lösung...

P1: An sich ist Kohlenstoff ein fester Stoff, er muss gasförmig sein, damit er überall hinkommt. //

T[...]: // gasförmige Teilchen [habe ich] schon gesagt.

M[...]: Ich habe mir nur die Ebene der Teilchen angesehen.

Lehrer demonstriert Glas mit gepulverter Kohle: Kohlenstoffkreislauf...

P1: Es kann ja nicht mit Pulver geschehen

Lehrer: Was wird ausgetauscht?

I[...]: Kohlenstoffatome

[...]

Später wird ein Tafelbild über den Stoffkreislauf erarbeitet.

P1: Ja, ... wir wollten eigentlich über den Kohlenstoffatomkreislauf sprechen, und // (wir reden) gerade die ganze Zeit über Kohlenstoffdioxid //

Lehrer: // Richtig. [..]

Lehrer: Moment, im ersten Teil, A[...], was findest Du noch mal komisch?

P1: Naja, wir hatten gesagt, wir wollten über den - eh - Kohlenstoffatomkreislauf reden, und nun benutzen wir jetzt immer das Wort Kohlenstoffdioxid.//

J[...]: Da müssen da immer Teilchen (). COzwei ().

Lehrer: Melden, dann kommst Du auch dran. ... U[...].

U[...]: Aber der Kohlenstoff ist ja ... sehr viel im Kohlenstoffdioxid enthalten, oder hauptsächlich.

Lehrer: Wir müssen die Ebene wechseln wieder. ... Wir betrachten dort - an der Tafel stehen die Stoffe, aber was wird mit den Stoffen gleichzeitig immer transportiert? Was transportieren die Stoffe also und unter anderem auch das Kohlenstoffdioxid? Geht gar nicht anders. Was müssen sie tun? ... M[...].

M[...]: Die Teilchen und die Atome, die werden mittransportiert.

Lehrer: Richtig. Ja, logisch. Wenn wir einen Stoff transportieren, transportieren wir gleichzeitig Teilchen, und mit den Teilchen auch die Atome.

Abb. 6.17: Transkriptsequenz einer Unterrichtsstunde (P1=A), Transkriptionsregeln siehe Anhang V

Der Dialog zeigt die Schwierigkeiten des Wechselspiels, P1 akzeptiert sehr wohl, dass Prozesse auf der Atomebene beschrieben werden (müssen). Der Perspektivwechsel, das Trennen und auch das Aufeinander-Beziehen „der beiden Welten“, bereitet ihr Probleme.

6. Die empirische Untersuchung

Für die Deutung von Phänomenen, bei denen vorunterrichtliche Konzepte radikal geändert werden müssen, z.B. bei der Kategorie A6, und bei denen das Atommodell hilfreich ist, erreicht die Probandin kein Konzeptwachstum. Die Aufgabe zu Reversibilität verdeutlicht dies.

Antworten Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
1.3 Nein. Wenn einmal etwas total zerstört ist kann man es nicht wieder in den Ausgangsstoff zurück wandeln .	A6 Unumkehrbarkeit, endgültig Umwandeln
II Nein, man kann es nicht wieder zurück gewinnen .	s.o.

Ergebnis: Keine Veränderung

Tabelle 6.72c: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Probandin 1 ist kompetent - in Grenzen. Sie bewegt sich gedanklich sicher innerhalb der Stoffebene, dazu geben die Antworten des Bogens Anlass. Auch die wichtige Unterscheidung der Vorgänge am Feuerzeug gelingt, einer der Vorgänge wird aber mit einem alternativen Konzept begründet.

Antworten Aufgabe 3	Codierung und Analyse
3.1 Im Inneren des Feuerzeugs muss sich etwas so stark erwärmen das es das Gas zum Sieden bringt. Diese Wärmequelle muss dann auch noch die Entzündungstemperatur dieses Stoffes erreichen.	Wärmequelle Adäquate Unterscheidung
3.2 Lässt man das Gas so ausströmen verteilt es sich im Raum . Entzündet man es mit einem Feuerstein verbrennt es vorher .	
3.1+3.2 -	s.o.

Ergebnis: Keine Veränderung

Tabelle 6.72d: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II

Konzeptentwicklung verläuft, wie der Fall P1 veranschaulichen soll, nicht linear durch Tausch eines alternativen Konzepts gegen ein neues, die Konzepte können sehr gut nebeneinander existieren. Neben der Kenntnis der objektiv wie subjektiv beschriebenen und im Unterricht untersuchten Stoffeigenschaften kann bei Bedarf eine dubiose Wärmequelle vorliegen, P1 zieht für ihre Vorstellung ein Konzept heran, (vgl. A3, Kategoriensystem 1), das im Unterricht nicht als Anteil des Basiskonzepts besprochen wurde. Das sozial konstruktivistische Verständnis von *conceptual change* scheint für solche Fälle das am besten geeignete Erklärungsmodell zu sein. Es besagt, immer kompetenter entscheiden zu können, welches Konzept unter Berücksichtigung der fachlichen Perspektive das Geeignete ist. Es bedeutet, das metakognitive Werkzeug so zu optimieren, dass innerhalb der (vorhandenen oder generierbaren) Konzepte auf das sinnvollste zugegriffen wird.

Mit den Ergebnissen P1 sind die Fälle P22 und P16 (vgl. Anhang IV.2) vergleichbar.

Abschließend soll auf das Fallbeispiel P14 eingegangen werden. Im Kapitel 6.3.4.6 wurde P14 dargestellt (S.193). „*Mischkonzepte kommen und gehen*“ in der Weise, dass ein vorunterrichtliches Teilchenkonzept der Kategorie B einerseits am Beispiel *Kandis* überarbeitet wurde, im anderen Beispiel (Teeaufguss) erst im Zuge der Studie generiert wurde. Die Antworten der Zweitstudie weisen keine alternativen Vorstellungen auf und der Proband entwickelt, wie auch die Unterrichtsdokumentationen belegen können, Vorstellungen unter Nutzung der Atomvorstellung. Die Mischkonzepte der Kategorie B haben demnach keinen Einfluss gehabt auf den Erfolg in der

6. Die empirische Untersuchung

Folgeinheit. Allerdings: die stärkere Nutzung der Modellebene (als bei P1,14,22) lässt trotzdem das Konzept zur Umkehrbarkeit unangetastet:

Antworten Aufgabe 1.3	Codierung und Analyse
d1 1.3 Ich glaube nicht. Sonst könnte man aus einem verbrannten Stück Holz , das dadurch zu Asche wird, normales Holz zurückgewinnen . Außerdem gehen ja auch einige Stoffe zu Gasen über . Es wäre also nicht denkbar.	A6, Gegenständlich Gase
d2 -	s.o.

Ergebnis: Keine Veränderung

Tabelle 6.73: Antwort P14

P17 und P19 zeigen wechselhafte, uneindeutige Ergebnisse: Sie beenden die erste Einheit mit alternativen Konzepten, in der Zweitstudie zeigen sie Teilerfolge, in anderen Aufgabenteilen bleiben alternative Konzepte bestehen. P17 kann auch als Beispiel für die innere Widersprüchlichkeit der Antworten und der Konzeptverwendung dienen. PFUNDT und DUIT weisen darauf hin, dass Widerspruchsfreiheit für das Erklärungsverhalten von Schülern häufig kein Kriterium ist. Was in einem Fall als allgemeingültige Interpretation aufgefasst wird, kann in einem anderen Fall beispielsweise einer konkreten anderen Anwendung ausgeschlossen bzw. als ungültig erklärt werden. Derartige Inkonsistenzen erschweren allgemein die Beforschung übergeordneter Konzepte. Fachkonzepte stehen *neben* der vorunterrichtlichen Vorstellung.

Abschnitt 2b) unerwartet fehlende Konzeptentwicklung

Hierfür gibt es zwei Fallbeispiele: In Studie I gibt die Probandin P20 in der Version d2 adäquate Antworten auf Teilchenebene, dies kompetent für beide Themenbereiche. In Studie II gibt sie für alle Themen Antworten, denen Fehlvorstellungen zugrunde liegen (Codes: gegenständlich, Reste/Asche/übrig). Auch die Unterscheidung der chemischen Reaktion vom Aggregatzustandswechsel gelingt nicht, da beides als chemische Reaktion gedeutet wird (vgl. Anhang IV, P20). P24 bearbeitet die Themen in Studie I gemäß Kategorie A und C fachlich adäquat. Die unterrichtsnahe Aufgabe 1 kann in Studie I bereits in der Erstversion erfolgreich bearbeitet werden, die anderen Teile bleiben fachlich nicht angemessen und enthalten Fehlvorstellungen. Diese Einzelfälle könnten mithilfe der Videographie weiter untersucht werden, um Rückschlüsse auf die Gründe zu ziehen.

Abschnitt 3: einseitige Resonanz und ausbleibende Resonanz

Die Antworten von 14 Probanden weisen unter anderem oder ausschließlich alternative Konzepte oder Unvollständigkeiten auf. Einige Probanden sind bereits angesprochen worden. Lässt man motivationale Gründe beiseite, liegt hier kein bzw. wenig Konzeptwachstum vor. Gemäß Tabellen 6.61 tritt die Gruppe von acht Probanden die *beide* Themenbereiche nicht erfolgreich bearbeiten, besonders hervor. Gibt es bei ihnen einen Zusammenhang zwischen der Art von Vorstellungen und Konzepten der Erststudie und der Konstanz der Antworten in der Zweitstudie?

In der genannten Gruppe haben vier Probanden auch in der Erststudie ausschließlich alternative Konzepte entwickelt, diese sind in zwei Fällen ausschließlich der Mischkonzeptkategorie B zuzuordnen, in zwei Fällen geteilt. Für diese Probanden hat sich die fehlende Kompetenzentwicklung in Studie I fortgeführt. Ihnen stehen aber, wie im vorherigen Abschnitt zwei dargestellte eine etwas größere Gruppe [5] gegenüber, die trotz nicht übereinstimmender Resonanz auf die erste Unterrichtseinheit im Zuge der zweiten Einheit erfolgreiche Konzeptentwicklungen geleistet haben. Auffällig ist, dass in dieser Gruppe die Hybridkonzepte aus Stoff- und Teilchenebene gehäuft auftreten. Auch hier kann man gegenteilig anfügen, dass in neun anderen Fällen von

6. Die empirische Untersuchung

Mischkonzepten der Kategorie B in Studie I Konzeptwachstum erfolgte: Diese Konzepte können, müssen aber keine Lernbarriere sein.

Eine zweite Gruppe dieser Fallauswahl bildet sich aus vier Probanden: Hier sind die Ergebnisse in beiden Studien so wechselhaft und widersprüchlich, dass keine oder nur eine generalisierende Interpretation möglich ist: Die Übersicht über die Codes lässt feststellen, dass bei allen mehrere alternative Konzepte verwendet wurden, darunter die jener Kategorien, die in den Kap. Kap. 3.3.1 und 3.3.2 als Lernbarrieren angesehen wurden. Die Prognose der Wirkung stimmt somit für diese Fälle.

Fachliche Konzepte wie das der Atomvorstellung stellen anscheinend eine eigene Kategorie dar. Alle Probanden dieser Gruppe erklären Sachverhalte *auch* mithilfe von Atomen, d.h. neben anderen alternativen Konzepten nutzen sie das Neue, das im Lernangebot bereitgestellte Atommodell. Das Zitat von P11 verdeutlicht dies:

„Die Atome aus der Flüssigkeit vermischen sich mit den Atomen aus der Luft und wird so gasförmig. Beim entzünden findet eine chemische Reaktion statt. Das Gas wird verbrannt. Es entstehen Wärme und ein neues Gas. Wenn man das Gas so ausströmen lässt wird es nicht zerstört und verteilt sich im zur Verfügung stehenden Raum.“ (P11: Aufgabe 3.2d2)

Während die zentralen Aufgaben 1 und 2 nicht mit dem fachlichen Stoff-Teilchenkonzept in bezug auf die chemische Reaktion verbunden werden, wird am Ende des Bogens, wo es wenig „Nutzen“ bringt, der Modellgedanke eingearbeitet, auch dies gelingt nur für die Teile, die bereits mit dem einfachen Teilchenkonzept hätten beantwortet werden können. Allerdings gelingt – und dies ausschließlich hier, die Anwendung des Reaktionsverständnisses auf der Stoffebene.

6.5.4.10 Reversibilität und Vorgänge am Feuerzeug – ein quantitativer Überblick

Abschließend sollen auch die Veränderungen und Stabilitäten der weiteren Aufgaben quantitativ aufgestellt werden. Auf die Frage, ob Verbrennungsvorgänge wieder rückgängig zu machen seien, geben die Antworten folgende Verteilung.

Anzahl von Veränderungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Adäquat Reversibilität → Adäquat Revers.	Das adäquate Konzept der Wiedergewinnung wird ausgebaut.	2	8	15,23
Darunter → Atomerhaltung	Die Atomerhaltung wird als Begründung herangezogen.	1	4	P15
A6+ div. → adäquat Reversibilität	Endgültigkeit und Unumkehrbarkeit werden gegen prinzipielle Widergewinnung ausgetauscht.	2	8	P2, P10
A6 → teilweise reversibel	Endgültigkeit und Unumkehrbarkeit sind mehr allgemeingültig.	1	4	P19
A6 + gegenständlich → ja, ohne Begründung	Die Gegenständliche Zerstörung wird nicht mehr als endgültig angesehen, Begründung nicht möglich.	1	4	P9
A6 ohne Begründung → irreversible Eigenschaftsänderung	Die Begründung wird in d2 geliefert: Die Eigenschaften des Stoffes sind so zerstört, dass diese nicht wiederherzustellen sind (Bezug A4, KS 1).	1	4	P17
Summe Veränderungen		7	28	

6. Die empirische Untersuchung

Anzahl von Stabilitäten von Kategorien				
Adäquat Reversibilität →I Adäquat Reversibilität	Es wird in der d1 Version stoffebenenbegründet von der Reversibilität ausgegangen.	2	8	P6,13
Darunter: begründet durch Teilchenebene	Der Proband nutzt bereits in d1 die Zusammensetzung der Teilchen und diesbzgl. Veränderungen	1	4	P13
A6 →I A6	Endgültigkeit und Unumkehrbarkeit bleiben weiterhin , (teils ohne Begründung, N=2) das akzeptierte Konzept	12	48	P1,3,7,8,11,12,14,16,18,20,22,24
Darunter auch: Gase →I Gase	Die Endgültigkeit wird u.a. mit den Entstehen von Gasen begründet	4	16	P 11,14,16,22
Andere Alternativen →I		4	16	P4, P5,P20, P25
Darunter Umwandlung →I	Das Umwandeln wird hier als nicht zurückverwandelbar / umwandelbar benutzt	1	4	P20
-	Sprachtonne	1		P21
Summe Stabilität		18	72	
Summe adäquater Antworten		7	28	

Tabelle 6.74: Veränderungen und Stabilitäten

Die Antworten der Probanden beziehen sich auf lebensweltliche, organische, komplexe Brennmaterialien wie Holz bzw. daraus gebildete Gegenstände. Beispiele aus elementaren oder einfachen Reinstoffen wie im Unterricht verwendet, werden nur selten in die Überlegungen einbezogen. Insgesamt wird in der Version d1 wie auch in der Version d2 größtenteils von der Irreversibilität von Verbrennungsvorgängen ausgegangen. Sieben Probanden formulieren in d2 stoffebenen- oder teilchenebenenbegründet, dass Edukte wieder gewonnen werden können. Es handelt sich um Probanden, die in den beiden anderen Themenbereichen ebenfalls erfolgreich waren – und zwar dort unter Berücksichtigung der Atomebene, so dass diese Inhalte als Verständnisvoraussetzungen gelten können.

Die anderen Probanden gehen fast ausnahmslos davon aus, dass eine Rückgewinnung desselben Gegenstandes oder derselben Stoffportion nicht möglich ist, dies ist korrekt. Der Übergang zur abstrakten, prinzipiellen Rückgewinnung aufgrund kennen gelernter Erhaltungsprinzipien von Materie und Atomen findet dann kaum statt.

Einerseits war diese Aufgabe die abstrakteste und damit vom Schwierigkeitsgrad die anspruchsvollste, andererseits sollte der Unterrichtskontext gerade die Betrachtung der Teilchenebene sinnstiftend einbetten, um komplexe, abstrakte Überlegungen wie diese verstehbar zu machen. Ergebnis ist demnach, dass hier mit Ausnahme zweier Kandidaten diese Anwendbarkeit der Atomvorstellung und der schlussfolgernden Erhaltungsprinzipien nicht gesehen wurde.

Man muss nicht zwangsläufig, wie einige Fallbeispiele widerlegen, davon ausgehen, dass dieses Konzept nicht als Interpretationsschema verinnerlicht wurde. Wie bereits bei den Fallbeschreibungen deutlich wurde, geht es um die Kompetenz, die Nutzbarkeit und Anwendbarkeit des Konzepts zu erkennen. Ohne Abkehr von der Gegenstandsebene ist diese Abstraktion nicht zu leisten.

Bei Folgeanalysen (z.B. der Videographie der Einheit) sollte untersucht werden, ob und von welcher Art die Trennung von Gegenstandsebene und Stoffebene aber auch die ihrer Vernetzung innerhalb der Einführung von Stoffkreisläufen und ihrer Interpretation stattfand.

6. Die empirische Untersuchung

Ziel der Aufgabe 3 war es zu untersuchen, ob die chemische Reaktion von der Aggregatzustandsänderung unterschieden werden kann. Damit sollte zugleich das Auftreten von Konzepten gemäß Kategoriensystem 1, die hier ihre Fortführung erfahren könnten, erfasst werden. Dies gelingt, wie die Zitate in Kap. 6.5.4.3 verdeutlichen. Der Lernbegleitbogen wurde in dieser Studie erst nach der Begegnungsphase und der ersten Erarbeitung der chemischen Reaktion eingesetzt. Die Probanden haben deshalb bereits alle Voraussetzungen, diese Aufgabe adäquat zu beantworten. Dies könnte erklären, weshalb dieser Teil des Untersuchungsinstruments ausgesprochen selten verändert worden ist [7]. Da die Antworten bei alternativen Sichtweisen konzeptuell beieinander liegen, werden die Aufgabenteile 3.1 und 3.2 gemeinsam abgehandelt.

Anzahl von Veränderungen				
Fall	Beschreibung	N	%	Probanden
Adäquate Unterscheidung → aq	Ausbau und Vertiefung der richtigen Antwort	5	20	2, 6,13,15,23
Andere →	Andere Wege der Veränderungen werden zusammengefasst (s.u.)	2	8	17,25
Summe Veränderungen		7	28	

Tabelle 6.75a: Veränderungen und Stabilitäten

Bei den Wegen der Veränderungen handelt es sich um den bereits beschriebenen Fall P17, (Aggregatzustandwechsel korrekt, anderer Aufgabenteil nicht codierbar) sowie um P25, bei dem in den zwei Einsätzen des Bogens drei alternative Konzepte auftreten (Code: Wärmequelle, Code: falsche chemische Reaktion, Code: Flamme als Erscheinung), eine fachlich angemessene Antwort gelingt P25 demnach nicht. Daher sind innerhalb der Gruppe der Veränderungen fünf Fälle adäquater Beantwortung.

Anzahl von Stabilitäten von Kategorien				
Adäquate Unterscheidung →I	Die chemische Reaktion wird dahingehend unterschieden, dass die Stoffhaltung von der Stoffzerstörung unterschieden wird	9	36	P1,2,7,11,12,14,16,19,22
A5 Flamme als Erscheinung/Phänomen →I	Die Vorgänge werden nicht hinsichtlich ihres Stoffumsatzes zielführend erklärt, sondern phänomenologisch beschreiben	8	32	P3,5,9,10,18,20,24,25
3.1 Wärmequelle →I	Die (u.a.) richtige Nennung des Verdampfens wird falsch begründet.	3	12	P1,5, 22

6. Die empirische Untersuchung

3.1 adäquat Druckveränderung →I	Die richtige Nennung des Verdampfens wird auch korrekt begründet.	5	20	6,12,13,14,15
3.1 Rolle der Luft →I	s.o., dabei soll die Luft, manchmal der Sauerstoff die Ursache sein.	7	28	P2,9,10,11,16,17,21,24
3.1 falsch chem. Reaktion →I	Das Ausströmen wird als Reaktion gedeutet	4	16	P7,19,20,25
Nicht kategorisierbar, und andere →I	In der Gesamtheit der Aufgabe3 liegt keine nennenswerte codierbare Aussage	3	12	P4,8,21
Summe adäquater Antworten		14	56	

Tabelle 6.75b: Veränderungen und Stabilitäten

Bei den Stabilitäten sind Mehrfachnennungen möglich (daher Summe $N > 25$, vgl. Tabelle 6.75b), da beispielsweise die Vorgänge zwar korrekt unterschieden werden können, aber für die Aggregatzustandsänderung unpassende Gründe genannt werden. Tatsächlich kann die geringe Veränderungsrate oft auf die richtige Antwort bereits im Einsatz d1 zurückgeführt werden. Einerseits hat somit die Einheit „Der Vorkoster ...“ gute Grundlagen gelegt, andererseits hat die Sequenz des ersten Zyklus Brände, die direkt vorher aufgrund von Schülervorstellungen diese Unterscheidung anhand einfacher Verbrennungen untersuchte, Wirkung gezeigt (vgl. Verlauf der Einheit).

Eine Reihe von Antworten für die Aufgabe 3.1 zeugt von adäquaten Konzepten insoweit, dass vom Verdampfen bzw. Verdunsten des Stoffes ausgegangen wird, dies geschieht nach einigen Annahmen allerdings nicht aufgrund des Druckausgleichs, sondern aufgrund des Kontakts zur Luft. In Anlehnung an beide Kategoriensysteme wird der Luft eine fachlich nicht entsprechende Rolle zugeschrieben: Es ist ein Medium (soweit korrekt), das scheinbar für den für den Prozess verantwortlich ist. Hier fehlt die Systematik. Entweder, die Probanden meinen den Ablauf einer chemischen Reaktion, dann wird im Sinne des Kategoriensystems 1, Kategorie A6 Überinterpretation physikalischer Vorgänge, interpretiert und zugleich der Kategorie A5 des zweiten Kategoriensystems, die dies dann als unsystematisches Konzept einordnet. Wenn dies im anderen Fall *keine* chemische Reaktion sein soll, dann sind die Vorstellungen phänomenologisch –plakativ beschrieben, wie es die Kategorie A5 beschreibt. Damit verbindet sich keine systematische Sicht (Zustandsänderung aufgrund der Änderung der für die Eigenschaften des Stoffes relevanten Bedingungen), sondern eine konkrete „Wahrnehmung“, die dann nur scheinbar begründend eingesetzt wird. Die Veränderung eines Mediums wird in diesem Verständnis fälschlicherweise zur *Ursache*.

Ebenso sind Formulierungen die weniger vom Prozess sondern von seiner Gegenständlichkeit ausgehen ("Flüssigkeit wird zu Gas, es entsteht Gas") dieser Kategorie A5 zuzuordnen: Es geht nicht um den Stoff, sondern um die Erscheinung (vgl. Kap. 3.2.2.).

Am deutlichsten tritt dieses Konzept in bezug auf die Flamme und das Entzünden auf. Die Stoffebene wird bei diesen Antworten überhaupt nicht berücksichtigt, *die Flamme, der Funken und das Zünden* sind in den Konzepten dieser Probanden eigenständige und die einzigen erläuterswerten Inhalte. Im Sinne STAVYS wird der Prozess des Ausströmens mit internen Kräften, hier einer Wärmequelle, begründet (A3, Kategoriensystem1), das Konzept ist stabil.

Die Aufgabe kann – insbesondere wenn sie in anderen Erhebungen vor Beginn der Einheit eingesetzt wird, hervorragend alternative Vorstellungen hervorlocken und sie für die Reflexion bereitlegen.

Die Analyse der Lernbegleitbogenergebnisse liefert viele Ergebnisse, die an größerer Stichprobe untersucht werden können. Die Darstellung der Ergebnisse dieses Teils der Implementationsstudie mit größerer Stichprobe wird im Rahmen anderer Arbeiten stattfinden und ist nicht mehr Bestandteil dieser Promotion.

Nach Abschluss der Analysen wird das Basiskonzept Stoff- Teilchen nunmehr eine neue Ebene erhalten, die der *Gegenstände, Körper, Dinge* (vgl. Kap. 7). Auf der Basis dieser Auswertung ist für die Analyse eines weiteren Einsatzes des Lernbegleitbogens ein operationalisierter Codierschlüssel entwickelt, ähnlich wie er für die Daten der Zweitstudie genutzt wurde (vgl. Kap. 6.4). Der Anhang IV.4 enthält dieses überarbeitete Codesystem. Beide Codesysteme werden dort auch zusammengeführt, so dass als Ergebnis der Arbeit neben den Kategoriensystemen der Kap. 3.3 auch eine geschlossene standardisierte Auswertungsgrundlage zur Verfügung gestellt wird. Die quantitative Codierung verlangt zwecks Handhabbarkeit und Verwaltung der Daten selbstverständlich eine Vergrößerung der Daten, wie an der Zusammenfassung der Codes nachzuvollziehen ist.

Die Beurteilungen der Kategorien aus dem Kapitel 3.3.2 sind mit dieser Studie geprüft worden.

7. Der Ertrag des Vorhabens

Das dokumentierte Forschungsvorhaben wurde auf der Basis des Forschungsmodells der Didaktischen Rekonstruktion entwickelt. Dabei gliedert sich das Vorhaben in den *theoretischen* Teil, der als ein erster Turnus durch die Themenfelder der drei Seiten des Modells angesehen werden kann (vgl. Abb. 7.1), und den *empirischen* Teil, der aus zwei Fallstudien und einer Folgeuntersuchung besteht.

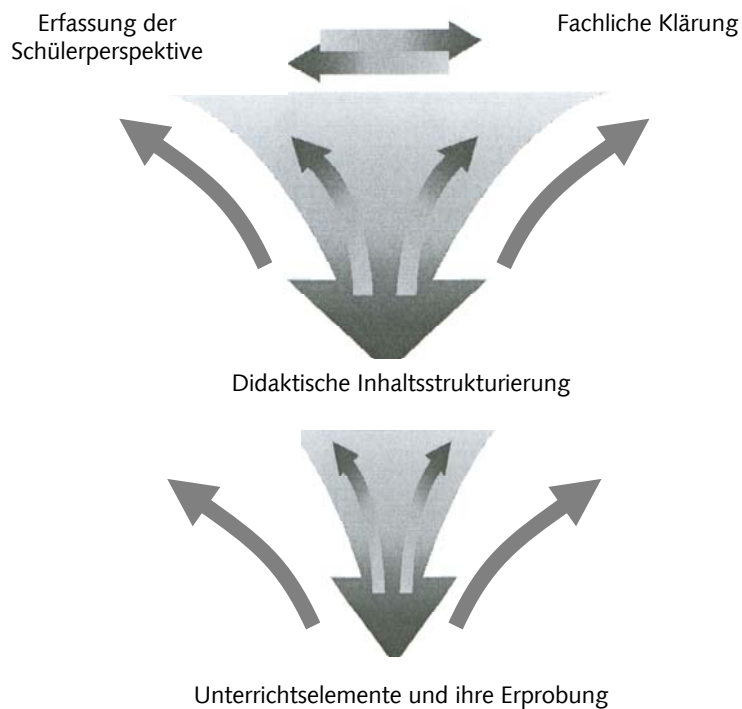


Abb. 7.1: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion in der Rückschau

Im letzten Teil dieser Arbeit wird in bezug auf den Forschungsgewinn resümiert, eine Rückschau auf die in Abbildung 7.1 genannten Forschungsfelder gehalten. Vor dem Hintergrund der Forschungsinteressen (Kap. 6.2) innerhalb der ChiK- Konzeption und in bezug auf das Forschungsmodell Didaktische Rekonstruktion ist dies ein Prozess, der mit den zurückgerichteten Pfeilen der Abbildung 7.1 veranschaulicht werden kann: Die Arbeit hat Output in den verschiedenen Domänen des Modells ergeben. Die rekursive Vorgehensweise des Forschungsprozesses führt auch dazu, dass neue Aufgaben formuliert werden. Und natürlich ist das Modell selbst zu reflektieren: Hat es bei der Beantwortung der Forschungsinteressen Hilfestellung gegeben, war es tauglich?

7.1. Der Forschungsgewinn innerhalb der Felder des Modells

Die Bearbeitung der Schülerperspektive ist in diesem Vorhaben anders geartet als in solchen, bei denen eine *Bestandsaufnahme* zu den Schülervorstellungen und -konzepten erforderlich ist (vgl. Kap.2). Ähnliches gilt für die fachliche Klärung im originären Sinn. Sind die abduktiven Schritte, die aufbauend auf die vorhandene Vorarbeit gemacht wurden, konstruktiv gewesen? Das Modell hat zur Direktive, *schulnahe* Lehr-Lernforschung zu betreiben. Unerlässlich ist demnach hier zu fragen, welcher Output auf der Ebene von Fachunterrichtswirklichkeit von Schülern und Lehrern gefunden werden kann.

Die Kategoriensysteme zum Stoff-Teilchen Konzept

Die Kategoriensysteme können in ihrer inhaltlichen und methodischen Dimension beurteilt werden. Im empirischen Teil der Arbeit haben sich die Systeme als tauglich erwiesen.

Die induktive Methodik der Codierung (vgl. Kap. 6.3) führte dazu, dass die Codes auf die Konzepte der Unterkategorien in den Systemen zurückgeführt werden mussten, dies ist gelungen. Konkret auf die Themenkomplexe sind neue Beispiele gefunden worden, die das Kategoriensystem in seiner beschreibenden Funktion unterstützen. Methodisch unproblematisch ist, dass es zwischen den Kategorien Überschneidungen geben kann (z.B. die Annahmen über Stoffe und stoffunabhängigen Eigenschaften (nonmaterial properties). Abhängig vom Kontext haben die Konzepte unterschiedlichen Status bezüglich der Häufigkeit ihres Auftretens und ggf. ihrer Problematik, hier bestätigten sich Vorannahmen.

In der inhaltlichen Dimension kann ein ebenso positives Resümee gezogen werden. Zwar deckt der Einsatz des Lernbegleitbogens nicht *alle* möglichen kategorialen Konzepte ab, aber wesentliche, die zu den fachlichen Konzepten in Beziehung gesetzt werden müssen. Um eine bessere Einbeziehung der Vorstellungen über Gase und dahinter stehenden Konzepten zu erhalten, ist der Lernbegleitbogen für die Folgestudie mit größerer Stichprobe erweitert worden.

Auf der Basis der Kategoriensysteme und des formulierten Basiskonzepts wurden Codiersysteme entwickelt, die nach Praxiseinsatz optimiert wurden und die auch die Grundlage für quantitative Analysen sein können (vgl. Anhang IV.4).

In den Kategoriensystemen wurden jeweils Beurteilungen über die Wirkung der Konzepte für das Lernen im Anfangsunterricht gegeben. Die Tabellen 7.1a und b informieren zusammenfassend, ob die Urteile empirisch bestätigt haben oder nicht.

Kategorie	Zusammenfassung der Beurteilung (vgl. Kap 3.3.1)	Fazit auf Basis der empirischen Ergebnisse
A1: Verschwinden zu nichts, zu weniger	Das Konzept wurde als möglicherweise lernhinderlich beurteilt.	Beurteilung kann weder belegt, noch widerlegt werden.
A2: Verdünnungs- Verdichtungskonzepte	Hierzu war keine abschließende Beurteilung möglich.	Es ist keine Schlussfolgerung formuliert, da Codierungen dieser Kategorie kaum aufgetaucht sind.
A3 Mechanische, Kraftbegründete Konzepte, Animismen	Die Konzepte wurden als ausbaufähig angesehen.	Die Konzepte treten häufig auf, sie sind für das Basiskonzept Energie stark relevant, für das Stoff- Teilchenkonzept weder hinderlich noch förderlich.

7. Der Ertrag des Vorhabens

A4: Nonmaterial properties	Laut Beurteilung könnte das Konzept lernhinderlich sein.	Für komplexe Phänomene wie beim Teeaufguss bestätigt sich die Stabilität, für einfachere Lösungsphänomene (Kandis) ist es veränderbar (durch die Nutzung von Modellen)
A5: Phänomenologisch-gegenständliche Sicht	Die Sichtweise ist als ausbaufähig angesehen worden.	Die Akzeptanz der gegenständlichen Ebene führt dazu, dass die stoffliche und modellbezogene Erklärung ausbleiben und damit kein Konzeptzuwachs erkennbar ist. Die Ausbaufähigkeit wird nicht bestätigt. Dies gilt ebenso für die neu erkannte Kombination aus Kategorie A4 und A5
A6: Überinterpretation	Das Konzept wurde als vermeidbar oder gut veränderbar (z.T. „hausgemacht“ vgl. BARKE) angesehen.	Das Konzept tritt vergleichsweise selten auf. Die explizite Erarbeitung im Unterricht könnte dafür verantwortlich sein. Dies wäre ein Indiz für die Veränderbarkeit des Konzepts (Bestätigung des Urteils)
B1 kontinuierliche Körnigkeit	Die Literaturlbasis gab kein eindeutiges Urteil: Eine Barrierefunktion ist denkbar, ebenso könnten die Konzepte als Übergangsvorstellungen „nützlich“, hilfreich sein.	Das Auftreten und die Veränderung von Hybridkonzepten dieser Art ist kontextabhängig. Für das Lösen von Kandis liegt ein häufigerer Wechsel des Konzepts als Konstanz desselben vor; Häufiger findet die Entwicklung des adäquaten Teilchenkonzepts ausgehend von Hybridkonzepten als von einer stofflichen Sicht statt. Sie sind demnach weder als Lernhilfe noch als Barriere zu bezeichnen.
B2 Betrachtungsebenen-überschneidung Makro-Mikro		
B3 Teilchen- in Kontinuumssicht		
B4: Animistische, teleologische Sicht	Die Konzepte wurden uneindeutig beurteilt: sie können Erschwernis sein, da sie ein „paralleles Erklärungskonzept“ sind, sie können aber bewusst reflektiert werden.	Es ist kein aussagekräftiges Ergebnis formuliert.
C1: Statische Sicht	Das Konzept wurde als möglicherweise hinderlich beurteilt, da für das Begründen andere alternative Konzept (anderer Kategorien) herangezogen werden könnten.	Es ist kein aussagekräftiges Ergebnis formuliert.
C2: Überinterpretation der Teilchenebene	Das Konzept wurde als veränderbar abgesehen.	Es ist kein aussagekräftiges Ergebnis formuliert.

Tabelle 7.1a: Die Beurteilung des Konzeptinflusses für das Kategoriensystem 1

7. Der Ertrag des Vorhabens

Kategorie	Zusammenfassung der Beurteilung (vgl. Kap 3.3.1)	Fazit auf Basis der empirischen Ergebnisse
A1 (V): Vernichtung von Gegenstand, Stoff und Materie	Hinsichtlich des stofflichen Verständnisses wurde das Konzept als hinderlich eingestuft.	Das Urteil hat sich bestätigt hinsichtlich der Quantität der Aussagen.
A2 (V): Aggregatzustandsänderung	Das als stabil beurteilte Konzept wurde als möglicherweise lernhinderlich angesehen.	Das Konzept ist nicht als lernhinderlich bestätigt worden.
A3 (cR): Mischung und Entmischung	Das Konzept musste uneindeutig beurteilt werden.	Es ist kein aussagekräftiges Ergebnis formuliert.
A4 (V): Modifizierung	Das Konzept wurde als Lernbarriere angesehen.	Die Wirkung als Barriere ist in Abhängigkeit vom Kontext belegt worden.
A5 (V, cR): fehlende Systematik	Die Konzepte wurden als Lernbarriere angesehen.	Die Wirkung ist ebenfalls als Barriere in Abhängigkeit vom Kontext (Thema Müllverbrennung) belegt worden.
A6: Umkehrbarkeit	Das Konzept wurde als stabil und daher hinderlich angesehen. Zudem könnten zur Begründung andere alternative Konzepte (anderer Kategorien) herangezogen werden.	Die Beurteilung ist bestätigt worden.
A7: Personifizierungen, teleologische Vorstellungen	Die Beurteilung war uneindeutig: Diese Sicht kann eine Erschwernis sein („paralleles Erklärungskonzept“), sie kann allerdings (in revolutionärer Weise) reflektiert werden.	Vorstellungen treten selten auf, die hinderlichen Voraussetzungen sind daher nicht gegeben.
B1 Vernichtung von Atomen	Das Konzept – als Fortführung oder Parallele der Stoffebenenargumentation wurde als möglicherweise hinderlich eingestuft.	In diesen Datensätzen ist das Konzept nicht erfasst.
B2: Betrachtungsebenenüberschneidung	Der Einfluss derartiger Vorstellungen wurde als hinderlich beschrieben.	In diesen Datensätzen ist das Konzept nicht erfasst
C1: Entmischung und Mischung von Atomen = Entmischung und Mischung Stoffen	Das Konzept wurde als ausbaufähig abgesehen.	In diesen Datensätzen ist das Konzept nicht erfasst
C2: unverbundene duale Sicht	Sie wurde als ausbaufähig beurteilt.	Das Konzept tritt selten auf, was als Indiz für die Bestätigung der Beurteilung angesehen werden könnte.

Tabelle 7.1b: Beurteilung des Konzeptinflusses für das Kategoriensystem 2

Das Erhebungsinstrument Lernbegleitbogen und seine Einbettung

In der methodischen Dimension ist das Fazit ambivalent. Die wiederholte schriftliche Befragung von Vorstellungen mittels *Lernbegleitbogen*, bei denen die Antworten bewusst zwecks Reflektion wieder mit ausgegeben werden, erweist sich als fruchtbar, denn erstens sind methodisch kontrolliert Vorstellungen und Konzepte erfasst worden und zweitens sind Vorstellungsveränderungen erkannt worden.

Allerdings weisen die Fallstudien darauf hin, dass der Einsatz einer besseren Begleitung bedarf, andernfalls könnte - motivational bedingt - ein geringes Veränderungsverhalten der Bogen seinen Zweck verfehlen. Die Daten der Implementationsstudie mit größerer Stichprobe erwiesen sich hier zumeist als ergiebiger. Für die Fallstudien I und II muss festgestellt werden, dass die Autorin als Begleiterin im Unterricht permanent anwesend war und für die Bearbeitung des Bogens (und für die Videographie) verantwortlich gewesen ist. So könnte eventuell der Eindruck erzeugt worden sein, die Arbeit des Bogens sei eine reine Zusatzarbeit für Wissenschaftler und damit „ein Dienst für diese Person“; und diese Motivation könnte im Zuge des Schuljahres abgenommen haben. Der eigentlich zu transportierende Anspruch, ein Instrument zur Reflexion und Bewusstmachung des eigenen Lernfortschritts zu bieten, wurde eventuell nicht transparent gemacht oder trat im Zweiteinsatz zurück. Die rein formale Organisation der Durchführung, wie sie bei den Folgeeinsätzen stattfand (d.h. Zuteilen der Bögen, Hinweise auf nochmaliges Durchlesen der „alten“ Antworten, neuer Zettel anbei für die neuen Antworten etc.) reicht allein nicht aus. Der Sinn des Bogens sollte explizit erläutert werden. Im Erprobungsjahr wurde der Bogen auch in zwei Hannoveraner Lerngruppen Klasse 9 ohne das Beisein anderer eingesetzt, eine beteiligte Kollegin hat die Schüler ihrer Gruppe mehrfach darauf hingewiesen, dass der Bogen zur eigenen Kontrolle des Lernfortschritts eingesetzt wurde. Nach Globalanalyse sind die Veränderungen weit umfangreicher. Auch der Einsatz im Folgejahr innerhalb des ChiK-Projekts (vgl. Kap. 6.4) mit 16 Probandengruppen zeigt ähnliche Gruppentendenzen hinsichtlich der Länge der Antworten und der Bearbeitungsintensität. Optimal wäre - bei der Verdeutlichung der Intention für die Schüler - den weiteren Einsatz des Bogens mit einer Darstellung zumindest erster qualitativer Ergebnisse aus dem vorherigen Einsatz zu begleiten.

Veränderungen sind vorerst immer auf die Gesamtheit des dazwischen liegenden Unterrichts zurückzuführen. Damit bieten die Ergebnisse eine gute Ausgangsbasis für eine nachfolgende Videoanalyse.

Kritisch ist anzumerken, dass das stets vorhandene Interesse an den Ursachen veränderter Sichtweisen und Argumentationen mit Hilfe fallbezogener Interviews hätte genauer beleuchtet werden können. Von dieser Erhebung wurde aus verschiedenen Gründen abgesehen, u.a. weil sie innerhalb der lang andauernden Phase der Unterrichtserprobung selbst zu einem Treatment (d.h. Lernsituation) werden könnte und zu einer Sensibilisierung der Probanden führen würde. In der Folge würde Unterricht davon beeinflusst werden.

Der Videographie wurde ebenfalls eine große Bedeutung beigemessen, auch wenn diese keine eigenständige Auswertung erfuhr. In der Auswertung hat die Videoauswertung in der Weise eine Rolle gespielt, dass Vorstellungen in einem Unterricht nach *Chemie im Kontext* über einen langen Zeitraum erfasst wurden. Dieses wiederkehrende Erkennen und Zuordnen gab sehr viel Sicherheit und Kompetenz für die Auswertung (Codierung, Explikation und Strukturierung). Von der Darstellung dieser Erfassung im Rahmen dieser Arbeit wurde abgesehen, obgleich das Referieren auf diesen Datensatz in der Forschungsarbeit insgesamt wichtig und nützlich war, sie diente der Sicherung der Dateninterpretation bei beiden Fallstudien sehr. Die Videographiedaten stellen eine Basis für weitere Forschungsvorhaben dar. DAHLEHEFTE (2007) nutzte in einer Studie zur Prüfung von Hypothesen zu Lernwegen und der Analyse der Unterrichtsstrukturen einige Stunden der ersten Einheit und codierte dabei der Sichtstruktur (vgl. DAHLEHEFTE, *Dissertation 2007*). Zusammenschlüsse aus Ergebnissen von Folgearbeiten mit den Ergebnissen dieser Arbeit können erwirkt werden, um beispielsweise Schlussfolgerungen formativer Art die ermöglichen und den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext einerseits zu optimieren, andererseits um

wirksame Elemente eines Conceptual Change oder Conceptual Growth konkreter herauszuarbeiten.

Konzeptionelle Dimension der Forschungsmethodik

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchung fließen in ihrer inhaltlichen Dimension selbstverständlich in die Didaktische Strukturierung ein. Dies ist eine vorrangig eine *didaktische Inhaltsstrukturierung* (vgl. Kap. 4). Das Modell beschreibt nicht, dass auch auf der Ebene der Vermittlung Ergebnisse erzielt wurden - das ist auch nicht seine originäre Aufgabe.

Mit Abschluss des empirischen Teils kann ein gut handhabbares, erprobtes Instrument zur Untersuchung von Vorstellungsveränderungen vergeben werden. Es erfüllt eine Funktion für Lehrer und Schüler (vgl. Kap. 6.2). Zusammen mit den Bögen werden didaktisch-methodische Hintergründe beigefügt. Das Materialpaket beinhaltet neben dem Lernbegleitbogen häufige Antworten, Basiskonzeptanteile und konzeptuelle Kommentare (vgl. Anhang V).

Innerhalb der Chemie-Didaktik sind in den letzten Jahren verstärkt Schülervorstellungen fokussiert worden. Derzeit wird auch im Hinblick auf die Lehrerkenntnisse, d.h. Lehrervorstellungen über Schülervorstellungen geforscht. (z.B. PLETZNER *IFdN Braunschweig 2009*) GILBERT, TREAGUST et al. (2004) stellen fest, dass viele Lehrer unverändert nicht wissen, wie sie mit Schülervorstellungen umgehen sollen: sie umgehen sie sogar.

Zusammen mit dem Lernbegleitbogen und (vielen anderen konzeptionellen Details) wird Auswertungs- und Hintergrundmaterial zur Verfügung gestellt. Denn anderes als bei Klassenarbeiten und Tests geht es weniger um die Zuordnung „falsch oder richtig“, sondern qualitativ um die Art der Konzepte und Verständnisschwierigkeiten, es ist also prinzipiell ein Umdenken erforderlich. Daher muss mit der Methode zugleich auch eine gute Information über die Handhabung erfolgen.

Die didaktische Strukturierung ist im Rahmen der Arbeit so weit fortgeschritten, dass konkrete Unterrichtseinheiten und darin Schlüsselemente vorgeschlagen und erprobt wurden. Zusätzlich dazu ist die Vergabe dieses Begleitmaterials ein konzeptionelles Ergebnis. Die Setarbeit innerhalb des Implementationsprojekts war sicher optimal, um an der Thematik Schülervorstellungen und Conceptual Change zu arbeiten. Die Zusammenarbeit zwischen Lehrern war sehr konstruktiv, sie machte deutlich, was als Beiwerk zu den Lernbegleitbögen hilfreich und notwendig ist, was unverständlich ist und verdeutlichte auch, was prinzipiell wohl immer diskutabel sein wird (z.B. das Abrücken vom Teilchenbegriff hin zu Bausteinbegriff). Es liegt nahe, festzustellen dass die vis à vis Zusammenarbeit von Lehrern wohl der ideale Weg ist, mit den Instrumenten zur Untersuchung von Schülervorstellungen zu arbeiten. Dies deckt sich allgemeiner mit den Leitlinien, die empirisch herausgearbeitet wurden, die neue Konzeption insgesamt zu verbreiten (vgl. DEMUTH et al. 2008).

Auch unabhängig vom Erhebungsinstrument können Lehrer mit Hilfe des Kategoriensystems Vorstellungen im Unterricht wohlmöglich leichter als wirklich alternative Sichtweisen erfassen, einordnen und verstehen, was zu einer beständigen Sensibilisierung führen kann. Durch die empirische Prüfung ist ein pragmatisches System wesentlicher verallgemeinerbarer Konzepte formuliert worden (d.h. man muss zu dieser Thematik nicht erst eine Vielzahl von Artikeln lesen).

In der Konzeption der beiden Lernbegleitbögen werden noch einzelne Veränderungen vorgenommen, wie die Ergebnisse der Untersuchungen es schlussfolgern ließen. Dies wird in den jeweiligen Teilkapiteln zu den Studien behandelt.

Das Basiskonzept Stoff-Teilchen

Die empirischen Ergebnisse zeigen: Das Basiskonzept sollte explizit um eine weitere Ebene, die der *Gegenstände, Körper, Dinge* ergänzt werden. Hier ist die fachliche Klärung, die genau diese Problematik mitunter behandelt hat (DE VOS, vgl. Kap. 2) nicht konsequent genug in die didaktische Inhaltsstrukturierung eingearbeitet worden. Erfahrene trennen selbstverständlich in die relevanten stofflichen Kriterien und die gegenständlichen, die irrelevant sind, nicht so *der Lerner*.

7. Der Ertrag des Vorhabens

Das Basiskonzept beginnt mit dieser Trennung, ohne sie *wirklich* vorzunehmen. Wiederholend sei der Stand vor der Untersuchung genannt:

Abschnitt I : Dinge, Stoffe und Stoffeigenschaften

Ebene 1: Die Chemie betrachtet Stoffe

Unsere Welt, so wie wir sie wahrnehmen, besteht aus Dingen, Sachen, Gegenständen. (Kleider, Steine, eine Portion Zucker, eine Prise Salz ..) Dinge haben vielfältige Eigenschaften. Für die Chemie ist bedeutsam, *woraus* sie bestehen. Alle Dinge bestehen aus Stoffen. Im Alltag sagt man auch Material dazu. Substanz ist ebenfalls ein Wort für Stoff. [...]

Das Basiskonzept nimmt die Gegenstände, Körper, Dinge mit auf, aber bisher nicht im Sinne einer echten Ebene. Das Basiskonzept muss besser in dieser Weise gegliedert sein:

Ebene 1	Die Welt der Gegenstände, Sachen, Dinge ...
Ebene 2	wird gebildet aus Stoffen ...
Ebene 3	und erklärt durch die Modellwelt der Bausteine
Ebene 4	Die gebildet werden von Atomen
Ebene 5	Deren Strukturen, die Elementarteilchen sind

Abb. 7.2: Die neuen getrennten Ebenen des Basiskonzepts

In der Folge muss die Ebene I inhaltlich gefüllt werden. Fachlich ist die Trennschärfe manchmal schwierig, wie eine Vielzahl von didaktischen Artikeln dazu verdeutlicht. Wann ist Farbe eine Stoff-, wann eine Körpereigenschaft? Metallischer Glanz wird oft als Stoffeigenschaft bezeichnet, ist aber die der behandelten Körperoberfläche. Ist Verformbarkeit eine Körper- oder nicht auch eine Stoffeigenschaft? Alle flüssigen Stoffe (Aggregatzustand als Eigenschaft) sind verformbar bzw. haben *keine feste Form* (Beschreibung der Eigenschaft flüssig). Wir nehmen Stoffe immer als Stoffportionen und damit als Körper wahr. Wie soll eine sinnvolle Trennung im Sinne einer Theorie erfolgen? Wir wählen u.a. Körpereigenschaften aus, um Stoffeigenschaften zu umschreiben (vgl. BUCK 1994, KRNEL 1998). Unbehagen macht der Stoffbegriff, nicht der des Körpers als solcher (vgl. z.B. die mathematische Definition eines Körpers), das *in Beziehung stellen von Körper und Stoff* macht das Problem aus.

Der Stoffbegriff ist auf der Basis der fachlichen Klärung umschrieben. BUCK stellt fest, dass jede Definition der Kritik Ansatz bietet, denn eine fachwissenschaftliche Vollständigkeit und Exaktheit sei didaktisch nicht zu verwirklichen (*ebd.*). Aufbauend auf die fachliche Klärung des zweiten Kapitels wird hier ein Konzept der Körper und der Stoffe didaktisch strukturiert, das *zielgerichtet* ist, das den Schülern ermöglicht, mit Stoffen im chemischen Sinne zu arbeiten, d.h. diese zu klassifizieren und ihre Zerstörung und Entstehung bei chemischen Reaktionen zu erfassen. Der Körperbegriff muss so fungieren, dass er davon abgrenzt, er muss nicht erschöpfend beschrieben werden.

Der im Kapitel 4 Stand der Formulierung des Basiskonzepts wird somit überarbeitet.

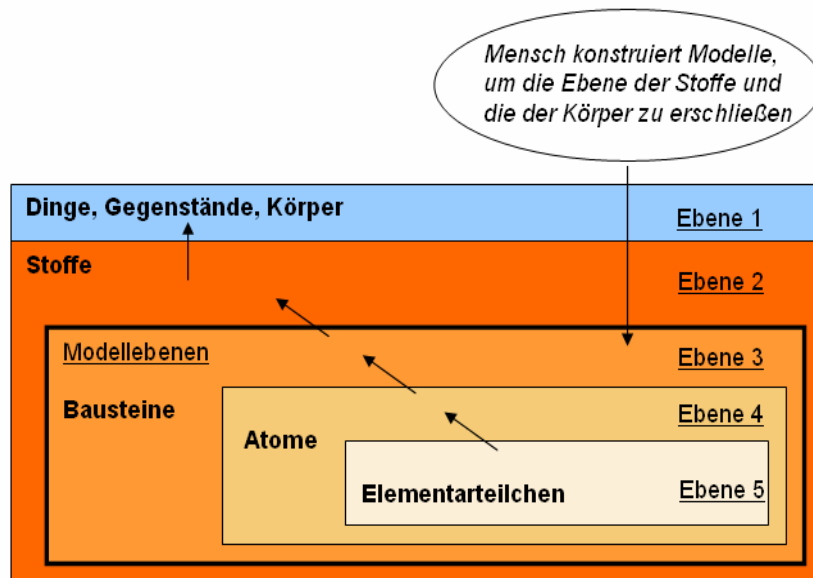


Abb. 7.3: Die Ebenen des Stoff-Teilchenkonzepts, die über Modelle erschlossen werden.

Die ursprüngliche Ebene 1 (Stoffebene) fungiert nun als Ebene 2, die Änderungen: sind in Abbildung 7.4 **fett** unterlegt:

<p>Ebene 1 Die Welt ist voller Gegenstände Ebene 2: Die Chemie betrachtet Stoffe - Perspektivwechsel von Ebene 2 zu Ebene 3: der Bau von Stoffen aus Bausteinen Ebene 1: Gegenstände und ihre Veränderung Ebene 2: Vorgänge der Stoffzerstörung und -entstehung Der Perspektivwechsel der Ebenen 2 und 3 Bausteinveränderungen Der Perspektivwechsel der Ebenen 2, 3 und 4: Ein Modell der Atome Der Perspektivwechsel der Ebenen 1 bis 4: Das Nutzen der Atomvorstellung für chemische Reaktionen</p>

Abb. 7.4: Überarbeitung des Basiskonzepts unter Berücksichtigung der neuen, konsequenten Ebenentrennung

Im ersten Abschnitt des Basiskonzepts (vgl. Kap. 4.2) wird die Ebene 1: *Körper- und Körper-eigenschaften* eingefügt und beschrieben, *darinliegend* versteht sich die Beschreibung der Stoffebene. Das „Inneliegen“ bedeutet, dass letztendlich wirklich gründlich, d.h. erschöpfend immer „bis zum Gegenstand“ geklärt werden kann und muss.

Zusatz zu Basiskonzept: Dinge und ihre Eigenschaften, Stoffe und ihre Eigenschaften (Bezugnahme auf Kap. 4.2.1)

Ebene 1: Körper- und Körpereigenschaften

Uns umgeben Gegenstände. Man kann auch sagen: Dinge, Sachen, Objekte. Da in der Physik der Begriff „Körper“ verwendet wird, soll dieser auch im Chemieunterricht verwendet werden. Die Eigenschaften von Körpern kann man beschreiben. Man beschreibt die Form, die Farbe und vieles mehr, je nachdem, worauf man gerade Wert legt und was notwendig ist, den Körper als solchen zu identifizieren.

- Verschiedene Körper können aus dem gleichen Material bestehen. Das Material wird in der Chemie auch Stoff genannt. Z.B. kann Eisen einen Nagel bilden, aber auch einen Ofen, ein Auto, usw. Der gleiche Gegenstand kann aber auch aus unterschiedlichen Stoffen bestehen: es gibt Tassen aus Porzellan, aus Plastik, aus Glas, aus Metall usw.. und die jeweils aus unterschiedlichen Stoffen bestehen können.
- Auch die abgegrenzte Menge eines Stoffes, eine Stoffportion ist ein Körper.
- Manche Eigenschaften sind bei jeder Körperform gleich. So ermittelt man bei einer Folie aus Aluminium dieselbe Dichte wie bei einer Milchkanne oder einem Würfel aus Aluminium. Da sie nicht von der Form des Körpers abhängt, spricht man hier von einer Stoffeigenschaft des Stoffes, der den Körper bildet.
- Es gibt auch Eigenschaften, die bei unterschiedlicher Körperform verändert sind, obwohl die Körper aus dem gleichen Stoff bestehen. So ist eine Folie aus Aluminium mit Menschenkraft verformbar, aber eine dickere Schicht aus Aluminium ist steif. Prinzipiell ist auch die dickere Aluminiumschicht verformbar, man muss aber mehr Kraft aufwenden. Die Eigenschaft Verformbarkeit ist also eine Körperform und gilt nicht für den Stoff –z.B. Aluminium - im Allgemeinen. Metalle bilden in Blechen (Körperform) glänzende Oberflächen, in Form von Pulver (Körperform sind kleine Körnchen) aber nicht immer: das Pulver kann auch matt sein.
- Die Stoffeigenschaften einerseits und die *Möglichkeit der Verarbeitung eines Stoffes* andererseits entscheiden, ob ein Stoff für die Herstellung eines Gegenstands geeignet ist. Manchmal ist es schwer, genau zu trennen, ob eine stoff- oder eine Körpereigenschaft gemeint ist.

[...] Kap. 4.2.1 wie Original

Die Chemie betrachtet Vorgänge der Stoffzerstörung und –entstehung, die chemische Reaktion (Bezugnahme Kap. 4.2.3)

Ebene 1: Zerstörung auf der Ebene der Körper

Gegenstände können zerstört werden, sie gehen „kaputt“.

- Dies kann in der Weise geschehen, dass der Gegenstand seine Struktur, Beschaffenheit Körpereigenschaften verliert: z.B. ein Glas fällt herunter und bricht entzwei. Der Stoff, der den Körper gebildet hat, ist noch vorhanden, allerdings mit anderen Körpereigenschaften (z.B. als einzelne Scherben).
- Ein Zuckerwürfel kann in Wasser gegeben zerstört werden, aber der Zucker ist in gelöster Form noch vorhanden.
- Demgegenüber stehen solche Prozesse, bei denen Körper so zerstört werden, dass die Stoffe, die sie bilden nicht mehr vorhanden sind. Dies sind chemische Reaktionen

Ebene 2: Stoffzerstörung und Stoffentstehung

Den Vorgang, in dem Stoffe zerstört und neue Stoffe gebildet werden, nennt man chemische Reaktion. Die Ausgangsstoffe sind nicht mehr vorhanden, neue Stoffe entstehen an ihrer Stelle. [...] Selbstverständlich werden dann immer neue Objekte, Körper, Gegenstände gebildet. Dies ist unvermeidbar.

Ebenso wichtig wie die Formulierung des Basiskonzeptes ist seine Vermittlung. Innerhalb beider Einheiten sind daher Schlüsselemente auszubauen, die die vergleichende und ergänzende Betrachtung von Körpern bzw. der Gegenstandsebene erwirken. Neue Erprobungen sind dann die Konsequenz.

In Bezug auf die empirischen Ergebnisse ist festzustellen, dass bei der Formulierung des *Basiskonzepts Energie* die Inhalte so aufgestellt sein sollten, dass sie aktiv-kraftbegründete Konzepte reflektieren und relativieren lassen, dies legen die Häufigkeiten für diese alternativen Sichtweisen nahe.

Die Konkretisierung der didaktischen Strukturierung: Unterricht nach ChiK

Der Kern des konzeptionellen Gewinns sind die erprobten Unterrichtselemente, die Kontexte nach der ChiK-Konzeption. Das Forschungsmodell der didaktischen Rekonstruktion eignet sich zur Entwicklung der Einheiten, Theorieelemente über den Conceptual Change einerseits und die Grundlagen der Konzeption Chemie im Kontext andererseits konnten forschungsmethodisch produktiv arrangiert werden. Wie im Kap. 5.4 dargestellt, wurde das Modell als Werkzeug (Vertikale in Abb. 5.8) verwendet, um auf einer fachdidaktischen Grundlage, das aus der ChiK-Konzeption gebildet wird, zu forschen. Als Didaktische Strukturierung wird der themenspezifische Planungsprozess bezeichnet, der zu grundsätzlichen und verallgemeinerbaren Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen für den Unterricht führte (vgl. Kap. 6.). Die Chemie im Kontext Konzeption war hierfür immer die Referenz, was die Themenfindung der Einheiten angeht, der Anstoß. Da das Modell methodologisch für die zwei anderen Felder konkrete Vorgehensweisen bereithält, weniger für die Didaktische Strukturierung, ist das Angliedern an Strukturansätze von Unterricht und Unterrichtsverfahren sinnvoll.

Das rekursive Vorgehen des Modells der Didaktischen Rekonstruktion bezieht sich somit nicht nur auf das Forschungsdreieck selbst, sondern auch auf das „Fundament“ (vgl. Abb. 5.8), auf die Chemie im Kontext-Konzeption. In der Folge werden auf der Basis des ersten Turnus der didaktischen Rekonstruktion die wirksamen Unterrichtselemente ausgeschärft und neue Schlüsselemente entwickelt.

7.2. Der Ertrag für die Einheit „Der Vorkoster in Not- die Chemie ersetzt den Vorkoster“

In Anlehnung an die Entwicklung und Beschreibung von Schlüsselementen (Kap. 5.4) werden folgende, neue Unterrichtselemente dargestellt, die bei der Konstruktion die in Abb. 7.5 gezeigten Felder berücksichtigt:

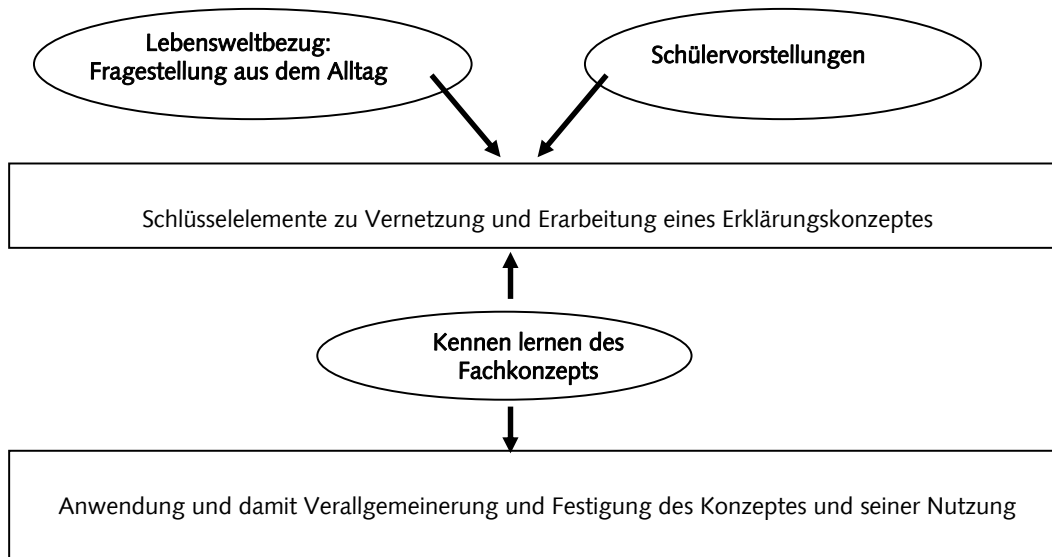


Abb. 7.5: Die Konstruktion eines Schlüsselements

7.2.1. Optimierung der Einführung des Schlüssel-Schloss-Modells für „Süße“

Das *Schlüsselement für den süßen Geschmack* beinhaltet, dass aufbauend auf die Erfahrung süßen Geschmacks sowie die Tatsache, dass Süße nicht wahrgenommen wird, Schülervorstellungen über den Verbleib von Zucker in Wasser (Zeichnungen und Beschreibungen) gesammelt und vergleichend reflektiert werden und als Lernangebot im Anschluss das fachwissenschaftliche Schlüssel-Schloss-Modell eingeführt wird. Auf eine umfassende Methodik der Videoanalyse wurde im Rahmen der Arbeit verzichtet, auf die Ergebnisse der Videoauswertung der Stunde 5 soll nun ausschnittsweise eingegangen werden. Das Transkript befindet sich im Anhang V.2, Sequenz IV). Insgesamt kann festgestellt werden, dass wesentliche Aufgaben des Schlüsselements gelungen sind, aber die Vernetzung noch verbessert werden kann. Als Implikation für die Implementation der Einheit und der Konzeption insgesamt können deshalb konkretere Vorgaben zur Feingestaltung der Vernetzung - Material für die Prozess- und Handlungsstruktur des Unterrichts - vorgeschlagen werden.

Die Fragestellung, die dem Hervorlocken der Vorstellungen vorausgehen muss, ergab sich in der Fallstudie wie selbstverständlich aus dem Unterricht.

Der konkrete Arbeitsauftrag wurde von einigen anfangs als unklar empfunden. Verallgemeinernd könnte abgeleitet werden: „Etwas nicht mehr Sichtbares mit eigenen Vorstellungen zu beschreiben wird als schwierig empfunden.“ Als Implikation für die Prozessstruktur des Unterrichts wird geschlussfolgert, diese Schwierigkeit anzusprechen und die Zielrichtung zu erläutern: Es geht nicht darum, etwas richtig oder falsch im Sinne von „Wer weiß es schon“ zu entwickeln, sondern unterschiedliche Erklärungen zu sammeln, mit denen gearbeitet werden soll. Dieses Vorgehen kann die mögliche Verunsicherung zwar nicht beheben, kann aber ein unbefangenes Arbeiten ermöglichen. Im Kategoriensystem für konstruktivistisch orientierten naturwissenschaftlichen Unterricht (*KONU-System, WIDODO & DUIT 2002*) wurden lernpsychologisch bedeutsame Elemente zur Förderung eigenständigen Lernens formuliert. Darin befinden sich Unterkategorien wie *das Überdenken eigener Ideen* sowie die Unterkategorie, *den Lernstatus be-*

wusst zu machen z.B. durch die „Vorschau“ in der Zielorientierung. Diese KONU-Elemente stützen die oben vorgeschlagene Vorgehensweise.

Wie das Transkript zeigt, wurde der Auftrag im Unterricht nach anfänglichen Schwierigkeiten letztendlich zu - im Sinne des Wortes - *diskutablen* Ergebnissen ausgeführt, die Unterrichtsphase, „Hervorlocken von Vorstellungen“ wurde erfolgreich verwirklicht. Der Austausch der Vorstellungen war lebhaft und intensiv, d.h. von hoher Schüler-Schüleraktivität. Hier fand sich eine Vielzahl von kategorial belegter Vorstellungen und Konzepte wieder. Danach fand dann die Beschäftigung mit dem Arbeitsblatt zum Schmeckmodell statt.

Als Implikation für die Prozessebene scheint auch hier die Darlegung der Funktion der Austauschphase - abermals auf der Metaebene – wichtig zu sein: Der Lehrer hat wichtige lenkende Funktion, er muss die Intention der Phase verdeutlichen: „Wir stellen uns dieses Phänomen ganz unterschiedlich vor, wir müssen Übereinkünfte treffen, damit wir uns gegenseitig verstehen.“ Wie die Sequenzen I-III zeigen, wurde sehr viel über Teilchen diskutiert. Dabei auch konfrontativ. Auch hier ist nach der Öffnung des Unterrichts nun eine Lenkung nötig „wir werden uns zukünftig mit diesen Vorstellungen über „Teilchen“ beschäftigen, damit klar wird, was wir *gemeinsam* darunter verstehen und weshalb solche Teilchenbetrachtungen aufgestellt werden“. Abermals wird so das konstruktivistisch orientierte Element zur Akzentuierung des Schülerlernstatus verwendet (DUI 2002). Möglichen Frustrationen könnte damit begegnet werden, das „Unterschiedliche“ in den Vorstellungen könnte somit stärker produktiv genutzt werden.

Die Einführung des Modells war interessant und konstruktiv. In einem gelenkten Unterrichtsgespräch wurde die graphische Darstellung des Schmeckvorgangs im Modell (Abb. 5.13, auch Anhang I.1 Arbeitsblatt Nr. 8 Abb. 3) in den sprachlichen Modus transferiert und durch die Leherdokumentation in ein Fließdiagramm (Tafel) überführt. (Anhang V, Sequenz IV, Ende) Ein Schüler vertrat die Vorstellung vom Transport von Botenstoffen ins Gehirn, dies wurde diskutiert. Die Vorstellung entspricht in veränderter Form der in der Sinnesphysiologie häufig auftauchenden Kategorie, dass die Informationen im Modus der Reize (Lichtstrahlen, Geruchsstoffe, Schallwellen) ins Gehirn gelangen (GEIßLER, in GROPENGEJER 1997). Sie wurde im Unterrichtsgespräch als falsch herausgestellt, worin sich im Einzelfall die revolutionäre Arbeit an Schülervorstellungen im Unterrichtsgespräch widerspiegelt.

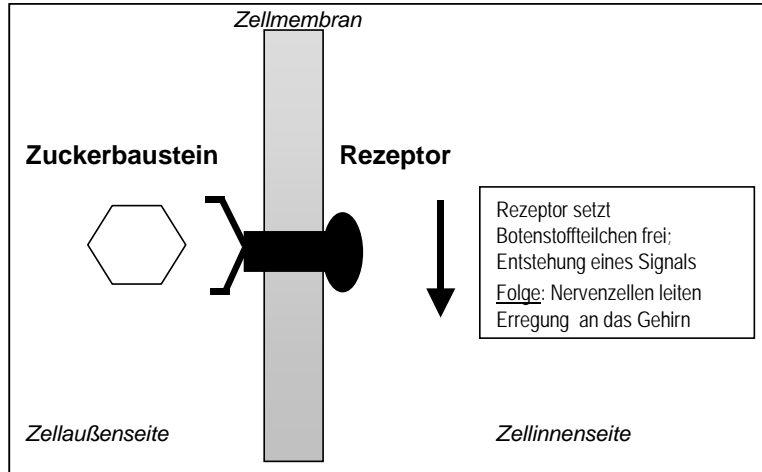
Das Modell wurde allerdings weitgehend *unvernetzt zu den vorherigen Schülervorstellungen* erarbeitet, aus Zeitgründen war nur eine kurze Rückschau möglich. In der Anlage des Schlüsselements sollte stärker vergleichend reflektiert werden.

Das relevante Merkmal des wissenschaftlichen Modells ist, dass Modell-Teilchen zu einem bestimmten Rezeptor passen und so die Geschmackswahrnehmung der Stoffeigenschaft „süß“ im Gehirn erzeugt wird. Alle Dialoge zeigen, dass die aktiv beteiligten Schüler hier eine positive Resonanz entwickelten. In den Aussagen der Beteiligten wurde auf die *Passung* Wert gelegt. Exemplarisch für die Vernetzung von Schülervorstellungen und wissenschaftlichem Modell wurde - vom Lehrer – die Zeichnung des Schülers M. ausgewählt. (vgl. Kap. 6.3) M. zeichnete Teilchen und in der Legende schrieb er: „[Sie] enthalten Informationen über den Geschmack“ Um dies reflektieren zu lassen, bezog sich der Lehrer vermutlich genau auf diese Zeichnung. Im Unterrichtsgespräch fand dann von Seiten der Schüler eine Betonung des Gehirns statt, der Lehrer unterstrich den Stellenwert des Gehirns für die Wahrnehmung. Diese wichtigen Aspekte gingen aber zeitlich auf „Kosten“ der Betonung der strukturellen Grundlage *Teilchenform*. Die gezielte Lehrerfrage „ist Süße eine Eigenschaft der Zuckerteilchen?“ konnte nicht mehr mit „Nein, sondern...“ konstruktiv beantwortet werden. Die Notwendigkeit der „immer gleichen Teilchenform“ für dieses „bestimmte Geschmacksempfinden *süß*“ konnte nicht mehr akzentuiert werden, da die Stunde endete. Der Aspekt wurde in der Folgestunde nicht wieder aufgegriffen. Auffällig ist, dass die „Herkunft oder das „Auftreten“ dieser Teilchen gar nicht hinterfragt wurde. Ebenso nicht die Frage, wie diese Formgleichheit plausibel erklärt werden kann (das Vorgebildetsein). Die Schüler haben das Modell feststehend als solches akzeptiert. Damit könnte ggf. ein Eindruck einer Selbstverständlichkeit erzeugt werden, der weiteres Nachfragen der Schüler bei Verständ-

nisschwierigkeiten nicht anreizt. (Gedanke: „Entweder man weiß was über Teilchen und kann mitreden, oder eben nicht“). Dies wäre ausgesprochen kontraproduktiv.

Das Potential des Modells auch für den evolutionären Umgang mit vorunterrichtlichen Vorstellungen ist noch nicht ausgeschöpft. Auch deshalb nicht, weil wenig von den anderen alternativen Vorstellungen hierzu in Beziehung gesetzt wurden. Eine möglichst schülergeleitete modellkritische Auseinandersetzung: „Was wird jeweils (also im Schmeckmodell und in den Zeichnungen von uns) dargestellt?“, „Was ist das Gemeinsame?“, „Wo liegen die Unterschiede?“ „Und worin liegt die Begründung in der Wahl der jeweiligen Darstellung?“ kann in den Lehrerhandreichungen zur Einheit mitgegeben werden. Es wird konkretes Schülermaterial angeboten, in dem die vergleichende Analyse intendiert wird. Dabei wird exemplarisch *eine* konzeptuelle Alternative aufgegriffen, die vermutlich auch im Unterricht auftauchen wird. Die empirischen Ergebnisse belegen die Beständigkeit des Konzeptes der übertragbaren, nicht-materiellen Eigenschaften (nonmaterial-properties-Konzept) (*Teeblätter übertragen Geschmack und Farbe auf Wasser, Zucker überträgt seine Süße* u.ä.). Dies kann den Ergebnissen zufolge u.a. damit erklärt werden, dass Schüler Eigenschaften direkt mit Gegenständen in Verbindung bringen (*Teebeutel, Kandiswürfel*), ohne dabei die Ebenen der Stoffe oder der Teilchen in Betracht zu ziehen. Gerade im Hinblick auf Geruch und Geschmack wurde auch in Nachtests wenig auf der funktionalen Ebene der Teilchen argumentiert. Das hier optimierte Schlüsselement sieht vor, das nonmaterial-properties-Konzept mit dem Schlüssel-Schloss-Modell *vergleichend* zu reflektieren. Am Beispiel des Schmeckens besteht ja die Möglichkeit, die Entstehung der Geschmackswahrnehmung (für die Stoffeigenschaft: süß) mit den Teilchen oder Bausteinen des Zuckers in Verbindung zu bringen und dabei gleichzeitig die Funktion von Modellen zur Deutung zu thematisieren. Eine methodische Variante bietet sich durch die Durchführung von Gruppendiskussionen, in denen die Lernenden verschiedene Aussagen zu Eigenschaften und Eigenschaftsveränderungen bekommen und diskutieren sollen. Als Diskussionsvorlagen können die in Kap. 6.3 genannten Antworten dienen, hier wird ein Beispiel heraus gegriffen:

Ein Schülerzitat: „Der Kandis überträgt seine Süße auf das Wasser.“
 Versuche zu erklären, ob und wie die Aussage mit dem Modell in Verbindung gebracht werden kann.



Erkläre oder skizziere die „Übertragung der Süße“ von Zucker auf eine Zuckerlösung mit eigenen Worten oder einer Zeichnung. Diskutiere deine Antworten mit denen deiner Klassenkameraden! Versucht gemeinsam eine Antwort dafür zu finden, warum Zuckerlösungen (ab einer bestimmten Konzentration) *immer* süß schmecken!

Abb. 7.6: Mögliches weiteres Arbeitsblatt für das Schlüsselement

Der hier vorgeschlagenen Methode geht selbstverständlich unverändert die Phase des Hervorlockens von Vorstellungen (das Anfertigen einiger Zeichnungen im Anschluss an die Schmeckversuche) und der Austausch derselben (z.B. mit der Kamera) voraus.

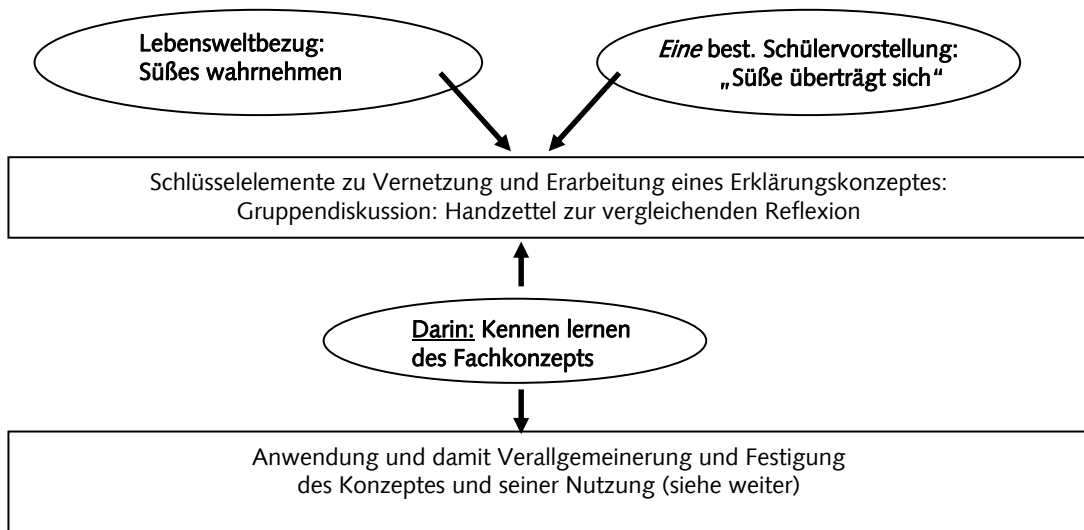



Abb. 7.7: Verändertes Schema für dieses Schlüsselement

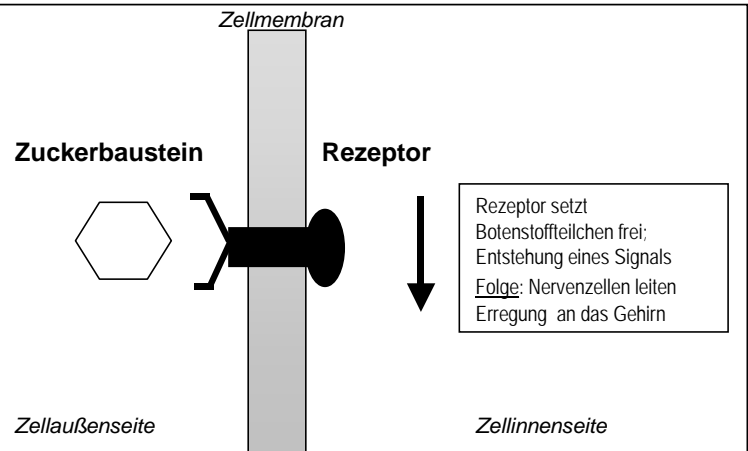
7. Der Ertrag des Vorhabens

Weitere Arbeitsblätter können den Vergleich von Teilchenvorstellungen stärker als bisher fördern. Wenn methodisch ohne Lehrersteuerung des Gesprächs gearbeitet wird, kann mit konkreten Diskussionsaufträgen gelenkt werden (vgl. Abb. 7.8).



Vergleicht eure Zeichnungen oder z.B. die von Max über die *Teilchen des Zuckers* mit den Teilchen der Abbildung unten!
Fasst Unterschiede und Gemeinsamkeiten zusammen
Erklärt, welche Eigenschaften die Teilchen jeweils haben?

Zuckerbaustein



Rezeptor setzt Botenstoffteilchen frei;
Entstehung eines Signals
Folge: Nervenzellen leiten Erregung an das Gehirn

Und:
Warum werden denn überhaupt solche Bausteine verwendet? Spekuliert über die Gründe.

Abb. 7.8: weiteres, neues Arbeitsblatt für das Schlüsselement

Mögliche Antworten wären: „Andere Zeichnungen enthalten mehrere Arten von Teilchen (auch Wasserteilchen), Max Teilchen sind ganz unterschiedlich groß und fallen zu Boden, die Teilchen in der Abbildung unten sind sechseckig, damit sie genau zum Rezeptor passen, Max Teilchen würden nicht in diesen Rezeptor passen, durch die sechseckige Form kann man die Zuckerteilchen als süß wahrnehmen.“ Warum Teilchen? „Weil so der Geschmack erklärt wird. Der Zucker zerteilt sich in Teilchen/Bausteine.“ Mit Hilfe dieser Erarbeitung möglicher Modellmerkmale wird eine anschließende Erfassung notwendiger Modellmerkmale vermutlich erleichtert. D.h. auf das Vorgebildetsein kann geschickter hingearbeitet werden. Dies kann ebenfalls mit der schülerorientierten Methodik erfolgen:

Neben den Arbeitsblättern, deren Bearbeitung theoretischer Natur ist, wird kein Arbeitsblatt, das einen praktischen Anteil enthält, vorgeschlagen (vgl. Abb. 7.9).

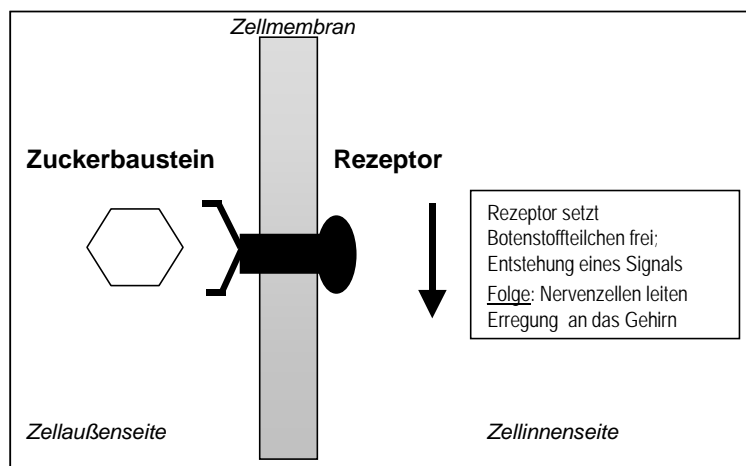
Zucker (nicht) wahrnehmen – ein Versuch

Versuchsdurchführung: Schüler trocknen ihre Zunge (an der Luft, oder mithilfe eines Tuchs) und halten den Mund möglichst trocken. Dann wird ihnen ein Zuckerwürfel auf die Zunge gelegt, sie prüfen ihre Wahrnehmung für eine Weile.

Beobachtung: Der Gegenstand auf der Zunge schmeckt anfangs nach nichts. Wenn der Zuckerwürfel zu verfallen beginnt, nimmt man plötzlich süßen Geschmack wahr.

Deutung: Die Zuckerteilchen sind so nah aneinander, dass sie nicht voneinander isoliert in die Rezeptoren passen. Erst wenn sie sich durch Speichel voneinander lösen, passen sie in die Rezeptoren und der Vorgang läuft wie bekannt ab.

Wenn alle Versuchsteilnehmer „süß“ immer wahrnehmen, müssen immer Zuckerteilchen einer bestimmten Form entstehen, diese müssen bereits im Zuckerwürfel vorhanden sein. Im Feststoff liegen diese Bausteine geordnet, nah beieinander oder (fast) ohne Bewegung vor. (Die Vorstellung kann gut von den Schülern gezeichnet werden.)



Aufgabe:

Bringe das Versuchsergebnis mit dem folgenden Modell in Verbindung, das Wissenschaftler aufgestellt haben, um zu erklären, wie wir Süßes wahrnehmen.

Abb. 7.9: weiteres, neues Arbeitsblatt für das Schlüsselement

Das Experiment akzentuiert aus dem Kontext heraus die Frage nach der Herkunft der Teilchen oder Bausteine. Das klassische, historische Gedankenexperiment der unendlichen oder endlichen Zerteilung von Stoffportionen kann hier nun auch genutzt werden. Die Herkunft von Teilchen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit körnig (B2) vorgestellt wird, kann hier explizit verglichen werden mit den Modellkriterien des Schlüssel-Schloss-Modells. Hierfür wurde in Abbildung 7.10. ein weiteres Arbeitsblatt entwickelt.

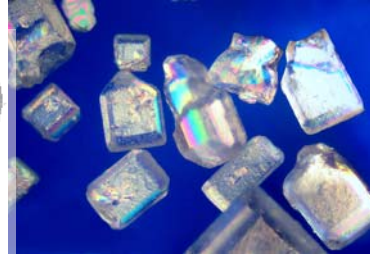
7. Der Ertrag des Vorhabens

Gedankenexperiment:

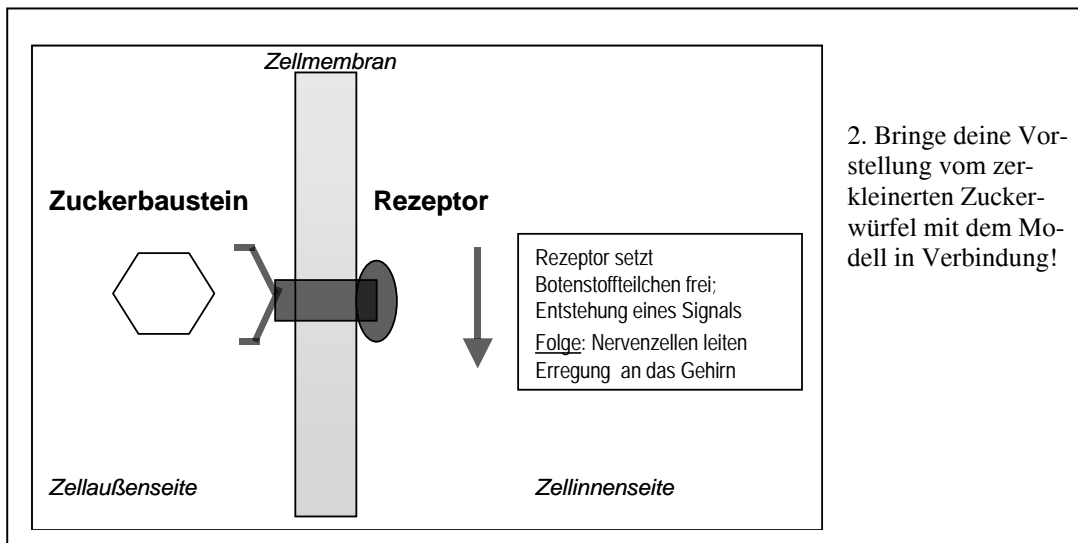
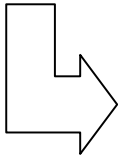
1. Beschreibe und erkläre das in den Abbildungen gezeigte Gedankenexperiment!



Zuckerwürfel



Zuckerkristalle, vergrößert



2. Bringe deine Vorstellung vom zerkleinerten Zuckerwürfel mit dem Modell in Verbindung!

Abb. 7.10: weiteres, neues Arbeitsblatt für das Schlüsselement, Bildquellen

http://www.proleipzig.eu/assets/images/Lupe_Leipzig_braucht.gif, und http://www.google.de/imgres?imgurl=http://de.academic.ru/pictures/dewiki/122/zucker_150_fach_polfilter.jpg&imgrefurl=http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1213477&usq=2edZJ5w99UC_JYS-xwxe6qTdu8=&h=1356&w=1973&sz=350&hl=de&start=5&zoom=1&um=1&itbs=1&tbnid=DuuDZkcg_ek2RM:&tbnh=103&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3Dzuckerkristalle%26um%3D1%26hl%3Dde%26sa%3DN%26rlz%3D1W1GPRE_de%26tbs%3Disch:1, und <http://www.berufsschule-weiden.de/gesundheit/Zuckerwuermel.gif>, <http://www.metplex.de/wp-content/uploads/2010/08/hammer.png> gesichtet 20.12.2010

Damit wird der klassische Gang der Diskontinuumseinführung (vgl. PFUNDT (1981) Kap. 2) wieder aufgegriffen, allerdings an anderer Stelle und in anderer Funktion. Die *Entstehung* von spezifischen Teilchen wird *hinterfragt*, vor dem Hintergrund *der Kenntnis*, dass es die spezielle Form bei allen Teilchen oder Bausteinen geben *muss, wenn das Modell stimmt*.⁵⁶

Ingesamt soll - stärker als vorher – ein Gedankengang fokussiert werden, der dann in der Folge zur Einführung des Basiskonzepts genutzt wird:

- Für alle Zuckerbausteine wird zur Erklärung des süßen Geschmacks modellhaft angenommen, dass sie eine bestimmte Form haben.
- Damit diese Form immer gewährleistet ist, d.h. damit Zucker immer süß schmeckt, wird in Modellen angenommen, dass Zucker aus Zuckerbausteinen gebildet wird, die sich beim Lösen voneinander trennen und nicht, dass diese Bausteine als willkürliche Bruchstücke des Zuckers beim Lösen erst entstehen.

Sowie verallgemeinernd:

- Bausteine oder Teilchen sind Modellgebilde zur Erklärung von Eigenschaften der Stoffe.
- Ein solches Modell besteht immer nur solange, wie es zur Erklärung von Prozessen mit Stoffen geeignet ist.
- Vorschau: Wir müssen prüfen, ob auch andere Phänomene mit Hilfe der Vorstellung über Teilchen gut geklärt werden können.

7.2.2. Optimierung der Anwendung und Nutzung des Bausteinmodells

Im Folgeschritt werden Unterrichtsangebote vorgestellt, die der Anwendung, Festigung und Vertiefung dienen. Damit ist einerseits der Inhaltsausschnitt gemeint, andererseits aber sollten im Unterricht auch metakognitive Elemente aufgegriffen werden, in dem Eigenschaften und Zweck von Modellen erarbeitet werden. Modellpropädeutische Unterrichtselemente sind in der Didaktischen Literatur vielfach beschrieben (z.B. BUCK 1994, 2002 MIKELSKIS-SEIFERT (2002), PdN Heft 2/52 (2003)). Deshalb steht hier der Inhaltsausschnitt der Bausteine und speziell der Zuckerbausteine im Mittelpunkt.

Auf den *Vergleich* der Ebenen und ihre Trennung kann deutlicher hingearbeitet werden. Dies kann an der Thematik eingeführt werden, sie wurde im Material zur Einheit bisher mehr oder weniger selbstverständlich angenommen.

⁵⁶ In einer neuen Publikationen zum „Vorkoster“ (KUBALLA, 2008) wird der Zerteilungsversuch von Zucker und der historische Konflikt zwischen Aristoteles und Demokrit genutzt, um die Diskontinuumsidee - konkret sogar die Atomidee - einzuführen, ohne auf das Schlüssel-Schloss-Modell einzugehen. Es weicht daher vom hier vorgeschlagenen Vorgehen deutlich ab.

7. Der Ertrag des Vorhabens

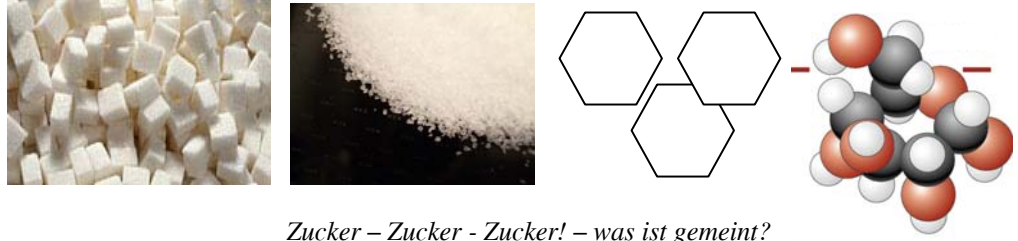
 <p style="text-align: center;"><i>Zucker – Zucker - Zucker! – was ist gemeint?</i></p>		
Ebene 1	Die Welt der Gegenstände, Dinge, Körper, ...	Ein Zuckerwürfel ist ein Ding ...und hat folgende Eigenschaften:
Ebene 2	wird gebildet aus Stoffen ...	Der Stoff ist Haushaltszucker wissenschaftlicher Name: Saccharose Eigenschaften:
Ebene 3	und erklärt durch die Modellwelt der Bausteine, ...	Zuckerbausteine: Eigenschaften
Ebene 4	die gebildet werden von Atomen,...	- Später auszufüllen
Ebene 5	deren Strukturen die Elementarteilchen sind.	- Später auszufüllen

Abb. 7.11: Arbeitsblatt: Die Ebenen der Beschreibung und Erklärung in der Chemie, Bildquellen:
http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/essen/zucker/fmg/intro_zuckerwuerfel_03_01.jpg und
<http://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/Bilder/de/Dossier/Glyko/zucker.property=bild.bereich=bio.sprache=de.jpg>
 gesichtet 13.03.2009, DEMUTH et al. 2008: 27, Sechsecke: selbst

Diese Vorlage kann immer wieder verwendet werden, indem rechts weitere Spalten hinzugefügt werden, z.B. für eine Cola-Dose, einen Milch-Tetrapak, Aktivkohle im Gefäß, u.v.m.

7.2.3. Weitere Angebote

Eine häufig vorkommende alternative Sicht war die des Schmelzens von Zucker. Hierzu können zwei vergleichende versuche angestellt werden:

1. Lösen eines Eiswürfels und eines Zuckerwürfels in Bechergläsern mit Wasser und Folgeuntersuchung.
2. Erhitzen eines Zuckerwürfels und eines Eiswürfels in einer Pfanne (zu Hause) oder in einer Abdampfschale in Unterricht.

Die Versuchsbeobachtungen der Versuche sollen vergleichend ausgewertet werden, im Folgeschritt soll insgesamt nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden gesucht werden.

Für alle Phänomene kann an einem späten Zeitpunkt in der Einheit auch zu einer Deutung auf Teilchenebene aufgefordert werden. Wesentlich ist aber, dass die Interpretationen von der Gegenstandsebene aus aufgenommen werden und auf diese zurückgeführt werden müssen.

Aktiv, kraftbegründete Vorstellungen, die ebenfalls häufig in den Studien erfasst wurden, sind nicht als hinderlich und als vorrangig zu bearbeiten eingeordnet worden. In der Folge wurden dazu auch keine expliziten Schlüsselemente entwickelt. Bei konkretem Handlungsbedarf liegen in dieser Arbeit viele Zitate vor, die – z.B. in Gruppendiskussionen mit Handzetteln – reflektiert werden können. Zudem sollte bei Erarbeitung des Basiskonzepts Energie darauf eingegangen werden, in der Konsequenz werden hierfür aus energetischer Sicht Schlüsselemente zu entwickeln sein.

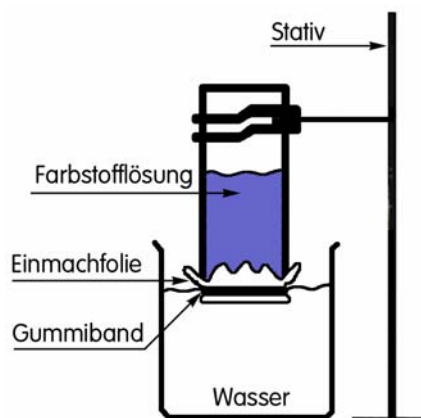


Abb. 7.12: Das molekulare Sieben, WILMS, 2004: 128

Die Übertragbarkeit von Eigenschaften ist eine Vorstellung, die z.B. für *Farbe* und für *Geschmack* auftritt. Das Konzept taucht stärker für das Beispiel Teeaufguss auf als für das Kandisbeispiel. In beiden Themen des Lernbegleitbogens sind feste Stoffe beteiligt, im Fall des Tees bleiben aber offensichtlich weitere feste Stoffe bzw. ein wahrnehmbarer Körper – die Teeblätter – zurück. Man kann hier die Hypothese entwickeln, dass diese Übertragbarkeit dann angestellt wird, wenn damit einhergeht, dass etwas – phänomenologisch wenig oder unverändertes - zurückbleibt.

Wie bereits in Kap. 6.3 vorgeschlagen, könnten Hypothesen zu alternativen Konzepten in Abhängigkeit vom Aggregatzustand in z.B. einer Laborstudie näher untersucht werden.

Was die Eigenschaft *Geschmack* angeht, ist mit Hilfe der Schlüsselemente einiges an Arbeitsmaterial geboten worden, um das nonmaterial-properties-Konzept zu thematisieren und mit Hilfe des Ebenenwechsels hin zu den Teilchen aufzuarbeiten. Man kann die Farbigkeit bzw. ihre materielle Übertragbarkeit sehr gut mit den von WILMS et al. vorgeschlagenen Experimenten untersuchen. Bei diesen Versuchen werden unterschiedliche Permeabilitäten von Farbstoffen durch Einmachfolie genutzt (siehe Abbildung 7.12). WILMS berichtet über das Anwenden des Konzepts innerhalb ihrer Studien mit diesen Experimenten (PEPER et al. 2007).

Vorweg ist es notwendig - und dies ist bisher dort konzeptionell nicht vorgesehen - die festen Farbstoffe zu lösen und die Vorstellungen gemäß dem Schlüsselement-Lehrlernwegschema zu erfragen. Hierin könnte bereits die Herkunft des Übertragungsgedankens zu finden sein. Löse- und Mischexperimente müssten dabei die folgende Merkmalsunterschiede aufweisen: Feststoffe und Feststoffgemische, bei denen z.B. nur eine Komponente in Lösung geht, in Wasser (siehe oben: Feststoffe werden in Wasser gegeben), farbige Flüssigkeiten in Lösemitteln (z.B. Wasser, Benzin). Damit erhält dieser Unterrichtsvorschlag eine erweiterte Aufgabe, seine eigentliche Aufgabe ist die Herleitung des diskontinuierlichen Baus der Stoffe. Nunmehr kann das Aufarbeiten der nonmaterial properties, auch gepaart mit einer gegenständlichen Sicht, ein weiteres Ziel sein.

Aus den Studienergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass komplexere Alltagsphänomene wie das Teekochen die Schüler zwar zum Assoziieren unterrichtlicher Einzelaspekte aufgefordert hat, aber oft nicht zur umfangreichen adäquaten Anwendung des Stoff- wie auch des Teilchenkonzepts geführt hat. Die Unterrichtsbeobachtungen stützen diese Aussage. Für die formative Evaluation der bisherigen Didaktischen Strukturierung wurde daher der klare Auftrag zur besseren Einbindung alternativer Stoffkonzepte wie z.B. das nonmaterial properties Konzept und der geeignet kontextualisierten Unterscheidung von Stoff- und Gegenstandsebene abgeleitet. In den Phasen der De- und Neukontextualisierung (vgl. Phasenschema von ChiK) sollten zu diesem Zweck viele Übungsbeispiele bereitgestellt werden. Es bedarf für die Anwendung des Basiskonzepts eines großen Fundus an Beispielen, die von den Schülern selbstständig bearbeitet werden können - z.B. in der Form der Lernbegleitbogenmethodik. Im Anhang V.III ist ein Dokument mit vielen Aufgaben zusammengestellt - aus der Arbeit im Set Niedersachsen und aus eigener Unterrichtstätigkeit. Der Ursprung dieser Sammlung liegt im Wunsch des Sets Niedersachsen der Implementationsstudie, den Erfolg der Unterrichtseinheit der Vorkoster mit neuen Aufgaben zu messen. Neben der Sammlung von Aufgaben der Kollegen wurde ein Aufgabenangebot von Seiten der wissenschaftlichen Begleitung zusammengestellt. Die Aufgabensammlung weist eine dreiteilige Aufteilung auf: Aufgaben innerhalb des Kontextes, Neukontextualisierung und abstrakte Fragen des Basiskonzepts. Hiermit sind auch Zusätze zur Reflexion jener Vorstellungen eingearbeitet, die auf der gegenständlich-phänomenologischen Ebene „stehen bleiben“ und insbesondere solche, die die Fehlvorstellung der nonmaterial properties hinterfragt bzw. zur Diskussion stellt. In den Studien wurde eine Verquickung von gegenständlicher Sicht und nonmaterial properties beschrieben, die vorrangig beim Aufgabenkomplex Teekochen auftrat. Um auch im Unterricht ein Beispiel zu haben, das diese konzeptuelle Problematik bearbeiten lässt, wurde in Zusammenarbeit mit dem Set Niedersachsen eine komplexe Aufgabe entwickelt, die u.a. die Zubereitung von Kaffee thematisiert. Die Hintergrundinformationen für die Lehrkraft zu den Schülervorstellungen und -konzepten können auf dieses Beispiel leicht übertragen werden, und durch diese zusätzliche Aufgabe bleibt der Einsatz des Lernbegleitbogens unberührt. Die Aufgabe befindet sich im Anhang „Kaffee“. Soll eine größere Vergleichbarkeit mit dem Teeaufguss hergestellt, kann auch einfach gefragt werden: „Beim Kaffeekochen im Kaffeeautomaten wird Kaffeepulver in einen Filter gegeben und mit sehr heißem Wasser übergossen. Die durchgelaufene Flüssigkeit ist das schmackhafte Kaffee-Getränk. Wie erklärst Du mit deinen bisherigen Kenntnissen diesen Vorgang?“

Des Weiteren wurde der Lernbegleitbogen in der Ursprungsversion so überarbeitet, dass am Beispiel „Power-Air“ die Basiskonzeptanteile auch für die Gase berücksichtigt werden können,

die Darstellung befindet sich bereits im Kapitel 6.4. Der Unterricht selbst enthielt viele Sequenzen, in denen Gase behandelt wurden. Mit dieser Veränderung ist eine Referenz zwischen Unterricht und Lernbegleitbogen möglich.

7.3. Der Ertrag für die Einheit „Brände sind Verbrennungen-Brände und unerwünschte Folgen“

Die Analyse der Vorkostererprobungen nahm mehr Raum ein als die der „Brände“. Die Vorkoster-Einheit hat den Stellenwert des Exemplarischen: im Hinblick darauf, die konzeptionellen Gegebenheiten der Chemie im Kontext Konzeption zu nutzen und konkrete Unterrichtselemente zu entwickeln, im Feld zu erproben und zu beforschen und dies mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion forschungsmethodisch umzusetzen, d.h. verschiedene Theorieelemente schlüssig zu verbinden. In diesem Teilkapitel zu den „Bränden“, werden nun noch einige bereichernde Aspekte herausgegriffen.

7.3.1. Erhebungsmethodische Überarbeitungen

Ein auffälliges Ergebnis ist die geringe Bearbeitungsintensität einiger Teile des Lernbegleitbogens; einerseits dahingehend, dass keine Veränderung erfolgte, andererseits, dass die Ergebnisse zum Teil polarisiert waren. Wenn die Atomidee genutzt wurde, „dann war (soweit) alles klar“, d.h. der Sinn der Aufgabe war durchschaut und die Antwort prägnant. Wenn sie allerdings nicht genutzt wurde, dann verblieb die Kompetenz, diese Sachverhalte zu beantworten, häufig auf einem vorunterrichtlichen Niveau. Aufgrund dieser Erfahrungen wird vorgeschlagen, den Lernbegleitbogen dahingehend zu verändern, dass er in den Folgeversionen stärker zu einer erneuten Auseinandersetzung anregt. Zudem muss er aktualisiert werden (vgl. *EXPO 2000 Zitat*, vgl. *Abb. 6.2: Lernbegleitbogen in seiner ursprünglichen Form*).

Thema 1) Verbrennung = Vernichtung, Zerstörung

(Fett Dargestelltes: erscheint ausschließlich in späteren Version)



Brennen wird meist mit *Vernichten*, *Zerstören* gleichgesetzt, wie beim links im Bild erkennbaren Haus.

Aufgabe 1: Beurteile diese Verallgemeinerung **aus chemischer Sicht**: Ist sie sinnvoll und richtig? Begründe deine Meinung.

John Dalton 1778-1829, ein bedeutender englischer Chemiker schrieb “Wir können wohl versuchen, einen neuen Planeten dem Sonnensystem einzuverleiben oder einen anderen zu vernichten als ein Atom zu erschaffen oder zu zerstören. Änderungen, die wir hervorbringen können, bestehen immer nur in der Trennung von Atomen, die vorher verbunden und in der Vereinigung solcher, die vorher getrennt waren.“ [nach JANSEN,1984]

Aufgabe 2: Könnte man aus einem verbrannten Stoff den ursprünglichen Stoff / den Ausgangsstoff wieder zurückgewinnen? Wie könnte das geschehen? **Beziehe dich in deiner Antwort, wenn möglich, auch auf Daltons Aussagen.**

Abb. 7.13: Der Lernbegleitbogen in seiner veränderten Form, Bildquelle: http://www.feuerwehr-schauren.de/joomla/images/ffw_images/brand.jpg gesichtet 20.12.2010

Die Aufgabenstellungen 1.1 und 1.2. des ursprünglichen Bogens sind zusammengefasst, die Aufgabenstellung ist deutlicher als vorher *intentional*, dies ist bewusst bezweckt worden. Die empirischen Ergebnisse zeigen, dass die Perspektive der gegenständlich-phänomenologischen Betrachtung ein fachlich-chemisches Bearbeiten der Themenstellungen verhindern kann, wenn sie die ausschließliche Perspektive ist. Die Aufgabe 1.3 zur Reversibilität ist für die Schüler schwierig gewesen, aber inhaltlich für den Forscher besonders interessant (Transfer-, Abstraktionsfähigkeit). Um Funktion dieser Teilaufgabe zu erhöhen und dem Lerner auch seinen Kompetenzzuwachs deutlicher werden zu lassen, muss eine Lern- oder Bearbeitungshilfe gegeben werden. Außerdem belegt gerade die Frage der Reversibilität, die nunmehr die Aufgabe 2 beinhaltet (ehemalig Aufgabe 1.3), deutlich, dass keine Abstraktion erfolgte, solange man von der Ebene Gegenständlichen nicht abgerückt ist, bzw. solange diese die einzige Argumentationsebene war. Der Gewinn der Aufgabe liegt darin zu zeigen, ob und wie die Schüler in der Lage sind, die Ebenen funktional zu vernetzen. Selbstverständlich ist dieser thematische Teil immer noch der anspruchsvollste und abstrakteste. Dies geschieht, indem zwischen den Aufgaben in der Version für die Folgeeinsätze ein Zitat Daltons gestellt wird. auch werden einige Formulierungsänderungen vorgenommen, wie ein Vergleich mit den ursprünglichen Formulierungen (siehe Abb.6.2a) mit denen aus Abbildung 7.13 verdeutlicht.

Interessant ist, ob die Zusatzinformation der Atomerhaltung auch im zweiten Thema genutzt wird. Hierin liegt ein Transfer zu einem neuen Kontext. Als Kritik kann angemerkt werden, dass der von den Schülern häufiger in Aufgabe 2 *selbstständig* vorgenommene Perspektivwechsel nunmehr von außen auferlegt wird, d.h. er wird in der veränderten Version von Seiten des Lernbegleitbogens suggeriert. Die Nutzung der Atomebene kann somit nicht mehr dahingehend beurteilt werden, ob die Schüler das Heranziehen der Theorie selbst erkannt haben, oder ob sie durch die Informationen auf die Anwendbarkeit hingewiesen wurden und die Anwendung leisten konnten. Als Begegnung darauf kann auf die Funktion hingewiesen werden: Wird das Instrument zukünftig vorrangig für die Lern- und Unterrichtsbegleitung genutzt, so ist dieses Argument nicht von besonderer Bedeutung und der Lerner kann dies natürlich immer noch selbst für sich beurteilen. Sollte der Bogen im Optimalfall dreimalig eingesetzt werden, so ist es möglich, das Daltonzitat erst beim letzten Einsatz mit aufzunehmen (zum Abschluss der Dekontextualisierung), während man das Kreislaufprinzip und die Atomidee bereits früher eingeführt hat und mit einem Bogeneinsatz (d2) untersucht hat. Möglich ist auch, das Daltonzitat auf einer Folie zu präsentieren und den generellen Auftrag zu geben, die Aufgaben vor dem Hintergrund dieser Aussage kritisch zu prüfen. Vermutlich wird auf diese Weise nicht nur das Heranziehen der Entität *Atome* gefördert, sondern auch die Anwendung von Atommodell-Merkmalen, damit wird auch die Möglichkeit, alternative Konzepte über Atome (z.B. B1, B2) hervorzulocken, erhöht.

Der dritte Bogenteil behandelt das Thema *Vorgänge am Feuerzeug*, hier nahmen im Folgeeinsatz ebenfalls wenige Probanden Veränderungen vor, teilweise weil die Antworten aufgrund des später als gedachten Einsatzzeitpunktes korrekt waren, sie belegen demnach die Kompetenz der Schüler, die erfragten Phänomene zu unterscheiden. Andererseits lagen auch verschiedene alter-

native Konzepte zum Ausströmen des Gases als solches vor (Wärmequelle, angebliche chemische Reaktion, Einfluss der Luft). Die Nutzung dieser Aufgaben ist deshalb insgesamt wichtig: Einerseits, weil die richtige Beantwortung selbstverständlich als positiv zu bewerten ist und weil alternative Vorstellungen gerade hervorgelockt werden sollen. Andererseits, weil das Phänomen sehr leicht experimentell zu untersuchen ist und damit ein gemeinsames Ergebnis auch im Unterricht aufbauend auf den Lernbegleitbogeneinsatz herauszuarbeiten ist. Das Gas kann in einem Eudiometer aufgefangen und entzündet werden (z.B. nach SOMMER (1999), 26), auch sind *Microscale*- oder sog. *Low-Cost-Varianten* mit Hilfe von Medizintechnik möglich (z.B. OBENDRAUF 2003, 2003a).

7.3.2. Implikationen für den Unterricht

Der im Einzelfall erprobte Unterricht wich in der Durchführung von der geplanten Version thematisch ab, er enthielt viele neue Details und Fragestellungen. Übereinstimmend mit den Planungen enthielt die veränderte Version eine wesentliche Komponente des Schlüsselements, d.h. die Herleitung der Atomidee über den Kreislaufgedanken, nämlich über die Wiedergewinnung von Kohle aus Kohlenstoffdioxid durch Magnesium. Der Fundus an Experimenten und Material ist demnach um eine experimentelle Schlüsselkomponente bereichert. Im Hinblick auf die zentralen Komponenten eines an Vorstellungen orientierten Unterrichts *Anknüpfen, aktives Auseinandersetzen und Umdeuten* (revolutionär oder evolutionär, vgl. Kap. 5.4) ist dieser Teil der Ersterprobung sogar noch ausbaufähig.

Beispielsweise haben die Schüler aus kurzfristig-aktuellen Gründen keine eigenen Zeichnungen darüber angefertigt, wie sie diese Beobachtungen zu erklären versuchen.

Das Gleiche gilt für den möglichen Auftrag, wie sie sich die Wiederherstellung der Kohle vorstellen. Dies ist anhand dieser Reaktion möglich, wenngleich dies ein sehr anspruchsvoller Auftrag ist. Zeichnungen über einen einfacheren Zusammenhang, beispielsweise darüber, was mit der Kohle beim Verglühen geschieht, sind den Erfahrungen nach sehr gut zu erhalten, diese Aufgabe wird vielfältig bearbeitet.

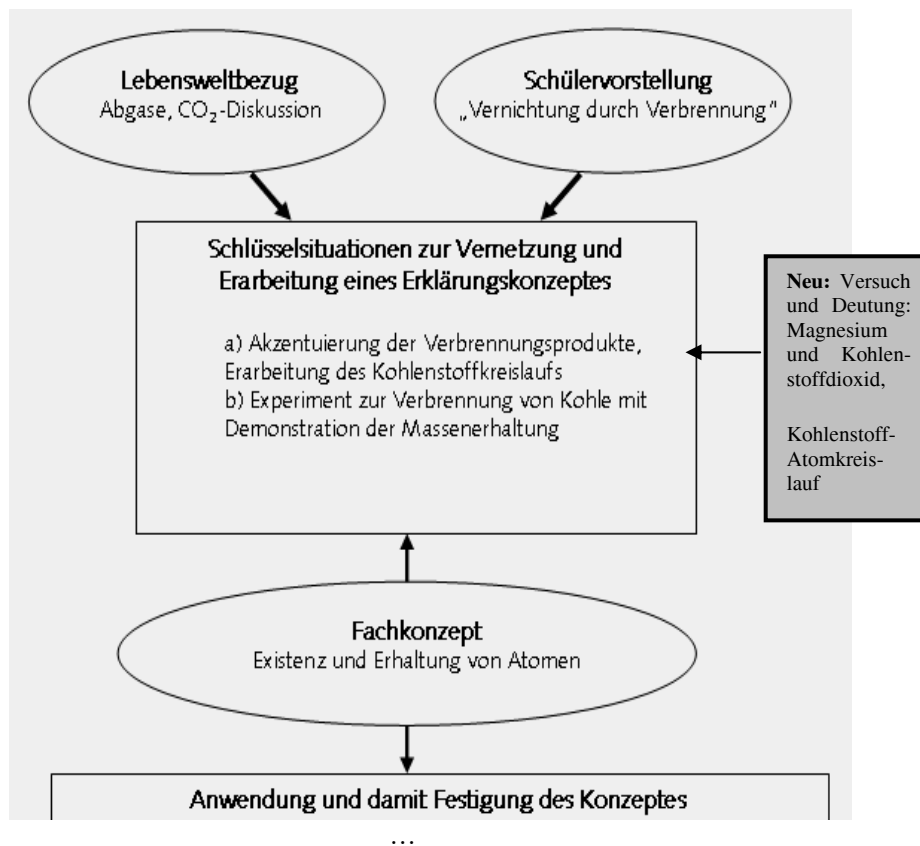


Abb. 7.14: Das Schlüsselement (vgl. Abb. 5.25) des Zyklus II mit dem neuen Zusatz des einfachen Kohlenstoffatomkreislaufs

Der veränderte „Versuch von BOYLE“, der Kohle einsetzt (vgl. Abb. 5.24), fand in der Fallstudie keinen Einsatz, er kann aber prinzipiell in dieser veränderten Version der Einheit in der Anwendungs- und Festigungsphase eingesetzt werden. Er hat gegenüber der klassischen Version wesentliche Vorteile in bezug auf die Arbeit an Schülervorstellungen (vgl. Kap. 5.4). Die vorher gemachten Zeichnungen könnten gemäß dem Schlüsselement mit Versuchsergebnissen in Verbindung gebracht werden. Die Fragehaltung für die Einführung der Atomidee wurde in der Fallstudie aus den Versuchsergebnissen dieses neuen Schlüsselements abgeleitet, sodass die Boyle-Variante hier nicht *diesen Zweck* zu erfüllen brauchte. Der Boyleversuch wurde in seiner klassischen Form bereits vorher eingesetzt, die Massenerhaltung wurde ohne die Atomerhaltung erarbeitet. Dieses Vorgehen hatte allerdings zur Folge, dass der Boyle-Versuch gar nicht mehr im Hinblick auf die Atomerhaltung interpretiert wurde (also nicht: Massenerhaltung, *da* alle Atome erhalten bleiben). Der BOYLESche Versuch lässt sich an verschiedenen Stellen mit den beiden unterschiedlichen Edukten einsetzen. Wenn die Massenerhaltung - wie in der Fallstudie geschehen - am Beispiel des Eisens untersucht wurde, so kann man im Anschluss an die „Magnesium- und Kohlenstoffdioxid“-Sequenz die Version mit Kohle durchführen und beispielsweise aufbauend zur Sicherung der Ergebnisse zur Reversibilität noch Schülerzitate anführen, die die Schüler kritisch beleuchten, beispielsweise:

„Der Zusammensetzung nach kann man aus Kohlenstoffdioxid wohl Kohlenstoff herstellen. In Wirklichkeit ist es aber unmöglich, aus einem farblosen Gas schwarzen Kohlenstoff herauszuholen.“ Zitat einer etwa gleichaltrigen Schülerin, (nach PFUNDT 1981)

7. Der Ertrag des Vorhabens

Des Weiteren zeigte sich in der Fallstudie II, dass der Begriff „Umwandlung“ von Schülerseite gern verwendet wurde. Die fachdidaktische Beurteilung (vgl. Kap. 2) ist im Gegensatz dazu kritisch. Ein schülerorientierter Unterricht hat den Begriff zu akzeptieren und mit der Schülerpräferenz konstruktiv umzugehen, d.h. auch hier ist Material zur Reflexion anzubieten, das in Abbildung 7.15 a und b dargestellt ist.

„Media Convert - kostenlos Daten umwandeln und konvertieren“ (Werbung)

Eine Datei in ein anderes Format zu überführen, zu ändern, ist dir sicher bekannt. Aber: Was ist eine Stoffumwandlung? Was ist genau gemeint? Stelle gegenüber:

Stoffumwandlung	Dateiumwandlung
Edukt	
Produkt	
	Inhalt /z.B. der Wordtext, der als pdf-Dokument umgewandelt werden soll
...	...

Peter Parker verwandelt sich...



... in Spiderman



Umwandeln und Verwandeln? Wo ist der Unterschied?

Verwandeln sich Stoffe?
Beurteile selbst.

Abb. 7.15a und b: Arbeitsblattteile a (oben) und b (unten) zur Reflexion des Begriffs „umwandeln“ Bildquelle: <http://www.baerfacts.de/wp-content/uploads/2007/04/spider-man-11.JPG> und http://1.bp.blogspot.com/_KzHzUA_TzHU/RnsHMQLicMI/AAAAAAAAACw/v2LcLfni6o/s320/peter_and_m.jpg, gesichtet 31.03.2009

Ziel ist es hier, bewusst die Übereinkunft zu treffen, was mit dem Begriff gemeint ist. Die alternative Vorstellung der Stoffkonstanz bei Veränderung der Eigenschaften kann hervorgehoben und reflektiert werden.

8. Ausblick auf neue Aufgaben

Eine wesentliche eigenständige Aufgabe besteht in der Analyse der Videos. Neben der Codierung und Kategorisierung von Vorstellungen z.B. zu anderen Basiskonzepten wird ein nächster Schritt die Suche nach Lernwegen oder ggf. „Typen von Vorstellungsänderern“ sein. Unterricht ist im Vergleich zu einem Labortreatment vermutlich dynamischer und komplexer. Um auf die Ursachen von Konzeptveränderung oder von -konstanz aus authentischen Felddaten zu schließen, sollte eine differenziertere, möglicherweise quantitativ geschlossene Beschreibung der Unterrichtssituation stattfinden. Das KONU-Kategoriensystem (DUIF *et al.* 2002) kann hier dienlich sein und wurde in Teilen bereits umgesetzt, zur Beschreibung der Sichtstruktur wurden auf der Basis der Videostudien des IPN Vorarbeiten gemacht, die für eine operationalisierte Codierung des Unterrichtsgeschehens herangezogen werden können (vgl. Anhang IV.4). Dies ist für die Formulierung von Wirkungszusammenhängen sehr hilfreich. Da hier ein ausgesprochen umfangreicher Datensatz vorliegt (24 Stunden und 20 Stunden), muss eine geschickte Ausschnittsbildung vorgenommen werden. DALEHEFTE (2007) hat mit der Codierung bereits einen quantifizierenden Ausschnitt geboten.

Unter den deskriptiven Ergebnissen in bezug auf Schülervorstellungen ist die *konzeptuelle Kombination* der flexiblen Eigenschaften (nonmaterial properties) und der gegenständlichen Sicht erwähnenswert, in Laborstudien könnte ihrer Ursache und ihrer Bedingung nachgegangen werden. Ebenso könnten hinsichtlich der Anhängigkeit der Nutzung von Teilchenkonzepten (die spontan im Lernbegleitbogen oder im Unterricht ohne Instruktion gebildet wurden) Laboruntersuchungen folgen: Die neue Hypothese, dass sie bei Phänomenen mit *festen* Stoffen, die „verschwinden“ (Kandis) eher als bei komplexen Feststoffgemischen gebildet werden, und dass Prozesse mit Feststoffen eher als die mit Flüssigkeiten dazu anregen (vgl. Kap. 6.3) könnten mit Hilfe von Interviews, wie WILMS (vgl. PEPER *et al.* 2007) sie mit auffordernden Experimenten durchführt, untersucht werden, um die Begründungsmuster zu erforschen.

Abschließend soll der Ausblick die direkte Unterrichtspraxis betreffen. Wie kann die Arbeit möglichst effizient in die Gesamtbemühungen der Implementation von ChiK eingeordnet werden? Unterricht mit und an Schülervorstellungen ist weder beliebt noch einfach zu gestalten (vgl. DEL POZO 2001, BARKE 2006, PETERMANN *et al.* 2008). Er wird derzeit innerhalb der Fachdidaktik Chemie wieder stärker in den Fokus gerückt. Mit einer Materialvergabe allein ist ein Umdenken vermutlich schwerlich zu bewerkstelligen. Die Setarbeit innerhalb des Implementationsprojekts kann als optimal angesehen werden. Eine Verbreitung der Kultur des an Schülervorstellungen orientierten Unterrichts wird vermutlich am besten mit einer stetigen Zusammenarbeit von Lehrkräften – und ggf. Forschern - einhergehen. Wünschenswert wäre, dass sich verstärkt Netzwerke etablieren, in denen u.a. auch Ergebnisse dieser Arbeit Eingang fänden.

9. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit nutzt das Forschungsmodell der *Didaktischen Rekonstruktion* zur Entwicklung und empirischen Untersuchung von Unterrichtselementen für die Konzeption *Chemie im Kontext*. Didaktisch rekonstruiert werden Themenbereiche des Anfangsunterrichts Chemie sowie der Erarbeitung der Merkmale chemischer Reaktionen und ihrer modellhaften Deutung. Die Ergebnisse der Arbeit beziehen sich auf den Unterricht des ersten Schuljahres, in dem das Fach Chemie erteilt wird. Für den Chemieunterricht sind Vorstellungen zum Aufbau der Stoffe von besonderer Wichtigkeit. Das Beherrschen des Wechselspiels zwischen der phänomenologischen Ebene der Gegenstände und Stoffe und der Modellebene der Bausteine und der Atome ist eine zentrale Voraussetzung für die Entwicklung eines Verständnisses chemischer Phänomene und Prozesse. Dieses Wechselspiel ist so fundamental, dass es als Basiskonzept Stoff-Teilchen bezeichnet wird. Die *Entwicklung des Basiskonzepts* und darauf aufbauend die der Unterrichtsangebote erfolgt entlang des Modells der Didaktischen Rekonstruktion in den Arbeitsschritten *Fachliche Klärung, Klärung der Schülerperspektive, Didaktische Strukturierung*.

Die *fachliche Klärung* beinhaltet die Analyse des Teilchen- und Atombegriffs aus didaktischer Perspektive. Hierin sind jene fachwissenschaftlichen Hintergründe von Belang, die für den Teilchenbegriff im Anfangsunterricht bedeutsam sind. Das erste einfache Diskontinuumsmodell besitzt seinen fachwissenschaftlichen Hintergrund im klassischen Atommodell der Antike. Die fachliche Klärung stellt heraus, dass einerseits der Begriff des Teilchens und der des Atoms in der *historischen Genese* aufgrund des jeweiligen Kenntnisstands über den Bau und die Zusammensetzung der Stoffe eine Vermischung erfahren. Andererseits klärt sie, dass auch in didaktischer Hinsicht Probleme im Verständnis der Begriffe auftreten können, wenn die erste Diskontinuumsvorstellung und die später eingeführte Atomvorstellung DALTONS bildlich wie sprachlich gleichgesetzt oder nicht aufeinander bezogen werden. Das Problem des Aufeinandertreffens des ersten Teilchenbegriffs (für die kleinste repräsentative Einheit eines Stoffes) und des Atombegriffs ist somit eine zentrale Aufgabe für die didaktische Strukturierung.

Parallel bedarf es der *Analyse von Schülervorstellungen* und -konzepten zu den Themenbereichen. Lernpsychologische Hintergründe aus der Conceptual Change-Forschung werden eingangs zusammengefasst. Für das in den Fokus gerückte Basiskonzept liegen zahlreiche Publikationen vor, in denen vorunterrichtliche, alternative Vorstellungen beschrieben werden. Es ist notwendig, die vorhandenen Ergebnisse systematisch zu ordnen, zu den fachlichen Aspekten in Beziehung zu setzen und Kategoriensysteme als Auswertungsinstrumente zu entwickeln, die in der Folge die Codierung und Analyse der einzuholenden Daten ermöglicht. Zu den zwei Themenfeldern „Stoffe und ihre Eigenschaften, Bau der Stoffe“ (erstes Themenfeld) und „Stoffliche Vorgänge bei der chemischen Reaktion und ihre Deutung“ (zweites Themenfeld) werden zwei Kategoriensysteme entwickelt. Die Konzeptkategorien werden mit vielen Beispielen versehen, die Herkunft der Vorstellungen und Konzepte wird, soweit möglich, beleuchtet und die didaktische Wirkung wird beurteilt (beispielsweise ein lernhinderlicher Einfluss). Als Ergebnis liegen zwei Kategoriensysteme vor, je eines für die genannten Themenfelder: Sie sind dreigliedrig, sie enthalten die Ebene der Stoffe (Kategorie A), die Hybridebene, in der makroskopische Merkmale auf die Modellebene übertragen werden und umgekehrt (Kategorie B) und die diskontinuierliche Ebene (Kategorie C), in der ebenfalls Besonderheiten im Schülerverständnis vorliegen können.

Nach der Analyse der Schülervorstellungen und der Bezugnahme auf die fachliche Sicht (und umgekehrt) wird das *Basiskonzept Stoff-Teilchen als didaktische Inhaltsstrukturierung* aufgestellt. Aufgrund der Erkenntnisse zu Hybridvorstellungen und -konzepten wird beispielsweise der Begriff *Baustein* - anstelle des Teilchenbegriffs - gewählt und begründet. Die Kugeligkeit von

Bausteinen wird verworfen, um Missverständnisse zu DALTONS Modell zu vermeiden. Die DALTONSche Atomvorstellung wird (erst) bei der Deutung chemischer Reaktionen eingeführt, ein übergeordnetes Bausteinmodell wird bereits im ersten Themenabschnitt formuliert. Das Basiskonzept enthält die den jeweiligen Entscheidungen Begründungen auf der Basis der vorherigen Analyseschritte.

Das erste Ergebnis auf der Basis des Forschungsmodells ist eine *Inhaltsstrukturierung*. Um aus dem Basiskonzept konkrete *Unterrichtsangebote* zu entwickeln, werden weitere Theorien herangezogen. Lernpsychologische wie naturwissenschaftsdidaktische Quellen zum Conceptual Change, zum Situierten Lernen sowie zur Konzeption Chemie im Kontext bieten Grundlagen für die Entwicklung zweier Unterrichtseinheiten. In diesen Einheiten wird mithilfe so genannter Schlüsselemente die Orientierung an Schülervorstellungen und Konzepten besondere Bedeutung beigemessen. Vorgeschlagene Strategien zur Konzeptveränderung, sowohl die revolutionär arbeitenden wie auch die evolutionär arbeitenden und die an den Sozial-Konstruktivismus orientierten, haben gemeinsam, dass eine aktive Auseinandersetzung ermöglicht wird, die mit den Schlagworten „Anknüpfen, Konfrontieren/Reflektieren, reflektiertes Anwenden“ zusammengefasst werden können. Es werden Kriterien aufgestellt, die bei der Entwicklung von Schlüsselementen für die Arbeit an und mit Schülervorstellungen berücksichtigt werden sollen, ohne sich einem bestimmten theoretischen Ansatz zu verschreiben. Als Ergebnis werden zwei Unterrichtseinheiten beschrieben, Unterrichtsmaterialien entwickelt, Schlüsselemente gezeigt und mit Hilfe der Kriterien begründet. Die Einheiten haben die Titel „Der Vorkoster in Not- die Chemie ersetzt den Vorkoster“ (zum Themenfeld I) und „Erwünschte Verbrennungen- unerwünschte Folgen“ (Themenfeld II).

Die *Unterrichtseinheiten* werden in Form zweier aufeinander folgender *Fallstudien* erprobt und empirisch begleitet. Als *Untersuchungsinstrumente* werden *Lernbegleitbögen* entwickelt, zusätzlich werden die Verläufe mittels Video dokumentiert. Lernbegleitbögen werden anders als typische Pre-Post-Tests in Folgeeinsätzen mitsamt den Antworten der Probanden wieder ausgegeben, damit die Teilnehmer ihre vormaligen Antworten und die dazugehörigen Kenntnisstände erfahren und reflektieren können. Das Instrument kann prinzipiell vor dem Unterricht sowie möglichst mehrfach im Verlauf des Unterrichts eingesetzt werden, um Veränderungszeiträume zu erfassen und Hypothesen über mögliche Unterrichtsbezüge formulieren zu können. Mit diesem neuen Erhebungselement wird ein Kompromiss aus verschiedenen Erhebungsmethoden, die in der Vorstellungsforschung auftreten, entwickelt. Für die erste Einheit wird das Thema „Teeaufguss und Kandis im Tee“ gewählt, für die zweite Einheit werden drei Phänomene „rund um Verbrennungen“ gewählt. Die Lernbegleitbögen enthalten jeweils nur wenige, offene Aufgaben, die nicht den Unterrichtsbeispielen selbst entsprechen, aber unterschiedliche starke Bezüge zum Unterricht haben. Die Videographie dient der Sicherung der Dateninterpretation, sie liefert einen großen Fundus an erfassten Vorstellungen und stellt eine detailreiche Basis für die Suche nach Wirkungszusammenhängen dar. Die Antworten der Lernbegleitbögen werden im ersten Schritt induktiv codiert und mithilfe der Kategoriensysteme dann deduktiv abgeglichen. Auf diese Weise werden fachlich adäquate Vorstellungen des Basiskonzepts und Vorstellungen für kategorial belegte Konzepte (d.h. neue Beispiele für Vorstellungen und Konzepte, die in den Kategorien bereits beschrieben sind), gefunden. Aufgrund dieser Verfahrensweise können auch neue, induktiv gewonnene Beispiele und Deutungen gefunden werden. Innerhalb der ersten Studie zu Stoffeigenschaften und dem Bau der Stoffe wird beispielsweise als neues Ergebnis deutlich, dass Schüler auffällig oft Vorstellungen zweier Konzeptkategorien mischen: Das Konzept flexibler und übertragbarer Eigenschaften von Stoffen (nonmaterial properties Konzept) tritt oft gepaart mit dem Konzept der rein gegenständlich- phänomenologischen Sicht auf. Neben der Erfassung neuer Vorstellungen und Konzepte ist die Frage nach der Bedeutung dieser für das Lernen von besonderem Interesse. Die Analyse der Veränderungen ermöglicht es zu rekapitulieren, welche Konzepte möglicherweise hinderlich für das Aneignen des Basiskonzepts sind, welche möglicherweise auch Lernhilfen innerhalb der Kompetenzentwicklung sein können. Auch hier erbringt

die Datenanalyse der Fallstudien interessante Ergebnisse. Mit großer Wahrscheinlichkeit treten Hybridkonzepte über Teilchen innerhalb einer Lerngruppe auf, d.h. sie sind nicht vermeidbar. Den Ergebnissen nach werden sie öfter zu einer fachlich adäquaten Sicht überarbeitet als dass sie (fachlich fehlerhaft) stabil sind. Der Datensatz der Fallstudien zeigt allerdings nicht, dass über die zwischenzeitliche Bildung von Hybridvorstellungen das Erlernen des Perspektivwechsels *erleichtert* wird. Eine weitere Studie, die innerhalb des Implementationsprojekts mit Hilfe der Lernbegleitbögen aufgenommen wird, erbringt interessanter Weise auch bei großer Stichprobe hierzu kein eindeutiges Ergebnis: Solche Hybridvorstellungen *können* ein Schritt auf dem Weg ins Diskontinuum sein, sie *müssen* es aber nicht. Und: Sie *können* sich auch etablieren und dann einen Mangel in der Kompetenz, die Perspektive der Stoffwelt und der Teilchenwelt zu wechseln, darstellen. Die Ergebnisse zum Lernbegleitbogen zur zweiten Einheit stellen im Besonderen die Kontextabhängigkeit der verwendeten Konzepte heraus. Die unterrichtsnahen Themenstellungen zu den Verbrennungen und ihr Zusammenhang zur „Vernichtung und Zerstörung von Materie“ liefern häufig Antworten gemäß der Fachkonzepte. Der Unterricht ist so gestaltet gewesen, dass die Kennzeichen chemischer Reaktionen gerade aus Gründen der Schülerorientierung anhand der Verbrennungen erarbeitet werden - und nicht etwa an fachsystemisch motivierten Beispielen. Diese kontextorientierte Verfahrensweise erweist sich demnach als fruchtbar. Für den zweiten Aufgabenteil des Lernbegleit-bogens, der die Konzeptanwendung in einem neuen Kontext erfordert, werden allerdings Ergebnisse erzielt, die für eine recht begrenzte Anwendungskompetenz sprechen und in denen statt dessen zumeist kategorial belegte, alternative Konzepte verwendet werden. Im Vergleich mit anderen Studien z.B. des Wissenserwerbs und der Transferforschung muss allerdings festgestellt werden, dass die Ergebnisse insgesamt durchaus zufrieden stellend sind.

Als Ertrag der Arbeit geht somit einerseits ein Fundus an Materialien für den Unterricht hervor. Auf der Basis der Ergebnisse werden abschließend neue zusätzliche Materialien für die Schlüsselemente erstellt, in denen die Arbeit mit bestimmten alternativen Konzepten optimiert wird. Andererseits hat die Arbeit methodischen und methodologischen Ertrag. Die Kategoriensysteme bieten eine empirisch geprüfte Arbeitsgrundlage, die aufgestellten Beurteilungen zum Einfluss der Vorstellungen und Konzepte sind geprüft und differenziert worden, sie stehen für andere Forschungsarbeiten zur Verfügung, bieten allerdings auch für Unterrichtspraktiker eine Arbeitsgrundlage. Die Methode „Lernbegleitbogen“ hat sich als ergiebig erwiesen, nicht nur für die Forschung sondern für den Unterrichtsalltag. Dazu wird Begleitmaterial entwickelt, das den Einsatz optimieren kann. Im Ausblick ist gezeigt, in welcher Weise die Ergebnisse weitere Forschungsarbeiten nach sich ziehen können.

10. Abstract

In the dissertation the research model of *didactic reconstruction* is employed to develop and empirically evaluate lesson contents on the basis of pupils' conception and factual knowledge in the didactic fields of *Chemie im Kontext*. Subject areas of elementary chemistry instruction as well as the acquisition of knowledge about characteristics of chemical reactions and their exemplary interpretation are didactically reconstructed. Therefore, the research findings relate to first year chemistry lessons. Conceptions of the chemical constitution of matter are crucial for the chemistry lesson. As one of the elementary competences the pupils have to be able to comprehend the interplay between the phenomenological level of matter and the level of particles and atom models. Without this comprehension they cannot establish a basic understanding of chemical phenomena and processes. The interplay is so fundamental that it appears as one of the scientific concepts, named the basic concept "matter- particles". The *development of this scientific concept*, and thus the curriculum, result from a three step approach following the model of didactic reconstruction: *factual clarification, clarification of pupils' conceptions, didactic structuring*.

The factual clarification includes the analysis of the concept of particles and atoms from a didactic perspective. Consequently, only scientific background concerning the concept of particles for elementary instruction is relevant. The first simple model of discontinuity derives from the classical atom model of the ancient world. Factual clarification points out that on the one hand the concept of particles and atoms depended on the particular state of knowledge about constitution and composition of atoms and had been constantly intermingled due to the historical genesis. On the other hand, in didactics it becomes obvious that comprehension problems could therefore arise if the first conception of discontinuity and subsequent DALTON's conception of atoms are used synonymously or are not related to each other. The issue of the clash between the first particle concept (for the smallest representative unit of matter) and the atom concept is a central challenge for the didactic structuring.

At the same time analyses of pupils' conceptions and concepts on that subject are needed. At the beginning of the chapter, background information on research in Conceptual Change is presented. Although an increasing number of publications for this specific scientific concept exist, in which different pre-instructional conceptions are described, the existing results had to be systematically ordered and related to the factual aspects. Besides, category systems as evaluation instruments have been developed, which allow the codification and analysis of data. A category system for each of the topics "matter and its characteristics, constitution of matter" (topic 1) and "material processes in chemical reactions and their interpretation" (topic 2) has been developed. In the course of the chapter the choice of studies taken into account is explained, the conceptual categories are provided with various examples, the origin of conceptions and concepts is surveyed and the didactic effect assessed, (for example a hindering influence in learning).

Results of the analyses show two tripartite category systems: they include the level of matter (category A), the hybrid level, on which macroscopic characteristics are transferred on the model level and vice versa (category B), and the discontinuity level (category C), on which particular pupils' conceptions can occur as well.

Following the analyses of pupils' conceptions and the related factual aspects, the scientific concept *matter-particles* is introduced as didactic structuring for content. One example is the resulting explanation why the term *component* instead of particle is used. This explanation is based on the findings of conceptions and concepts concerning hybrids. The roundness of components (formerly particles) is rejected to avoid misunderstandings over DALTON's model. The latter is only introduced when interpreting chemical reactions. However, an overarching component

model has intentionally been defined in the first part already. The scientific concept gives reasons for each decision on grounds of the previous analyses.

Thus, content structuring is the first finding based on the model of didactic reconstruction. Conclusions regarding other structures in lessons cannot be drawn. More theories are consulted to develop concrete curricula: two teaching units could be developed on the basis of learning and instructions sources as well as scientific didactic sources of Conceptual Change, Situated Learning and concepts of Chemie im Kontext. In these teaching units special emphasis is put on pupils' conception and concepts with the aid of so-called key elements. Suggested strategies for a concept change – revolutionary as well as evolutionary and those of social constructivism - have in common that they enable an active involvement, which can be summarised in the keywords *connection – confrontation/ reflection – reflected application*. Without focusing on one theoretical approach, this chapter presents criteria which should be followed when developing key elements for dealing with pupils' conceptions. The result of this can be seen in two teaching units for which teaching materials have been designed. The key elements are presented and justified by means of the previous criteria. The outcome of this are the teaching units "The food taster in trouble – chemistry replaces the food taster" and "Desired combustion – undesired consequences".

Both have been sampled and empirically accompanied in two consecutive case studies, for which a new measuring instrument in form of an Questionnaire called Lernbegleitbogen (while-learning questionnaire) was developed. At the same time, video recording was additionally applied. In contrast to typical Pre-Posttest- designs the while-learning questionnaire can be handed back to pupils in following procedures so that the participants can experience and reflect their former answers and state of knowledge. In principle, the measuring instrument can be applied before the lesson, but should be applied several times in the course of the lesson so that the transformation of knowledge over time can be measured. Another advantage is that during the learning process hypotheses about related subject areas can be formulated in this questionnaire. Therefore, this new instrument is a compromise which unites various measuring instruments that have recently been applied in conception research. The first teaching unit includes the topic "Tea liquor and sugar candy in tea", for the second and third unit three phenomena from "everything around combustion" was chosen. The while-learning questionnaire consists of only a few open questions, which stand in relation to the lessons but do not correlate with the exact examples taught. The video recording secures the interpretation of data and provides a great pool of surveyed conceptions. Thus, it is a detailed base when searching for correlating effects. Dealing with the answers of the while-learning questionnaires they are firstly inductively encoded and secondly deductively compared to the category systems. In that way factual adequate conceptions concerning the scientific concept and conceptions of already categorically documented concepts can be identified.

Only because of this proceeding new inductively gained examples and interpretations can be found. For example, the first survey about characteristics and constitution of matter reveals that pupils significantly often intermingle conceptions of two concept categories: the concept of flexible and transferable properties of matter (nonmaterial properties – concept) is often paired with the concept of objective- phenomenological views. Next to the identification of new conceptions and concepts the question about the relevance for knowledge acquisition is of utmost importance. The analysis of knowledge transformation enables the recapitulation of concepts which could be obstructive for the acquisition of the scientific concept, and on the other hand of those that could be stepping stones and therefore helpful when developing the competence. The findings in this data analysis show that there is a high chance for hybrid concepts over particles to appear within one sample group, which means that they are unavoidable. As presented in the findings these concepts are more often revised adequately, than memorised factually wrong. The dataset does not show, however, that a change in perspectives can be facilitated due to intermittent hybrid conceptions. Interestingly, another case study within the implementation project em-

ploying the while-learning questionnaire did not reveal clear findings either, although it surveyed a distinctively larger sample. Such hybrid conceptions *can* be a helpful step in the direction of discontinuity, but they *needn't*. Furthermore, they could even perpetuate in pupils' minds and hinder them from achieving the competence of changing from a matter to a particle perspective.

The findings for the second unit show the concepts' dependency on the context, as answers close to the topics combustion and their relation to "annihilation and destruction of matter" are often adequate. Since pupil orientation is an important issue, the corresponding lessons are designed to teach the characteristics of chemical reactions by means of combustion - and not by means of scientifically motivated examples. According to that, the applied context orientated method is effective. But the effect could not be shown for the second part of the while-learning questionnaire, which asks for the concept's application in further contexts. The findings demonstrate a lower application competence in which pupils used alternative, categorically documented concepts. Nevertheless, in comparison to different case studies such as knowledge acquisition and transfer research, satisfying results could be achieved.

The dissertation brings forward a full range of beneficial outcomes. Tuition material for the teaching units and new material for the key elements are provided, which have been developed and optimised on the basis of the presented findings.

Moreover, the dissertation at hand is of high importance for methodical and methodological research as the category systems provide an empirically tested basis with differentiated evaluations on the influence of conceptions and concepts. The method "while-learning questionnaire" turned out to be effective not only for research but also for daily instructions in school. In addition, helpful accompanying material has been developed. The outlook of this paper shows in how far the findings could entail further research work.

11. Verzeichnisse

11.1. Literatur

- ABRAHAMSON, C. E.: Storytelling as a Pedagogical Tool in Higher Education, in: *Education* 118 (3) (1997): S. 440-451.
- ALTRICHTER, H., POSCH, P.: *Lehrer erforschen ihren Unterricht. Eine Einführung in die Methoden der Aktionsforschung*, Klinghardt Verlag, Bad Heilbrunn, 1998
- ANDERSSON, B.: Pupils' explanation of some aspects of chemical reactions. *Science Education* 79 (1986): S. 549-567.
- ANDERSSON, B.: Pupils' Conception of Matter and its Transformation. *Studies in Science Education* 18 (1990): S. 53-85
- ARNOLD, K. et al. (Hrsg.): *Fokus Chemie, Gymnasium Bd. 1*, Cornelsen Verlag, Berlin, 008
- ASSELBORN, W. et al. (Hrsg.): *Chemie heute, Sekundarstufe I*, Schroedel Verlag, Hannover, 2001
- AUFSCHAITER, V. S. und C.: Prozessbasierte Analysen kognitiver Entwicklung, in: *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lernprozessen*; in: AUFSCHNAITER V. S., Waxmann Verlag, Münster, 2001: S. 115-128
- AYLWARD, G. et al.: *Datensammlung Chemie in SI-Einheiten*. Verlag Wiley-VCH, Weinheim, 1999
- BÄR, F. et al.: Umkehrbarkeit und Kreislaufprozesse – Aufgaben zum Lernen und Überprüfen In: *NIU Chemie*, Heft 104, (19) 2008, S. 42-46.
- BARKE, H.J. UND SCHMIDT, F. K.: Chemische Reaktionen und physikalische Vorgänge: mit untauglichen Schubladen zur Nulleffizienz. in: *MNU* 57 (2004), S.46-50
- BARKE, H.D.: *Chemiedidaktik, Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg New York, 2006
- BARKE, H.D., HARSCH, G.: *Chemiedidaktik HEUTE* –Springer Verlag, Berlin, Heidelberg New York, 2001
- Barke, H.D.: Das Chemische Dreieck, *Naturwissenschaften im Unterricht (NiU) Chemie* 13 (2002), Heft 67: S. 45
- BAUMERT, J.: *PISA 2000*, OECD, Verlag Leske und Budrich, Obladen, 2001
- BEN-ZVI, R. E., SILBERSTEIN, J.: Is an atom of copper malleable? *Journal of Chemical Education* 63 (1) (1986): S. 64-66.
- BERGERHOFF, F.: Erneut: Schülervorstellungen zur Verbrennung im Chemieunterricht. *MNU* 49(1) (1996): S. 33-36.
- BLK: Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts", in: *Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung*, Heft 60, Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung, Bonn, 1997
- BLUME, R. et al. (Hrsg.): *Chemie für Gymnasien, Länderausgabe N, Sekundarstufe I*, Cornelsen Verlag, Berlin, 1995
- BOYSEN, G. et al.: *Physik für Gymnasien, Länderausgabe N, Sekundarstufe I*, Cornelsen Verlag, Berlin, 1991
- BODE U.: BLK Unterrichtsvorhaben Rechnen mit Potenzen, erste Verhältnisformeln in der Chemie, BLK Modellprogramm Modul: Fächerverbindungen nutzen, 1999, S. 1-6
- BORTZ, J., DÖRING, N.: *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1995

- BOUJOUDE, S. B.: A study of the nature of students' understanding about the concept of burning, in: Journal on Research Science Teaching (JRST) 28(8) (1991): S. 689-704.
- BUCK, P.: Vorstellungen hinter dem Begriff "Stoff", in: NiU Physik/Chemie 34(13) (1986): S. 38-42
- BRANDT, B., NAUJOK, N.: Zur Methodologie kontextbezogener Theoriebildung im Rahmen von interpretativer Grundschulforschung, in: Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen. v. S. Aufschaiter, Waxmann Verlag, M. Münster (2001): S. 17-40
- BROCK W. H.: Viewegs Geschichte der Chemie, Viewegs Verlagsgesellschaft, Braunschweig, Wiesbaden, 1997
- BUCK, P.: Der Sprung zu den Atomen, in: chimica didactica 14 (1) (1987): S. 41-45
- BUCK, P.: Wie die Andersartigkeit der Atome lehren? in: Chemie in der Schule (Ch.Sch.), 41 (1994) 12: S. 460-469
- BUCK, P.: Die Teilchenvorstellung- ein Unmodell, in: Chem.Sch. 41 (1994) 11: S. 412-416
- BUCK, P., FLADT R.: Ein Dialog über die Funktion des Teilchenmodells, in: Chem.Sch. 43 (1996): S. 69-72
- BÜHLER, A., GRAF, E. (Hrsg.): Lesetexte Chemie. Klett Verlag, Stuttgart, 1998
- BÜNDER, W. et al.: Basiskonzepte – welche chemischen Konzepte sollen Schüler kennen und nutzen? in: Praxis der Naturwissenschaften Chemie – Ch.Sch. 52 (1) (2003): S. 2-7
- CAMPBELL, B., LAZONBY, J. et al.: Science - The Salters' Approach, Heinemann Oxford, 1997
- CHRISTEN, H. R.: "Chemie - faszinierend oder ein Horrorfach." in: CHEMKON 4(4) (1997): S. 175-181.
- DALTON, J.: Von der Zusammensetzung der Körper in: Dalton, John: Ein neues System des chemischen Theiles der Naturwissenschaft: Kap. 11 (1812): 160-163, zitiert nach Klett-Verlag (Hrsg.) Lesetexte Chemie (1998): S. 9
- DALEHEFTE, I.M.: Unterrichtsskripts – Ein multikriterialer Ansatz. Eine Videostudie zum Zusammenspiel von Mustern unterrichtlicher Aktivitäten, Zielorientierung und prozessorientierter Lernbegleitung. Dissertation, Kiel 2007 (Elektronische Dissertation an der Kieler Universitätsbibliothek). <http://193.175.239.23/ows-bin/owa/r.einzeldok?doknr=42904>
- DEMUTH, R. PARCHMANN, I. RALLE, B.: Chemie im Kontext Sekundarstufe II, Cornelsen Verlag, Berlin, 2006
- DEMUTH et al.: Chemie im Kontext. Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzepts, Waxmann Verlag, Münster, 2008
- DEMUTH et al.: Chemie im Kontext Sekundarstufe I, Die Chemie ersetzt den Vorkoster, Cornelsen Verlag, Berlin, 2008a
- DEMUTH et al.: Chemie im Kontext Sekundarstufe I, Erwünschte Verbrennungen - unerwünschte Folgen, Cornelsen Verlag, Berlin, 2009
- DECI, E., RYAN R. M.: Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. in: Zeitschrift für Pädagogik (ZfPäd) 39 (1993): S. 223-238
- DRIVER, R.: Beyond Appearances: The Conservation of Matter under Physical and Chemical Transformations, in: DRIVER, R. et al.: Children's Ideas in Science, Open University Press, Milton Keynes, Philadelphia (1985): S.145-169.
- DRIVER, R. ERICKSON, G.: Theories in action: Some Theoretical and Empirical Issues in the Study of Conceptual Frameworks in Science, in: Studies in Science education 10 (1983): S. 37-60
- DRIVER, R.: Changing Conceptions. Adolescent development and school science. Falmer Press, London(1989): S. 79-103.
- DRIVER, R., SCOTT., P.: Schülerinnen und Schüler auf dem Weg zum Teilchenmodell, in: NiU-P 22(5) (1994): S. 24-31
- DUBS, R.: Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus Sicht der Unterrichtsgestaltung, in: ZfPäd.(6) (1995): S. 889-903.

- DUIT, R.: Strom - ein Wort der Alltagssprache und der Fachsprache, in: NiU-P/C 31(10) (1983): S. 344-347.
- DUIT, R.: Energievorstellungen, in: NiU Physik/Chemie 34(13) (1986): S. 7-9
- DUIT, R.: Forschungen zur Bedeutung vorunterrichtlicher Vorstellungen für das Erlernen der Naturwissenschaften. In: Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland, in: RIQUARTS, K. et al, Didaktik Teil II, Bd. IV, IPN Kiel (1992)
- DUIT, R.: Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernforschung, in: ZfPäd. 41 (1) (1995): S. 905-923
- DUIT, R.: Lernen als Konzeptwechsel in den Naturwissenschaften, in: DUIT, R. et al.: Lernen in den Naturwissenschaften, Bd. 151 IPN Kiel, (1996) S. 145-162
- DUIT, R.: Conceptual Change Approaches in Science Education, in: SCHNOTZ, W VOSNAIDOU, S., CARRETERO, M.: New perspectives on conceptual change, EARLI/ Pergamon, Amsterdam, (1999): S. 263-283.
- DUIT, R.: Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften, in: DUIT, R. RHÖNECK, v. CHR.: Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr- Lern-Forschung. IPN Bd 169, IPN Kiel, (2000): S. 77-105
- DUIT, R., WIDODO, A.: Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (ZfdN) (2004) (10): S. 232-254.
- DUIT, R.: Bibliography – STCSE Students' and Teachers' Conceptions and Science Education Compiled by Reinders Duit <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>, gesichtet am 29.06.2009
- EBENEZER, et al.: Chemistry Students' Conception of Solubility: a phenomenography, in: Science Education 80(2) (1996): S. 181-201.
- EIJKELHOF, H., LIJNSE P.: The Role of Research and Development to Improve STS Education: Experiences from the PLON Project." International Journal of Science Education 10(4) (1988): S. 464-474
- EILKS, I. et al.: Was ist eigentlich eine chemische Reaktion? Der Math. Naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 55(2) (2002): S. 84-91
- EILKS, I. et al.: Neue Wege zu einem fächerübergreifenden Verständnis des Teilchenkonzepts. MNU 54(4) (2001): S. 240-247.
- EILKS, I., RALLE, B.: Partizipative fachdidaktische Aktionsforschung - Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik." CHEMKON 9(3) (2001): S. 13-18
- ENERGIE-FORUM (Hrsg.): Unterrichtsmaterialien zum Thema Energie, Heft 1. Frankfurt a.M., Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft (IZE), 1995
- EISNER, W. et al.: *elemente* Chemie I, Klett, Stuttgart, 2004
- FISCHLER, H.: Was versteht man in der Physik unter "Teilchen", in: NiU P 41(8) (1997): S. 9-11
- FISCHLER, P., SEIFFERT, S.: Probleme mit der Mikrowelt- was tun? in: GDGP-Tagungsband, Flensburg, 1999: S. 291-299.
- FLADT, R.: Zu: »Was ist eigentlich eine chemische Reaktion?« in: MNU 55 (2002) Nr. 7: S. 437.
- FREIENBERG, J. et al.: Verbrennung verstehen – vom Phänomen zum Basiskonzept der chemischen Reaktion, in: NIU Chemie, Heft 100/101, (18) 2007 S. 70-75
- FRERICHS, V. (1999): Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen zu den Strukturen und Prozessen der Vererbung, Dissertation, Universität Oldenburg, ZPB- Oldenburger Vordrucke, 1999
- FUBANGEL, K, et al.: Die Verbreitung von Chemie im Kontext: Entwicklung der symbiotischen Implementationsstrategie, in: Demuth, Parchmann, Ralle Chemie im Kontext, Waxmann Verlag, Münster, 2008
- GERSTENMAIER, J. MANDL, H.: Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive, ZfPäd (6) (1995): S. 867-888

- GILLESPIE, R., ROBINSON, E.: Elektronendomänen und das VSPER-Modell der Molekülgeometrie, *Angewandte Chemie*, (106) 1996, S. 539-560
- GILBERT, J.K., TREAGUST, D.J. et al.: Securing a Future for Chemical Education, *CERP* 5 (2004), S. 5f
- GOMEZ, M.-A. et al.: Students' Ideas on Conservation of Matter: effects of expertise and Context Variables." *Science Educ.* Vol. 79 (1) (1995): S. 78-93
- GRÄBER, W.: Interesse am Unterrichtsfach Chemie, an Inhalten und Tätigkeiten, *Chem.Sch.* 39(10) (1992): S. 354-358
- GRÄSEL, C. PARCHMANN I.: Implementationsforschung – oder: der steinige Weg, *Unterricht zu verändern Unterrichtswissenschaft* 32 (3) (2004): S. 238-256.
- GREVE, W. WENTURA, D.: *Wissenschaftliche Beobachtung - eine Einführung.* Beltz PsychologieVerlagsUnion (PVU), Weinheim, 1997
- GRIFFITH, A. et al.: Grade-12-students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *JRST* 29(6) (1992): S. 611-628.
- GROPENGIEBER H. (2002): Didaktische Rekonstruktion kurz gefasst. *Fachdidaktik als Zentrum professioneller Lehrerbildung.* In: GÜNTHER-ARNDT H. (Hrsg.). *Fachdidaktik als Zentrum professioneller Lehrerbildung*, Oldenburger Vor-Drucke 387, ZpB Oldenburg, 2002 : S. 12-13
- GROPENGIEBER, H.: *Didaktische Rekonstruktion des Sehens*, Habilitation, Oldenburger Vordrucke, Didaktisches Zentrum der C.v.O. Universität Oldenburg, 1997, sowie Reihe: *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion Oldenburg*, 2001
- HALLDÉN, O.: *Conceptual Change and Contextualization*, in: SCHNOTZ, W. VOSNIADOU, ST., CARRETERO, M.: *New perspectives on conceptual change IV Series of Learning and Instruction*, Elsevier Science, Oxford, 1999
- HARRISON, A. TREAGUST, D.: Secondary students mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry, in: *Science Education* 80(5) (1996): S. 509-534
- HAUPT, P.: Schülervorstellungen zur Verbrennung, *NiU P/C* 29(9) (1981): S. 347-350
- HÄUSLER, K., et al. (Hrsg.): *Elemente der Zukunft: Chemie*, Oldenbourg Verlag, München, 1996
- HÄUBLER, P. et al.: *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung Perspektiven für die Unterrichtspraxis*, IPN, Kiel, 1998
- HELLERBERG, E.: *Sinnliche Wahrnehmung und chemische Untersuchungsmethoden - ein Vorschlag zur Gestaltung des Anfangsunterrichts nach Leitlinien der Konzeption Chemie im Kontext*, Examensarbeit an der C.v.O.-Universität Oldenburg, Fachbereich Chemie, 2002
- HELP(Hrsg.): *Handreichungen zur Arbeit mit den Rahmenplänen Sek. I; Chemie: Themenband Luft*, Hessisches Landesinstitut für Pädagogik, Wiesbaden, 1999
- HESSE, J. A., et al.: Students' Conception of Chemical Change, in: *JRST* 29(3) (1992): S. 277-299
- HILBING, C.: *Alternative Schülervorstellungen zum Aufbau der Salze als Ergebnis von Chemieunterricht*, Dissertation, Schöningh Verlag, Münster, 2003
- HUG, H.: Zweifel am anthropogenen Treibhauseffekt, in: *CHEMKON* 7(1) (2000): S. 6-14
- HUG, W. (Hrsg): *Geschichtliche Weltkunde, Band II.* Diesterweg Verlag, Frankfurt a.M., Berlin, Bonn, 1975
- ILMES - Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung, über: http://www.lrz-muenchen.de/~wlm/film_a1.htm, gesichtet 12.07.2009
- JAHNKE-KLEIN, S. et al.: *Diamant und Graphit - Behandlung im Anfangsunterricht*, *Chemie in der Schule* 41, Heft 1 (1994): S. 11-16
- JANDER, G.: *Jander-Blasius - Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum*, Hirzel Verlag, Stuttgart, 1990
- JÄRV, K. KIKAS, K.: Childrens concepts of dissolving of coloured and white substances, in: *Proceedings Third European Symposium on Conceptual Change (Early)* TURKU, 2002, S. 139-147
- JANK, W. Meyer, H.: *Didaktische Modelle.* Cornelsen Skriptor, Berlin, 2002

- JANSEN, W. et al.: Ermittlung der chemischen Formel im Anfangsunterricht, in: NiU Chemie 25(5) (1994): S. 4-12.
- JANSEN, W.: Chemie in unserer Welt, Band I. Stuttgart, Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1982
- JANSEN, W.: Geschichte der Chemie im Chemieunterricht – das historisch problemorientierte Unterrichtsverfahren, in: MNU 39, (1986a), S. 321ff, S. 391ff
- JANSEN, W. et al.: Der Weg zum Daltonschen Atommodell, in: PdN Chemie 25(1) (1986): S. 34-40.
- JANSEN, W.: Von Dalton zur chemischen Formel, in: chimica didactica 16(3) (1990): S. 3-34.
- JANSEN, W.: Das Gastmahl des Epikur, in: CHEMKON 10 (4) (2003): S.197-202
- JANSEN-BARTELS, A. SANDER, E.: Verallgemeinerung qualitativer Daten in der biologiedidaktischen Lehr-Lernforschung, In: Gropengießer (2004): Lehren fürs Leben Didaktische Rekonstruktion in der Biologie Aulis Verlag, Köln, 2004: S. 109-118
- JOHANNSMEYER, F. et al.: Die Masse des Nichts - Der Boyle-Versuch im neuen Lichte, in: CHEMKON 8(3) (2001): S.156-158.
- JOHANNSMEYER, F.: Stationen auf dem Weg zum Diskontinuum, Dissertation, C.v.O. Universität Oldenburg, Fachbereich Chemie 2004
- JUNG, W.: Fachdidaktische Aspekte des Kategorienproblems, in: Aufsätze zur Didaktik der Physik und der Wissenschaftstheorie, Diesterweg, Frankfurt a.M.,1979: S. 94-120
- JUST, E.: Die Teilchenvorstellung im Anfangsunterricht, in: NiU-P/C 33(6) (1985): S. 219-222.
- KATTMANN, U. et al.: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung, in: ZfdN 3(3) (1997): S. 3-18
- KATTMANN, U. et al.: Schulnahe fachdidaktische Lehr-Lernforschung – das Modell der Didaktischen Rekonstruktion, ZpB Oldenburger Vordrucke 364 (1998): S. 1-11
- KIRCHER, E.: Vorstellungen über Atome, in: NiU-P/C 34(13) (1986): S. 34-37.
- KLAUER, W.: Situated Learning: Paradigmenwechsel oder alter Wein in neuen Schläuchen? in: Zeitschrift für Pädagogische Psychologie (ZfPP) 13 (3) (1999): S. 117-121
- KLAUER, W.: Situiertes Lernen in ROST, D. (2001): Handwörterbuch pädagogischer Psychologie, Beltz, PVU Weinheim, 2001: S. 635-641
- KRAATZ, M.: Naturwissenschaften fächerübergreifend, Band 2: Cola verdaut Fleisch. AOL Verlag, Lichtenau, 1997
- KRAPP, A. & WEIDENMANN, B. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch (5. Aufl.). Beltz Verlag, PVU, Weinheim, 2006
- KRNEL, D. et al.: Survey of research related to the devollopment of the concept of matter, in: International Journal of Science Education (IJSE) 20(3) (1998): S. 257-289.
- LEERHOFF, G. et al.: Der Stoffbegriff und die Stoffeigenschaften - zentrale Problemfelder bei der Vermittlung der chem. Reaktion im frühen Chemieunterricht, in: Teil 1 MNU 56(5/6) (2003): S. 301-303; und Teil 2 MNU 56 (7) (2003): S. 364-367
- MANDL, H., GRUBER H.: Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen, in: ISSING L. J., KLIMSA, P.: Information und Lernen mit Multimedia.. Beltz PVU, Weinheim, 1997: S. 166-178.
- MARGEWITSCH, E.: Formelhafter Sprachgebrauch in Schülertexten, Dissertationsschrift, in: Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Didaktisches Zentrum Oldenburg, Bd. 11, 2006
- MAYRING, P.: Einführung in die qualitative Sozialforschung, Beltz PVU, Weinheim, 1999
- MEHEUT, M. TIBERGHIE, A.: Pupil's (11-12 years old) conceptions of cumbustion, in: European Journal of Science Education (EJSE) 7(1) (1985): S.83-93.
- MIKELSKIS-SEIFERT, S.: Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern, Dissertation, Logos Verlag, Berlin, 2002
- MÜLLER, A.; NIESWANDT, M.: BLK Programm Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts Arbeitsfadne zum Modul 3 „Aus Fehlern lernen“, IPN Kiel o.A

- NAUMER, H.: Die Genese der Atommodelle und ihre Einführung im Unterricht, in: WENINGER et al.: Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht IPN Kiel (1976): S. 85-104
- NIEDDERER, H.: Übersicht über die Lernprozessstudien in Physik, in Duit. et al. Lernen in den Naturwissenschaften, IPN Bd. 151, Kiel, (1996): S 119-144
- NIEDDERER, H.: Analyse von Lehr-Lern-Prozessen beim elektrischen Stromkreis aus Videodaten. in: Aufschnaiter v. S.: Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lernprozessen, Waxmann Verlag, Münster, 2001: S. 89-100
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTURMINISTERIUM; Rahmenrichtlinien für den Unterricht im Fach Chemie für das Gymnasium, Schuljahrgänge 7-10, Hannover, 2003
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM: Empfehlungen für den Physikunterricht im Schuljahrgang 7 in Niedersachsen, Hannover, 2003a
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM: Empfehlungen für die Schuljahrgänge 7-10 in Chemie, Hannover, 2005
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM: Kerncurriculum für das Gymnasium Naturwissenschaften, Schuljahrgänge 5 -10, Hannover, 2007, http://db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_gym_nws_07_nib.pdf am 29.6.2009
- NIESWANDT, M.: Von Alltagsvorstellungen zu wissenschaftlichen Vorstellungen: Lernwege von Schülerinnen und Schülern im Chemieunterricht, in: ZfdN 7 (2001): S. 33-52
- NOVICK, S., NUSSBAUM J. : Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study, in: Science Education 65(2)(1981): S. 187-196
- NUSSBAUM, J.: The particulate nature of matter in the gaseous phase, in: Driver, R. Childerens ideas in science, Open university Press Milton Keynes, Philadelphia, 1985: S.124-144
- OBENDRAUF V.: Von der Zunderbüchse zum Kult-Zippo – Historische und chemiedidaktische Aspekte zum Thema Feuerzeug (Teil 1), Chem.Sch.(Salzbg.) 18 (2003): Nr. 1, S. 11-22
- OBENDRAUF V.: Vom Einweg-BIC© zum Jet Flame Lighter – Historische und chemiedidaktische Aspekte zum Thema Feuerzeug (Teil 2), Chem.Sch.(Salzbg.) 18 (2003a). Nr. 2, S. 10-23
- OEVERMANN, U. et al. : Die Methodologie einer "objektiven Hermeneutik " und ihre allgemeine forschungslogische Bedeutung in den Sozialwissenschaften Interpretative Verfahren in den Sozial- und Textwissenschaften, in: Soeffner H. G. Metzler Verlag Stuttgart,1979: S. 352-434.
- OSER, F. et al.: Choreographien unterrichtlichen Lernens - Basismodelle des Unterrichts, Pädagogisches Institut der Universität Friburg, Friburg, Schweiz, 1990
- PARCHMANN, I., KAMINSKI, B.: Die Wärmeabsorption von Gasen - Voraussetzung für den "Treibhauseffekt", in: CHEMKON 2(1) (1995): S. 17-24
- PARCHMANN, I., JANSEN W.: Der "Treibhauseffekt" als Folge der Wärmeabsorption von Gasen, in: CHEMKON 3(1) (1996): S. 6-11
- PARCHMANN, I. et al: Chemie im Kontext- eine Konzeption zum Aufbau und zur Aktivierung fachsystematischer Strukturen in lebensweltlichen Kontexten, in: MNU 53(3) (2000): S. 132-136
- PARCHMANN, I., DEMUTH, R., RALLE B.: Chemie im Kontext - Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten, in: PdN - Chemie 50 (2001): S. 2-7
- PARCHMANN, I.: Alltagschemie versus Fachsystematik? Zur Integration von lebensweltlichen Zusammenhängen und fachlichem Konzeptverständnis, in: Praxis Schule 5-10 (1) (2001a) : S. 12-15
- PARCHMANN, I., GRÄSEL, C. et al.: Chemistry in Context - Curriculum Development and Evaluation Strategies, in: Proceedings UYSEG/IPN International Symposium "Evaluation of Curriculum Innovations" York, 2002
- PARCHMANN, I. et al.: Mit Chemie im Kontext zu einem Stoffmengenbegriff, in: PdN Chemie 52(7) (2003): S. 10-15
- PARCHMANN, I., SCHMIDT, S., BUCK, P.: Von sinnlichen Wahrnehmungen zu ersten Teilchenvorstellungen- eine Unterrichtssequenz aus dem Projekt Chemie im Kontext mit Anregungen für eine erweiterte Modelldiskussion, chimica didactica 3 (Nr. 92) (2003a): S. 165-180

- PARCHMANN, I, SCHMIDT, S.: „Der Zucker schmilzt und überträgt den süßen Geschmack auf die kleinsten Teilchen des Wassers“ Veränderung von Schülervorstellungen und Entwicklung eines anwendbaren Konzeptverständnisses im Anfangsunterricht Chemie, in: LOOß, M. et al.(Hrsg.): Naturwissenschaftlich-technischer Unterricht auf dem Weg in die Zukunft. Neue Ansätze aus Theorie und Praxis, Verlag Peter Lang Frankfurt a. M., 2004
- PARCHMANN, I. et al.: Lernlinien zur Verknüpfung von Kontextlernen und Kompetenzentwicklung, in: CHEMKON 13(3) (2006): S. 124-131
- PASCHMANN, A., et al.: Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf - Eine Hinführung zum Begriff des Chemischen Gleichgewichts im Rahmen von Chemie im Kontext, in: MNU 53(3) (2000): S. 170-180
- PEPER, M. et al.: Modellvorstellungen entwickeln und anwenden: Einsatz von Medien, Alltagsphänomenen und Experimenten, in: NiU-Chemie Heft 101 (2007): S.17 - 22
- PETERMANN, K. et al.: Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren. Vorstellung eines Unterrichtsverfahrens zur inhaltlichen Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht, in: CHEMKON 15(3)(2008): S. 110-118
- PETRI, J. : Der Lernpfad eines Schülers in der Atomphysik. Dissertation, Universität Bremen, 1996
- PEUKERT, J. et al.: Probleme mit der Mikrowelt? in: GDGP- Tagungsband, 2001: S. 291-294.
- PFUNDT, H., WENINGER, J.: Stoffe und Stoffumbildungen, Teil 1, Lehrerbuch, IPN, Kiel, 1979
- PFUNDT, H.: Das Atom - letztes Teilstück oder erster Aufbaustein? Zu den Schülervorstellungen, die sich Schüler vom Aufbau der Stoffe machen, in: chimica didactica 7 (1981): S. 75-94.
- PFUNDT, H.: Vorunterrichtliche Vorstellungen von stofflicher Veränderung, in: chimica didactica (1982) 8: S. 161-180
- PIAGET, J., INHELDER, B.: Die Entwicklung der physikalischen Mengenbegriffe beim Kinde. Klett-Verlag, Stuttgart, 1969
- PINTRICH, P. R., MARX, R. W. & BOYLE, R. A.: Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change, in: Review of Educational Research, 63 (1993): S. 167–199
- PLASS, C., U. HUELSENBECK, et al.: Wie schaffen es Zuckerersatzstoffe dem Gehirn Süße vorzugaukeln? in: NiU - Chemie 6(27)(1995): S. 19-22
- PLETZNER, V: Schülervorstellungen im Chemieunterricht, Lehrererhebung, Schreiben mit Fragebogen vom 19.01.2009
- POSNER, G. J. STRIKE K.A., HEWSON, P.W & GERTZOG, W.A.: Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of a conceptual change, in: Science Education 66(2) (1982): S. 211-227
- DEL POZO, M.: prospective teachers´ ideas about relationships between concepts describing composition of matter, in: IJSE 23(2001): S. 353-371
- PRENDERGRAST, M.: Für Gott, Vaterland und Coca-Cola, Zsolnay Verlag, Rastatt, 1993
- PRENZEL, M. et al.: Erhebungs- und Auswertungsverfahren des DFG-Projekts „Lehr-Lern-Prozesse im Physikunterricht- eine Videostufe“, IPN Kiel, 2001
- PRENZEL, M., et al. (Hrsg.): PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. Waxmann Verlag, Münster, 2004
- PRENZEL, M. et al. (Hrsg.): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Waxmann Verlag, Münster, 2007
- sowie http://pisa.ipn.uni-kiel.de/zusammenfassung_PISA2006.pdf
- PRENZEL, M., B. DRECHSEL, ET AL.: Lehrermaterialien: Informationen zu Lernmotivation, Autonomieunterstützung und Kompetenzunterstützung. Erläuterung 9a zu den Modulen des BLK-Modellversuchs "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ IPN Kiel, 1998
- PROJEKTGRUPPE CHEMIE IM KONTEXT: Materialien-CD zur Konzeption 2000-2008, o.A.

- PÜTTSCHEIDER, M., LÜCK, G.: Die Rolle des Animismus bei der Vermittlung chemischer Sachverhalte, in: CHEMKON 11(2004): S. 167-174
- REICHERTZ, J.: Die Abduktion in der qualitativen Sozialforschung, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2003
- REINMANN- ROTHMEIER, G.: Unterrichten und Lernumgebungen gestalten, in: WEIDEMANN, KRAPP: Pädagogische Psychologie, Beltz, PVU Weinheim, 2001: S. 603-648
- RENKL, A.: Träges Wissen, in: D. ROST (Hrsg.): Handwörterbuch Pädagogische Psychologie, Beltz PVU, Weinheim 2001: S. 717-721
- RENSTRÖM, L. ET AL.: Pupils understanding of matter, in: Journal of educational Psychology 82(3)(1990): S. 555-569.
- ROESLER, A., WIRTH, U. (2009): [Arbeitskreis für Abduktionsforschung](http://user.uni-frankfurt.de/~wirth/) Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt a. M : <http://user.uni-frankfurt.de/~wirth/>, gesichtet 12.07.2009
- RÖMPP (Hrsg): Chemielexikon, CD Rom, Thieme Verlag, Stuttgart, 1996
- ROSS, K.: Burning: a constructive not a destructive process, in: School science review 2(1) (1991): S. 39-50
- ROSSA, E.: Das Mol im Bild, in: Chem.Sch. 45, (1)(1998): S. 8-13
- ROTH, W.-M.: Situated Cognition, in: DUIT, R. RHÖNECK, v. CHR: Lernen in den Naturwissenschaften. IPN Kiel, 1996: S. 163-179
- ROTH, G.: Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen, Suhrkamp Verlag, Frankfurt a.M., 1994
- SÄLJÖ R.: Concepts, cognition, and discourse: From mental structures to discursive tools, in: W. SCHNOTZ, S. VOSNIADOU AND M. CARRETERO (Hrsg.): New perspectives on conceptual change. Pergamon, Oxford: 1999: S. 81-90
- SANFORD, B.: Conceptual Change Strategies and Cooperative Groupwork, in: JRST 28(4) (1991): S. 293-304
- SCHANZE, S. BRÜCHNER, K.: Computergestütztes Concept Mapping, in NiU- Chemie, 16(90) (2006): S. 16-19.
- SCHLÖPKE, W.-I.: Was ist elementar am Element?" in: NiU-P/C 31(1) (1983): S. 29-31.
- SCHMIDT, S. et al.: Chemie im Kontext für die Sekundarstufe I: Cola und Ketchup im Anfangsunterricht, in: CHEMKON 10(1) (2003): S. 6-16
- SCHMIDT, S., PARCHMANN, I.: Von "erwünschten Verbrennungen und unerwünschten Folgen" in: MNU 56(4) (2003): S. 214-221
- SCHMIDT, H. J., (Hrsg.): Elektrochemie, Aulis Kolleg, Köln, 1989
- SMITH, D. V. MARGOLSKEE R. F.: Das Geheimnis des Geschmackssinns, in: Spektrum der Wissenschaft (7) (2001): S. 38-46.
- SCHNOTZ, W.: Conceptual Change, in: ROST, D. (2001): Handwörterbuch pädagogischer Psychologie, Beltz, PVU, 2001: S. 75-81
- SCHNOTZ, W.: Psychologische Aspekte des Wissenserwerbs und der Wissensveränderung, in: DUIT, R., RHÖNECK v.M CHR. (1996): Lernen in den Naturwissenschaften, IPN Kiel, Bd. 151,1996: S. 15-36
- SCHÜTT, H. W: Die geschichtliche Entwicklung der klassischen Atommodelle, in: J. B. Weninger: Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht Teil 1. IPN, Kiel, 1976: S. 73-84.
- SCHWEDES, H.: Analogieorientierte Elektrizitätslehre als Aufbau mentaler Modelle, in: DUIT, R., RHÖNECK, v. (1996): Lernen in den Naturwissenschaften, IPN Bd. 151, Kiel, 1996: S. 275-300
- SCHWENK, E.: Sternstunden der frühen Chemie, Beck Verlag, München, 1998
- SEEL, N.: Model-Centered learning and Instruction, in: Teach Instruction Cognition and Learning 1(1) (2003): S. 59-85.
- DI SESSA: What changes in conceptual change? in: IJSE 20 (1998): S. 1155-1191
- SINUS : BLK Modellversuchsprogramm zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (SINUS)(o.A.): <http://blk.mat.uni-bayreuth.de>

- SOMMER, C.: Wie Grundschüler sich die Erde im Weltall vorstellen - eine Untersuchung von Schülervorstellungen. ZfdN 8(2)(2002): S. 69-84.
- SOMMER, K.: Versuche zur Funktionsweise eines Feuerzeugs, in: PdN Chemie Jg. 48 (1999) Nr. 8: S. 26.
- SPITZER, M.: Geist im Netz - Modelle für Lernen, Denken, Handeln. Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin, 2000
- SPEKTRUM VERLAG: Herder Lexikon der Biologie, Springer, Heidelberg, Berlin, 1994
- SPIRO, R. J., VISPOEL, W. et al.: Knowledge acquisition for application: Cognitive flexibility and transfer in complex content domains, executive and control processes. B. C. Britton, Hillsdale, Erlbaum (1987): S. 177-199.
- STARK, R.: Conceptual Change: Konstruktivistisch oder kontextualistisch? Ludwig Maximilian Universität München, Forschungsbericht Nr. 149 (2002) http://epub.uni-muenchen.de/257/1/FB_149.pdf, gesichtet 22.07.2009
- STAVY, R. et al.: Children's ideas about "solid" and "liquid", in: European Journal of Science Education 7(1985): S. 407-421.
- STAVY, R.: Children's Conception of Changes in the State of Matter: from liquid (or solid) to gas, in: JRST 27(3) (1990a): S. 247-266.
- Stavy, R.: Pupils' problems in understanding conservation of matter, in: IJSE 12(5) (1990): 501-512
- STAVY, R.: Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter, in: JRST 28(4)(1991): S. 305-313.
- STEFFENSKY, M.; SCHMIDT, S.; PARCHMANN, I.: „Die Teilchen saugen das Aroma aus dem Tee“ – Beispiele und Erklärungsansätze für Missverständnisse zwischen Alltagsvorstellungen und chemischen Erklärungskonzepten; in: Chemie in unserer Zeit, 39(4)(2005); 274-278
- STEINER, D.: Analyse und Synthese von Cola-Getränken, in: NiU Chemie (43) (1998): S. 37-39.
- STEINHOFF, B.: Wissens- und Kompetenzerwerb in einem Unterricht nach Chemie im Kontext: exemplarische Entwicklung eines Wissenstests für die Unterrichtseinheit (K)Ein Auto ohne Kunststoffe, Dissertation, IPN Kiel, 2004, *online*-Veröffentlichung unter http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_1149, gesichtet 14.7.2009
- STEINKE, I.: Kriterien Qualitativer Forschung -Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung. Juventa Verlag, Weinheim München, 1999
- STEINKE, I.: Gütekriterien qualitativer Forschung, in: FLICK, U., v. KARDORFF, E. & STEINKE, I. (Hrsg.): Qualitative Forschung, Ein Handbuch, Rowohlt, Reinbek b. Hamburg, 2000: S. 319-331
- STORK, H.: Was bedeuten sie aktuellen Forderungen „Schülervorstellungen berücksichtigen“, „konstruktivistisch lehren“ für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I? in: ZfdN 1 (1995): S. 15-28
- SUMFLETH, E.: Schülervorstellungen im Chemieunterricht, in: MNU 45(7) (1992): S. 410-414.
- SUMFLETH, E. TOTENHAUPT, S.: Redoxreaktionen aus der Sicht der Schüler, in: chimica didactica 21(1)(1995): S. 20-41
- TABER, K.: Chemical misconceptions- prevention, diagnosis and cure, Vol. I, theoretical background and Vol. II: classroom resources, teacher fellowship projects 2000-2001, Royal Society of Chemistry, London, 2002
- TAUSCH, M., WACHTENDORF, VON: Chemie, C.C. Buchner Verlag, Bamberg, 1996
- TILLMANN, K.: „To be or not to be Cola?“, in: NiU-Ch. 11(2000) Heft 58/59: S. 39-48
- TREAGUST, P., et al.: Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade 11 and 12 students concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction, in: JRST 26(4) (1989): S. 301-314
- TREAGUST, H., et al.: Secondary Students mental Models of Atoms and Molecules: Implication for teaching chemistry. Science Educ 80(5)(1996): S. 509-534

- VANDERBILT, C. et al.: Designing learning environments that support thinking: The Jasper series as a case study, in: DUFFY, T. M. et al.: Designing environments for constructive learning, Springer Berlin, 1993: S. 9-36
- VOS DE, W.: Seven thoughts on teaching molecules, in: LIJNSE, P. L., LICHT, P., VOS, W. DE, WAARLO, A. J: Proceedings of the Seminar "Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: A central problem in secondary Science Education" CD-B-Press, Utrecht, 1990: S. 163-176
- VOS, DE. W., VERDONK, A.H.: A new road to reactions, part 1, in: Journal of Chemical Education 62 (1985): S. 238-240
- VOS DE, W., VERDONK, A. H.: The particle nature of Matter in Science Education and in Science, in: JRST (33) (1996): S 657-664
- VOSNIADOU S.; BREWER, W. F.: mental models of the earth - A Study of Conceptual Change in Childhood, in: Cognitive Psychologie 24 (1992): S. 535-585
- VOSNIADOU, S.: Conceptual Change in the physical science, in: Learning and Instruction 4(1)(1994): S. 71-78
- VOSNIADOU, S., IONNIDES, C.: From conceptual development to science education: a psychological point of view, in: IJSE 20 (10) (1998): S. 1213-1230
- VOSNIADOU, S.: Conceptual Change Research: State of the Art and Future Directions. In: SCHNOTZ, W. VOSNIADOU, S., CARRETERO, M.: New Perspectives on Conceptual Change. Pergamon EARLI, Oxford, 1999: S. 3-14
- WACKER, M.: "Eis und Wasser: die ersten Fotos der Moleküle." in: CHEMKON 4(4) (1997): S. 206
- WANDERSEE, J.H., MINTZES, J. J., NOVAK, J.D.: Research on alternative conceptions in science, in: GABEL, D. (Ed.): Handbook of research teaching and learning, Macmillan Publ. New York, 1993: S. 177-210
- WATSON, J. R. P., T.; DILLON, J.S.: Consistency of students explanation of combustion, in: Science Education 81 (1997): S. 425-443
- WENINGER, J.: Das Denken im Kontinuum und im Diskontinuum, in: Teil 1, MNU 35(4) (1982): S. 193-200, Teil 2, MNU 35(5) (1982): S. 268-273
- WILMS, M. et al.: Molekulares Sieben: Mit Einmachfolie ins Diskontinuum, in: CHEMKON 11(3) (2004): S. 127-130
- WITTMANN, M.C.: Making sense of how students come to an understanding of physics: An example from mechanical waves, Dissertationsschrift, University of Maryland, 2001 <http://www.physics.umd.edu/perg/dissertations/Wittmann/> gesichtet 6.7.2009

11.2. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Das Dreieck der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1998): 1.....	7
Abb. 1.2: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als gliedernde Struktur dieser Arbeit.....	8
Abb. 2.1: Schema intensiver und extensiver Eigenschaften auf Grundlage von Holum (nach Vos de 1990) sowie (Leerhoff 2003).....	12
Abb. 2.2: Bewertete Stoffeigenschaften nach Leerhoff et al. (2003), 366.....	13
Abb. 2.3: Daltons Wärmestoff – eine duale Sicht von Stoffen und Atomen (aus:Klett-Verlag,1998: 9).....	20
Abb.2.4: Daltons Unterteilung der Verbindungen (zitiert nach Jansen 1990, 11).....	20
Abb. 2.5: Relative Massen der Atome und Teilchen nach Dalton (zitiert nach Jansen 1986, 10).....	21
Abb. 2.6 a, b, c: Elemente aus der Einführung nach Asselborn et al. 2001, 23, 28, 29	23
Abb. 2.7a: Eisner et al. (2004), 63, gemeint sind Atome	24
Abb. 2.7b: Tausch/v. Wachtendonk (1996), 38.....	24
Abb. 2.7c: Arnold et al. (2008), 78	26
Abb.2.8: Kerncurriculum Chemie (2007), 48	34
Abb. 3.1: Korrespondierende Termini (Gropengießer 1997, 30).....	39
Abb. 3.2: Der Kategorienwechsel A – C, und die Mischung der Kategorien in B	46
Abb. 3.3: Das Wechselspiel der Kategorien A, C und das Mischen in B für das Themenfeld: chemische Reaktion	59
Abb. 4.1a: Die Unterrichtsstruktur, Lernstruktur und das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Skript 2, 21.06.2003), 36, nach: Jank & Meyer 2002, verändert.....	73
Abb. 4.1b: Das Strukturmodell Meyers (ebd.) in der Anwendung auf diese Arbeit.....	73
Abb. 4.2: links Tafelbild, das den Perspektivwechsel veranschaulicht, nach D. Rebentisch, unveröffentlicht, rechts: chemical triangle Johnstones, nach Barke (2006), 31	74
Abb. 4.3: Die Gliederungsebenen des Basiskonzepts	75
Abb. 4.4a: Zwei Atomsorten.....	82
Abb. 4.4b: Die Vorgänge auf der Ebene der Bausteine und Atome nach Demuth et al. (2009): Einband vorne..	83
Abb. 4.5a: Kochsalzgitter, Eisner et al. (2004):167	84
Abb. 4.5b: Wasserbaustein oder -molekül, Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidmolekül bzw. -baustein, Demuth et al. 2008a: 29, 2009: 50f	85
Abb. 4.5c: Strukturen einer Modifikation, Jahnke-Klein et al. (1994):15	85
Abb. 4.6: Die Vernetzung der Basiskonzepte.....	91
Abb. 5.1: Kontinuierliche und diskontinuierliche Konzeptveränderungen (aus Duit, 2000).....	95
Abb.5.2: Durch Instruktion generierte Hybridkonzepte über den Bau der Erde, http://www.psych.uiuc.edu/~wbrewer/earth.html gesichtet 11.07.2009	97
Abb. 5.3: Die Phasen der konstruktivistischen Unterrichtsstrategie Drivers & Scotts (nach Häußler et al. 1998, 215).....	102
Abb. 5.4: Die konstruktivistische Unterrichtsstrategie für den Weg zum Teilchenmodell (Driver & Scott 1994, zitiert nach Häußler et al. 1998, 216f).....	103
Abb. 5.5a: Die Säulen der Konzeption, Parchmann et al. (2001): 3	108

11. Verzeichnisse

Abb. 5.5b: Die Vernetzung der zwei Säulen: Kontext und Basiskonzept der fachlichen Erklärung.....	108
Abb. 5.6a: Situierung im Kontext und Basiskonzeptentwicklung.....	110
Abb. 5.6b: Basiskonzeptentwicklung des Stoff-Teilchen- Konzepts, vgl. Kap .4.....	110
Abb. 5.7: Das Phasenschema ChiKs, nach: Projektgruppe ChiK 2000-2008 Materialien-CD.....	111
Abb. 5.8: Die Verbindung des Forschungsmodells mit der ChiK-Konzeption	113
Abb. 5.9a: Inhaltliche Felder eines Schlüsselements – allgemeine Form	114
Abb. 5.9b: Zusammenwirkende Aspekte zur Entwicklung eines Schlüsselements: Schülervorstellungen (vgl. Kap. 2.2) werden „hervorgehoben“ und werden aus kontextuell entwickelter Fragestellung mit fachlichen Modellen vernetzt und reflektiert.....	114
Abb. 5.10a: Ausschnitt aus dem Einstiegsmaterial (nach Uderzo und Goscinny: Asterix und Kleopatra, 1969, verändert von D. Rebentisch, unveröffentlicht), Rebentisch et al., 2001)	116
Abb. 5.10b: Ausschnitt aus der Einstiegs Geschichte für die Untersuchung der Grenzen des Geschmackssinns an der Cola (Begegnung und Neugier, vollständig siehe Anhang I), Bildquelle der Flaschen ohne Etikett: Tillmann, K. (2000): 40	116
Abb. 5.11: Fließschema zur Gestaltung einer möglichen Unterrichtssequenz zum Thema „Möglichkeiten und Grenzen des Geschmackssinns“, die Kästen beinhalten die Elemente, die sich besonders an Schülervorstellungen richten	117
Abb. 5.12: Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt für die Untersuchung des Geschmackssinns Anmerkung: Der Zuckergehalt der Cola beträgt 12%, für die Herstellung sollten einige Zuckerwürfel gewogen werden, um deren durchschnittliche Masse zu bestimmen	118
Abb. 5.13: Vereinfachtes Modell zur Interpretation der Geschmackswahrnehmung süß, Ausschnitt aus dem Arbeitsblatt Die Zunge und der Geschmackssinn, siehe Anhang I	120
Abb. 5.14: „Etikettanalyse“: Einstieg in weitere Untersuchungen zur Analyse von Cola, Bildquelle: selbst.....	122
Abb. 5.15: Arbeitsblatt - Ausschnitt: Eindampfen von Coca-Cola	123
Abb. 5.16: Fließschema zur Gestaltung einer möglichen Unterrichtssequenz zum Thema „Die Sinne des Chemikers“	125
Abb. 5.17: Phasenschema des ersten Zyklus	127
Abb. 5.18a und b: Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt für den Lernzyklus II, mit Lösungen.....	128
Abb. 5.19: Arbeitsblatt für die Zusammenfassung, siehe Anhang I	129
Abb. 5.20: Einstiegsmaterial zur Problematisierung, Quelle: links: Karikatoon 2004, rechts: http://87.106.16.9/wohnraumhelden/cms/uploads/pics/stau_DW_Sonstiges_P_171036g.jpg , gesichtet 6.10.2009	130
Abb. 5.21: Phasenschema des Zyklus II	130
Abb. 5.22: Ausschnitt aus der mehrseitigen Zeitreise zum Thema Mobilität, siehe Anhang I.....	131
Abb. 5.23: Einfacher Kohlenstoffkreislauf zur Entstehung und Verbrennung fossiler Rohstoffe	132
Abb. 5.24: Der „Boyle“-Versuch mit Kohlenstoff nach Johannsmeyer, et al. (2001)	133
Abb. 5.25: Schlüsselement im Zyklus II	134
Abb. 5.26: Wechsel aus kontextbezogenen Fragestellungen und fachlicher Konzepte	136
Abb. 6.1: Der Lernbegleitbogen I.....	144
Abb. 6.2a: Der Lernbegleitbogen 2, Teil 1	148
Abb. 6.2b: Der Lernbegleitbogen 2, Teil 2.....	151
Abb. 6.3: Der Lernbegleitbogen 2, Teil 3.....	153
Abb. 6.4: Schema des Auswertungsvorgehens	156
Abb. 6.5a: Lernzyklus I schematisch	162

Abb. 6.5b: Lernzyklus II schematisch	163
Abb. 6.5b: Lernzyklus II schematisch.....	163
Abb. 6.6a, b: Schüleraufzeichnungen aus der Phase des Schlüsselements.....	174
Abb. 6.7a: Zeichnung des P15 aus der 5. Unterrichtsstunde	195
Abb. 6.7b: Zeichnung des P15 aus der 21. Unterrichtsstunde	196
Abb. 6.8: Symbiotische Implementation, vgl. Fußnagel et al. (2008), 61	199
Abb. 6.9: Das Implementationsprojekt und das Modell der Didaktischen Rekonstruktion	199
Abb. 6.10: Power Air - das weitere Lernbegleitbogenthema , Quelle ADAC-Heft 1/2002	202
Abb. 6.11: Erklärung des Anbieters zur Wirkung von Power-Air, Quelle: http://www.vergoelst.de/medien/105.gif , gesichtet 25.11.2009	202
Abb. 6.12a: Bildliches Beispiel für den Code 21.....	207
Abb. 6.12b: Bildliches Beispiel für den Code 33	207
Abb. 6.13: Konzepthäufigkeiten im Thementeil Teeaufguss, Quelldaten Anhang III.4	208
Abb. 6.14a und b: Vergleich der Konzepthäufigkeit zwischen der Tee und der Kandisaufgabe, a: Pre b: Post .	209
Abb. 6.15: Vergleich der Konzepthäufigkeiten Pre/Post bei der Kandisaufgabe, Quelldaten Anhang III.4	210
Abb. 6.16a: Lernzyklus I schematisch.....	218
Abb. 6.16b: Lernzyklus II schematisch.....	219
Abb. 6.17: Transkriptsequenz einer Unterrichtsstunde (P1=A), Transkriptionsregeln siehe Anhang V	256
Abb. 7.1: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion in der Rückschau	264
Abb. 7.2: Die neuen getrennten Ebenen des Basiskonzepts	270
Abb. 7.3: Die Ebenen des Stoff-Teilchenkonzepts, die über Modelle erschlossen werden.....	271
Abb. 7.4: Überarbeitung des Basiskonzepts unter Berücksichtigung der neuen, konsequenten Ebenentrennung	271
Abb. 7.5: Die Konstruktion eines Schlüsselements	274
Abb. 7.6: Mögliches weiteres Arbeitsblatt für das Schlüsselement	276
Abb. 7.7: Verändertes Schema für dieses Schlüsselement	277
Abb. 7.8: weiteres, neues Arbeitsblatt für das Schlüsselement.....	278
Abb. 7.9: weiteres, neues Arbeitsblatt für das Schlüsselement.....	279
Abb. 7.10: weiteres, neues Arbeitsblatt für das Schlüsselement, Bildquellen http://www.proleipzig.eu/assets/images/Lupe_Leipzig_braucht.gif , und http://www.google.de/imgres?imgurl=http://de.academic.ru/pictures/dewiki/122/zucker_150_fach_polfilter.jpg&imgrefurl=http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/1213477&usq=__2edZJ5w99UC_JYS-xwxe6qTdut8=&h=1356&w=1973&sz=350&hl=de&start=5&zoom=1&um=1&itbs=1&tbnid=DuuDZkcg_ek2RM:&tbnh=103&tbnw=150&prev=/images%3Fq%3Dzuckerkristalle%26um%3D1%26hl%3Dde%26sa%3DN%26rlz%3D1W1GPRE_de%26tbs%3Disch:1 , und http://www.berufsschule-weiden.de/gesundheits/Zuckerwuerfel.gif , http://www.metplex.de/wp-content/uploads/2010/08/hammer.png gesichtet 20.12.2010.....	280
Abb. 7.11: Arbeitsblatt: Die Ebenen der Beschreibung und Erklärung in der Chemie, Bildquellen: http://www.planet-wissen.de/alltag_gesundheit/essen/zucker/img/intro_zuckerwuerfel_03_01.jpg und http://www.biotechnologie.de/BIO/Redaktion/Bilder/de/Dossier/Glyko/zucker.property=bild,bereich=bio,sprache=de.jpg gesichtet 13.03.2009, Demuth et al. 2008: 27, Sechsecke: selbst.....	282
Abb. 7.12: Das molekulare Sieben, Wilms, 2004: 128	283
Abb. 7.13: Der Lernbegleitbogen in seiner veränderten Form, Bildquelle: http://www.feuerwehr-schauren.de/joomla/images/ffw_images/brand.jpg gesichtet 20.12.2010	286

Abb. 7.14: Das Schlüsselement (vgl. Abb. 5.25) des Zyklus II mit dem neuen Zusatz des einfachen Kohlenstoffatomkreislaufs	288
Abb. 7.15a und b: Arbeitsblattteile a (oben) und b (unten) zur Reflexion des Begriffs „umwandeln“ Bildquelle: http://www.baerfacts.de/wp-content/uploads/2007/04/spider-man-11.JPG und http://1.bp.blogspot.com/_KzHzUA_TzHU/RnsHMQlicMI/AAAAAAAAACw/v2LcLfnij6o/s320/peter_and_mj.jpg , gesichtet 31.03.2009	289

11.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Ausschnitt der Rahmenrichtlinien (2003)	33
Tabelle 3.1: Zusammenfassung der bisherigen Kategorien der Stoffebene (V) und (cR)	67
Tabelle 3.2: Zusammenfassung der Kategorien der Systeme I und II, (vgl. auch Anm. Anhang IV)	71
Tabelle 4.1: Die Gliederung des Basiskonzepts Stoff-Teilchen	75
Tabelle 5.1: Das Nussbaum- Novick- Projekt	100
Tabelle 5.2: Schritte des MaM-Projekts	101
Tabelle 6.1: Die formulierten Forschungsfragen	138
Tabelle 6.2a, b c: Antworten auf die Aufgaben 1.1, 1.3, 1.5.....	145
Tabelle 6.2d: Bezug zum Kategoriensystem	146
Tabelle 6.3a: Antworten auf die Aufgabe 1.4	146
Tabelle 6.3b: Bezug zum Kategoriensystem	147
Tabelle 6.4: Antworten auf die Frage 1.2.....	148
Tabelle 6.5a, b, c : Antworten auf den Lernbegleitbogen	149
Tabelle 6.6: Bezug zum Kategoriensystem	150
Tabelle 6.7: Antworten auf den Teil 2	152
Tabelle 6.8a : Bezug zum Kategoriensystem.....	152
Tabelle 6.8b: Bezug zum Kategoriensystem	153
Tabelle 6.9: Antworten auf den Teil 3	154
Tabelle 6.10: Bezug zum Kategoriensystem	154
Tabelle 6.11: Adäquate Antworten auf Stoffebene, siehe Anmerkung	167
Tabelle 6.12: Beispiele der Lernbegleitbogenergebnisse zu kategorial belegten Vorstellungen Kategorie A:...	168
Tabelle 6.13: Beispielantworten mit kategorialer Zuordnung A4 und A5	169
Tabelle 6.14: Beispielantworten mit Mischkonzepten der Kategorie B	170
Tabelle 6.15: Beispiel kurzer alltagssprachlicher Antworten.....	170
Tabelle 6.16: Beispiele adäquater Antworten der Kategorie A.....	171
Tabelle 6.17: Beispiele adäquater Antworten der Kategorie C.....	171
Tabelle 6.18: Beispielantworten der Kategorie A.....	171
Tabelle 6.19: weitere Antwort der Kategorie A.....	172
Tabelle 6.20: Beispielantworten mit Mischkonzepten der Kategorie B	172
Tabelle 6.21: Zahl der Veränderungen.....	176

Tabelle 6.22: Antworten mit kategorialen Veränderungen	177
Tabelle 6.23: Antworten mit gleich bleibendem Konzept	177
Tabelle 6.24: Veränderungen unter Berücksichtigung der Einsätze	179
Tabelle 6.25: Antworten mit kategorialen Veränderungen	181
Tabelle 6.26: Antworten mit gleich bleibendem Konzept	182
Tabelle 6.27: Vergleich der Veränderungen zwischen den beiden Aufgaben	184
Tabelle 6.28: Fallbeispiel P3: Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ adäquat und C (1.1/3/5)	188
Tabelle 6.29a: Fallbeispiel P6: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ adäquat (1.1/3/5)	188
Tabelle 6.29b: P6: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ adäquat (1.1/3/5)	189
Tabelle 6.30a: P20: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ und C (1.1/3/5)	190
Tabelle 6.30b: P20: Kategorienwechsel ($B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ und C (1.1/3/5))	190
Tabelle 6.31a: P23: Kategorienwechsel ($B \rightarrow C$ (1.4), $B \rightarrow C$ (1.1/3/5))	191
Tabelle 6.31b: P23: Kategorienwechsel ($B \rightarrow C$ (1.4), $B \rightarrow C$ (1.1/3/5))	191
Tabelle 6.32a: P14: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow B$ (1.1/3/5)	192
Tabelle 6.32b: P14: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow B$ (1.1/3/5)	193
Tabelle 6.33a: P15: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $B \rightarrow C$ (1.1/3/5)	194
Tabelle 6.33b: P15: Kategorienwechsel $B \rightarrow C$ (1.4), $B \rightarrow C$ (1.1/3/5)	194
Tabelle 6.34a: P11: Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ (1.1/3/5)	197
Tabelle 6.34b: P11: Kategorienwechsel $A \rightarrow C$ (1.4), $A \rightarrow A$ (1.1/3/5)	197
Tabelle 6.35: Erhebungszahlen	204
Tabelle 6.36: Anzahl der Einsätze Tabelle 6.37: Lerngruppen und Themen	204
Tabelle 6.38: Codierung der Antworten	205
Tabelle 6.39: wesentliche verwendete Konzepte in der Zweitstudie und ihre Häufigkeiten	207
Tabelle 6.40: Veränderungen Pre-Post Teeaufguss	212
Tabelle 6.41: Konstanz vs. Veränderung der adäquaten Antwort der Stoffebene	212
Tabelle 6.42: Stabilität des Nonmaterial Properties Konzepts	212
Tabelle 6.43: Teilchenkonzepte beim Aufgabenteil Lösen von Kandis	213
Tabelle 6.44: Vergleich der Anteile von Hybridkonzepten und adäquaten Teilchenkonzepten	214
Tabelle 6.45: Beispiele adäquater Antworten	223
Tabelle 6.46: Beispiele einer gegenständlichen Argumentation	224
Tabelle 6.47: Beispiele der Kategorie A gegenständlich	224
Tabelle 6.48: weitere Beispiele der Kategorie A	225
Tabelle 6.49: weitere Beispiele der Kategorie A, alternativ	225
Tabelle 6.50: weitere Beispiele der Kategorie A, alternativ	226
Tabelle 6.51: weitere Beispiele der Kategorie A6 mit Gründen	227
Tabelle 6.52: Beispiele adäquater Antworten	228
Tabelle 6.53: Beispiele Antworten mit wenig Fachbezug	229
Tabelle 6.54: Beispiele für Antworten	230

Tabelle 6.55: weitere Beispiele für Antworten.....	230
Tabelle 6.56a: Beispiele für adäquate Antworten	231
Tabelle 6.56b: Beispiele für adäquate Antworten.....	232
Tabelle 6.57: weitere Beispiele.....	233
Tabelle 6.58: Verteilung des Veränderungsverhaltens.....	234
Tabelle 6.59: Veränderungen und Stabilitäten zum Thema 1.....	236
Tabelle 6.60: Veränderungen und Stabilitäten zum Thema „Müll“	240
Tabelle 6.61a: Vergleichshäufigkeiten der Ergebnisse für den Ersteinsatz d1	242
Tabelle 6.61b: Vergleichshäufigkeiten der Ergebnisse für den Einsatz d2.....	243
Tabelle 6.62a und b: Vergleichshäufigkeiten der Ergebnisse für die Einsätze d1 und d2.....	244
Tabelle 6.63: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	245
Tabelle 6.64: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	245
Tabelle 6.65: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	246
Tabelle 6.66a: Antwort P6 Aufgabe 1.3.....	248
Tabelle 6.66b: Antwort P6 Aufgabe 3.....	248
Tabelle 6.67a: Antwort P23 Vergleich der Studienergebnisse.....	248
Tabelle 6.67b: Antwort P23 Vergleich der Studienergebnisse	249
Tabelle 6.67c: Antwort P23 Vergleich der Studienergebnisse.....	249
Tabelle 6.68: Antwort P15 Aufgabe 2.....	250
Tabelle 6.69: Antwort P10 Aufgabe 1.1 und 1.3.....	250
Tabelle 6.70a: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	251
Tabelle 6.70b: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	251
Tabelle 6.70c: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II.....	251
Tabelle 6.70d: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	252
Tabelle 6.70e: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	252
Tabelle 6.71a: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	253
Tabelle 6.71b: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	253
Tabelle 6.71c: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II.....	254
Tabelle 6.72a: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	255
Tabelle 6.72b: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	255
Tabelle 6.72c: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II.....	257
Tabelle 6.72d: Vergleich der Ergebnisse der Studien I und II	257
Tabelle 6.73: Antwort P14.....	258
Tabelle 6.74: Veränderungen und Stabilitäten.....	260
Tabelle 6.75a: Veränderungen und Stabilitäten	261
Tabelle 6.75b: Veränderungen und Stabilitäten.....	262
Tabelle 7.1a: Die Beurteilung des Konzepteinflusses für das Kategoriensystem 1.....	267
Tabelle 7.1b: Beurteilung des Konzepteinflusses für das Kategoriensystem 2.....	268

Anhänge zur Dissertation Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts 'Stoff-Teilchen' für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext

von Silvia Schmidt

Anmerkung: Die Anhänge dieser Arbeit sind zu umfangreich um sie an dieser Stelle zu publizieren. Bei Interesse schreiben Sie bitte eine Email an die Autorin silvia.schmidt@uni-oldenburg.de unter Angabe Ihrer Adresse, Sie erhalten den Anhang gegen Porto als CD-ROM.

Inhalt

Anhang I

Material für die Lehrkräfte 2001-2008:

Materialpaket für den Vorkoster in Not- die Chemie ersetzt den Vorkoster

Materialpaket „Erwünschte Verbrennungen, unerwünschte Folgen“

Anhang II

Medien und Ergebnisse für die Erprobungsstudien Varel:

Übersicht

Originalvorlagen für Power Air

Anhang III

III.1 Codelisten Fallstudie I

III.2 Codierung als Hermeneutic Unit (atlas.ti) und alle Quelltexte (txt)

III.3 Codeverteilungen für die Tee- und die Kandisaufgabe

III.4 Übersicht über die Setarbeit im Implementationsprojekt, Diagramme der Häufigkeiten

III.5 Rückmeldung an alle Lehrkräfte des Sets, Fragebogen zur Unterrichtsgestaltung

Anhang IV

IV. 1 Codeliste Fallstudie II

IV. 2 Codierung als Hermeneutic Unit und alle Quelltexte

IV.3 Codeverteilungen für die drei Teilthemen des Lernbegleitbogens

IV. 4 Tabellarische Zusammenstellung der operationalisierten Codierschlüssel der beiden Kategoriensysteme

Anhang V

V.1 Informationspaket zum Einsatz des Lernbegleitbogens, Auswertungen mit kategorialen Beispielen als Lehrerhandreichung

V.3 Ausgewählte Transkripte

V.4 Aufgabensammlung

Danksagung

Viele haben mich auf meinen Weg der Anfertigung der Dissertation begleitet und unterstützt:

Zuallererst danke ich Frau Prof. Dr. Ilka Parchmann für unendlich viele Anregungen und fruchtbaren Diskussionen. Besonders danke ich für ihre Geduld und ihre untrüblich positive Einstellung.

Ebenso großer Dank gilt Herrn Detlef Rebentisch, nicht nur dafür, dass er mich ein Schuljahr lang am „chikken“ Unterricht teilnehmen ließ, sondern auch für die stetige Bereitschaft, gemeinsam neue Wege im Unterricht zu planen, zu diskutieren und umzusetzen. Ich habe so viel gelernt, ich kann es täglich gebrauchen. Ganz großer Dank gilt allen Schülerinnen und Schülern der Klasse 9c (Schuljahr 2001/02) des Lothar-Meyer-Gymnasiums in Varel, in der die Erprobungen stattfanden.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Walter Jansen und der gesamten Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie Oldenburg für ihre Unterstützung und Hilfestellung. Hierbei ist besonders zu erwähnen, dass ich mich für die Dauer meiner Gastwissenschaftlerinnentätigkeiten in Kiel immer auf eine schnelle und zuverlässige Kooperation verlassen konnte. Das Möglichmachen dieser Gastwissenschaftlerinnenzeit am IPN verdanke ich Herrn Prof. Dr. Ulrich Kattmann vom Forschungsprogramm Didaktische Rekonstruktion, Herrn Prof. Dr. Reinhard Demuth, damaliger Leiter der Abt. Chemie-Didaktik des IPN und dem damaligen Leitenden Direktor Herrn Prof. Dr. Manfred Prenzel. Ihnen sei herzlichst gedankt, ich habe das sehr produktive Klima und die Austauschbereitschaft am IPN sehr geschätzt und oft genutzt. Herrn Kattmann sei herzlich gedankt für das stete Vertrauen in meine Arbeit.

Großen Dank spreche ich auch der gesamten Abteilung Didaktik der Chemie des IPN und darunter der Chemie im Kontext Gruppe aus. Den Dialog der Gruppe schätzte ich sehr, er verschaffte mir sehr hilfreiche Blicke über den Tellerrand meines eigenen Vorhabens.

Ganz herzlich danke Frau Prof. Dr. Barbara Moschner, Lehrereinde im Forschungsprogramm Didaktische Rekonstruktion, für ihre intensive inhaltliche Zusammenarbeit hinsichtlich notwendiger methodischer Fragen. Zugleich waren wir eine Prodid- WG in Oldenburg – daher geht mein Dank über das inhaltliche weit hinaus und bezieht sich u.a. auf die Toleranz gegenüber gelegentlich aufgetretenen Kühlschranksplünderungen.

Allen Lehrenden und Teilnehmern des Prodid-Programms sei verbindlichst gedankt: für unzählige Gespräche und Kontakte und sehr effektive Workshops in guter Atmosphäre. Besonders möchte ich mich Frau Elke Sander und Frau Anne Jansen-Bartels bedanken. Mit meinen beiden Zimmerkolleginnen Frau Anne Janssen-Bartels in Oldenburg und Frau Dr. Bianca Steinhoff in Kiel habe eine ausgesprochen produktive und angenehme Zeit verbracht, vielen Dank dafür. Herrn Dr. Frank Siemer danke für den geschätzten Kontakt und auch für das Gewährwerden seiner Kochkünste in Pantryküchen.

Dem Set Niedersachsen I des Implementationsprojekts Chemie im Kontext danke ich für die intensive, angenehme und sehr lehrreiche Zusammenarbeit.

Ich danke meiner Arbeitsgruppe Chemie am Athenaeum in Stade für die herrliche Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren. Frau Dr. Sabine Buck, Herrn Markus Krömer, Frau Claudia Maiß und Herrn Markus Schönte danke ich besonders für viele fruchtbare Diskussionen, Anregungen und Hilfen.

Danke sage ich allen Freunden und meinen Familien für die mir entgegengebrachte Geduld und Unterstützung. Zu guter Letzt gilt mein Dank meinem Mann Konrad für so viel Unbeschreibliches in dieser Zeit. Meinem Sohn Fridtjof bin ich dafür dankbar, dass er ganz unbewusst dafür gesorgt hat, dass die Arbeit fertig geworden ist.

Liste der Veröffentlichungen

- SCHMIDT, S.; REBENTISCH, D.; PARCHMANN, I.: *Chemie im Kontext* auch für die Sekundarstufe I – Cola und Ketchup im Anfangsunterricht; in: CHEMKON 10/1 (2003); S. 6-17
- PARCHMANN, I.; SCHMIDT, S.: Von erwünschten Verbrennungen und unerwünschten Folgen zum Konzept der Atome; in: MNU 56/4 (2003); S. 214-221
- PARCHMANN, I.; REBENTISCH, D.; SCHMIDT, S.: Mit Chemie im Kontext zu einem Stoffmengenbegriff– Entwicklung und Einordnung in das Stoff-Teilchen-Konzept; in: PdN-Ch.- ChiSch 7/52 (2003), 10-16
- CHRISTIANSEN, D.; HUNTEMANN, H.; SCHMIDT, S.; PARCHMANN, I.: „Müll kann man nicht weg werfen!“; in: NiU-Ch. 14/1 (2003); S. 11-16
- SCHMIDT, S.; PARCHMANN, I.: Untersuchung von Schülervorstellungen in einem Unterricht nach Chemie im Kontext (ChiK): Entwicklung, Erprobung und empirische Begleitung von Chemieunterricht der Sekundarstufe; in: Pitton, A.: Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie, Tagungsband der GDCP 2002, Münster: LIT Verlag, 2003; S. 272-274
- PARCHMANN, I.; SCHMIDT, S.; BUCK, P.: *Chemie im Kontext* – von sinnlichen Wahrnehmungen zu ersten Teilchenvorstellungen – eine Unterrichtssequenz aus dem Projekt *Chemie im Kontext* mit Anregungen zur Erweiterung der Modelldiskussion; in: *chimica didactica*, 29/3 (2004), 165-180
- STEFFENSKY, M.; SCHMIDT, S.; PARCHMANN, I.: „Die Teilchen saugen das Aroma aus dem Tee“ – Beispiele und Erklärungsansätze für Missverständnisse zwischen Alltagsvorstellungen und chemischen Erklärungskonzepten; in: *Chemie in unserer Zeit*, 39(4) (2005); 274-278
- PARCHMANN, I.; SCHMIDT, S.: „Der Zucker schmilzt und überträgt den süßen Geschmack auf die kleinsten Teilchen des Wassers“; in: *Naturwissenschaftlich-technischer Unterricht auf dem Weg in die Zukunft*; Tagungsband zum Symposium an der Universität Braunschweig; Verlag Peter Lang, 2004; 253-263
- SCHMIDT, S.; PARCHMANN, I.: Students' pre-conceptions as a tool to reflect and to design teaching and learning processes - a study from the project *Chemie im Kontext*; paper presented at the ESERA conference 2003
- PEPER, M.; SCHMIDT, S.; WILMS, M.; OETKEN, M.; PARCHMANN I.: Modellvorstellungen entwickeln und anwenden, Einsatz von Medien, Alltagsphänomenen und Experimenten, in: *NiU Chemie* 18/4+5 (2007); S. 17-23
- SCHMIDT, S.; PARCHMANN, I.: Schülervorstellungen – Lernhürde oder Lernchance? in *PdN Che/ChiSch* 3/60 (2011), 15-20

SILVIA SCHMIDT

Persönliche Angaben

Wohnort: Streuheidenweg 31
21680 Stade
Geburtsdatum: 02.11.1971
Familienstand: verheiratet mit Konrad Schmidt,
geb. 01.04.1969
Fridtjof Schmidt, geb. 8.11.2007
Sientje Schmidt, geb. 10.3.2011
Staatsangehörigkeit: deutsch
Eltern: Georg und Maria Hilbers
Geschwister: Reinhold und Frank Hilbers

Schulausbildung:

1978 - 1982 Grundsule Wietmarschen Lohne
1982 - 1984 Orientierungsstufe Wietmarschen-Lohne
1984 - 1988 Realschule Wietmarschen Lohne
1988 - 1991 Gymnasium Johanneum Lingen
Schulabschluss: Allgemeine Hochschulreife

Universitätsausbildung an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

1991 - 1998 Studium für das Lehramt an Gymnasien in den
Fächern Chemie und Mathematik, 1992
Fachrichtungswechsel zur Fächerkombination
Chemie und Biologie, Fortführung des Faches
Mathematik für das Lehramt an Realschulen
Abschluss 7. Januar 1998, Erstes Staatsexamen für das
Lehramt an Gymnasien
2001 - 2003 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Arbeitskreis
von Prof. Dr. Walter Jansen an der Universität
Oldenburg, Georg-Christoph-Lichtenberg-
Stipendiatin im Promotionsprogramm
„Didaktische Rekonstruktion“

Beruflicher Werdegang


1998-2000 Referendariat am Studienseminar für das
Lehramt an Gymnasien Wilhelmshaven,
Ausbildungsschule Lothar-Meyer-Gymnasium,
Varel
Abschluss 17. Oktober 2000, 2. Staatsexamen für das
Lehramt an Gymnasien
2000-2001 wiss. Mitarbeiterin in der Abteilung Didaktik
der Chemie des IPN Kiel
Projektarbeitsgruppe Chemie im Kontext
(Prof. Dr. Demuth, Dr. Parchmann)
Seit 2003 Lehrerin am Gymnasium Athenaeum Stade
(OStR)

Erklärung:

Hiermit bestätige ich, dass diese Arbeit mit dem Titel:

Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts 'Stoff-Teilchen' für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext

von mir selbstständig angefertigt wurde und dass die Stellen der Arbeit, die in wesentlichen Teilen anderen Werken entnommen sind, mit genauer Angabe der Quelle gekennzeichnet sind. Weiterhin bestätige ich, dass benutzte Hilfsmittel an entsprechender Stelle von mir angegeben wurden. Die Dissertation ist weder in Teilen noch in ihrer Gesamtheit einer anderen wissenschaftlichen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsverfahren vorgelegt worden. Über die Teile der Arbeit, die bereits in Zeitschriften veröffentlicht wurden, ist eine Liste dieser sowie ein Sonderdruck einer Publikation der Arbeit beigelegt worden.

A handwritten signature in black ink that reads "Silke Schmidt". The signature is written in a cursive style with a large initial 'S'.

Stade, den 15.12.2009