

# **Erwerb von Wissen über „*Nature of Science*“**

Eine Fallstudie zum Potenzial impliziter Aneignungsprozesse in geöffneten  
Lehr-Lern-Arrangements am Beispiel von Chemieunterricht

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Pädagogik

vorgelegt von  
**Volker Hofheinz**  
aus Siegen

eingereicht beim Fachbereich 8  
der Universität Siegen

Siegen 2008

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von August 2003 bis März 2008 in der Arbeitsgruppe Didaktik der Chemie im Fachbereich Chemie/Biologie der Universität Siegen angefertigt.

**Erstgutachter:** Prof. Dr. Volker Scharf  
**Zweitgutachter:** Prof. Dr. Hans Brügelmann

**Datum des Rigorosums:** 24.6.2008

**Prüfer:** Prof. Dr. Volker Scharf (Didaktik der Chemie)  
Prof. Dr. Hans Brügelmann (Schulpädagogik)  
Prof. Dr. Hans-Jörg Deiseroth (Anorganische Chemie)

*„Handle stets so, daß die Anzahl der Möglichkeiten wächst.“*

(Heinz von Foerster)

## **Danksagung**

Herrn Prof. Dr. Volker Scharf danke ich nicht nur für die Überlassung des interessanten Themas – mein aufrichtiger Dank gilt insbesondere seiner konstruktiven Diskussionsbereitschaft, der anregenden und gleichermaßen fordernden Hilfe, seinem steten Interesse am Fortgang der Arbeit sowie der Bereitstellung hervorragender Arbeitsbedingungen. Danke.

Bei Herrn Prof. Dr. Hans Brügelmann möchte ich mich für die Bereitschaft bedanken, als Zweitgutachter zu fungieren. In erster Linie gilt mein Dank jedoch seinem ‘sezierenden Blick’, der wertvolle und vor allem fruchtbare Impulse lieferte. Herzlichen Dank.

Dr. Martin Gröger danke ich für unzählige kollegiale Hilfen sowie für Bodenhaftung. Für wertvolle Hilfen bei der Planung und Realisation der Interventionsmaßnahmen bedanke ich mich insbesondere bei Bettina Buchen sowie bei Dominik Höhn und Andre Geduldig. Irina Dück, Annemarie Lehmann, Alexander Lisai und Sebastian Strunk danke ich für arbeitsreiche Hilfen bei der Datenauswertung. Christoph Bernsen danke ich für inhaltliche, Christoph Berg, Thomas Graßhoff und Christian Groos für technische, Irina Dück und Annemarie Lehmann für sonstige hervorragende Unterstützung.

Für institutionelle Hilfen möchte ich mich bei allen Mitgliedern der Forschungsstelle Lehr-Lern-Forschung der Universität Siegen bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt jedoch den 60 Schülerinnen und Schülern für ihre Teilnahme an der Studie. Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei deren Lehrerinnen und Lehrern für ihre kollegiale, mustergültige Unterstützung.

## Zusammenfassung

Schülern gezielt Wege naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bewusst zu machen, ist spätestens seit der Veröffentlichung der Bildungsstandards wieder stärker in den Blick geraten. Leider wird naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten aber nicht selten auf die systematische Durchführung einer Forschungshandlung reduziert, bei der naturwissenschaftliche Prozesse wie ‘Beobachten’ oder ‘Schlussfolgerungen ziehen’ rezeptartig angewandt werden müssen. Ein sinnvoller Einsatz naturwissenschaftlicher Prozesse erfordert jedoch neben konkreten Inhalten sowie einer Kenntnis der Prozesse selbst auch immer eine *Methodologie*, also eine Reflexion *über* naturwissenschaftliche Methoden. Dieses Meta-Wissen umfasst weder in Lernstandserhebungen prüfbare Kenntnisse noch das ‘korrekte’ Anwenden naturwissenschaftlicher Prozesse, sondern Wertvorstellungen und erkenntnistheoretische Grundannahmen, auf denen naturwissenschaftliches Wissen und naturwissenschaftliche Tätigkeiten basieren. Ohne ein solches Meta-Wissen ist weder die Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Problembewusstseins oder gar einer naturwissenschaftlichen Beurteilungskompetenz, noch eine Anerkennung der Leistungen der Naturwissenschaften möglich. Während sich für dieses Wissen über die ‘Geartetheit’ der Naturwissenschaften im deutschen Sprachraum die Wendung ‘Natur der Naturwissenschaften’ durchzusetzen scheint, spricht man im internationalen Diskurs von *nature of science* (NOS).

Bei der derzeitigen Fokussierung auf messbaren, unterrichtlichen Output werden Möglichkeiten eines Wissenserwerbs über NOS nur randständig beachtet. In der vorliegenden Fallstudie werden zwei Wege zum Erwerb von Wissen über *nature of science* in praxisgerechten, geöffneten Lehr-Lern-Arrangements vergleichend untersucht: Einerseits ein rein impliziter Weg, bei dem SchülerInnen in der Rolle naturwissenschaftlicher Forscher agieren (*open inquiry*), indem sie die Wirkungsweise einer Babywindel naturwissenschaftlich untersuchen. Andererseits ein implizit-vorstrukturierter Weg, der in Form eines Gruppenpuzzles die historische Entwicklung unterschiedlicher Säure-Base-Konzeptionen ex post als Sprungbrett für eine Reflexion *über* Naturwissenschaften nutzt. Das Potenzial beider Wege wird anhand einer explorativen Fallstudie mit insgesamt 60 SchülerInnen der Jahrgangsstufe 11 ausgelotet. Als Erhebungsinstrument kommt eine adaptierte Fassung des Fragebogens „VNOS-C“ (Lederman *et al.* 2002) zum Einsatz. Forschungsleitende Fragestellungen sind dabei:

- Welche Vorstellungen über NOS bringen die beforschten Schüler mit in den Unterricht?
- Welches Potenzial weist ein bezogen auf NOS *implizit-vorstrukturiertes Lernarrangement* beim Erwerb von Wissen über *nature of science* auf, bei dem Schüler eine eigenständige Rekonstruktion historischer und explizit dargelegter Forschungsprozesse leisten müssen?
- Welche Effekte zeigt ein lerntheoretisch attraktiver Weg eines *impliziten Erfahrungslernens* auf Schülervorstellungen zum Bereich NOS, bei dem Schüler in einer Forscherrolle einem relativ offenen naturwissenschaftlichen Problem (*open inquiry*) nachgehen müssen?

## Abstract

### ***Developing an Understanding of the Nature of Science***

*A case study exploring the potential of implicit approaches in open learning situations using chemistry teaching as an example*

Due to the current focus on the measurable output of teaching lessons, opportunities to learn about the nature of science (NOS) are often sidelined. In the present case study, two ways of learning about NOS are compared and examined in practice-oriented, open learning situations. One follows a purely implicit approach (open inquiry) with 11<sup>th</sup> grade students acting in the role of scientists investigating the functionality of babies' diapers; the other uses an "implicit pre-structured" approach in a jigsaw classroom by reconstructing the historical development of different acid-base definitions as a springboard for students' reflections about science processes and the nature of science afterwards. The potential of both teaching methods was explored in a case study with 60 students using an adapted version of the questionnaire VNOS-C (Lederman *et al.* 2002). The study explored in detail the following questions:

- What preconceptions about the NOS did the students bring to the classroom?
- What is the potential of "implicit pre-structured" learning situations in which students reconstruct historical research processes, in helping them to understand the nature of science?
- What effects does an open inquiry have on the students' ideas of NOS?

# Inhalt

<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Naturwissenschaften im Unterricht – Probleme, Ziele, Wege</b>	
2.1 Naturwissenschaften in der Schule – keine Erfolgsgeschichte?	6
2.2 Ziele und Wege naturwissenschaftlichen Unterrichts	19
2.2.1 Zur Frage der Legitimation von Naturwissenschaften im Unterricht	19
2.2.2 Bildung – ein idealistisches Auslaufmodell?	25
2.2.3 Allgemeinbildung nach HEYMANN: ein sinnvoller Anforderungsrahmen für Unterricht	29
2.2.4 Didaktik versus Curriculum – Trendwende im deutschen Bildungssystem?	31
2.2.5 <i>Scientific Literacy</i> – ein umfassendes, kompetenzbasiertes Konzept	37
2.2.6 <i>Scientific Awareness and Appreciation</i> – eine sinnvolle Einschränkung?	50
2.3 Ausblick	56
<b>3. <i>Nature of Science</i> – ein Desiderat des naturwissenschaftlichen Unterrichts</b>	
3.1 Zum Zwischenstand der Diskussion	58
3.2 Was versteht man unter <i>Nature of Science</i> (NOS)?	62
3.2.1 Exkurs: Das Experiment in der Wissenschaft aus wissenschaftstheoretischer Sicht	64
3.2.2 Relevante Aspekte von <i>Nature of Science</i> im Unterricht	76
<b>4. Erwerb von Wissen über <i>Nature of Science</i> – Standortbestimmung</b>	
4.1 Problemaufriss	80
4.2 Exkurs: Was bedeutet ‘Erwerb von Wissen’?	82
4.2.1 Vorbemerkungen	82
4.2.2 Zum Verhältnis von Lernen und Wissen	83
4.2.3 Wissenstypen oder die Organisation von Wissen	86
4.2.4 Lernen als Konstruktion von Wissen	94
4.2.5 ‘Öffnen von Unterricht’ als Konsequenz?	103
4.3 <i>Inquiry</i> – ein Weg zum Erwerb von Wissen über <i>Nature of Science</i> ?	107
4.3.1 Begriffsbestimmung: Was meint <i>inquiry</i> ?	107
4.3.2 Varianten bei der unterrichtlichen Umsetzung	111
4.3.3 Experimentelles Problemlösen im Unterricht?	115
4.4 <i>Nature of Science</i> im Unterricht – implizit, explizit oder vorstrukturiert?	122

<b>5. Erwerb von Wissen über <i>Nature of Science</i> – zwei Wege im Vergleich am Beispiel von Chemieunterricht</b>	
5.1 <i>Nature of Science</i> im Unterricht – Vorbemerkungen .....	127
5.2 Ein <i>vorstrukturierter</i> Weg – ein Gruppenpuzzle als Strukturierungsangebot .....	130
5.2.1 Wissenschaftsgeschichte im Unterricht .....	130
5.2.2 Die historische Genese der Säure-Base-Definitionen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED .....	132
5.2.2.1 Die Säure-Base-Definitionen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED .....	134
5.2.2.2 Wege der Erkenntnisgewinnung von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED ...	138
5.2.3 „Forschern auf die Finger geschaut“ – ein Gruppenpuzzle als Strukturierungshilfe zur Reflexion über naturwissenschaftliches Arbeiten in Theorie und Praxis .....	156
5.3 Ein <i>impliziter</i> Weg – eigenständiges, naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten .....	162
5.3.1 Superabsorbierende Polymere in Babywindeln als Problemgrund eines experimentellen Untersuchungsauftrags im Unterricht .....	162
5.3.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe zu superabsorbierenden Polymeren .....	163
5.3.3 „Hightech in der Babywindel“ – ein (weitgehend) offener Untersuchungsauftrag in Theorie und Praxis .....	168
<b>6. Schülervorstellungen zu <i>Nature of Science</i> in der Evaluation</b>	
6.1 Vorbemerkungen .....	172
6.2 Der Fragebogen VNOS-C als Instrument zum Erheben von Vorstellungen über <i>Nature of Science</i> .....	173
6.2.1 Offene versus geschlossene Instrumente .....	173
6.2.2 Fragebogen VNOS-C und dessen Adaption im Detail .....	175
6.3 Forschungsmethodische Verortung der Studie .....	180
6.3.1 Standortbestimmung .....	180
6.3.2 Kopplung qualitativer und quantitativer Forschungselemente .....	181
6.3.3 Qualitätssicherung und Gütekriterien bei der vorliegenden Studie .....	184
6.3.4 Design der Studie und methodische Entscheidungen im Überblick .....	188
6.4 Zum Auswertungsverfahren der Fragebögen und Interviews .....	190
6.5 Auswertung der Fragebögen .....	194
6.5.1 Ein erster Blick: Ansichten zu NOS bei Schülern der Jahrgangsstufe 11 .....	194
6.5.2 Pre-Test: Schüleransichten zu den NOS-Zielbereichen im Detail .....	197
6.5.3 Pre-Post-Vergleich: Veränderungen von Schüleransichten zu NOS .....	214
6.6 Produktive Abweichungen vom Durchschnitt: Fallanalyse der ‘Gewinnerkandidaten’ .....	222
6.6.1 Der Schüler DF2005 <sup>A</sup> – vom Naturalisten zum moderaten Kulturalisten .....	223
6.6.2 Der Schüler SK1006 <sup>A</sup> – Labilisierung naiver Positionen .....	227
6.6.3 Die Schülerin ScLi <sup>C</sup> – Ambivalenz als Potenzial und Risiko .....	231

<b>7. Potenzial und Grenzen der Interventionsmaßnahmen: Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse</b> .....	241
<b>8. Literatur</b> .....	246

## ANHANG

<b>A-1</b> Allgemeine Hinweise zum Gruppenpuzzle .....	265
<b>A-2</b> Gruppenpuzzle „Forschern auf die Finger geschaut“ .....	266
<b>A-3</b> Quellennachweise der Abbildungen für das Gruppenpuzzle .....	278
<b>B-1</b> Offener Untersuchungsauftrag „Hightech in der Babywindel“ .....	279
<b>B-2</b> Quellennachweise der Datenwerte und Abbildungen des Untersuchungsauftrages ...	280
<b>C-1</b> Adaptierte Fassung des Fragebogens VNOS-C .....	281
<b>C-2</b> Kategoriensystem zur Auswertung des adaptierten Fragebogens VNOS-C .....	283
<b>C-3</b> Codierleitfaden für den adaptierten Fragebogen VNOS-C .....	285
<b>C-4</b> Intercoderreliabilitäten (Stichprobe) .....	288
<b>C-5</b> Kursbezogene Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Post-Vergleich .....	293
<b>C-6</b> ‘Wanderungsbewegung’ einzelner Schüler des Kurses B .....	297
<b>D-1</b> Transkriptionsregeln für die Interviews .....	298
<b>D-2</b> Transkription der Interviews .....	299
<b>D-3</b> Fragebogenantworten der Interviewkandidaten im direkten Pre-Post-Vergleich .....	312



# 1. Einleitung

Die sehr sinnvolle Idee, im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur Fakten zu vermitteln, sondern auch naturwissenschaftlich orientiert zu arbeiten und damit Wege naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu beschreiten, ist spätestens seit der Veröffentlichung der Bildungsstandards, in denen dies dezidiert gefordert wird, wieder verstärkt in den Blick geraten. Die zahlreichen, jüngst erschienenen ‘Lernboxen’, Methodenleitfäden und fachdidaktischen Themenhefte zum naturwissenschaftlich orientierten Arbeiten geben Zeugnis davon. So schülerorientiert und methodenreich diese Arbeitshilfen für Lehrerinnen und Lehrer<sup>1</sup> auch sind: Naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten umfasst jedoch mehr als die systematische Durchführung eines Forschungsprozesses. Verkennt man dies, besteht die Gefahr, dass der komplexe, mitunter irrational imprägnierte und oft mit Fiktionen durchsetzte naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess einseitig idealisiert und damit unwillkürlich ein naiv-empiristisches Wissenschaftsverständnis protegert wird.

Naturwissenschaftliche Prozesse<sup>2</sup> wie z. B. ‘Beobachten’ oder ‘Schlussfolgerungen ziehen’ lassen sich auch weniger klar voneinander abgrenzen, als es Methodenleitfäden vielfach suggerieren. Darüber hinaus können Schüler bereits von Kindesbeinen an beobachten, klassifizieren oder auch Hypothesen bilden – lange vor ihrer ersten Unterrichtsstunde in einem naturwissenschaftlichen Fach. Die Besonderheiten einer *naturwissenschaftlichen* Beobachtung, Klassifizierung bzw. Hypothesenbildung ergeben sich daher nicht allein schon durch die Prozesse, sondern erst durch wechselseitige Bezüge zwischen diesen Prozessen, einem Meta-Wissen darüber sowie basalen Kenntnissen naturwissenschaftlicher Konzepte. Das sinnvolle Anwenden naturwissenschaftlicher Prozesse erfordert demnach neben konkreten Inhalten auch immer eine *Methodologie*, also eine Reflexion *über* naturwissenschaftliche Methoden, wie sie auch in den Bildungsstandards, jedoch etwas blass, im Bereich ‘Bewertung’ erwähnt wird. Im internationalen Diskurs spricht man hier von *nature of science* (NOS) und meint damit: Ein Ausweisen der historisch-kulturellen Leistungen der naturwissenschaftlichen Disziplinen, die Anerkennung ihrer Sinnhaftigkeit für unser Leben, ein Verständnis ihrer Denk- und Arbeitsmethoden sowie der Wertebasis, auf der naturwissenschaftliche Entscheidungen basieren, ihre fachliche, aber auch soziale und kulturelle Tragweite, der epistemologische Status naturwissenschaftlichen Wissens, etc. (vgl. McComas *et al.* 1998). Mit *nature of science* sind daher weder in Lernstandserhebungen prüfbare Kennt-

---

<sup>1</sup> Aus Gründen einer leichteren Lesbarkeit verzichte ich in der Regel auf eine Unterscheidungsschreibung bezüglich des Genus-Sexus-Problems und nutze das sogenannte ‘generische Maskulinum’. Auch wenn ich daher nur von Akteuren spreche, sind die Akteurinnen selbstverständlich immer mitgedacht.

<sup>2</sup> Mit ‘naturwissenschaftlichen Prozessen’ sind keine ‘natürlichen’ Prozesse wie beispielsweise das Welken der Blätter gemeint, sondern vielmehr ‘kultürliche’ Prozesse, die naturwissenschaftliche Handlungen beschreiben.

nisse noch das ‘korrekte’ Anwenden naturwissenschaftlicher Prozesse gemeint, sondern Wertvorstellungen und erkenntnistheoretische Grundannahmen, auf denen naturwissenschaftliches Wissen und naturwissenschaftliche Tätigkeiten basieren.

Speziell der Erwerb dieses Wissens *über* naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen wird jedoch bei der derzeitigen Fokussierung auf unterrichtlichen ‘Output’ sowohl in der schulischen Praxis als auch in der hiesigen, naturwissenschaftsdidaktischen Forschung kaum beachtet. Infolgedessen gibt es im deutschen Sprachraum auch nur recht wenig ausgearbeitete Unterrichtskonzeptionen dazu und noch weniger unterrichtsbegleitende, empirische Forschung.

Die Frage, ob und gegebenenfalls wie Schüler Wissen über *nature of science* im ganz normalen Unterricht nachhaltig erwerben können, ist daher bislang offen. Die vorliegende Arbeit möchte einen Beitrag zu diesem Diskurs liefern, indem eine mögliche Antwort auf diese Frage diskutiert und in einer Fallstudie erprobt wird.

### *Kapitelübersicht*

Bereits seit langem wird in der Naturwissenschaftsdidaktik die geringe Wirksamkeit speziell der Unterrichtsfächer Chemie und Physik sowie ein stetig sinkendes Schülerinteresse für diese Fächer beklagt. Den fachdidaktisch häufig diskutierten Ursachenfeldern dieser in Kapitel 2.1 entfalteten Kernprobleme des naturwissenschaftlichen Unterrichts wird mit aktuellen bildungspolitischen Maßnahmen jedoch leider nur teilweise begegnet. Die derzeitige Implementation von Bildungsstandards und Kerncurricula, die einer sicherlich notwendigen Standardsicherung dienen soll, wirft vielmehr eine grundlegende, in Kapitel 2.2.1 diskutierte Frage nach Zielen und Wegen von Naturwissenschaften im Unterricht auf. Um den momentan vielfach bemühten Slogan, das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts müsse die Etablierung einer *scientific literacy* sein, in Kapitel 2.2.5 greifbarer zu machen, wird zuvor in den Kapiteln 2.2.2 und 2.2.3 der Bildungsbegriff als Kontrastfolie skizziert. Dies ist erforderlich, weil Bildungsstandards und Kerncurricula im Fahrwasser der PISA-Studien an den angelsächsischen *literacy*-Diskurs anknüpfen und damit die deutsche Bildungstradition gleichsam verabschieden. Letztlich wird sich bei dieser in Kapitel 2.2.4 angelegten Gegenüberstellung zeigen, dass trotz einer unterschiedlichen Stoßrichtung – *literacy* als geforderter Output, Bildung als Intention für umsichtigen Input – ein gemeinsames, relativ unstrittiges Substrat erkennbar ist, und zwar nicht erst seit Etablierung der Bildungsstandards: Neben einer Kenntnis naturwissenschaftlicher Basiskonzepte (‘Fachwissen’) sollen Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht auch durch naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten für Erkenntniswege der Naturwissenschaften sensibilisiert werden (‘Erkenntnisgewinnung’) sowie kompetent am gesellschaftlichen Diskurs teilnehmen können (‘Kommunikation’), wenn es um Entscheidungen geht, bei denen naturwissenschaftliches Wissen erforderlich ist. Darüber hinaus sollen sie eine naturwissenschaftliche Beurteilungskompetenz erwerben, die es ihnen gestattet, die Bedeutung, die Gültigkeit und die Zuverlässigkeit naturwissenschaftlicher Aussagen begründet bewerten zu können

(‘Bewertung’). Eingedenk der zuvor benannten Kernprobleme des naturwissenschaftlichen Unterrichts muss insbesondere der letztgenannte Bereich der ‘Bewertung’ im Sinne einer *nature of science* eine unterrichtliche Schlüsselrolle spielen. Denn – so wird in Kapitel 2.2.6 im Anschluss an SHAMOS (1995) ausgeführt – erst eine Sensibilisierung für das ‘Wesen’ der Naturwissenschaften kann auch eine Wertschätzung für Naturwissenschaften ermöglichen, was eine sicherlich sinnvolle Basis nicht nur für nachhaltiges Lernen, sondern auch für Motivation ist.

Um eine naturwissenschaftliche Beurteilungskompetenz zu erlangen, bedarf es einer Reflexion darüber, was Naturwissenschaften eigentlich von anderen Wissenschaften unterscheidet, was also das ‘Wesen’ der naturwissenschaftlichen Disziplinen ausmacht. Dieses im deutschen Sprachraum etwas unglücklich als ‘Natur der Naturwissenschaften’ bezeichnete Gebiet ist Gegenstand von Kapitel 3. Anders als es die Wendung ‘Natur der Naturwissenschaften’ impliziert, geht es hier jedoch *nicht* um eine den Naturwissenschaften notwendig innewohnende Eigentümlichkeit; vielmehr hängt jede inhaltliche Füllung dessen, was mit dem Ausdruck *nature of science* gemeint ist, von wissenschaftstheoretischen Setzungen ab. Um ein gegenwärtiges, typisches, aber vor allem schulisch relevantes Verständnis der Besonderheiten und Wertvorstellungen von Naturwissenschaften in Kapitel 3.2.2 skizzieren zu können, wird daher zuvor in Kapitel 3.2.1 ein wissenschaftstheoretischer Exkurs unternommen, gezielt perspektiviert auf das Experiment als wesentliches Medium der Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften.

Weil Wissen *über* Naturwissenschaften im praktischen, naturwissenschaftlich orientierten Handeln eine stete Dynamisierung erfährt, gleicht der Erwerb von Wissen über *nature of science* ein Stück weit einem Hineinwachsen in die Wissenschaftsgemeinschaft. Wissen über NOS müsste daher aus lerntheoretischer Sicht, welche in Kapitel 4.2 genauer beleuchtet wird, von einem impliziten Erfahrungslernen profitieren und sich dabei quasi ‘unter der Hand’ entwickeln. Ein recht vielversprechender Ansatz, der auf einen solchen lerntheoretisch attraktiven impliziten Wissenserwerb von NOS setzt, firmiert unter dem Label *inquiry* und wird in Kapitel 4.3 vorgestellt. Laut angelsächsischer Forschungsergebnisse scheint jedoch eine auf implizitem Lernen basierende Eigenkonstruktion von Wissen über *nature of science* wenig effektiv zu sein. Das Kontrastprogramm einer ‘expliziten Unterweisung’ von Wissen über NOS in eher wissenschaftstheoretischen Unterrichtseinheiten wäre jedoch nicht nur überaus zeitaufwendig und daher im normalen Unterricht kaum leistbar, sondern auch aus lerntheoretischer Sicht wenig aussichtsreich. In Kapitel 4.4 wird daher eine auf den Ergebnissen von Kapitel 4.2 basierende Alternative diskutiert. Dabei wird die gängige Ansicht aufgeweicht, dass ein Lernsubjekt beim *expliziten Lernen* das zu erwerbende Lernobjekt kennt *und* sich darüber im Klaren ist, dass es lernt, beim *impliziten Lernen* dagegen weder weiß, dass es lernt, noch was es lernt. Hinterfragt man diese oftmals unterstellte Kopplung bezüglich der Bewusstheit von Lernobjekt und Lernprozess, kann dies zu produktiven *implizit-vorstrukturierten Lernarrangements* führen, bei denen ein Lehrer ganz be-

wusst implizites Lernen organisiert und inzidentelle Erfahrungen der Schüler im Nachhinein vergegenwärtigt (vgl. Brügelmann 2007).

Ein Beispiel für ein solchermaßen implizit-vorstrukturiertes Lernarrangement ist das in Kapitel 5.2 vorgestellte Gruppenpuzzle ‘Forschern auf die Finger geschaut’. Kollektives Wissen über *nature of science* ist in diesem Lernarrangement, welches sich inhaltlich auf die historische Genese von Säure-Base-Konzepten stützt, nicht explizit, sondern nur implizit-vorstrukturiert enthalten und wird erst im Nachhinein im Plenum bewusst gemacht. Dem Gruppenpuzzle wird in Kapitel 5.3 eine ebenfalls problemorientierte, kooperative Lernumgebung in Form des geöffneten experimentellen Untersuchungsauftrags (*open inquiry*) ‘Hightech in der Babywindel’ gegenübergestellt. Schüler werden dabei in eine problemhaltige Situation versetzt, in der sie experimentell gestützte Lösungsvorschläge zu Absorptionseigenschaften von Makromolekülen in Babywindeln finden und anschließend kommunizieren müssen. Wissen über NOS kann in diesem Lernarrangement beim eigenen experimentellen Handeln inzidentell erworben werden.

Diese beiden Lernsituationen werden forschungsmethodisch als Interventionsmaßnahmen in drei Chemiekursen der Jahrgangsstufe 11 genutzt, um folgende Fragen beantworten zu können:

- Welche Vorstellungen zum Bereich *nature of science* bringen Schüler einer Jahrgangsstufe 11 mit in den Unterricht?
- Welches Potenzial weist ein bezogen auf NOS *implizit-vorstrukturiertes Lernarrangement* beim Erwerb von Wissen über *nature of science* auf, bei dem Schüler eine eigenständige Rekonstruktion historisch gut dokumentierter und explizit dargelegter Forschungsprozesse leisten müssen?
- Welche Effekte zeigt ein lerntheoretisch attraktiver Weg eines *impliziten Erfahrungslernens* auf Schülervorstellungen zum Bereich *nature of science*, bei dem Schüler in der Rolle naturwissenschaftlicher Forscher einem strukturell relativ offenen naturwissenschaftlichen Problem (*open inquiry*) nachgehen müssen?

Die Wirksamkeit der Interventionsmaßnahmen wird einzeln und in Kombination in einer explorativen Fallstudie (n = 60), die in Kapitel 6 vorgestellt wird, im Pre-Post-Design erhoben. Ansichten zu *nature of science* und eventuelle Änderungen dieser Sichtweisen im Anschluss an die Interventionsmaßnahmen werden mittels eines in den USA bereits etablierten, offenen Fragebogens bei Schülern dreier Chemiekurse der Jahrgangsstufe 11 erfasst. Das eingesetzte Instrument – der für hiesige Verhältnisse adaptierte Fragebogen VNOS-C (vgl. Lederman *et al.* 2002) – wird in Kapitel 6.2 vorgestellt. Die Auswertung der Fragebögen erfolgt nach dem in Kapitel 6.4 erörterten Verfahren der strukturierenden Inhaltsanalyse nach MAYRING (2003). Halbstrukturierte, offene fakultative Follow-up-Interviews dienen, wie in Kapitel 6.3 erläutert wird, forschungsmethodisch einerseits einer kommunikativen Validierung der Fragebögen, andererseits aber auch als Bausteine einer Kontextanalyse zur Explikation des Potenzials der Interventionsmaßnahmen. Dazu werden drei Schüler, die von der Maßnahme signifikant profitiert haben, eingehender befragt, um Hin-

weise auf einen günstigen Ermöglichungszusammenhang zu erhalten. Die Auswertung des Pre-Post-Vergleichs erfolgt in Kapitel 6.5, die eingehende Fallanalyse in Kapitel 6.6.

Einen zusammenfassenden Überblick über Anlass und Ziel der Studie gibt das abschließende Kapitel 7. Dort werden ebenfalls gerafft das Potenzial, aber auch die Grenzen der Interventionsmaßnahmen diskutiert.

## 2. Naturwissenschaften im Unterricht – Probleme, Ziele, Wege

### 2.1 Naturwissenschaften in der Schule – keine Erfolgsgeschichte?

The fact is that regardless of all our efforts, by any reasonable measure we remain predominantly a nation of scientific illiterates. (Shamos 1995, S. xi)

So die ernüchternde und vielleicht etwas überspitzte Einschätzung des amerikanischen Physikers, Curriculum-Entwicklers und ehemaligen Präsidenten der NSTA (*National Science Teacher Association*) M. H. SHAMOS über die Bevölkerung der USA. Jedoch stimmt er damit in ein internationales Konzert ein, welches nicht erst seit dem unerwartet<sup>1</sup> schlechten Abschneiden deutscher Schüler bei TIMSS (vgl. Baumert *et al.* 1997, 2000) und PISA/I (vgl. Baumert *et al.* 2001a) auch hierzulande als Topos gilt: Der Unterricht in den naturwissenschaftlichen Disziplinen hat mit Problemen zu kämpfen. Der Physikdidaktiker RIEß (1997) weist prägnant auf die größten Defizite hin: „[...] die geringe Wirksamkeit des naturwissenschaftlichen Unterrichts (gemessen an den von den SchülerInnen erworbenen Kenntnissen und Fähigkeiten)“ (ebd., S. 14) sowie eine „stetig sinkende Motivation für die Unterrichtsinhalte und das nachlassende Interesse an der Fächergruppe insgesamt“ (ebd.).

Als Indikator wird vor allem der von RIEß zuletzt genannte Befund herangezogen, die immer wieder und bereits seit Jahren konstatierte Unbeliebtheit der Schulfächer Chemie und Physik (vgl. Bader 1997c, S. 398; Becker *et al.* 1980, S. 46ff.; Euler 2005, S. 18ff.; Gräber & Nentwig 2002, S. 16ff.; Wellensiek 2005, S. 126f.), die sich z.B. direkt durch Befragungen oder auch indirekt durch Interpretation des Kurswahlverhaltens in der gymnasialen Oberstufe erfassen lässt. Den Studien zufolge ist das Interesse an einer naturwissenschaftlichen Disziplin zunächst meist vorhanden, die Fachbeliebtheit in Chemie und Physik schwindet aber unverhältnismäßig rasch. Eine Sonderrolle nimmt allerdings das Fach Biologie ein: „Unter den Naturwissenschaften hat sich Biologie zur schulischen Leitdisziplin entwickelt – auf Kosten von Physik und insbesondere Chemie“ (Baumert & Köller 2000, S. 184; vgl. Gräber 1992a; Werth 1991, S. 33-43). Der pauschalisierende Plural ‘Naturwissenschaften’ ist hier daher unangebracht.

---

<sup>1</sup> Medial wurde das schlechte Abschneiden als ‘unerwartet’ dargestellt, obgleich es auch schon vor TIMSS und PISA internationale Vergleichsstudien mit deutscher Beteiligung gab, in denen deutsche Schüler nicht gut abschnitten (vgl. Brügelmann & Heymann 2002, S. 4f.), speziell auch in den naturwissenschaftlichen Fächern (vgl. Rieß 1997, S. 16f.). Der mäßige ‘PISA-Tabellenstand’ darf daher „nicht vorschnell als Leistungs‘verfall’ gegenüber angeblich goldenen Zeiten früher umgedeutet“ (Brügelmann & Heymann 2002, S. 5) werden.

In der oben angeführten Literatur werden vielerlei Gründe als Ursachen der geringen Popularität diskutiert. Zentrale und häufig wiederkehrende Argumentationstopoi sind der *Schwierigkeitsgrad* der Fächer Chemie und Physik, das *schlechte Image* speziell von Chemie und Chemietechnik sowie die *fehlende Lebensnähe* der im Unterricht behandelten Gegenstände.

### *Hoher Schwierigkeitsgrad*

Die Fächer Chemie und Physik gelten gemeinhin als schwierig, weil sie auf einem abstrakten, aber konzisen und daher inhaltlich stark vernetzten, hierarchischen Denkgebäude eines primär submikroskopischen Bereichs gründen, der überdies durch seine prinzipielle „Andersweltlichkeit“ (Fladt & Buck 1996, S. 71) im wahrsten Wortsinne unanschaulich ist. Sind dadurch beide Fächer von der Sache her begründet besonders schwer oder werden sie nur so empfunden? Oder anders gewendet: Lässt sich eine solche eher subjektive Aussage überhaupt objektivieren?

Differenzieren sollte man daher zunächst zwischen den tatsächlich erbrachten Lernergebnissen im Unterricht und dem Selbstkonzept eigener Fähigkeiten auf Seiten des einzelnen Schülers. Lernergebnisse, deren Rückmeldung in der Regel verkürzt qua Ziffernote erfolgt, könnten Hinweise auf den tatsächlichen Schwierigkeitsgrad eines Faches geben. Aber ob etwas besonders diffizil ist, lässt sich im Endeffekt freilich weder an Noten festmachen noch per se bestimmen, weil echte Vergleichsmöglichkeiten letztlich fehlen. Daher ist es sinnvoller, die selbst empfundene Kompetenz in einer Domäne zu nutzen (die freilich auch stark von Schulnoten beeinflusst wird, positiv wie negativ), zumal eine deutliche Korrelation zwischen einer mehr affektiv gefärbten Beliebtheit einer Handlung und einer mehr kognitiv imprägnierten Kompetenz auf diesem Gebiet besteht (vgl. Ciompi 1994; Seiler & Reinmann 2004, S. 15f.; Spitzer 2007, S. 158ff.). Die Fachbeliebtheit hängt somit mittelbar sowohl mit der objektiven Lernleistung als auch mit dem Selbstkonzept eigener Fähigkeiten zusammen. Um den apostrophierten Schwierigkeitsgrad zu belegen, kann daher beispielsweise das Kurswahlverhalten in der Oberstufe herangezogen werden, welches nach BAUMERT & KÖLLER (2000, S. 200) mittels eines ‘Erwartungs-mal-Wert-Modells’ erklärbar ist. Nach diesem Modell unterliegt der Grad der Handlungsbereitschaft hauptsächlich einer Kosten-Nutzen-Bilanz: Motivation wird somit als ein Produkt aus (Erfolgs-)Erwartung (*Kann ich in diesem Kurs erfolgreich das Abitur bestehen?*) und dem Wert der Handlungsfolgen (*Lohnt sich der Aufwand? Macht das Fach Spaß?*) modelliert (vgl. Wild *et al.* 2001, S. 220ff.). Neben einem solchen eher rationalen Kalkül spielen freilich auch Interesse, Überzeugungen sowie konkurrierende Motivationstendenzen eine entscheidende Rolle (vgl. Renkl 1996, S. 80f.).

Umfassend untersucht ist das Kurswahlverhalten bei TIMSS/III (Baumert & Köller 2000, S. 184). Dabei zeigt sich, dass im Berichtszeitraum 1995/96 ein Leistungskurs Physik im Durchschnitt von lediglich 8,2 % des Jahrgangs gewählt wurde, ein Leistungskurs Chemie sogar nur von 5,4 %. Während bei Frauen mit 44,6 % das Fach Biologie Spitzen-

reiter ist, ist dies bei Männern mit 47,1 % das Fach Mathematik.<sup>2</sup> Offenbar werden Biologie bzw. Mathematik als weniger schwierig, interessanter und berufsqualifizierender eingeschätzt, denn „in allen Fächern sind die Motive ‘Kompetenz’ und ‘Interesse’ gefolgt von ‘Berufsperspektiven’ prävalent“ (ebd., S. 187) für das Leistungskurswahlverhalten. Der Unterricht in der Mittelstufe scheint nach RIEB (1997, S. 14) ein *Fachinteresse* kaum zu motivieren und die eher kurzsichtige industrielle Einstellungspraxis schafft wenig verlässliche *Berufsperspektiven*. Das eigene *Kompetenzempfinden* vermag diese beiden Punkte jedoch offensichtlich nicht aufzuwiegen, da sich aus Schülersicht der Aufwand augenscheinlich nicht lohnt, einen Chemie- oder Physik-Leistungskurs zu belegen. Das Selbstkonzept eigener Fähigkeiten, die empfundene Kompetenz, ist in den Fächern Chemie und Physik demnach schwach ausgeprägt, bzw. anders gewendet: sie werden als schwer empfunden.

Eine empirische Studie (Malek & Stylianidou 2006; Peters *et al.* 2006), durchgeführt im Rahmen der ‘Evaluation des Einsteinjahres’ vom *Institute of Education, University of London*, stützt dieses Ergebnis: Insgesamt 3.735 Schülerinnen und 3.319 Schüler aus Großbritannien, Schottland und Wales im Alter zwischen 11 und 15 Jahren wurden hinsichtlich ihrer Einstellungen zum Themenkomplex Naturwissenschaften per Fragebogen befragt. Dabei kam heraus, dass Jugendliche einem Naturwissenschaftler und dessen Arbeit prinzipiell positiv gegenüber stehen, jedoch kaum Ambitionen zeigen, selbst einmal diesen Beruf zu ergreifen. Auf die gezielte Nachfrage, aus welchen Gründen sie *keine* Naturwissenschaftler werden wollen, liegt das Statement „scientists as having to work hard and long hours“ mit 32 % unangefochten an der Spitze (Malek & Stylianidou 2006, S. 18). Ganz offenbar empfinden einige Schüler die Arbeit eines Naturwissenschaftlers als zu mühselig. Im Verbund mit den übrigen Antworten ergibt sich aber ein etwas differenzierteres Bild:

The general agreement with the positive statements and disagreement with negative statements shows that, overall, pupils have a good attitude to scientists and their work. However, the disagreement with scientists being ‘normal and attractive’, agreement with ‘having to work hard’, and agreement with ‘being brainy’ all might be factors that could be off putting to a typical pupil choosing to be a scientist. (Peters *et al.* 2006, S. 31)

Die Arbeit ist den Schülern demnach nicht einfach nur zu anstrengend; Naturwissenschaftler werden überdies als intelligent angesehen, jedoch als Menschen seien sie unattraktiv. Damit zeigt sich implizit auch der als zu hoch empfundene Schwierigkeitsgrad der naturwissenschaftlichen Disziplinen sowie deren Imageproblem. Dies zusammen könnten Gründe sein, die Schüler davon abhalten, Naturwissenschaftler werden zu wollen.

Gegen die These des hohen Schwierigkeitsgrades und der Abstraktheit der Fachdisziplin wird teilweise auch von fachdidaktischer Seite eingewendet, dass die oftmals propa-

---

<sup>2</sup> Das Kurswahlverhalten ist sehr stark geschlechtsspezifisch: Ein Leistungskurs Physik (*Chemie*) wurde immerhin von 15 % (7,2 %) der Männer, jedoch nur von 3,0 % (4,2 %) der Frauen eines Jahrgangs gewählt (vgl. Baumert & Köller 2000, S. 184).

gierte Alternative, ein an der Interessenslage und Erfahrungswelt der Schüler orientierter Unterricht, hin „zur Mittelmäßigkeit“ (Wenck 2005, S. 215) führe und weg von der Fachdisziplin (Christen 2000, S. 66). Solche Einreden decken sich mit dem seit Jahrzehnten als Topos gebrauchten Lamento: „Es gebe einen allgemeinen Leistungsverfall, Schüler und Schulen leisteten heute weniger als früher. So wird immer wieder behauptet – nicht erst seit PISA“ (Brügelmann 2005, S. 247). BRÜGELMANN stellt die Generalisierbarkeit dieses Vorurteils (allerdings bezogen auf die Lese- und Rechtschreibleistung) statistisch infrage und möchte den Blick für eine oftmals nicht gegebene Vergleichbarkeit der beurteilten Leistungen schärfen. Eine valide, über Jahrzehnte vergleichende Beurteilung der erbrachten Schülerleistungen sei prinzipiell schwierig, weil sich Inhalte und als relevant Erachtetes änderten. Betrachtet man CHRISTENS (2000, S. 64ff.) autobiographisch gefärbte Historie des Chemieunterrichts seit 1946, so muss man BRÜGELMANN zustimmen, dass von einem allgemeinen Leistungsverfall nicht die Rede sein kann, sondern dass die Anforderungen eher gewachsen sind hinsichtlich Breite und Niveau. Unter ‘gute Kenntnisse in Chemie’ wurden noch vor 50 Jahren das Reproduzieren chemischer Stoffeigenschaften und Darstellungsmethoden von Verbindungen subsumiert. Aus strukturellen Erwägungen auf die Eigenschaften eines Stoffes zu schließen oder umweltpolitische Fragen aus naturwissenschaftlicher Sicht zu beurteilen, gehörte dagegen nicht zum Repertoire von Abituraufgaben. Die Frage nach ihrer Schwierigkeit ist damit weniger ein notwendiger Habitus der Fächer Chemie und Physik, sondern letztlich eine fachdidaktische Herausforderung.

### *Schlechtes Image*

Gerade die Chemie<sup>3</sup> hat das ihr früher anhaftende Image der Erfolgsfähigkeit mittlerweile eingebüßt, sicherlich auch bedingt durch eine partielle Gleichsetzung von Chemie und Chemietechnik sowie die zunehmende Sensibilisierung für ökologische Probleme (Gräber 1992a, S. 271; Kutschmann 1999, S. 41ff.). Dies führt bei weiten Teilen der Bevölkerung oftmals zu dem widersinnigen Zustand, dass chemische Produkte im Alltag zwar fraglos genutzt werden, die erzeugende Industrie jedoch gleichzeitig emotional abgelehnt wird.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Der Terminus ‘Chemie’ ist lexikalisch nicht eindeutig festgelegt. Er bezeichnet sowohl Produkte der chemischen Industrie als auch die Lehre von den Stoffen und ihrer Umwandlung sowie eine naturwissenschaftliche Disziplin. Dies könnte mit eine Ursache des Akzeptanzproblems sein (vgl. Melle *et al.* 2004, S. 94f.), denn in der alltäglichen Kommunikation lässt sich daher nicht eindeutig zwischen der Grundlagenwissenschaft und ihrer großtechnischen Anwendung unterscheiden. DITUS & MAYER (1992, S. 222) vermerken dazu: „Kaum jemand ist bereit, diese Identifikation von Wissenschaft und technischer Anwendung zurückzunehmen, und so ist die Chemie von der ihr mangelnden gesellschaftlichen Akzeptanz immer als Ganze getroffen.“

<sup>4</sup> LONGBOTTOM & BUTLER (1999) z.B. sprechen nicht nur von emotionaler Ablehnung, sondern sogar von Furcht. Sie argumentieren: „Science has produced enormous benefits for humans, but not without some cost. There has been a lack of democratic involvement in setting the priorities and direction for research and development and, together with a view of science as narrowly positivist, this has contributed to a public fear of science and technology. This fear of science is exacerbated by the perception of scientists as arrogant and dismissive of alternative views.“ (Ebd., S. 489)

Der Ansehensverlust der naturwissenschaftlichen Disziplinen (vgl. Scharf 1983a; 1994) resultiert vermutlich auch aus einer oftmals einseitigen fachwissenschaftlichen Spezialisierung im Unterricht, denn dadurch muss man den Naturwissenschaften eine orientierende und damit bildende Funktion jenseits der Fachwissenschaft, etwa im Alltag der Schüler, letztlich absprechen. Gerade die zunehmende Partikularisierung des Wissens habe, so der Wissenschaftstheoretiker MITTELSTRAß (1992a, S. 234), zur „Kreation des Experten“ geführt, der ein positives „Verfügungswissen“ als „Wissen um Ursachen, Wirkungen und Mittel“ besitze und damit über Objektkompetenz bzw. Objektrationalität verfüge. Ihm fehle jedoch oftmals „Metakompetenz bzw. Begründungsrationalität“ (Mittelstraß 1992b, S. 66). Der Experte ziehe sich daher bei Wertungsfragen schnell auf sein sicheres Terrain des Fachgebiets zurück. Gerade diese Einseitigkeit führt dazu, dass die naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer „nicht nur in einer *Akzeptanz*-, sondern auch in einer *Inhalts- und Methodenkrise*“ stecken, so KUTSCHMANN (1999, S. 44; Hervorheb. i. O.). Chemie- und Physikunterricht darf daher nicht einfach nur die zugrunde liegende Fachwissenschaft spiegeln, sondern muss über Ziele auch jenseits der Fachgrenzen nachdenken.

Die Ergebnisse der Evaluationsstudie zum Einstein-Jahr (Peters *et al.* 2006) verschieben den Blick ein wenig, schärfen ihn aber auch. Mittels eines Fragebogens – *Attitudes to Science Questionnaire* (vgl. ebd., S. 67f.) – konnten Schüler ihre Zustimmung oder Ablehnung zu vorgegebenen Aussagen auf einer Vierer-Rating-Skala ausdrücken. Erfragt wurden:

- a) Interesse an bestimmten naturwissenschaftlichen Inhalten
- b) Einstellungen zu Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft
- c) Erwartungen an das Einstein-Jahr
- d) Standpunkte zu Naturwissenschaftlern und ihrer Arbeit

Zu den Themengebieten a) und d) wurden überdies noch Entscheidungsfragen gestellt, die kurz zu begründen waren.

Die Einschätzungen der Schüler zum Themenkomplex b) ‘Einstellungen zu Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft’ zeichnen ein insgesamt recht positives Bild der Naturwissenschaften: So fand die Aussage, dass naturwissenschaftliche Errungenschaften unser alltägliches Leben leichter und komfortabler machen, sehr hohe bzw. recht hohe Zustimmung (81,9%); die befragten Schüler gehen ebenfalls davon aus, dass Naturwissenschaften unser Leben sicherer und gesünder sowie die Arbeit interessanter machen (> 63%). Die semantisch entsprechenden, aber negativ formulierten Kontrollfragen B04, B06 und B08 (gekennzeichnet mit ‘NEG’) wurden – das Ergebnis validierend – deutlich abgelehnt (vgl. Tabelle 1). Entwicklungsländer ziehen nach Ansicht der Schüler jedoch eher weniger Profit aus naturwissenschaftlichen Errungenschaften (Statement B01); Armut und Hungersnöten können Naturwissenschaften offenbar nichts entgegensetzen (Statement B03). Die einstige Überschätzung der Naturwissenschaften ist demnach hier nicht mehr feststellbar.

Statement	% disagree	% disagree slightly	% agree slightly	% agree	Mean agreement value
B02 Science and technology make our lives easier and more comfortable	6.1	12.0	29.6	52.3	3.28
B05 Science and technology make our lives safer and healthier	13.3	22.9	34.2	29.6	2.80
B07 Science and technology will make work more interesting	12.6	24.0	34.3	29.1	2.80
B01 NEG Science and technology benefit mainly rich developed countries	22.2	26.4	28.1	23.2	2.52
B03 Science and technology will help get rid of poverty and famine in the world	25.1	34.8	26.5	13.6	2.29
B08 NEG The harmful effects of science on our lives are greater than the benefits of science	22.3	43.8	22.7	11.2	2.23
B04 NEG Science and technology will make work more tedious and boring	37.0	34.9	16.6	11.5	2.03
B06 NEG Science and technology make our lives more difficult and complicated	35.8	37.8	17.2	9.2	2.00

**Tabelle 1:** Schülerantworten sortiert nach Grad der Zustimmung zum Themenkomplex b) 'Einstellungen zu Naturwissenschaft, Technik, Gesellschaft'. 'NEG' kennzeichnet ein semantisch negatives Statement zu Naturwissenschaften. (Aus: Malek & Stylianidou 2006, S. 13)

Statement	% disagree	% disagree slightly	% agree slightly	% agree	Mean agreement value
D13 scientists as doing very important work	6.64	11.02	33.91	48.43	3.24
D07 scientists as being really brainy people	9.30	13.31	27.67	49.72	3.18
D03 scientific work done as part of a team with other people working together	7.53	15.53	35.92	41.02	3.10
D02 scientists as working creatively and imaginatively	9.11	19.59	37.20	34.11	2.96
D04 NEG scientists as having to work hard and long hours	10.98	21.01	33.19	34.82	2.92
D05 scientists as working at places where new and exciting things happen	10.27	21.43	35.81	32.49	2.91
D11 scientists as having good relationships with their friends and family	16.41	25.35	34.72	23.53	2.65
D10 NEG scientists as having just to follow strict rules and guidelines in their work	18.42	30.26	28.56	22.75	2.56
D01 NEG scientists as middle-aged men in white coats	29.62	20.01	21.27	29.10	2.50
D06 NEG scientific work as being mostly tedious and repetitive	22.59	36.79	25.22	15.40	2.33
D12 NEG scientists as working on their own, independently of other people	24.48	37.82	23.58	14.13	2.27
D09 scientists as normal and attractive young men or women	36.91	28.59	21.77	12.73	2.10
D14 NEG scientists as lacking confidence and ability	50.85	28.11	12.23	8.81	1.79
D08 NEG scientists as doing work of little use	50.64	31.46	11.33	6.58	1.74

**Tabelle 2:** Schülerantworten sortiert nach Grad der Zustimmung zum Themenkomplex d) 'Standpunkte zu Naturwissenschaftlern und ihrer Arbeit'. 'NEG' kennzeichnet ein semantisch negatives Statement zu Naturwissenschaftlern. (Aus: Malek & Stylianidou 2006, S. 15)

Die Arbeit eines Naturwissenschaftlers (vgl. Tabelle 2) wird von über 82 % als wichtig bzw. sehr wichtig beurteilt (Statement D13); etwa die Hälfte der Schüler sehen sie aber auch als langweilig und stupide an (Statement D10). Die Arbeitsstätte jedoch wird von 68,3 % als interessant eingeschätzt (Statement D05). Die Person des Naturwissenschaftlers selbst wird von über 70 % als intelligenter, kreativer Team-Arbeiter entworfen (Statements D02, 03, 07), der allerdings hart und viele Stunden lang arbeitet (Statement D04) und eher unattraktiv ist (Statement D09).

HÖTTECKE (2001a, S. 71) weist im Zusammenhang mit empirischen Studien, die Einstellungen von Jugendlichen zu Naturwissenschaften und zum Bild des Naturwissenschaftlers erheben, zu Recht darauf hin, dass sie im Regelfall kein einheitliches Bild zeigen. Während die teilnehmenden Jugendlichen der Studie zur Evaluation des Einstein-Jahres einen Naturwissenschaftler z. B. zu fast 77 % als Teil eines Teams sehen, vermerken dagegen (allerdings über zehn Jahre zuvor bezogen auf den Zeitpunkt der Datenerhebung) DRIVER *et al.* (1996, S. 140): „The dominant view is clearly that of the individual scientist undertaking his or her work in isolation.“ In einem Punkt bestehe jedoch bei fast allen Studien durchweg Einigkeit, nämlich bei der Person des Naturwissenschaftlers: „immer ist er fremd“ (Höttecke 2001a, S. 71)<sup>5</sup>. Dies zeigt sich auch bei der erwähnten Studie zur Evaluation des Einstein-Jahres: Eine generelle Abwehr und Abkehr von *science* (also dem, wofür im sprachlichen Common Sense der alltäglichen Kommunikation das Wort ‘Naturwissenschaften’ steht) ist demnach nicht festzustellen. Obwohl das Bild des Naturwissenschaftlers selbst eher realistisch gesehen wird, existiert aber offenbar eine Distanz zum Gedankenspiel, selbst Naturwissenschaftler zu werden. Daraus kann gefolgert werden, dass die befragten Schüler Naturwissenschaften und Naturwissenschaftlern Respekt zollen und deren Arbeit anerkennen, jedoch ist die Vorstellung eines *konkreten* Naturwissenschaftlers emotional negativ besetzt. STYLIANIDOU, verantwortliche Forscherin der genannten Studie, bringt es in einem Interview auf den Punkt: „Young people see science as important and exciting. But they don’t see themselves doing it“ (BBC News 2006). Demnach könnte man weniger einer abstrakten Naturwissenschaft, sondern vielmehr der Person des Naturwissenschaftlers ein Image-Problem unterstellen, welches sicherlich auch auf schulischen Unterricht und damit gleichfalls auf das Kurswahlverhalten zurückstrahlt. Die

---

<sup>5</sup> Dieses Phänomen des ‘Fremd-seins’ besteht offenbar bereits seit Jahren und mag auch einer gewissen sozialen Inkompetenz bei vielen Vertretern der technischen Intelligenz geschuldet sein, wie BAHRDT (1969) vor knapp 40 Jahren polemisch konstatiert: Bei Technikern und Naturwissenschaftlern finde man „häufig eine seltsame Gespaltenheit des geistigen Habitus, eine Schizophrenie der Betrachtungsweisen. Äußerste Rationalität bei der Behandlung technischer Fragen. Aber schon bei der Beurteilung betrieblicher Sozialfragen folgt man gern den Spuren Ortega y Gassets. Ehrfurcht vor Goethe, falls man ihn liest, aber auch, falls man ihn nicht liest, aber Vorbehalte gegenüber der modernen Kunst, die doch ein wenig von der technischen Welt zu spiegeln versucht, die der Techniker selbst mitgeschaffen hat.“ (Ebd., S. 310) BAHRDT hypostasiert damit im Naturwissenschaftler einen sozial unreflektierten, jedoch gebildeten Menschen, dem aber Bildung letztlich nichts bedeutet: eine Art moderner ‘Bildungsphilister’.

hier zum Ausdruck kommende emotionale Distanz wird nach SCHARF (1997, S. 51) auch durch die intersubjektive und damit zugleich unpersönliche Sprachverwendung in den Naturwissenschaften verschärft.

Obgleich Schüler im Regelfall keinen unmittelbaren, authentischen Zugang zu naturwissenschaftlicher Forschung haben, sehen sie sehr wohl einen Unterschied zwischen „science“ und „school science“ (Peters *et al.* 2006, S. 25f.). Folgerichtig führen sie auf die Frage: ‘Wer oder was ist ein Naturwissenschaftler?’ in der Regel auch nicht ihren Lehrer an und können meist auch keinen bekannten Naturwissenschaftler benennen – stattdessen geben sie auffällig oft äußere Erkennungszeichen wie Laborkittel und Brille an (ebd., S. 35) und fallen damit zurück auf tradierte, stereotype Vorstellungen.<sup>6</sup> Dies geschieht vermutlich auch deshalb, weil ihnen die Person des Naturwissenschaftlers fremd ist.

Umgekehrt scheint es dem schulischen Unterricht aber auch nicht zu gelingen, das tendenziell positive Image der Naturwissenschaften zu nutzen. Dies zeigt sich indirekt auch in einer Studie mit Teilnehmern der Chemie-Olympiade, von denen man annehmen sollte, dass sie dem Chemieunterricht großes Interesse entgegenbringen. Offenbar weisen sie jedoch, wie LABAHN & BECKER (2001) im Anschluss an eine Fallstudie resümieren, eine „ähnliche Distanz zum Chemieunterricht wie andere untersuchte Schülerpopulationen“ (ebd., S. 233) auf. Ihre „Motive für das Interesse an Chemie liegen außerhalb des Chemieunterrichts“ (ebd.).

### *Fehlende Lebensnähe*

Der Vorwurf einer fehlenden Lebensnähe im Unterricht der Fächer Chemie und Physik verwundert zunächst, schließlich ist doch z. B. der Wandel von Materie, wie er mannigfaltig in Natur und Alltag beobachtet werden kann, primär der Gegenstand von Chemie. Dies ist jedoch, wie es scheint, eher selten Gegenstand von Unterricht (vgl. Buck 1985; Scharf 2004a). Vielfach wird der Unterricht an einer fachlichen Systematik orientiert, bei der Phänomene allenfalls instrumentalisiert werden. Der Physikdidaktiker EULER (2005) stellt zur „Krise des naturwissenschaftlichen Unterrichts“ pointiert fest:

---

<sup>6</sup> Solche Stereotype halten sich bereits über viele Jahre. In einer qualitativen Studie der US-amerikanischen Anthropologin M. MEAD entwickelten High-School Schüler ( $n \approx 35.000$ ) in Essays ein typisiertes ‘shared image’ eines Wissenschaftlers: ein eher älterer, hagerer Mann mit Kittel und Brille, oft bärtig oder unrasiert, der in einem strahlend weißen Labor arbeitet, in dem Flüssigkeiten brodeln, Tiere quieken und das Gemurmel des Wissenschaftlers zu hören ist (Mead & Métraux 1957, S. 386f.). Dass dieses Zerrbild wahrscheinlich primär medial vermittelt ist, wird bereits 1957 diskutiert: „What is needed in the mass media is more emphasis on the real, human rewards of science“ (ebd., S. 389). Vor diesem Hintergrund ist es interessant, dass in einigen, heutigen TV-Wissenschaftsshows dieses verzerrte Wissenschaftler-Bild einerseits bewusst karikiert wird, andererseits aber z. B. auch Kittel und Brille als Insignien des Wissens aufgeladen werden. Dieses Zerrbild findet CHAMBERS (1983, S. 258) bereits bei Fünf- bis Elfjährigen ( $n = 4807$ ) mittels des „Draw-A-Scientist Tests“ (DAST). Vgl. dazu kritisch HÖTTECKE 2001a, S.43f. (Für einen Überblick an bisherigen Studien vgl. z. B. Driver *et al.* 1996, S. 45-58; Höttecke 2001b; Lederman 1992.)

Viele dieser Probleme sind hausgemacht und einem eng geführten Unterricht geschuldet, der das Fakten- und Formelwissen ins Zentrum stellt und der demgegenüber das problem-, prozess- und produktorientierte Lernen vernachlässigt. (Ebd., S. 17)

Dieser Vorwurf, der sich auf die konkrete Unterrichtspraxis bezieht, eröffnet ein Argumentationsfeld, welches das Attribut 'hintergrundserfüllt' im doppelten Sinne verdient: Einerseits kann sich EULER auf eine Vielzahl prominenter Einschätzungen stützen, die spätestens seit dem mittelmäßigen Abschneiden deutscher Schüler bei TIMSS in die Diskussion eingebracht worden sind; andererseits wird mit seinem Vorwurf auch ein Lehr-Lern-Konzept zugrunde gelegt, welches sich im Fahrwasser sogenannter konstruktivistischer Ideen bewegt (vgl. Kapitel 4.2.4). Damit wird zugleich implizit eine primär instruktionsbasierte Lehr-Lern-Theorie kritisiert, die hauptsächlich auf der Vermittlung von kanonisierten Fakten beruht. Bereits die deutschen Herausgeber der TIMS-Studie machen als mögliche Ursachen für das mäßige Abschneiden der Schüler neben gesellschaftlichen auch schulpraktische Gründe geltend: Einerseits liege ein Manko an der „die Schule tragenden Kultur – der generellen Wertschätzung schulischen Lernens und der Bereitschaft zu Anstrengung und spezifischen Unterstützungsleistungen“, andererseits aber auch an „der Gestaltung des Fachunterrichts selbst“ (Baumert *et al.* 1997, S. 8). TIMSS-Video führe dagegen erfolgreichen japanischen Unterricht vor Augen, der eine breite methodische Variabilität zeige und daher als lebensnaher „Problemlöseunterricht“ (ebd., S. 31) bezeichnet wird. Deutscher Unterricht sei dagegen „zu pseudohaft leistungsbezogen und zu wenig lernorientiert“ (Weinert 1998, S. 109). TIMSS/III analysiert neben mathematischen auch physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. In Physik liegen die Leistungen deutscher Schüler in einem breiten, mittleren Bereich. Defizite treten vor allem bei Aufgaben auf, „die die Überwindung typischer Fehlvorstellungen verlangen oder besondere konzeptuelle Kenntnisse voraussetzen“ (Baumert *et al.* 2000, S. 174). „Die (relative) Stärke“ der Schüler liege dagegen „im formal-quantitativen Umgang mit Physik“ (ebd., S. 175). Kritisiert wird daher auch hier bezogen auf das Fach Physik: Der „Unterricht in deutschen Grund- und Leistungskursen [ist] offensichtlich der traditionellen 'Gleichungs-Physik' verhaftet“ (ebd., S. 176), was sicherlich auch darauf hinweist, dass 'Lebensnähe' nicht das Leitkriterium bei der Auswahl der Unterrichtsgegenstände darstellt.

Als Reflex auf TIMSS wurden seitens der Bund-Länder-Kommission (BLK 1997) Maßnahmen zur 'Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts' ergriffen. Unter dem Label 'SINUS' wurden zunächst Modellprojekte erarbeitet; seit 2003 werden gelungene Modellprojekte unter dem Namen 'SINUS-Transfer' an möglichst vielen Schulen bekannt gemacht. Auch der SINUS-Projektleiter PRENZEL (2000) betont, dass eine Orientierung des Unterrichts an der jeweiligen Fachsystematik die Schüler nicht dazu befähige, authentische, lebensnahe Probleme zu lösen:

Die relativen Stärken der deutschen Schülerinnen und Schüler zeigen sich bei einfachen Routineaufgaben. Sie scheitern an anspruchsvollen Problemen und an komplexeren Aufgaben, die konzept-

tuelles Verständnis voraussetzen oder eine flexible Anwendung des Wissens verlangen. (Ebd., S. 104)

Die Struktur und die Systematik des Faches dominieren offenbar über die Wege (und auch Irrwege) der Erkenntnisgewinnung der jeweiligen Fachdisziplin. Eigenes Problemlösen der Schüler tritt dabei weitgehend in den Hintergrund.

Sieht man die zitierten Einschätzungen in einer Gesamtschau, so erscheint der Vorwurf einer mangelnden Lebensnähe als zu ungenau und sollte somit präzisiert werden, denn die Alternativen zu ‘Orientierung an der Systematik des Faches’ erschöpfen sich nicht bloß in einer inhaltlichen Ausrichtung auf Kontexte des Alltags: Entscheidend sind auch lerntheoretische Implikationen, die bei ‘komplexen Aufgaben’, einem ‘konzeptuellen Verständnis’ und einer ‘flexiblen Anwendung des Wissens’ bedeutsam werden – denn Unterricht muss die Genese solcher Kompetenzen auch gestatten. Dies erfordert im Grunde eine didaktisch-inhaltliche Öffnung des Unterrichts<sup>7</sup>, bei der Aufgaben nicht nur komplex, sondern selbst offen sind und daher „Raum für selbstständiges Denken und einen inhaltlichen Bezug zur Erfahrungswelt der Kinder eröffnen“ (Brügelmann 2005, S. 35f.).

Dass sich die tatsächliche Erfahrungswelt der Jugendlichen und ein sie ansprechender Kontext nicht notwendig decken und daher augenscheinlich eine Orientierung an Lebenswelt und Alltagskontexten nicht beliebig weit tragbar ist, zeigt eingängig die bereits angesprochene Studie zur Evaluation des Einstein-Jahres. Auf die Frage, welches von 15 vorgegebenen naturwissenschaftlichen Themen die Schüler gerne selber weiter bearbeiten würden, ergab sich das in Tabelle 3 gezeigte Bild.

Unzweifelhaft hören und sehen wir tagtäglich. Das Gefühl der Schwerelosigkeit erfahren wir jedoch wohl eher selten. Weder das meistgenannte Item A15 noch die kaum genannten Items A03 bzw. A06 lassen sich demnach sinnvoll dahingehend interpretieren, dass eine fehlende Lebensnähe ursächlich für das Desinteresse am Unterricht der naturwissenschaftlichen Disziplinen verantwortlich ist. Auffällig ist jedoch, dass unter den vier meistgenannten Items sowohl für Schülerinnen als auch für Schüler<sup>8</sup> solche sind, bei denen Effekte unmittelbar auf den Menschen wirken (A09, A12, A15) bzw. in denen Weltraumthemen angesprochen werden (A13, A15). An typischen Unterrichtsgegenständen des

---

<sup>7</sup> ‘Öffnen von Unterricht’ hat gegenwärtig Konjunktur (vgl. Lind 2007, S. 9). Jedoch bleibt die inhaltliche Füllung oftmals nicht nur recht vage, weil „Offenheit in ganz unterschiedlichen pädagogischen Bezügen“ gebraucht wird und eine „Übertragung auf nahezu alle im Zusammenhang mit Unterricht und Schule zu vollziehenden Tätigkeiten“ (Jürgens 2000, S. 16) erfolgt, sondern wohl faktisch nicht stattfindet, weil „fast alles, was in der Schule als ‘offener’ Unterricht gehandelt wird, dieses Etikett gar nicht verdient“, wie PESCHEL (2003, S. 297) begründet anmerkt. Inhaltlich und terminologisch lehne ich mich hier mit meiner Forderung nach einer zumindest didaktisch-inhaltlichen Öffnung von Unterricht an BRÜGELMANN (1997, S. 47f.; 2000, S. 35ff.) sowie an Stufe 2 bei PESCHEL (2003, S. 59ff.) an. Vgl. auch Kapitel 4.2.5 dieser Arbeit.

<sup>8</sup> Die nach Geschlecht aufgeschlüsselten Antworten bedienen das landläufige (Vor-?)Urteil, wonach sich Männer eher für technische Themen (A02, A05, A07, A12, A14) interessieren als Frauen. Frauen scheinen dagegen eher affektiv-ästhetisch besetzte Themen (A04) bzw. solche aus dem Bereich Gesundheit (A08, A09) zu bevorzugen.

Biologie- (A03, A06), Chemie- (A11) und Physikunterrichts (A01, A07, A10) besteht offenbar eher wenig Interesse, obgleich auch hier mit den Items A03 und A06 zwei Bereiche angesprochen werden, die unmittelbar mit uns Menschen zu tun haben. Allerdings handelt es sich beim Hören und Sehen um derart alltägliche Dinge, dass sie offenbar unhinterfragt und mithin auch uninteressant sind.

Statement	Male		Female		Total	
	count	%	count	%	count	%
A15 How it feels to be weightless in space	761	28	869	26	1630	27
A09 The possible effects of mobile phones and computers on the human body	227	8	473	14	700	12
A13 The origin of stars, planets and the universe	296	11	398	12	694	12
A12 The effect of electric shocks and lightning on the human body	322	12	265	8	587	10
A02 How cassette tapes, CDs and DVDs store and play sound and music	280	10	200	6	480	8
A04 How the sunset colours the sky	71	3	379	12	450	8
A08 How x-rays, ultrasound, etc. are used in medicine	71	3	267	8	338	6
A14 Rockets, satellites and space travel	223	8	53	2	276	5
A05 The use of lasers for technical purposes (e.g. barcode readers)	143	5	58	2	201	3
A10 New sources of energy from the sun, wind, tides, waves etc	61	2	83	3	144	2
A01 How different musical instruments produce different sounds	72	3	50	2	122	2
A07 How a nuclear power plant functions	99	4	17	1	116	2
A11 How energy can be saved or used in a more effective way	42	2	63	2	105	2
A06 How your eye can detect light and colours	27	1	72	2	99	2
A03 How your ear can hear different sounds	17	1	36	1	53	1
<b>Total</b>	<b>2712</b>	<b>100</b>	<b>3283</b>	<b>100</b>	<b>5995</b>	<b>100</b>

**Tabelle 3:** Schülerantworten sortiert nach Anzahl der Nennungen auf die Frage, welche naturwissenschaftlichen Themen sie selbst gerne bearbeiten würden. (Aus: Malek & Stylianidou 2006, S. 12f.)

Die Auswirkungen von Schwerelosigkeit, Elektroschocks, Blitzschlägen und Elektromog auf den Menschen (A09, A12, A15) sind sicherlich keine vorrangig lebensnahen, wohl aber authentische und daher auch offene und komplexe Fragen, auf die auch der Lehrer nicht unmittelbar eine Antwort zu geben vermag. Themen wie der Weltraum (A15, A13), aber auch die Frage nach der Funktionsweise von Massenspeichermedien (A02) bzw. zur Ursache des Abendrots (A04) sprechen eine bei Jugendlichen stark affektiv besetzte Ebene an, die offensichtlich ebenfalls Interesse hervorruft. Man könnte daher präziser sagen: dem naturwissenschaftlichen Unterricht mangelt es inhaltlich weniger an lebensweltlichen Kontexten, sondern eher an offenen, komplexen Themen, die auch affektiv ansprechen.

SCHALLIES (2002, S. 54f.) weist bezüglich der affektiven Ebene darauf hin, dass ethisch-moralische Überlegungen von Jugendlichen eine weitaus bedeutsamere Rolle spielen als bislang bedacht, und zwar vor jedem lebensweltlichen Kontext oder interessanten

Thema. Am Beispiel der Gentechnik als aktuellem, lebensnahen Kontext verweist er auf Studien, die gezeigt haben, dass Schülereinstellungen und -interessen auch bei einem solchen Unterricht am ‘Puls der Wissenschaft’ stark von moralischen Überlegungen geprägt sind, etwa ob es sich bei diesbezüglichen Experimenten um solche mit Tieren oder Pflanzen handelt. Werde der lebensnahe und -bedeutsame Kontext Gentechnik mit Hilfe von Tierversuchen verdeutlicht, sinke beispielsweise das Interesse im Vergleich zu Versuchen mit Pflanzen.

Die in diesem Kapitel genauer beleuchteten und vielfach anzutreffenden Argumentationsmuster – der *Schwierigkeitsgrad* der naturwissenschaftlichen Disziplinen, deren *schlechtes Image* sowie die *fehlende Lebensnähe* der schulisch besprochenen Themen – haben sicherlich einen berechtigten Platz, wenn nach Gründen für die geringe Wirksamkeit speziell der Unterrichtsfächer Chemie und Physik und dem sinkenden Interesse für Naturwissenschaften insgesamt gesucht wird. Sie vermögen aber offenbar nicht konsistent und erschöpfend diese inzwischen gut dokumentierten Problemfelder zu erklären. Es ist daher nicht zu erwarten, dass gegenwärtige Bemühungen wie eine konsequente Ausrichtung des Unterrichts auf Alltagskontexte oder ein verstärkter Einbezug von ‘hands-on science’<sup>9</sup> *für sich genommen* die Probleme lösen können. Weitere, wesentliche und bislang weniger beachtete Punkte, um dem Problemkreis effektiver zu begegnen, könnten nach dem bisher Gesagten folgende sein:

- Eine stärkere *Beachtung der affektiven Ebene* (vgl. z. B. Ciompi 1994; Seiler & Reinmann, S. 15f.; Spitzer 2007, S. 157ff.);
- *Inhaltlich offene, authentische Lernanlässe* (vgl. z. B. Brügelmann 1997, 2005; Hodson 1999; Lunetta 1998) bzw. *prozessorientierte, komplexe Problemlösesituationen* (vgl. z. B. Melle *et al.* 2004, S. 101), die auch experimentell bearbeitet werden müssen;
- Eine auf naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse bezogene *konzeptuelle Fundierung* in Form eines Meta-Wissens über Naturwissenschaften (vgl. z. B. Abd-El-Khalick *et al.* 2004, S. 402ff.; Baumert *et al.* 2000, S. 174; Carey *et al.* 1989, S. 517; Hodson 2005; Höttecke 2001a; Lederman 2004; Prenzel 2000, S. 104; Scharf 2004b; Schecker *et al.* 2004, S. 150f.).

---

<sup>9</sup> Neben HODSON (1993, S. 102ff.) mahnt z. B. LOOß (2004) an, dass mit einer alleinigen Orientierung an ‘hands-on science’ *kognitiv* noch nichts gewonnen sei, denn oftmals werde eine Kausalität zwischen Tätigkeit und kognitiver Lernleistung unterstellt, die kaum haltbar sei: „So ist der Behauptung mit Skepsis zu begegnen, dass man durch Experimente *allein* Schülern etwas leichter begreiflich machen kann“ (ebd., S. 22; Hervorheb. i. O.). Neben handlungspraktischen müssten sich nämlich auch kognitive Aktivitäten der Lernenden einstellen. HOFSTEIN & LUNETTA (2004, S. 32) bringen dies mit der Formel „minds-on as well as hands-on“ auf den Punkt. Auch FISCHER *et al.* (2003) weisen darauf hin, dass es fraglich sei, ob „das Durchführen von physikalischen Experimenten einen Einfluss auf theoretische Konzepte von Lernenden habe“ (ebd., S. 194). Bereits in den frühen 1980er Jahren hat SCHARF (1983a) bezogen auf Chemieunterricht festgestellt, dass Schülerexperimente weniger ein geeignetes „Mittel zur Erreichung kognitiver Ziele, sondern mehr [...] Mittel zur Überwindung rezeptiver Grundeinstellungen“ (ebd., S. 145) seien. Diese Annahme kann inzwischen durch Befunde der ‘PISA-Studie 2006’ auch empirisch untermauert werden (vgl. PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 173).

Ob und (falls ja) wie man Naturwissenschaften im Unterricht zu einer Erfolgsgeschichte machen kann, führt damit zu einer im Kern fachdidaktischen Frage – zu der nach den Zielen naturwissenschaftlichen Unterrichts: Was sollen Schüler wie und wozu in den naturwissenschaftlichen Disziplinen lernen?

## 2.2 Ziele und Wege naturwissenschaftlichen Unterrichts

### 2.2.1 Zur Frage der Legitimation von Naturwissenschaften im Unterricht

Systematisch vor der Legitimation von Naturwissenschaften im Unterricht steht freilich eine viel grundlegendere Frage, die hier nur angerissen werden kann: Welche Funktion(en) und welche Aufgabe(n) haben Schule und mithin auch Unterricht generell? Aus der Vielzahl an möglichen Antworten<sup>10</sup> seien kurz drei vorgestellt, die einerseits eine gewisse Bandbreite abdecken, andererseits aber auch zeigen, dass Unterricht *rein fachlich* gar nicht zu verstehen ist.

GIESECKE (1996) möchte Schule und Unterricht von jeglichem sozialpädagogisierenden Ballast befreien, der an sie herangetragen wird, damit man sich wieder auf das Kerngeschäft konzentrieren könne: „nämlich Unterricht abzuhalten“ (ebd., S. 13). Der Lehrer spielt bei dieser Vorstellung die Rolle eines Wissensvermittlers. Eine gänzlich entgegengesetzte Position zu dieser rein instrumentellen Sicht vertritt BRÜGELMANN (2005, S. 247): Schule sollte die je individuelle „Entwicklung der Persönlichkeit [...] über die Auseinandersetzung mit inhaltlichen Fragen in einem gestalteten sozialen Raum“ ermöglichen. Seine genannte Aufgabe von Schule ist getragen von einem Menschenbild, welches das Recht auf Selbstbestimmung des Einzelnen betont. Der Lehrer ist dabei ein stets herausfordernder und anregender Begleiter der Schüler. HEYMANN (1996) vermittelt zwischen beiden Positionen: Entscheidend sei letztlich immer die

[...] Balance zwischen subjektiven Interessen des Einzelnen und seinem Recht auf persönliche Entfaltung auf der einen Seite sowie gesellschaftlichen Notwendigkeiten und kulturellen Vorgegebenheiten auf der anderen. (Ebd., S. 45)

Ihm wäre BRÜGELMANNs Aufgabe von Schule daher zu emphatisch bestimmt und eher eine „Aufgabe für den Einzelnen“ (ebd., S. 46) – und mithin Bildung. Eine „Aufgabe der Gesellschaft, die sie zu weiten Teilen an die Institution der Pflichtschule ‘delegiert’“, sei dagegen Allgemeinbildung zu vermitteln, die erst „die Bedingung der Möglichkeit von Bildung“ (ebd.) darstelle. GIESECKES Position muss sich aus HEYMANNs Sicht befragen lassen, welchen Platz bei einer ausschließlichen Konzentration auf das Kerngeschäft des Unterrichtens eine „Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch“, die „Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft“ oder eine „Stärkung des Schüler-Ichs“ haben – drei Aspekte, die HEYMANN neben „Lebensvorbereitung“, „Stiftung kultureller Kohärenz“, „Weltorientierung“ und „Einübung in Verständigung und Kooperation“ als essenzielle Aufgaben<sup>11</sup> allgemeinbildender Schulen ansieht (ebd., S. 47; vgl. auch Kapitel 2.2.3).

---

<sup>10</sup> Siehe dazu ausführlicher z. B. die Diskussion in FAUSER (1996).

<sup>11</sup> HEYMANN (1996) spricht bewusst von ‘Aufgaben von Schule’, nicht von Funktionen, denn er versteht seine formulierten Aufgaben *präskriptiv* im Gegensatz zu nur deskriptiven ‘Funktionen von Schule’ (vgl. ebd., S. 49).

Selbst wenn bei GIESECKE die Idee von Schule als Lernfabrik anklingt und Unterricht allein dazu da sei, Wissen zu tradieren, bleibt auch hier, wie freilich auch bei den anderen beiden Positionen, die Frage zu beantworten, *welches* Wissen bzw. *welche* inhaltlichen Fragen als bedeutsam erachtet werden und *warum* genau diese. Dies lässt sich rein fachlich nicht beantworten. Bezogen auf Naturwissenschaften kann man daher zunächst provokant fragen: Warum sollte man in der Schule eigentlich überhaupt naturwissenschaftliches Wissen erwerben?

Eine vordergründige, jedoch vormals weit verbreitete Ansicht primär angelsächsischer Prägung sieht – ähnlich, wie dies in Teilen bei GIESECKE (1996) anklingt – in einer *naturwissenschaftlichen Ausbildung* das Ziel von Unterricht. Als Nutznießer wird neben dem Individuum auch die Gesellschaft gesehen, die so ihren Bedarf an naturwissenschaftlichem Nachwuchs deckt. Gerade in den USA war diese Sicht nach dem gewonnenen Zweiten Weltkrieg prominent. Zurückgeführt wurde der Sieg unter anderem auf die technologische Überlegenheit des Landes dank naturwissenschaftlicher Forschung, präziser: Forschung, die den Bau der Atombombe ermöglichte. Das Ansehen und vor allem die Akzeptanz der naturwissenschaftlichen Disziplinen stieg deshalb innerhalb der Bevölkerung und naturwissenschaftliche Erkenntnisse wurden nicht nur aus ökonomischer Sicht als gesellschaftlich essenziell angesehen, sondern als lebenswichtig für den Fortbestand der Nation (vgl. Posner 1995, S. 275f.; Shamos 1995, S. 76f., 82f.). Nachdruck verliehen dieser Position nicht zuletzt auch die erfolgreichen Starts der ersten beiden Satelliten (Sputnik 1 und 2), ausgerechnet seitens der damaligen Sowjetunion im Oktober und November 1957. Die bis dato geglaubte technologische Hegemonie des Westens entpuppte sich als Trugbild. Als Mitverursacher des ‘Sputnik-Schocks’ der USA galt ein veraltetes Bildungssystem, in dem Naturwissenschaften ein zu geringer Stellenwert zugesprochen wurde. Diese Kritik schlug sich in der Implementation eines neuen Schulcurriculums in den USA nieder, welches nun dem Diktum folgte, „der naturwissenschaftliche Unterricht solle ein Spiegelbild der Universitätswissenschaften sein“ (Posner 1995, S. 278).

Das Scheitern dieser Idee wurde unter dem Einfluss einer geänderten wissenschaftstheoretischen Perspektive bereits Ende der 1970er Jahre gesehen (vgl. ebd., S. 280), zeigte sich jedoch spätestens in den 1990er Jahren mit dem schlechten Abschneiden der US-amerikanischen Schüler bei TIMMS und später bei PISA. Ferner wurde auch nicht bedacht, dass zum einen nur ein geringer Prozentsatz der Schüler tatsächlich später einen naturwissenschaftlichen Beruf ergreift, in dem dieses Wissen zur Anwendung kommen kann (vgl. Shamos 1995, S. 84ff.), und zum anderen, dass kumulatives Lernen isolierter Fakten offenkundig zunehmend sinnloser wird angesichts des rasanten wissenschaftlichen Fortschritts. Während grundlegende Basiskonzepte (*big ideas*) relativ stabil bleiben, sind heute gelernte *Details* morgen mitunter bereits bedeutungslos. Den Autoren der PISA-Studie ist daher zuzustimmen, wenn sie betonen: „Für die Schule bedeutet das, dass jeder Wissenskanon, den man zur Grundlage schulischer Bildung erklärt, Gefahr läuft, frühzeitig zu veralten“

(Rost *et al.* 2004, S. 111). Eine Antwort, die sich primär auf naturwissenschaftliche *Inhalte* bezieht und damit auf die Idee einer naturwissenschaftlichen *Ausbildung* rekurriert, läuft daher offensichtlich ins Leere.

Allerdings verstehen sich gerade die Lehrkräfte in den naturwissenschaftlichen Disziplinen oftmals immer noch mehr als Sachwalter des Wissens denn als Pädagogen (vgl. Höttecke 2001a, S. 5; Kutschmann 1999, S. 165; Meyer 1993, S. 258) und verfolgen damit eine ‘Abbild-Didaktik’ (vgl. ebd., S. 255ff.), nach der die Auswahl von Unterrichtszielen allein anhand der fachlichen Struktur ausgerichtet wird, quasi als eine Art ‘didaktische Reduktion’<sup>12</sup> nach einem behavioristischen Lernmodell. Dass so letztlich der Kern aller schulischen Bemühungen – der Schüler selbst – aus dem Blick gerät, liegt auf der Hand. Doch auch ‘der Sache’ wird man nicht gerecht: Ein solcher Ansatz zeugt von einem ahistorischen, statischen Naturwissenschaftsbild, denn ein rein fachsystematischer Unterricht „verschleiert durch den Schein der Wertfreiheit und Bedingungslosigkeit die Interessenbedingtheit und Kontingenz der Naturwissenschaften in Bezug auf ihre Entstehungsbedingungen“ (Höttecke 2001a, S. 24). Wissenschaftliche Erkenntnisse sind nämlich kein „ready-made“, sondern eher ein „science-in-the-making“ (Sutton 1998, S. 30f.), also menschliche Konstrukte, die in einem mitunter langwierigen Erkenntnisprozess als derzeit gültig erachtet werden. Wenn man Natur nicht mit *Naturwissenschaft* verwechselt, müssen Errungenschaften der naturwissenschaftlichen Disziplinen als „Teil unserer kulturellen Praxis“ (Janich 1992, S. 21) und damit als „Kulturleistung“ (ebd., S. 65) verstanden werden (vgl. Buck 1995a). Verkennt man dies, nimmt die süffisante Äußerung von SCHWANITZ (2002), ein emsiger Verfechter der materialen Bildungstheorie, nicht wunder, dass naturwissenschaftliche Kenntnisse zwar nicht versteckt werden müssten, „aber zur Bildung gehören sie nicht“ (ebd., S. 618).<sup>13</sup>

Zur Legitimation von Naturwissenschaften im Unterricht wird statt des materialen Inhalts verbunden mit dem Ziel einer naturwissenschaftlichen Ausbildung mitunter auch der hohe *formale Bildungsgehalt* betont:

Ein Argument für den naturwissenschaftlichen Unterricht, um nicht zu sagen, das einzige, das wirklich Sinn macht, wurde von Dewey [...] angeführt. Er vertrat die Auffassung, daß wegen der speziellen Methoden und Formen des logischen Denkens, die die Naturwissenschaften auszeich-

---

<sup>12</sup> MEYER (1993, S. 257) formuliert daher provokant: „Es gibt keine Sachanalyse!“, weil das Nachdenken über Unterrichtsinhalte bereits didaktisiert erfolgen sollte. Ähnlich äußert sich bereits in den 1960er Jahren KLAFKI (1963, S. 129). Eine Reflexion darauf, warum was wie unterrichtet wird, wird wertneutral oft als ‘Elementarisierung’ bezeichnet, aus pragmatisch-konstruktivistischer Sicht inzwischen oft auch als ‘didaktische Rekonstruktion’ (vgl. Bauer 1997, S. 197ff.; Jank & Meyer 2003, S. 32, 338ff.).

<sup>13</sup> Falls diese Anmerkung, die pikanterweise im Unterkapitel ‘Was man nicht wissen sollte’ steht, tatsächlich ernst gemeint ist, kann sie leider nur als absurd bezeichnet werden, denn beispielsweise haben, wie bereits SACHSSE (1976) zeigt, die Ideen von N. KOPERNIKUS oder auch C. DARWIN nahezu weltweit zu „einschneidenden geistesgeschichtlichen Umbrüchen geführt“ (ebd., S. 260) und damit zweifelsohne Maxime und Werte nachhaltig beeinflusst. Dies sieht zwar auch SCHWANITZ (2002, S. 154f., 466ff.) so – jedoch rechnet er dünkelfhaft weder die Ideen des KOPERNIKUS, noch die DARWINS den Naturwissenschaften zu.

nen, die Beschäftigung mit Naturwissenschaft die Schülerinnen und Schüler zum logischen Denken befähige, was diese dann auf ihre anderen Aktivitäten übertragen könnten. (Shamos 2002, S. 47)

Aus diesem pädagogisch zunächst attraktiv klingenden Argument einer methodischen Bildung<sup>14</sup> leitet SHAMOS – hier leider etwas einseitig – eine vorrangige Ausrichtung des Unterrichts auf naturwissenschaftliche und technische Prozesse ab. Für den Mathematikunterricht, dem man ebenfalls zuschreibt, formales Denken zu schulen, ist der unterstellte Effekt aber z. B. empirisch offenbar nicht nachweisbar (Heymann 1996, S. 96ff., 205-248). HEYMANN weist auch auf das mit einer einseitigen Fixierung auf formale Bildung verbundene Hauptproblem hin: Formales Denken müsse, um verständnisfördernd und -leitend sein zu können, als *sinnvoll* erlebt werden, vor allem auch im Alltag. Dazu bedarf es freilich wieder konkreter Inhalte und vielfältiger Themen, anhand derer die erwünschte Übertragung geübt werden kann (ebd., S. 248), denn es gibt freilich keine „Methoden ohne oder vor den Inhalten, deren Bewältigung sie dienen sollen“ (Klafki 1963, S. 37). KLAFKI weist begründet darauf hin, dass beide Ideen, materiale wie formale Bildung, gewisse „Wahrheitsmomente“ beinhalteten, wendet sich jedoch gegen eine zunächst logisch erscheinende Synthese von materialer und formaler Bildung, denn „‘Bildung’ ist immer ein Ganzes, nicht die Zusammenfügung von ‘Teilbildungen’ [...]“ (ebd., S. 38). Statt Synthese setzt er auf eine dialektische, „erlebte Einheit“ von materialer und formaler Bildung, die er *kategoriale* Bildung (ebd., S. 43ff.) nennt,

[...] d. h. als ein nach vorn hin stets offenzuhaltendes Vermittlungsverhältnis zwischen ‘Subjekt’ und ‘Objekt’, einen aktiven Aneignungsvorgang, in dem sich geschichtliche Wirklichkeit für den sich bildenden Menschen ‘aufschließt’, zugänglich, verstehbar, kritisierbar, veränderbar wird, und in dem gleichzeitig das Subjekt sich *für* geschichtliche Wirklichkeit ‘aufschließt’, also Verständnis-, Handlungs-, Verantwortungsmöglichkeiten in sich entfaltet; beide Aspekte sind Momente eines einheitlichen Prozesses. (Klafki 1985, S. 44; Hervorheb. i. O.)

Erarbeitet sich demnach z. B. ein Schüler anhand eines (bildungswirksamen) *Besonderen* (z. B. unterschiedliche IR-Absorptionsfähigkeiten von Gasen) etwas *Allgemeines*, also eine Kategorie von Wirklichkeit (z. B. den Treibhauseffekt), *erschließt* er sich eben diese Wirklichkeit ‘kategorial’. *Zugleich* gewinnt er dadurch aber auch mögliche, neue, ‘kategoriale’ Zugangsweisen, Lösungsstrategien, Handlungsmaxime für künftige Probleme – der Schüler *wird* daher auch *erschlossen* für die Wirklichkeit. Nach KLAFKI kann als Legitimation von Unterricht der ‘Begründungszusammenhang’ herangezogen werden, also die Fragen nach

<sup>14</sup> KLAFKI unterscheidet nicht nur zwischen materialer und formaler Bildung; er differenziert noch in „Objektivismus/Scientismus“ (Inhalte der Kultur) und „klassische Bildung“ (Inhalte des als „klassisch“ Erkannten) auf Seiten der materialen Bildung sowie in „funktionale“ (allgemeine Formung geistiger Kräfte) und „methodische“ (Erlangen von Denkweisen und Wertmaßstäben) Bildung auf Seiten der formalen Bildung. Speziell zur *methodischen Bildung*, die in der Pädagogik mit den Namen KERSCHENSTEINER und DEWEY verbunden ist, merkt KLAFKI (1963, S. 37) an: „Ihre pädagogische Anziehungskraft verdankt die Theorie der methodischen Bildung ohne Zweifel der Tatsache, daß sie die nachdrücklichste Verwirklichung des Prinzips der Selbsttätigkeit des Zöglings zu ermöglichen scheint.“ (Vgl. auch Jank & Meyer 2003, S. 213.)

Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung einer Thematik für die Schüler (ebd., S. 213ff.). Im Verbund mit seiner Forderung nach Selbstbestimmungs-, Mitbestimmungs- und Solidaritätsfähigkeit (ebd., S. 38) als generelle Zielkriterien von Bildung nehmen ‘epochaltypische Schlüsselprobleme’ eine prominente Rolle ein (ebd., S. 20ff.). Damit ist zugleich der Blick für eine Alltagsorientierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts geöffnet.

Zur Legitimierung von Naturwissenschaften im Unterricht wird dann auch häufig und freilich zu Recht betont, dass unser Alltag durchzogen ist von Produkten, die auf naturwissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen (vgl. Lutz & Pfeifer 1997, S. 73). Dies allein rechtfertigt jedoch keine Beschäftigung mit Naturwissenschaften, denn um beruflich erfolgreich<sup>15</sup> zu sein oder ein erfülltes Leben zu führen, werden naturwissenschaftliche Kenntnisse letztlich nicht benötigt, wie SHAMOS bewusst pointiert feststellt:

The sad but simple fact is that one does not need to be literate in science [...] to be successful in most enterprises or to lead the ‘good life’ in generally. (Shamos 1995, S. 98)

Unser Alltag zeigt dann auch, dass nicht nur ein Schüler z. B. auch ohne jede Kenntnis von Hebelgesetzen sehr gut Fahrrad fahren kann und somit eine auf Naturwissenschaften basierende Tätigkeit dennoch meistert. Die Motivation, die Hebelgesetze gleichwohl zu erlernen, ließe sich zwar durch einen stärkeren Kontextbezug – hier etwa der Kontext ‘Fahrrad fahren’ – sicherlich steigern, es bleibt jedoch fraglich, wie erkenntnisleitend und nachhaltig dieses Interesse dann ist.<sup>16</sup> Denn offenbar werden naturwissenschaftliche Erkenntnisse nicht wirklich hinterfragt, wie die bereits mehrfach zitierte Studie *pupils’ attitudes to science* zeigt: „[...] pupils express interest in topics that are about the effects of science on themselves but do not appear interested in the knowledge required to understand these effects“ (Peters *et al.* 2006, S. 27). Ein stärkerer Kontext- und Alltagsbezug ist *allein* offensichtlich weder geeignet, eine *nachhaltige* Motivation zu fördern, noch eine Legitimationsbasis zu bilden, zumal auch ein alltagsnaher Unterricht nicht antizipieren kann, „was sich in

---

<sup>15</sup> Dies trifft nicht nur auf naturwissenschaftliches Wissen zu: Selbst Defizite bei ‘Kernkompetenzen’ wie beim Lesen oder Rechnen limitieren hohe berufliche Leistungen nicht zwangsläufig, wie empirische Studien gezeigt haben (vgl. Brügelmann 2004, S. 421; Lind 2007, S. 10).

<sup>16</sup> Dass Lernen als situativer Prozess von authentischen, sinnstiftenden Kontexten positiv beeinflusst wird, wird von lernpsychologischer Seite betont (vgl. Reinmann-Rothmeier & Mandl 2001, S. 615ff.). In der Naturwissenschaftsdidaktik hat dies spätestens seit dem sogenannten IPN-Curriculum Tradition, welches Ende der 1960er Jahre die Spielgeschichte einer ‘Robinsonade’ als Kontext nutzte und so Schüler motivierte, z. B. Nahrungsmittel haltbar zu machen oder Metalle zu gewinnen. Sinnstiftend war der Kontext zwar, jedoch freilich nicht authentisch. An Alltagswissen anzuknüpfen, schülerrelevante Kontexte zum Gegenstand von Unterricht zu machen sowie Sinn und Bedeutung chemischer bzw. physikalischer Kenntnisse in der Gesellschaft aufzuzeigen sind auch Ziele aktueller Programme wie Biologie, Chemie bzw. Physik im Kontext (BiK, ChiK, PiKo) (vgl. Gräsel & Parchmann 2004). Aber auch hier gilt: wirklich authentisch sind die genutzten Kontexte nicht. Ergebnisse der ‘PISA-Studie 2006’ weisen ferner darauf hin, dass Kontextbezüge zwar für die Ausbildung naturwissenschaftlicher *Interessen* eine moderierende Variable darstellen, nicht jedoch für den *Kompetenzerwerb* (vgl. PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 162-174ff.). Vor diesem Hintergrund sollten Programme wie ‘BiK’, ‘ChiK’ und ‘PiKo’ nicht als Unterrichtsverfahren missverstanden werden, sondern eher als motivierende Herangehensweisen zur Strukturierung von Unterricht betrachtet werden.

der nachfolgenden Lebenserfahrung der Schülerinnen und Schüler an Problemgehalten ergibt“ (Oelkers 2002a, S. 108). WEINERT (1998, S. 111) plädiert daher für eine gemeinsame „Förderung sowohl des situierten als auch des systematischen Lernens“.

Beachtet man zur Legitimation von Naturwissenschaften im Unterricht verstärkt seine gesellschaftliche Funktion, ist eine auch im naturwissenschaftlichen Bereich mündige Gesellschaft ein wichtiges Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts: „that is, increase the numbers of ‘scientifically literate’ adults in society and hence to improve *public understanding of science*“ (Driver *et al.* 1996, S. 9, Hervorheb. i. O.). Im Fokus der gesellschaftlichen Wahrnehmung stehen aber meist nicht Naturwissenschaften als forschende Grundlagenwissenschaften, sondern die jeweils anwendungsbezogene technische Industrie und deren Produkte. Daher muss Unterricht seinen Blick weiten und nicht nur die je individuelle Alltagsrelevanz, sondern auch die Gesellschaftsrelevanz herausstellen und dabei Schülern (bezogen auf das Unterrichtsfach Chemie) „ein[en] Einblick in naturwissenschaftlich-technische Zusammenhänge aus der Sicht der Chemie“ (Lutz & Pfeifer 1997, S. 77) ermöglichen.

Ein solch umfassender, gesellschaftlicher Blick ist bei DRIVER *et al.* mit dem Ziel von „‘scientifically literate’ adults“ bereits angesprochen und beinhaltet die derzeitige, weltweite Standardantwort auf die Frage nach der Legitimation von Naturwissenschaften im Unterricht: *scientific literacy*. Fast schon phraseologisch wird damit sowohl die Frage nach der Legitimität naturwissenschaftlicher Inhalte als auch die nach dem Sinn eines Metawissens über Naturwissenschaften beantwortet. Der Terminus ist auch hierzulande spätestens seit der medienwirksamen Diskussion der PISA-Studie in aller Munde und *literacy* bzw. ‘Grundbildung’, wie oftmals übersetzt wird, ist mittlerweile Triebkraft bildungspolitischer Entscheidungen: als Reflex auf die Ergebnisse der PISA-Studie sind Kerncurricula entwickelt und verbindliche Bildungsstandards festgelegt worden – zentrale Leistungstests sollen das Ergebnis, den ‘Output’, sicherstellen. Bedenkt man jedoch, dass die schlechten Ergebnisse deutscher Schüler „nicht auf der Ebene elementarer Fertigkeiten und Kenntnisse, sondern bei anspruchsvolleren Leistungen“ (Brügelmann & Heymann 2002, S. 9) liegen, zeigt sich bereits, dass *literacy* im Sprachgebrauch der PISA-Studie offenbar mehr als nur *basale* ‘Grundbildung’ meint. Um die Einschätzung von MESSNER (2003, S. 401) zu verstehen, wonach „es sich bei PISA um eine inhaltliche Neuausrichtung des Bildungsverständnisses von epochalem Charakter handelt“, ist es sinnvoll, zunächst den eher idealistischen, deutschen Bildungsgedanken als Argumentationsfolie in Kapitel 2.2.2 kurz zu entfalten. Eine Abgrenzung von dem stärker pragmatischen *literacy*-Konzept erfolgt im Verbund mit der Einordnung der inzwischen getroffenen, weitreichenden schulpraktischen Konsequenzen wie der Einführung von Bildungsstandards und Lernstandserhebungen. Dazu werden die Etikette ‘Didaktik’ versus ‘Curriculum’ genutzt (Kapitel 2.2.4). Ideen und Facetten von *scientific literacy* sowie die kompetenzbasierte Ausgestaltung im Rahmen der PISA-Studie werden in Kapitel 2.2.5 aufgezeigt; Grenzen und Einschränkungen in Kapitel 2.2.6.

## 2.2.2 Bildung – ein idealistisches Auslaufmodell?

Als im Dezember 2001 erste Ergebnisse der PISA-Studie veröffentlicht wurden, war hierzulande sofort die Rede von einer „Bildungskatastrophe“<sup>17</sup> (FAZ 2001), obwohl es um das, was gemeinhin unter ‘Bildung’ bzw. ‘Allgemeinbildung’ verstanden wird, bei PISA auch nach eigenem Selbstverständnis (Baumert *et al.* 2001b, S. 19) gar nicht geht, denn der Studie liegt, so FUCHS (2003, S. 161), ein verkürzter, „funktionalistischer Ansatz von ‘Bildung als Kompetenz’ zugrunde“. Dabei hat Bildung zunächst einmal gar nichts mit der Teleologie eines Kompetenzbegriffes zu tun, denn bei Bildung handelt es sich um einen „typisch deutschen, unübersetzbaren Begriff [...], der auf die Individualität und ihre zweckfreie Selbsttätigkeit zielt“ (Bollenbeck 1994, S. 112). Bildung zu definieren ist nach BOLLENBECK schwierig, weil die Rede von Bildung seit der Epoche der Aufklärung auf eine lange Begriffsgeschichte verweist und daher mittlerweile eine Art „kommunikatives Eigengewicht“ (ebd., S. 18) besitzt, da man sich nicht auf eine äußere, definierbare Realität bezieht, sondern ‘Bildung’ selbst Gegenstand der kommunikativen Praxis geworden ist. Eine ‘gute Bildung’ zu haben bzw. ‘gebildet’ zu sein, bezeichnet im allgemeinen zwar auch einen prüfbareren Zustand einer Person; vor allem diene der ‘gebildeten’ Person dies aber als eine sinn- und identitätsstiftende Interpretationsfolie des Alltags. BOLLENBECK spricht aus soziologischer Sicht bei solchen Wörtern von „Deutungsmustern“ (ebd., S. 19), welche sich kollektiv verfestigten. Sie seien generell mit „programmatischen Überschüssen“ (ebd.) ausgestattet, d.h., dass z.B. der Ausdruck ‘gebildete’ Person zugleich zahlreiche weitere Attribute konnotiert und Bildung so als Signalwort dienen kann. Daher gibt es für das Wort Bildung auch keine wirklichen Entsprechungen in anderen Sprachen. Zugleich werden Deutungsmuster damit aber auch hochvariabel für vielfältige Sinnbezüge: Eine Klage über eine ‘Bildungskatastrophe’ ist daher ehemals wie jetzt salonfähig, auch ohne dass man genau definiert, was man damit meint.

Ganz im Sinne der Deutungsmustertheorie diene das Wortpaar ‘Bildung und Kultur’ im 18. Jahrhundert einer ökonomisch erstarkten und aufgeklärten, aber politisch handlungsgehemmten ‘bildungs’-bürgerlichen Trägerschicht aus Gelehrten, Theologen, Schul-

---

<sup>17</sup> Die drastische Rede von einer ‘Bildungskatastrophe’ ist nur ein Beispiel für das mediale Aufbauschen der Studie – die kommunikativ weit verbreitete Wendung ‘Schulleistungsstudie’ sowie die vorrangige Fokussierung auf den ‘PISA-Tabellenplatz’ sind zwei weitere. Die Formulierung ‘Schulleistungsstudie’ ist irreführend, denn bei PISA wird schließlich nicht der Lern- und Bildungsertrag von Schule *insgesamt* erfasst (vgl. Brügelmann & Heymann 2002, S. 9f.; Messner 2003, S. 406f.; inzwischen auch PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 37). Ferner geht bei der medienwirksamen Präsentation der ‘Tabellenstände’, die eine Rangfolge suggerieren, oft unter, dass bei den Ranking-Vergleichen – das PISA-Konsortium spricht von ‘Perzentilbändern’ – lediglich eine substantielle Dreiteilung vorgenommen wird: oberhalb des Durchschnitts, Durchschnitt, unterhalb des Durchschnitts. In der Einführung zur PISA-Studie 2003 wird explizit auf diesen Sachverhalt verwiesen: „Innerhalb dieser Blöcke sind Unterschiede zwischen den Staaten statistisch nicht mehr zuverlässig abzusichern. Folgt man dieser Betrachtung, dann verbietet es sich, die Tabellenplätze durchzunummerieren“ (Prenzel *et al.* 2004, S. 36). Ob die ‘Perzentilbänder’ jedoch eine Rangskala eher protegieren oder verhindern, sei an dieser Stelle dahingestellt.

meistern, aber auch gebildeten Handelsvertretern und Bankiers als Distinktionsmerkmal, welches ihnen kulturelle Hegemonie sicherte (vgl. Bahrtdt 1969, S. 302f.). So verstanden war Bildung zunächst eher eine quasi-religiöse, geistige Attitüde statt substantielles, kulturelles Kapital. *Bildung als Idee* findet aber schnell eine Objektivation in *Bildung als Produkt* im Sinne einer materialen Bildung, verstanden als Summe kanonisierter und tradierter klassischer Bildungsgüter (vgl. Heymann 1996, S. 35ff.; Klafki 1963, S. 30ff). In der Rede von *Bildung als Prozess* wird Bildung um die Idee einer *formalen* Bildung ergänzt, bei der Bildungsgüter nun eine instrumentelle Funktion erfüllen (vgl. ebd., S. 32ff.; Kutschmann 1999, S. 73f.). Bildung erreicht so einen Selbstzweck und wird, wie oben bereits zitiert, damit letztlich zur ‘zweckfreien Selbsttätigkeit’. Der Selbstzweck dieser von KLAFKI als ‘funktional’ bezeichneten Bildung sei eine allseitige „Formung, Entwicklung, Reifung von körperlichen, seelischen und geistigen Kräften“ (Klafki 1963, S. 33), die bereits als Disposition im Menschen vorhanden sind. Aus einer solchen Sicht bezog das 1812 aus der Lateinschule entstandene Gymnasium lange Zeit seine Legitimation für den altsprachlich-humanistisch orientierten Fächerkanon mit einer „Überbetonung der sprachlichen Bildung“ und einer „Vernachlässigung der modernen Naturwissenschaften“ (Gudjons 1993, S. 87), weil man dem Lernen von Griechisch oder Latein z. B. zuschrieb, die Denkkraft formal zu schulen – was empirisch jedoch nicht belegbar ist (Brügelmann 2005, S. 271f.) –, den naturwissenschaftlichen Disziplinen jedoch keinen Bildungswert zusprach, weil diese seelenlos seien und die Welt zergliederten (vgl. Häusler 1997, S. 25; Kutschmann 1999, S. 96ff.). Gegen Ende des 19. Jahrhunderts verarmte jedoch der Bildungsbegriff mehr und mehr zu einer sehr eng verstandenen Allgemeinbildungsidee, die Nahrung für die Karikatur des ‘Bildungsphilisters’ bot (vgl. Bahrtdt 1969, S. 305):

Wer über ‘Allgemeinbildung’ verfügte, der verfügte im ungünstigen Fall lediglich über ein Arsenal schulisch normierten und von Vorgängen in Politik und Wirtschaft gänzlich abgespaltenen Allgemeinwissens. In ihrer vulgarisierten Form war Bildung dann nur noch Standesausweis, behaftet mit Standesdünkel gegenüber den ‘Ungebildeten’ [...]. (Heymann 1996, S. 39f.)

Im ungeheuren Aufwind und der Erfolgsfähigkeit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, verbunden mit einer zunehmenden Partikularisierung von Wissen um die Jahrhundertwende ins 20. Jahrhundert, wurden die Deutungsmuster Bildung und Kultur zunehmend problematisch, weil das humboldtsche Ideal einer zweckfreien Bildung nicht mehr zu den technischen Erfindungen und materiellen Errungenschaften der Zeit passte.<sup>18</sup> Naturwis-

---

<sup>18</sup> Die Wende zum 20. Jahrhundert war gekennzeichnet durch auseinanderklaffende, gesplante Erfahrungswirklichkeiten, weil sich technische Erfindungen und Zeitgeist teilweise anachronistisch entgegenstanden. Einige Beispiele mögen dies verdeutlichen: 1895 lief der erste Stummfilm und es wurde die RÖNTGEN-Strahlung entdeckt, 1897 stellte R. DIESEL ein revolutionäres Motorenkonzept vor, M. PLANCK 1900 die Quantenhypothese, 1903 flog das erste Motorflugzeug, 1905 stellte A. EINSTEIN die Relativitätstheorie auf, 1909 gelang F. HABER und C. BOSCH die Ammoniaksynthese. Dieser beschleunigten Realität standen an Rückzugsmöglichkeiten in die Innerlichkeit im Namen der ‘wahren’ Kultur die neoromantische, bündische Jugendbewegung um H. HOFFMANN und K. FISCHER, der allgemeine Kulturpessimismus, z. B. bei O. SPENGLER, sowie die bewusste

senschaftliches Wissen wurde als bloß zweckgebundenes Verfügungswissen abgewertet, dem man nicht zuerkannte, bildungswirksam zu sein, auch weil es die Welt entzaubere, wie es M. WEBER einmal ausgedrückt hat, und diese so ausbeute (vgl. Kutschmann 1999, S. 42ff.).<sup>19</sup> Dagegen wehrte sich freilich die naturwissenschaftlich-technische Intelligenz (vgl. Bollenbeck 1994, S. 252ff.; Kutschmann 1999, S. 22ff.): So konstatierte z. B. der Nobelpreisträger und Chemiker OSTWALD (1913) in seiner Schrift „Die Philosophie der Werte“, es seien die „großen Techniker [...] und Entdecker auf den verschiedenen Gebieten der Wissenschaft (und zwar in ganz maßgebender Weise der *exakten*, nicht der historischen oder sogenannten Geisteswissenschaften)“ (ebd., S. 268; Hervorheb. i. O.), denen es zu verdanken sei, dass ein ökonomischer Aufschwung zu verzeichnen war. Der in OSTWALDs Augen veraltete Kulturbegriff wird bei seiner „Abrechnung mit den Geisteswissenschaften“ (ebd., S. 111) mit Worten kritisiert und abgegrenzt, die ihn eindeutig als Chemiker kennzeichnen:

Sieht man zu, worin die „wahre“ Kultur bestehen soll, so findet man, dass es sich um einen *Rückstand* jener Schillerschen ästhetischen Kulturphilosophie handelt, [...] als ein missverständenes *Reaktionsprodukt* der künstlich *galvanisierten* Antike [...]. (Ebd., S. 266f., Hervorheb. V. H.)

Eine Trennung in ‘zwei Kulturen’ war damit interessanterweise auch sprachlich vollzogen.<sup>20</sup> Dieser Streit um die ‘wahre’ Wissenschaft hat zumindest im englischen Sprachraum dazu geführt, dass unter dem Wort ‘science’, wenn es ohne Attribut steht, heute primär Naturwissenschaften verstanden werden.

Seit W. WINDELBAND 1894 zwischen *nomothetischen* (erklärenden, exakten) und *idiographischen* (beschreibenden) Wissenschaften unterschied, werden die Naturwissenschaften als *objektiv*, die Geisteswissenschaften als *subjektiv* charakterisiert. Dies ist jedoch nicht nur in Deutschland der Fall: „Das geistige Leben der gesamten westlichen Gesellschaft spaltet sich immer mehr in zwei diametrale Gruppen auf“, beklagt SNOW (1959, S. 21) in einem berühmt gewordenen, autobiografisch motivierten Vortrag, den er in Cambridge im Rahmen der traditionellen, jährlichen *Rede Lecture* gehalten hat. Zugleich mahnt er: „Daß wir die Kluft zwischen unseren Kulturen schließen, ist sowohl im extrem geistigen als auch im

---

Ausdifferenzierung und Trennung von Kunst und Leben im Symbolismus (z. B. bei E. MUNCH in der bildenden oder dem GEORGE-Kreis in der literarischen Kunst) quasi zeitgleich entgegen.

<sup>19</sup> GOETHE (1810) als Naturkundler habe dagegen noch – quasi als phänomenologischer Gegenentwurf – eine holistische Sicht vertreten (z. B. in seiner Schrift „Zur Farbenlehre“), die das Wunder der Natur ehrte. Er suchte das Allgemeine *in* den Phänomenen, nicht nach einer Ursache *hinter* den Phänomenen, strebte also eine ‘Bildung an Natur’ statt einer ‘Bildung durch Naturwissenschaften’ an (vgl. Kutschmann 1999, S. 77-93).

<sup>20</sup> OSTWALDs Äußerung ist auch als Zeichen eines Identitätsbedürfnisses zu sehen. Identität entsteht nach KRAPPMANN (1975, S. 12f.) qua Sprache, die im Interaktionsprozess drei Funktionen erfüllen muss: Sprache muss die eigenen Erwartungen dem Adressaten verdeutlichen, dazu einen angemessenen „Begriffsapparat“ verwenden sowie „Überschußinformation“ weitergeben, in denen der Sprecher seine „besondere Einstellung zum Inhalt der Mitteilung“ signalisiert. OSTWALDs verwendeter „Begriffsapparat“ macht einerseits die Zielgruppe seiner Äußerungen deutlich, mit denen er sich identifiziert; seine Sprache dient jedoch gleichzeitig auch als „Überschußfunktion“ der Abgrenzung gegenüber den Geisteswissenschaften.

extrem praktischen Sinn notwendig“ (ebd., S. 57), denn *geistig* sei dieser Antagonismus letztlich eine Verarmung und *praktisch* ein Risiko für die westlichen Gesellschaften. Überwunden werden könne diese Kluft nur, so SNOWs erstaunlich aktuell klingende These, durch ein „vernünftiges und einfallsreiches Bildungswesen“ (ebd., S. 55).

Je mehr sich die Arbeitsteilung und damit auch die Expertenwelt mit speziellen statt kollektiven Wissensbeständen durchsetzte und das Wortpaar ‘Bildung und Kultur’ eine einschneidende Bedeutungsveränderung erfuhren, desto integrativer wurde die Technik- und Fortschrittsgläubigkeit: Naturwissenschaften traten im Nachkriegsdeutschland einen wahren Siegeszug an; aufgehalten wurde er erst in den 1970er Jahren durch ökonomische Krisen und ein verstärktes Aufkommen umweltpolitischen Denkens.

Auch die einseitige Betonung einer naturwissenschaftlichen *Ausbildung* und mithin eine Orientierung an einem positiven Verfügungswissen führte zu einem Vertrauens- und Ansehensverlust und damit, verbunden mit der Kritik an abstrakten, stofflich überfrachteten Lehrplänen mit lebensfernen Inhalten, gleichfalls zu einem Rückgang der Wertschätzung naturwissenschaftlicher Fächer in der Schule. Wenn man jedoch nicht nur auf das notwendig verdichtete und somit abstrakte, fachliche Begriffsgebäude der Naturwissenschaften zielt, sondern auch naturwissenschaftliche Prozesse betont, wie dies z.B. BUCK (1985; 1996a), SCHARF (1983a; 1998; 2002; 2004a) und SHAMOS (1988; 1995; 1996; 2002) für den Unterricht fordern, können Schüler „Wandlungen, Veränderungen wahrnehmen und in ihrer umfassenden Bedeutung für ein anderes Welt- und Selbstbild [...] begreifen“ (Scharf 2002, S. 65) und so unter anderem „komplexes Denken üben“ (ebd.). Dann leisten Naturwissenschaften nicht nur einen materialen Beitrag zur *Ausbildung*, was SCHARF in Anlehnung an den Chemiker und Technikphilosophen SACHSSE (1976) als den „Erwerb von Fertigkeiten und Methoden“ (ebd., S. 260) bezeichnet, sondern auch zur *Bildung*, verstanden als „Erwerb von Maßstäben“ (ebd.), die einen Menschen nachhaltig beeinflussen (vgl. auch Hofheinz, im Druck). Chemieunterricht z.B. sei, so SCHARF (1998), bildend und orientierend, weil Erkanntes und die Art des Erkennens prägen. Jedwede chemische Reaktion beispielsweise sei ein komplexer Prozess – den man jedoch durch eine stärkere phänomenologische Betonung auch akzentuieren müsse. Dies impliziert – ganz im Sinne der kategorialen Bildung nach KLAFKI –, neben bildungswirksamen Inhalten auch historische Entwicklungen, potenzielle Alternativen sowie generell Weisen der Erkenntnisgewinnung in den Unterricht einzubeziehen. Aus einer solchen Sicht bieten Naturwissenschaften dann nicht nur bloßes Verfügungswissen, sondern auch Orientierungswissen, verstanden als ein „regulatives Wissen um (begründete) Ziele und Zwecke“ (Mittelstraß 1989, S. 249).

### 2.2.3 Allgemeinbildung nach HEYMANN: ein sinnvoller Anforderungsrahmen für Unterricht

Obwohl freilich spätestens seit den 1960er Jahren zunehmend ein Abschied vom humanistischen Bildungsideal festzustellen ist, impliziert der Wortgebrauch von ‘Bildung’ nach wie vor primär Subjektgenese, auch bei differenzierteren und aktuellen Auslegungen des Bildungsbegriffs, wie sie z. B. HEYMANN (1996; 1997; 1999) nicht nur für den Mathematikunterricht vorlegt. Er unterscheidet deutlich zwischen *Bildung* als anthropologischer Leitidee und *Allgemeinbildung* als schulpädagogischem Grundproblem:<sup>21</sup>

‘Bildung’ ist eine neuzeitliche Antwort auf die Frage, was den Menschen zum Menschen macht; ‘Allgemeinbildung’ antwortet auf die Frage, was den Heranwachsenden durch die öffentlichen Schulen vermittelt werden sollte. (Heymann 1996, S. 43)

Eine schulnahe Auslegung der Idee einer Allgemeinbildung sieht er in einem Katalog von sieben, wechselseitig verschränkten und sich daher teilweise überlappenden Aufgaben, die sich grob den fundamentalen Dimensionen „Befähigung zur Teilhabe“, „Befähigung zur Erkenntnis“ und „Entfaltung des Menschlichen“ (ebd., S. 129) zuordnen lassen und mit hin einen Orientierungsrahmen für allgemeinbildende Schulen darstellen können. Recht grob skizziert sind dies in enge Anlehnung an HEYMANN (1999, S. 1f):

– *Lebensvorbereitung*

Schülerinnen und Schüler sind auf absehbare Erfordernisse ihres beruflichen und privaten Alltags – vor aller beruflichen Spezialisierung – pragmatisch und systematisch vorzubereiten. Schule muss dazu sowohl materiale als auch formale Basisqualifikationen vermitteln.

– *Stiftung kultureller Kohärenz*

Damit Schülerinnen und Schüler eine reflektierte kulturelle Identität bezüglich ihrer eigenen Kultur aufbauen können, hat die Schule wichtige kulturelle Errungenschaften zu tradieren (diachroner Aspekt) und zwischen unterschiedlichen Subkulturen unserer Gesellschaft zu vermitteln (synchroner Aspekt).

– *Weltorientierung*

Die Schule hat einen orientierenden Überblick über unsere Welt und die Probleme zu geben, die alle angehen (durchaus verstanden im Sinne der ‘Schlüsselprobleme’ nach KLAFKI). Sie sollte zu einem Denkhorizont beitragen, der über den privaten Alltagshorizont hinausreicht.

---

<sup>21</sup> Diese Unterscheidung sieht auch OELKERS (2002b) als wichtig an, denn Schule sei schließlich „keine Bildungs-, sondern eine Lehranstalt“. Pointiert seziert er den Ist-Zustand von Schule: „Schulen sind staatlich organisierte Monopole. Sie vermitteln Wissen, das sich in Portionen zerlegen lässt. Humanistische Bildung jedoch verlangt nicht, jeden Tag sklavisch um acht Uhr mit dem Unterricht zu beginnen, die Zeit von Stundenplänen regieren zu lassen und Lektionen unabgestimmt aufeinander folgen zu lassen. Auch gehört es sicher nicht zur Bildung, dass eine ‘Lehrkraft’ jeden Tag vor eine Gruppe von Schülern tritt, die nicht wissen, warum sie lernen, was sie lernen“ (ebd.). Die Institution Schule müsse daher modernisiert werden und sich dazu einer intensiven Entwicklungsarbeit stellen, um die gesellschaftlich in sie gesetzten Qualitätserwartungen einlösen zu können.

- *Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch*  
Als formales Pendant zur eher material ausgerichteten Weltorientierung muss Schule im Sinne der Aufklärungsidee zu selbständigem Denken ermutigen und Kritikvermögen fördern.
- *Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft*  
Die Schule hat zu einem verantwortlichen Umgang mit den im Prozess des Heranwachsens erworbenen Kompetenzen anzuleiten.
- *Einübung in Verständigung und Kooperation*  
In der Schule ist Raum für Verständigung, Toleranz, Solidarität und gemeinsames Lösen von Problemen zu geben.
- *Stärkung des Schüler-Ichs*  
Die Heranwachsenden sind als eigenständige Personen zu achten und ernst zu nehmen.

HEYMANN (1996, S. 131-276) zeigt eindrucksvoll die Tragfähigkeit seines Allgemeinbildungskonzepts für Mathematikunterricht. Natürlich lässt sich das Konzept aber auch auf andere Fächer bzw. die naturwissenschaftliche Domäne übertragen, denn generell sprechen die genannten Zielkategorien eindeutig für eine stärkere Aufweitung und Aufweichung des traditionellen Fächerkanons. Nun könnten freilich weder in jeder Unterrichtsstunde oder -reihe, noch überhaupt in jedem Fach alle oben genannten sieben Aufgabebereiche abgedeckt werden – wohl aber müsse sich Unterricht befragen lassen, ob er dem Allgemeinbildungsauftrag gerecht werde „und durch welche Innovationen curricularer, didaktischer und methodischer Art sein Beitrag zur Allgemeinbildung gefördert werden könnte“ (Heymann 1997, S. 9).

Bestechend an diesem Konzept ist, dass es kein normatives Diktum, sondern eher einen Ermöglichungszusammenhang aufzeigt, der aber ausgestaltet werden kann und muss. Daher lässt sich auch die eingangs aufgeworfene Frage nach der Legitimation von naturwissenschaftlichem Unterricht nach HEYMANNS Konzept nicht per se beantworten, sondern nur anhand des *konkreten* Unterrichts. Anders gewendet: Naturwissenschaftlicher Unterricht trägt keine Rechtfertigung in sich. Er hat nur dann eine Legitimation, wenn er allgemeinbildend unterrichtet wird, wenn also beispielsweise fachspezifische Inhalte so ausgewählt und so in einen übergeordneten Rahmen einbettet werden, dass sie z. B. einen Beitrag zur ‘Weltorientierung’ und zum ‘kritischen Vernunftgebrauch’ leisten: Inhaltlich, weil z. B. naturwissenschaftliche Schlüsselprobleme wie der Treibhauseffekt behandelt werden; methodisch, weil z. B. Grenzen unserer Erkenntniswege thematisiert werden.

Vermittels einer erkenntnistheoretisch reflektierten, problemorientierten, forschend ausgerichteten Unterrichtsreihe, wie sie beispielsweise SCHARF (1984, S. 22ff.) zur Wirkungsweise des Schmerzmittels Aspirin® vorstellt, können Schüler nicht nur fachchemische Kenntnisse erlangen, sondern vor allem auch lernen, dass naturwissenschaftliche Aussagen keine Wesens-, sondern immer Bedingungsaussagen sind. Indem Schüler so auch Wissen *über* Naturwissenschaften erwerben, über Erkenntnisverfahren, Möglichkeiten, aber auch Grenzen, bietet dieses Vorgehen einen Beitrag zu „einem allgemeinen, ra-

tionalen Urteilsvermögen“ (ebd., S. 24) bzw. in der heymannschen Terminologie zur ‘Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch’. Sind sich Schüler bewusst, dass Aussagen etwa zur Giftigkeit eines Stoffes immer an bestimmte Randbedingungen geknüpft sind (ebd.), trägt dies nicht nur zur ‘Lebensvorbereitung’ im Sinne HEYMANNs bei, sondern, indem sie etwa so „gezielter Manipulation“ (ebd.) widerstehen und entgegentreten können, auch zur ‘Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft’, verstanden als „ethische Basiskategorie“ (Heymann 1996, S. 105). Um allgemeinbildend zu sein, gehören aber neben fachlichen Inhalten und einer methodischen Reflexion auch sozialetische Aufgaben wie die ‘Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft’, die ‘Einübung in Verständigung und Kooperation’ sowie eine ‘Stärkung des Schüler-Ichs’ zum Unterricht. Diese Aufgaben kann naturwissenschaftlicher Unterricht z.B. dann erfüllen, wenn Schülern Gelegenheit gegeben wird, aktuellen oder auch historischen, authentischen, naturwissenschaftlichen Problemen in einem Team selbstständig auf den Grund zu gehen (vgl. Hofheinz, im Druck; Scharf 2004b).

Damit wird das Allgemeinbildungskonzept von HEYMANN – wie sich noch zeigen wird – durchaus anschließbar an die derzeitig als Leitmodell zu sehende *literacy*-Idee; dies ungeachtet der Tatsache, dass es sich zweifelsohne um ein Input-Konzept handelt.

#### 2.2.4 Didaktik versus Curriculum – Trendwende im deutschen Bildungssystem?

Unser Bildungswesen ist geprägt von dem in Kapitel 2.2.2 grob skizzierten deutschen Bildungsgedanken. Es liegt auf der Hand, dass dies Auswirkungen auch auf unser heutiges Verständnis von Schule und Unterricht hat, was sich z.B. in der bei uns üblichen Tradition der ‘Didaktik’ äußert. Das bei PISA verwendete *literacy*-Konzept entstammt dagegen der angelsächsischen Tradition der *curriculum studies*. Im Zuge einer zunehmenden „Harmonisierung der Bildungssysteme und Leistungserwartungen“, wie HOPMANN & RIQUARTS (1995, S. 9) im Tagungsband des 1993 am IPN in Kiel abgehaltenen internationalen Symposiums ‘Didaktik und/oder Curriculum’ anmerken, sei es vor dem Hintergrund von TIMSS und PISA nötig, die angelsächsischen und die kontinentaleuropäischen Ideen und Konzepte von Lehrplan, Lehre und Unterricht zu vergleichen und abzugleichen.

Welch grundlegende Differenz bezüglich der Idee von Schule und Unterricht besteht, sei beispielsweise daran abzulesen, dass bei Wörtern wie Didaktik, Unterricht, Pädagogik, Bildung oder Erziehung eine literale Übersetzung<sup>22</sup> kaum möglich ist (ebd., S. 10f.). Ähn-

---

<sup>22</sup> Die Idee einer wörtlichen Übersetzung geht von der nicht unproblematischen Vorstellung aus, ein Wort oder ein Ausdruck habe eine Stellvertreterfunktion und stehe daher semantisch *für* etwas. Dies mag bei einigen Konkreta auch der Fall sein. FEILKE (1994a, 1994b) zeigt jedoch, dass nicht nur Abstrakta, sondern fast alle Wörter oder Ausdrücke lediglich *Mittler* der Bedeutung, nicht Bedeutung selbst sind. Ein Wort wie ‘Didaktik’

lich wie bei dem Terminus 'Bildung' bereits dargelegt, erweise sich auch das deutsche Wort 'Didaktik' als nahezu übersetzungsresistent, denn das englische Wort *didactics* beziehe sich recht eng auf die methodisch-praktische Vermittlungsebene inklusive der Konnotation des erhobenen Zeigefingers, keinesfalls jedoch auf eine universitäre Lehre oder gar eine Forschungsrichtung (ebd., S. 13).

[...] <b>Image-Elemente didaktischer Kulturen*</b>		
<b>Curriculum &lt;=&gt; Didaktik</b>		
<b>Ebene</b>	<b>Curriculum</b>	<b>Didaktik</b>
<b>1. Unterrichtsplanung</b>		
Leitfrage	Was wie	Warum was
Inhalt als	Gegenstand	Beispiel
Ziele als	Auftrag (task)	Richtung (goal)
Lehrplanung als	Handlungsentwurf	Richtlinie
Unterrichten als	Ausführung, „Enactment“	Ausgestaltung, Lizenz
Takt als	Gespür, Haltung	Urteilkraft
<b>2. Unterrichtsforschung</b>		
Ansatzpunkt	einzelne Lehrkraft: „Nancy“ „teacher thinking“ (interpretativ)	Lehrkunst didaktische Analyse (hermeneutisch)
Meßpunkt guten Unterrichtens	Ruf Schülerleistung	Standesgemäßheit Unterrichtsverlauf
Erneuerung durch	Implementation	Reform
Paradigmen- wechsel durch	Konjunkturen „movements“	Kritik, Häresie „Schulen“
<b>3. Unterrichtslehre</b>		
Lehrerbildung als	Training, Einübung Zusatzausbildung	Lehre, Initiation
Ausbildungs- reihenfolge	Fachwissen kommt vor pädagogischem Wissen	pädagogisches Wissen kommt vor Fachwissen
Stellung der Fachdidaktik	Fachdidaktik als Bindeglied zwischen Fach und Unterrichtspraxis	Fachdidaktik als Bindeglied zwischen Fachwissen und Allgemeiner Didaktik
*Zusammenstellung auf Grundlage von Diskussionsbeiträgen zum Symposium Didaktik und/oder Curriculum, Kiel, Oktober 1993		

**Tabelle 4:** Angloamerikanische Curriculumforschung und (primär) deutsche Didaktik im Vergleich, bezogen auf Unterrichtsplanung, -forschung und -lehre. (Aus: Hopmann & Riquarts 1995, S. 24)

steht daher nicht semantisch *für* etwas, es verweist *auf* etwas, nämlich „als Ausdruck auf kommunikative Erfahrungen und auf ein entsprechendes Gebrauchsschema“ (Feilke 1994b, S. 76). Über ihre literale Bedeutung lassen sich folglich geprägte Ausdrücke kaum fassen – eine sinnvolle Übersetzung kann darum verständlicherweise auch nur 'kommunikativ' erfolgen, nicht durch ein einzelnes Wort.

Tabelle 4 gibt einen synoptischen Überblick bezogen auf die Ebenen der Unterrichtsplanung, -forschung und -lehre aus Sicht der beiden Konzepte ‘Curriculum’ bzw. ‘Didaktik’ und verdeutlicht so – freilich idealisiert – die Spezifika dieser unterschiedlichen Bildungstraditionen.

Während das angelsächsische Curriculum-Modell bei der Unterrichtsplanung *pragmatisch* vorgeht und sich an fachlichen Inhalten orientiert, ist das deutsche Didaktik-Modell *idealistischer* und erkennbar von der Didaktik KLAFKIs (1963; 1985) beeinflusst (vgl. Hopmann & Riquarts 1995, S. 23ff.). Als Leitfrage zur Unterrichtsplanung werde hierzulande daher nicht die pragmatische Frage gestellt: ‘Was machen wir und *wie* machen wir das?’, sondern eine mehr idealistische, die geprägt ist vom „Primat der Zielentscheidungen“<sup>23</sup> (Klafki 1985, S. 64) und dem Prinzip des Exemplarischen: ‘Warum sollen Schüler *was* lernen und anhand welcher Themen<sup>24</sup> lässt sich dies besonders gut verdeutlichen?’. Als Leitfrage bei der Unterrichtsplanung werden folgerichtig keine fachlichen Gegenstände herangezogen, wie dies beim Curriculum der Fall ist, sondern zunächst einmal die generelle Zielbestimmung jeglichen Unterrichts bedacht: Lernenden, so KLAFKI weiter, Hilfen zur Entwicklung von *Selbstbestimmungsfähigkeit* (d. h. zur je individuellen Sinndeutung von Welt), *Mitbestimmungsfähigkeit* (d. h., dass jeder nicht nur Anspruch auf, sondern auch Verantwortung für die Gestaltung der kulturellen Welt hat) und *Solidaritätsfähigkeit* (d. h. sich mit denen zu solidarisieren, denen die beiden erstgenannten Ziele aus gesellschaftlichen oder politischen Gründen vorenthalten sind) zu geben (vgl. ebd., S. 17, 37f., 45f., 199). Dazu bedarf es exemplarischer Themen, ‘Beispiele’ (siehe Tabelle 4), bei denen eine allseitige „Bildung im Medium des Allgemeinen“ (ebd., S. 45) möglich ist. Sogenannte epochaltypische „Schlüsselprobleme“ (ebd., S. 20ff.) geben dabei laut KLAFKI die Richtung vor, müssen jedoch noch im Unterricht individuell ausgestaltet werden. Beim Curriculum dagegen dominiert ein fertiger Handlungsentwurf, der nur ausgeführt werden muss.

Aus einer solchen Sicht wird verständlich, warum bei der Rede von ‘Didaktik’ pädagogisches Wissen wichtiger ist als Fachwissen. Deutlich wird dann auch, warum deutsche Lehrpläne lediglich eine Kompassfunktion besitzen und somit zwar eine Richtung vorgeben, aber kein ‘Handbuch für Unterricht’ oder ein ausgearbeiteter ‘Lehrgang’ sind, wie dies im angelsächsischen Raum Tradition hat (vgl. Westbury 1995, S. 223f.). Dort ist daher der Beruf des Lehrers auch primär ein ‘Job’, bei dem es darauf ankommt, mit Hilfe eines Lehr-

---

<sup>23</sup> Bekannt ist die ältere Formulierung KLAFKIs (1963, S. 86) vom „Primat der Didaktik im Verhältnis zur Methodik“. In den neueren Schriften zur kritisch-konstruktiven Didaktik gebraucht KLAFKI (1985) jedoch mittlerweile „einen weiten Didaktik-Begriff, der die [...] Methodik einschließt“ (ebd., S. 194), und spricht daher nun vom ‘Primat der Zielentscheidungen’.

<sup>24</sup> Themen sind im Gegensatz zu *Gegenständen* oder *Inhalten* bereits didaktisch gefasst. Gegenstände/Inhalte sind Sachverhalte, „die noch nicht im Sinne pädagogischer Zielvorstellungen ausgewählt und präzisiert worden sind“. Erst wenn „ein ‘Inhalt’ oder ‘Gegenstand’ [...] unter einer pädagogischen Zielvorstellung, einer als relevant erachteten Fragestellung für die Behandlung im Unterricht ausgewählt wird, wird er zum ‘Thema’“ (Klafki 1985, S. 66).

buchs ‘Lehrstoff’ zu vermitteln. In Deutschland dagegen erlaubt der Berufsstand des Lehrers inhaltliche Freiheiten bei der konkreten Ausgestaltung der Lehrplanvorgaben.

Ein grundlegender und zum Verständnis derzeitiger, deutscher Bildungsreformbemühungen essenzieller Unterschied zwischen beiden Traditionen ist die Frage, wonach sich ‘guter’ Unterricht bemisst. In Tabelle 4 findet sich eine knappe Unterscheidung: In der angelsächsischen Tradition zählen demnach ‘Ruf’ und ‘Schülerleistung’ als Messpunkte eines guten Unterrichts, die Didaktik-Tradition stütze sich dagegen auf ‘Standesgemäßheit’ und ‘Unterrichtsverlauf’. In der hiesigen, aktuellen Diskussion rund um Kompetenzen, Kerncurricula, Bildungsstandards und zentrale Leistungstests hat man nun eindeutig (auch sprachlich erkennbar) die angelsächsische Position übernommen: Beim ‘Bildungsmonitoring’ wird künftig auf ‘Output’ gesetzt; Kerncurricula sichern dabei als Rahmenvorgaben einen standardisierten ‘Input’:

[...] ihrer Funktion nach setzen Bildungsstandards am Output an, für den sie Vorgaben spezifizieren, Kerncurricula hingegen am Input, d. h. an der Auswahl der Inhalte und Themen und der Gestaltung von Lehr-Lernprozessen. (Klieme *et al.* 2003, S. 95)

Während sich das ‘Input’-System sicherlich dem Problem der „Erweisbarkeit“ (Klafki 1985, S. 223) stärker widmen muss, muss sich ein ‘Output’-System indessen befragen lassen, welches Verständnis von Allgemein- bzw. Grundbildung den Bildungsstandards zugrunde liegt, denn „Bildungsstandards, die ihren Namen verdienen, müssen [...] mehr erfassen als nur Fachleistungen“ (Brügelmann 2004, S. 417). Ansonsten sollte man sie auch ehrlicherweise als ‘fachbezogene Leistungsstandards’ bezeichnen (ebd., S. 433; Heymann 2004, S. 8). Sehr positiv ist daher, dass die Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Disziplinen neben Fachwissen auch *gleichberechtigt* ‘Erkenntnisgewinnung’, ‘Kommunikation’ und ‘Bewertung’ als Kompetenzfelder angeben (vgl. z. B. KMK 2005b).

Allerdings ist die Rede von Kompetenzen nicht unproblematisch, weil einerseits in unserer Alltagssprache eine trennscharfe Abgrenzung zu Qualifikationen, Fähigkeiten oder Können kaum besteht, und andererseits, weil zahlreiche und häufig verwendete Determinativkomposita (z. B. Handlungs-, Methoden-, Schlüssel-, Sozialkompetenz etc.) je eigene Bedeutungsfelder aufwerfen. Die im schulischen Bereich prominenteste Kompetenz-Definition, auf die sich auch die Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards stützt (Klieme *et al.* 2003, S. 21, 72), stammt von WEINERT. Danach sind Kompetenzen

[...] die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können. (Weinert 2001, S. 27f.)

Kompetenzen sind nach dieser Begriffsbestimmung *bereichsspezifisch*, denn mit ihrer Hilfe lassen sich nur „bestimmte Probleme“ lösen. Gleichwohl müssen sie *flexibilisierbar* sein, um

in „variablen Situationen“ einsetzbar zu sein.<sup>25</sup> Überdies sind sie *ganzheitlich aktivierend*, da mit ihnen auch die „motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften“ eines Individuums verbunden sind, man also nicht nur *handlungsfähig* ist und entsprechende Handlungsabsichten äußert, sondern tatsächlich auch *handlungsbereit* ist und somit Handlungen ausführt. Denn Kompetenzen sind – im Gegensatz zu Qualifikationen – „Selbstorganisationsdispositionen“ (Erpenbeck & Rosenstiel 2003, S. XI) und umfassen damit *auch* selbstorganisiertes, kreatives Handeln, nicht nur mechanisch abrufbares Wissen und spezielle Fertigkeiten. ‘Kompetent sein’ in z.B. der naturwissenschaftlichen Domäne meint dann, nicht nur ein Verständnis von naturwissenschaftlichen ‘Konzepten’ zu haben sowie naturwissenschaftliche ‘Prozesse’ zu beherrschen, sondern diese in ‘Situationen’ auch tatsächlich flexibel anzuwenden (Deutsches PISA-Konsortium 2000, S. 10, 16f.). Dazu bedarf es, wie WEINERT (1998) an anderer Stelle ausführt, eines *intelligenten* Wissens: Darunter versteht er „ein wohlorganisiertes, disziplinar, interdisziplinär und lebenspraktisch vernetztes System von flexibel nutzbaren Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kenntnissen und metakognitiven Kompetenzen“ (ebd., S. 113). Dieses System lässt sich wiederum ausdifferenzieren in *deklaratives* Wissen (Wissen über Sachverhalte), *prozedurales* Wissen (Wissen um Verfahrensweisen und Fertigkeiten; z. T. noch unterteilt in strategisches und heuristisches Wissen) und die *Fähigkeit zur Selbsteinschätzung* bezüglich seiner Kompetenzen (vgl. auch Kapitel 4.2.3). Gerade der Aspekt des *tatsächlichen* Handlungsvollzugs ist allerdings bei allen Kompetenzmodellen ein recht hehres und schulisch nicht nur schwer einlösbares, sondern auch kaum testbares Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts. SCHECKER & PARCHMANN (2006) vermerken dazu treffend:

Ein Grund liegt sicherlich in der schwierigen Frage, wie man mit vertretbarem Aufwand Motivation und Handlungsbereitschaft in quantitativen Studien mit großen Probandengruppen in bestimmten Anforderungssituationen zusammen mit den erforderlichen kognitiven Komponenten standardisiert erfasst. Solche Tests werden zudem nicht in realen Anforderungssituationen durchgeführt, sondern in fiktiven Situationen. Ein Schüler, der eine Aufgabe zum elektrischen Stromkreis bearbeitet, tut dies in der Testsituation nicht, um einem realen Fehler seiner Fahrradbeleuchtung nachzuspüren, sondern um die Testaufgabe zu lösen. Es bleibt also offen, ob er in einer entsprechenden realen Anforderungssituation motiviert und willens sein wird, sein Wissen über Stromkreise anzuwenden, um das Problem zu lösen, auch wenn er über die entsprechenden Fähigkeiten verfügt. Für empirische Studien sollte daher genau ausgewiesen werden, welche Aspekte der Weinertschen Definition erfasst werden sollen und können. (Ebd., S. 46)

Selbst das PISA-Konsortium weicht vermutlich deshalb inzwischen auf den Begriff „Potential“ (PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 37) aus.

---

<sup>25</sup> Damit hat sich freilich die Idee allgemeiner, bereichsübergreifender Kompetenzen wie Sozial- oder Methodenkompetenz nicht gänzlich erledigt, denn diese stellen logisch höhere „Kompetenzklassen“ (Erpenbeck & Rosenstiel 2003, S. XVI) dar, die – nun allerdings domänenspezifisch – ausgefüllt werden müssen.

Der Ruf einer Schule und die dortigen Schülerleistungen mögen auf den ersten Blick recht einsichtige Kriterien für guten Unterricht und gute Schulentwicklung darstellen. Bei genauerer Betrachtung sind es aber auch vereinfachende Merkmale, denn *testbare* Leistungen bei *allen* Schülern, wie sie in den Bildungsstandards formuliert sind, können letztlich nur quantifizierend erhoben werden, und zwar unter Ausblendung der Handlungsbereitschaft und des tatsächlichen Handlungsvollzugs. Damit ist aber der Erfassungsbereich zugunsten einer größeren Validität naturgemäß klein. Dass damit dann z.B. sozialetische Aufgaben von Schule – HEYMANN (1996, S. 129) spricht von „Entfaltung des Menschlichen“ – vernachlässigt werden müssen, liegt auf der Hand.

Aufgrund der Output-Orientierung muss es sich bei dem zu erwerbenden Wissen um anwendbares, ‘flüssiges’ Wissen handeln, was sicherlich positiv ist. Problematisch an definierten, für alle Schüler verbindlichen Kompetenzkatalogen ist jedoch, dass *individuelle Lernvoraussetzungen* und *-wege* der Schüler notwendig ausgeblendet werden müssen und dadurch der Bildungsprozess vernachlässigt wird. BRÜGELMANN (2005) plädiert daher mit guten Gründen dafür, nicht nur definierte Standards abzutesten, sondern vor allem auch *Lernzuwächse* zu beachten (ebd., S. 277), wie dies z.B. durch Verbalbeurteilungen statt oder zumindest ergänzend zu Ziffernnoten möglich ist (vgl. auch Brügelmann *et al.* 2006). Ähnliches kritisiert MESSNER (2003): Die derzeitigen, vorwiegend output- und kontrollorientierten Blicke auf Schule würden keine nun notwendigen Diskussionen „über die in der Konsequenz von PISA anzustrebenden Handlungsformen und *Prozessqualitäten* schulischer Bildung anstoßen“ (ebd., S. 401; Hervorheb. V.H.). Wie schwierig es ist, überhaupt allgemeingültige Gütekriterien ‘guten’ Unterrichts zu benennen, die sich auf den *gesamten* Unterrichtsprozess und damit auf den Input beziehen, wird bei MEYER (2004, S. 11ff.) deutlich, wenn er über eine angemessene Arbeitsdefinition für ‘guten’ Unterricht nachdenkt. So interessant seine zehn herauspräparierten Merkmale sind, so schwierig sind sie in ihrer Gesamtheit zu evaluieren. Hier liegt demgegenüber ohne Frage der Vorteil eines auf Output und somit Wissensausgabe bedachten Schulsystems. Allerdings gibt es keine durch empirische Studien abgesicherten Gründe für eine generelle Über- oder Unterlegenheit eines Input- oder Output-Systems. Daher bleibt fraglich, ob zentrale Leistungsüberprüfungen tatsächlich standardsichernd wirken. Empirisch belegt werden kann dies offenbar nicht (Brügelmann 2005, S. 279f.). Im Rahmen von TIMSS/III wurden beispielsweise auch Effekte eines zentral versus dezentral organisierten Abiturs verglichen: Jedoch lassen „die Befunde keinen Schluss auf die Überlegenheit der einen oder anderen Organisationsform der Abiturprüfung zu“ (Baumert & Watermann 2000, S. 350). Ferner wird bei Lernstandserhebungen selten bedacht, dass Lernen als individueller Prozess weder plan- noch steuerbar ist und daher Schule auch kein Ort der Belehrung und Bekehrung sein kann (Brügelmann 2005, S. 274). Folglich ist schulischer Unterricht nur *ein* Aspekt unter vielen, auf den ein hoher oder geringer ‘Output’ deduzierbar wäre (vgl. Meyer 2004, S. 19, 155f.).

Eine Orientierung am Output darf daher letztlich nicht dazu führen, dass die Qualität des Inputs vernachlässigt wird, wie HEYMANN (2004, S. 8) zurecht anmahnt. Dies sehen auch PARCHMANN & KAUFMANN (2006) so, wenn sie herausstellen, dass Standards die Möglichkeit bieten, „von zu erreichenden Zielen rückwärts zu denken und Strukturen für eine kontinuierliche Erarbeitung der genannten Kompetenzen zu entwickeln“ (ebd., S. 4f.). Bildungsstandards bieten jedoch letztlich nicht nur die genannte ‘Möglichkeit’, sondern sie bedürfen umgekehrt sogar *notwendig* einer unterrichtlichen Umsetzung und damit auch wiederum einer Initiierung von Lernprozessen unter Beachtung individueller Lernwege (vgl. ebd., S. 7f.). Im Grunde zeigt dies, dass In- und Output natürlich einander bedingen und es eher um die Frage einer sinnvollen Akzentuierung gehen müsste: Will man eine Schulentwicklung ‘von oben’ oder eine Individualisierung ‘von unten’ (vgl. Brügelmann 2004)?

Der folgenreichste Unterschied zwischen der Curriculum-Tradition und der Didaktik-Tradition liegt daher in der Begründungsebene, die im angelsächsischen Raum pragmatisch im Sinne einer kompetenten Teilhabe an der Gesellschaft gesehen wird, in Deutschland bis dato eher idealistisch-normativ im Sinne der Mündigkeit des Individuums. Mündigkeit lässt sich jedoch schwer operationalisieren und damit auch schlecht evaluieren: Bei der Konzeption der PISA-Studie hat man daher auf das Curriculum-Modell zurückgegriffen und im naturwissenschaftlichen Bereich für die Evaluation ein wohldefiniertes Kompetenzkonzept zugrunde gelegt: *scientific literacy*. Auch die Bildungsstandards, die nach KLIEME *et al.* (2003, S. 27) ein Mindestergebnis von Unterricht als ‘Output’ formulieren sollten, nutzen dieses Konzept. Die Kultusministerkonferenz hat sich jedoch entschieden, „zunächst Regelstandards zu definieren“ (KMK 2005a, S. 14f), die ein mittleres Anforderungsniveau benennen. Niemand kann jedoch wirklich begründen, „auf welchem Niveau notwendige Basisqualifikationen zu definieren sind“ (Brügelmann 2005, S. 277). Daher bleibt zu klären, welchen Umfang der Wissens Kern einer Domäne hat und wo dessen sicherlich nicht scharf begrenzten Ränder sind. Dies darzulegen möchte das Konzept *scientific literacy* leisten.

### 2.2.5 *Scientific Literacy* – ein umfassendes, kompetenzbasiertes Konzept

Seit den 1950er Jahren haben nicht nur die Vereinigten Staaten den Naturwissenschaften im Unterricht einen prominenteren Platz als bisher zugewiesen, es sind auch enorme Interventionen und damit verbunden Investitionen im naturwissenschaftlichen Bereich getätigt worden: HODSON (2003), langjähriger Direktor des *Centre for Science, Mathematics and Technology Education* am *Ontario Institute for Studies in Education*, Toronto, zählt einschlägige Maßnahmen auf:

‘Being a Scientist for a Day’ (from the early Nuffield science projects in the United Kingdom), ‘Learning by Doing’, ‘Process, not Product’, ‘Science for All’, ‘Less is More’, ‘Children Making Sense of the World’ and ‘Science as a Way of Knowing’. (Ebd., S. 645)

Ein neuer Slogan, so HODSON weiter, habe sich spätestens seit 1990 im bildungspolitischen Diskurs der USA etabliert und bis heute gehalten: *scientific literacy*. Rekuriert wird dabei primär auf US-amerikanische Bildungsreformdokumente der AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (AAAS). Im Rahmen des *Project 2061*<sup>26</sup> wurde dort zunächst das Programm *Science for all Americans* aufgelegt (Rutherford & Ahlgren 1990), in dem die Kenntnisse und Fähigkeiten definiert sind, die *alle* High-School-Abgänger in Naturwissenschaften, Mathematik und Technik haben sollten. Auf alle Jahrgangsstufen ausgedehnt wurde dies durch die Einführung von *Benchmarks for Science Literacy* (AAAS 1993) und schulgerecht aufbereitet vom NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996; 2000) (oftmals abgekürzt mit NRC) in Form nationaler Standards für das Lehren und Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Das Ziel: Eine Gesellschaft, die das Attribut *scientific literate* verdient. Der Ausdruck ist zwar bereits seit den 1950er Jahren Gesprächsthema im wissenschaftlichen Diskurs (vgl. Bybee 2002; Hodson 2005; Hurd 1958, 1998; Laugksch 2000; Wenning 2006, S. 4ff.), er wurde jedoch erst im Zuge oben genannter, emphatischer Bildungsreformbemühungen in den 1990er Jahren begrifflich genauer ausdifferenziert und einer breiten US-amerikanischen Öffentlichkeit bekannt. Spätestens seit der PISA-Studie ist auch in Deutschland nicht nur eine kommunikative Anschließbarkeit dieses Ausdrucks gegeben, ‘naturwissenschaftliche Grundbildung’, so die gängige, deutsche Übersetzung, wird als basale Kompetenz verstanden und ist daher mittlerweile Cantus firmus auch hiesiger curricularer Überlegungen im naturwissenschaftlichen Bereich (vgl. z. B. Fuchs 2003, S. 173f.; Harms *et al.* 2004, S. 35ff.; KMK 2005a, S. 14; Melle *et al.* 2004, S. 86ff.; Schecker *et al.* 2004, S. 160ff.). Allerdings ist die Idee einer *scientific literacy* nicht mit wenigen Worten zu umreißen und daher nicht unproblematisch:

Although the attainment of scientific literacy has been almost universally welcomed as a desirable goal, there is still little clarity about its meaning [...] and little agreement about precisely what it means in terms of curriculum provision. (Hodson 2003, S. 645)

Zwar sind viele Termini, gerade auch im schulischen Bereich, nicht eindeutig definiert – auf die Vagheit der Wörter Didaktik oder Bildung wurde bereits verwiesen –, jedoch dienen diese auch nicht als vergleichende Messpunkte guten Unterrichts, wie dies bei PISA

<sup>26</sup> Das *Project 2061* setzt sich für eine nachhaltige Erziehung im naturwissenschaftlichen Bereich ein und nutzt dazu symbolisch den periodisch in Erdnähe zu sehenden Kometen Halley als Namenspaten: Zuletzt gesehen wurde der Komet im Gründungsjahr des Projekts, 1985. Erneut in Erdnähe erwartet wird er im Jahre 2061. Neben diesem Projekt der AAAS hat auch die *National Science Teacher Association* (NSTA) ein Programm mit dem Akronym SS&C (*Scope, Sequence, and Coordination*) aufgelegt, welches den STS-Ansatz (*Science, Technology, and Society*) verfolgt und stärker fachunterrichtsbezogen ist (vgl. Yager 1997). Mittlerweile stützen sich beide Projekte jedoch auf die *National Science Education Standards* (NSES) des NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996).

der Fall ist. Eine genaue Bestimmung des Bedeutungsumfangs, wie sie die OECD vorgenommen hat, ist daher unerlässlich.

Die oben zitierte Äußerung von HODSON legt es meines Erachtens nahe, vor einer knappen Definition zunächst den Spielraum des Bedeutungsumfangs auszuloten, um sich möglicher Konnotationen bewusst zu werden sowie Möglichkeiten und Grenzen des Konzepts zu erfassen. Während z.B. HODSON (ebd., S. 645), LAUGKSCH (2000, S. 71) und SHAMOS (1995, S. 86f., 160) eine definitorische Unschärfe des Terminus beklagen, geht BYBEE (2002, S. 23) dagegen davon aus, „daß der Begriff Scientific Literacy tatsächlich umfassend und erschöpfend definiert worden ist“ – die Definitionen müssten lediglich zur Kenntnis genommen werden. Weil aber eben diese Begriffsbestimmungen je nach Zeit und vor allem auch je nach definierenden Interessengruppen recht unterschiedlich sind, wie LAUGKSCH (2000, S. 75f.) zeigt, kann *scientific literacy* als Begriff durchaus erschöpfend definiert sein, als Ausdruck<sup>27</sup> ist er dagegen kommunikativ vielfältig anschließbar, selbst jenseits enger, schulischer Grenzen. Dies liegt daran, dass man sich bei der Forderung nach *literacy* im angelsächsischen Diskurs nach LAUGKSCH auf drei unterschiedlichen Bedeutungsebenen bewege: „literate as learned; literate as competent; and literate as able to function minimally in society“ (ebd., S. 82). Wird als Adressat hauptsächlich der Einzelne und als Ziel das Erlernen naturwissenschaftlicher Inhalte (*content*) gesehen, verwendet man *literate* im Sinne von ‘belesen/erlernt’ (*learned*). Beachtet man dabei, dass Wissen domänenspezifisch ist und anwendbares Wissen einen Kontext erfordert, verwendet man das Wort *literate* im Sinne von ‘befähigt’ (*competent*). Weitert man dagegen den Blick und sieht als Nutznießer vorrangig die Gesellschaft, wird *literacy* zur ‘Bürgerpflicht’ (*able to function minimally in society*).

Weil die Palette an Ausdrucksbedeutungen von *scientific literacy* ersichtlich breit ist, ist es meines Erachtens sinnvoll, nicht auf eine deutsche Übersetzung auszuweichen, weil diese unweigerlich als Ausdruck neue Kontexte des Meinens und Verstehens evoziert. Stattdessen stelle ich nachfolgend die prominentesten und für Unterricht einflussreichsten Positionen kurz vor, um die in dieser Studie genutzte Sichtweise im Anschluss daran deutlicher profilieren zu können.

---

<sup>27</sup> Ich beziehe mich hier erneut auf die Konzeption einer ‘Ausdrucksbedeutung’ nach FEILKE (1994a, 1994b; vgl. auch Fußnote 22 in Kapitel 2.2.4), bei der ein Ausdruck nicht als Denotat auf ein Referenzobjekt oder eine Referenzidee verweist, sondern auf eine kommunikativ verdichtete Routine. Daher birgt ein Ausdruck ein enormes Inventar sozialen Wissens bei Kenntnis *sonobl* der konstitutiven Regeln *als auch* der bevorzugten Wortwahl. Dieses Doppelspiel von kontingentem Spielraum und typischer, semantischer Präferenz sei konstitutiv beim Meinen und Verstehen und ermögliche erst eine Anschließbarkeit von Kommunikation an Kommunikation (Feilke 1994a, S. 155f., 373ff.). Daraus folgt dann auch: „Für die Kommunikation relevant ist, was *gesagt* wird, nicht primär, was *gemeint* ist“ (ebd., S. 75; Hervorheb. i. O.). Wer geprägte Ausdrücke wie *scientific literacy* gebraucht, überantwortet diese daher quasi der kommunikativen Praxis – eine vom Sprecher intendierte und somit für ihn *präferente* Ausdrucksbedeutung könnte dann aber auch eine beim Hörer bloß *mögliche* Nebenbedeutung sein.

Für den Bereich Schule und Unterricht ist in den USA die in den *National Science Education Standards* (NSES) – dem amerikanischen Pendant unserer Bildungsstandards – gegebene Definition maßgeblich, die sich wiederum *expressis verbis* auf die Begriffsbestimmung der AAAS (Rutherford & Ahlgren 1990) stützt:

An essential aspect of scientific literacy is greater knowledge and understanding of science subject matter, that is, the knowledge specifically associated with the physical, life, and earth sciences. Scientific literacy also includes understanding the nature of science, the scientific enterprise, and the role of science in society and personal life. [...] Scientific literacy is the knowledge and understanding of scientific concepts and processes required for personal decision making, participation in civic and cultural affairs, and economic productivity. (National Research Council 1996, S. 21f.)

Essenziell bei dieser Definition ist die Unterscheidung zwischen naturwissenschaftlichen Inhalten (*science subject matter*) und naturwissenschaftlichen Prozessen (*processes*), wie in Tabelle 5 im Überblick dargelegt. Inhalte können hier als Fakten (*knowledge*) und Denkmodelle/Begriffsinventar (*concepts*) der naturwissenschaftlichen Disziplinen gefasst werden, wie sie in Lehrbüchern tradiert werden. Naturwissenschaftliche Prozesse umfassen einerseits ein Verfahrenswissen über Wege wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (*scientific enterprise*), aber auch ein wissenschaftssoziologisches (*role of science in society and personal life*) sowie grundlegendes wissenschaftstheoretisches Verständnis (*nature of science*). Erst beides zusammen – Inhaltswissen und Prozesswissen – kann nach dieser Definition als *scientific literacy* bezeichnet werden. ‘Literate’ wird vom NRC daher offensichtlich sowohl im Sinne von ‘befähigt’ (*competent*) als auch im Sinne von ‘Bürgerpflicht’ (*able to function minimally in society*) verstanden. Letzteres wird besonders deutlich, wenn man sich das in den *Standards* genannte Hauptziel vergegenwärtigt: „The *National Science Education Standards* are designed to guide our nation toward a scientifically literate society“ (ebd., S. 11; Hervorheb. i. O.).

<b>Scientific Literacy</b>	
<b><u>Naturwissenschaftliche Inhalte</u></b> <i>(science subject matter)</i>	<b><u>Naturwissenschaftliche Prozesse</u></b> <i>(processes)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Faktenwissen</b> <i>(knowledge)</i></li> <li>• <b>Denkmodelle/Theorien/Begriffe</b> <i>(concepts)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Verfahrenswissen</b> <i>(scientific enterprise/inquiry)</i></li> <li>• <b>Beurteilungskompetenz</b> <i>(role of science in society and personal life)</i></li> <li>• <b>Metawissen über Naturwissenschaften</b> <i>(nature of science)</i></li> </ul>

**Tabelle 5:** Bedeutungsumfang von *scientific literacy*. (Vgl. National Research Council 1996, S. 22f.)

Bei dieser Sichtweise ist offenkundig, dass sich auf ein konkret bestimmbares Vermögen eines Individuums als Ziel bezogen wird, kurzum: *scientific literacy* wird funktionalistisch als *Kompetenz* betrachtet. Was aber bedeutet es und vor allem wie äußert es sich, wenn eine

Person im Bereich der Naturwissenschaften als ‘literate’ bzw. als kompetent bezeichnet werden kann? Das NRC liefert dazu eine Fülle an operationalisierbaren Kompetenzen:

Scientific literacy means that a person can ask, find, or determine answers to questions derived from curiosity about everyday experiences. It means that a person has the ability to describe, explain, and predict natural phenomena. Scientific literacy entails being able to read with understanding articles about science in the popular press and to engage in social conversation about the validity of the conclusions. Scientific literacy implies that a person can identify scientific issues underlying national and local decisions and express positions that are scientifically and technologically informed. A literate citizen should be able to evaluate the quality of scientific information on the basis of its source and the methods used to generate it. Scientific literacy also implies the capacity to pose and evaluate arguments based on evidence and to apply conclusions from such arguments appropriately. (Ebd., S. 22)

Zur Beschreibung von *scientific literacy* werden demnach vornehmlich naturwissenschaftliche Prozesse genannt, z. B.:

- naturwissenschaftliche Fragen aufwerfen und beantworten
- natürliche Phänomene beschreiben, erklären und vorhersagen
- naturwissenschaftliche Fragestellungen erkennen, die nationalen und lokalen Entscheidungen zugrunde liegen, und dazu naturwissenschaftlich und technologisch fundiert Stellung beziehen
- den Gehalt naturwissenschaftlicher Aussagen quellen- und methodenkritisch hinterfragen
- auf der Basis von Belegen Hypothesen entwickeln, angemessene Schlussfolgerungen ziehen und diese kommunizieren

Verstanden als Kompetenz äußere sich *scientific literacy* aber nicht nur prozess-, sondern auch inhaltsbezogen, d.h. sowohl in der Anwendung naturwissenschaftlicher Theorien und Prozesse als auch im angemessenen Gebrauch eines Fachvokabulars. Um das Ziel für alle zu verwirklichen, benennen die US-amerikanischen Bildungsstandards acht Kompetenzbereiche, in denen Wissen im naturwissenschaftlichen Unterricht erworben werden soll (ebd., S. 104). Grundlegend sind dabei ‘fächerverbindende, naturwissenschaftliche Basiskonzepte und Prozesse’ (*unifying concepts and processes in science*), die aus den Bereichen Physik, Bio- und Geowissenschaften, Weltraumforschung, angewandte Technik sowie lebensweltlich und sozial bedeutsamer naturwissenschaftlicher Aspekte stammen. Als zu erwerbende Methode wird ‘forschendes Arbeiten’ (*science as inquiry*) genannt. Neben historischen Kenntnissen kommt als methodologisches Wissen eines um ‘Charakteristika von Naturwissenschaften’ (*nature of science*) hinzu.

Wird *scientific literacy* als erreichbares Ziel von Unterricht angesehen, herrscht im deutschen (vgl. Duit *et al.* 2001, S. 171) wie im US-amerikanischen Diskurs weitgehend Einigkeit über eben jenes Zusammenspiel von Inhalts- und Prozesswissen, wobei freilich individuelle Schwerpunkte gesetzt werden. Dies zeigt z.B. eine qualitative Studie von KEMP (2002): In Leitfadenterviews konnten neun (anonymisierte) US-amerikanische Hochschuldozenten, die über eine Reputation im Bereich *scientific literacy* verfügen, ihre Sichtwei-

sen zu diesem Thema darlegen. Die Auswertung nach dem Verfahren der *grounded theory* lieferte – freilich recht grob gesprochen – das Ergebnis, dass alle Dozenten *scientific literacy* für ein wichtiges, aber auch komplexes Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts halten. Ihre Argumentationsbasis ist zwar nicht einheitlich, lässt sich aber formal in drei Kategorien unterteilen (ebd., S. 259f.): *personal*, *practical* und *formal scientific literacy*. „Personal Scientific Literacy“ bezieht sich mehr auf die Inhaltsebene und hat ein naturwissenschaftlich breit belesenes und kompetentes Individuum im Blick. „Practical Scientific Literacy“ weist ein mit naturwissenschaftlichen Basiskonzepten vertrauter Mensch auf, der in der Lage ist, Naturwissenschaften im Alltag anzuwenden und sich selbsttätig erforderliche Informationen zu beschaffen. Damit wird hier eindeutig die Prozessebene angesprochen. Die Idee einer „Formal Scientific Literacy“ vereint „personal“ und „practical“ *scientific literacy* und verbindet damit die Ebene der naturwissenschaftlichen Inhalte mit der der naturwissenschaftlichen Prozesse. Allerdings kann dieses Zusammenspiel durchaus auf unterschiedlichen Niveaus erfolgen, wie BYBEE (1997; 2002), einer der Hauptverantwortlichen bei der Entwicklung der NSES, ausführt:

Eingedenk eines lebenslangen Lernens könne *scientific literacy* nicht mit einem einfachen, dualistischen Modell beschrieben werden, bei dem eine Person entweder als *literate* gelte oder nicht. BYBEE geht vielmehr von einer in Breite und Tiefe gestaffelten *scientific and technologic literacy* aus, die neben einem Stadium der *illiteracy* vier weitere Stufen<sup>28</sup> bzw. Ebenen umfasst (vgl. Bybee 1997, S. 56-61; siehe Tabelle 6). Diese Ebenen sind hierarchisch gegliedert. Das heißt aber nicht, im schulischen Unterricht sukzessiv vorzugehen, sondern vielmehr immer eine „angemessene Balance“ (Bybee 2002, S. 30) zwischen diesen Ebenen anzustreben.

Die Zuschreibung einer „nominalen Scientific Literacy“ auf der untersten Ebene kann auch als ein „Scheinverständnis“ (ebd., S. 25) bezeichnet werden, weil auf dieser Stufe Termini und Ideen lediglich mit Naturwissenschaften assoziiert, nicht jedoch wirklich verstanden werden. Wer dagegen ein „Vokabelwissen“ (ebd., S. 26) aufweist und daher in der Lage ist, Fachbegriffe korrekt zu reproduzieren, bewegt sich im Bereich „funktionale Scientific Literacy“. Kann dieses Vokabelwissen situativ angemessen und sachlich richtig angewandt und daher auf fundamentale Theoriekonzepte bezogen werden, ist nach BYBEE die „konzeptionelle“ Ebene erreicht. Unter „prozedurale Scientific Literacy“ fasst BYBEE einerseits naturwissenschaftliche Prozesse bzw. Fertigkeiten wie z. B. beobachten oder Experimente planen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Jedoch sind damit auch *kognitive* Prozesse gemeint, wie „die Anwendung von Logik, Evidenz und existierendes Wissen“ (ebd., S. 28).

---

<sup>28</sup> SCHECKER & PARCHMANN (2006, S. 51) schlagen gut begründet vor, statt des Wortes ‘Stufe’ lieber den Terminus ‘Ausprägung’ zu verwenden, weil dieser keine Wertigkeit und Schrittfolge impliziere. In der einschlägigen Literatur hat sich jedoch die bildhaftere Rede von ‘Stufen’ etabliert.

---

*Nominale Scientific Literacy*

- Identifiziert Begriffe und Fragen als naturwissenschaftlich, zeigt jedoch falsche Themen, Probleme, Informationen, Wissen oder Verständnis.
- Falsche Vorstellungen von naturwissenschaftlichen Konzepten und Prozessen.
- Unzureichende und unangemessene Erklärungen naturwissenschaftlicher Phänomene.
- Aktuelle Äußerungen zur Naturwissenschaft sind naiv.

*Funktionale Scientific Literacy*

- Verwendet naturwissenschaftliches Vokabular.
- Definiert naturwissenschaftliche Begriffe korrekt.
- Lernt technische Ausdrücke auswendig.

*Konzeptionelle und prozedurale Scientific Literacy*

- Versteht Konzepte der Naturwissenschaft.
- Versteht prozedurales Wissen und Fertigkeiten in der Naturwissenschaft.
- Versteht Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen einer naturwissenschaftlichen Disziplin und konzeptionelle Struktur.
- Versteht die grundlegenden Prinzipien und Prozesse der Naturwissenschaft.

*Multidimensionale Scientific Literacy*

- Versteht die Besonderheiten der Naturwissenschaft.
  - Unterscheidet Naturwissenschaft von anderen Disziplinen.
  - Kennt Geschichte und Wesen der naturwissenschaftlichen Disziplinen.
  - Begreift Naturwissenschaft in einem sozialen Kontext.
- 

**Tabelle 6:** Dimensionen von *scientific literacy*. (Aus: Bybee 2002, S. 31)

Auf der höchsten Stufe, die BYBEE „multidimensionale Scientific Literacy“ nennt, werden naturwissenschaftliche Erkenntnisse und das Treiben von Naturwissenschaften auch als Teil unserer kulturellen Praxis<sup>29</sup> erkannt und wertgeschätzt, wie dies bereits in Kapitel 2.1.1 angesprochen wurde. Dazu bedarf es neben der Kenntnis des Fachvokabulars, der Theoriekonzepte sowie der Methoden und Wege der Erkenntnisgewinnung auch eines Metawissens und einer Reflexion *über* Naturwissenschaften. Dies impliziert eine Kenntnis der Historizität der Naturwissenschaften (*history of scientific ideas*), ein Verständnis ihrer sozialen Funktion innerhalb der Gesellschaft<sup>30</sup> (*role of science and technology in personal life and society*), ein Wissen um „das Wesen von Naturwissenschaft und Technik“ (ebd., S. 29) (*nature of science and technology*) sowie eines um „Grenzen und Möglichkeiten der Naturwissenschaften“ (ebd., S. 30).

---

<sup>29</sup> Dass Naturwissenschaften und naturwissenschaftliches Wissen nicht universell, zeitlos und objektiv sind, sondern als Produkt des Hier und Jetzt auch kulturell bestimmt werden und daher keine allzeit gesicherten Erkenntnisse liefern, ist eine mittlerweile breit akzeptierte Sichtweise (vgl. z.B. Buck 1995a; Hodson 2003, S. 647). Wird dieser Blickwinkel jedoch ‘methodisch-kulturalistisch’ radikalisiert und streng ‘durchdekliniert’ (Janich 1994; 1997; Psarros 1999), wird man weder einem Alltagsverständnis von ‘Natur’ und ‘Kultur’, noch einer fachwissenschaftlichen Perspektive gerecht (vgl. Stork 1994 sowie Kapitel 3.2.1).

<sup>30</sup> Die soziale und damit auch politische Seite betonen z. B. HODSON (2003) und HURD (1998). Beide plädieren für eine stärkere Beachtung authentischer und gesellschaftsrelevanter technischer Prozesse, denn *scientific literacy* sei unauflöslich mit einer *political literacy* verbunden (Hodson 2003, S. 660). HURD (1998) möchte daher ein fächerverbindendes „lived curriculum in science/technology“ (ebd., S. 412) implementieren.

Bei der Konzeption der PISA-Studie hat die ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (1999), ähnlich wie die AAAS, ein naturwissenschaftliches Verständnis im Blick, welches *alle* Schüler entwickeln sollten, nicht nur angehende Naturwissenschaftler. Die funktionalistische PISA-Definition von *scientific literacy* – bezogen auf die Jahre 2000 und 2003 – lehnt sich an die Konzeption von BYBEE an (Deutsches PISA-Konsortium 2000, S. 66; Rost *et al.* 2004, S. 111). Dessen vierte Stufe findet keine Beachtung, die zweite und dritte Stufe werden allerdings weiter ausdifferenziert. Übersetzt wird die Wendung mit ‘naturwissenschaftliche Grundbildung’ und definiert als

[...] die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, die die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen. (Deutsches PISA-Konsortium 2000, S. 66)

Auch hier zeigt sich, dass ‘Grundbildung’ als Kompetenz verstanden wird, um in sogenannten ‘Situationen’ agieren zu können. Dazu müsse man ein Verständnis von naturwissenschaftlichen ‘Konzepten’ haben sowie naturwissenschaftliche ‘Prozesse’ beherrschen (ebd., S. 10, 16f.). Analog zu den Standards des NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) wird also ebenfalls eine heuristische Unterscheidung zwischen naturwissenschaftlichen Inhalten und naturwissenschaftlichen Prozessen getroffen. Das PISA-Konsortium betont dabei, dass sich Prozesse und Inhalte komplementär verhalten, da Prozesse ohne Inhalte nicht denkbar seien, denn freilich „setzt die Anwendung von naturwissenschaftlichen Prozessen notwendigerweise ein gewisses Verständnis naturwissenschaftlicher Inhalte voraus“ (Deutsches PISA-Konsortium 2000, S. 66). Mit „Inhalten“ ist auch hier kein bloßes Faktenwissen gemeint, sondern ein „Verständnis von grundlegenden naturwissenschaftlichen Konzepten, von den Grenzen des naturwissenschaftlichen Wissens und von den Besonderheiten der Naturwissenschaften als ein von Menschen betriebenes Unterfangen“ (ebd.). Die Inhalte bzw. Konzepte stellen somit kein verinseltetes, fachwissenschaftliches Repertoire dar, sondern sind alltagsrelevante, bedeutsame theoretische Modellierungen wie z. B. „Energieumwandlung“, „Teilchenkonzept“, „Atmung und Fotosynthese“ (Rost *et al.* 2004, S. 126) – man zielt also auf die sogenannten „Big Ideas“ (ebd., S. 112) der Naturwissenschaften, wie dies bereits in den 1960er Jahren diskutiert wurde (Shamos 1963). Demgegenüber sind Prozesse

[...] mentale (und manchmal physische) Handlungen, die beim Konzipieren, Erheben, Interpretieren und Anwenden von Belegen oder Daten ausgeführt werden, um Wissen oder Verständnis aufzubauen. [...] zu *naturwissenschaftlichen Prozessen* werden sie, wenn der Inhalt mit naturwissenschaftlichen Aspekten der Welt zu tun hat und ihre Anwendung zu einer Erweiterung des naturwissenschaftlichen Verständnisses führt. (Deutsches PISA-Konsortium 2000, S. 68; Hervorheb. i. O.)

Naturwissenschaftliche Prozesse werden demzufolge – wie auch beim NRC – zunächst unterschieden in handwerkliche Prozesse *in* den Naturwissenschaften (verstanden als naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten bzw. als Verfahrenswissen) und in kognitive *über*

Naturwissenschaften (z. B. induktiv oder deduktiv schlussfolgern, diskursiv und vernetzt denken, Daten mathematisieren und/oder graphisch darstellen, Hypothesen und Erklärungsmodelle auf Basis empirischer Daten aufstellen, in Modellen denken etc.), wobei letzteren ein höherer Stellenwert zugesprochen wird. PISA untersucht folgende kognitive Prozesse (ebd.), die sich in weiten Teilen mit denen vom NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996, S. 22) ausgewiesenen decken:

- Fragestellungen erkennen, die naturwissenschaftlich untersucht werden können
- Belege/Nachweise identifizieren, die in einer naturwissenschaftlichen Untersuchung benötigt werden
- Schlussfolgerungen ziehen oder bewerten
- gültige Schlussfolgerungen kommunizieren
- Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte zeigen

Aus dem hier Dargelegten wird deutlich, dass bei der Konzeption der PISA-Studie für die ersten beiden Erhebungswellen in den Jahren 2000 und 2003 BYBEEs vierte, multidimensionale Stufe quasi vollständig ausgeblendet wird – aufgrund der Anpassung an die Erfordernisse der Sekundarstufe I, wie SCHECKER *et al.* (2004, S. 188) vermuten. Verknüpft man dagegen die von BYBEE (s. o.) ausgewiesenen Dimensionen von *scientific literacy* mit den oben genannten Prozessvariablen, wie es teilweise (unter Ausblendung der multidimensionalen Kompetenzstufe) bereits die Autoren der PISA-Studie selbst getan haben (vgl. Prenzel *et al.* 2001, S. 204), so erhält man eine Kompetenzmatrix (vgl. Tabelle 7), die das *literacy*-Konzept des PISA-Konsortiums einerseits veranschaulicht, andererseits jedoch auch dessen ‘blinden Fleck’ verdeutlicht.

Die Kompetenzmatrix (Tabelle 7) zeigt, dass eine Orientierung an den PISA-Prozessvariablen bei gleichzeitigem Verzicht auf die vierte Kompetenzstufe nach BYBEE eine Art ‘anspruchsvolle Verarmung’ darstellt. Anspruchsvoll deshalb, weil allein das Verstehen und Anwenden naturwissenschaftlicher Konzepte, also der *big ideas*, ein überaus hehres Ziel ist.<sup>31</sup> Jedoch ist diese Einschränkung auch eine Verarmung, weil einerseits affektive Komponenten völlig ausgeblendet werden und weil andererseits ohne den Einbezug alternativer Sichtweisen und ohne eine Rückbindung an Soziales, wie dies erst auf der Ebene der multidimensionalen *scientific literacy* erfolgt, wesentliche Allgemeinbildungsziele vernachlässigt werden. Denn gerade die vierte Stufe von BYBEEs Konzept ist nicht nur anschlussfähig an die deutsche Bildungstradition, weil hier unter anderem kulturelle Werte im Namen der Mündigkeit tradiert werden, sondern letztlich unverzichtbar im Lichte des heymannschen Allgemeinbildungskonzepts (vgl. Kapitel 2.2.3). Denn auf der Ebene der multidimensionalen *scientific literacy* wird z. B. durch das Sichtbarmachen der historischen *und*

---

<sup>31</sup> Studien in unserer Arbeitsgruppe weisen deutlich darauf hin, dass es Schülern sehr schwer fällt, Aufgaben zu lösen, die gleichzeitig auf mehrere Prozessvariablen sensu PISA zielen (vgl. Gröger *et al.* 2002; Hofheinz *et al.* 2004).

sozialen Gestalt der Naturwissenschaften unvermittelt sowohl ein Beitrag zur „Stiftung kultureller Kohärenz“ (nicht nur Kontinuität! Vgl. Heymann 1996, S. 67ff.) als auch zur „Weltorientierung“ – vor allem verstanden als „Vermittlung der Erkenntnis, daß es nicht nur *eine* gültige Wahrnehmung der Welt gibt“ (ebd., S. 85; Hervorheb. i. O.) – geleistet. Ein Wissen *über* Naturwissenschaften, über ihre Erkenntnisverfahren, Möglichkeiten, aber auch Grenzen, kann nicht nur einen „kritischen Vernunftgebrauch“ befördern, sondern vor allem zur „Entfaltung von Verantwortungsbereitschaft“ verstanden als „ethische Basiskategorie“ (ebd., S. 105) beitragen.

<b>Prozessvariablen nach PISA</b> <b>Kompetenzstufen nach BYBEE</b>	<b>a) Fragestellungen erkennen, die naturwissenschaftlich untersucht werden können</b>	<b>b) Belege / Nachweise für Untersuchungen identifizieren, Schlussfolgerungen ziehen und bewerten</b>	<b>c) Kommunizieren naturwissenschaftlicher Beschreibungen, Argumente, Schlussfolgerungen</b>	<b>d) Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte</b>
<b>IV</b> <b>Multidimensional</b>	Entwicklungen, Grenzen wissenschaftlicher und fachübergreifender Fragestellungen erkennen	Vorliegende Daten in (sozial)wissenschaftlichen Zusammenhängen interpretieren	Über Naturwissenschaften hinausgehende Beschreibungen und Argumentationen heranziehen	Naturwissenschaftliche Konzepte mit Konzepten anderer Disziplinen in Beziehung setzen
<b>III</b> <b>Konzeptuell und prozedural</b>	Naturwissenschaftliche Sachverhalte hinsichtlich gültiger Konzepte und Untersuchungsdesigns verstehen, analysieren und daraus Fragen ableiten	Daten systematisch als Bewertungskriterien für Argumente und Schlussfolgerungen verwenden	Beschreibungen, Argumente, Konzepte und Untersuchungsprozesse kommunizieren	Naturwissenschaftliche Konzepte verstehen und anwenden
<b>II</b> <b>Funktional</b>	Teilaspekte und Fragen bei naturwissenschaftlichen Untersuchungen in vereinfachten Zusammenhängen erkennen und benennen; Variablen bestimmen, die kontrolliert werden müssen	Schlussfolgerungen unter Verweis auf Daten oder naturwissenschaftliche Informationen ziehen oder bewerten; relevante von irrelevanten Daten in Ansätzen unterscheiden	Naturwissenschaftliche Begriffe und Definitionen in einem begrenzten Bereich zutreffend gebrauchen	Lebensweltliche und in Ansätzen naturwissenschaftliche Konzepte verwenden, um Erklärungen zu geben oder Vorhersagen zu treffen
<b>I</b> <b>Nominell</b>	Unzureichende und unangemessene Erklärungen naturwissenschaftlicher Phänomene, daraus keine eigenständigen Fragestellungen ableitbar	Schlussfolgerungen auf der Basis von Alltagswissen ziehen oder bewerten	Einfaches Faktenwissen (z. B. Bezeichnungen, Ausdrücke, Fakten, einfache Regeln) wiedergeben können	Konzeptverständnis maximal auf Basis von Alltagsvorstellungen

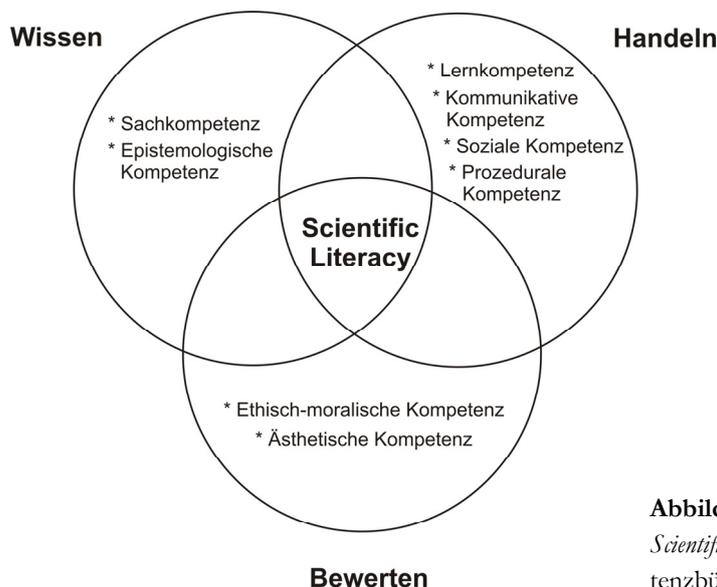
**Tabelle 7:** Kompetenzmatrix aus naturwissenschaftlichen Prozessvariablen nach PISA und Kompetenzstufen nach BYBEE. (Aus: Weiglhofer 2004, S. 9)

Es verwundert letztlich nicht, dass in den Expertisen zur Erstellung von Kerncurricula für die Oberstufe für die Fächer Biologie, Chemie und Physik das Konzept der ‘naturwissen-

schaftlichen Grundbildung' um eben jene vierte, multidimensionale Stufe nach BYBEE ergänzt wird (Harms *et al.* 2004, S. 35; Melle *et al.* 2004, S. 86; Schecker *et al.* 2004, S. 160f.). Für die dritte PISA-Erhebungswelle im Jahre 2006, bei der das Hauptaugenmerk auf dem Erfassen naturwissenschaftlicher Grundbildung lag, hat auch die ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2006, S. 23ff., 42) ihr Konzept von *scientific literacy* um drei Aspekte erweitert. Zusätzlich werden erfasst:

- a) Einstellungen zu Naturwissenschaften (und damit eine affektive Komponente) („attitudes to scientific issues“)
- b) Konzeptuelles Wissen *über* Naturwissenschaften („students' understanding of the nature and methodology of science itself“)
- c) Der Zusammenhang zwischen Naturwissenschaften und Technik („role of science-based technology“)

Bei der aktualisierten Definition von *scientific literacy* wird für PISA 2006 nun explizit (vgl. auch PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 65ff.) der komplette Bedeutungsumfang der Begriffsbestimmung von BYBEE zugrunde gelegt und um den affektiven Aspekt der Handlungsbereitschaft – „willingness to engage in science-related issues“ (Organisation for Economic Co-operation and Development 2006, S. 23) – ergänzt, was eingedenk der „Selbstorganisationsdisposition“ (Erpenbeck & Rosenstiel 2003, S. XI) für ein kompetenzbasiertes Konzept letztlich auch erforderlich ist.



**Abbildung 1:**

*Scientific literacy* als domänenspezifisches Kompetenzbündel. (Aus: Gräber *et al.* 2002, S. 137)

Sieht man alle genannten Sichtweisen in einer Zusammenschau und entwirft eine Art 'Maximalmodell' von *scientific literacy*, dann ist darunter, wie GRÄBER *et al.* (2002, S. 136ff.) ausführen, eine domänenspezifische Kompetenz zu verstehen, die innerhalb der basalen

Kompetenzbereiche ‘Wissen’, ‘Handeln’ und ‘Bewerten’ angesiedelt werden kann (siehe Abbildung 1). *Scientific literacy* wird als eine grundlegende, kulturelle Kompetenz modelliert, um einerseits am naturwissenschaftlich-technisch geprägten gesellschaftlichen Leben teilhaben zu können, aber andererseits auch, um eben diese Gesellschaft zu reproduzieren. Aus einer solch umfassenden Sicht ist eine Legitimation von naturwissenschaftlichem Unterricht freilich absolut unstrittig.

<b>Eine Person mit dem Attribut ‘scientifically literate’ ...</b>	
<b>WISSEN</b>	<b>HANDELN</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- kennt naturwissenschaftliche Vorstellungen und Begriffe</li> <li>- versteht die uns umgebende, materielle Welt</li> <li>- hat ein umfassendes naturwissenschaftliches Grundlagenwissen</li> <li>- versteht naturwissenschaftliche Untersuchungen</li> <li>- kennt den Zusammenhang zwischen Mathematik und Naturwissenschaften</li> <li>- kennt die Grenzen von Naturwissenschaften und Technik</li> <li>- versteht den vorläufigen Charakter von naturwissenschaftlichem und technischem Wissen</li> <li>- versteht Naturwissenschaften und Technik als eine gesellschaftliche, von Menschen gemachte Tätigkeit</li> <li>- kennt sich in der Wissenschaftsgeschichte aus</li> <li>- versteht den Zusammenhang und die Interdependenz zwischen Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kann sich Informationen beschaffen und sie verwerten</li> <li>- kann eigenständig naturwissenschaftliches Wissen erwerben</li> <li>- kann naturwissenschaftliches Wissen im Alltag anwenden, aus privaten wie auch gesellschaftlichen Gründen</li> <li>- kann dem naturwissenschaftlichen Diskurs folgen und aktiv daran teilnehmen</li> <li>- kann naturwissenschaftlich denken</li> <li>- kann begründen und argumentieren</li> <li>- kann die Stichhaltigkeit von Argumenten beurteilen</li> <li>- kann Entscheidungen treffen</li> <li>- kann Probleme lösen</li> <li>- kann Wissen einordnen</li> <li>- kann naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen</li> <li>- kann naturwissenschaftliche Experimentiergeräte nutzen</li> </ul>
<b>WERTVORSTELLUNGEN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- zeigt Interesse und Wertschätzung für Naturwissenschaften</li> <li>- möchte bei naturwissenschaftlichen Themen auf dem Laufenden bleiben</li> <li>- möchte bei sozialen, naturwissenschaftsbezogenen Belangen eingreifen</li> <li>- zeigt eine objektive Unvoreingenommenheit und eine hinterfragende Haltung</li> <li>- zeigt ethische Wertvorstellungen</li> <li>- zeigt Selbstvertrauen, Naturwissenschaften anzuwenden</li> <li>- zeigt Wertschätzung für die Welt</li> </ul>	

**Tabelle 8:** Maximalmodell von *scientific literacy*. (Nach Kemp 2002, S. 202; Übersetzung: V. H.)

Was GRÄBER *et al.* eher formal darlegen, kann KEMP (2002) mittels seiner bereits knapp vorgestellten Interviewstudie anhand der Sichtweisen aller neun befragten Dozenten inhaltlich präzisieren. Legt man alle Ansichten, die die *einzelnen* Dozenten vertreten, übereinander – jenseits der bereits kurz angesprochenen Typisierungen in *personal*, *practical* bzw. *formal scientific literacy* –, gewinnt man ein ‘Maximalmodell’, welches sich gleichfalls in drei

Dimensionen unterteilen lässt (vgl. Tabelle 8): ‘Wissen’ (*conceptual dimension*), ‘Handeln’ (*procedural dimension*) sowie ‘Wertvorstellungen’ (*affective dimension*). KEMP betont allerdings, dass eine solche enorm anspruchsvolle Ideal- bzw. Maximalliste *keine* Konsensliste ist. Aufgrund seiner gewählten Forschungsmethode, bei der er keine Items vorgegeben, sondern Kategorien aus dem Material entwickelt hat, ist ein großes Maß an Übereinstimmung zwischen den befragten Dozenten aber auch weder ein erwartbares, noch ein intendiertes Ergebnis – vielmehr unterstellt das Vorgehen ja bereits unterschiedliche Sichtweisen. Tatsächlich divergieren diese dann auch bei allen Interview-Kandidaten sogar stark: „Participants’ views on the elements of scientific literacy diverge more than converge“ (ebd., S. 258). Gleichwohl ist eine solche Auflistung meines Erachtens sinnvoll, denn sie liefert einerseits ein kohärentes Bild des *Spielraums der Ausdrucksbedeutung* von *scientific literacy*. Andererseits zeigt sich damit aber auch, dass es schlicht illusorisch ist, unter *scientific literacy* realisierbare Kompetenzen bei allen Schülern zu verstehen – allenfalls ein gestandener Naturwissenschaftler könnte wohl alle genannten Kompetenzen vorweisen. Dies zeigt auch deutlich, wie unglücklich die gängige deutsche Übersetzung in ‘naturwissenschaftliche Grundbildung’ ist.

Schränkt man jedoch das *literacy*-Konzept ein, wie es jeder der befragten Dozenten tut, hängt die Frage, ob und inwieweit jemand *scientific literate* ist, von der jeweiligen, individuellen Definition des Ausdrucks ab. Vor dem Hintergrund einer gewünschten Output-Orientierung kann dies nur als sehr fragwürdig bezeichnet werden, denn über Standards braucht man erst dann nachzudenken, wenn man Einigkeit hinsichtlich der intendierten Ziele erreicht hat und damit auch Einigkeit bezüglich der (aus schulischer Sicht sicherlich notwendigen) Einschränkungen auf die einzelnen Teilkompetenzen, die von Schülern erreicht werden sollen. Offenbar handelt es sich jedoch bei dem Ausdruck *scientific literacy* weniger um eine erreichbare Befähigung *für alle*, die als prüfbares Ziel und somit als Output des naturwissenschaftlichen Unterrichts gelten kann, sondern eher um eine dynamische Idee, die als Leitfigur eines sogenannten Input-Modells dienen könnte:

While these experts generally think of scientific literacy as a useful concept, they do not necessarily think of it as a specific, achievable thing. Some label the term “scientific literacy” a slogan. At least one participant prefers not to even use the term. Some think it is not really operational, or at least not a really achievable goal, although it is a desirable end to pursue. (Ebd., S. 269)

Dies wird teilweise auch bei den Entwicklern von Kerncurricula und Bildungsstandards selbst so gesehen: SCHECKER *et al.* (2004, S. 161) sind z.B. der Ansicht, „naturwissenschaftliche Grundbildung oder Scientific literacy ist [...] eine normative Setzung“ – demnach aber keine überprüfbare Kompetenz. Selbst BYBEE, einer der Hauptakteure im *scientific literacy*-Diskurs, verweist auf den ideellen Charakter des Ausdrucks, indem er die Ausdrucksbedeutung des Wortes ‘Mythos’ im Titel des Buches „The myth of scientific literacy“ von SHAMOS (1995) offenkundig pervertiert:

Ich bin der Überzeugung, daß Scientific Literacy ein Mythos ist und als solcher allen an der naturwissenschaftlichen Lehre Interessierten manches vermitteln kann: ein Gefühl der Identität, der Zusammengehörigkeit, und eine Vorstellung davon, welche Dinge uns in der Praxis von Lehren und Lernen wichtig sind. Der Mythos von Scientific Literacy verleiht uns eine enorme Zielgerichtetheit. Dieses Ziel ist abstrakt [...]. (Bybee 2002, S. 23)

Ein Mittler eines ‘Gefühls der Zusammengehörigkeit’ mit einer ‘abstrakten’ Zielrichtung, der aber aufzeigt, welche Dinge wichtig sind, kann nun allerdings beim besten Willen nicht *gleichzeitig* als Kompetenz modelliert werden. Entkoppelt man daher das *literacy*-Modell vom Kompetenzkonzept und sieht es als dynamische, programmatische Idee an, erweist es sich letztlich auch anschließbar an HEYMANNS Allgemeinbildungskonzept (vgl. Messner 2003, S. 407). Für das Fach Mathematik z. B. wird die *literacy*-Idee sogar von der ‘PISA-Expertengruppe Mathematik’ ausdrücklich unter Bezugnahme auf HEYMANN als „Teilproblem innerhalb der umfassenderen Frage nach dem Beitrag der Mathematik zur allgemeinen Bildung“ (Neubrand *et al.* 2001, S. 46) gesehen.

Unzweifelhaft ist die vom NRC, von BYBEE und vom PISA-Konsortium (bezogen auf das Jahr 2006) skizzierte Idee einer *scientific literacy* ein interessantes Konzept, welches eine sinnvolle Legitimationsbasis für Naturwissenschaften im Unterricht liefert – jedoch ist es auch ein überaus ambitioniertes, wenn es, wie intendiert, als ein für *alle* Schüler einlösbares Output-Konzept gesehen wird. Der Gedanke einer *scientific literacy* als Tragpfeiler eines Kompetenzmodells führt sich bei dem vertretenen Anspruch und eingedenk BYBEEs Mythos-Umdeutung letztlich jedoch selbst ad absurdum. Die Gefahr ist groß, dass das Gros der Schüler letztlich nur auf den unteren beiden Ebenen verharret.

Als *dynamische, programmatische Idee* verstanden kann *scientific literacy* jedoch als wegweisende Denkrichtung dienen, die allerdings einer sinnvollen schulischen Akzentuierung bedarf. Eingedenk der heymannschen Aufgaben allgemeinbildender Schulen könnte eine solche, sinnvolle Akzentuierung innerhalb der multidimensionalen Ebene von BYBEE zu finden sein, und zwar in einer Reflexion über naturwissenschaftliche Prozesse, um ein Verständnis zu etablieren, was Naturwissenschaften sind, welche Arbeitsweisen sie auszeichnen, was sie können und wo ihre Grenzen sind.

### **2.2.6 *Scientific Awareness and Appreciation* – eine sinnvolle Einschränkung?**

Ogleich vielfach beklagt wird, dass Schüler kaum Kenntnisse im naturwissenschaftlichen Bereich haben bzw. ihr vorhandenes Wissen nicht zur Anwendung bringen können, sie also demnach auf der nominalen oder allenfalls auf der funktionalen Ebene nach BYBEE verharren, wird das zuvor dargelegte Ziel selbst – also *scientific literacy* bzw. ‘naturwissenschaftliche Grundbildung’ – interessanterweise kaum in Frage gestellt. Gestritten wird in

der Regel lediglich darüber, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um ein höheres Level bei der Schülerschaft bzw. innerhalb der Bevölkerung zu erreichen.

M. H. SHAMOS hingegen – vormals Physikprofessor, Curriculumentwickler und Präsident der *National Science Teacher Association* sowie der *New York Academy of Sciences* – geht bereits seit den 1960er Jahren einen anderen Weg, für den folgende rhetorische Frage kennzeichnend ist: „Is it actually possible to develop a common literacy in science [...]?“ (Shamos 1963, S. 42). Die Frage verneinend bezeichnet er das von der AAAS (Rutherford & Ahlgren 1990) für *alle* Schüler ausgewiesene Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts als „ill-defined goal called ‘scientific literacy‘“ (Shamos 1995, S. xiii). Einerseits deshalb, weil – wie bereits zuvor erwähnt – naturwissenschaftliche Kenntnisse weder im Alltag noch im nicht naturwissenschaftlich geprägten Berufsleben essenziell seien, um erfolgreich ein ‘gutes Leben’ führen zu können (vgl. Shamos 1995, S. 98; 1996, S. 1102). Andererseits biete umgekehrt naturwissenschaftliches Wissen aber auch keine sichere Entscheidungsgrundlage bei naturwissenschaftlichen Fragen: „Even professional scientists frequently disagree on science-based public policy issues, and for reasons that can be equally convincing“ (Shamos 1988, S. 19f.). Zudem werde die Forderung nach *scientific literacy* meist aus gesamtgesellschaftlichen Interessen heraus erhoben, was dem Einzelnen jedoch kein sinnvolles Motiv liefere (Shamos 1995, S. 97, 151). Ferner habe *scientific literacy* als Ziel von Unterricht in der Vergangenheit auch nicht dazu beigetragen, die Zahl der Berufseinsteiger im naturwissenschaftlichen Bereich zu erhöhen. Letztlich sei die inhaltliche Füllung dessen, was in der Regel als *scientific literacy* bezeichnet werde, überzogen und daher unangemessen.

Bei seiner Kritik bezieht sich SHAMOS auf eine aus drei hierarchischen Stufen bestehende Konzeption von *scientific literacy*, die er aus dem damaligen Diskurs der Kommunikation ableitet (ebd., S. 87ff.):

- *Cultural scientific literacy*: Wer über naturwissenschaftliches Hintergrundwissen – man könnte fast sagen ‘Weltwissen’ – primär begrifflicher Natur verfügt, kann am gesellschaftlichen Diskurs bezüglich naturwissenschaftlicher Themen teilnehmen. Er verfügt daher dann über eine *cultural scientific literacy*. Das Ausmaß eines solchen Wissens schwankt freilich zwischen enzyklopädischer Vollständigkeit und bloß passivem Wortschatz. SHAMOS geht davon aus, dass die meisten Erwachsenen lediglich naturwissenschaftlich-technische Ausdrücke als solche erkennen, ihr naturwissenschaftliches Wissen aber dort endet (ebd., S. 88).<sup>32</sup> Diese Stufe deckt sich somit weitgehend mit den ersten beiden Levels, wie sie BYBEE vorschlägt.

---

<sup>32</sup> SHAMOS verteidigt seine These, dass die US-amerikanische Bevölkerung vorwiegend naturwissenschaftlich ungebildet sei, recht polemisch, wie seine Anmerkungen zu der Idee einer *cultural scientific literacy* zeigen: „Yet this is the only level of literacy held by most of the educated adults who believe they are reasonably literate in science. They recognize many of the science-based terms (the jargon) used by the media, which is generally their only exposure to science, and such recognition probably provides some measure of comfort that they are not totally illiterate in science. But for the most part, this is where their knowledge of science ends.“ (Shamos 1995, S. 88)

- *Functional scientific literacy*: Wer nicht nur einen naturwissenschaftlichen Wortschatz hat, sondern diesen auch *aktiv* verwenden kann – etwa indem man einen naturwissenschaftlichen Zeitungsartikel nicht nur lesen, sondern auch zusammenfassen und anderen den Inhalt sachangemessen mitteilen kann –, kurzum: diskursfähig in der naturwissenschaftlichen Domäne ist, verfüge über eine *functional scientific literacy*. Offenkundig werden hier unter der funktionalen Sicht bereits prozedurale Elemente sensu BYBEE verstanden, jedoch nur so weit, wie sie sich auf die Reproduktion von Fakten beziehen. Anspruchsvolle kognitive Prozesse oder auch konzeptuelle Aspekte sind erst mit der dritten Stufe verbunden.
- *True scientific literacy*: ‘Echte’ naturwissenschaftliche Bildung zeige sich erst, wenn zu dem Faktenwissen ein Meta-Wissen um Konzepte trete, etwa das Wissen um ein Ordnungsprinzip der Fakten. Dies impliziere zugleich auch ein Verständnis der Prinzipien und Theorien der Naturwissenschaften. Wahre oder auch echte *scientific literacy* wird nach Schätzung von SHAMOS (1996, S. 1102) allenfalls von fünf Prozent der US-Amerikaner erreicht – vermutlich nur von Naturwissenschaftlern oder Ingenieuren.

Auch wenn die erste Stufe einer *cultural scientific literacy* von fast allen Absolventen einer weiterführenden Schule erreicht werde, die zweite Stufe der *functional scientific literacy* vielleicht auch noch von besonders engagierten Schülern, sei dieses Wissen wenig dauerhaft – und damit letztlich entbehrlich (Shamos 1995, S. 90).

In den 1960er Jahren schlägt SHAMOS (1963, S. 51) zunächst einen Weg vor, den jetzt auch das PISA-Konsortium bezüglich naturwissenschaftlicher Inhalte präferiert: Durch den Verzicht auf detailliertes und zumeist mathematisiertes, naturwissenschaftliches Faktenwissen zugunsten weniger „great ideas“ – SHAMOS benennt beispielhaft die Wärmebewegung, das Teilchenkonzept, das Erhaltungsprinzip, die Vererbungslehre (ebd., S. 48) – ließe sich die kreative und zugleich auch die für unseren Alltag bedeutsame Seite der Naturwissenschaften betonen.<sup>33</sup> In späteren Veröffentlichungen verwirft er jedoch diese eher inhaltlich geprägte Position zugunsten eines Metawissens über die *Bedeutung* von Naturwissenschaften:

The science and engineering communities, and our nation generally, would be better served by a society that, while perhaps illiterate in science in the formal academic sense, at least is aware of what science is, how it works, and its horizons and limitations. (Shamos 1995, S. 198)

Statt des ambitionierten Ziels einer *scientific literacy* für *alle* Schüler plädiert SHAMOS (1988, S. 20; 1995, S. 216ff.; 1996, S. 1103; 2002) als Alternative für ein erreichbareres und in seinen Augen wertvolleres Ziel: das Entwickeln eines naturwissenschaftlichen Problembewusstseins (*scientific awareness*) verbunden mit einer Anerkennung (*appreciation*) der Leistungen der Naturwissenschaften:

---

<sup>33</sup> Konzeptionell verwirklicht ist dieser Ansatz im unter anderem von SHAMOS mit initiierten *Conceptually Oriented Program in Elementary Science*, dem ‘COPEs-Curriculum’ (vgl. COPEs 1972).

We should work to abandon the vain pursuit of scientific literacy for the majority of our students in favor of a simpler program [...] that is designed primarily to enhance public awareness and appreciation of science and technology. (Shamos 1996, S. 1103)

Eine Wertschätzung naturwissenschaftlicher Errungenschaften sei letztlich auch ein kultureller Imperativ (vgl. Shamos 1995, S. 217). Damit verwirft SHAMOS aber nicht *generell* das Ziel einer *scientific literacy* – er möchte dieses Ziel nur nicht für *alle* Schüler verbindlich festlegen, um nicht eine lebenslange Abwehr und Abkehr von Naturwissenschaften bereits frühzeitig anzuerziehen:

Is it not more desirable to nurture an *appreciation* of science and thereby keep open the possibility of full literacy for some individuals than to force-feed facts and formulas and thereby instill a distaste for science that probably guarantees life-long ignorance? (Shamos 1988, S. 20; Hervorheb. i. O.)

Dazu müsse man sich vor allem von dem fakten- und formelbasierten naturwissenschaftlichen Unterricht verabschieden, zugunsten eines mehr verständnisorientierten Ansatzes:

Yet is it not more important that the average student understand what is *meant* by a ‘scientific fact’ than to *know* – and then forget – an assortment of such facts? (Shamos 1995, S. 222)

Dies heißt nicht, überhaupt keine naturwissenschaftlichen Fakten mehr zu unterrichten, denn Verstehen sei zweifelsohne an Inhalte geknüpft:

Obviously one cannot deal effectively with the nature of science solely in the abstract; it must be placed in the context of science itself, both for example and emphasis. (Ebd., S. 224)

Jedoch seien dazu andere Inhalte besser geeignet als klassisch-naturwissenschaftliche – und zwar technische. Gerade weil unser Alltag von Technik dominiert sei, könne dies der Kristallisationspunkt sein, anhand dessen sich ein Nachdenken *über* Naturwissenschaften entfalten lasse. Ferner rege, wie SHAMOS (2002, S. 47) in Anlehnung an einen der Väter des erfahrungsbasierten Lernens, J. DEWEY, darlegt, ein Nachdenken über Naturwissenschaften logisches Denken an, beförderte dieses und könne so zu einer „naturwissenschaftlichen Geisteshaltung“ beitragen. Formales, logisches Denken – durchaus verstanden als ein dynamisches Momentum des Subjekts im Sinne der kategorialen Bildung nach KLAFKI (1985, S. 44) – findet sich allerdings nicht

[...] in den herkömmlichen *Inhalten* der Naturwissenschaften, d.h. in den Gesetzen, Gleichungen und Theorien, mit denen sich der typische naturwissenschaftliche Unterricht befaßt, sondern vielmehr in den *Prozessen* der Naturwissenschaften, d.h. darin, wie wir zu diesen grundlegenden Erkenntnissen kommen. (Shamos 2002, S. 47; Hervorheb. i. O.)

Zusammengefasst richtet SHAMOS den Blick auf naturwissenschaftliche Prozesse, kulturelle Aspekte und eine Reflexion *über* Naturwissenschaften, jeweils verdeutlicht anhand technischer Fragestellungen als Aufhänger. Sein Ziel ist es, dass die Bevölkerung ein Wissen *über* Naturwissenschaften erwirbt. Dies schließt eine Wertschätzung und ein Bewusstsein von naturwissenschaftlichen Arbeitsmethoden sowie von der Gültigkeit und den Grenzen

naturwissenschaftlicher Aussagen mit ein. Um diese Ziele zu erreichen, müsse Technik<sup>34</sup> in den Schulunterricht einbezogen werden.

SHAMOS' Ansatz *einseitig* auf Prozesse und Methoden zu reduzieren, wie man leicht aus seinem deutschsprachigen Artikel „Durch Prozesse ein Bewußtsein für die Naturwissenschaften entwickeln“ (Shamos 2002) herauslesen könnte, greift nach dem bisher Gesagten eindeutig zu kurz. Dies verdeutlicht auch sein konkreter Vorschlag für eine unterrichtliche Umsetzung (Shamos 1995, S. 225f.):

- a) *Alle* Unterrichtsgegenstände sollten anhand relevanter technischer Fragestellungen eingeführt werden, die für Schüler bedeutsam sind.
- b) Das naturwissenschaftliche Wissen, auf dem die technische Frage basiert bzw. welches zur Lösung der Frage erforderlich ist, kann dann bis zu dem Grad aufgearbeitet werden, wie es zur Erklärung des technischen Problems erforderlich ist.
- c) Das so erarbeitete naturwissenschaftliche Wissen sollte als Sprungbrett für einen Diskurs über den Naturwissenschaftsbetrieb dienen, also über die Rolle des Experiments, über die Bedeutung wissenschaftlicher Wahrheit, Fakten, Gesetze, Theorien usw.
- d) Im Rekurs auf das technische Problem sollte nun der Zusammenhang zwischen Naturwissenschaften und Gesellschaft diskutiert werden.
- e) Anschließend kann entschieden werden, ob, wann und gegebenenfalls wie zusätzliche Expertise zum Zusammenhang zwischen Naturwissenschaften und Gesellschaft eingeholt werden sollte.

SHAMOS ist sich bewusst, dass die Idee, auf Technik und die 'Natur der Naturwissenschaften' zu fokussieren, weder ein neuer Weg<sup>35</sup>, noch ein 'Königsweg' ist. Auch das NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996, S. 104) bezieht beide Bereiche bei ihren Bildungsstandards explizit mit ein. Neu sei jedoch einerseits die radikale Ausrichtung auf Technik und andererseits das Verwerfen des Leitziels einer *scientific literacy* für alle (Shamos 1995, S. 229f.). Ferner unterstreicht SHAMOS, dass seine skizzierte Curriculum-Idee nur als „rough road

<sup>34</sup> SHAMOS grenzt seine Position deutlich vom STS-Ansatz (*Science, Technology, and Society*) ab: Die STS-Idee gehe von sozialen oder politischen Problemen aus, die auf naturwissenschaftlich-technischen Ursachen beruhen (z. B. dem Treibhauseffekt, Umweltbelastungen, Fragen der Welternährung, etc.). Dies führe aber nicht zu einer Wertschätzung von Naturwissenschaften und Technik: „In STS science and technology are subordinated to the societal component, which dominates the curriculum, gives it a strong social studies flavor“ (Shamos 1995, S. 227). Naturgemäß führe dies dann letztlich zu einer eher kritischen bis ablehnenden Haltung gegenüber Naturwissenschaft und Technik, nicht jedoch zu einer Anerkennung ihrer kulturellen Leistungen.

<sup>35</sup> Einen ähnlichen, jedoch nicht auf Technik, sondern auf die Bezugswissenschaft selbst ausgerichteten Ansatz verfolgte die NUFFIELD FOUNDATION (1966) in England in den 1960er Jahren mit ihren Curricula für die naturwissenschaftlichen Fächer für 11- bis 16-jährige Schüler. Auch hier wurden naturwissenschaftliche Prozesse und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften betont: „Die Schüler sollen Probleme naturwissenschaftlich anzugehen lernen, sie sollen durch Beobachtungen und Erkundungen ihre Erfahrungen erweitern [...], sie sollen das enge Zusammenspiel von Beobachtungen, Erklärungen und daraus abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten in eigener Arbeit kennenlernen.“ (Freise 1974, S. 9). Sie „müssen [...] verstehen lernen, was es heißt, ein Problem naturwissenschaftlich anzupacken“ (ebd., S. 4). Im Zentrum eines Nuffield-Unterrichts stehen folglich Schülerexperimente, ein operationaler Gebrauch von Begriffen sowie eine Würdigung der Arbeit anderer, vor allem auch der tätigen Naturwissenschaftler (vgl. Stork & Kühn 1973, S. 135ff.).

map“ (ebd., S. 231) zu verstehen sei und daher pädagogisch ausgestaltet werden müsse. Sie stelle lediglich einen Ermöglichungszusammenhang dar und könne von daher durchaus scheitern, wenn nicht weitere, begünstigende Faktoren hinzu kämen, die SHAMOS etwas lapidar aufzählt: „better teaching, improved facilities, and greater support for education generally“ (ebd., S. 232).

Das Konzept von SHAMOS ist freilich radikal, und zwar im Wortsinne, weil es belegte Defizite des naturwissenschaftlichen Unterrichts im Bereich *scientific literacy* zwar aufgreift, aber nicht durch ein Mehr an *scientific literacy* ausgleichen möchte, sondern das Ziel an sich in Frage stellt. Sein Gegenentwurf – Problembewusstsein von und Wertschätzung für Naturwissenschaften – klingt zunächst lapidar und unpräzise, ist jedoch bei genauerer Betrachtung provokant und progressiv zugleich: Provokant, weil in SHAMOS' Curriculum dem Inhalt, der klassischerweise derzeit in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern unterrichtet wird, nur noch ein untergeordneter Stellenwert zukommen würde; jedoch auch progressiv, weil der Aspekt *nature of science* (NOS) tatsächlich den prominenten Platz erhält, der ihm nicht nur nach dem Reformdokument *Science for all Americans* (vgl. Rutherford & Ahlgren 1990, S. 1) zustehen müsste, sondern beispielsweise neuerdings auch nach OECD-PISA (Organisation for Economic Co-operation and Development 2006, S. 23f.). SHAMOS (1995) betont: „When such a curriculum is finally implemented, it will continually stress the *nature of science* as its major theme“ (ebd., S. 226; Hervorheb. i. O).

## 2.3 Ausblick

In Kapitel 2 wurden populäre Gründe für die häufig apostrophierte ‘Krise’ des naturwissenschaftlichen Unterrichts, die sich deutlich anhand der geringen Attraktivität der Unterrichtsfächer Chemie und Physik ablesen lässt, genauer beleuchtet und präzisiert: Der als hoch *empfundene Schwierigkeitsgrad* der Disziplinen Chemie und Physik, das *Imageproblem des tätigen Naturwissenschaftlers* sowie ein Mangel an *offenen, komplexen Problemlösesituationen* im Unterricht. Nimmt man diese Ursachenfelder und die sich herauskristallisierenden Präzisierungen ernst, so müssen sich aktueller Unterricht wie auch Ideen konzeptioneller Art (beispielsweise die Idee einer *scientific literacy*) befragen lassen, inwieweit sie diesem Problemkreis effektiv begegnen können.

Jenseits der Frage, ob *scientific literacy* als sinnvoller und erreichbarer unterrichtlicher Output angesehen werden sollte oder nicht, liefert die *Idee einer scientific literacy* jedoch Zielvorstellungen für naturwissenschaftlichen Unterricht durch eine naturwissenschaftsspezifische Charakterisierung der drei universellen Dimensionen ‘Wissen’, ‘Handeln’ und ‘Wertvorstellungen’ (vgl. Gräber *et al.* 2002, S. 137; Kemp 2002, S. 202). Diese drei Ebenen, die auch im *scientific-literacy*-Modell des NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996, S. 22f.) zumindest indirekt angesprochen werden, müssen generell bei der Frage nach Wissensdispositionen beachtet und jeweils domänenspezifisch ausgestaltet werden – sei es als intendierter Input oder gewünschter Output. Daraus lässt sich daher eine Antwort auf die Frage ableiten, welche Ziele naturwissenschaftlicher Unterricht verfolgen sollte (vgl. auch Hodson 1993, S. 106ff.):

[...] it is helpful to regard education in science as comprising three major elements: *learning science* – acquiring and developing conceptual and theoretical knowledge; *learning about science* – developing an understanding of the nature and methods of science, an appreciation of its history and development, and an awareness of the complex interactions among science, technology, society and environment; and *doing science* – engaging in and developing expertise in scientific inquiry and problem solving. (Hodson 1998, S. 191; Hervorheb. i. O.)<sup>36 37</sup>

<sup>36</sup> In einer neueren Veröffentlichung erweitert HODSON (2003) dieses Konzept einerseits jeweils um den Bereich der Technik und andererseits um ein viertes, gesellschaftspolitisches Ziel: „engaging in sociopolitical action“ (ebd., S. 658).

<sup>37</sup> Diese drei Ziele für naturwissenschaftlichen Unterricht sind inhaltlich keineswegs neu. Intensiv diskutiert wurden sie bereits im Zuge der US-amerikanischen Curriculumreformen der Post-Sputnik-Ära. Eine einseitige Betonung *naturwissenschaftlicher Verfahren* erfolgte beispielsweise in den 1960er Jahren im Rahmen des SAPA-Curriculums für den Grundschulbereich (vgl. z. B. Tütken 1971, S. 16ff.). Das Akronym SAPA steht für den programmatischen Titel „Science – a Process Approach“. Ein weiteres der sogenannten „alphabet soup“ programs“ (Shamos 1995, S. 130) der damaligen Zeit, COPEs, an dessen Grundlegung SHAMOS beteiligt war, basiert dagegen auf *naturwissenschaftlichen Schlüsselbegriffen*, betont jedoch bereits eine integrative Sichtweise: „One of the fundamental principles of COPEs is that basic learning skills, or processes, must be developed concurrently with the concepts.“ (COPEs 1972, S. 8).

Diese Ziele, die in den Bildungsstandards als ‘Fachwissen’, ‘Bewertung’<sup>38</sup> und ‘Erkenntnisgewinnung’ bezeichnet werden (vgl. KMK 2005b, S. 5ff.), sind meines Erachtens nicht nur *gleichgewichtig*, sie *ergänzen* sich auch gegenseitig.<sup>39</sup> Akzeptiert man sie für naturwissenschaftlichen Unterricht und gesteht damit dann *auch* epistemologischem Wissen eine zentrale Rolle zu, so ist zu überlegen, wie dieses Metawissen von Schülern konstruiert werden kann. Diese Frage – die Bildungsstandards bieten hierzu erstaunlicherweise keinerlei Konkretisierungen an, wie HÖTTECKE & RIEß (2007, S. 1f.) mit Recht anmerken – ist deshalb virulent, weil speziell dieses Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts in der alltäglichen *Praxis* fast keine Beachtung findet (vgl. Kircher & Dittmer 2004, S. 4). Es gibt im deutschen Sprachraum daher auch nur recht wenige ausgearbeitete Unterrichtskonzeptionen<sup>40</sup> dazu und noch weniger unterrichtsbegleitende, empirische Forschung zum Erwerb von Wissen über *nature of science*. Die Frage, welche Strukturen geeignet sein könnten, im Unterricht günstige Bedingungen für den Erwerb eines Metawissens über Naturwissenschaften zu schaffen, ist daher bislang unbeantwortet.

Was genau unter dem Ausdruck *nature of science* zu verstehen ist, wird in Kapitel 3 geklärt.

---

<sup>38</sup> Der Bereich der ‘Bewertung’ ist in den Bildungsstandards etwas blass ausgeführt, was meines Erachtens daran liegt, dass er als Kompetenz formuliert werden musste. Ferner ist der Terminus auch leicht missverständlich, denn er eröffnet alltagssprachlich das irreführende semantische Feld der ‘persönlichen Einschätzung’ – Paradigmata basieren aber gerade auf *kollektiven* Überzeugungen.

<sup>39</sup> Sieht man die Ziele isoliert statt komplementär, kann die Formulierung *doing science* dazu verleiten, sie gegen *learning science* auszuspielen. Lernen findet jedoch bei beiden Teilbereichen statt: *explizites* Lernen bei *learning science* und *implizites* Lernen bei *doing science*.

<sup>40</sup> Einen Überblick an einigen Unterrichtsideen liefert der Sammelband von HÖBLE *et al.* (2004).

### 3. *Nature of Science* – ein Desiderat des naturwissenschaftlichen Unterrichts

#### 3.1 Zum Zwischenstand der Diskussion

Unzweifelhaft benötigen Schüler ein Wissen um grundlegende *naturwissenschaftliche Basis-konzepte und -theorien*, wie sie bis zur Jahrgangsstufe 10 in den Bildungsstandards der jeweiligen Fächer dargelegt sind. Jedoch kann kein Unterricht Schüler so mit vollständigem, aus erster Hand bezogenem Wissen ausstatten, dass sie bei allen naturwissenschaftlichen Fragen kompetent agieren können.

Ein erreichbares und sinnvolles Ziel sollte es ferner sein, Schülern zu ermöglichen, eine *naturwissenschaftliche Beurteilungskompetenz* zu erwerben, die es ihnen gestattet, die Bedeutung, die Gültigkeit und die Zuverlässigkeit wissenschaftlicher Aussagen zu bewerten und z. B. zu verstehen, warum Wissenschaftler sich mitunter auch bei zentralen Fragen wie der Klimaänderung nicht einig sind, ohne dies gleich als persönliche Meinung oder gar Inkompetenz einzelner Wissenschaftler zu werten (vgl. auch Hodson 2005). Ein Erwerb naturwissenschaftlichen Basiswissens (*learning science*) sollte daher in *existentialrelevanten Kontexten*<sup>1</sup> erfolgen, denn dann könnte er verlässlich zur ‘Lebensvorbereitung’ und ‘Weltorientierung’ im heymannschen Sinne beitragen sowie den Vorwurf einer fehlenden Lebensnähe entkräften. Ausgearbeitete Konzeptionen zur gezielten Vermittlung naturwissenschaftlicher Basiskonzepte liegen mit den Programmen Biologie, Chemie bzw. Physik im Kontext (BiK, ChiK, PiKo) (vgl. z. B. Gräsel & Parchmann 2004) bereits vor.

Bezogen auf die empfundene Schwierigkeit der Fächer Chemie bzw. Physik bleibt zunächst nur festzustellen, dass man sie freilich nicht leichter machen kann – wohl aber verständlicher. Dazu müsste in Anlehnung an das bereits skizzierte ‘Erwartungs-mal-Wert-Modell’ (siehe Kapitel 2.1) bei den Schülern das Selbstkonzept eigener Fähigkeiten so gestärkt werden, dass sie ihre (Erfolgs-)Erwartungen für sich selbst realistischer einschätzen lernen und gegebenenfalls auch für die Fächer Chemie bzw. Physik als einlösbar erkennen. HEYMANN (1996) fordert in diesem Zusammenhang im Rahmen seines Allgemeinbildungskonzepts zurecht eine generelle Stärkung des Schüler-Ichs: Zur Ich-Stärke gehöre einerseits, „eigene Ziele, Wünsche und Vorstellungen klar zu erkennen“, aber auch, „mit den eigenen Stärken und auch Schwächen realistisch umzugehen“ (ebd., S. 117). Schule als Institution muss dazu die curricularen und organisatorischen Rahmenbedingungen schaffen, die Schülern genügend „Freiräume für persönliche Entfaltung gewähren“ (ebd.). Eine

---

<sup>1</sup> Existentialrelevante Kontexte erlauben „die *Stiftung von Zusammenhängen* [...], die für unsere Lebensweise relevante, typische Bezüge aufdecken“ (Buck 1994, S. 226; Hervorheb. i. O.). Sie bieten daher einen „erlebten Zusammenhang“ (Buck 1995b, S. 79) und ermöglichen „verwurzeltes Verstehen“ (ebd., S. 85).

solche Sicht hat Auswirkungen auf den konkreten Unterricht: Denn Unterricht muss dann auch den Schülern *Gelegenheit* geben, „ihre besonderen Interessen einzubringen und ihre spezifischen Fähigkeiten zu entfalten“ (ebd., S. 128), sodass ihnen ein „ganzheitliches, ihre Sinne und ihren Körper forderndes Lernen ermöglicht wird“ (ebd.). Eine stärkere Beachtung der affektiven Ebene ist daher unabdingbar, wie es bereits auch schon im Zwischenresümee am Ende von Kapitel 2.1 vermerkt wurde. Dies impliziert meines Erachtens einerseits eine partnerschaftlich-wertschätzende Haltung zwischen Lehrer und Schülern und andererseits ein Unterrichtsskript, welches auf einem Lehr-Lern-Konzept fußt, wie es in Kapitel 4.2.4 dieser Arbeit skizziert werden wird. Ein solches Konzept bietet Schülern nicht nur die Möglichkeit, anhand relativ offener, authentischer und komplexer Themen anschlussfähiges Wissen zu konstruieren, was eindeutig materiale wie formale Allgemeinbildungsaspekte beinhaltet, sondern beispielsweise auch Verantwortungsbereitschaft sowie Verständigung und Kooperation einzuüben, also sozialetische Aufgaben von Schule im Sinne HEYMANNs. Nicht zuletzt kann so auch dem Image-Problem des tätigen Naturwissenschaftlers meines Erachtens zumindest indirekt entgegengewirkt werden, weil Schüler dann einen ähnlichen Weg der Erkenntnis beschreiten, wie ihn auch Naturwissenschaftler selbst gehen.

Ein für den naturwissenschaftlichen Unterricht vielversprechender Ansatz, der all diese Punkte berücksichtigt, stellt eine Idee dar, welche im angelsächsischen Sprachraum seit den 1960er Jahren mit *inquiry-based science* oder schlicht *inquiry (enquiry)* bezeichnet wird (siehe Kapitel 4.3). Dieses Verfahren, welches in den US-amerikanischen Bildungsstandards massiv vertreten wird, betont ein weiteres, wesentliches Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts, ohne sich darin zu erschöpfen: *doing science*.

Ferner müsste es, wie es auch SHAMOS betont, ein wesentliches Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts sein, den Schülern den *Wert* dieser Disziplinen sinnfällig nahe zu bringen – sowohl kognitiv als auch affektiv. Nur so können sie für sich selbst entscheiden, ob sich der Aufwand lohnt, in das Verstehen von Naturwissenschaften Zeit zu investieren. Neben dieser eher subjektiven Komponente spielen jedoch auch gesellschaftliche Aspekte eine entscheidende Rolle, wie DRIVER *et al.* (1996, S. 16ff.) verdeutlichen (vgl. auch Kircher & Dittmer 2004, S. 2f.): Erst über eine Reflexion darauf, was Naturwissenschaften eigentlich von anderen Disziplinen unterscheidet, lässt sich ihr individueller Wert bemessen und ermöglicht so nicht nur eine Anerkennung der historisch-kulturellen Leistungen der Naturwissenschaften, sondern z.B. auch eine Akzeptanz staatlicher Finanzierung (Driver *et al.* 1996, S. 19, sprechen diesbezüglich von einem *cultural argument*). Dazu müssen freilich inhaltlich kontextbasierte Anwendungsbezüge ausgewiesen werden, die dem Einzelnen die Sinnhaftigkeit der Naturwissenschaften verdeutlichen können (*utilitarian argument*; vgl. ebd., S. 16). Weiterhin ist zu fragen, welche Denk- und Arbeitsmethoden Naturwissenschaften kennzeichnen, welchen epistemologischen Status naturwissenschaftliches Wissen hat, welche Wege und Irrwege der Erkenntnisgewinnung beschritten werden und wurden, in wel-

chem Zusammenhang Naturwissenschaften, Technik und Gesellschaft stehen, kurzum: Schüler müssten einen Einblick in das erlangen, was im angelsächsischen Sprachraum mit *nature of science* (kurz: NOS) benannt wird bzw. als ‘multidimensionale’ *scientific literacy* von BYBEE gekennzeichnet wird. Wenn Schüler sich mit der „Geartetheit“ (Höttecke 2001a, S. 19) der Naturwissenschaften vertraut machen, sich beispielsweise fragen, was es heißt, genau zu beobachten, was naturwissenschaftliche Gesetze von Hypothesen und Theorien unterscheidet, welche Rolle Kreativität und Intuition im Forschungsprozess spielen, kann so auch im Sinne HEYMANNS eine ‘Anleitung zum kritischen Vernunftgebrauch’ sowie die ‘Stiftung kultureller Kohärenz’ (vor allem der synchronen Verflechtungen zum aktuellen Naturwissenschaftsbetrieb) nachhaltig gefördert werden. Wege und Irrwege lassen sich beispielsweise anhand historisch gut dokumentierter Forschungsprozesse verdeutlichen (vgl. Scharf 2004b, S. 148). Indem so die historische und soziale Gestalt der Naturwissenschaften exemplarisch sichtbar gemacht wird, bietet ein solches Vorgehen darüber hinaus auch einen Beitrag zur ‘Stiftung kultureller Kohärenz’ bezüglich diachroner Verflechtungen sowie zur ‘Weltorientierung’. Damit wäre ein weiteres Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts grob umrissen: *learning about science*.

DRIVER *et al.* (1996) führen als weitere Vorteile eines Lernens *über* Naturwissenschaften an, dass so auch fachliche Inhalte besser verstanden werden könnten, etwa weil Schüler dann z. B. verstehen können, dass sich Theorien und Gesetze nicht induktiv erschließen lassen (*science learning argument*; vgl. ebd., S. 20f.; dies betonen auch CAREY *et al.* 1989, S. 517). Ferner kann dadurch die Wertebasis der Wissenschaftlergemeinschaft, etwa bezüglich des rationalen Umgangs mit empirischen Daten, nachvollzogen werden (*moral argument*; vgl. ebd., S. 19f.). Um am Diskurs über Energiepolitik, Klimaschutz oder beispielsweise Abfallwirtschaft teilnehmen zu können, genügt es nicht, lediglich Fachwissen zu erwerben oder Naturwissenschaften zu treiben; es muss auch deutlich werden, welchen *Status* dieses Fachwissen hat:

How [...] can the public interpret disagreements between scientific experts if scientific knowledge is seen as secure and reliable information, ‘read off from the book of nature?’ (ebd., S. 18)

Eine sinnvolle, aktive Partizipation an soziokulturellen Fragestellungen, die den Bereich der Naturwissenschaften berühren, erfordert daher zwingend ein Metawissen über Naturwissenschaften (*democratic argument*; vgl. ebd.).

In der Gesamtschau aller Argumente kristallisieren sich damit drei Grobziele für naturwissenschaftlichen Unterricht heraus, die bereits in Kapitel 2.3 knapp benannt wurden:

- *learning science*: naturwissenschaftliche Basiskonzepte lernen
- *doing science*: naturwissenschaftlich orientierte Denk- und Arbeitsweisen erlernen
- *learning about science*: über naturwissenschaftliche Denkweisen und Wege naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung reflektieren

Diese genannten Ziele lassen sich zwar heuristisch trennen, sie sind aber keineswegs überschneidungsfrei und wirken deshalb letztlich ineinander – und sollten dies auch. *Unterrichtlich* lassen sie sich jedoch nicht nur einseitig betonen, sondern überdies leider auch noch minimalisieren. Die schulische Realität sieht, wie die Diskussion in den Kapiteln 2.1 und 2.2 zeigt, daher oftmals so aus: Faktenwissen (*learning science*) steht häufig im Vordergrund und wird explizit vermittelt; allenfalls zur ‘Auflockerung’ oder ‘Veranschaulichung’ dienen Experimente (*doing science*); der Erwerb von Metawissen (*learning about science*) erfolgt günstigenfalls en passant und damit implizit. Als problematisch erweisen sich bei einer solchen Minimalisierung jedoch folgende Punkte:

- *Learning science* beinhaltet mehr als nur Faktenwissen, welches in Lehrwerken verfügbar gehalten wird. Naturwissenschaftliches Wissen umfasst auch theoretisches Wissen um die Tragweite und den Geltungsbereich des Faktenwissens, denn einerseits sind naturwissenschaftliche Aussagen stets an Prämissen geknüpft (vgl. Scharf 1984, S. 24) und andererseits sind etablierte, naturwissenschaftliche Konzepte zwar unzweifelhaft überaus erklärungs mächtig und produktiv, sie stellen jedoch nicht den einzig möglichen und gültigen Zugriffsmodus dar (vgl. Buck 1996b; Hodson 1993, S. 110).
- *Doing science* kann nicht auf illustrative Zwecke oder den Erwerb naturwissenschaftlicher Methoden und laborpraktischer Fertigkeiten reduziert werden, sondern beinhaltet auch kognitive Prozesse, die eine situativ angemessene *Anwendung* naturwissenschaftlicher Methoden *beim* Problemlösen erst ermöglichen (vgl. ebd., S. 118).
- *Learning about science* erfolgt sicherlich *auch* implizit. Ein Wissen um das Wesen bzw. die ‘Geartetheit’ der Naturwissenschaften (*nature of science*), um Methoden und Techniken der Erkenntnisgewinnung, eine kulturelle Wertschätzung und ein Bewusstsein des komplexen Zusammenspiels von persönlichen, sozialen, ethischen und technischen Aspekten im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess bedarf jedoch meines Erachtens *zusätzlich* einer Vergegenwärtigung bzw. eines reflexionsinduzierenden Impulses, was HODSON mit „make the implicit explicit“ (ebd., S. 113; Hervorheb. i. O.) treffend auf den Punkt bringt.

Speziell der letztgenannte Bereich, ein Metawissen über Naturwissenschaften, wird hierzulande im naturwissenschaftlichen Unterricht recht stiefmütterlich behandelt (vgl. Höttecke 2001a, S. 41; Kircher & Dittmer 2004, S. 4; Priemer 2006, S. 159). Mehr noch: Durch die Art und Weise, wie Faktenwissen und naturwissenschaftliche Verfahrensweisen traditionell unterrichtet würden, werde nach HÖTTECKE (2001a, S. 5) „einem mythischen Verständnis der Naturwissenschaften“ geradezu Vorschub geleistet (vgl. auch Höttecke & Rieß 2007, S. 2). Es ist daher notwendig, das Konzept *nature of science* im Unterricht gezielt zu beachten.

### 3.2 Was versteht man unter *Nature of Science* (NOS)?

Im vorherigen Kapitel wurde bereits angedeutet, auf welche Fragen die Idee einer *nature of science* beispielsweise Antworten geben muss:

- Was unterscheidet Naturwissenschaften von anderen Disziplinen?
- In welchen Zusammenhängen stehen Naturwissenschaften, Technik und Gesellschaft?
- Welche Denk- und Arbeitsmethoden kennzeichnen Naturwissenschaften?
- Welchen epistemologischen Status hat naturwissenschaftliches Wissen?
- Welche Wege der Erkenntnisgewinnung werden in den Naturwissenschaften beschritten?
- Welchen Status haben naturwissenschaftliche Hypothesen, Gesetze, Theorien?

Diese Fragenliste ist einerseits offen und andererseits kaum beantwortbar, ohne wissenschaftstheoretisch Position zu beziehen. Eine exakte Definition von *nature of science*<sup>2</sup> wäre daher nicht nur problematisch, sondern auch wenig sinnvoll. Eine gängige Worterklärung kann daher keine Nominaldefinition sein, wie dies sonst in den Naturwissenschaften üblich ist, sondern muss eine *Gebrauchsdefinition* sein, die einen Verweishorizont absteckt:

The nature of science is a fertile hybrid arena which blends aspects of various social studies of science including the history, sociology, and philosophy of science combined with research from the cognitive sciences such as psychology into a rich description of what science is, how it works, how scientists operate as a social group and how society itself both directs and reacts to scientific endeavors. (McComas *et al.* 1998, S. 4)

In der Regel meint man daher, wenn man *über* Naturwissenschaften spricht, eine Reflexion über Methoden in Form einer Methodologie, die Wertvorstellungen der Forschergemeinschaft, die zur Entwicklung des wissenschaftlichen Wissens führen, ein Nachdenken über den epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens sowie kulturelle und gesellschaftliche Implikationen. Kurzum: Die Idee einer *nature of science* rekuriert auf erkenntnistheoretische, wissenschaftstheoretische, wissenschaftsethische sowie auf geltungstheoretische

---

<sup>2</sup> Aufgrund des weiten Bedeutungsumfangs von *nature of science* gibt es bislang keine wirklich *etablierte* deutsche Übersetzung des Ausdrucks. Die häufig anzutreffende Wendung ‘Natur der Naturwissenschaften’ (NdN) ist in meinen Augen nicht ganz unproblematisch, weil sie als eine vermeintlich *in der Natur* der Naturwissenschaften liegende immanente Zwangsläufigkeit missverstanden werden kann – das Gegenteil ist jedoch der Fall: *nature of science* ist unzweifelhaft eine Idee, ein Gedankenkonstrukt. Weil jedoch die Übersetzung ‘Natur der Naturwissenschaften’ vielfach genutzt wird, muss sie kommunikativ akzeptiert werden. Parallel und damit synonym werde ich mich jedoch nicht festlegen, sondern oftmals die englischsprachige Wendung beibehalten, das Kürzel NOS verwenden, aber auch vom Wesen oder der ‘Geartetheit’ (in Anlehnung an HÖTTECKE) der Naturwissenschaften sprechen bzw. von einem Metawissen über Naturwissenschaften. Ähnlich sieht dies m. E. auch HÖTTECKE (2001a), obgleich er konsequent die gängige Übersetzung ‘Natur der Naturwissenschaften’ nutzt. Er versteht darunter jedoch ein ‘Idiom’, welches auf die „Geartetheit“ (ebd., S. 19) der Naturwissenschaften verweise. Die Rede von einer ‘Natur der Naturwissenschaften’ entziehe sich einer klaren, definitorischen Abgrenzung, sie eröffne vielmehr eine „Richtung des Fragens [...]“, die den fachsystematischen Rahmen verlässt und eine Metaebene des Lernens und Verstehens bezeichnet“ (ebd.). Fragen eines solchen Lernbereichs seien prozesshafte, etwa die „nach dem Warum, Wozu, für Wen und Wie der Naturwissenschaften“ (ebd.), wie ich sie zu Beginn dieses Kapitels gestellt habe.

sche Aspekte (vgl. z.B. Kircher & Dittmer 2004, S. 8ff.) und bezieht sich metasprachlich auf den Objektbereich der Naturwissenschaften.

LEDERMAN (2004, S. 303) weist jedoch darauf hin, dass es *jenseits* dieser eher allgemeinen Bestimmung – ähnlich wie bei *scientific literacy* – keinen Konsens gebe zwischen Wissenschaftstheoretikern, Wissenschaftshistorikern, Naturwissenschaftlern und Naturwissenschaftsdidaktikern bezüglich des vollen Bedeutungsumfangs des Ausdrucks NOS. Dies sei allerdings weder verwunderlich angesichts der Vielfältigkeit und Komplexität des Wissenschaftsbetriebs, noch sei es beunruhigend oder gar problematisch. Denn *dass* eine Definition der Wendung *nature of science* von wissenschaftstheoretischen Positionen abhängt, wie ALTERS (1997) anhand einer empirischen Studie mit Wissenschaftstheoretikern zeigt, ist letztlich trivial. Bedeutsam ist dagegen die Frage, *welche* Definition von NOS *schulisch* relevant sein sollte bezogen auf konkreten Unterricht. Denn trotz der Vagheit des Begriffs ist die schulische *Relevanz* eines Wissens über Naturwissenschaften weitgehend unstrittig (vgl. McComas *et al.* 1998, S. 5). Die Frage ist daher berechtigt:

Who decides for science education organizations and researchers the primarily philosophically based question of what are the tenets of the NOS? (Alters 1997, S. 4)

Jenseits epistemologischer Streitigkeiten zwischen Neopositivisten, kritischen Rationalisten oder Konstruktivisten gibt es jedoch durchaus basale Aussagen, die letztlich unstrittig sind, etwa dass sich naturwissenschaftliches Wissen in einem Wechselspiel aus Theorie und Empirie entwickelt oder dass naturwissenschaftliches Wissen nur vorläufigen Charakter hat (vgl. z.B. auch Bartholomew *et al.* 2004, S. 657f.; Grygier *et al.* 2004, S. 2f.; Lederman *et al.* 2002, S. 499ff.; McComas *et al.* 1998, S. 6ff.; Priemer 2006, S. 161f.; Smith *et al.* 1997, S. 1102). Eine detaillierte Ausdifferenzierung erkenntnistheoretischer Positionen im naturwissenschaftlichen Unterricht ist daher letztlich unnötig und vermutlich auch verfehlt. Sie kann ihren Platz jedoch durchaus in Philosophiekursen haben. LEDERMAN (2004) bringt diesen Sachverhalt treffend auf den Punkt:

Many of the disagreements about the definition or meaning of the NOS that continue to exist among philosophers, historians, and science educators are irrelevant to K-12 instruction [...]. The issue of the existence of an objective reality, for example, as compared to phenomenal realities is a case in point. I argue that there is an acceptable level of generality regarding NOS that is accessible to K-12 students and relevant to their daily lives. Moreover, at this level, little disagreement exists among philosophers, historians and science educators. (Ebd., S. 303f.)

Ausgehend von der Idee, dass es einen Bereich relativ konsensfähigen, unstrittigen Wissens über Naturwissenschaften gibt – LEDERMAN *et al.* (2002, S. 499) sprechen von einem „shared wisdom“, MCCOMAS *et al.* (1998, S. 6) von einem „significant consensus regarding

the nature of science“ –, lässt sich zwar keine schulisch relevante Definition *der*<sup>3</sup> Natur der Naturwissenschaften geben, wohl aber eine Bestimmung dessen, welches Wissen *über* Naturwissenschaften im Unterricht bedeutsam werden kann und sollte. Bevor ein solches Wissen in Kapitel 3.2.2 näher ausgeführt werden wird, ist es sinnvoll, diese Idee durch einen kurzen, wissenschaftstheoretischen Exkurs zu untermauern, der allerdings (auch um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen) gezielt auf das naturwissenschaftliche Experiment perspektiviert ist, weil diesem im Kontext der vorliegenden Studie mit dem *inquiry*-Ansatz (siehe Kapitel 4.3) noch eine prominente Rolle zugewiesen werden wird.

### 3.2.1 Exkurs: Das Experiment in der Wissenschaft aus wissenschaftstheoretischer Sicht

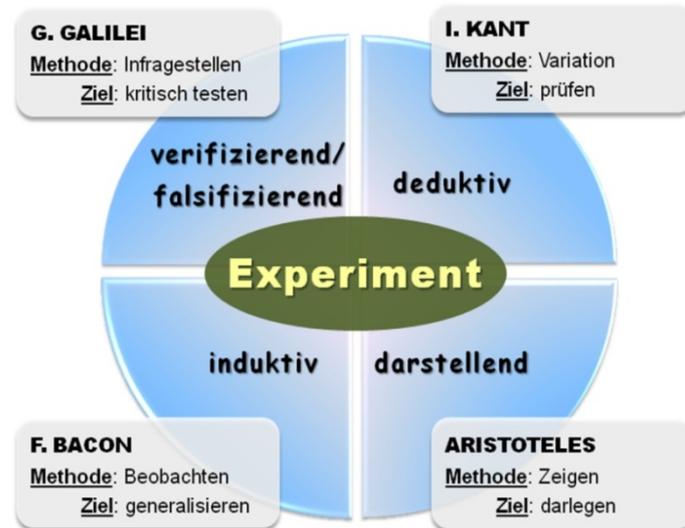
„Die Naturwissenschaften haben sich aus der antiken Naturphilosophie heraus entwickelt“ (Scharf 1992, S. 10), indem eher spekulative Sichtweisen durch intersubjektiv prüfbare Fakten ersetzt wurden. Historisch gesehen stellen dabei Tätigkeiten, die man heute als Experimente bezeichnen könnte, die fundamentale Basis der Naturwissenschaften dar (vgl. Hacking 1996, S. 249ff.). Experimente sind daher zweifelsohne ein Konstituens der naturwissenschaftlichen Disziplinen. Gleichwohl erschöpfen sich naturwissenschaftliche Methoden nicht in einer einzigen experimentellen Methode, etwa dem klassischen Dreischritt: Aufstellen einer Hypothese, Versuch der Verifikation bzw. Falsifikation, Verbesserung der Hypothese. Aus wissenschaftstheoretischer Sicht müssen daher verschiedene Positionen unterschieden werden. HODSON nennt im Anschluss an den Nobelpreisträger Sir P. B. MEDAWAR vier grobe, idealtypische Richtungen, die er mit bedeutenden, historischen Persönlichkeiten verknüpft (vgl. auch Abbildung 2):

- Das *induktive Verfahren* im Anschluss an den Empiristen F. BACON, bei dem man durch objektives Beobachten beim Experimentieren Generalisierungen findet
- Das *deduktive Verfahren* im Anschluss an I. KANT, bei dem man mittels der ‘Vernunft’ und ihrer ‘Prinzipien’ (in der Rolle eines ‘bestallten Richters’) durch Variation von Axiomen oder Randbedingungen die Natur als ‘Zeugen nötig’, auf Fragen zu antworten<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Es gibt nicht *die* Idee einer *nature of science*, wie LEDERMAN *et al.* (2002) zurecht betonen: „The use of the phrase NOS [...] instead of the more stylistically appropriate the NOS, is intended to reflect the authors’ lack of belief in the existence of a singular NOS or agreement on what the phrase specifically means.“ (Ebd., S. 499)

<sup>4</sup> KANTS Position auf das deduktive Verfahren des Rationalismus einzuengen, ist zu kurz gegriffen (vgl. Hacking 1996, S. 166ff.; Reiners 2002, S. 136f.; Ströker 1967, S. 124f.). Dies mag ein längeres Zitat verdeutlichen: „Als Galilei seine Kugeln die schiefe Fläche mit einer von ihm selbst gewählten Schwere herabrollen, oder Torricelli die Luft ein Gewicht, was er sich zum voraus dem einer ihm bekannten Wassersäule gleich gedacht hatte, tragen ließ, oder in noch späterer Zeit Stahl Metalle in Kalk und diesen wiederum verwandelte, indem er ihnen etwas entzog und wiedergab [...]; so ging allen Naturforschern ein Licht auf. Sie begriffen, daß die Ver-

- Das *kritische Verfahren* nach G. GALILEI, bei dem Hypothesen in Frage gestellt und dann kritisch (experimentell) getestet werden
- Das *illustrative Verfahren* nach ARISTOTELES, bei dem ein Experiment dazu dient, einen Sachverhalt darzulegen bzw. zu veranschaulichen



**Abbildung 2:** Idealtypische Funktionen eines naturwissenschaftlichen Experiments.  
(Vgl. Hodson 1993, S. 114)

Diese vier Strömungen zeigen, dass es eine Bandbreite an Wegen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung gibt. Die Idealtypik schwimmt jedoch mitunter bei einer detaillierteren, wissenschaftstheoretischen Betrachtungsweise, meist zugunsten einer Sichtweise,

---

nunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt, daß sie mit Prinzipien ihrer Urteile nach beständigen Gesetzen vorangehen und die Natur nötigen müsse auf ihre Fragen zu antworten, nicht aber sich von ihr allein gleichsam am Leitbände gängeln lassen müsse [...]; denn sonst hängen zufällige, nach keinem vorher entworfenen Plane gemachte Beobachtungen gar nicht in einem notwendigen Gesetze zusammen, welches doch die Vernunft sucht und bedarf. Die Vernunft muß mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinkommende [...] Erscheinungen für Gesetze gelten können, in einer Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen, zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern eines bestellten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt.“ (Kant 1787, S. 17f.) – Erkenntnis ist daher *auch* auf Empirie angewiesen. Letztlich führt KANT Empirismus und Rationalismus, allerdings unterschiedlich gewichtet, zu „seiner eigenen Position“ (Reiners 2002, S. 136) der ‘Transzendentalphilosophie’ zusammen. Selbst LIEBIG (1863), der in einer Auseinandersetzung mit der Position BACONS schreibt: „Eine empirische Naturforschung in dem gewöhnlichen Sinne existiert gar nicht. Ein Experiment, dem nicht eine Theorie, d.h. eine Idee, vorhergeht, verhält sich zur Naturforschung wie das Rasseln mit einer Kinderklapper zur Musik“ (ebd., S. 49), vertritt nicht notwendig eine rein deduktive Sichtweise. HACKING (1996, S. 256f.) betont nämlich mit Recht, dass freilich geklärt werden müsse, was LIEBIG unter einer ‘vorhergehenden Theorie’ verstehe: In einer *anspruchslosen* Lesart eine grobe Vorstellung, was man mit experimentellen Gerätschaften überhaupt untersuchen kann, oder in einer *anspruchsvollen* Lesart ein zu prüfender Denkansatz?

die zwar einen breit akzeptierten, gemeinsamen Kern<sup>5</sup> aufweist – ein „shared wisdom“, wie es LEDERMAN *et al.* (2002, S. 499) nennen –, in mitunter entscheidenden Detailfragen jedoch erhebliche Diskrepanzen zeigt. Dies soll anhand einer Definition des Wortes Experiment in einem einschlägigen Chemielexikon verdeutlicht werden:

Von latein.: experimentum = Probe, Beweis abgeleitete Bez. für einen willkürlich herbeigeführten natürlichen Vorgang, mit dem man je nach Ausfall eine unbekannte Größe bestimmen od. eine Gesetzmäßigkeit erkennen od. demonstrieren will, die den Ablauf des Vorganges bestimmt. Das E. [Experiment] ist das wesentliche Wahrheitskriterium der naturwissenschaftlichen Forschung u. das wichtigste Anschauungsmittel nicht nur in Chemie-Unterricht u. -Studium, sondern auch bei Demonstrationen vor anderem Publikum. [...] (Falbe & Regitz 1990, S. 1281)

Nach dieser Begriffsbestimmung weist das naturwissenschaftliche Experiment folgende Merkmale auf:

- Mittels eines Experiments kann der Mensch einen natürlichen Vorgang gezielt, absichtlich und kontrolliert herbeiführen
- Das primäre Ziel eines Experiments ist Erkenntnis; mit seiner Hilfe können Parameter bestimmt und Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden
- Experimente bieten eine empirische Grundlage, naturwissenschaftliche Aussagen im untersuchten Umfeld zu prüfen; sie stellen daher als ‚Wahrheitskriterium‘ die fundamentale Basis naturwissenschaftlicher Aussagen dar
- Ein Experiment kann auch als „Anschauungsmittel [...] in Chemie-Unterricht u. -Studium“ (ebd.) dienen (siehe dazu genauer Kapitel 4.3.3)

Eine solche, allgemeine Bestimmung des Terminus Experiment ist auf den ersten Blick relativ konsensfähig. Die Implikationen, die aus einer wissenschaftstheoretischen Position erwachsen, führen jedoch zu recht unterschiedlichen Interpretationen der an und für sich akzeptierten Sätze. Ein *gemeinsames Substrat* bleibt aber dennoch erhalten, wie ich nachfolgend anhand so unterschiedlicher Richtungen wie Logischer Empirismus, Methodischer Kulturalismus (Konstruktive Wissenschaftstheorie), Kritischer Rationalismus und der Theorie wissenschaftlicher Revolutionen nach KUHN knapp zeigen möchte.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Dieser gemeinsame Kern wird oft übersehen. So bezeichnet POPPER z.B. erst in der Rückschau den sogenannten ‚Positivismusstreit‘ in den 1960er Jahren zwischen Vertretern des Kritischen Rationalismus (POPPER, ALBERT) und der Kritischen Theorie (ADORNO, HABERMAS, HORKHEIMER) als einen „Eiertanz [...] von einer geradezu grotesken Unwichtigkeit“ (Popper 1984, S. 109): Die damaligen Standpunkte waren einander nämlich ähnlicher als ehemals angenommen – der Streit ging mehr um Macht und Worte als um Inhalte. Dies erklärt auch, warum „Horkheimer und Adorno eine große und langdauernde Polemik gegen den Positivismus in Gang halten konnten, ohne die meisten seiner aktuellen Grundideen genauer aufgefaßt zu haben.“ (Dahms 1994, S. 401)

<sup>6</sup> Für den nachfolgenden Überblick an wissenschaftstheoretischen Positionen stütze ich mich bei Primärquellen auf JANICH (1992; 1994; 1997), KUHN (1976) und POPPER (1961; 1982; 1984). Als Sekundärquellen nutze ich DAHMS (1994), HACKING (1996), MEYLING (2004), MITTELSTRAB (1989; 1992a; 1992b) und STRÖKER (1998). Die Position des POPPER-Schülers LAKATOS (1982), der mit seiner Idee der *Forschungsprogramme*, an denen notfalls durch Einbeziehung von Hilfhypothesen festgehalten werde, die aber dennoch diskursiv zu vergleichen

Vertreter des *Logischen Empirismus* (Neopositivismus), z. B. M. SCHLICK oder R. CARNAP, beides Mitglieder des sogenannten ‘Wiener Kreises’, würden der obigen Definition des Terminus Experiment beispielsweise durchaus zustimmen. Aus ihrer Sicht besteht die Funktion eines Experiments primär in der Sammlung ‘gehaltvoller’, d. h. empirisch prüfbarer Protokollsätze. Ziel der Wissenschaft sei es, aus zahlreichen, verifizierten Protokollsätzen eine Hypothese induktiv abzuleiten.<sup>7</sup> Habe sich eine Hypothese vielfach bestätigt, werde sie zu einem Gesetz. Eine logische Verknüpfung mehrerer Gesetze könne schließlich als Theorie bezeichnet werden. Die Basis einer solchen Sicht ist daher letztlich eine *naturalistische*, da man mittels eines Experiments in der Lage sei, eine Naturgesetzlichkeit herauszufinden. Der Empirismus betont daher (hier bezogen auf die Wissenschaft Chemie):

Am Anfang der Theorienbildung in der Chemie steht die Beobachtung, besonders die Beobachtung von Experimentalbefunden. [...] Einen anderen Weg des Erkenntnisgewinns als den, der von der Beobachtung ausgeht, gibt es im Grunde nicht. (Häusler 1981, S. 221)

HÄUSLER weist aber auch bereits darauf hin, dass Beobachten und Erfahren als geistige Tätigkeiten letztlich theoriegeleitet sind: „Man kann nur ‘aktiv’ beobachten, wenn man schon etwas weiß“ (ebd.).

Betont man diese Sichtweise, muss ein Experiment vorrangig als eine zielgerichtete, menschliche Handlung angesehen werden, mittels derer sich somit aber nicht im ‘Buch der Natur’ lesen lässt. Vielmehr muss ein Experiment dann als handwerkliche Kulturleistung und damit *kulturalistisch* betrachtet werden. Diese Position vertreten z. B. JANICH (1994; 1997) und PSARROS (1999). Sie bezeichnen die Idee als naiv, dass man durch bloßes Beobachten naturwissenschaftliche Erkenntnisse gewinnen könne, denn „das Natürliche im ursprünglichen Verständnis als das, was der Mensch weder gemacht noch verändert hat“ (Janich 1994, S. 145), sei kein Gegenstand einer naturwissenschaftlichen Disziplin. Experimentieren sei eine zweckgerichtete, menschliche Handlung, die „*mehr dem Konstruieren einer Maschine als dem Entdecken von etwas von selbst (‘natürlich’) Vorhandenem* entspricht“<sup>8</sup> (Janich 1997, S. 101; Hervorheb. i. O.). Naturwissenschaften müssten daher besser Technikwis-

---

seien, poppersche und kuhnsche Ansätze zu harmonisieren versucht, blende ich aus, weil sie für den Fortgang *meiner* Diskussion keine neuen Aspekte mehr aufwirft (vgl. Meyling 2004, S. 314ff.; Hacking 1996, S. 191ff.). Die in Ansätzen durchaus interessante, aber extrem pluralistische Sichtweise von FEYERABEND (vgl. Meyling 2004, S. 317f.) ist nicht nur im Rahmen dieser Arbeit kaum konsistent darlegbar (vgl. Scheibe 1988, S. 151) und wird daher hier übergangen.

<sup>7</sup> Mit Protokollsätzen lassen sich prinzipiell immer nur *singuläre* Beobachtungstatsachen festhalten. Auch zahlreiche solcher Sätze können daher nicht nach einem Induktionsprinzip logisch verallgemeinert werden. Dieses spätestens seit D. HUME bekannte *Induktionsproblem* lässt sich letztlich *methodisch* nicht lösen, ohne den Geltungsanspruch wissenschaftlicher Aussagen zu relativieren (vgl. Ströker 1992, S. 30ff.). *Lebenspraktisch* vertrauen wir nichtsdestotrotz tagtäglich auf induktive Schlüsse, weil es im Alltag schier unmöglich wäre, auf bewährte, aber unbewiesene Grundannahmen zu verzichten – dies könne „nur ein ‘Narr oder ein Wahnsinniger“ (Körner 1976, S. 330), wie bereits HUME gesagt haben soll (vgl. auch Stork 1979, S. 46).

<sup>8</sup> HACKING (1996) vertritt eine ähnliche Position. Er betont: „Experimentieren heißt: Phänomene schaffen, hervorbringen, verfeinern und stabilisieren“ (ebd., S. 380).

wissenschaften genannt werden, denn „*naturwissenschaftlich erkannte Natur* ist immer *technisch zugerichtete Natur*“ (Janich 1994, S. 145; Hervorheb. i. O.). Ziel des Experimentierens sei es, „daß in Experimenten *Abläufe*, die selbst keine Handlungen mehr sind, *technisch beherrschbar* (reproduzierbar) gemacht werden sollen“ (Janich 1997, S. 99; Hervorheb. i. O.). Experimentelle, technische Abläufe dienen, in Gang gesetzt, der „Überprüfung einer Hypothese“ (ebd., S. 101). Das *generelle* Ziel wissenschaftlicher Bemühungen sei es, „*transsubjektiv gültiges Wissen* (oder auch kurz: transsubjektives Wissen) *bereitzustellen*“ (ebd., S. 41; Hervorheb. i. O.). JANICH vermeidet damit bewusst, von ‘Wahrheit’ oder ‘Wirklichkeit’ zu sprechen; er bevorzugt die Dichotomie ‘begründet’ versus ‘unbegründet’. ‘Transsubjektiv gültiges Wissen’ ist dann ‘begründet’, wenn es prinzipiell *reproduzierbar* ist (vgl. ebd., S. 50ff.). Dazu bedürfte es jedoch „*expliziter Sprachverwendungsfestlegungen*“ (ebd., S. 43; Hervorheb. i. O.), die durch *Rekonstruktion*<sup>9</sup> gewonnen werden müssten.

Dass in den Naturwissenschaften keine Naturgesetzmäßigkeiten entdeckt, sondern Probleme planmäßig bearbeitet, gelöst und kommuniziert werden müssen, ist ein gerade für die Naturwissenschaftsdidaktik recht fruchtbarer Ansatz, wie BUCK (1995a) zeigt.<sup>10</sup> Verabsolutiert beraubt sich eine kulturalistisch-konstruktive Wissenschaftstheorie, wie sie JANICH vertritt, jedoch meines Erachtens leider wieder ihres Potenzials: Denn durch die radikale Ausrichtung auf eine erfolgreiche, technische Praxis wird die Position des Methodischen Kulturalismus einerseits *eindimensional* und andererseits kurioserweise auch wieder *praxisfern*:

- Dass ‘naturwissenschaftlich erkannte Natur immer technisch zugerichtete Natur’ sei, ist, wie STORK (1994) mit Recht anmerkt, „unzulässig verallgemeinert“ (ebd., S. 236) und damit *eindimensional*, denn es werde beim naturwissenschaftlichen Erkennen nicht ‘die Natur’, sondern immer nur ein einziger Parameter variiert und somit ‘technisch zugerichtet’. Der einseitige Blick auf die Herstellungspraxis und die technischen Verfahren erlaube ferner auch keine Unterscheidung mehr zwischen Aussagen über naturwissenschaftlich erkannte Zusammenhänge und erfolgreichem, technischen Handeln, also bildlich gesprochen zwischen „der produktiven Aktivität des Regenwaldes und der einer Ammoniakfabrik“ (ebd.).
- *Praxisfern* wird die Position des Methodischen Kulturalismus durch ihren Vorschlag einer ‘expliziten Sprachverwendungsfestlegung’: Um ‘transsubjektives Wissen’ zu erreichen, müsse die poetische Basis der Naturwissenschaften methodisch zirkelfrei und lückenlos sprachlich rekonstruiert werden unter Zuhilfenahme von mathematischen Operatorsymbolen (vgl. Ja-

<sup>9</sup> Rekonstruieren bedeutet beim Methodischen Kulturalismus jedoch nicht, etwas mimetisch abzubilden, sondern es begründet und konstruktiv neu zu schaffen: „Rekonstruktionen heben im Gegensatz zu Interpretationen die Distanz zwischen Produktion und Rezeption auf, d. h. sie setzen sich [...] an die Stelle des rekonstruierten Gegenstandes.“ (Mittelstraß 1989, S. 272)

<sup>10</sup> BUCK (1995a, S. 177) hebt hervor, dass er das Wortpaar *naturalistisch* versus *kulturalistisch* von JANICH entlehnt. Er bezieht es auch explizit auf Chemiedidaktik und betont, diese „sei durch und durch eine Kulturwissenschaft, denn ihr Gegenstand sei ja die Vermittlung einer speziellen kulturellen Leistung, eben die Vermittlung der begrifflichen und theoretischen *Konventionen* der Chemie“ (Buck 1996a, S. 4; Hervorheb. i. O.). JANICHs weitreichende Implikationen sprachtheoretischer Natur teilt BUCK jedoch nicht (vgl. ebd., S. 5).

nich 1997, S. 43ff.; Psarros 1999, S. 25ff.). Dieser Anspruch ist meines Erachtens weder absolut erreichbar, noch wünschenswert (vgl. Hofheinz *et al.* 1999, S. 90), denn auch eine Fachsprache kann und sollte als Bezugspunkt immer die Alltagssprache haben und muss dazu notfalls einen gewissen Grad an sprachlicher Vagheit in Kauf nehmen, und zwar aus zwei Gründen: Einerseits kann dadurch verhindert werden, dass die entsprechende Fachwissenschaft in gesellschaftliche Isolation abdriftet. Andererseits ist mit einer 'zirkelfrei definierten Fachsprache' mit dem Ziel einer 'transsubjektiven Gültigkeit' auch *kognitiv* bezüglich des Verstehens und Verständigens nicht viel gewonnen. Denn wenn Gemeinsinn kommunikativ hergestellt wird, ist dies stets ein *Aushandlungsprozess* zwischen individuellen Sichtweisen, *kein* kognitiver Bedeutungsabgleich. Sprachliche Zeichen können dabei allenfalls „der *kommunikative* Bezugspunkt für die Modellierung von Beständen des Weltwissens im Sprechen, *nicht aber* deren kognitives Korrelat“ (Feilke & Schmidt 1995, S. 290; Hervorheb. i. O.) sein.<sup>11</sup>

Trotz dieser beiden extrem unterschiedlichen Sichtweisen, Naturalismus hier, Kulturalismus dort, kann von beiden Seiten obige Lexikondefinition des Terminus Experiment letztlich geteilt werden. JANICH würde den ersten Argumentationsstrang betonen (gezielte Herbeiführung eines Vorgangs) und das 'Wahrheitskriterium' auf 'Zweckrationalität' und 'transsubjektives Wissen' einengen, aber das Erkenntnisziel, Hypothesen zu prüfen, durchaus anerkennen. Neopositivistische Vertreter würden den zweiten Argumentationsstrang hervorheben (Gesetzmäßigkeiten ableiten) und das 'Wahrheitskriterium' auf eine Korrespondenz mit der objektiven Welt an sich beziehen.

POPPER als Vertreter des *Kritischen Rationalismus* kritisiert den Neopositivismus und dessen Induktionsschlüsse, die er als „verfehlten Naturalismus“ (Popper 1961, S. 83) bezeichnet. Er betont, dass wissenschaftliches Wissen stets „Vermutungswissen“ (Popper 1982, S. 13) sei und für Kritik daher offen sein müsse. Demnach könne das Ziel des wissenschaftlichen Erkenntnisinteresses nicht, wie bei den Neopositivisten, im Auffinden positiver Gewissheiten im Sinne einer *absoluten* Wahrheit liegen. POPPER akzeptiert allenfalls eine empirisch gestützte *Annäherung* an die Wahrheit. Der Weg dorthin könne aber nicht – im Sinne des Positivismus – von Beobachtungen über Protokollsätze zu verallgemeinerten Gesetzen führen, sondern müsse umgekehrt darin bestehen, Falsifikationsversuche<sup>12</sup> für Hypothesen zu unternehmen (vgl. Popper 1961, S. 82). POPPER interessiert daher nicht die Genese einer Theorie, sondern deren kritische Prüfung. Experimentelle Beobachtungen

---

<sup>11</sup> Einen ähnlichen, prinzipiell gut gemeinten, aber gescheiterten Versuch, im Chemieunterricht Kommunikationsfähigkeit durch kategoriale, sprachliche Klarheit zu schaffen, unternahmen H. PFUNDT (1979) und J. WENINGER (1976) in den 1970er Jahren. Wenn WENINGER formuliert: „Ein *Name*, also ein Zeichen, ein Symbol, *meint* im allgemeinen eine *Sache* als solche“ (ebd., S. 37; Hervorheb. i. O.), wird deutlich, dass auch hier von einem sprachtheoretisch kaum haltbaren, verkürzten, referenzsemantischen Verständnis ausgegangen wird, bei dem ein kognitiver Bedeutungsabgleich möglich zu sein scheint. (Vgl. auch Fußnote 14 in Kapitel 4.2.4.)

<sup>12</sup> STORK (1979, S. 54ff.) weist darauf hin, dass POPPERS Ansatz der Falsifikation voraussetzt, dass *alle* naturwissenschaftlichen Hypothesen *Allsätze* sind, keine *Existenzsätze* (Protokollaussagen), denn nur Allsätze lassen sich durch einen einzigen Gegenbefund falsifizieren. Dies treffe aber nicht zu. Oftmals gebe es auch mehrere, aufeinander aufbauende Gesetzeshypothesen. Trotz eines Gegenbefundes ließe sich dann aber nicht eindeutig eine bestimmte Hypothese falsifizieren.

seien daher auch stets selektiv, weil sie bereits hypothesengeleitet sind. POPPER spricht deshalb auch von „problem-erzeugende[r] Beobachtung“ (ebd., S. 81). Naturwissenschaften liefern somit keine unumstößlichen, verifizierbaren Gesetze und Tatsachen, sondern lediglich Problemlösungsversuche, die aber prinzipiell falsifizierbar sein müssen. Hält eine Theorie der kritischen Prüfung eines ernsthaften Widerlegungsversuchs stand, ist sie also nicht falsifizierbar, folgt daraus nicht, dass sie wahr ist, sondern nur, dass sie *bewährt* ist. Sie habe dann einen hohen ‘empirischen Gehalt’ (vgl. ebd., S. 94). Es gebe keinen objektiven, wertfreien Wissenschaftler, der bar jeder Hypothese im Buch der Natur lesen könne. Gesichertes Wissen sei nur im engen Rahmen eines geschlossenen, theoretischen Modells möglich, denn die „Spannung zwischen Wissen und Nichtwissen“ (ebd., S. 82) könne nicht überwunden werden.

Der obigen Definition des Fachausdrucks Experiment würde auch POPPER weitgehend zustimmen, obgleich er den Status eines Experiments ganz anders sieht als beispielsweise ein Vertreter des Logischen Empirismus. Er betont, dass

[...] die Naturwissenschaften nicht von ‘Messungen’ ausgehen, sondern von großen Ideen; und daß der wissenschaftliche Fortschritt *nicht* in der Anhäufung oder Erklärung von Tatsachen besteht, sondern in kühnen, revolutionären Ideen, die dann scharf kritisiert und überprüft werden. (Popper 1984, S. 107; Hervorheb. i.O.)

Dies verdeutlicht POPPERS Ziel, gezielte und kontrollierte, experimentelle Widerlegungsversuche für Theorien durchzuführen. Allerdings ergeben sich in seinem Sinne so keine ‘Anhäufung von Tatsachen’ oder ‘Gesetzmäßigkeiten’, sondern lediglich viele, singuläre Beobachtungssätze, die jedoch im Sinne eines „tentativen Lösungsversuches“ (Popper 1961, S. 82) in der Regel zu neuen Problemen führen, aber auch zu einer „*Annäherung an die Wahrheit*“ (ebd., S. 94; Hervorheb. i.O.).

Auch wenn sich POPPER *entschieden* dagegen verwehrt, Positivist zu sein (vgl. Popper 1984, S. 107), gibt es deutliche Gemeinsamkeiten zwischen ihm und Vertretern des Wiener Kreises: penible Trennung von Theorie und Beobachtung, präzise Terminologie, Unterscheidung von Begründungs- und Entdeckungszusammenhang<sup>13</sup>, kontinuierliches und kumulatives Fortschreiten einer eigentlich zeitlosen und universalen Wissenschaft (d.h., die spätere Theorie enthält die frühere bei geeigneter Einschränkung der Situationsumstände zumindest in Annäherung, die überholte Theorie bildet damit einen Grenzfall der Nachfolgetheorie). Diese Gemeinsamkeiten zwischen Kritischem Rationalismus und Neopositivismus stellten sich vor allem durch die ‘revolutionäre’ Theorie KUHNs heraus,

<sup>13</sup> Die Unterscheidung zwischen Begründungs- und Entdeckungszusammenhang stammt von H. REICHENBACH, einem Hauptvertreter des Logischen Empirismus. Der *Begründungszusammenhang* betrifft die Stichhaltigkeit und Logik einer Entdeckung. Unter dem *Entdeckungszusammenhang* versteht man die historischen Umstände, den Kontext der Entdeckung.

in der er zeigt, dass Wissenschaftsentwicklung nicht nur von wissenschaftsinternen, sondern auch von sozialen Faktoren abhängig ist.

KUHN (1976) skizziert und analysiert in seinem Essay, wie er es nennt, die Wege von einer ‘normalen Wissenschaft’ zu einer anderen durch Anomalien, Krisen, mitunter auch Revolutionen. Damit ist bereits impliziert, dass er „Zweifel an dem kumulativen Prozeß“ (ebd., S. 17) einer Entwicklung der Wissenschaft hegt, eher von einem sprunghaften, fundamentalen, mitunter irrationalen Theorienwandel ausgeht, bei dem Begründungs- und Entdeckungszusammenhang unweigerlich miteinander verknüpft seien (vgl. ebd., S. 23). Am Beginn stehe zunächst eine präparadigmatische Phase mit einer Vielzahl rivalisierender Denkschulen. Erlangt eine Denkschule eine deutliche Monopolstellung, verpflichtet sie sich also auf ein *Paradigma*, spricht man von einer *normalen Wissenschaft* mit ihren Theorien und technischen Anwendungen (vgl. ebd., S. 25ff.). Den Terminus ‘Paradigma’ verwendet KUHN, wie er in seinem Postskriptum präzisiert, sowohl in einem *weiten* soziologischen als auch in einem *engen* innerwissenschaftlichen Sinne:

Einerseits steht er für die ganze Konstellation von Meinungen, Werten, Methoden usw., die von den Mitgliedern einer gegebenen Gemeinschaft geteilt werden. Andererseits bezeichnet er ein Element in dieser Konstellation, die konkreten Problemlösungen, die, als Vorbilder oder Beispiele gebraucht, explizite Regeln als Basis für die Lösung der übrigen Probleme der ‘normalen Wissenschaft’ ersetzen können. (Ebd., S. 186)

Ein Paradigma ist demnach einerseits ein „disziplinäres System“ (ebd., S. 194), welches als Ressource eine Art Vorverständnis ermöglicht und daher auch die gemeinsame Wertebasis einer Forschergemeinschaft umfasst (vgl. ebd., S. 196ff.). Andererseits versteht KUHN unter einem Paradigma auch ein pragmatisches, oft implizit tradiertes Problemlösungsmuster. Damit wird zugleich verständlich, dass KUHN zwar nicht bestreitet, dass es eine wissenschaftliche Forschung auch ohne Paradigma gebe, er jedoch gerade die Existenz eines Paradigmas für wesentlich ansieht, damit sich eine ‘normale Wissenschaft’ überhaupt entwickeln kann. Wesentliche Kennzeichen seien, dass es so etwas wie ein Lehrbuch gebe (vgl. ebd., S. 34ff.) und dass das Paradigma nicht wie bei POPPER falsifiziert werden soll, sondern gleichsam als Leitthese, als Sammlung von Musterlösungen für Probleme, die Wahrnehmung kanalisiert. Nur solche Fakten würden von der Wissenschaftlergruppe überhaupt wahrgenommen, die dazu prädestiniert seien, das Paradigma zu stützen (vgl. ebd., S. 38). Auch wenn dies fast nach einem Verifikationsmodell klingt und KUHN sogar von ‘Rätsellösen’ spricht (ebd., S. 49ff.), meint er damit nicht die Bestätigung eines Paradigmas. Rätsellösen heißt hier eher, dass die Phänomene in die vom Paradigma bereitgestellten Kategorien eingeordnet werden. Infolgedessen ist es nicht das Ziel der normalen Wissenschaft, die Adäquatheit des Paradigmas zu prüfen, sondern es weiter auszuarbeiten und auszudifferenzieren. Das „sichere Vorhandensein einer Lösung“ (ebd., S. 51) ist bei dieser Art von ‘Rätsellösen’ mithin garantiert. In der Regel sei ein Paradigma daher zwar relativ immun gegenüber abweichenden experimentellen Befunden, weil diese als solche

oftmals gar nicht in den Blick gerieten (vgl. ebd., S. 75ff.). Bei redundant auftretenden Abweichungen und massiven Misserfolgen beim Rätsellösen könne es aber zu ‘Anomalien’ kommen, eventuell zur ‘Krise’ und vielleicht sogar zur ‘Revolution’, die dann eine neue Normalwissenschaft mit einem neuen Paradigma nach sich zieht. Eine Krise ist durch die Entwicklung einer Vielzahl von Paradigmaversionen gekennzeichnet; der Glaube an das derzeit gültige Paradigma schwindet innerhalb der Forschergemeinschaft (vgl. ebd., S. 96ff.). Eine Krise ist somit notwendig, aber nicht hinreichend für eine Revolution. Eine wissenschaftliche Revolution meint einen Neuaufbau einer Disziplin, einen nicht-akkumulativen, sondern dynamischen Theorienwandel. Die Kernbestandteile des zuvor akzeptierten Wissens werden aufgegeben und neuartige Vorstellungen an deren Stelle gesetzt.

Sprachlich geprägt hat KUHN dafür den Ausdruck ‘Paradigmawechsel’. Ein solcher Wechsel ist nicht einfach nur eine andere Sicht der Dinge, unterschiedliche Paradigmata seien nicht miteinander vergleichbar, sie seien ‘inkommensurabel’ (vgl. ebd., S. 159ff.). Letztlich „üben die Befürworter konkurrierender Paradigmata ihre Tätigkeit in verschiedenen Welten aus“ (ebd., S. 161), obgleich sie sich der gleichen sprachlichen Grundlage bedienen. Die Bedeutung von Fachbegriffen sei jedoch durch den Kontext der Verwendung festgelegt, also innerparadigmatisch bestimmt. Dies mache es nach KUHN so schwierig, eine neue Theorie zu verstehen. Ausgezeichnete Paradigmawechsel seien z.B. der Übergang von der ptolemäischen zur kopernikanischen Astronomie, die Überwindung der Phlogistontheorie sowie die Revolution der klassischen Mechanik durch die Relativitätstheorie.<sup>14</sup>

Nach KUHN werden in der Wissenschaft daher keine Probleme gelöst, sondern lediglich *aufgelöst*, d.h. die Forschergemeinschaft eines neuen Paradigmas beschäftigt sich unter Umständen gar nicht mit den früheren, nun inkommensurablen Problemen, weil eine wissenschaftliche Revolution durch einen fundamentalen Theorienwandel und damit einher auch einer grundlegenden Verschiebung der Begriffs*bedeutungen* und Problemstellungen verbunden sei. Dies zeigt nochmals deutlich, dass es bei KUHN weder um Verifikation noch um Falsifikation geht, sondern um den Sensus communis der Forschergemeinschaft, die einem Paradigma verpflichtet ist, denn es gibt „bei der Wahl eines Paradigmas keine höhere Norm als die Billigung durch die jeweilige Gemeinschaft“ (ebd., S. 106). Man müs-

---

<sup>14</sup> KUHNs These von der Inkommensurabilität verschiedener Paradigmata ist umstritten. JANICH (1997) z.B. weist darauf, „daß allen Paradigmenwechseln zum Trotz das *technische Fundament* der naturwissenschaftlichen Laborforschung und Beobachtungskunst einen eigenständigen, *kumulativen Zuwachs an technischem Handlungswissen* durchlaufen“ (ebd., S. 191; Hervorheb. i. O.) habe. MITTELSTRAB (1989), der KUHNs These für überzogen hält, gibt unter anderem zu bedenken, dass es neben einer diachronen auch eine *synchrone*, innerparadigmatische Relativität geben könne bezüglich der Auslegung einer Theorie (vgl. ebd., S. 245ff.). HACKING (1996, S. 131ff.) zeigt, dass die Idee der Inkommensurabilität auf einem kaum haltbaren, referenzsemantischen Modell beruht und dadurch stark an Gewicht verliere.

se daher die „Vorstellung aufgeben, daß der Wechsel der Paradigmata [...] näher an die Wahrheit heranführt“ (ebd., S. 182).<sup>15</sup>

Auch KUHN würde die oben gegebene Lexikon-Definition des Terminus Experiment weitgehend teilen. Auch er sieht das Experiment als einen gezielten, kontrollierten Vorgang an (vgl. ebd., S. 52ff.), denn dessen Aufgabe ist es, Forscher beim ‘Rätsellösen’ so zu unterstützen, dass das gültige Paradigma der Normalwissenschaft ausdifferenziert werden kann. Das Wahrheitskriterium ist zwar innerparadigmatisch bestimmt, beruht aber dennoch auf einer „gegenseitige[n] Anpassung von Fakten und Theorie“ (ebd., S. 47).

Die hier kurz vorgestellten wissenschaftstheoretischen Positionen zeigen, dass eine allgemeingültige Sichtweise oder gar eine Definition von *nature of science* kaum existieren kann, denn dazu müsste es eine transparadigmatische Rationalität geben, was KUHN jedoch beispielsweise bestreiten würde. Zu fragen ist aber, ob es nicht – selbst wenn theoretische Begriffe und Modelle nur innerparadigmatisch zu bestimmen wären – eine transparadigmatische, unstrittige *empirische Basis* gibt, z.B. bei naturwissenschaftlichen Prozessen, also bei Tätigkeiten wie messen, beobachten, ordnen, klassifizieren, experimentieren. JANICH bemerkt dazu meines Erachtens mit Recht:

Die Gegenstände der Naturwissenschaften unterliegen – und dies ist dabei übersehen worden – in ihrem Zustandekommen eben nicht oder nicht allein [...] Carnapscher oder Neurathscher Protokollsätze, beobachtungs- oder theoriesprachlicher Beschreibungen, Popperscher Falsifikation, Kuhnscher Paradigmenakzeptanz oder Feyerabendischer Kreativitäts- und Pluralitätsphantasien. (Janich 1997, S. 195f.)

Bei wissenschaftstheoretischen Ansätzen werde oftmals das „*technische Fundament der Naturwissenschaften*“ (ebd., S. 196; Hervorheb. i.O.) vergessen. JANICH führt dazu genauer aus:

Wo z.B. das Rad erfunden ist und benutzt wird, wo sich daran die Erfindung des Zahnrades und der Getriebe anschließt und daran eine mechanische Kunst, bei der jeweils die späteren Entwicklungen auf die früheren aufbauen, ist ein technischer Fortschritt ebenso unzweifelhaft festzustellen wie etwa in der für die Naturwissenschaften so wichtigen Beobachtungs-, Meß- und Experimentierkunst. Sollten durch neue technische Entwicklungen alte in den Hintergrund treten oder nicht benutzt werden – wie etwa die mechanische Rechenmaschine im Zeitalter der elektronischen –, so werden an den alten Entwicklungen *keine Falsifikationen* im Popperschen Sinne vorgenommen, *keine Behauptungen widerlegt* und *keine revolutionären Paradigmenwechsel* vollzogen. Technisches Vermögen ist strikt kumulativ.

Was für den Bereich der Technik im engeren Sinne (Geräte, Produkte poetischen Handelns) gilt, ist für die technische Rationalität im weiteren Sinne ebenfalls gültig [...]. (Ebd., S. 199)

Diese relativ unstrittige empirische Basis im Bereich des technisch-rationalen Handelns ist der Grund dafür, dass bezüglich des naturwissenschaftlichen Experiments auch *jenseits* wis-

---

<sup>15</sup> MITTELSTRAB (1989) wendet gegen diese Art von Relativismus ein, dass so die Argumente der Parteien verschiedener Paradigmata zwar nicht falsch werden, jedoch nur noch den Status von „Mechanismen der Überredung und Diffamierung“ (ebd., S. 264) hätten. So ergebe sich für Naturwissenschaften insgesamt ein Legitimitätsproblem, denn „Rationalität wird kurzatmig“ (ebd.). Ähnlich argumentiert auch JANICH (1997, S. 192).

senschaftstheoretischer Positionen *methodisch* Gemeinsamkeiten<sup>16</sup> bestehen, wie die Zusammenschau in Tabelle 9 zeigt. Dass die Differenzen in puncto *Ziel* und *erkenntnistheoretischer Status* eines Experiments bei genauer Betrachtung groß sind, verwundert dagegen nicht. Gleichwohl sind aber auch hier *methodologische* Gemeinsamkeiten feststellbar: *Ziel* eines Experiments ist es z. B. immer (abgesehen beim Logischen Empirismus), eine experimentelle Antwort auf eine Frage zu finden und somit *Erkenntnisse* zu erlangen.

<b>Status eines Experiments</b> <i>wissenschaftstheoretische Position</i>	<i>methodisch</i>	<i>intentional</i>	<i>epistemologisch</i>
<b>Logischer Empirismus</b> (Neopositivismus)	gezielter, kontrollierter Vorgang	Sammlung gehaltvoller Protokollsätze	Annäherung an die Wirklichkeit durch induktives Erschließen objektiver Naturgesetzmäßigkeiten
<b>Methodischer Kulturalismus</b> (Konstruktive Wissenschaftstheorie)	gezielter, kontrollierter Vorgang, verstanden als eine konstruktive, menschliche Handlung (Kulturleistung) nach normierten Zwecken	Kausalerklärungen gewinnen und Hypothesen prüfen durch technische Reproduktion vorgedachter Abläufe	zweckrationales Handeln führt zu transsubjektiv gültigem Wissen (unter der Maßgabe einer expliziten Sprachverwendungsfestlegung)
<b>Kritischer Rationalismus</b>	gezielter, kontrollierter Vorgang	ausgehend von 'kühnen' Ideen Probleme lösen (tentative Lösungsversuche)	Annäherung an eine objektive Wahrheit durch das Prinzip der Falsifikation
<b>Theorie wissenschaftlicher Revolutionen</b> (Historismus)	gezielter, kontrollierter Vorgang	Lösen von 'Rätseln', um das gültige Paradigma auszudifferenzieren	innerparadigmatische Wirklichkeit

**Tabelle 9:** *Methode, Ziel und epistemologischer Status* eines naturwissenschaftlichen Experiments in Abhängigkeit von wissenschaftstheoretischen Positionen

Unabhängig von erkenntnistheoretischen Positionen kann daher z. B. allgemeingültig und somit als ein *Kennzeichen* von Naturwissenschaften ein stetes und wechselseitiges „Ineinandergreifen von Theorie und Empirie“ (Stork 1979, S. 48)<sup>17</sup> festgestellt werden: „Einerseits

<sup>16</sup> HÖTTECKE (2004, S. 52) weist beispielhaft auf weitere allgemeine Kennzeichen beim Experimentieren hin: „Experimentieren unterliegt einer eigenen Rationalität, die Methoden sind nicht beliebig, sondern müssen reflektiert und offengelegt werden. Experimentieren zeichnet sich häufig dadurch aus, dass Störparameter identifiziert und minimiert, Messparameter dagegen festgelegt und verstärkt werden müssen.“

<sup>17</sup> STORK verdeutlicht dieses 'Ineinandergreifen', bei dem empirisch-induktive wie auch hypothetisch-deduktive Schritte stattfinden, durch ein *dreistufiges Schema*, „bei dem sich zwischen die Ebenen der Erfahrung und der Theorie die Ebene der Hypothesen schiebt“ (Stork 1985, S. 298; vgl. auch Stork 1979, S. 57). Für Anregungen und Beispiele zur Verdeutlichung dieses Schemas greift STORK auf Ideen von STRÖKER (1967, S. 164ff.) zu-

ermöglicht die Theorie die Deutung des empirischen Befundes, andererseits stützt der Befund die Theorie“ (ebd.; vgl. auch Hodson 1993, S. 115f.). Denn nur so lasse sich der unverkennbare „Fortschritt in der historischen Entwicklung der Naturwissenschaften“ (Stork 1985, S. 297) aus methodologischer Sicht deuten. Dies ist dann auch unabhängig davon, ob der ‘empirische Befund’ ein zweckrationaler Reproduktionsversuch, ein Falsifikationsversuch oder ein innerparadigmatisches Rätsellösen darstellt. Offenbar wird hier ein relativ unstrittiger Bereich angesprochen, der sich *sowohl* auf naturwissenschaftliche Methoden *als auch* auf die entsprechende Methodologie bezieht.

Um nicht missverstanden zu werden: Die herausgestellten Gemeinsamkeiten postulieren weder einen vermeintlichen Expertenkonsens in allen Punkten noch eine einheitliche naturwissenschaftliche Methode! Letztere kann es nicht nur aufgrund der unterschiedlichen wissenschaftstheoretischen Positionen nicht geben, sondern auch, weil naturwissenschaftliches Arbeiten stets ein problem- und gegenstandsbezogener und damit *dynamischer* Prozess ist. Dies heißt nun aber wiederum nicht, dass es *keinerlei* Methoden gibt, die als typisch naturwissenschaftlich gekennzeichnet werden können:

However, our failure to identify a single, simple method does not mean that scientists have no methods. Feyerabend’s [...] famous assertion that ‘anything goes’ implies the absence of a *prescribed* method, the absence of an algorithm, rather than the absence of methods. (Hodson 1998, S. 207; Hervorheb. i.O.)

Neben *typischen*, naturwissenschaftlichen Methoden bzw. Elementen einer Forschungsheuristik<sup>18</sup> – in der PISA-Studie wird von Prozessen gesprochen (vgl. Deutsches PISA-Konsortium 2000, S. 68) –, also praktischen bzw. kognitiven Tätigkeiten wie z.B. beobachten, messen, Hypothesen bilden, gibt es auch ein gegenwärtiges, *typisches* Verständnis der Besonderheiten und Wertvorstellungen, auf denen diese Tätigkeiten basieren: dies ist der Bereich der Methodologie bzw. einer *nature of science*.

---

rück. Inhaltlich ausdifferenziert und fachdidaktisch fruchtbar gemacht hat das Schema SCHARF (1983a, S. 147f.; 2004, S. 148ff.); GRÖGER (1996) erweitert es um eine Ebene der *Fiktionen*, die „als Brücke zwischen Empirie und Theorie angesehen werden“ (ebd., S. 60) kann.

<sup>18</sup> Weil die Rede von Methoden mit Missverständnissen behaftet sei, schlägt HÖTTECKE in Anlehnung an den Wissenschaftshistoriker K. HENTSCHEL vor, nicht von *Methoden*, sondern von *Forschungsheuristik* zu sprechen: „Dieser Begriff bezeichnet diskrete und identifizierbare Elemente des Forschungshandelns, so dass die Frage nach deren Regelmäßigkeit und Verallgemeinerbarkeit gestellt werden kann, ohne sie vorauszusetzen, wie es der Methodenbegriff mit sich bringt“ (Höttecke 2001a, S. 22). Vorteilhaft sei daher vor allem, dass die Rede von einer Forschungsheuristik frei von normativen Zügen ist. In der Soziologie wird der Begriff der Forschungsheuristik im Zusammenhang mit der Einnahme einer induktiven ‘bottom-up’-Perspektive – in Abgrenzung zu einem ausgearbeiteten Erklärungsmodell – als eine Art *Suchmodell* gebraucht, indem die „wissenschaftliche Aufmerksamkeit auf bestimmte *Aspekte* der Wirklichkeit“ (Mayntz & Scharpf 1995, S. 39; Hervorheb. V. H.) gelenkt wird. Somit wird der Begriff in der Tat deskriptiv statt präskriptiv verwendet.

### 3.2.2 Relevante Aspekte von *Nature of Science* im Unterricht

Eine sinnvolle Auswahl, welches Wissenschaftsverständnis schulisch bedeutsam werden könnte, haben z. B. MCCOMAS *et al.* (1998) zusammengestellt (siehe Tabelle 10), indem sie die Schnittmenge zu Ansichten von *nature of science* aus acht bedeutenden, naturwissenschaftsdidaktischen Veröffentlichungen gebildet haben (genauere Daten zu dieser Studie finden sich auch in McComas 2005). Auf solche oder ähnliche Aspekte (zumeist etwas gekürzt) berufen sich nicht nur die amerikanischen Bildungsstandards (National Research Council 1996, S. 171, 201) sowie zahlreiche US-amerikanische Forscher (vgl. für einen Überblick McComas 2005, S. 2f.), sondern inzwischen auch deutsche (vgl. Günther 2006, S. 33f.; Grygier *et al.* 2004, S. 2f.; Priemer 2006, S. 161).

---

A consensus view of the nature of science objectives extracted from eight international science standards documents

---

- Scientific knowledge while durable, has a tentative character.
  - Scientific knowledge relies heavily, but not entirely, on observation, experimental evidence, rational arguments and skepticism.
  - There is no one way to do science (therefore, there is no universal step-by-step scientific method).
  - Science is an attempt to explain natural phenomena.
  - Laws and theories serve different roles in science, therefore students should note that theories do not become laws even with additional evidence.
  - People from all cultures contribute to science.
  - New knowledge must be reported clearly and openly.
  - Scientists require accurate record keeping, peer review and replicability.
  - Observations are theory-laden.
  - Scientists are creative.
  - The history of science reveals both an evolutionary and revolutionary character.
  - Science is part of social and cultural traditions.
  - Science and technology impact on each other.
  - Scientific ideas are affected by their social & historical milieu.
- 

**Tabelle 10:** Konsensfähiges Wissen über Naturwissenschaften<sup>19</sup> (Aus: McComas *et al.* 1998, S. 6f.)

Die Forschergruppe um N. G. LEDERMAN (vgl. z. B. Abd-El-Khalick & Lederman 2000a; Bell *et al.* 2003; Lederman *et al.* 2002) nutzt eine ähnliche Konsensliste zur Konstruktion

---

<sup>19</sup> Diese Liste wird von GRYGIER *et al.* (2004, S. 3) als „*kuhnsche Sicht*“ der Naturwissenschaften“ charakterisiert, während MCCOMAS (2005, S. 1) jedoch mehrfach von „contributions of Kuhn and Popper“ spricht. Dies zeigt, dass diese Ansichten tatsächlich nicht eindeutig auf eine wissenschaftstheoretische Position zurückführbar sind, sondern eher eine konsensfähige Schnittmenge bilden.

eines offenen Fragebogens – *Views about Nature of Science* (VNOS) –, um Ansichten über NOS zu erheben. Eine genauere *forschungsmethodische* Einordnung dieses Instruments erfolgt in Kapitel 6.2 dieser Arbeit. *Inhaltlich*, d. h. hinsichtlich der erfassten Zielbereiche, erfolgt eine Raffung<sup>20</sup> der vierzehn bei MCCOMAS *et al.* (1998) herausgestellten Punkte auf insgesamt acht, indem eine Sichtweise ausdifferenziert wird, zwei Aspekte zu einem zusammengefasst und sechs (in meinen Augen auch weniger essenzielle) Punkte weggelassen werden (siehe Tabelle 11).

Zielbereich	Inhalt
a) <b>The empirical nature of scientific knowledge</b>	<b>Empirische Basis</b> Naturwissenschaften basieren zu großen Teilen auf der Beobachtung von Phänomenen und haben daher eine empirische Basis. Beobachtungen unterliegen aber den Einschränkungen unserer Sinnesorgane bzw. sind an Apparaturen, die eigens zur Beobachtung gebaut wurden, gebunden. Ferner sind Beobachtungen durch zahlreiche Vorannahmen immer bereits schon theoriegeleitet.
b) <b>Observation, inference, and theoretical entities in science</b>	<b>Status von Beobachtungen, Deutungen und Modellen</b> Während über Beobachtungen relativ rasch ein Konsens erzielt werden kann, ist dies bei Deutungen beobachteter Phänomene keineswegs der Fall, weil Deutungen stets theorieabhängig sind. Deutungen und Modelle können daher nie 'richtig', sondern allenfalls angemessen sein.
c) <b>Scientific theories and laws</b>	<b>Status von Theorien und Gesetzen</b> Naturwissenschaftliche <i>Theorien</i> sind etablierte, in sich konsistente Erklärungssysteme für viele (auch scheinbar unzusammenhängende) Beobachtungen. Neben diesem interpretatorischen Moment haben Theorien auch eine prognostische, forschungsleitende Kraft. Hinsichtlich ihrer Gültigkeit sind sie nicht verifizierbar. <i>Gesetze</i> treffen Aussagen über Zusammenhänge zwischen beobachtbaren Größen unter bestimmten Bedingungen und haben somit immer eine empirische Basis. Theorien und Gesetze befinden sich daher auf unterschiedlichen, logischen Ebenen.
d) <b>The creative and imaginative nature of scientific knowledge</b>	<b>Anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften</b> Wissenschaftliche Ergebnisse sind keine erkannten Naturgesetze, sondern basieren auf menschlichen und daher zum Teil auch subjektiven, kreativen Deutungen. Modelle und Theorien haben daher keinen Abbildcharakter, sondern werden aus funktionalen und teilweise auch ästhetischen Gesichtspunkten gewählt.

<sup>20</sup> Der zweite Listenpunkt von MCCOMAS *et al.* (1998, S. 6f.) (*Scientific knowledge relies heavily, but not entirely, on observation, experimental evidence, rational arguments and skepticism*) wird bei LEDERMAN *et al.* (2002, S. 499f.) weiter ausdifferenziert; die beiden Sichtweisen zum sozialen, kulturellen und historischen Hintergrund (*science is part of social and cultural traditions* und *scientific ideas are affected by their social & historical milieu*) werden zusammengefasst; die Punkte 4, 6, 7, 8, 11 und 13 (*science is an attempt to explain natural phenomena/people from all cultures contribute to science/new knowledge must be reported clearly and openly/scientists require accurate record keeping peer review and replicability/the history of science reveals both an evolutionary and revolutionary character*) werden nicht berücksichtigt.

Zielbereich	Inhalt
e) <i>The theory-laden nature of scientific knowledge</i>	<b>Theoriegebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens</b> Persönliche Überzeugungen, Vorwissen, Erfahrungen sowie disziplinär akzeptierte Forschungsprogramme beeinflussen die Arbeit eines Naturwissenschaftlers und entscheiden letztlich darüber, was überhaupt wie untersucht wird und was beobachtet wird (und was nicht). Jede Beobachtung ist immer schon theoriegebunden.
f) <i>The social and cultural embeddedness of scientific knowledge</i>	<b>Sozialer &amp; kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen</b> Forschung und die Interpretation von Forschungsergebnissen sind auch sozial und kulturell beeinflusst.
g) <i>Myth of the scientific method</i>	<b>Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode</b> Es gibt zwar einen gemeinsamen naturwissenschaftlichen Methodenpool, aber keine universelle naturwissenschaftliche Methode, die alle Naturwissenschaftler rezeptartig verfolgen. Folglich gelangen auch nicht alle Wissenschaftler nach dem selben Muster zu gleichen Ergebnissen.
h) <i>The tentative nature of scientific knowledge</i>	<b>Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens</b> Wissenschaftliche Erkenntnisse sind zwar relativ dauerhaft, haben aber nicht ewig Bestand (aufgrund neuer Untersuchungsergebnisse oder einer Neuinterpretation existierender Befunde). Sie sind daher stets vorläufig und lassen sich grundsätzlich nicht verifizieren.

**Tabelle 11:** Unterrichtlich relevante Ansichten über *nature of science* (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 499ff.; Lederman 2004, S. 304ff.)

Die zumeist aus dem angloamerikanischen Raum vorliegenden Forschungsergebnisse<sup>21</sup> weisen darauf hin, so HÖTTECKE (2001a) zusammenfassend, dass die Vorstellungen von Kindern und Jugendlichen über NOS zwar „kein einheitliches Bild“ (ebd., S. 71) ergeben, aber dennoch oftmals als „unzureichend und nicht adäquat bezeichnet werden müssen“ (ebd.; vgl. auch Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1058; Driver *et al.* 1996, S. 45ff.). Bei aller Heterogenität im Detail zeichne sich jedoch als grober Trend erkenntnistheoretisch eine „Tendenz zum ontologischen Realismus“ (ebd., S. 72) ab, gekoppelt mit einem „naiv-empiristisch[en]“ (ebd.) Bild bezüglich der Vorgehensweise eines Naturwissenschaftlers. Naturwissenschaften werden bei dieser Sichtweise eines ‘naiven Realismus’ als methodisch universelle, objektive Forschungsrichtung angesehen, bei der gesichertes Wissen über Naturgesetzmäßigkeiten experimentell entdeckt wird.

<sup>21</sup> Durch die Ergebnisse der ‘PISA-Studie 2006’, in der unter dem Label ‘naturwissenschaftliche Evidenz nutzen’ auch Daten erhoben wurden, die einem Bereich einer Natur der Naturwissenschaften zugeordnet werden können, liegen inzwischen auch für Deutschland prinzipiell Forschungsergebnisse vor. Diese erlauben allerdings – bedingt durch die Anlage von PISA als ‘large-scale Assessment-Studie’ – nur sehr grobe Trendaussagen, keine differenzierten Schilderungen von Schülervorstellungen zum Lernbereich NOS (vgl. PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 68, 92).

Ein solches aktionales, auf das Sammeln von Fakten beschränktes Verständnis weisen z.B. CAREY *et al.* (1989) bei US-amerikanischen Jugendlichen im Alter von etwa 12 Jahren anhand klinischer Interviews nach:

Initially, most of the grade 7 students in our study thought that scientists seek to discover facts about nature by making observations and trying things out. This level 1 understanding of the nature of science might be called a ‘copy theory’ of knowledge: knowledge is a faithful copy of the world that is imparted to the knower when the knower encounters the world. (Ebd., S. 526)

Ähnliche Ergebnisse lassen sich offenbar auch in Deutschland finden: SODIAN (2004) hat eine sehr stark an CAREY *et al.* (1989) angelehnte Studie durchgeführt. Bezüglich des Wissenschaftsvorverständnisses von Jugendlichen weist sie ganz analog ebenfalls ein naiv-empiristisches Verständnis nach und überträgt die Ergebnisse partiell auch auf Erwachsene. Ihre Ergebnisse zeigten, dass

[...] die meisten Kinder, aber auch viele Erwachsene objektives Beobachten und Sammeln von Fakten für die Arbeit der Wissenschaftler halten, bei der diese methodisch und systematisch vorgehen und mit besseren Instrumenten (z.B. Elektronenmikroskope) als Laien. Nur wenige Jugendliche und Erwachsene thematisierten spontan die Rolle von Theorien und Hypothesen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess und zweifelten an der Möglichkeit eines direkten und unproblematischen Zugangs zur absoluten Wahrheit. (Sodian 2004, S. 56)

Als Ansatzpunkte zur Überwindung dieses naiv-empiristischen Verständnisses nennt SODIAN zwei Momente: Jugendliche müssten ein „Grundverständnis des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses“ (ebd., S. 57) erwerben und zugleich auch „Einsicht in den eigenen Erkenntnisprozess“ (ebd.) erlangen. Eine solche Bewusstmachung von Erkenntnisweisen kann sicherlich zu einem entmythisierten, adäquateren Naturwissenschaftsverständnis beitragen. Zu fragen ist dabei jedoch zweierlei:

- Auf welche Art und Weise ist eine Bewusstmachung etablierter sowie eigener naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse möglich? Oder plakativer gefragt: Wie können Schüler Wissen über NOS erwerben?
- Wie lässt sich das Wissenschaftsverständnis von Schülern bzw. deren Ansicht zu *nature of science* valide erheben?

Auf die erste Frage möchte ich zunächst theoretisch in Kapitel 4 eingehen. Möglichkeiten für die Praxis folgen anschließend in Kapitel 5; deren Evaluation – und damit zugleich eine Beschäftigung mit der zweiten Frage – erfolgt in Kapitel 6.

## 4. Erwerb von Wissen über *Nature of Science* – Standortbestimmung

### 4.1 Problemaufriss

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ausführlich begründet, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht eine sinnvolle Balance zwischen naturwissenschaftlichen Basiskonzepten, naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und -verfahren sowie einem methodologischen Wissen angestrebt werden sollte. Speziell der Erwerb eines Wissens über naturwissenschaftliche Methoden, also eine Methodologie, wird jedoch sowohl in der schulischen Praxis als auch in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung eher stiefmütterlich behandelt, obgleich er unverzichtbarer Bestandteil im naturwissenschaftlichen Unterricht sein sollte. Bislang unklar ist daher, wie ein solches Wissen von Schülern sinnvoll konstruiert werden kann (vgl. Höttecke 2001a, S. 85ff.). Hält man realistisch an den derzeitigen Unterrichtsfächern wie auch an der Studentafel fest, sind im Grunde grob gesehen nur zwei Varianten denkbar: Einerseits ein impliziter Erwerb, bei dem sich naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen und eine Reflexion darauf quasi ‘unter der Hand’ entwickeln, oder andererseits eine explizite Thematisierung dieses Wissens im Unterricht der naturwissenschaftlichen Fächer (vgl. Schwartz *et al.* 2004, S. 614).

Um das theoretische Potenzial solcher Ansätze für die Genese eines Metawissens auszuloten, ist es sinnvoll, zunächst in Kapitel 4.2 der Frage nachzugehen, wie Menschen überhaupt Wissen erwerben. Dies mündet schließlich in Ideen, wie der Herausforderung begegnet werden kann, schülergerechte und zugleich lernintensive Unterrichtsszenarien zu gestalten.

Im Rahmen des bereits erwähnten ‘Project 2061’ hat die AAAS das Programm *Science for all Americans* aufgelegt (Rutherford & Ahlgren 1990). Nach dem Motto *learning by doing* zielt man durch *doing science* auf eine implizite Weise auf naturwissenschaftlich gebildete Schüler, die allein dadurch, dass sie naturwissenschaftlich orientiert arbeiten, auch Wissen *über* Naturwissenschaften erlangen sollen (vgl. National Research Council 2000, S. 13).<sup>1</sup> Dazu schlüpfen sie in die Rolle von Forschern und müssen gezielt beobachten, Fragen aufwerfen, Quellen nutzen, Untersuchungen planen, experimentell Daten gewinnen und interpretieren, Erklärungsmodelle entwerfen und die Ergebnisse schließlich kommunizie-

---

<sup>1</sup> Einen ähnlichen Ansatz, der sich als „pragmatische Alternative“ (Freise 1974, S. 1) zu einem tradierten, stofflastigen Chemieunterricht verstand, verfolgte die NUFFIELD FOUNDATION (1966) mit ihrer *Nuffield-Chemistry*. Schüler sollen hier ebenfalls weitgehend selbstständig, experimentell an Problemen forschen, ihre eigenen Lösungsvorschläge erproben und dabei ein Gefühl dafür entwickeln, „was Wissenschaftler tun und tun können“ (Stork & Kühn 1973, S. 136). Vgl. auch Fußnote 35 in Kapitel 2.2.6.

ren. Diese an sich nicht neue Idee, die unter dem Label *inquiry* firmiert, wird in Kapitel 4.3 vorgestellt.

Die sich in den USA mehrende Kritik an diesem Ansatz bezieht sich auf die einseitige Betonung der Tätigkeit naturwissenschaftlichen Arbeitens, die nicht dazu geeignet sei, bei Schülern konsensfähige Konzepte zu *nature of science* zu generieren. Diese Diskussion wird in Kapitel 4.4 geführt.

## 4.2 Exkurs: Was bedeutet ‘Erwerb von Wissen’?

### 4.2.1 Vorbemerkungen

Wir lernen ständig, selbst im Schlaf (vgl. Spitzer 2007, S. 125). Was hier jedoch genau ‘lernen’ bedeutet und wie es exakt funktioniert, lässt sich nicht allgemeingültig modellieren, sondern nur aus unterschiedlichen Frage- und Forschungsrichtungen (Pädagogik, Philosophie, Sozialwissenschaften, Neurowissenschaften, etc.) aspekthaft beleuchten. Die verschiedenen Forschungsrichtungen haben dabei je eigene Blickwinkel. Prominent sind zwei Strömungen, die sich grob mit ‘Lernen als Verhaltensänderung’ bzw. ‘Lernen als Wissenserwerb’ etikettieren lassen (vgl. Steiner 2001).

Wird Lernen mit „überdauernden Verhaltensveränderungen“ (ebd., S. 140) gleichgesetzt, hat man es vergleichsweise einfach, weil sich Verhalten und damit auch Lernen beobachten lässt. Ob ein Schüler z.B. gelernt hat, mit einer Bürette sachgerecht umzugehen, lässt sich daher leicht beantworten, wenn man ihm beispielsweise bei einer Titration zusieht. Offen bleibt dabei jedoch, ob der Schüler auch die mit dem Verfahren der Titration verbundenen *theoretischen* Modellierungen und Konzepte verstanden hat, ob also auch eine „Modifikation von Wissensrepräsentationen“ (ebd., S. 164) und damit ‘Lernen als Wissenserwerb’ stattgefunden hat.

Dies führt zu der Frage, was sich bei Lernprozessen in unserem Gehirn abspielt, wie Wissen in unserem Hirn ‘gespeichert’ wird, wie es wieder abgerufen werden kann, wie sich diese Vorgänge begünstigen lassen und was ‘Wissen’ ist. Kraft unseres gesunden Menschenverstandes sind wir uns zwar sicher, was mit ‘Wissen’ gemeint ist, doch es bleiben Fragen offen: Woher wissen wir, was Wissen ist? Gibt es auch Wissen außerhalb unseres Kopfes? Beinhalten Bücher Wissen? Worin unterscheiden sich Wissen und Information? Kann man Wissen durch Lernen sammeln und anhäufen? Welche Rolle spielt dabei die Intelligenz? Lässt sich Wissen weitergeben oder muss jeder Mensch sein Wissen selbst konstruieren? – Wenn man Unterricht effektiv gestalten, Lernprozesse initiieren und Lernumgebungen optimieren möchte, ist es sinnvoll, Antworten auf diese Fragen zu finden, um eine Vorstellung davon zu haben, wie Wissen in unseren Köpfen organisiert sein könnte und wie und unter welchen Bedingungen Lernen als Wissenserwerb begünstigt wird. Zumal allseits beklagt wird, dass Lehrbemühungen oftmals ins Leere laufen und schulisches Lernen allenfalls zu ‘trägem’ Wissen (vgl. Renkl 1996) führe, welches nicht zur Anwendung gebracht werden könne. Je nach der jeweiligen Antwort auf obige Fragen muss auch die Rolle der Lehrperson unterschiedlich bestimmt werden. Um es bildlich auszudrücken: Ist ein Lehrer eine weise Autorität, die Wissen weitergibt? Ein kluger Wissens-Verkäufer? Ein Tutor und Wissens-Berater? Ein herausfordernder Wissens-Initiator?

Nachfolgend möchte ich daher genauer auf den Zusammenhang von *Wissen* und *Lernen als Wissenserwerb* eingehen, auch um die von mir in dieser Studie genutzten Unterrichts-

settings (vgl. Kapitel 5.2 und 5.3) später lerntheoretisch verorten zu können. Reine Modelle zum Lernen als Verhaltensänderung blende ich hier aus.

#### 4.2.2 Zum Verhältnis von Lernen und Wissen

Was ist ‘Wissen’? Auch wenn es auf diese Frage zahlreiche, unterschiedliche Antworten gibt, lassen sich dennoch grob zwei Richtungen ausmachen: eine produkt- und eine prozessorientierte Sicht (vgl. Seiler & Reinmann 2004, S. 11). Oftmals dominiert eine Vorstellung, „die wir heute als naiv bezeichnen würden“ (ebd.), bei der jegliches Wissen als eine Art materielles Gut angesehen wird, welches man erwerben, besitzen und demnach auch z. B. durch Sprache als ‘Transportbehälter’ weitergeben kann. Dieser Blick auf Wissen als ein eigenständiges, übertragbares *Produkt* – man könnte hier besser von Information sprechen – ist jedoch nur eine Seite der Medaille. Zunehmend Beachtung findet eine Sichtweise, die den Wissensbegriff als Verb konzeptualisiert und darunter ‘etwas zu wissen’ versteht. Wissen wird dann als ein *Prozess* betrachtet, der sowohl personen- als auch kontextgebunden ist. Eine solche prozessorientierte Sichtweise rückt in die Nähe des Intelligenz- und Begabungsbegriffs; eine Abgrenzung ist aber dadurch gegeben, dass Wissen immer sozial vermittelt, Intelligenz dagegen auch genetisch bedingt ist. Wenn man von Wissen redet, kann man also entweder stärker auf den *Erkenntnisprozess* oder stärker auf das *Ergebnis* dieses Prozesses fokussieren. Im Hinblick auf Lernen und Unterricht sind letztlich beide Sichtweisen wichtig und ergänzen sich, denn im Unterricht wird von Schülern sowohl Wissen generiert als auch der Erwerb vom Lehrer überprüft.

Von Wissen als einem Objekt zu sprechen ist da sinnvoll, wo Wissen bewusst von Personen losgelöst werden soll. Der „Ding-Charakter“ (ebd., S. 12) von Wissen wird deutlich, wenn man es durch ein System von (sprachlichen) Zeichen materialisiert, jedoch damit auch reduziert hat, weil man so zugleich den Kontext der Verwendung abgeschnitten hat. Das bekannte Zeichenmodell des Sprachwissenschaftlers und Strukturalisten F. DE SAUSSURE (1931)<sup>2</sup> kann dies verdeutlichen: Danach ist ein sprachliches Zeichen die Verbindung einer ‘Vorstellung’ mit einem ‘Lautbild’. Der *Eindruck* eines Lautbildes (nicht die wirkliche Äußerung, da diese je nach Sprecher unterschiedlich klingen kann) verweist dabei auf die Bedeutung eines Wortes, auf die *Vorstellung*, die man von etwas hat (nicht auf ein reales Objekt, da z. B. mit der sprachlichen Realisation /*Stuhl*/ ganz unterschiedliche Realobjekte benannt werden). Diese beiden Seiten des Zeichens, die folglich *beide* „glei-

---

<sup>2</sup> Ich zitiere nach der dritten, deutschsprachigen Auflage des Buches ‘Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft’ (*Cours de linguistique générale*), welches SAUSSURE gar nicht selbst verfasst hat. Das Buch wurde posthum anhand von studentischen Vorlesungsmitschriften aus den Jahren 1907-1911 von SAUSSURES Schülern C. BALLY und A. SECHEHAYE rekonstruiert und erstmals 1916 in französischer Sprache veröffentlicht.

chermaßen psychisch sind“ (ebd., S. 18), können nicht voneinander getrennt werden, sie sind ‘bilateral’. Das *Verhältnis* von Lautbild (Bezeichnendes) und Vorstellung (Bezeichnetes) ist dabei arbiträr, also willkürlich<sup>3</sup>, aber konventionell (vgl. ebd., S. 79f.). Ein Beispiel sind die chemischen Elementsymbole. Man kann sie in einem Lehrbuch, in einem Lexikon, auf einem Datenträger oder z. B. einer Internetseite festhalten, um dieses Wissen so für alle verfügbar zu halten. Die Elementsymbole sind zwar prinzipiell beliebige Zeichen, sie unterliegen aber der Konvention einer *scientific community*. Häufig einigte man sich auf Zeichen, die der lateinischen Sprache entlehnt wurden, etwa *N* (Nitrogenium), *C* (Carboneum), *Pb* (Plumbum). Auch wenn viele Elementsymbole aus Buchstaben des lateinischen oder griechischen Namens des Elements ableitbar sind, sie also relativ motiviert gewählt wurden, so sind sie gleichwohl willkürlich – man hätte auch ein anderes Symbol<sup>4</sup> vereinbaren können:

- In amerikanischen Veröffentlichungen hielt sich beispielsweise lange (aufgrund des Fundorts eines niobhaltigen Minerals) das Zeichen *Cb* (Columbium) für Niob (vgl. Falbe & Regitz 1991, S. 3005)
- Das Elementsymbol für Stickstoff war nicht immer *N* – LAVOISIER verwendete das Symbol *Az* (Azôte) und leitete dies vom Griechischen *azōtikós* (= leblos) ab (vgl. ebd., S. 4311)
- In der französischsprachigen Fachliteratur war es bis 1957 üblich, das aus dem griechischen Wort *glycos* (= süß) deduzierte *Gl* (Glucinium) für Beryllium zu verwenden, ausgehend von dem süßen Geschmack einiger Berylliumverbindungen (vgl. Falbe & Regitz 1989, S. 399)

Damit wird deutlich, dass auch dann, wenn Wissen als Produkt betrachtet wird, es dennoch sozial und kulturell eingebunden ist. Die gerade gegebenen, zusätzlichen Informationen zur Wortgenese einiger chemischer Elementbezeichnungen werden allerdings nicht mehr durch das Zeichen selbst repräsentiert – der ‘Kontext der Verwendung’ ist daher gekappt. Dies erklärt auch, warum Sprache als ein System von Zeichen prinzipiell „keine vollständige und schon gar keine eindeutige Veräußerung persönlichen Wissens“ (Seiler & Reinmann 2004, S. 15; Hervorheb. i. O.) erlaubt.

Bei einer informationstheoretischen Sichtweise eines objektivierten oder *öffentlichen Wissens* wird Wissen als etwas prinzipiell Übertragbares modelliert, jedoch dabei letztlich mit Information gleichgesetzt. Information ist allerdings nur *potenzielles* (oder auch virtuel-

<sup>3</sup> Wenn SAUSSURE (1931) davon spricht, dass Zeichen ‘arbiträr’ (willkürlich/beliebig) sind, ist damit keine individuelle Wahlfreiheit beim Nutzer eines Zeichens gemeint, sondern dass das Zeichen „*unmotiviert* ist, d. h. beliebig im Verhältnis zum Bezeichneten“ (ebd., S. 80; Hervorheb. i. O.), weil es (außer bei lautmalerischen Äußerungen) „keinerlei natürliche Zusammengehörigkeit“ (ebd.) zwischen Bezeichnung und Bezeichnetem gibt. Gleichwohl folgen Zeichen einer „Kollektivgewohnheit“ (ebd.), d. h. sie sind innerhalb einer Sprechergemeinschaft per Konvention festgelegt. Ihr *Gebrauch* ist daher keineswegs willkürlich oder beliebig.

<sup>4</sup> SAUSSURE (1931) verweist darauf, dass Symbole im Gegensatz zu Zeichen „niemals ganz beliebig“ (ebd., S. 80) sind, denn ein Symbol hat „eine rationale Beziehung mit der bezeichneten Sache“ (ebd., S. 85). Bei den Elementsymbolen besteht die ‘rationale Beziehung’ jedoch *nicht* zur bezeichneten Sache selbst, sondern allenfalls zum *Zeichen* der bezeichneten Sache; sie sind daher nicht wirklich motiviert gewählt. Aufgrund dessen wäre es semantisch treffender, von ‘Elementzeichen’ zu sprechen.

les) Wissen, welches durch personales Wissen erst aktiviert werden muss, denn „nicht die Zeichen selbst sind die Bedeutung“ (Seiler & Reinmann 2004, S. 13). Bleiben wir bei dem Beispiel der Elementsymbole bzw. Verbindungen: Die Information, dass *Ti* das Elementsymbol für Titan ist oder  $CH_4$  die (Summen-)Formel für Methan darstellt, ist zunächst ohne jeglichen Sinngehalt, denn das Wissen „steckt nicht in den materiellen Zeichen, sondern in ihrer Bedeutung“ (ebd., S. 20). Die Information wird demnach *erst dann* bedeutungsvoll, wenn sie von einer Person in einen Bedeutungskontext gestellt und damit *interpretiert* wird. Dies erfolgt jedoch nur auf der Basis eines bereits bestehenden Hintergrundwissens, mit dem diese Information auch in Wechselwirkung treten kann. Weil das Hintergrundwissen je individuell unterschiedlich ist, ist Informationen zu aktivieren ein Prozess eines eigenaktiven Konstruierens, nicht eines bloßen Kopierens. Diese individuelle Tätigkeit, die man auch als Lernen bezeichnen kann, ist entscheidend durch persönliche Dispositionen und Emotionen beeinflusst. Bei dieser Sichtweise eines idiosynkratischen oder *personalen Wissens* – in Anlehnung an J. PIAGET als strukturgebend bezeichnet – wird Wissen als eine personen- und kontextgebundene Fähigkeit zum Handeln gefasst. Diese Handlungsfähigkeit beruht auf einer aktiven und subjektiven Interaktion des Einzelnen mit seiner Umwelt im weitesten Sinne, bei der fortwährend ein Aufbau und Umbau von Erkenntnisstrukturen erfolgt. Das Verhältnis zwischen Lernen und Wissen ist dann vergleichbar mit einer Münze: Man kann von zwei verschiedenen Richtungen auf sie blicken, aber beide Seiten nicht gleichzeitig betrachten, obwohl sie zusammengehören. Während Lernen einen meist bewussten, aber nicht unmittelbar beobachtbaren Prozess bezeichnet, der zu relativ dauerhaften Veränderungen im Verhaltenspotenzial (bzw. sogar im Verhalten) der Lernenden führen kann, ist Wissen das je individuelle und affektiv gefärbte Resultat dieses Prozesses und meint den dynamischen Um- und Ausbau kognitiver Strukturen.

Die Sichtweise eines personalen Wissens nutzt Erkenntnisse der kognitiven Neurowissenschaften (vgl. Ciompi 1994; Maturana 1985; Roth 1992), der pädagogischen Psychologie (vgl. Reinmann-Rothmeier & Mandl 2001), der Kybernetik und Systemtheorie (vgl. Foerster & Pörksen 1998; Glasersfeld 1981), der Psychologie (vgl. Watzlawick *et al.* 1969) sowie transdisziplinärer Forschung (vgl. Schmidt 1994, 1998) und führt diese zu pädagogischen Ansätzen zusammen (vgl. Gerstenmaier & Mandl 1995; Siebert 2002), die häufig mit dem Attribut ‘konstruktivistisch’ versehen werden. In der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung haben sich die Diskurse der Konstruktivismen<sup>5</sup> nach DUIT (1995, S. 905) „als fruchtbar und flexibel erwiesen“. Dem ist beizupflichten, denn sieht

---

<sup>5</sup> Auch wenn es sich bei Konstruktivismen nicht um einheitliche Theorien handelt, sondern um „viele Stimmen aus ganz unterschiedlichen Disziplinen“ (Schmidt 1994, S. 14), die „manchmal durchaus dissonant“ (ebd.) erklingen, existiere „eine Art pragmatischer Grundkonsens“ (Gerstenmaier & Mandl 1995, S. 882). Dieser basiert darauf, dass Wissen kein Abbild der Wirklichkeit ist, sondern nur eine *mögliche*, aber *brauchbare* Repräsentationsoption darstellt. So, wie es z. B. zu einem Schließanlagen Schloss im Regelfall mehrere passende und damit brauchbare Schlüssel gibt, die trotzdem unterschiedlich beschaffen sind, kann es auch mehrere passende und damit brauchbare Wirklichkeitskonstruktionen geben (vgl. Glasersfeld 1981, S. 19ff.). Weil dies zunächst kon-

[...] man den Konstruktivismus als eine Perspektive und verzichtet man auf einen fundamentalistischen Geltungsanspruch, dann bietet er gegenwärtig den vielleicht vielversprechendsten theoretischen Rahmen für eine Analyse und Förderung von Prozessen des Wissenserwerbs in den unterschiedlichsten sozialen Kontexten. (Gerstenmaier & Mandl 1995, S. 883f.)

In einer pragmatisch-moderaten Ausrichtung soll daher bei dieser Studie damit gemeint sein, dass Wissen in einem sozialen Diskurs konstruiert werden muss und nicht einfach weitergegeben werden kann.

### 4.2.3 Wissenstypen oder die Organisation von Wissen

Um Lernprozesse besser verstehen und optimieren zu können, ist es notwendig, sich ein Modell zu machen, wie Menschen Wissen aufbauen und organisieren. Die unzähligen Attributionen zum Wissensbegriff verdeutlichen, dass es an Modellen nicht mangelt. Auch für die Domäne des schulischen Lernens, um die es hier geht, haben sich mehrere Modelle als brauchbar erwiesen. Grob unterschieden werden können diese danach, worauf jeweils fokussiert wird: *Art* (Verfahrens- versus Faktenwissen), *Eigenschaft* (Verbalisierbarkeit) oder *Ort* (Zugänglichkeit) des Wissens.

#### *Wissensarten: Verfahrens- versus Faktenwissen*

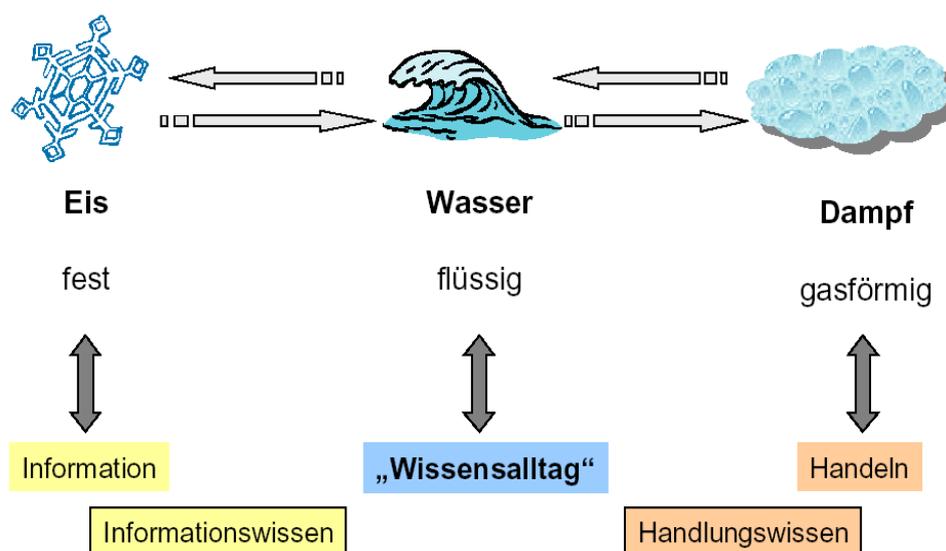
Ein einfaches Modell, welches sicherlich jeder kennt, rekuriert darauf, dass es in allen Lebensbereichen ‘Praktiker’ und ‘Theoretiker’ gibt. Ausführlich wissenschaftlich gefasst hat diesen Sachverhalt der englische Philosoph G. RYLE mit seiner klassischen Unterscheidung in *knowing how* und *knowing that* (Ryle 1949, S. 28ff.). In der aktuellen Diskussion hat sich dies weitgehend unter den Begrifflichkeiten *prozedurales Wissen* (Verfahrenswissen) versus *deklaratives Wissen* (Faktenwissen) ausdifferenziert (vgl. Anderson 1988, S. 187). Auf dieses Konzept der Unterscheidung wird im Bildungsbereich recht häufig Bezug genom-

---

traintuitiv klingt, bestehen oftmals Missverständnisse, wie beispielsweise die fälschliche Unterstellung, *jegliches Wissen* sei aus konstruktivistischer Sicht völlig beliebig und relativistisch. Vor allem der erkenntnistheoretische Aspekt, wonach kein ‘wahres’ Wissen existiere, welches die Beschaffenheit der Welt spiegele, wird oft verkürzt dargestellt. Wenn aber beispielsweise H. Maturana (1985) schreibt: „Wir erzeugen daher buchstäblich die Welt, in der wir leben, indem wir sie leben“ (ebd., S. 269), so bezieht er sich auf Wirklichkeiten „zweiter Ordnung“ (ebd.), nicht auf die objektive Welt ‘an sich’. Wir erzeugen daher aus konstruktivistischer Sicht nicht die Welt der Dinge (Wirklichkeiten erster Ordnung), sondern die „Zuschreibung von Sinn und Wert an diese Dinge“ (Watzlawick 1976, S. 143), also Wirklichkeiten zweiter Ordnung, die qua Kommunikation hergestellt und stabilisiert werden (vgl. ebd.). Leider scheint es eine wertfreie Diskussion dieser Ansätze kaum mehr zu geben. Den geradezu inflationären Gebrauch ‘konstruktivistischer’ Ideen (vor allem im Zusammenhang mit der Gestaltung schulischer Lehr-Lern-Prozesse) bringt Hoops (1998) auf den Punkt, wenn er salopp feststellt: „Es ist chic, ‘Konstruktivist’ zu sein“ (ebd., S. 229). Wenn auch etwas überspitzt formuliert, so gibt seine Aussage dennoch indirekt Anlass zu dem Hinweis, in Konstruktivismen nicht zwangsweise das Patentrezept für die Lösung aller schulischen Probleme zu suchen. Er schlägt daher vor, im didaktischen Bereich ganz auf den Terminus zu verzichten. Ähnlich sieht dies H. v. Foerster, weil die Rede von ‘Konstruktivismus’ als „Etikette die Verständigung und das wechselseitige Zuhören stören“ (Foerster & Pörksen 1998, S. 45).

men, so z.B. bei der der PISA-Studie (vgl. PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 37; Rost *et al.* 2004, S. 112) oder bei der Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards (vgl. Klieme *et al.* 2003, S. 148).

Legt man aber den Fokus auf diese Unterscheidung zwischen Verfahrenswissen und Faktenwissen, so wird oftmals nicht deutlich, *welche* Wissensbestände mit Faktenwissen gemeint sind: die theoretischen Wissensbestände *einer* Person (das sogenannte episodische Gedächtnis, also eine Art autobiografisches Wissen) oder die von der Menschheit *kollektiv* gesammelten Wissensbestände (das sogenannte semantische Gedächtnis, also eine Art Weltwissen) (vgl. Edelmann 2000, S. 146f.). Diese Unterscheidung ist jedoch wichtig, weil zwischen beiden zwar mittelbare Zusammenhänge bestehen können, aber kein Repräsentationsverhältnis. Hier setzt das sogenannte „Münchner Modell“ (Reinmann-Rothmeier 2001) an und führt mit einer jedem Chemiker sehr vertrauten Analogie den ‘Wissensalltag’ als Mittler zwischen Fakten- und Verfahrenswissen ein (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Wasser-Analogie des Wissens. (Aus: Reinmann-Rothmeier 2001, S. 16)

Die Analogie ist recht eingängig: So, wie Wasser seinen Aggregatzustand unter bestimmten Bedingungen wechseln kann, ist Wissen ebenfalls nichts Statisches. Die polaren Endpunkte markieren hier ‘Information’ und ‘Handeln’. Wie auch Eis ist Information greifbar, handhabbar, transportierbar. Informationen lassen sich genau wie gefrorenes Wasser anordnen, weitergeben. Unser Handeln dagegen lässt sich jedoch sprachlich oft nicht ausdrücken, ist wie Wasserdampf eher diffus, flüchtig und schwer steuerbar. Wasser im flüssigen Aggregatzustand kann nah an der Erstarrungstemperatur oder auch nah an der Siedetemperatur sein. Unser Wissensalltag bewegt sich zwischen diesen beiden Polen. So, wie

auch eine Flüssigkeit gestaut und gelenkt, aber dennoch nicht einfach gegriffen werden kann, weist auch unser Wissensalltag teils implizite und teils explizite Momente auf, die mal mehr als Informationswissen, mal mehr als Handlungswissen gefasst werden müssen. Informations- und Handlungswissen lassen sich gleichwohl deutlich voneinander unterscheiden. REINMANN-ROTHMEIER (2001, S. 15; Hervorheb. i. O.) führt dazu aus:

- *Informationswissen* gibt es einzeln; *Handlungswissen* findet man nur in sinnvollen Bedeutungsnetzwerken.
- *Informationswissen* kann so wie es ist weitergegeben werden; *Handlungswissen* muss als Netz von bedeutungsvollen Verbindungen konstruiert werden.
- *Informationswissen* kommt auch ohne Kontext aus; *Handlungswissen* ist immer Teil eines Kontextes.
- Mit *Informationswissen* kann man *Handlungswissen* aufbauen; mit *Handlungswissen* bringt man Wissen zum Handeln.
- Dass man *Informationswissen* ‘besitzt’, kann man durch Reproduktion beweisen; dass man *Handlungswissen* ‘konstruiert’ hat, kann man nur durch seine Anwendung in neuen Kontexten zeigen.

Das Münchener Modell unterscheidet, wie auch RYLE und ANDERSON, zwischen Verfahrens- und Faktenwissen, bietet aber den Vorteil, Verbindungswege zwischen beiden Wissensarten aufzuzeigen (vgl. Tabelle 12). Der Prozesscharakter des Modells ermöglicht und profiliert damit zugleich auch Fragen, die für schulische Belange bedeutsam sind: Wie lässt sich Wissen generieren, nutzen, kommunizieren und repräsentieren? Oder um im Bild zu bleiben: Unter welchen Bedingungen ist ein ‘Wechsel der Aggregatzustände’ möglich?

	Verfahrenswissen	Faktenwissen
<i>G. Ryle</i>	knowing how	knowing that
<i>J. R. Anderson</i>	prozedurales Wissen	deklaratives Wissen <i>episodisches Gedächtnis</i> <i>semantisches Gedächtnis</i>
<i>Münchener Modell</i>	Handlungswissen	Informationswissen
	 Wissensalltag	

**Tabelle 12:** Wissensarten: Verfahrens- versus Faktenwissen

Wissen zu generieren meint auf Seiten des Lernenden primär, *öffentliches* (‘gefrorenes’) Informationswissen zu *persönlichem*, handlungsrelevantem Wissen zu ‘verflüssigen’. Das Problem ist aus dem Unterricht bekannt: Auch wenn Schüler beispielsweise *wissen*, wie man eine Reaktionsgleichung stöchiometrisch ausgleicht, so *können* sie es jedoch nicht notwendig auch. Deklaratives Wissen kann hier also, aus welchem Grund auch immer, nicht in

Handlungswissen überführt werden.<sup>6</sup> Auf Seiten des Lehrenden kommt es darauf an, sein Handlungswissen zu repräsentieren, sichtbar, greifbar, zugänglich zu machen. Beide, Lernende wie Lehrende, haben die Aufgabe, persönliches Informationswissen zu nutzen, es also zu prozeduralisieren. In der Wasser-Analogie gesprochen meint dies, 'gefrorene' Information zu verflüssigen.

### *Verbalisierbarkeit von Wissen*

Neben dem Problem, dass deklaratives Wissen nicht zur Anwendung kommen kann, gibt es auch den Fall, dass prozedurales Wissen nicht veräußerbar ist. Eine Nicht-Kommunizierbarkeit von Handlungswissen ist uns letztlich allen vertraut (vgl. Neuweg 2006, S. 16ff.; Spitzer 2007, S. 59ff.): Die meisten Muttersprachler z. B. können grammatikalisch richtige Sätze *formulieren*, die zugrunde liegende Grammatik *erklären* können sie jedoch oftmals nicht. Wir können z. B. auch Fahrrad fahren oder Schuhe binden, aber geraten ins Stocken, wenn wir dies erklären sollen. Hier liegt offenbar ein Handlungswissen vor, welches wir kaum in transparentes und zugängliches Informationswissen überführen können.

Diesen Aspekt, „daß wir mehr wissen, als wir zu sagen wissen“ (Polanyi 1985, S. 14), beschäftigte den Chemiker und Philosophen M. POLANYI. Nachdem er lange Jahre auf dem Gebiet der Reaktionskinetik gearbeitet hatte (u. a. zusammen mit F. HABER und F. LONDON), interessierte er sich für die intuitive Komponente unseres Verstehens und Könnens. In einem Labor und in der Forschungspraxis zähle vor allem auch Fingerspitzengefühl und Intuition. Er unterscheidet daher schwerpunktmäßig artikulierbares von sprachlosem Wissen. Für das sprachlose Wissen prägte er die Bezeichnung *tacit knowing*, was mit 'implizitem Wissen' ins Deutsche übersetzt wurde. Damit ist ebenfalls ein Verfahrenswissen gemeint, jedoch kein reflexives 'gewusst wie', sondern ein nur implizites, subjektgebundenes Wissen, welches auf Erfahrungen beruht. Eben weil es nicht artikulierbares Wissen ist, ist es uns nicht notwendig bewusst. Wir können uns im täglichen Handeln aber nicht nur auf dieses Hintergrundwissen verlassen, wir sind sogar darauf angewiesen, denn als Fundament jeder Handlung sei das implizite Wissen letztlich unhintergebar (vgl. ebd., S. 27f.). Bildlich gesprochen ist demnach ein wirklicher „Könnner mit einem Wildwasserpaddler zu vergleichen – und nicht mit einem Regelanwendungsautomaten“ (Neuweg 2006, S. 13). Ein erfolgreicher Paddler plane sicherlich vorab seine Fluss-Tour – *beim Handeln* jedoch agiere er intuitiv und nutze daher sein implizites Wissen.

POLANYIS Wissensbegriff ist lerntheoretisch interessant, denn das für unsere Handlungsfähigkeit relevante implizite Wissen lasse sich nur in einem Sozialisationsprozess er-

---

<sup>6</sup> RENKL (1996, S. 79) führt als mögliche Gründe drei Erklärungsmuster für dieses Phänomen des trägen Wissens an, die er differenziert darlegt. Recht grob gesprochen geht eine *Metaprozesserklärung* davon aus, dass das notwendige Wissen zwar vorhanden ist, aber aufgrund defizitärer Metaprozesse nicht genutzt werden kann. Weist die Struktur des Wissens selbst jedoch Defizite auf, spricht man von *Strukturdefiziterklärungen*. Geht man dagegen davon aus, dass Wissen an sich prinzipiell nie vorhanden, sondern stets situativ verknüpft ist, spricht man von *Situiertheiterklärungen*.

werben, z.B. durch Üben oder Imitation. Aufgrund seines sprachlosen Charakters könne implizites Wissen nicht durch verbale Instruktion vermittelt werden. POLANYI sieht eine Möglichkeit des Erwerbs im Prinzip der traditionellen Handwerkslehre, bei der ein Meister einem Lehrling etwas zeigt (vgl. ebd., S. 15).<sup>7</sup> Dabei richtet der Experte seine Aufmerksamkeit von dem ganzen, verinnerlichten Wissen (POLANYI nennt dies ‘proximaler Term’) ‘distal’ auf etwas, fokussiert also auf ein Detail (vgl. ebd., S. 19f.). Unter ‘explizitem Wissen’ versteht POLANYI artikulierbares und daher auch transferierbares Wissen. Solches Wissen habe jedoch auch immer noch einen impliziten Kern, weil dieser ein „unentbehrliches Moment allen Wissens“ (ebd., S. 57) sei (vgl. für einen zusammenfassenden Überblick z.B. Neuweg 2000, S. 205ff.).

Im Bildungsbereich verweisen unter anderem STAUDT & KRIEGESMANN (1999) auf das Potenzial des impliziten Wissens. Sie engen es allerdings auf das „aktionsgebundene und auf individuellem Engagement bzw. Erfahrung basierende Wissen“ (ebd., S. 38) ein und bezeichnen das routiniertere, störungsresistentere Erfahrungswissen als Fertigkeiten. Im Verbund mit explizitem Wissen entstehe so individuelle Handlungsfähigkeit, die sich noch fachlich, methodisch und sozial ausdifferenzieren lasse (ebd., S. 39ff.; siehe auch Tabelle 13).

	kaum artikulierbares Wissen	artikulierbares Wissen
<i>M. Polanyi</i>	<p><b>implizites Wissen</b> (<i>tacit knowing</i>)</p> <p>proximaler Term      distaler Term</p>	<p><b>explizites Wissen</b> (<i>explicit knowing</i>)</p>
<i>Staudt &amp; Kriegesmann</i>	<p>Fertigkeiten      implizites Wissen      explizites Wissen</p> <p>Handlungsfähigkeit</p>	

**Tabelle 13:** Verbalisierbarkeit von Wissen

<sup>7</sup> Ein solches Konzept wird – allerdings mit einem viel stärker verbalen und kognitiven Schwerpunkt – auch in der Lernpsychologie im Anschluss an COLLINS *et al.* (1989, S. 481ff.) unter dem Stichwort *cognitive apprenticeship* diskutiert (vgl. auch Reinmann-Rothmeier & Mandl 2001, S. 619ff.). Konstitutiv ist dabei ein praxisorientiertes Lernen durch die aktive Beobachtung eines Experten beim Problemlösen (*learning-through-guided-experience*) in einem möglichst realen Anwendungskontext. Ziel ist es letztlich, im kooperativen Miteinander in eine Expertenkultur hineinzuwachsen. Der Lehrer führt dabei als Experte in ein Fachgebiet ein (*modeling*). Die Schüler suchen sich anschließend ein hinreichend komplexes Problem aus dem gleichen Themenbereich aus und versuchen dieses selbstständig zu lösen, wobei die vorhergehende Phase als Modell und der Lehrer als Coach fungiert (*coaching*), dabei Hilfestellung, Hinweise, Rückmeldungen und/oder Empfehlungen (*scaffolding*) gibt und sich zunehmend aus dem Lernprozess zurückzieht (*fading*). Die Ergebnisse und vor allem auch der Weg dorthin werden dann im Plenum präsentiert (*articulation*), begründet, verteidigt und reflektiert (*reflection*). Die Schüler sollen so schließlich eine sinnvolle Strukturierung ihres neu erworbenen Wissens finden und Lösungsalternativen vergleichen. Dies führt letztlich zu ‘intelligentem’ Wissen und damit zu eigenständiger Handlungskompetenz (*exploration*).

*Wissen mit Blick auf die Zugänglichkeit*

Reine, personenunabhängige Information betrachten weder POLANYI noch STAUDT & KRIEGESMANN als Wissen, weil in ihren Modellen Wissen letztlich immer *persönliches* Wissen ist. Legt man jedoch den Schwerpunkt der Betrachtung auf die *Zugänglichkeit* von Wissen, dann kann man auch Information als kollektiv verfügbares, virtuelles Wissen modellieren. Ein meines Erachtens auch für schulische Belange sehr belastbares Modell der Organisation von Wissen, welches PIAGET's Ansatz der Strukturgenese nutzt, stammt aus dem Wissensmanagement: REINMANN (2005) und SEILER & REINMANN (2004) berücksichtigen sowohl das sprachlose Wissen nach POLANYI als auch das pragmatische Münchener Modell, welches sie genauer ausdifferenzieren. Den Fokus richten sie auf die Unterscheidung von *personengebundenem* und *öffentlichem* Wissen (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4: Wissen mit Blick auf die Zugänglichkeit. (Aus: Reinmann 2005, S. 8)

SEILER & REINMANN bezeichnen ihren Ansatz als *strukturgenetisch*, weil hier Wissen nicht als Abbild von Wirklichkeit verstanden, sondern als Prozess konzeptualisiert wird. Die Idee der Strukturgenese geht von einer aktiven und subjektiven Konstruktion von Wissen durch ein Individuum aus:

Diese Konstruktion ist adaptiv und beruht auf der aktiven (auch wertenden) Interaktion des einzelnen Subjekts mit seiner Umwelt und dem gleichzeitigen und notwendigen Austausch mit den sozialen Bezugspartnern [...]. (Seiler & Reinmann 2004, S. 18)

Der ständige Auf- und Umbau kognitiver Strukturen erfolgt demnach durch Wahrnehmen, Denken, Handeln, Kommunizieren sowie soziale Kontakte mit der Umwelt und

führt zu einer subjektiven Erfahrungswirklichkeit. Das resultierende und nur individuell zugängliche Wissen einer Person wird als idiosynkratisches oder *personales Wissen* bezeichnet, „über das ein Individuum in aktiver, passiver oder intuitiver Weise verfügt. Es ist keine unveränderliche und feststehende Größe, sondern beruht auf dynamischen Strukturen“ (ebd., S. 19). Personales Wissen kommt in verschiedenen Ausprägungen vor: als Handlungswissen, intuitives Wissen und begriffliches Wissen (vgl. für die nachfolgende Erklärung von Abbildung 4 Reinmann 2005, S. 7ff. sowie Seiler & Reinmann 2004, S. 19f.). *Handlungswissen* – in der Abbildung als Teilbereich des personalen Wissens ganz links dargestellt – ist meist vorbegriffliches, unbewusstes Wissen und entwickelt sich im Gebrauch. Es umfasst ein ganzes Netz an Fähigkeiten und Fertigkeiten und zeigt sich in der Art und Weise, wie wir handeln und Probleme lösen. Damit sind sowohl eher profane Handlungen wie das Fassen und Führen eines Löffels zum Mund als auch komplexere Handlungen wie etwa das Schuhe binden gemeint. Berufsbezogen würde dies bei einem Lehrer etwa der Beurteilung und Verdichtung eines mündlichen Beitrags zu einer Schulnote entsprechen. Gemeinsam ist alledem: Wenn man es jemandem genau erklären soll, zeigt sich meist, dass man solches Wissen kaum in Worte fassen kann.<sup>8</sup> Darauf aufbauend entwickeln sich Gebrauchserfahrungen, die wir unabhängig von konkreten Wahrnehmungen und Handlungen als *intuitives Wissen* in unserer Vorstellung oft bildlich aktivieren können. Wenn man sich sein Handlungswissen und sein intuitives Wissen reflexiv bewusst macht (vgl. auch Neuweg 2006, S. 32ff.), entstehen letztlich theoretische Konstruktionen, die auf *begrifflichem Wissen* basieren. Begriffliches Wissen meint Erkenntnis bzw. begriffliches Denken und kann daher artikulierbar sein.

Neben diesem nur individuell zugänglichen Wissen gibt es auch objektiviertes und damit *öffentliches Wissen*, welches man als Information bezeichnen könnte (vgl. Abbildung 4, rechts). Öffentliches Wissen umfasst kollektives und formalisiertes Wissen. *Kollektives Wissen* ist durch gemeinsames Aushandeln von Bedeutungen in einer Gesellschaft akkumuliert und verdichtet worden und kann, wenn ein normiertes Zeichensystem (beispielsweise unsere Sprache oder die IUPAC-Nomenklatur) verwendet wird, mit anderen Individuen geteilt werden.

Wenn man in der Lage ist, eine Stoffprobe so aufzubereiten, dass man sie mittels eines GC/MS (*Gas Chromatography/Mass Spectrometry*) untersuchen kann, so erhält man ein Massenspektrum der Probe und in der Regel sind dort auch gleich die Inhaltsstoffe der Probe angeführt. Woher stammt das ‘Wissen’ um die Inhaltsstoffe? Das kollektive Wissen um die Deutung von Massenspektren wurde hier so in Daten transformiert, dass eine elektroni-

---

<sup>8</sup> NEUWEG (2006, S. 16ff.) spricht in diesem Zusammenhang von einem ‘Explikationsproblem’. Fraglich sei, ob sich die ‘Könnerschaft’ von Könnern überhaupt explizieren bzw. sogar formalisieren lasse. Selbst wo dies gelingt, bleibt aber offen, ob dies immer *sinnvoll* ist, denn mitunter behindere eine Bewusstmachung des impliziten Könnens auch die Könnerschaft (vgl. ebd., S. 24; vgl. auch Brügelmann 2007, S. 8). So gelinge es uns beispielsweise kaum, das Gleichgewicht auf einem Fahrrad *reflektiert* zu wahren.

sche Massenspektrenbibliothek programmiert wurde. Diese Art von Wissen ist *formalisiertes Wissen*, Wissen in digitalen Zeichen.

Was dabei oft zu kurz kommt, ist die Erkenntnis, dass Wissen im objektivierten Zustand nur *potenzieller* Natur ist: Es ist ein in Zeichen „eingefrorenes“ Wissen und kann nur wieder von Individuen aktualisiert werden, die wissen, was die Zeichen bedeuten, denn den Zeichen selbst sieht man ihre Bedeutung nicht an. (Reinmann 2005, S. 7; Hervorheb. i. O.)

Öffentliches Wissen ist daher nicht einfach ‘da’ – es muss je und je durch Interaktion erneuert werden. Zeichen ermöglichen dabei Kommunikation und dienen bei der Aktualisierung des Wissens als „Mittel der Koordination“ (Feilke 1994a, S. 20). Dies gelingt ihnen, weil sie zugleich „An-Zeichen für vorausgegangene Kommunikation“ (Feilke & Schmidt 1995, S. 286) sind und dadurch im sozialen Miteinander Bedeutung erlangt haben.<sup>9</sup>

Dazu ein Beispiel: Auch wenn in einem Lexikon oder Lehrbuch erklärt wird, was eine Redoxreaktion ist oder wie die Strukturformel von Glucose aussieht, handelt es sich dabei nur um potenzielles Wissen. Das Wissen steckt nämlich nicht, wie bereits zuvor angedeutet, in den sprachlichen Zeichen respektive einer Strukturformel, sondern in deren *Bedeutung*, d.h. in der „Kenntnis ihres Anwendungsbereiches, auf den die Formel zugleich indexikalisch verweist“ (Feilke 1994a, S. 127). Dem bloß virtuellen Funktionswert der Formel (oder des Zeichens) *muss* daher ein aktueller „Gebrauchswert“ (ebd., S. 156) zugewiesen werden, um Bedeutung zu erlangen.

Nehmen wir als weiteres Beispiel das Wort ‘Chromatografie’: Es ist ausgehandelter Konsens, dass mit dem Wort ein physikalisch-chemisches Stofftrennverfahren bezeichnet wird. Auch wenn ich dies als begriffliches Wissen mental verankert habe, muss dies nicht zwangsläufig einen Gebrauchswert haben. Dieser entsteht letztlich erst durch soziale Praxis im Handeln.

Das Konzept des impliziten, stillen Wissens und die Idee eines Informationswissens, welches prozeduralisiert werden muss, haben Eingang in das strukturgenetische Modell von SEILER & REINMANN gefunden. Aber aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen beim Wissensbegriff – *Art* oder *Modus* bei RYLE, ANDERSON und dem Münchener Modell, *Eigenschaft* (Verbalisierbarkeit) bei POLANYI und STAUDT & KRIEGESMANN, *Ort* (Zugänglichkeit) beim strukturgenetischen Modell – ist ein direkter Modellvergleich eher unangebracht, weil Unterschiedliches erfasst werden soll: So *muss* z.B. das ‘prozedurale Wissen’ nach ANDERSON deutlich mehr als das ‘Handlungswissen’ nach SEILER & REINMANN erfassen, aber weniger als deren ‘personales Wissen’, weil das ‘begriffliche Wissen’ einer Person nur unzulänglich mit der Brille ‘Verfahrenswissen’ erfasst werden kann. Daran wird deutlich, wie sehr bei der Interpretation von Wissen im Zusammenhang mit Lernen im Unterricht (und damit z.B. auch bei der Leistungsbeurteilung und Noten-

---

<sup>9</sup> FEILKE (1994a) versteht daher unter Kommunikation „das Erzeugen und Erhalten koordinierter Selektivität“ (ebd., S. 381), was durchaus kompatibel ist mit dem strukturgenetischen Modell.

findung) diese Deutungen von theoretischen Akzentuierungen abhängen. Werden diese nicht geklärt, sind Missverständnisse letztlich unausweichlich.

#### 4.2.4 Lernen als Konstruktion von Wissen

Die Unterscheidung zwischen informellem und institutionalisiertem Lernen (vgl. Abbildung 4) begründet sich darin, dass Lernanlässe selbst- oder fremdmotiviert sein können, also primär in der lernenden Person selbst oder in der äußeren Umwelt liegen.

*Informelles Lernen* außerhalb von Bildungsinstitutionen ist die ursprünglichere Form des Lernens, welche wir von Kindesbeinen an kennen und die uns auch als Erwachsene fast tagtäglich betrifft. „Informelles Lernen ist selbstbestimmt, interessengetrieben und auf konkrete Kontexte bezogen“ (Reinmann 2005, S. 8). Weil es seinen Ausgang beim eigenen Handeln in authentischen Situationen nimmt, kann es sowohl organisiert als auch zufällig stattfinden. Oftmals erfolgt die kognitive Verarbeitung hierbei unbewusst.

Schulisches und damit organisiertes Lernen wird als *institutionalisiertes Lernen* bezeichnet. Es ist letztlich fremdbestimmt und erfolgt vorrangig auf der Grundlage von externen Informationen. Das „emotionale Engagement hält sich [daher] in Grenzen. Es fehlt der ‚Echtcharakter‘ und damit auch der Anlass zum Aufbau von Handlungswissen“ (ebd., S. 8f.). Organisiertes Lernen – nehmen wir als Beispiel das Erlernen der IUPAC-Nomenklaturregeln im Unterricht – ist daher meist formales, extrinsisch motiviertes Lernen, welches im Idealfall zu explizitem Wissen führt. Weil bei einem solchen Lernen *bewusst* von einem Kontext abstrahiert wird, kann in der Regel kein implizites Handlungswissen aufgebaut werden. Allerdings birgt formalisiertes Lernen das Potenzial einer distanzierten Reflexion, eines Meta-Lernens, wodurch das Gelernte dennoch in einem neuen Kontext anwendbar sein *kann*. Ohne *Verstehen* jedoch, was immer ein eigenaktiver, (re-)konstruierender Prozess ist, ist Lernen durch Information nicht möglich.

Diese grobe Unterscheidung ist allerdings nur eine heuristische, keine kategoriale und auch keine wertende, denn „Gesellschaften, die Wissenschaft betreiben, können sich bloßes informelles Lernen ebenso wenig leisten wie einen Verzicht auf die potentiellen Vorteile des Lernens in Institutionen“ (ebd., S. 9).<sup>10</sup> Darüber hinaus bedeutet diese Trennung auch nicht, dass explizites Wissen ausschließlich systematisch, implizites Wissen dagegen

---

<sup>10</sup> Diese Einsicht sei letztlich bereits in der deutschen Bildungstradition verankert. Das strukturgenetische Wissensmodell, so REINMANN (2005, S. 9), sei mit seiner Unterscheidung in personales und öffentliches Wissen durchaus anschließbar an die Idee der kategorialen Bildung nach KLAFKI (1963). Denn im dialektischen Prozess der kategorialen Bildung erfolgt das „Erschlossensein einer dinglichen und geistigen Wirklichkeit für einen Menschen“ (ebd., S. 43) auf der Basis von öffentlichem Wissen, und zwar meist durch institutionalisiertes Lernen. „Erschlossensein dieses Menschen für diese seine Wirklichkeit“ (ebd.) geschieht dagegen qua personalen Wissens durch informelles Lernen.

ausschließlich inzidentell<sup>11</sup> erworben werden kann (vgl. Brügelmann 2007, S. 11ff.), wie vielfach angenommen wird. Aus einer solchen klassischen Sichtweise liegt bei einem Lerner immer eine Kopplung hinsichtlich der Bewusstheit von Lernobjekt und Lernprozess vor: D.h., man geht davon aus, dass ein Lernsubjekt beim *expliziten Lernen* das zu erwerbende Lernobjekt kennt *und* sich darüber im Klaren ist, dass es lernt (vgl. Käser & Röhr-Sendlmeier 2002, S. 226). Beim *impliziten Lernen* dagegen sei sich das Lernsubjekt „nicht darüber im Klaren, dass es lernt und was es lernt“ (ebd.).<sup>12</sup> Dies greift jedoch zu kurz, denn auch *beiläufiges* (inzidentelles) Lernen kann zu *bewusst* abrufbarem Wissen führen:

Es kommt nicht darauf an, ob jemand die Absicht hat zu lernen oder nicht [...]. Entscheidend ist, wie das dargebotene Material verarbeitet wird. (Anderson 1988, S. 163)

Die von ANDERSON vorgeschlagene Trennung zwischen der *äußeren Handlung* der Beschäftigung mit einem Lernobjekt (d.h. der Lernabsicht und damit auch der Frage, ob ein Lerner das Lernobjekt kennt oder nicht) und der *kognitiven Verarbeitung* beim Lernprozess ist überaus produktiv, wie Tabelle 14 veranschaulicht:

<b>Lernprozess</b> (kognitive Verarbeitung)	<b>Lernhandlung</b> (äußere Handlung)	
	<b>implizit</b> (= unbewusst)	<b>explizit</b> (= bewusst)
<b>inzidentell</b> (= zufälliger oder beiläufiger Lernmoment)	<b>Chance auf Prägung durch Übernahme von Modellen</b> (Sozialisationsprozess)	<b>im Nachhinein:</b> <b>Chance auf Wissenserwerb durch Reflexion von Erfahrungen</b>
<b>organisiert</b> (= gezielt und geplant)	<b>Chance auf innere Schemabildung,</b> <b>z. B. durch Übungen</b>	<b>Chance auf Wissenserwerb durch gezielte Beschäftigung mit Lernobjekten</b>

**Tabelle 14:** Lernmöglichkeiten eines Lerners bei Unterscheidung von äußerer Lernhandlung und innerem Lernprozess. (Verändert nach: Brügelmann 2007, S. 14)

Inzidentelles Lernen kann daher unbewusst prägen, aber durchaus auch veräußerbare und damit explizites Wissen generieren, wenn Erfahrenes im Nachhinein bewusst reflektiert

<sup>11</sup> Mit inzidentellem Lernen wird „Erfahrungsbildung, die nicht beabsichtigt (intentional) ist“ (Edelmann 2000, S. 283), bezeichnet. Inzidentelles Lernen erfolgt daher eher punktuell und beiläufig.

<sup>12</sup> KÄSER & RÖHR-SENDLMEIER (2002) verweisen bereits darauf, dass die Dichotomie ‘explizit vs. implizit’ ausdifferenziert werden müsste: „Ein Grund für viele Unklarheiten in der Darstellung der Unterschiede zwischen bewussten und unbewussten Lernprozessen liegt gerade in der mangelnden Differenzierung zwischen Lernen und Wissen, welches jeweils bewusst (explizit) bzw. unbewusst sein kann“ (ebd., S. 226).

wird. Dies ist lerntheoretisch bedeutsam, weil beiläufiges Lernen nicht motivationsgehemmt ist. PESCHEL (2003, S. 113) mahnt daher mit Recht an, inzidentelles Lernen schulisch viel stärker nutzbar zu machen. Umgekehrt kann aber auch eine „*innere*, unbewusste Schemabildung [...] durch *äußere* Konfrontation mit systematisiertem Material oder über entsprechend strukturierte Aktivitäten [...] gefördert werden“ (Brügelmann 2007, S. 15; Hervorheb. i. O.; vgl. Tabelle 14).

Legt man auf Seiten des personengebundenen Wissens einen prozessorientierten Wissensbegriff zu Grunde und geht damit davon aus, dass Lehren *kein* Wissenstransfer ist, dann bedeutet dies, dass persönliches „Wissen von einem Menschen selbst generiert wird und es im Wesentlichen darauf ankommt, die Umstände herzustellen, in denen diese Prozesse der Generierung und Kreation möglich werden“ (Foerster & Pörksen 1998, S. 70). Institutionalisiertes Lernen kann dabei Anleihen bei dem uns vertrauteren, ursprünglicheren Lernen nehmen und Vorteile des informellen Lernens berücksichtigen, indem „die Chance zur aktiven Auseinandersetzung, zur Situierung und zum Aushandeln von Bedeutung durch die Gestaltung von Lernumgebungen“ (Reinmann 2005, S. 9) erhöht wird. Dies ist auch ein Reflex auf drei grundlegende Schwierigkeiten, denen sich Unterricht nach BRÜGELMANN (2005, S. 29f.) stellen muss:

- Es gibt Unterschiede in den Voraussetzungen und Lernstilen der Schüler
- Lernen ist nicht von außen steuerbar und Methoden sind nicht generell wirksam
- Inhalte und Ziele werden gleichwohl in der Regel verbindlich vorgegeben

Lernumgebungen sollten daher folgende Aspekte berücksichtigen (vgl. ebd., S. 48ff.; Gersztenmaier & Mandl 1995, S. 874f.; Reinmann-Rothmeier & Mandl 2001, S. 613ff.):

- ***Lernen als aktiver Prozess***  
Ohne eine eigenaktive und motivierte Beteiligung des Lernenden ist Lernen unmöglich.
- ***Lernen als konstruktiver Prozess***  
Ohne ein Geflecht aus Vorerfahrungen und Vorwissen, auf dessen Basis wir Neues interpretieren, findet kein Lernen statt. Daher ist Lernen eine eigenständige Konstruktion, keine Kopie.
- ***Lernen als selbst gesteuerter Prozess***  
Ohne Selbststeuerung und Selbstkontrolle des eigenen Lernprozesses findet kein Lernen statt.
- ***Lernen als situativer Prozess***  
Ohne Kontexte oder konkrete Situationen, die ein Motiv für Lernen geben, kann nicht sinnvoll gelernt werden.
- ***Lernen als sozialer Prozess***  
Ohne Interaktion mit der Umwelt im weitesten Sinne findet kein Lernen statt. Kulturell anchlussfähiges Wissen bedarf immer eines sozialen Austauschs.
- ***Lernen als emotionaler Prozess***  
Ohne eine zumindest teilweise, positive affektive Färbung dessen, was gelernt wird, findet kein Lernen statt.

*Lernen als aktiver, konstruktiver und selbstgesteuerter Prozess*

Unterrichten meint mit Blick auf einen aktiven Lerner: Anregungen geben, das Selbstverständliche problematisieren, das Gewohnte verfremden, Gegengewicht sein, kognitive Konflikte erzeugen, Neugier wecken (vgl. Brügelmann 2005, S. 41; Siebert 1997, S. 76). Dies führt zu einer anderen Akzentuierung der Lehrerrolle: statt Wissensvermittler eher Initiator, Berater, Mitgestalter, Herausforderer von Lernprozessen, kurzum jemand, der die Lerner anregt, sie zum aktiven Handeln und Problemlösen veranlasst, sie produktiv ‘stört’, ‘perturbiert’ (vgl. Glasersfeld 1981, S. 34). Ein Lehrer ist lediglich Anbieter öffentlichen Wissens, nicht Transporteur des Wissens. Er hat somit auch keinen unmittelbaren Einfluss darauf, wie das von ihm medial zugänglich gemachte öffentliche Wissen von den Schülern kognitiv verarbeitet wird. Lernergebnisse sind daher nicht prinzipiell vorhersagbar, sie können (und werden sicherlich auch) individuell verschieden sein. Lernziele verlieren aus einer solchen Sicht an Relevanz bzw. müssen neu gedacht werden: Versteht man unter einem Lernziel die Schaffung einer Lernmöglichkeit durch gezielte ‘Störung’ bzw. Herausforderung der Schüler durch den Lehrer, so sind freilich die Absichten darlegbar, warum diese Perturbation erfolgt. Ein Lernziel ist dann eher ein ‘Lehrziel’ (vgl. Jank & Meyer 2006, S. 51f.) und dient als eine Art Orientierungsrahmen oder Kompass für den Unterrichtenden selbst. Ob die Störung erfolgreich war, kann nur dann bis zu einem gewissen Grad überprüft werden, wenn es die Absicht war, eine *äußere* Handlung zu veranlassen, da solche Handlungen direkt beobachtet werden können. Dies legt entweder eine operationalisierte Formulierung von Lernzielen nahe, bei der eine Wortwahl wie ‘die Schüler sollen erkennen’ eher unpassend erscheint, oder eine striktere Unterscheidung zwischen Lehr- und Handlungszielen des Unterrichts (vgl. ebd.). Aber selbst dann ist der Unterrichtserfolg nur schwer prüfbar: Wenn es die Absicht war, „*innere* Erfahrungsakte [...] des Verstehens anzuregen“ (Ungeheuer 1987, S. 316; Hervorheb. V. H.), kann der Erfolg entweder nur durch Meta- bzw. Kontrollkommunikation überprüft werden oder indem ein Schüler sinnvolle Schlussfolgerungen zieht und daraufhin zuvor nicht beobachtete Handlungen ausführt (ebd., S. 319f.). Gewissheit, dass der Schüler alles ‘richtig’ verstanden hat, gibt es aber auch dann nicht, denn:

Hinsichtlich des Kommunikationserfolgs sind kommunikative Sozialhandlungen fallibel, d.h. es gibt im Prinzip kein gesichertes Wissen über täuschungsfreies Verstehen des Gesagten. (Ebd., S. 320)

Lernumgebungen sollten daher die Selbststeuerung einer aktiven und konstruktiven Genese von Wissens- und Kenntnissystemen begünstigen und Eigenerfahrungen der Schüler bewusst zulassen, damit sich intuitives Wissen und Handlungswissen aufbauen können. Als wesentliche Konsequenz ergibt sich daraus, dass eine lehrerdominante fragend-entwickelnde Unterrichtsmethode so weit als möglich in den Hintergrund treten muss zugunsten eines auf Problemen, Aufgaben und „produktive(n) Diskrepanzen“ (Aufschnaiter *et al.* 1992, S. 421) aufbauenden schüler- und handlungsorientierten Unterrichts.

Lernende konstruieren ihr Wissen, indem sie wahrnehmungsbedingte Erfahrungen interpretieren, und zwar in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen, von gegenwärtigen mentalen Strukturen und bestehenden Überzeugungen. (Gerstenmaier & Mandl 1995, S. 874f.)

Neues wird demnach nur dann gespeichert, wenn es mit bestehenden Wissensstrukturen<sup>13</sup> verknüpft und vernetzt werden kann (vgl. Weinert 1998, S. 115). Dies klingt ganz einleuchtend und wie selbstverständlich und erinnert an den zur Phrase gewordenen Satz, die Schüler da abzuholen, wo sie stehen. Doch was, wenn die bereits im Alltag etablierten Vorstellungen aus der Lebenswelt konträr zu den wissenschaftlichen Erklärungsmustern sind?

Wir haben von Kindesbeinen an bereits Erfahrungen gesammelt und damit Vorstellungen entwickelt, wie unsere natürliche Umwelt 'funktioniert'. Durch wiederholte Erfahrungen bildet sich eine Erwartungshaltung aus, die als eine Art Muster oder Schablone für Neues dient. Diese sogenannten Alltagsvorstellungen oder -muster haben sich im alltäglichen Leben der Schüler bestens bewährt und werden daher nicht leichtfertig gegen die vermeintlich besseren Vorstellungen der Naturwissenschaften getauscht. Gleichwohl sollen die Schüler natürlich *den Sensus communis* der *normal science* für sich sinnhaft rekonstruieren, der vor allem durch Lehrwerke kulturell verfügbar gehalten wird. Intendiert werden so aber mitunter Lernprozesse, die konträr zu Schülervorstellungen sind. Schülervorstellungen basieren auf überaus stabilen Alltagsmustern, die ganz offensichtlich zu je eigenen Beobachtungen, hinderlichen Problemlösungsstrategien oder auch kognitiven Verweigerungen gegenüber empirischen Evidenzen führen können. AUFSCHNAITER *et al.* (1992) berichten beispielweise, „dass Schüler unbeirrt an Vorstellungen festhalten, obgleich diese durch Äußerungen des Lehrers oder physikalische Experimente schon mehrfach widerlegt zu sein schienen“ (ebd., S. 385). DUIT (1995) stellt daher lapidar fest: „Empirische Evidenz überzeugt nicht unbedingt“ (ebd., S. 910). Gleichwohl müssen Schülervorstellungen im Unterricht nicht nur berücksichtigt werden, sie müssen aufgrund ihrer hohen Veränderungsresistenz zum Ausgangspunkt unterrichtlicher Überlegungen gemacht werden, denn letztlich sind es „die Bausteine, aus denen das neue Wissen konstruiert werden muss“ (ebd.).

Naturwissenschaftliche Alltagsvorstellungen sind von Didaktikern umfassend untersucht worden (vgl. Pfundt & Duit 1994). Im Rahmen der Einführung in das IPN-Curricu-

---

<sup>13</sup> Wissensstrukturen oder Hintergrundwissen entsteht neurologisch betrachtet durch redundante Erregungsmuster, die unser Gehirn als ein „funktional und semantisch selbstreferentielles oder selbst-explikatives System“ (Roth 1987, S. 240) zu 'neuronalen Netzen' verknüpft, welche ein geringeres Aktivierungspotenzial aufweisen und damit leichter 'abrufbar' sind. Dies nennt man das „Phänomen der sogenannten 'neuronalen Plastizität', d.h. der Tatsache, daß die Feinstruktur des neuronalen Netzwerks sich durch die Aktion selber ausbildet. Je häufiger synaptische Verbindungen gebraucht werden, desto durchgängiger und auch reichhaltiger werden sie“ (Ciompi 1994, S. 123). SPITZER (2007) spricht recht anschaulich von „Karten des Input, d.h. aus flüchtigen Aktivitätsmustern (Input) werden neuronale Repräsentationen dieser Muster“ (ebd., S. 103). Solche erfahrungsabhängigen neuronalen Netze oder Karten – auch 'Schemata' genannt (vgl. Schmidt 1994, S. 170ff.) – organisieren maßgeblich unser Wissen und wirken vorstrukturierend bei neuen Erkenntnissen.

lum werden beispielsweise folgende chemiespezifische Problemfelder genauer benannt: die Vorstellung des Mischens und Entmischens, die Vorstellung vom kontinuierlichen Aufbau der Stoffe und die Vorstellung der unwiederbringlichen Vernichtung bei der Verbrennung (Pfundt 1979, S. 20ff.). Ein Alltagsbeispiel, welches dem Bereich des Mischens und Entmischens zugeordnet werden kann, soll dies verdeutlichen: Ein Silberbesteck läuft an, wird schwärzlich. Zur ‘Reinigung’ kann das Besteck z. B. mit einem Silberputztuch poliert werden, was im Alltag auch problemlos funktioniert. Schüler könnten daher die chemische Reaktion von Silber und Schwefelwasserstoff, bei der schwarzes Silbersulfid entsteht, als ‘Mischen’ missdeuten, die Reinigung als ‘Entmischen’ – beide Prozesse würden dann als „Wechsel der Eigenschaften eines [konstant bleibenden] Eigenschaftsträgers“ (ebd., S. 26; vgl. auch Bader 1997a; Barke 2006; Stork 1995) missverstanden werden.<sup>14</sup>

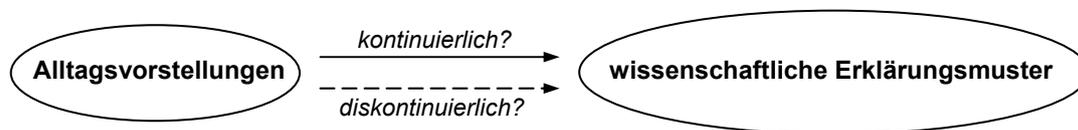
Ein möglicher Ausweg aus diesem Dilemma wird darin gesehen, zwischen den aktuellen Wirklichkeitskonstruktionen der Schüler und denen, die Konsens in den Naturwissenschaften sind, einen produktiven, kognitiven Konflikt zu schaffen, der einen ‘Konzeptwechsel’ ermöglicht (vgl. Duit 2000). Dazu seien vier Bedingungen nötig, die erfüllt sein müssten (vgl. Duit 1995, S. 914; Duit 2000, S. 81; Niaz 1995, S. 968; Stork 1995, S. 23):

- a) Unzufriedenheit mit dem aktuell benutzten Konzept (*dissatisfaction*)
- b) Eine neue, verstehbare Vorstellung kommt ins Spiel (*intelligible*)
- c) Die neue Vorstellung muss einleuchtend sein (*plausible*)
- d) Das neue Konzept muss sich als fruchtbar erweisen (*fruitful*)

---

<sup>14</sup> PFUNDT (1979) führt dieses Präkonzept der Schüler auch auf eine unpräzise „Ausdrucksweise der Erwachsenen“ (ebd., S. 22) zurück, wenn diese etwa davon sprechen, dass Silber schwarz werde. Sie plädiert daher im Unterricht für eine sprachliche Ausschärfung, um „Mehrdeutigkeiten zu beseitigen“ (ebd., S. 43). Beispielsweise wird die Reaktionsgleichung zum „Umbildungssymbol“ (ebd., S. 42), die Reduktion zur „Desoxidation“ (ebd., S. 45) und die Flüssigkeit zum „Flüssigstoff“ (ebd.). Das an und für sich hehre Ziel, die Verständlichkeit bei den Schülern zu erhöhen, ist *sprachtheoretisch* jedoch kritisch zu betrachten. Denn wer eine semantisch exakte einer pragmatisch gewachsenen Wortwahl vorzieht, verkennt, dass sprachliches Handeln immer *rückebezüglich* ist: „Sprachliche Komponenten fungieren dann und nur dann als Zeichen *in* der Kommunikation, wenn sie Zeichen *für* vorausgegangene Koorientierungen von Sprechern und Hörern sind“ (Schmidt 1998, S. 87f.; Hervorheb. i. O.). Kommunikation ist daher kein rekonstruktiver Bedeutungsabgleich, bei dem Wörter Stellvertreter für eindeutige Referenzobjekte sind, denn es gibt zwischen Bezeichnung und Bezeichnetem, wie bereits weiter oben erwähnt, keine eindeutige, lineare Beziehung: „Jede Semantik ist *notwendig* kognitiv kontingent“ (Feilke & Schmidt 1995, S. 290; Hervorheb. i. O.). Ferner negiert ein solcher Ansatz die Kontextualisierungskraft sprachlicher Ausdrücke: *Im Alltag* z. B. ermöglicht der Ausdruck ‘Silber wird schwarz’ anschließbare Kommunikation. Eine exaktere Ausdrucksweise wie ‘das Silber des Messers oxidiert oberflächlich mit Schwefelwasserstoff, der in geringen Mengen in der Luft vorhanden ist, zu schwarzem Silbersulfid’ schafft jedoch kaum anschließbare Kommunikation. Der Kommunikationswissenschaftler G. UNGEHEUER (1987, S. 328) bringt es kurz und knapp auf den Punkt: „[...] maximale Deutlichkeit und Explizitheit führen zu minimaler Verständlichkeit.“ Im Alltag ist es ferner völlig unerheblich, dass beim ‘Anlaufen’ des Bestecks ein neuer Stoff entsteht, schließlich bleibt beispielsweise das Messer ein Messer. Daher wäre es im Alltag sogar nicht nur pragmatisch unsinnig zu sagen, dass ein Silbermesser zu einem Silbersulfidmesser reagiert hat – ein Messer aus *reinem* Silbersulfid könnte die Funktion eines Messers gar nicht mehr erfüllen. Eine *sprachliche* Ausschärfung ist daher meines Erachtens nicht hilfreich, wohl aber eine *Sensibilisierung* der Schüler für die zwei unterschiedlichen Zugriffsmodi (hier Alltag, dort Wissenschaft).

Innerhalb der Naturwissenschaftsdidaktik herrscht allerdings keine Einigkeit darüber, ob die Alltagsvorstellungen schlichtweg entsorgt oder um- und ausgebaut werden sollten. Vertreter eines kontinuierlichen Weges versuchen, auf vorhandenen Schülervorstellungen aufzubauen und diese zu erweitern und sprechen daher meist von ‘Präkonzepten’ (*alternative frameworks*). Der kontinuierliche Weg wird oftmals mit dem Terminus *conceptual growth* benannt (auch: *evolution, enrichment, weak reconstruction*). Vertreter eines diskontinuierlichen Weges beabsichtigen, Schülervorstellungen grundlegend zu revidieren und sprechen daher meist von ‘Misskonzepten’ (*misconceptions*). Der diskontinuierliche Weg wird in der Regel mit dem Terminus *conceptual change* benannt (auch: *revolution, revision, radical reconstruction*) (vgl. auch Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Konzeptwechsel: *conceptual growth* oder *conceptual change*?

Konzeptwechseltheorien stellen fast immer die nicht unproblematische Analogie zwischen der Wissensentwicklung in der Wissenschaft und dem lernenden Individuum her und vertrauen dabei stark auf die Kraft logischer Argumente (*cold conceptual change*). Alltagsmuster, die nicht nur kognitiv, sondern vor allem auch affektiv besetzt sind, erweisen sich daher oft als sehr stabil und einwandsimmun gegenüber logischer Argumentation. Sie sind sehr ersetzungsresistent und werden oft weiterhin – teilweise parallel – verwendet. Dies kann zu Mischkonzepten (Hybridbildungen) führen (vgl. Duit 1995, S. 910; Jung 1993), etwa dass Essigsäure in der Chemie als ätzend konzeptualisiert wird, im Alltag dagegen nicht.

Obgleich eine Harmonisierung beider Theorien eigentlich undenkbar zu sein scheint, etabliert sich mittlerweile ein Mittelweg, bei dem Schülern Gelegenheit gegeben wird, ihre eigenen Erfahrungen und subjektiven Erwartungen mittels Erwartungswidersprüchen zu überdenken, was aber nicht zwangsläufig zu den ‘richtigen’ naturwissenschaftlichen Erkenntnissen führen muss. Denn „lebensweltliche Primärerfahrungen und Aussagen über sie behalten ihren Sinn neben und vor wissenschaftlichen Systemen“, wie STORK (1995, S. 25) berechtigt anmerkt, weil auch sogenannte ‘Fehlkonzepte’ Anwendungskontexte haben, in denen sie erfolgreich genutzt werden können. Man trägt damit der Tatsache Rechnung, dass Konzepte nicht einfach ‘da’ sind, sondern in sozialen, gesellschaftlichen und historischen Kontexten entstehen, in denen Personen miteinander und mit kulturellen Artefak-

ten interagieren – kurz: Konzepte sind in der Regel immer situiert (vgl. Stark 2003).<sup>15</sup> Verabschiedet man sich von der überzogenen Vorstellung, die ‘falschen’ Schülervorstellungen entsorgen zu wollen, so sollte zumindest intendiert werden, die Schüler zu überzeugen, dass in bestimmten Kontexten wissenschaftliche Vorstellungen fruchtbarer sind als unser Weltwissen (vgl. Jung 1993, S. 110ff.; Stork 1995, S. 25f.). Aus dieser Perspektive kann die gezielte Provokation eines kognitiven Konflikts sinnvoll sein, um zumindest innerwissenschaftlich einen ‘Konzeptwechsel’ hin zu konsensfähigeren Konstrukten herbeizuführen und damit einen in sich logischen „Zugriffsmodus“ (vgl. Buck 1996b) zu etablieren.

### *Lernen als situativer Prozess*

Nicht nur aus dem Alltag kennen wir das Phänomen, dass ‘etwas kennen’ nicht notwendig auch ‘etwas können’ heißt und umgekehrt (vgl. Weinert 1998, S. 111). Allzu oft zeigt sich im Unterricht, dass Erlerntes nicht genutzt und Gelerntes nicht angewandt werden kann – man spricht von ‘trägem’ Wissen. Im Bild der Wasser-Analogie (siehe oben) können ‘gefrorene’ Informationen nicht ‘verflüssigt’ werden bzw. das personale begriffliche Wissen ermöglicht dennoch kein Handlungswissen.

Eine beim Wissenserwerb oft unterschätzte Rolle spielt offenbar der Kontext, in dem Wissen gelernt wird: „Wenn Lernenden der Bezug zu einem relevanten Kontext fehlt, dann ist die Information für sie wenig bedeutsam“ (Gerstenmaier & Mandl 1995, S. 875). Träges und somit nicht anwendbares Wissen kann die Folge sein (vgl. Renkl 1996, S. 84ff.). Lernen sei daher situations- und kontextgebunden. Wissen wird demnach in einer bestimmten Situation erworben und findet seine Entsprechung in einer individuellen Erfahrungswirklichkeit. Die konkrete Lernsituation legt bereits die potenzielle, spätere Wissensanwendung fest. Um die Entstehung vielfältig anwendbaren, flexiblen, intelligenten Wissens und damit eine Anschlussfähigkeit von neu zu generierendem Wissen an kognitive Strukturen zu ermöglichen, sollten Lernumgebungen daher möglichst authentische Probleme aufweisen, die (idealerweise) von allen am Lehr-Lern-Prozess beteiligten Personen erarbeitet oder zumindest präzisiert werden. Die Probleme sollten an lebensweltliche, subjektiv relevante Kontexte anschließbar sein, den Lernenden also emotional ansprechen und zur Bearbeitung motivieren. Ein gewisses Maß an Komplexität gestattet verschiedene Lösungswege auf unterschiedlichen Niveaus. Dies darf den Lernenden zwar (auf Dauer) nicht überfordern, sollte ihn aber dazu veranlassen, ähnlich gehaltvolle Denkstrukturen aufzubauen, die ihn zur Lösung alltäglicher Probleme befähigen.

Wenn Schüler beispielsweise das Trennverfahren der Destillation für sich entdecken, sollte dies nicht nur unter dem Aspekt ‘Trennverfahren’ erfolgen, sondern vor allem als *ein* Weg bei der Lösung eines möglichst authentischen Problems betrachtet werden. Selbstver-

---

<sup>15</sup> Konzepte verändern sich auch durch gesamtgesellschaftliche Diskurse. So ist heutzutage die ‘Vorstellung der unwiederbringlichen Vernichtung’ bei Verbrennungen durch die gesamtgesellschaftliche Thematisierung des Recyclings wahrscheinlich kaum mehr anzutreffen.

ständig wirken solche ‘authentischen’ Probleme mitunter konstruiert, aber bei der Berücksichtigung lokaler Besonderheiten im Umfeld der Schule lassen sich oft *echte* Probleme finden. Keinesfalls sollte jedoch meines Erachtens der Kontextbezug gegen die Fachsystematik ausgespielt werden, da beim schulischen Lernen das eine ohne das andere kaum gewinnbringend ist.

### *Lernen als sozialer und emotionaler Prozess*

Individuelle Erfahrungen und persönliches Wissen sind auf soziale Interaktionen angewiesen (vgl. Feilke & Schmidt 1995).<sup>16</sup> „Zentral für den Wissenserwerb ist [daher] das soziale Aushandeln von Bedeutungen“ (Gerstenmaier & Mandl 1995, S. 875). So entstehe eine kulturell vermittelte Praxisgemeinschaft (*community of practice*). Unterricht sollte dementsprechend so gestaltet sein, dass ein primär sprachlicher Aushandlungsprozess begünstigt wird. Die Lösung von Problemen und damit Lernen sollte deswegen zumindest phasenweise mittels kooperativer Lernformen erfolgen, die einen kommunikativen Aushandlungsprozess ermöglichen und Lernende darüber hinaus darin schulen, eine fachlich und sozial arbeitsfähige Situation herzustellen und zu wahren. Wie bereits weiter oben angesprochen stellt Sprache in diesem Zusammenhang zwar Kommunikation her, sie fungiert jedoch aus einer solchen Sichtweise nicht als Übermittler von Wissen, sondern ermöglicht lediglich wechselseitige Orientierungen. Ein entscheidender und demnach möglicherweise auch einschränkender Faktor bei Kommunikations- und Lernprozessen ist die affektive Gestimmtheit des Lerners. Der Schweizer L. CIOMPI (1994) geht z. B. davon aus, dass wir beim Lernen ‘affektlogische’ Bezugssysteme ausbilden und dass emotionale Gestimmtheiten einen nicht zu unterschätzenden Beitrag bei Problemlöseprozessen leisten.

Gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht ist Gruppenarbeit nichts Neues; bei Schülerexperimenten wird sie schon seit langem praktiziert. Allerdings ist nicht jede Gruppenarbeit zugleich auch eine kooperative Arbeitsform. Die vom Lehrer mündlich mitgeteilte oder per Versuchsvorschrift im Buch bzw. auf einem Arbeitsblatt angeleitete, bereits sorgfältig geplante und vorbereitete Durchführung eines Bestätigungsexperiments in Kleingruppen z. B. führt zwar freilich zwangsläufig zu einer Zusammenarbeit von Schülern – kooperieren müssen sie jedoch nicht unbedingt, weil es sich hier um eine *geschlossene* Aufgabe mit eindeutiger Lösung handelt, welche auch in Einzelarbeit gefunden werden könnte. Kennzeichen für kooperative Lernformen sind dagegen eine inhaltliche und/oder

---

<sup>16</sup> Beim Aufbau personalen Wissens, welches sich gesellschaftlich als konsensfähig erweisen soll, spielt das „Anbieten und Aufgreifen sinnfähiger Selektionsofferten (Medienangebote)“ (Feilke & Schmidt 1995, S. 278) eine entscheidende Rolle. Denn „*Medienangebote* koppeln strukturell kommunikative und kognitive Prozesse, da sie – vermittelt über kollektives Wissen – in beiden voneinander getrennten Bereichen in je bereichsspezifische Prozesse transformiert werden können“ (ebd., S. 279; Hervorheb. i.O.). Aus der Sicht dieses weiten Medienbegriffs sind Medienangebote nicht autonom, sie transportieren daher nichts und können auch nicht einfach rezipiert werden, sondern müssen aktiv *genutzt* werden, was letztlich immer ein sozialer Prozess ist (vgl. Schmidt 1994, S. 85ff.).

methodische Offenheit sowie das gemeinsame, intensive Ringen um ein Problem, für das eine Lösung in der Gruppe ausgehandelt werden muss. Dabei sollte es sich für die Schüler um ein *echtes* Problem mit unterschiedlichen Lösungswegen handeln und nicht nur um eine Aufgabe, bei der *der* Lösungsweg bereits vorgezeichnet ist. Nur dann sind Schüler herausgefordert, ihre Ideen sprachlich verständlich in der Gruppe zu kommunizieren, sich der Kritik zu stellen und argumentativ zu verteidigen, sich auf die Sichtweise anderer einzulassen. Die Gruppenmitglieder mit ihren je individuellen Erfahrungsperspektiven müssen sich dabei gegenseitig akzeptieren, unterstützen, helfen und beraten, aber auch loben, kritisieren und vertrauen. Dies unterstützt nicht nur den Aufbau sozialer Kompetenzen, auch naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen können so erworben werden. Der Lernerfolg wird als eigenverantwortlich erlebt, was, auch im Sinne HEYMANNs (1996), eine Ich-Stärkung jedes einzelnen Gruppenmitglieds bewirken kann. Die Schüler fühlen sich nicht nur ernst genommen, da sie ihren eigenen Weg verfolgen dürfen und auch müssen, positiv wirkt sich dies auch in motivationaler Hinsicht aus. Dies setzt ein produktives Arbeitsklima, Empathie und Kommunikationsfähigkeit bei den Schülern voraus, fördert dies jedoch zugleich auch (vgl. auch Huber 2000).<sup>17</sup>

#### 4.2.5 ‘Öffnen von Unterricht’ als Konsequenz?

Eine häufig gezogene Schlussfolgerung aus den Forschungsergebnissen zum Zusammenhang von Lernen und Wissen ist die Forderung nach einer stärkeren ‘Öffnung’ von Unterricht. Angesichts derzeitiger didaktischer Entwicklungen ist dies offenbar weitgehend konsensfähig (vgl. Lind 2007, S. 9): Stationenlernen & Co. haben gegenwärtig Konjunktur. Bei genauerer Betrachtung fehlt dieser Forderung jedoch leider oftmals eine tiefergehende, pädagogisch motivierte Reflexion<sup>18</sup>, sodass „fast alles, was in der Schule als ‘offener’ Unterricht gehandelt wird, dieses Etikett gar nicht verdient“ (Peschel 2003, S. 297). Auch LIND (2007) moniert:

Wirklich offenen Unterricht macht nur ein verschwindend geringer Teil von Lehrkräften. „Wirklich“ meint einen offenen Unterricht, in dem Schüler und Schülerinnen nicht nur über ihre Lernmethoden (mit-)bestimmen dürfen, sondern auch über ihre Lernziele. (Ebd., S. 9)

---

<sup>17</sup> Neben diesen genannten Vorteilen kooperativer Arbeitsformen ergeben sich in der Praxis jedoch oftmals nicht zu unterschätzende Probleme, die häufig darauf beruhen, dass Arbeitslasten ungleich verteilt sind. Vgl. dazu ausführlich RENKL *et al.* (1996, S. 135ff).

<sup>18</sup> In einem Basisartikel einer chemiedidaktischen Zeitschrift zum Thema ‘Offene Lernformen’ heißt es z. B.: „Eine Form des offenen Unterrichts, die in den letzten Jahren großen Anklang bei Lehrerinnen und Lehrern sowie Schülerinnen und Schülern fand, ist das sogenannte Stationenlernen, das auch als Lernzirkel bezeichnet wird“ (Schäpers 2002, S. 8). Fehlen bei einem solchen Lernarrangement jedoch fakultative Stationen, ist die Wahl der Bearbeitungsreihenfolge und der -zeit nicht beliebig und sind die Gruppen fest vorgegeben, kann bei einem Lernzirkel von Offenheit eigentlich nicht die Rede sein (vgl. Jürgens 2000, S. 148; Peschel 2003, S. 33f.).

Allzu oft wird die Idee, Unterricht zu öffnen, von Lehrenden entweder zu eng oder zu weit gefasst (Brügelmann 1997, S. 44). Öffnung von Unterricht meint mehr, als nur 'neue' Methoden zu nutzen oder die Dominanz des Lehrers in Arbeitsblätter oder sonstiges Material zu verlagern; Öffnung von Unterricht heißt jedoch auch *nicht*, dass Schüler machen können, was sie wollen. Vielmehr müsse gefragt werden, ob für Schüler durch Unterricht die Möglichkeiten wachsen, dass sie „persönlich bedeutsame Erfahrungen und Fragen einbringen, individuelle Wege des Lernens gehen können, Verantwortung für ihre Arbeit übernehmen können“ (ebd., S. 43). Echte Offenheit hat demnach eine humanistisch-demokratische Basis: „die *Achtung des Kindes*“ (Lind 2007, S. 9; Hervorheb. i. O.; vgl. auch Brügelmann 2005, S. 29f.). Offener Unterricht ist daher kein Sammelbecken für alternative Unterrichtsmethoden, sondern eher eine 'radikale' Pädagogik. BRÜGELMANN betont, dass Öffnung des Unterrichts ein steter Entwicklungsprozess sei, der zudem „hohe Anforderungen an die Lehrperson“ (ebd., S. 31) stelle. Er unterscheidet dabei drei hierarchische Stufen<sup>19</sup> der Öffnung von Unterricht: eine „methodisch-organisatorische Öffnung“, eine „didaktisch-inhaltliche Öffnung“ sowie eine „pädagogisch-politische Öffnung“ (ebd., S. 32ff.).

Die *methodisch-organisatorische Öffnung* ist als Reflex auf die Individualität jedes Menschen zu sehen, speziell auf die Fähigkeits- und Leistungsheterogenität. Mit dieser Dimension der Öffnung ist gemeint, dass Schüler „nicht nur Abfolge und Tempo der Arbeit bestimmen, sondern auch selbst zwischen Aufgaben wählen und ihr Vorgehen bei deren Bearbeitung selbst bestimmen können“ (ebd., S. 33). Werden nicht nur die Arbeitsbedingungen, sondern auch die *Arbeitsinhalte* geöffnet, kann von einer *didaktisch-inhaltlichen Öffnung* gesprochen werden. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass Wissen kein übertragbares Gut ist, sondern auf Eigenmodellierungen durch kommunikatives Handeln bzw. in Auseinandersetzung mit Medienangeboten basiert. Akzeptiert man, dass auch Schüler mündige Mitbürger einer Gesellschaft sind und räumt ihnen daher eine Mitbestimmung bei Zielen und Inhalten des Unterrichts ein, ist eine *pädagogisch-politische Öffnung* erreicht.

Merkmale eines offeneren Unterrichts (vgl. Gudjons 2004, S. 8) sind dann, dass sich Schüler zunehmend selbst Aufgaben stellen, sich eigenverantwortlich Ziele setzen, Lerninhalte selbstständig auswählen, dabei eigene Lernwege sowie ihren eigenen Lerntakt finden und ihre Arbeitsergebnisse selbst evaluieren. Dabei werden vielfältige Aktions- und Sozialformen eingesetzt. Ein solcher Unterricht profitiert freilich von einem hohen Maß an intrinsischer Motivation auf Seiten der Schüler. Allerdings sind so natürlich auch Fehler und Irrwege vorgezeichnet, die aber durchaus produktiv sein können und daher nicht vermieden werden sollten, wenn man aus ihnen lernen kann. GUDJONS spricht recht treffend von einer „Gesamtchoreographie“ (ebd.) des Unterrichts, bei der Schüler *echte* Probleme bear-

---

<sup>19</sup> Eine sehr ähnliche, jedoch stärker ausdifferenzierte Stufung stellt PESCHEL (2003, S. 64) vor, bei der er die erste und dritte Dimension von BRÜGELMANN nochmals untergliedert.

beiten. Echte, offene Probleme liegen dann vor, „wenn Lösungen (auch der Lehrkraft, in jedem Fall aber den Schülern) nicht bekannt sind“ (ebd.). GUDJONS mahnt jedoch mit Recht an, dass eine Öffnung von Unterricht stets institutionellen Rahmenbedingungen unterworfen sei und daher „immer nur eine Teil-Öffnung“ (ebd., S. 7) sein könne. Dies sei womöglich ernüchternd, aber zugleich auch entlastend. Denn damit wird letztlich auch deutlich, dass Öffnung von Unterricht nicht Beliebigkeit bedeutet. BRÜGELMANN fordert daher:

Zugleich müssen wir deutlicher machen, daß Offenheit Strukturen nicht ausschließt, sondern im Gegenteil geradezu voraussetzt. (Brügelmann 1997, S. 44)

Im Unterschied zur ‘klassischen’ Lehrerrolle, bei dem der Unterrichtende Lernhandlungen für Schüler organisiert, bei denen diese explizit dargelegtes Wissen auch explizit lernen sollen (eine Art ‘Lernen durch Information’, vgl. Tabelle 15), zielt ein Lehrer als *Strukturgeber* auch auf implizite Lernprozesse. Eine Erweiterung der Tabelle 14 des vorherigen Kapitels mag dies veranschaulichen:

<b>Lernprozess</b> (kognitive Verarbeitung)  <b>Lernhandlung</b> (äußere Handlung)	<b>implizit</b> (= unbewusst)	<b>explizit</b> (= bewusst)
<b>inzidentell</b> (= zufälliger oder beiläufiger Lernmoment)	<b>Chance auf Prägung durch Übernahme von Modellen</b> (Sozialisationsprozess)	<u><b>im Nachhinein:</b></u> <b>Chance auf Wissenserwerb durch Reflexion von Erfahrungen</b>
<b>organisiert (vorstrukturiert)</b> (= Wissen ist in der Lernsituation implizit enthalten)	<b>Chance auf innere Schemabildung, z. B. durch Übungen</b>	<b>Chance auf Wissenserwerb durch implizit dargelegtes Wissen</b> (entdeckendes Lernen)
<b>angeleitet (instruktional)</b> (= Wissen wird in der Lernsituation gezielt und explizit dargelegt)	<i>[logisch nicht möglich bezogen auf ein definiertes Lernobjekt]<sup>20</sup></i>	<b>Chance auf Wissenserwerb durch explizit dargelegtes Wissen</b> (‘Lernen durch Information’)

**Tabelle 15:** Lernmöglichkeiten eines Lerners bei differenzierter Unterscheidung von äußerer Lernhandlung und innerem Lernprozess. (Verändert und erweitert nach: Brügelmann 2007, S. 14)

<sup>20</sup> Wird einem Lerner ein bestimmtes Lernobjekt explizit und unterweisend dargelegt, hat der Lerner nur die Chance, auf das Lernobjekt *bewusst* (und damit explizit) zu reagieren: sei es, indem der Lerner lernt (das *Lernergebnis* spielt dabei keine Rolle!) oder auch *bewusst nicht* lernt (sich also dem Lernobjekt verweigert). Reagiert er aber *unbewusst* (und damit implizit), so kann sich seine Reaktion *nicht* auf das bestimmte Lernobjekt beziehen.

Strukturgeber ist und bleibt auch in einem geöffneten Unterricht der Lehrer. Seine Aufgabe lässt sich daher als die eines Herausforderers und kritischen Begleiters bestimmen, der Lernhandlungen der Schüler vorstrukturiert und ihnen so auch eine Chance auf innere Schemabildung gestattet (vgl. Tabelle 15). Herausfordern kann er dabei die Schüler auf unterschiedliche Art und Weise (vgl. Brügelmann 1997, S. 50ff.): Einerseits durch Sachen, Rätsel, Probleme, Phänomene, die nicht nur *eine* festgelegte Deutung zulassen, sondern den Schülern abverlangen, *ihre* Sicht der Dinge darzulegen und diese argumentativ vertreten zu müssen. Bei einer partnerschaftlich-wertschätzenden Haltung zwischen Lehrer und Schülern können andererseits auch Personen selbst zur ‘Herausforderung’ werden: Sei es durch gelebte Demokratie und Respekt, sei es, indem sie Alternativen aufzeigen, jedoch nicht als Doktrin, sondern als Option, als Perspektive, als „Zugriffsmodus“ (Buck 1996b). Dadurch können beispielsweise auch inzidentelle Lernmomente fruchtbar gemacht werden, indem Schüler herausgefordert werden, Erfahrenes zu reflektieren. Zusammenfassend bedeutet dies für das Öffnen von Unterricht:

Es ist also nicht nur *möglich*, für implizites Lernen förderliche Bedingungen zu organisieren, es ist auch *sinnvoll*, implizites Lernen zu organisieren und inzidentelle Erfahrungen bewusst zu machen. (Brügelmann 2007, S. 16; Hervorheb. i. O.)

Stärker auf konkreten Unterricht bezogen zeigt BRÜGELMANN (1997, S. 54ff.) beispielhaft drei Lernarrangements auf, die Struktur zu geben im Stande sein können:

- *Strukturierung durch die inhaltliche Gestaltung von Materialien*  
Im Unterricht eingesetzte Aufgaben bzw. Materialien können *implizit* Konzeptualisierungsoptionen enthalten, welche eine innere Schemabildung oder sogar konsensfähige Rekonstruktion erlauben, die dennoch „nicht durch explizite Vermittlung und Forderung aufgezungen wird“ (ebd., S. 54).
- *Strukturierung durch die methodische Gestaltung von Arbeitsformen*  
Arbeitsformen und -techniken prägen Einstellungen und führen zu Haltungen. Im Unterricht sind daher solche Arbeitsformen zu bevorzugen, die „das selbständige Lernen erleichtern“ (ebd., S. 55).
- *Strukturierung durch die soziale Gestaltung einer Unterrichtskultur*  
Rituale können den Alltag vorstrukturieren und ihm Orientierungspunkte geben. Rituale haben daher eine nicht zu unterschätzende Moderations- und Entlastungsfunktion. Daher „brauchen wir soziale Strukturen, die die Selbständigkeit, die Gesprächs- und Kooperationsfähigkeit, die Toleranz und Kritikfähigkeit der Kinder stützen“ (ebd., S. 56).

BRÜGELMANNs Konzept der Öffnung von Unterricht überzeugt, weil seine Idee der implizit vorstrukturierten, problemorientierten Lernumgebungen als strukturelles Kopplungsinstrument zwischen personalem und öffentlichem Wissen im Sinne des strukturgenetischen Wissensmodells (vgl. Seiler & Reinmann 2004) fungieren kann.

### 4.3 *Inquiry* – ein Weg zum Erwerb von Wissen über *Nature of Science*?

A primary goal for current inquiry-based reforms in science education is that students develop an understanding of the nature of science by doing science [...]. (Sandoval & Reiser 2004, S. 345)

Im Grunde ist die Idee, dass Schüler ein Wissen über die Natur der Naturwissenschaften im Unterricht *beiläufig* erwerben, indem sie naturwissenschaftlich orientiert arbeiten, recht attraktiv, denn ein solches inzidentelles Lernen weist prinzipiell, wie bereits in Kapitel 4.2.4 ausgeführt, nicht nur bezüglich der Motivation Vorteile gegenüber einer direkten Unterweisung auf. Auch dem sogenannten ‘Problem der Wissensanwendung’, dem Phänomen des trägen Wissens, könnte so effektiv begegnet werden (vgl. Neuweg 2000, S. 210).

Vor einer Klärung der Frage, ob sich diese Vorteile auch in der Praxis auf den Wissenserwerb von NOS positiv auswirken, muss allerdings beleuchtet werden, wie eine unterrichtliche Umsetzung eines solchen *learning by doing* aussehen könnte. Die *inquiry*-Idee gibt darauf eine *mögliche* Antwort, welche allerdings vom NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996; 2000) als Patentrezept gesehen wird. Daher wird im folgenden Kapitel 4.3.1 das *inquiry*-Konzept genauer betrachtet.

#### 4.3.1 Begriffsbestimmung: Was meint *inquiry*?

Das Thema ist schon recht alt, welches unter anderem von der CENTRAL ASSOCIATION OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS (1909) bereits vor knapp 100 Jahren diskutiert wurde: Soll naturwissenschaftlicher Unterricht vorrangig etablierte, theoretische Konzepte tradieren, wie sie in Lehrbüchern verfügbar gehalten werden, oder bei Schülern primär eine Fragehaltung<sup>21</sup> wecken, indem Prozesse einer „scientific method of problem solving“ (ebd., S. 243)<sup>22</sup> betont werden?

---

<sup>21</sup> Eine solche Sicht auf Unterricht, die auch beim Nuffield-Curriculum essenziell war (vgl. Freise 1974, S. 5f.), ist ausführlich dargelegt in POSTMAN & WEINGARTNER (1972). Sie betonen, „daß eine ‘Disziplin’ oder ein ‘Fach’ eine Art des Erkennens – eine Methode – ist“ (ebd., S. 39) und demnach primär auch durch die Art der Erkenntnisgewinnung gekennzeichnet sei, *nicht* durch seine Inhalte. Unterricht müsse daher auf diese Prozesse fokussieren, von echten Problemen ausgehen und Schülern zeigen, wie man Fragen stelle. In der Regel würde jedoch nur versucht, vermeintliche Fakten zu vermitteln. Unterricht gleiche dann eher einem Spiel des Titels „Rate mal, woran ich denke“ (ebd., S. 40f.).

<sup>22</sup> Auch wenn die CENTRAL ASSOCIATION OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS (1909) offenbar von einer einheitlichen, experimentellen Methode ausgeht (vgl. ebd., S. 242), klingen die vor knapp 100 Jahren gemachten Vorschläge für Biologieunterricht erstaunlich aktuell (vgl. ebd., S. 242ff.): Biologieunterricht solle lebensweltbezogene, relevante Themen nutzen (*materials and processes ... must ... have appreciable significance to the students*), Vorerfahrungen der Schüler aufgreifen (*work must be related to the student's previous experience*), Primärerfahrungen ermöglichen (*first-hand experience*), bei Schülern Problemlösekompetenzen entwickeln (*the scientific method*

Für letzteres Verfahren hat sich im angelsächsischen Diskurs der Terminus *inquiry* eingebürgert. Wörtlich übersetzt heißt dies Befragung, Erhebung, Nachforschung, Untersuchung. Im Kontext Naturwissenschaften verweist das Wort daher zunächst auf die *Tätigkeit eines Naturwissenschaftlers*, im Wissenschaftsbetrieb eine Untersuchung durchzuführen. Bezogen auf schulischen Unterricht bezeichnet der Terminus aber auch eine an den wissenschaftlichen Forschungsprozess angelehnte *Lehrstrategie*. Diese zwei Sichtweisen werden bereits 1964 vom späteren Mitherausgeber des Reformdokuments *Science for all Americans* (Rutherford & Ahlgren 1990) unterschieden: „‘inquiry as it appears in the scientific enterprise’“ (Rutherford 1964, S. 80) auf der einen Seite sowie „‘using the method of scientific inquiry to learn some science’“ (ebd.) auf der anderen.

If a single word had to be chosen to describe the goals of science educators during the 30-year period that began in the 1950s, it would have to be *inquiry*. (DeBoer 1991, S. 206; Hervorheb. i. O.)

Dies schreibt DEBOER, jetzt stellvertretender Leiter des ‘Projekts 2061’ der AAAS, im Jahre 1991. Mit Blick auf naturwissenschaftsdidaktische Veröffentlichungen *nach* 1991 muss festgestellt werden, dass sich dieser Trend unzweifelhaft fortgesetzt hat und bis heute anhält. Nach einer Periode zunehmender Simplifizierung in den 1980er Jahren – „science teachers began equating inquiry with ‘hands-on’ approaches“ (Bybee 2003, S. 355) – ist der Ruf nach *inquiry* spätestens durch die Veröffentlichung der *National Science Education Standards* (National Research Council 1996), in der die Kernidee von *inquiry-based science* ausführlich dargelegt wird, inzwischen wieder lauter geworden. Dessen ungeachtet habe das Konzept aber bislang keinen nachhaltigen Einzug in den *tatsächlichen* Unterricht gehalten (vgl. Bybee 2003, S. 354; Colburn 2000, S. 42; DeBoer 2004, S. 20) bzw. es bleibe meist bei Lippenbekenntnissen. MARTIN-HANSEN (2002) spricht sogar bei einigen Schulbüchern von „misuse of the word *inquiry*“ (ebd., S. 34; Hervorheb. i. O.). DEBOER (2004) bringt das größte Missverständnis im Zusammenhang mit *inquiries* im Unterricht auf den Punkt:

Unfortunately, inquiry teaching has too often been misunderstood as simply having students do things, with students performing activities as if the activity were an end in itself. Activities without intellectual substance are pointless. Keeping students busy with hands-on activities is not enough. When inquiry teaching is identified with low-level activity-based teaching, it is bound to fail. (Ebd., S. 21)

Es ist daher genauer zu klären, was mit dem vielfach floskelhaft<sup>23</sup> gebrauchten Wort *inquiry* im Kontext von Unterricht gemeint ist.

Einen Meilenstein bei der Ausdifferenzierung des Terminus für schulischen Unterricht stellt die *Inglis Lecture* des Jahres 1961 dar, gehalten von J. J. SCHWAB. Die Naturwis-

---

*of problem solving may be best developed*) sowie kritischen Vernunftgebrauch schulen (*develop proper methods of thinking*) und dabei methodisch variantenreich unterrichtet werden (*uniform courses are not possible*).

<sup>23</sup> WHEELER (2000) macht beispielsweise unmissverständlich deutlich, dass er die Rede von *inquiry* meist für eine Floskel oder Phrase hält: „The word ‘inquiry’ comes up often in conversations about reform in science education. But ‘inquiry’ is an elastic word, stretched and twisted to fit people’s differing worldviews“ (ebd., S. 14).

senschaften, so SCHWAB (1962), werden im Unterricht in der Regel als eine „*rhetoric of conclusions*“ (ebd., S. 24; Hervorheb. i. O.) unterrichtet, d. h. als eine induktive, rein faktenbasierte Wissenschaft, die unverrückbare, empirisch abgesicherte Wahrheiten besitze. Dies entspreche aber nicht dem wahren Bild der Wissenschaft. Schülern müsse deshalb beispielsweise deutlich gemacht werden, dass auch in Lehrbüchern kein unumstößlich gesichertes Wissen stehe. Naturwissenschaften sollten im Unterricht daher sinnvoller als *enquiry*<sup>24</sup> dargeboten werden, als eine spezifische Art des Fragens (*mode of investigation*). Dadurch werde deutlich, dass auch induktiv gewonnene ‘Fakten’ stets interpretationsbedürftig seien: „[...] the knowledge won through enquiry is not knowledge merely of the facts but of the facts interpreted“ (ebd., S. 14). Naturwissenschaftlicher Unterricht dürfe sich nicht in einer Präsentation logischer Schlussfolgerungen erschöpfen, sondern müsse Probleme in den Vordergrund stellen: „[...] it is the replacement of illustrations only of conclusions by illustrations of problem situations“ (ebd., S. 54). Dabei spiele die Arbeit im Labor eine Schlüsselrolle. Schüler sollten darüber hinaus auch selbst *enquiries* durchführen:

The second function of the enquiring laboratory is to provide occasions for and invitations to the conduct of miniature but exemplary programs of enquiry. (Ebd., S. 54f.)

Bei diesen eigenständigen Forschungsaufträgen unterscheidet SCHWAB drei unterschiedlich anspruchsvolle Öffnungsgrade (*levels of openness and permissiveness*) (vgl. ebd., S. 55):

- (1) Sowohl das Problem als auch mögliche Lösungswege werden den Schülern vorgegeben
- (2) Das Problem wird den Schülern vorgegeben, mögliche Lösungswege und Antworten müssen aber selbst gefunden werden
- (3) Sowohl das Problem als auch mögliche Lösungswege und Antworten müssen von den Schülern selbst gefunden werden

Zur Veranschaulichung des dritten Levels nennt SCHWAB beispielhaft die Präsentation eines Pendels durch den Lehrer. Schüler seien so mit dem reinen Phänomen (*raw phenomenon*) konfrontiert, anhand dessen zunächst das Problem herauspräpariert werden müsse. SCHWAB warnt jedoch auch davor, die Idee der *enquiry-based science* einseitig zu verabsolutieren und Unterricht auf ein Arbeiten in einem Forschungslabor im Miniaturmaßstab zu reduzieren. Dies führe das Konzept ad absurdum – er spricht gar von einer „sin of vulgarization“ (ebd., S. 101) –, weil es dann nicht mehr „science as enquiry, but a doctrine about knowledge and enquiry“ (ebd.) sei. Erhobene Daten müssten schließlich vor dem Hintergrund etablierter Theorien, die demnach auch unterrichtet werden müssten, interpretiert werden. Ferner müsse beachtet werden, dass der *enquiry*-Ansatz nicht der einzig mögliche sei: „Enquiry is far from being a universal logic“ (ebd., S. 103).

SCHWAB hat damit einen Weg aufgezeigt, wie die *inquiry*-Idee für naturwissenschaftlichen Unterricht fruchtbar gemacht werden kann, damit Schüler lernen, naturwissenschaft-

---

<sup>24</sup> Im britischen Englisch sowie in älteren Publikationen wird meist, wie auch von SCHWAB, die Schreibvariante *enquiry* bevorzugt. (Vgl. diesbezüglich auch Barrow 2006, S. 265.)

liche *Prozesse* (Arbeitsweisen) durchzuführen (*learn to do science*) und dabei *gleichzeitig* naturwissenschaftliche *Inhalte* lernen können (*learn science*). SCHWAB unterscheidet damit, wie auch RUTHERFORD (1964), zwei Bedeutungsebenen von *inquiry*:

- a) *Inquiry* als Gegenstand von Unterricht (*content*), um ein Verfahren, wie es Forscher nutzen, zu erlernen (*learn how to do science*).
- b) *Inquiry* als Unterrichtsverfahren (*teaching strategy*), bei dem Schüler Fachwissen erwerben können (*learn science content*).

Diese beiden Ebenen werden auch in „inquiry as ends (i.e., inquiry as a learning outcome)“ (Abd-El-Khalick *et al.* 2004, S. 397) und „inquiry as means (inquiry as teaching approach)“ (ebd., S. 415) unterschieden.<sup>25</sup> Auch das NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996) greift eine solche Differenzierung auf und definiert *inquiry* folgendermaßen:

Inquiry is a set of interrelated processes by which scientists and students pose questions about the natural world and investigate phenomena; in doing so, students acquire knowledge and develop a rich understanding of concepts, principles, models, and theories. (Ebd., S. 214)

Als Inhalte (*concepts, principles, models, theories*) benennt das NRC Basiskonzepte bzw. Schlüsselprinzipien des jeweiligen Faches (vgl. ebd., S. 106ff.). Die zu erwerbenden operationalen sowie kognitiven Prozesse (*set of interrelated processes*) werden folgendermaßen präzisiert (vgl. auch Kapitel 2.2.5):

Inquiry is a multifaceted activity that involves making observations; posing questions; examining books and other sources of information to see what is already known; planning investigations; reviewing what is already known in light of experimental evidence; using tools to gather, analyze, and interpret data; proposing answers, explanations, and predictions; and communicating the results. Inquiry requires identification of assumptions, use of critical and logical thinking, and consideration of alternative explanations. (Ebd., S. 23)

Dezidiert und damit in dieser Form als Novum führt das NRC noch ein weiteres Ziel ein, welches qua *inquiry* erreicht werden soll: Schüler sollen auch Wissen über Naturwissenschaften (*nature of science*) erwerben, also ein Verständnis der Spezifika naturwissenschaftlicher Arbeitsmethoden sowie der Wege naturwissenschaftlicher Wissensgenerierung erlangen (vgl. Kapitel 3.2). Präzisiert findet sich diese umfassendere Begriffsbestimmung in der Schrift *Inquiry and the National Science Education Standards* des NRC:

The term ‘inquiry’ is used in two different ways in the *Standards*. First, it refers to the *abilities* students should develop to be able to design and conduct scientific investigations and to the *understandings* they should gain about the nature of scientific inquiry. Second, it refers to the teaching and learning strategies that enable scientific concepts to be mastered through investigations. In this way, the *Standards* draw connections between learning science, learning to do science, and learning about science. (National Research Council 2000, S. XV; Hervorheb. i.O.)

---

<sup>25</sup> Darüber hinaus kann es im Unterricht auch um ein theoretisches Nachdenken *über* die *inquiry*-Methode gehen, „teaching *about* inquiry“ (DeBoer 2004, S. 18; Hervorheb. i.O.), wozu man aber kein *inquiry* tatsächlich durchführen muss: „[...] the nature of scientific inquiry can be taught in very non inquiry-oriented ways“ (ebd.).

BYBEE (2000) weist mit Recht darauf hin, dass die gängige Trennung in *inquiry* als Lerngegenstand und *inquiry* als Lehrstrategie nur eine formale ist, denn: „inquiry as science content and inquiry as teaching strategies are two sides of a single coin“ (ebd., S. 42), die, so könnte man ergänzen, erst *gemeinsam* Unterricht ergeben. Wird die Durchführung eines *inquiry* als Unterrichtsmethode genutzt, ist die Idee des *inquiry* auch immer *zugleich* Gegenstand von Unterricht. Damit ist allerdings nichts darüber gesagt, ob bzw. welche Kompetenzen Schüler bei der Durchführung eines *inquiry* erwerben. Dies hängt sicherlich auch davon ab, auf welche Art und Weise das Verfahren im Unterricht eingesetzt wird.

### 4.3.2 Varianten bei der unterrichtlichen Umsetzung

Prinzipiell sind bei der unterrichtlichen Umsetzung, wie bereits SCHWAB (1962, S. 55) ausführt, verschiedene Varianten denkbar, die sich hinsichtlich ihres Grades der Offenheit unterscheiden. Das NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000, S. 29f.) verdeutlicht dies anhand einer Matrix (siehe Tabelle 16) auf der Basis wesentlicher Merkmale (‘Essential Feature’) eines *inquiry*.

Essential Feature	Variations			
1. Learner engages in scientifically oriented questions	Learner poses a question	Learner selects among questions, poses new questions	Learner sharpens or clarifies question provided by teacher, materials, or other source	Learner engages in question provided by teacher, materials, or other source
2. Learner gives priority to evidence in responding to questions	Learner determines what constitutes evidence and collects it	Learner directed to collect certain data	Learner given data and asked to analyze	Learner given data and told how to analyze
3. Learner formulate explanations from evidence	Learner formulates explanation after summarizing evidence	Learner guided in process of formulating explanations from evidence	Learner given possible ways to use evidence to formulate explanation	Learner provided with evidence and how to use evidence to formulate explanation
4. Learner connects explanations to scientific knowledge	Learner independently examines other resources and forms the links to explanations	Learner directed toward areas and sources of scientific knowledge	Learner given possible connections	
5. Learner communicates and justifies explanations	Learner forms reasonable and logical argument to communicate explanations	Learner coached in development of communication	Learner provided broad guidelines to use sharpen communication	Learner given steps and procedures for communication
More	Amount of Learner Self-Direction			Less
Less	Amount of Direction from Teacher or Material			More

Tabelle 16: *Essential Features of Classroom Inquiry and Their Variations.* (Aus: National Research Council 2000, S. 29)

In Tabelle 16 werden konkrete Handlungen bzw. Schritte benannt (die entsprechenden Spalten sind mit ‘Variations’ betitelt), die Schüler im Unterricht entweder selbstständig oder angeleitet vollziehen sollen. Diese Handlungen fußen auf den naturwissenschaftlichen Prozessen (vgl. National Research Council 1996, S. 22), die auch in der PISA-Studie untersucht werden (vgl. Kapitel 2.2.5). Ausgehend von dieser Matrix kann man folgende Typisierungen vornehmen (vgl. Colburn 2000, S. 42f.; Dunkhase 2003; Martin-Hansen 2002, S. 35ff.), wobei natürlich auch Mischformen denkbar sind:

- **Vorstrukturierter Untersuchungsauftrag** (*structured inquiry*)  
Legt man ausschließlich die in Tabelle 16 in der rechten ‘Variations’-Spalte genannten Handlungen zugrunde, kann von einem strukturierten Untersuchungsauftrag gesprochen werden. Sowohl die zu bearbeitende Fragestellung als auch der Weg zur Beantwortung werden dabei von dem Lehrer vorgegeben. Dies entspricht dem „simplest level“ bei SCHWAB (1962, S. 55). Werden bei einer derart lehrerzentrierten und (vor-)strukturierten Aufgabe Laborexperimente eingesetzt, führt dies meist zu einer „cookbook lesson“, wie MARTIN-HANSEN (2002, S. 37) kritisch anmerkt, bei der Versuchsvorschriften exakt abgearbeitet werden müssen.
- **Angeleiteter Untersuchungsauftrag** (*guided inquiry*)  
Die beiden mittleren ‘Variations’-Spalten (vgl. Tabelle 16) beschreiben Handlungsschritte eines angeleiteten Untersuchungsauftrags. Letztlich sind auch hier das Problem sowie mögliche Lösungsschritte vom Lehrer vorgedacht, werden jedoch problem- und schülerorientiert aufbereitet. Ein angeleiteter Untersuchungsauftrag, bei dem Schüler eigenständig eine Lösung des Problems finden müssen, entspricht dem „second level“ bei SCHWAB (1962, S. 55).
- **Offener bzw. vollständiger Untersuchungsauftrag** (*open or full inquiry*)  
Legt man ausschließlich die in Tabelle 16 in der linken ‘Variations’-Spalte genannten Handlungen zugrunde, kann von einem offenen Untersuchungsauftrag gesprochen werden, dem „third level“ bei SCHWAB (ebd.). Ausgangspunkt ist dabei ein Problem oder eine Frage, die sich Schüler selbst stellen. Die Verfahrensschritte zur Bearbeitung, Lösung und anschließenden Darstellung des Problems werden von den Schülern selbsttätig entwickelt.
- **Gekoppelter Untersuchungsauftrag** (*coupled inquiry cycle*)  
Eine konsekutive Mischform aus angeleitetem und offenem Untersuchungsauftrag kann mit dem Attribut ‘gekoppelt’ versehen werden. Dabei führt der Lehrer zunächst durch eine motivierende Fragestellung in ein Themengebiet ein (*invitation to inquiry*) und führt anschließend einen angeleiteten Untersuchungsauftrag durch. Weitere Fragen, die sich durch die Auswertung des ersten Untersuchungsauftrags ergeben, müssen hernach von den Schülern selbstständig gefunden und anschließend als offener Untersuchungsauftrag bearbeitet werden.

Vergleicht man die *inquiry*-Varianten mit den in Kapitel 4.2.5 vorgestellten Stufen der Öffnung von Unterricht nach BRÜGELMANN (1997), so handelt es sich hier um eine schrittweise *didaktisch-inhaltliche Öffnung* von Unterricht. Dass damit auch eine *methodisch-organisatorische Öffnung* verbunden sein *muss*, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird, ist meines Erachtens letztlich selbstverständlich; schließlich müssen Schüler, wenn sie Verfahrensschritte zur Lösung eines offenen Untersuchungsauftrags selbstständig erproben sollen und dabei auch Irrwege beschreiten können, methodische und organisatorische Freiheiten haben. Besieht man sich Ideen und Beispiele zu offenen Untersuchungsaufträgen bei COL-

BURN (2000), DUNKHASE (2003) und MARTIN-HANSEN (2002) (oder auch das *raw phenomenon* von SCHWAB) wird ferner deutlich, dass die Formulierung „Learner poses a question“ (National Research Council 2000, S. 29) unterschiedlich verstanden werden kann: Entweder radikal offen, d. h., dass Schüler in der Tat eigenständig sie interessierende Fragen aufwerfen, oder halboffen, d. h., dass Schüler ein Problem bzw. eine Frage zu einem vorgegebenen Phänomen oder einem Lehrerimpuls selbstständig finden müssen. Auch letzteres kann dennoch als offener Untersuchungsauftrag bezeichnet werden, denn eingedenk der Mahnung BRÜGELMANNs, dass auch Offenheit Strukturen brauche, kann dies als „Strukturierung durch die inhaltliche Gestaltung von Materialien“ (Brügelmann 1997, S. 54) verstanden werden.

Einen zusammenfassenden Überblick über das *inquiry*-Verfahren im Unterricht gibt Tabelle 17.

<b>– Inquiry im Unterricht –</b>			
	<b>Inquiry als Lerngegenstand</b> <i>(inquiry as ends)</i>		<b>Inquiry als Lehrstrategie</b> <i>(inquiry as means)</i>
<b>primäres Ziel</b>	<b>naturwissenschaftliche Prozesse erlernen</b> <i>(learn how to do science)</i>	<b>Metawissen über Naturwissenschaften und inquiries erwerben</b> <i>(learn about the nature of science and inquiry)</i>	<b>naturwissenschaftliches Konzeptwissen erwerben</b> <i>(learn science content)</i>
<b>Inhalte</b> (Beispiele)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fragen identifizieren, die naturwissenschaftlich untersucht werden können</li> <li>• naturwissenschaftliche Untersuchungen planen und durchführen</li> <li>• zielgerichtet Material und Geräte für eine experimentelle Untersuchung nutzen</li> <li>• Schlussfolgerungen ziehen und bewerten</li> <li>• alternative Erklärungsmodelle entwerfen</li> <li>• Schlussfolgerungen kommunizieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• naturwissenschaftliche Untersuchungen gehen von Fragen aus, die zunächst mit bislang Bekanntem abgeglichen werden</li> <li>• Experimente müssen wiederholbar sein</li> <li>• Untersuchungen sind stets theoriegeleitet</li> <li>• Experimente führen zu Protokollsätzen, die weder verifizierbar noch verallgemeinerbar sind; Untersuchungsergebnisse können daher weder zu Gesetzen noch zu Theorien führen</li> <li>• Erklärungen müssen logisch widerspruchsfrei sein</li> <li>• naturwissenschaftliche Ergebnisse müssen durch die Wissenschaftsgemeinschaft gestützt und anerkannt werden</li> </ul>	Inhalte orientieren sich an naturwissenschaftlichen Basiskonzepten wie z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemkonzept</li> <li>• Teilchenkonzept</li> <li>• Wechselwirkungskonzept</li> <li>• Konzept der Struktureigenschafts-Beziehungen</li> <li>• Energiekonzept</li> <li>• Gleichgewichtskonzept</li> </ul>
<b>mögliche Varianten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vorstrukturierte Untersuchungsaufträge (<i>structured inquiry</i>)</li> <li>• angeleitete Untersuchungsaufträge (<i>guided inquiry</i>)</li> <li>• offene Untersuchungsaufträge (<i>open inquiry</i>)</li> <li>• gekoppelte Untersuchungsaufträge (<i>coupled inquiry</i>)</li> </ul>		

Tabelle 17: *Inquiry* im Unterricht

Vergleicht man die möglichen Varianten eines *inquiry* mit gängigen Unterrichtsverfahren im Chemieunterricht (vgl. z. B. Bauer *et al.* 1997), fällt auf, dass sich sowohl ein *structured* als auch ein *guided inquiry* vom ‘forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren’<sup>26</sup> im Grundgedanken kaum unterscheiden und daher als „problemlösender, fragend-entwickelnder Unterricht“ (Aebli 1983, S. 296) bezeichnet werden können; ein offener Untersuchungsauftrag ist dagegen der Projektmethode ähnlich. Auch das Nuffield-Chemiecurriculum (vgl. Nuffield Foundation 1966) ist, wie bereits erwähnt, durchaus kompatibel mit dem *inquiry*-Gedanken. – Was, so muss man sich fragen, ist daher eigenständig oder besonders an der *inquiry*-Idee<sup>27</sup>?

Die Besonderheit des *inquiry*-Verfahrens liegt meines Erachtens letztlich in zwei Faktoren begründet: Einerseits in der Kopplung der drei Themenfelder ‘Problemlösen’, ‘eigenständiges, forschendes Experimentieren’ und ‘Öffnen von Unterricht’ (vgl. Kapitel 4.2.5); andererseits in der dreifachen Zielsetzung, die mittels *inquiry* erreicht werden soll: Schüler sollen naturwissenschaftliches Prozesswissen, Metaprozesswissen und Konzeptwissen erwerben (vgl. Tabelle 17) – das Ziel kann daher auch kurz mit *scientific literacy* beschrieben werden (vgl. Kapitel 2.2.5).

Um das Potenzial des *inquiry*-Verfahrens besser beurteilen zu können, müssen daher auch kurz die beiden Themenfelder ‘Problemlösen’ und ‘eigenständiges, forschendes Experimentieren’ im Unterricht betrachtet werden, gezielt perspektiviert auf den *inquiry*-Ansatz und Öffnen von Unterricht. Dies erfolgt im folgenden Kapitel 4.3.3.

---

<sup>26</sup> Beim ‘forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren’ (Schmidkunz & Lindemann 1995) bzw. ‘forschend-entwickelnden Verfahren’ (Fries & Rosenberger 1981) bedeutet ‘entwickeln’, „dass es im Ermessen des Lehrers steht, durch Impulse und vorsichtig vorgebrachte Fragen den Fortgang der Denkprozesse zu steuern“ (ebd., S. 12). Das Verfahren bietet eine am Problemlösen orientierte Artikulation des Unterrichtsgeschehens in fünf Stufen (vgl. Schmidkunz & Lindemann 1995, S. 23–40): Die erste Stufe, die Problemgewinnung, gliedert sich in den Ausgangspunkt für Fragen und Denkopoperationen (Problemgrund), das Herausheben des Problems aus dem Problemgrund (Problemfindung bzw. -erfassung) und die Fixierung des Problems (Problemerkennnis). Daran schließen sich Überlegungen zur Problemlösung an. Hypothesen werden gesammelt und als Lösungsvorschläge formuliert. Ein Lösungsvorschlag wird ausgewählt, seine experimentelle Umsetzung geplant und schließlich durchgeführt. Die gewonnen Ergebnisse werden dann in einer vierten Phase abstrahiert, d. h. sie werden aufbereitet, verallgemeinert und in einer übergeordneten Ebene gedeutet. In der fünften und letzten Phase werden die Ergebnisse auf andere Beispiele übertragen, damit gesichert und eventuell durch eine Lernzielkontrolle zusätzlich konsolidiert.

<sup>27</sup> In der Diskussion sollte deutlich geworden sein, dass – ähnlich wie bei dem Terminus *scientific literacy* – eine deutschsprachige Übersetzung wie beispielsweise ‘naturwissenschaftlich orientierter Untersuchungsauftrag/ Forschungsauftrag’ der Ausdrucksbedeutung von *inquiry* und damit der Besonderheit des *inquiry*-Verfahrens nicht gerecht wird. Ich verzichte daher, wie auch bei der Wendung *nature of science*, bewusst auf eine standardisierte deutsche Übersetzung des Ausdrucks.

### 4.3.3 Experimentelles Problemlösen im Unterricht?

Ein Experiment in der *Forschung* ist immer eine „Auseinandersetzung zwischen Mensch und Natur“ (Scharf 1984, S. 16) mit dem Ziel, *Erkenntnisse* zu erlangen (vgl. auch Kapitel 3.2.1). Ein Experiment im *Unterricht* ist dagegen in der Regel eher eine ‘Auseinandersetzung’ zwischen Lehrer und Schülern mit dem Ziel, im Unterricht einen *Bildungsbeitrag* zu leisten, bei dem das Experiment als Medium, als Mittler dient (vgl. ebd., S. 17f.). Experimente „im Dienste der Bildung“ (ebd., S. 18) sind daher funktional weitaus umfassender als solche in der Wissenschaft. Eine Auswahl an möglichen Funktionen (vgl. z. B. Bader 1997b, S. 296ff.; Becker *et al.* 1980, S. 272f.; Engeln & Euler 2005, S. 73; Hermanns & Wambach 1984, S. 36ff.) mag dies verdeutlichen. Ein Experiment im Unterricht kann beispielsweise eingesetzt werden, um:

- Motivation zu wecken (Motivationsexperiment)
- Schüler mit naturwissenschaftlichen Phänomenen zu konfrontieren, um eine Fragehaltung zu wecken (Problemexperiment)
- Problemlösungsvorschläge zu überprüfen (Problemlöse- bzw. Entscheidungsexperiment)
- einen Sachverhalt zu prüfen und damit Theorie und Empirie aufeinander zu beziehen (Erarbeitungs- oder Bestätigungsexperiment)
- Unterrichtsergebnisse zu systematisieren, zu festigen/sichern (Anwendungsexperiment)
- technische Verfahren zu simulieren (Funktions- bzw. Modellexperiment)
- Lernziele zu überprüfen bzw. den Wissenserwerb zu kontrollieren
- experimentelle Denkweisen und Fertigkeiten zu schulen
- logisches Denken sowie sach- und problembezogene Argumentationsfähigkeiten zu schulen
- Reflexionsfähigkeit und Handlungskompetenz zu schulen
- Selbstvertrauen und Kreativität zu fördern
- Team- und Kooperationsfähigkeit und/oder Verantwortungsbereitschaft zu schulen

Die vom Lehrer intendierte, primäre Funktion eines Experiments legt in der Regel auch eine unterrichtliche Organisationsform nahe (vgl. Scharf 1984, S. 17): Will man z. B. einen Sachverhalt überprüfen, bieten sich freilich eher Schülerexperimente statt eines Lehrerdemonstrationsversuchs an, um eine möglichst breite, empirische Datenbasis zu generieren. Ein Motivationsexperiment dagegen muss möglichst effektiv sein und sollte daher sinnvollerweise vom Lehrer vorgeführt werden. In der Regel sind oben genannte Funktionen allerdings nicht völlig überschneidungsfrei, denn auch dann, wenn kognitive Ziele im Vordergrund stehen, etwa bei einem Entscheidungsexperiment, werden immer auch Fertigkeiten geschult und Einstellungen implizit geprägt.

Dass Experimentieren ein wesentlicher Baustein des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist bzw. sein sollte, ist ebenso unbestritten wie die Tatsache, dass Schüler im Unterricht in der Regel gerne experimentieren (vgl. Bader 1997, S. 292; Gräber 1992b, S. 357), allerdings nicht wegen der Inhalte, sondern vor allem wohl deshalb, weil sie ein größeres

Maß an Freiheit im Unterricht erleben (Engeln & Euler 2005, S. 79). Die mit einem Experimentalunterricht verbundenen Hoffnungen – Erwerb deklarativen Wissens, Stärkung laborpraktischer Fertigkeiten, positive motivationale Effekte – werden schulisch aber meist nicht nur nicht erfüllt, sondern seitens des Lehrers in der Regel auch noch überschätzt (vgl. Fischer *et al.* 2003, S. 194f.; Hodson 1993, S. 91ff.; Lunetta 1998, S. 250; PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 155ff.; Scharf 1983b). Wo genau liegt das Problem?

Studien zum Seminarfach in Thüringen zeigen beispielsweise, dass den untersuchten Schülern der instrumentelle Charakter des naturwissenschaftlich orientierten Erkennens qua Experiment kaum bewusst ist (Schmitz 2004, S. 97). Ein Hinweis dafür ist, dass sie in naturwissenschaftlich ausgerichteten Facharbeiten Experimente schlicht meiden bzw. allenfalls zur Veranschaulichung, jedoch nicht als Medium der Erkenntnisgewinnung einsetzen (vgl. Gröger 2004) – in den Vorstellungen der Schüler dominiert offenbar der handwerkliche und illustrative Aspekt. Eine Analyse von Leitfadeninterviews zum Einsatz von Experimenten in Facharbeiten (ebd.) zeigt, dass sich bei den Schülern bezüglich des Experimentierens ein Zutrauens- und ein Problembereich herauskristallisiert (Hofheinz & Gröger 2005): Schüler sehen wenig Schwierigkeiten bei der konkreten, praktischen Durchführung von Experimenten, jedoch erhebliche Probleme bei der Planung und Auswertung. Die Planungs- und Auswertungsdefizite, die bereits die TIMS-Studie andeutet (Prenzel 2000, S. 104), offenbaren sich auch bei schriftlichen Aufgaben, bei denen experimentelle Ergebnisse vorgestellt werden, auf deren Basis Schlussfolgerungen gezogen und Folgeexperimente geplant werden müssen (vgl. Hofheinz *et al.* 2004). Ganz ähnliche Befunde lassen sich auch im angelsächsischen Sprachraum finden (vgl. z. B. Sandoval & Reiser 2004, S. 346). Pointiert bedeutet dies:

To many students, a 'lab' means manipulating equipment but not manipulating ideas. (Lunetta 1998, S. 250).

Vor dem Hintergrund einer solchen Argumentation wird die zunächst paradox anmutende Aussage, Experimente seien im naturwissenschaftlichen Unterricht zugleich „*over-used and under-used*“ (Hodson 1993, S. 105; Hervorheb. i. O.) verständlich: Auch dann, wenn im Unterricht viel experimentiert wird, wird das *Potenzial* eines experimentellen Verfahrens nur selten ausgeschöpft. Schlaglichtartig wirft dies zugleich einen Blick auf ein vorherrschendes Unterrichtsskript, bei dem zwar Experimente vom Lehrenden zur Vermittlung eingesetzt, nicht jedoch von Schülern als Mittel der Erkenntnis genutzt werden:

[...] students worked too often as technicians following 'cookbook' recipes in which they used lower-level skills; they were seldom given opportunities to discuss hypotheses, propose tests of those hypotheses, and engage in designing and then performing experimental procedures. (Lunetta 1998, S. 251)

Das Wort 'Schülerversuche' meint im Schulalltag daher hauptsächlich, dass Schüler eine Versuchsvorschrift möglichst rezeptartig abarbeiten, um das 'richtige' Ergebnis zu erhalten (vgl. Gräber 1992b, S. 358) – es meint jedoch nur sehr selten, dass sie Experimente eigen-

ständig als Mittel zur Erkenntnisgewinnung einsetzen. Selbst bei einem problemorientierten Vorgehen im Unterricht werden Experimente in der Regel nur zur Verifikation bzw. Falsifikation von bereits Bekanntem und damit letztlich bloß illustrativ genutzt. Dies zeigt sich auch deutlich anhand von Schülerangaben zum Einsatz des Experiments im naturwissenschaftlichen Unterricht im Rahmen der ‘PISA-Studie 2006’:

Der „Forschungsaspekt“ der Naturwissenschaften – nämlich eigene Fragestellungen zu entwickeln und naturwissenschaftliche Untersuchungen zu planen – ist im Unterricht in allen OECD-Staaten im Durchschnitt deutlich geringer ausgeprägt als die angeleitete Durchführung von Experimenten [...]. (PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 158)

Es wundert daher nicht, dass „Schülervorstellungen über die experimentelle Methode [...] in wesentlichen Punkten von den naturwissenschaftlichen abweichen“ (Hamman 2004, S. 199; vgl. auch BLK 1997, S. 28).

Einen möglichen Ausweg weist die *inquiry*-Idee, bei der man sich hinsichtlich der Funktion eines Experiments eng an jene in der Wissenschaft anlehnt: Indem versucht wird, eine möglichst unmittelbare, authentische ‘Auseinandersetzung’ zwischen Schülern und einem Wirklichkeitsausschnitt zu erreichen, ist bei einem offenen Untersuchungsauftrag ein Experiment weniger *Medium* eines Vermittlungsprozesses zwischen Lehrer und Schüler, sondern vielmehr *Instrument* innerhalb eines Lernprozesses und damit einer ‘Auseinandersetzung’ zwischen Schüler und Sache. Neben diesem Vorteil bringt die *inquiry*-Idee allerdings auch einige Nachteile mit sich:

*Drängt* man Schüler in die Rolle kleiner Forscherteams, kann von ‘Offenheit’ und damit von einem lerntheoretisch vielversprechenden *open inquiry* faktisch nicht mehr die Rede sein. Die erste Grundbedingung eines offenen Untersuchungsauftrages müsste daher eigentlich sein, dass sich Schüler *selbst* naturwissenschaftliche Fragen stellen, die sie beantworten möchten. Logisch stringent folgt daraus dann auch, dass der Lehrer bei einem *open inquiry* die Lösung des Problems *nicht* kennen sollte, weil sonst ein falsches Bild von Wissenschaft begünstigt werden würde:

When modelling scientific inquiry, it is important to choose an authentic question – that is, one for which the teacher doesn’t already know the answer. Too often, laboratory work in schools creates the impression that scientists spend their time confirming knowledge they already possess. (Hodson 1999, S. 247)

Falls allerdings die Beantwortung einer von den Schülern selbst gestellten Frage nicht bereits mit wenigen ‘Mausklicks’ erfolgen kann, ist sie gerade in den Naturwissenschaften jedoch oftmals derart komplex, dass nicht nur die Schüler rasch überfordert sein können. Darüber hinaus sollen Schüler auch bei einer *inquiry-based science* natürlich trotzdem *den* Sensus communis der derzeitigen ‘Normalwissenschaft’ im Sinne Kuhns für sich sinnhaft rekonstruieren, der durch Lehrwerke und -meinungen kulturell verfügbar gehalten wird. HÖTTECKE weist somit treffend auf das Dilemma hin, welches sich bei einem *open inquiry* ergibt, bei dem nicht vom Lehrer bereits ein Problemgrund vorstrukturiert wurde:

Es besteht eine eklatante und m.E. nicht vollständig aufhebbarer Spannung zwischen dem Anspruch nach echten, offenen und möglichst authentischen Forschungssituationen im Unterricht und der Tatsache, daß Konzepte, Theorien und Deutungen von Experimenten von den SchülerInnen lediglich nachentwickelt werden. Sie stehen fest, bevor die SchülerInnen ihre Forschungsaktivität überhaupt aufgenommen haben. (Höttecke 2001a, S. 119f.)

So gesehen scheint sich ein *open inquiry* daher weder als Forschungsauftrag im normalen Unterricht noch als Interventionsmaßnahme zu eignen, denn Schüler sind nun einmal keine naturwissenschaftlichen Forscher. 'Naturwissenschaftliches Arbeiten' in der Schule ist streng genommen maximal 'naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten'. HÖTTECKE schlägt daher als einen möglichen Ausweg vor, „neben den Forschungsaktivitäten der SchülerInnen eine Reflexionsebene in den Unterricht zu integrieren“ (ebd., S. 121), bei der dieses Dilemma thematisiert werden kann.

Eine solche Reflexionsebene ist auch deshalb unerlässlich, weil sich naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten zwar als motivationsförderlich erweist, jedoch kaum Auswirkungen auf den Kompetenzerwerb der Schüler zeigt (vgl. PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 170f.; Scharf 1983a, S. 145). Das PISA-KONSORTIUM DEUTSCHLAND (2007) mahnt daher eine richtige 'Dosierung' an, bei der

zwar Wert auf die eigenständige Planung und Durchführung von Experimenten gelegt wird, jedoch das Schlussfolgern, das Generieren eigener Ideen und das Verdeutlichen von Inhalten an praktischen Beispielen im Vordergrund stehen. (Ebd., S. 171)

Abfedern lassen sich diese Nachteile eines *open inquiry* möglicherweise durch den Einbezug von Technik (vgl. ausführlicher dazu Kapitel 2.2.6 sowie Shamos 1995, S. 225f.): Naturwissenschaftliches Erkenntnisinteresse richtet sich auf Konzepte und Theorien, die bereits in der Tat lange vor dem Unterricht etabliert wurden und meist nur wenige 'Mausklicks' entfernt sind. (Von einem *Verständnis* der Inhalte sei an dieser Stelle einmal abgesehen.) Technisches Handeln dagegen ist immer *praktisch* orientiert und umfasst einen Optimierungsprozess, der aber gerade dadurch eine strukturelle Offenheit bei den Zielen birgt, denn 'optimal' funktioniert etwas immer nur aus einem bestimmten Blickwinkel – diesen können Schüler aber selbst bestimmen.

Daher liegt es nahe, bei einem *inquiry* im Unterricht naturwissenschaftliche mit technischen Aspekten zu verknüpfen. Dann ist es möglich, einen relativ offenen, experimentellen Untersuchungsauftrag zu finden: Auch wenn der fachliche Gegenstand von den Schülern nur 'nachentdeckt' werden muss, so sind die technischen Randbedingungen von ihnen selbst zu setzen. Die Lösung des Untersuchungsauftrages kann es daher dann nicht mehr geben. Als Untersuchungsauftrag im Unterricht, aber auch als Interventionsmaßnahme eignet sich daher durchaus ein fachlicher Gegenstand, der für Schüler verstehbar, aber unbekannt ist, und der eine deutliche, den Schülern möglichst bekannte technisch-praktische Anwendungsseite aufweist. Diese Anwendungsseite, nicht jedoch der fachliche Inhalt, be-

dingt die Offenheit der Aufgabe. Dann allerdings stellt der Untersuchungsauftrag für Schüler letztlich gar keine Aufgabe, sondern bereits ein Problem dar.

Problemlösen ist ein Sonderfall des Handelns, der dadurch gekennzeichnet ist, dass wegen eines Hindernisses (Barriere) das Ziel nicht auf direktem Wege erreichbar ist. (Edelmann 2000, S. 209)

Sowohl bei einer Aufgabe als auch bei einem Problem ist das *Ziel* weitgehend bekannt. Man spricht aber von einer Aufgabe im Unterschied zu einem Problem, wenn der *Lösungsweg*, d. h. das zur Lösung erforderliche prozedurale Wissen ebenfalls vertraut ist; muss der Lösungsweg jedoch erst noch erarbeitet werden, spricht man von einem Problem. „Die Grenzen zwischen Aufgabe und Problem sind [jedoch] fließend, weil nicht generell bestimmbar ist, was ‘bekannt’ meint“ (Bovet 1998, S. 186).<sup>28</sup>

Probleme sind system- bzw. beobachterspezifisch; sie hängen ab von bisher gemachten Erfahrungen, von verfügbarem Wissen, von Handlungsmöglichkeiten, Interessen, Zwecken, Emotionen, Wertentscheidungen usw. (Schmidt 1998, S. 151)

Wissen und Problemlösefähigkeiten sind daher komplementär zu betrachten. Nicht jedes Problem ist somit von jedem Schüler lösbar. Ob ein Problem für einen Schüler lösbar ist oder nicht, ist demnach von generellen, kognitiv *und* affektiv imprägnierten Handlungsmöglichkeiten sowie seinen Interessen abhängig.

Ausgangspunkt beim Problemlösen<sup>29</sup> ist zunächst immer ein *Problembewusstsein*, also das Finden und Erfassen des Problems (vgl. Aebli 1983, S. 294f.). Erst wenn ein Problem erfasst, formuliert und für bedeutsam erachtet wird, kann eine geeignete Lösung gefunden werden. Beim Problemlösen selbst ist das Auffinden von Lösungsideen zentral. Dabei lassen sich fünf Verfahren unterscheiden, die jedoch mitunter auch wechselwirken (vgl. Edelmann 2000, S. 211ff.): a) Versuch und Irrtum, b) Umstrukturierung, d. h. eine neue Sichtweise einnehmen, c) Anwendung von Strategien (heuristische Regeln), d) Kreativität und Intuition, e) systemisches Denken bei vernetzten, komplexen Problembereichen. Erfolgreiches Problemlösen verläuft somit, als „Sonderfall des Handelns“ (ebd., S. 209), weitgehend geplant, zielgerichtet, reflexiv und damit bewusst. Im Gegensatz zum bloßen

<sup>28</sup> Die Trennung einer Kochsalzlösung in die Komponenten Wasser und Kochsalz stellt beispielsweise für einen Chemiker nicht wirklich ein Problem dar; es handelt sich vielmehr um eine Aufgabe, die er dank seines Wissens bewältigen kann. Er kennt das Verfahren der Destillation und kann es daher anwenden. Schülern z. B. ist jedoch oftmals lediglich das Ziel bekannt (Trennung in die Komponenten), der Weg zur Erreichung des Ziels muss erst noch gefunden werden – die Schüler haben bei diesem Beispiel also in der Tat ein Problem.

<sup>29</sup> Der Terminus ‘Problemlösen’ verweist originär auf eine kognitive Lerntheorie und zielt auf mentale Repräsentationen und verinnerlichte Handlungspläne. Wichtige Impulse bezogen auf schulisches Lernen gab R.M. GAGNÉ, bei dem Problemlösen die achte und letzte Lernstufe einer Hierarchie des Regellernens darstellt. Aufgegriffen und entschieden erweitert wurde dies von D.P. AUSUBEL mit der Theorie des *meaningful verbal learning*, wobei dieses sowohl entdeckend als auch rezeptiv sein kann. J.S. BRUNER, der deutlich stärker als AUSUBEL *learning by discovery* und damit induktives Lernen betont, stellt den Erwerb von Problemlösestrategien sogar ins Zentrum seiner Argumentation (vgl. Edelmann 2000, S. 133-146). In der hier vorliegenden Arbeit soll ‘Problemlösen’ jedoch nicht als höchste Stufe einer Lernhierarchie, sondern vielmehr im Sinne von H. AEBLI als basale Operation des handelnden Individuums verstanden werden: „Schon das kleine Kind ist ein handelndes und problemlösendes Wesen“ (Aebli 1983, S. 349).

Verhalten oder zu einer Tätigkeit liegt daher dem Problemlösen immer ein zumindest grober Handlungsplan zugrunde. Das Vorliegen eines solchen groben Handlungsplans sagt allerdings nichts darüber aus, wie ein Individuum *tatsächlich beim Handeln* agiert (vgl. Neuweg 2006, S. 13). Hier spielen oft intuitive Aspekte eine entscheidende Rolle (vgl. Kapitel 4.2.3). Daher haben zwar prototypische Handlungspläne, wie sie bezogen auf naturwissenschaftliche Prozesse z. B. das NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996, S. 175f.; 2000, S. 19) oder darauf aufbauend MAYER (2004) (siehe Tabelle 18) vorlegen, durchaus ihre Berechtigung, mehr als ein grober Wegweiser sind sie jedoch nicht.<sup>30</sup> Anhand eines solchen Wegweisers lassen sich allerdings die Handlungen der Schüler während des Problemlöseprozesses aus einer ersten Sicht recht gut klassifizieren.

Phase	Prozessfähigkeit
<b>Fragen formulieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mögliche Fragen generieren</li> <li>– Naturwissenschaftlich zugängliche Fragen auswählen</li> </ul>
<b>Experiment planen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eine Frage auswählen, die experimentell geklärt werden kann</li> <li>– Versuch[s]aufbau konstruieren</li> <li>– Wählen geeigneter Messinstrumente</li> </ul>
<b>Experiment durchführen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Werkzeuge und Apparate aufbauen</li> <li>– Gebrauch der Werkzeuge/Apparate</li> <li>– Sammeln der Daten</li> <li>– Organisieren der Daten</li> <li>– Darstellen der Daten</li> </ul>
<b>Analyse / Interpretation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zeichnen der Daten</li> <li>– Vergleich der Daten mit anderen Untersuchungen</li> </ul>
<b>Schlussfolgerungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Schlussfolgerungen aus den Daten</li> <li>– Schlussfolgerungen zu anderen Experimenten</li> <li>– Schlussfolgerungen zu Modellen und Theorien</li> <li>– Formulierung neuer Fragen</li> </ul>
<b>Kommunizieren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung der Ergebnisse</li> <li>– Zusammenfassung</li> <li>– Gebrauch von Medien</li> <li>– Kritische Analyse anderer Experimente</li> </ul>

**Tabelle 18:** Prototypisches Prozessverständnis. (Aus: Mayer 2004, S. 95)

*Inquiry* im Unterricht ist experimentelles Problemlösen. *Inquiries* kennzeichnen daher einen Lernprozess auf hohem Niveau, bei dem naturwissenschaftlich-experimentelle Problemlösefähigkeiten effektiv geschult werden. Den vielfach festgestellten Planungs- und Auswer-

<sup>30</sup> Dass solche Handlungspläne, in denen prototypisch naturwissenschaftliche Prozesse in einer 'idealen' Reihenfolge vorgestellt werden, einen heuristischen Zweck haben, ist unbestritten. Dass diese Kataloge jedoch kein *authentisches* Forschungshandeln abzubilden imstande ist, zeigt sich beispielsweise deutlich bei der Rekonstruktion *echter* Forschungsprozesse (vgl. Kapitel 5.2.2.2).

tungsdefiziten, die Schüler bezogen auf das Experimentieren zeigen, lässt sich durch das *inquiry*-Verfahren daher auch aller Voraussicht nach recht wirkungsvoll begegnen (vgl. Hofstein & Lunetta 2004, S. 47).

Über das Potenzial des *inquiry*-Verfahrens für den Erwerb eines Wissens über die Natur der Naturwissenschaften ist damit jedoch noch nichts ausgesagt.

#### 4.4 *Nature of Science* im Unterricht – implizit, explizit oder vorstrukturiert?

Wie HÖTTECKE (2001a, S. 85ff.) zeigt, gibt es sowohl aus dem angelsächsischen wie auch aus dem hiesigen Sprachraum Unterrichtsverfahren, die verstärkt auf einen Lernbereich *nature of science* rekurren. Gemeinsam ist diesen Ansätzen, dass in der Regel von sozialen oder politischen Problemen bzw. epochaltypischen Schlüsselproblemen ausgegangen wird, die auf naturwissenschaftlich-technischen Ursachen beruhen.<sup>31</sup> Allerdings haben bzw. hatten diese zwar integrativen, aber meist groß angelegten Projekte oder gar ganze Curricula auf die *konkrete Unterrichtsrealität* bislang so gut wie keinen Einfluss.

Sinnvoller, weil deutlich praxisgerechter, sind in meinen Augen Verfahren, die einen integrativen Platz im *alltäglichen* Unterricht haben können bzw. zeitlich (verglichen mit einem Projekt oder gar einem ganzen Kurs über ein Halbjahr hinweg) auf wenige Unterrichtsstunden begrenzt sind. Ein solches Verfahren, welches auf die lerntheoretisch attraktive Idee des impliziten Lernens setzt, könnte z. B. der *inquiry*-Gedanke<sup>32</sup> darstellen.

Gleich zu Beginn benennt das NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000) den Zweck des Leitfadens *Inquiry and the National Science Education Standards*:

Through examples and discussion, it shows how students and teachers can use inquiry to learn how to do science, learn about the nature of science, and learn science content. (Ebd., S. 1)

Damit verfolgt das NRC mit dem *inquiry*-Verfahren, wie bereits ausgeführt, eine dreifache Zielsetzung, die sich exakt mit den in Kapitel 3.1 im Anschluss an HODSON (1993; 1998) formulierten, generellen Grobzielen naturwissenschaftlichen Unterrichts deckt.

Dass bei einem eigenständigen, offenen, problemlösenden Experimentieren das *Anwenden naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen* geübt und auch *experimentelle Fertigkeiten* prinzipiell erworben werden können, liegt auf der Hand. Ob darüber hinaus der *inquiry*-Ansatz auch als probates Mittel dienen kann, naturwissenschaftliche *Inhalte* zu erlernen (*inquiry as means*), wird in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung sehr kontrovers diskutiert<sup>33</sup> und ist

---

<sup>31</sup> Als Beispiele sind *STS* (Science – Technology – Society), *PINC* (Projekt integriertes naturwissenschaftliches Curriculum), *Cuna* (Curriculum Naturwissenschaften) und *PING* (Praxis integrierter, naturwissenschaftlicher Grundbildung) zu nennen. Problematisch bei allen Ansätzen ist, dass sie die gesellschaftlichen Verflechtungen der Naturwissenschaften eher negativ in den Vordergrund stellen. Eine Anerkennung der kulturellen Leistungen der Naturwissenschaften ist dann jedoch nur noch schwer möglich (vgl. Shamos 1995, S. 227).

<sup>32</sup> HÖTTECKE (2001a, S. 118ff.) diskutiert und kritisiert zwar ausführlich Verfahren, die er als ‘Simulation der Naturwissenschaften’ bzw. als ‘offenes Experimentieren’ (vgl. ebd., S. 124ff.) bezeichnet, berücksichtigt die umfangreiche *inquiry*-Idee jedoch leider nicht.

<sup>33</sup> Für den deutschsprachigen Raum vgl. z. B. FISCHER *et al.* (2003, S. 194), MELLE *et al.* (2004, S. 124f.), SCHARF (1983a, S. 145); für den angelsächsischen Sprachraum vgl. z. B. ANDERSON (2002, S. 4ff.), HOFSTEIN & LUNETTA (2004). Vgl. auch Fußnote 9, Kapitel 2.1.

offenbar stark abhängig von der methodischen Aufbereitung im Unterricht. Ergebnisse der ‘PISA-Studie 2006’ weisen zumindest darauf hin,

dass ein naturwissenschaftlicher Unterricht, in dem Schülerinnen und Schüler sehr häufig die Gelegenheit erhalten, eigenständig Versuche zu planen und durchzuführen, noch nicht in optimaler Weise Lernprozesse anstößt und einen hohen Lernerfolg garantiert. Wird im Unterricht (zu) viel Zeit für „Hands-On“-Aktivitäten aufgewendet, sind nachteilige Effekte zu erwarten [...]. (PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 171)

Bislang kaum erforscht ist jedoch die Frage, inwieweit der *inquiry*-Ansatz geeignet ist, bei Schülern ein *Metawissen* über Naturwissenschaften (*nature of science*) zu etablieren:

Curiously, until very recently research on students’ beliefs about the nature of science, or their scientific epistemologies, has occurred largely independently of research on inquiry. One of the outcomes of this separation of inquiry and epistemology is that it is not clear that inquiry approaches to science instruction change students’ epistemological beliefs about science. (Sandoval 2005, S. 634f.)

Das, was SANDOVAL als „epistemological beliefs about science“ (ebd.) bezeichnet, wurde und wird tatsächlich in zahlreichen Studien vor allem bei Studenten und Lehrern umfassend erhoben (vgl. für einen Überblick an Studien z. B. Lederman 1992 sowie Lederman *et al.* 1998). Oftmals wird auch die Auswirkung einer Intervention in Form einer expliziten Thematisierung solchen Wissens getestet (vgl. für einen Überblick an Studien Abd-El-Khalick & Lederman 2000b). Nur sehr wenige Studien (z. B. Bell *et al.* 2003; Khishfe & Abd-El-Khalick 2002; Moss *et al.* 2001; Uhlmann & Priemer 2008) untersuchen jedoch *bei Schülern* Effekte auf deren Wissen über die Geartetheit der Naturwissenschaften direkt *im Anschluss* an ein *inquiry* als Intervention. Die Ergebnisse dieser wenigen Studien weisen quasi einstimmig darauf hin, dass ein impliziter Erwerb von Wissen zu *nature of science* durch ein *inquiry* nicht oder kaum stattfindet:

There is accumulating evidence that simply engaging in inquiry in school is insufficient to change most students’ ideas about the nature of science. (Sandoval 2005, S. 635)

Deutlich pointierter schlussfolgern BELL *et al.* (2003) aus den Ergebnissen ihrer Studie:

When students only do science, it is the doing, and only the doing, that is explicitly addressed and learned. (Ebd., S. 504)

Selbst in Studien, bei denen die Forscher auf das Potenzial eines impliziten Lernens setzen und daher zunächst davon ausgingen, dass ein impliziter Wissenserwerb qua *inquiry* möglich und auch wahrscheinlich ist, kann keine Korrelation festgestellt werden:

The inclination to think that the nature of science can be taught implicitly was clearly evident in this study. It was assumed that if students were actively engaged in doing science in this project-based class, they would as a by-product of those experiences develop a deep understanding of the nature of science. This was rarely the case, as significant developments in student understandings of the nature of science [...] were not seen in this study. (Moss *et al.* 2001, S. 788)

Dass es so wenig Studien gibt, die sich mit einem impliziten Erwerb von Wissen über die Natur der Naturwissenschaften befassen, ist insofern verwunderlich, als dass in den US-amerikanischen Bildungsstandards das *inquiry*-Verfahren quasi als Universalmethode propagiert wird. Ein Grund für diese eigentlich erstaunliche und zugleich unbefriedigende Situation mag der sein, dass naturwissenschaftliche Prozesse vielfach verwechselt werden mit einer Reflexion *über* eben diese Prozesse: „individuals often conflate NOS with science processes“ (Lederman *et al.* 2002, S. 499) – ein Metawissen über Naturwissenschaften gerät dann erst gar nicht in den Blick.

Unter anderem durch die PISA-Studie hat der naturwissenschaftliche Unterricht auch hierzulande eine deutliche, durchaus begrüßenswerte stärkere Orientierung an naturwissenschaftlichen Prozessen erfahren, welche sich z. B. auf die Beobachtung und Deutung von Daten und auf daraus ableitbare Schlussfolgerungen beziehen. Dies drückt sich nicht nur in den aktuellen Bildungsstandards mit dem Kompetenzbereich ‘Erkenntnisgewinnung’ aus (vgl. Parchmann & Kaufmann 2006, S. 6f.), sondern auch anhand zahlreicher ‘Lernboxen’, Leitfäden und fachdidaktischer Themenhefte zum naturwissenschaftlichen Arbeiten. So schülerorientiert und methodenreich diese sicherlich gut gemeinten Arbeitshilfen für Lehrer auch sein mögen:<sup>34</sup>

[...] learning about the nature of science involves more than learning how to conduct a “fair test” by systematically controlling variables. (Hodson 1999, S. 242)

Mit *nature of science* sind nämlich weder prüfbare Kenntnisse noch das Anwenden naturwissenschaftlicher Prozesse gemeint, sondern die Wertvorstellungen und epistemologischen Grundannahmen, auf denen eben dieses Wissen bzw. diese Tätigkeiten basieren. Damit sind naturwissenschaftliche Prozesse und das Wissen um die Natur der Naturwissenschaften letztlich zwei Seiten einer Medaille, wovon jedoch unterrichtlich meist nur eine in den Blick gerät. Dabei würde jedoch gerade das naturwissenschaftlich orientierte Arbeiten im Unterricht von einer Reflexion über Naturwissenschaften profitieren:

We assume that process skills will be more easily and better learned if they are embedded in a wider context of metaconceptual points about the nature of scientific knowledge. We also assume that

---

<sup>34</sup> Bei einem unreflektierten Einsatz im Unterricht besteht ferner die Gefahr, dass der komplexe, mitunter sogar irrational imprägnierte und mit Fiktionen (vgl. Gröger 1996) durchsetzte naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess einseitig idealisiert wird und damit unwillkürlich ein naiv-empiristisches Wissenschaftsverständnis, eine „*rhetoric of conclusions*“ (Schwab 1962, S. 24; Hervorheb. i. O.), protegirt wird. Naturwissenschaftliche Prozesse wie etwa ‘Beobachten’ und ‘Schlussfolgerungen ziehen’ lassen sich ferner auch weniger klar voneinander abgrenzen (vgl. z. B. Hodson 1998, S. 196; Tetens-Jepsen 1992), als es solche ‘Methodenleitfäden’ vielfach suggerieren. Darüber hinaus können Schüler bereits von Kindesbeinen an beobachten, klassifizieren oder auch Hypothesen bilden – lange vor ihrer ersten Unterrichtsstunde in Biologie, Chemie, Physik oder Naturwissenschaften. Die Besonderheiten *naturwissenschaftlicher* Beobachtungen, Klassifizierungen oder Hypothesen ergeben sich nicht allein durch die Prozesse, sondern durch wechselseitige Bezüge auf ein Meta-Wissen über diese Prozesse sowie eine basale Kenntnis von naturwissenschaftlichen Konzepten. *Naturwissenschaftliche* Prozesse lassen sich daher weder bar methodologischer Bezüge noch losgelöst von konkreten Inhalten erlernen. Im Unterricht sollte deshalb vor allem auch eine Reflexion über naturwissenschaftliche Prozesse stattfinden.

such knowledge is important in its own right, and that it can be gained only by actively constructing such knowledge and reflecting on this process. (Carey *et al.* 1989, S. 517)

CAREY *et al.* heben damit nicht nur erneut den hohen Stellenwert der Geartetheit der Naturwissenschaften für Unterricht hervor; sie verweisen ebenfalls darauf, dass ein rein impliziter Erwerb von NOS ohne ein reflexives Moment nicht möglich ist.

Dies liegt meines Erachtens auch am Gegenstandsbereich selbst: Ganz sicherlich werden Schüler durch naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten geprägt, sie entwickeln eigene innere Modelle; dass sie jedoch selbstreflexiv das Abstraktionsniveau eines Wissenschaftlers oder Wissenschaftstheoretikers erreichen können, ist mehr als unwahrscheinlich (vgl. auch Höttecke 2001a, S. 107, 121), zumal aktuelle Konzepte zu NOS mitunter konträr zu im Alltag bewährten Mustern sind. Gleichwohl ähnelt der Erwerb von Wissen über Naturwissenschaften jedoch ein Stück weit einem Hineinwachsen in die *scientific community* und müsste daher von einem informellen Erfahrungslernen, welches sich kaum explizit vermitteln lässt (vgl. Kapitel 4.2), prinzipiell profitieren. Ein rein impliziter Weg hat jedoch, wie bereits angedeutet, den Nachteil, dass auf den Status quo des kollektiven, kulturell entwickelten Wissen der *scientific community* weitgehend verzichtet werden müsste, wodurch offensichtlich ein erhebliches Potenzial verloren geht: Folgerichtig zeigen Forschungsergebnisse, dass inzidentelles Lernen von NOS während der Durchführung eines *inquiry* zu wenig belastbaren Vorstellungen bei Schülern führt. HODSON (1993) fordert daher mit Recht:

Ensuring that students are successful in *learning about science* requires, firstly, that we make the implicit *explicit*. (ebd., S. 113; Hervorheb. i. O.)

Dies kann bereits dadurch erfolgen, dass im Unterricht sowohl basale wissenschaftstheoretische Termini wie z. B. ‘Theorie’, ‘Gesetz’, ‘Hypothese’, ‘Modell’ als auch methodologische Kennzeichnungen wie beispielsweise ‘hypothetisch-deduktiv’ oder ‘empirisch-induktiv’ besprochen werden.

Allerdings ist es meines Erachtens wenig sinnvoll, im naturwissenschaftlichen Unterricht Ideen zu *nature of science* anhand wissenschaftstheoretischer Texte (wie z. B. bei Aker-son *et al.* 2006, S. 200) von beispielsweise CARNAP, POPPER, KUHN und FEYERABEND zu erarbeiten und explizit zu thematisieren, weil damit die Domäne nicht nur überschritten, sondern letztlich verlassen würde. Eine Beschäftigung mit Systemen von logischen Aussagen ist darüber hinaus auch „nicht unbedingt geeignet, ein realistisches Bild von den Naturwissenschaften als gelebter Praxis nachzuzeichnen“ (Höttecke 2001a, S. 104). Ferner spricht auch ganz pragmatisch das eher knapp bemessene Zeitkontingent dagegen, welches den naturwissenschaftlichen Fächern auf den Stundentafeln zugestanden wird. Anhand des in Kapitel 4.2 Diskutierten scheidet aus lerntheoretischer Sicht ohnehin ein reines ‘Lernen durch Information’ aus, bei dem Schülern aktuelle Sichtweisen zur Natur der Naturwissenschaften schlicht mitgeteilt werden.

Die Alternativen erschöpfen sich jedoch nicht nur in einerseits ‘impliziter Erwerb von NOS’ und andererseits ‘explizite Unterweisung von NOS’:<sup>35</sup>

[...] it cannot be over-emphasized that the above distinction should not be taken to mean that implicit and explicit approaches differ in terms of “kind.” That is, not every science process-skills instructional sequence or scientific inquiry activity is an implicit attempt to enhance learners’ conceptions of NOS, nor is every instructional sequence in history of science (HOS) an explicit attempt to achieve that end. The basic difference between implicit and explicit approaches lies in the extent to which learners are helped to come to grips with the conceptual tools, in this case specific aspects of NOS, which would enable them to think about and reflect on the activities in which they are engaged [...]. (Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1058).

Der Vorschlag von ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN, über das Ausmaß an Hilfen nachzudenken, welches Schülern gegeben werden soll, damit diese über Aspekte von NOS reflektieren können, kann im Anschluss an die in Kapitel 4.2 geführte Diskussion deutlich präzisiert werden: Meines Erachtens könnte hier eine Strukturierungshilfe im Sinne BRÜGELMANNs (1997, S. 54ff.) als strukturelles Kopplungsinstrument zwischen personalem und öffentlichem Wissen (vgl. Seiler & Reinmann 2004) fungieren. Bezogen auf das Konzept *nature of science* könnte eine vorstrukturierte, problemorientierte Lernumgebung, die kollektives Wissen der *scientific community* über NOS *implizit* enthält, über welches im Nachhinein reflektiert werden muss, eine solche Strukturierungshilfe darstellen (vgl. Kapitel 4.2.5). Damit würde berücksichtigt, dass ein Meta-Wissen über Naturwissenschaften viele implizite Momente eines Erfahrungswissens umfasst. Ferner könnten auch die Vorteile eines inzidentellen Lernens bei der Genese eben solchen impliziten Erfahrungswissens genutzt werden, ohne auf das kollektive Wissen der *scientific community* gänzlich zu verzichten. Eine in diesem Sinne vorstrukturierte Lernumgebung wird in Kapitel 5.2 vorgestellt.

---

<sup>35</sup> Auch KHISHFE & ABD-EL-KHALICK (2002, S. 555) betonen, dass ‘explizit’ nicht notwendig mit ‘unterweisend’ verkoppelt sein muss (eine solche Kopplung nennen sie, entgegen der deutschen Sprachgewohnheit, ‘didactic teaching’). Ihr eigenes Vorgehen, welches sie als „explicit and reflective“ (ebd.) bezeichnen, verwickelt Schüler dagegen in naturwissenschaftlich orientierte Aktivitäten, über die sie im Anschluss, initiiert durch Fragen des Lehrers, aus Sicht einiger NOS-Aspekte reflektieren müssen.

## 5. Erwerb von Wissen über *Nature of Science* – zwei Wege im Vergleich am Beispiel von Chemieunterricht

### 5.1 *Nature of Science* im Unterricht – Vorbemerkungen

In diesem Kapitel werden zwei unterschiedliche Interventionsmaßnahmen vorgestellt, deren Evaluation bezüglich ihres Potenzials für den Erwerb von Wissen über die Natur der Naturwissenschaften in Kapitel 6 dargelegt wird: Einerseits in Kapitel 5.2 ein Gruppenpuzzle über das naturwissenschaftliche Vorgehen dreier Forscher zum Themenkomplex ‘Säuren und Basen’; andererseits in Kapitel 5.3 eine stärker geöffnete Lernumgebung in Form eines experimentellen Untersuchungsauftrags (*open inquiry*) zu Absorptionseigenschaften von Makromolekülen in Babywindeln. Mittels des Gruppenpuzzles wird damit bewusst der Bereich „learning about science“ (Hodson 1998, S. 191) mit einem Schwerpunkt auf dem Wechselspiel von Empirie und Theorie akzentuiert. Anhand des Untersuchungsauftrags wird bewusst der Bereich „doing science“ (ebd.) aufgegriffen (vgl. auch Kapitel 3.1) und so die technisch-instrumentelle Seite<sup>1</sup> naturwissenschaftlichen Handelns betont (vgl. auch Kapitel 2.2.6 sowie Shamos 1995, S. 66ff., 223ff.).

Der Erwerb von Wissen über die Natur der Naturwissenschaften lässt sich keiner bestimmten Altersstufe zuordnen. Folgerichtig wird ein solches Wissen in der Regel gestuft auf unterschiedlichem Niveau betrachtet, wie dies beispielsweise auch in den US-amerikanischen Bildungsstandards geschieht (vgl. National Research Council 1996, S. 141, 170f., 200f.). Daher ist es freilich auch überaus sinnvoll, bereits bei Grundschulern gezielt Aspekte dieses Metawissens zu thematisieren und auch zu evaluieren (vgl. z. B. Sodian *et al.* 2002). Eine Akzeptanz der historisch-kulturellen Leistungen der naturwissenschaftlichen Disziplinen (*cultural argument*), die Anerkennung ihrer Sinnhaftigkeit für unser Leben (*utilitarian argument*), eine Einsicht in den Wertewandel und die derzeitige Wertebasis, auf der naturwissenschaftliche Entscheidungen beruhen (*moral argument*), sowie ihre fachliche, soziale und kulturelle Tragweite (*democratic argument*) können sich dem Einzelnen aufgrund der Komplexität des Gegenstandes (vgl. Driver *et al.* 1996, S. 41) wohl jedoch erst in späteren Lebensjahren erschließen. Folglich zeigt sich zwar mit zunehmendem Alter in der Regel auch ein stimmigeres Bild zu NOS (ebd., S. 84, 110f.), differenziert und substanziell ist es dennoch meist nicht, selbst bei Studierenden eines naturwissenschaftlichen Lehramtes nicht (vgl. Reiners, im Druck). Ein besonderes Problem ergibt sich daher in der gymnasialen Oberstufe mit den in zahlreichen Bundesländern fakultativ oder sogar verbindlich vor-

---

<sup>1</sup> *Naturwissenschaftliches Handeln* umfasst mit ‘Naturwissenschaften’ und ‘Technik’ zwei einander ergänzende Gegenstandsbereiche, wie SHAMOS (1995, S. 66) treffend anmerkt: „Science is one member of an important symbiotic relationship in the total scientific enterprise; the other is technology [...]“

gesehenen Fach- bzw. Seminararbeiten. Studien zum Seminarfach in Thüringen (Gröger 2004) zeigen nämlich, dass Schüler einerseits solche Arbeiten eher selten in den naturwissenschaftlichen Disziplinen verfassen und dass andererseits, falls doch diese Domäne gewählt wurde, Experimente gemieden werden. Nutzen sie dennoch Experimente, setzen sie diese jedoch allenfalls zur Veranschaulichung ein, nicht aber im naturwissenschaftlichen Sinne als Medium zur Erkenntnisgewinnung (vgl. auch Kapitel 4.3.3). Ein Grund dafür liegt darin, dass Schüler kein reflektiertes Wissen über die Natur der Naturwissenschaften haben (vgl. Hofheinz & Gröger 2004). Daher ist ihnen z. B. das für die Naturwissenschaften kennzeichnende Wechselspiel von Theorie und Empirie kaum bewusst. Aufgrund der erheblichen Probleme im konzeptuellen Bereich fühlen sie sich bei der Planung und Auswertung von Experimenten überfordert (ebd.). Vor diesem Hintergrund wurden in dieser Studie Schüler einer Jahrgangsstufe 11 in den Blick genommen, weil dort in der Regel die Weichenstellung für Facharbeiten beginnt.

Beide Interventionsmaßnahmen versprechen lerntheoretisch (vgl. Kapitel 4.2) prinzipiell ein hohes Lernpotenzial bezogen auf den Erwerb von Wissen über NOS:

- Das Gruppenpuzzle, weil es als eine kooperative, problemorientierte Lernumgebung in der aktiven Auseinandersetzung mit historischen Forschungsprozessen bei der anfänglichen Expertenrunde zunächst eine unbewusste *innere Schemabildung* (vgl. Kapitel 4.2.5) erlaubt, die in den Lernrunden nochmals reorganisiert werden kann. Beim anschließenden Austausch und der Besprechung der Ergebnisse im Plenum können die inneren Modelle im Nachhinein bewusst gemacht werden, indem gezielt über NOS reflektiert wird. Bezogen auf den Erwerb von NOS kann das Gruppenpuzzle daher als eine *vorstrukturierte* Lernumgebung bezeichnet werden, weil hier kollektives Wissen der Naturwissenschaftsgemeinschaft über die Natur der Naturwissenschaften *implizit* enthalten ist, welches im Plenum bewusst gemacht werden kann. Im Gegensatz zu einer direkten Unterweisung erlaubt dieses Vorgehen eine aktive Eigenkonstruktion von Wissen über *nature of science*.
- Der experimentelle Untersuchungsauftrag, weil er als weitgehend geöffnete, situativ verortete, problem- und handlungsorientierte Lernumgebung der Selbststeuerung des Lerners bei der Konstruktion von Wissen stark entgegenkommt. Im eigenen, experimentellen Handeln, welches in der Tat von einem Problem und nicht von einer Aufgabe ausgeht, müssen naturwissenschaftliche Prozesse gefunden und angewandt werden. Obgleich in dieser Lernsituation kein Wissen über NOS enthalten ist, kann ein solches Wissen inzidentell erworben werden, weil die Schüler einen ähnlichen Weg wie jene Naturwissenschaftler beschreiten müssen, die die thematisierten Zusammenhänge erkannt und erforscht haben. Als impliziter Lernmodus profitiert ein solches Lernen davon, dass es nicht motivationsgehemmt ist.

Da das Sichtbarmachen eines Forschungsprozesses nur auf der Basis bestimmter Inhalte erfolgen kann, wird bei dem Gruppenpuzzle, das auf vier Unterrichtsstunden angelegt ist, der Gegenstand ‘saure und alkalische Lösungen’ als Grundlage gewählt (Jahrgangsstufe 10 bzw. 11). Dieser fachliche Gegenstand wurde hier *nicht* gewählt, weil er neben einer innerfachlichen Bedeutung auch unzweifelhaft eine enorme Alltagsrelevanz aufweist, sondern weil sich anhand dieses Gegenstandes naturwissenschaftliche Vorgehensweisen sehr gut

rekonstruieren lassen (vgl. Kapitel 5.2.2.2). Durch die Gegenüberstellung der Vorgehensweisen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED kann die innerwissenschaftliche Dynamik, nach der Wissensbestände überarbeitet und innerhalb fundamentaler Veränderungen neu bewertet werden müssen, deutlich gemacht werden.

Für den experimentellen Untersuchungsauftrag, der auf zwei bis drei Unterrichtsstunden ausgelegt ist, dienen sogenannte ‘Superabsorber’ in Babywindeln als fachliche Grundlage. Ausgehend von diesem fächerverbindenden Unterrichtsgegenstand sollen Schüler einen fiktiven, neuen Windelhersteller beraten, der seine Beratungsanfrage jedoch sehr pauschal stellt. Daher müssen die Schüler einen eigenen Anforderungsrahmen abstecken und diesen unter anderem mithilfe experimenteller Daten ausgestalten.

Diese beiden Interventionsmaßnahmen werden jeweils unabhängig voneinander und einmal konsekutiv durchgeführt, um ihr jeweiliges Potenzial für den Erwerb von Wissen über die Geartetheit der Naturwissenschaften abschätzen zu können. Bevor die Interventionsmaßnahmen vorgestellt werden, wird jeweils der fachliche Hintergrund, auf dem die Lernumgebungen basieren, in den Kapiteln 5.2.2 bzw. 5.3.1 kurz erläutert. Weil das Gruppenpuzzle auf historischem Material basiert, wird in Kapitel 5.2.1 zuvor noch der Einsatz von Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht diskutiert.

## 5.2 Ein vorstrukturierter Weg – ein Gruppenpuzzle als Strukturierungsangebot

### 5.2.1 Wissenschaftsgeschichte im Unterricht

Der Diskurs in Kapitel 3.2 hat gezeigt, dass es keine einheitliche naturwissenschaftliche Methode gibt, weil naturwissenschaftliches Arbeiten eine stete Dynamisierung erfährt durch notwendig problem- und gegenstandsbezogene Arbeits- und Denkprozesse. Da weder von *der* naturwissenschaftlichen Methode noch von *der* Wissenschaftstheorie die Rede sein kann, kann es folglich auch keine Standardmethode zur Einführung in naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten und eine Reflexion darüber in der Schule geben. Ungeachtet dessen existiert jedoch einerseits ein innerparadigmatisches, typisches Verständnis der Besonderheiten und Wertvorstellungen, auf denen naturwissenschaftliche Prozesse basieren, andererseits gibt es aber auch eine relativ unstrittige empirische Basis im Bereich des technisch-rationalen Handelns. Um im Unterricht den historischen Wandel wissenschaftstheoretischer Wertvorstellungen, ein Spektrum an naturwissenschaftlichen Vorgehensweisen sowie die eher kumulative poietische Praxis aufzuzeigen, bietet es sich demnach an, dazu gezielt historische Forschungsprozesse zu nutzen<sup>2</sup> (vgl. National Research Council 1996, S. 107; Rieß 1997, S. 23; Shamos 1995, S. 215ff.):

Anhand naturwissenschaftsgeschichtlich gut belegbarer Befunde kann das methodische Vorgehen der Forscher methodologisch geordnet werden und so ein Grundverständnis dafür entwickelt werden, wie z. B. Chemiker, Physiker, Biologen systematisch planen, Schlüsse ziehen, experimentell prüfen oder Befunde deuten. [...] Es geht also darum, Strukturen des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses nicht nur reproduzierend zu identifizieren, sondern vor allem auch anwenden zu können, wenn entsprechende neue Aufgaben gelöst werden sollen. (Scharf 2004, S. 148)

Um diese Ziele im konkreten Unterricht zu erreichen, haben sich zwei Wege etabliert, die sich jedoch nicht unbedingt gegenseitig ausschließen müssen: Einerseits ein Aufzeigen des Begründungs- und des Entdeckungszusammenhangs einer Theorie (*historisch-genetischer An-*

---

<sup>2</sup> Diese Position ist nicht ganz unstrittig (vgl. Höttecke 2004, S. 43f.). Mitunter wird der Einwand erhoben, die Geschichte der Wissenschaft sei zu komplex und daher für Schüler eher verwirrend, zeitraubend und letztlich frustrierend, weil die Erkenntnisse im Grunde überholt seien, kurzum: „eine Leiter, die man verbrennen kann, wenn man oben ist“ (Jung 1978, S. 31). SUTTON (1998) weist jedoch deutlich auf die Krux einer solchen Sichtweise hin: „It might seem strange that the textbook account, which is the product of successful science, can be a source of misunderstanding, but the problem is that learners encounter this product without experiencing any of the uncertainty and controversy that was involved in establishing it“ (ebd., S. 30). Ob man Wissenschaftsgeschichte im Unterricht für notwendig oder eher für obsolet bzw. gar hinderlich hält, hängt freilich davon ab, welche didaktischen Akzente gesetzt werden und welche *Ziele* man demnach im naturwissenschaftlichen Unterricht für wichtig erachtet. Im Kontext dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die naturwissenschaftlichen Fächer weit mehr als aktuelles Fachwissen zu vermitteln haben. Sie sollten ebenso einen Beitrag zur Allgemeinbildung und damit auch zur ‘Stiftung kultureller Kohärenz’ im Sinne von HEYMANN (1996, S. 65ff.) leisten (vgl. Kapitel 2.2.3). Wissenschaftsgeschichte auszublenden, wäre daher völlig kontraproduktiv.

satz) und andererseits ein handelnder Nachvollzug eines historischen Forschungsprozesses (*historisch-problemorientierter Ansatz*).

Eine Rekonstruktion der Entstehungsbedingungen von Theorien, Prinzipien und Fachtermini, wie es der *historisch-genetische Ansatz* vorsieht, darf jedoch kein Selbstzweck sein (vgl. Pukies 1979, S. 52). Ein solches Vorgehen ist nur dann sinnvoll, wenn es bei Schülern zu einem besseren Verständnis von Sachverhalten führt. Ziel sind also nicht die historischen Begebenheiten an sich, sondern das Begreifen des Jetzt mithilfe des Ehedem. Dies kann nur dort fruchtbar sein, wo historische Genese und 'gesunder Menschenverstand' zusammenfallen (vgl. Stork 1985, S. 297), wo also eine „Parallelität von individueller und historischer Entwicklung bezüglich der Lerninhalte oder der Dynamik des Lernprozesses oder beidem“ (Höttecke 2001a, S. 183) feststellbar ist. Beim *historisch-problemorientierten Ansatz* dagegen geht es weniger um eine möglichst authentische und exakte Wiedergabe eines Gedankenganges, sondern vielmehr um den problemgeleiteten, handelnden Nachvollzug des Wegs zu einer naturwissenschaftlichen Idee oder Hypothese.

Hütet man sich im Unterricht vor banalen Genie- und Heldengeschichten einzelner Forscher, können beide Ansätze den Naturwissenschaften auch ihr notwendig „humanes Antlitz“ (Höttecke 2001a, S. 199) (wieder-)verleihen und damit eine kulturelle und soziale Sicht auf Naturwissenschaften ermöglichen (vgl. auch Buck 1995a; Janich 1997).

Während diese beiden knapp skizzierten Ansätze in erster Linie ein Verständnis neuer *Inhalte* zum Ziel haben, soll es bei einer Interventionsmaßnahme der vorliegenden Arbeit darum gehen, mittels historischer Beispiele über die *Methoden* der Forscher zu reflektieren, wie es im obigen Zitat von SCHARF bereits zum Ausdruck gebracht wurde. Mit Hilfe historischer Forschungsprozesse sollen Schüler zu einem reflektierteren Bild über die Natur der Naturwissenschaften gelangen. Daher lehnt sich mein Vorgehen zwar primär an das historisch-problemorientierte Verfahren an, unterscheidet sich jedoch von diesem, indem der Nachvollzug nicht experimentell-handelnd, sondern bereits auf einer Metaebene stattfindet. Darin wiederum ähnelt es dem historisch-genetischen Ansatz. Ziel ist jedoch nicht die Rekonstruktion der *Entstehungsbedingungen* unterschiedlicher Säure-Base-Konzepte, sondern das *methodische Handeln* der jeweiligen Forscher. Insofern nimmt mein Verfahren Anleihen bei beiden Ansätzen.

Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht ist meines Erachtens ein gut geeignetes Mittel, anhand einer Reflexion über das naturwissenschaftliche Vorgehen verschiedener Forscher unterschiedliche methodologische Paradigmata anschaulich auszuweisen. Indem die Forschungsdynamik, welche stets mit semantischen Brüchen und substanziellen Modifikationen einhergeht, kontextbezogen und handelnd nacherlebt wird, kann Wissenschaftsgeschichte im Unterricht zur Genese, aber auch zur Konsolidierung methodologischen Wissens dienen.

## 5.2.2 Die historische Genese der Säure-Base-Definitionen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED

Die Ausführungen in diesem Kapitel – primär erarbeitet anhand von übersetzten Originalquellen, aber auch mithilfe einschlägiger Sekundärliteratur (Binnewies *et al.* 2004, S. 200ff.; Hammer 1995; Mortimer 2001, S. 281ff.; Ströker 1982) – erheben weder einen Anspruch auf fachinhaltliche Vollständigkeit noch werden sie einem kritischen wissenschaftshistorischen Urteil standhalten können. Dies ist aber auch gar nicht intendiert. Es handelt sich hier vielmehr um eine bereits mit Blick auf Schule und Unterricht selektierte Auswahl im Sinne einer didaktischen Rekonstruktion (vgl. Jank & Meyer 2003, S. 338ff.).

In Kapitel 5.2.2.1 werden drei unterschiedliche Säure-Base-Definitionen<sup>3</sup> kurz vorgestellt, namentlich die Säure-Definition von LAVOISIER sowie die schulisch relevanten Säure-Base-Konzepte von ARRHENIUS und BRØNSTED/LOWRY<sup>4</sup>. Die Auswahl fiel aus mehreren Gründen auf genau diese Personen und deren Definitionen:

- Die Quellenlage ermöglicht bei allen drei Forschern ein sinnvolles Nachzeichnen ihrer wissenschaftlichen Vorgehensweise.
- Das Vorgehen der drei Forscher zeigt deutliche, fast schon paradigmatische Unterschiede im naturwissenschaftlichen Arbeiten. Dies ist ein überaus entscheidendes Argument (vgl. Scharf 2004, S. 148), denn dadurch geraten Elemente einer Natur der Naturwissenschaften implizit in den Blick.
- Die Säure-Definition von LAVOISIER ist zwar aus heutiger Sicht wenig tragfähig, stellt aber eine gute Brücke zwischen naiven Alltagsvorstellungen und wissenschaftlichen Erklärungsmustern dar, denn unsere Alltagssprache verweist mit dem Terminus ‘Sauerstoff’ nach wie vor auf die lavoisiersche Idee, Sauerstoff sei Konstituens aller Säuren. Daher gibt es hier muttersprachlich bedingt eine eindeutige „Parallelität von individueller und historischer Entwicklung“ (Höttecke 2001a, S. 183). Zugleich wird dadurch eine Reflexion über die Forschungsdynamik mit ihren auch semantischen Brüchen begünstigt. LAVOISIERS Definition geht konzeptionell aber auch über ein naives Alltagsverständnis hinaus, weil sie nicht bei den phänomenologischen Eigenschaften von Säuren stehen bleibt, sondern bereits eine allen Säuren gemeinsame strukturelle Zusammensetzung postuliert. Kompositionelle und sogar fachlich tragfähigere Vorschläge unterbreiten zwar beispielsweise DAVY und LIEBIG, jedoch weisen diese beiden Konzeptionen aus wissenschafts- und kulturhistorischer Sicht weit weniger Relevanz auf als die Säure-Definition von LAVOISIER. Ferner ist LAVOISIERS wissen-

---

<sup>3</sup> HAMMER (1995, S. 36) vermeidet bewusst, von Säure-Base-Theorien zu sprechen, denn im Regelfall handele es sich dabei nicht um stringente, umfassende Gedankengebäude mit prognostischer Kraft. Stattdessen bevorzugt er die Formulierungen Säure-Base-Konzepte bzw. Säure-Base-Definitionen. Diesem Sprachgebrauch schließe ich mich an, obgleich z. B. das LEWIS-Konzept durchaus auch als Theorie bezeichnet werden kann, da es nicht nur ‘Befunde’ erklären kann, sondern als Forschungsprogramm (vgl. Lakatos 1982, S. 4f.) auch neue Tatsachen voraussagen kann, etwa bei organisch-chemischen Reaktionen (vgl. z. B. Vollhardt & Schore 2005, S. 63ff.).

<sup>4</sup> J. N. BRØNSTED und T. M. LOWRY entwickelten quasi zeitgleich und unabhängig voneinander in den 1920er Jahren ein identisches Säure-Base-Konzept. Zumindest im deutschsprachigen Raum wird jedoch in der Regel eher von der BRØNSTED-Definition gesprochen.

- schaftliches Vorgehen für Schüler einer Jahrgangsstufe 11 (in dieser Jahrgangsstufe wurde das Forschungsprojekt durchgeführt) fachlich relativ leicht nachvollziehbar.
- Die Säure-Base-Definition von *ARRHENIUS* ist speziell für den Mittelstufenunterricht sehr tragfähig, erklärungsmächtig und eingängig und daher auch z. B. nicht nur im noch aktuellen Lehrplan des Landes Nordrhein-Westfalen verbindlich vorgesehen (MSW NRW 1993, S. 91f.), sondern auch in ersten Entwurfsfassungen neuer Kerncurricula. Somit kann sie bei den Schülern einer Jahrgangsstufe 11 als bekannt vorausgesetzt werden. Darüber hinaus kennzeichnet die *ARRHENIUS*-Definition auch fachchemisch einen Meilenstein bei der Ausdifferenzierung der modernen Chemie, weil hier erstmals ein fundiertes Säure-Base-Konzept vorgestellt wurde, welches auf submikroskopischen Erklärungsprinzipien basiert.
  - Das Säure-Base-Konzept von *BRØNSTED*/*LOWRY* stellt eine schulisch relevante Erweiterung des *ARRHENIUS*-Konzepts dar, weil hier einerseits neuere Vorstellungen zum Atombau Berücksichtigung finden und weil es andererseits durch das Donator-Akzeptor-Prinzip eine Ausweitung der Termini Säure und Base auch auf nichtwässrige Lösemittel erlaubt. Diese Definition ist daher für die Oberstufe verbindlich vorgesehen (MSWWF NRW 1999, S. 34), wird jedoch oftmals auch bereits in der Jahrgangsstufe 10 eingeführt (vgl. MSW NRW 1993, S. 55). Schülern der Stufe 11 sollte die Definition daher bekannt sein.
  - Aktuellere Säure-Base-Definitionen basieren zwar immer auf der Donator-Akzeptor-Idee, sie überschreiten jedoch teilweise den phänomenologischen Bereich, sodass Säuren und Basen dann z. B. nicht mehr unbedingt per Indikator identifizierbar sind. Schulisch werden sie folglich selten berücksichtigt. Allenfalls die Definition von *G. N. LEWIS* (vgl. *Binnewies et al.* 2004, S. 220f.; *Mortimer* 2001, S. 287ff.), nach der eine Säure ein Elektronenpaarakzeptor, eine Base ein Elektronenpaardonator darstellt, sowie das darauf basierende HSAB-Konzept von *R. G. PEARSON* (vgl. *Binnewies et al.* 2004, S. 222ff.) werden mitunter in Schulbüchern kurz angesprochen (vgl. z. B. *Tausch & Wachtendonk* 2004, S. 100), weil speziell das *LEWIS*-Konzept sinnvoll auf einige organisch-chemische Reaktionstypen anwendbar ist (vgl. *Vollhardt & Schore* 2005, S. 63ff.; eine sogenannte  $S_N1$ -Reaktion entspricht z. B. schematisch einer *LEWIS*-Säure-Base-Reaktion). Die derzeit umfassendste Säure-Base-Definition von *M. I. USANOVICH*, wonach Säuren als Verbindungen definiert sind, die (a) Protonen abgeben können oder (b) Kationen abgeben können oder (c) Elektronen aufnehmen können oder (d) beliebige Anionen aufnehmen können (*Hammer* 1995, S. 44), stellt eine radikale Erweiterung des *LEWIS*-Konzepts dar und schließt definitionsgemäß auch Redoxreaktionen mit ein. Damit wird diese Definition jedoch überaus unspezifisch und kann auf unzählige chemische Reaktionen, die im Unterricht durchgeführt werden, angewendet werden. Für meine Zwecke eignen sich die Definitionen von *LEWIS*, *PEARSON* und von *USANOVICH* vor allem aber deshalb nicht, weil sie bei Schülern nicht als bekannt vorausgesetzt werden können.

In Unterkapitel 5.2.2.2 erfolgt eine Analyse des methodischen Vorgehens von *LAVOISIER*, *ARRHENIUS* und *BRØNSTED*. Um das naturwissenschaftliche Vorgehen in den Vordergrund zu stellen, wird hier mit Bedacht auf zahlreiche, auch längere Zitate der jeweiligen Originalliteratur zurückgegriffen. Jeweils im Anschluss an die Darstellung der Vorgehensweisen der Forscher werden die methodischen Schritte in einer Übersicht tabellarisch zusammengefasst (vgl. auch *Hofheinz & Buchen* 2006c).

### 5.2.2.1 Die Säure-Base-Definitionen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED

Eine Kenntnis von Stoffen, die in sauer schmeckenden Früchten oder Säften vorkommen und daher als Säuren bezeichnet werden, reicht weit in die Zeit vor Christus zurück. Nach einer rein phänomenologischen Klassifikation einer Säure durch R. BOYLE (\*1627; †1691) erfolgte im Jahre 1675 zwar ein erster Erklärungsversuch für die Eigenschaften einer Säure mittels einer Korpuskularvorstellung durch den französischen Arzt N. LÉMERY (\*1645; †1715), aber auch diese blieb der konkreten Sinneswahrnehmung verhaftet: Säuren seien danach nadelige Teilchen, Basen dagegen poröse. Bis weit ins 18. Jahrhundert hinein kennzeichneten die beiden Ausdrücke Säure und Base daher in der Regel lediglich *beobachtbare Eigenschaften* bestimmter Substanzen.

#### *LAVOISIERS Säure-Definition*

Zwar vertrat der Chemiker und Mediziner G. E. STAHL (\*1660; †1734) bereits zu Beginn des 18. Jahrhunderts die Vorstellung, dass Säuren nicht nur anhand ihrer Eigenschaften, sondern auch hinsichtlich ihrer *Zusammensetzung* zu kennzeichnen seien, jedoch blieb seine Idee, jede Säure enthalte ‘Universal-’ bzw. ‘Ursäure’ (gemeint war damit Schwefelsäure) und gegebenenfalls geringe Mengen an ‘Phlogiston’<sup>5</sup>, recht diffus, zumal es nie gelang, Phlogiston zu isolieren. Erst LAVOISIERS Experimente zur Verbrennung von Nichtmetallen in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts führten zu einer ersten *konzeptuellen* Säure-Definition.

Profitiert hat A. L. LAVOISIER (\*1743; †1794) dabei von der ‘Entdeckung’ eines Gases im Jahre 1774<sup>6</sup>: Der schwedische Apotheker C. W. SCHEELE (\*1742; †1786) und der Engländer J. PRIESTLEY (\*1733; †1804), von Hause aus eigentlich Theologe, berichteten unabhängig voneinander von Experimenten, mit denen sie in der Lage waren, eine ‘Art von Luft’ herzustellen, die eine Verbrennung förderte. SCHEELE bezeichnete diesen Bestandteil der Luft – die Rede ist übrigens von Sauerstoff – aufgrund seiner Eigenschaften als ‘Feuerluft’, PRIESTLEY sprach von *dephlogisticated air*, womit sich beide auf dem Boden der Phlogistontheorie bewegten. LAVOISIER konnte wenig später zeigen, dass sich genau dieses Gas beim Erhitzen von Nichtmetallen oder Metallen an der Luft mit diesen verbindet. Damit ließ sich auch die von ihm beobachtete Massenzunahme bei diesen Experimenten

---

<sup>5</sup> Die Rede von Phlogiston geht wortgeschichtlich vermutlich auf J. J. BECHER (\*1635; †1682) zurück, der von *sulphur phlogiston* als einem Stoff oder Prinzip sprach, welcher/welches „für die Verkalkungsfähigkeit der Metalle“ (Ströker 1982, S. 82) verantwortlich sei und beim Erhitzen von Metallen an der Luft entweiche. Wirklich bekannt wurde Phlogiston als eine Art ‘entzündbares Prinzip’ oder auch ‘brennliches Wesen’ erst durch STAHL und dessen ‘Phlogistontheorie’, die zur vorherrschenden Lehrmeinung im 18. Jahrhundert avancierte. Die Wortverwendungsgeschichte dessen, was mit Phlogiston *genau* bezeichnet wurde, ist allerdings uneinheitlich (vgl. Ströker 1982, S. 97ff.), auch aufgrund einer äußerst problematischen Quellenlage (vgl. Beretta 1999, S. 13; Ströker 1982, S. 87f.).

<sup>6</sup> Mit Gewissheit lässt sich dieses Datum, welches oftmals als ‘Gründungsjahr’ der modernen Chemie gefeiert wird, nicht bestätigen (vgl. Ströker 1982, S. 196, 207ff.).

plausibel erklären, was allerdings eindeutig im Widerspruch zur Phlogistontheorie stand, wonach Metalle beim Erhitzen Phlogiston *verlieren* sollten. LAVOISIERS Verbrennungsexperimente mit den Nichtmetallen Schwefel und Phosphor und seine Deutungen führten nicht nur zu einer allmählichen<sup>7</sup> Überwindung der Phlogistonhypothese zugunsten einer Oxidationstheorie, sondern zeigten unter anderem auch, dass die Verbrennungsgase der genannten Nichtmetalle mit Wasser eine Säure bilden.

Diese Versuche ließen nur den Schluß zu, daß die bei der Verbrennung absorbierte Luft [...] einen *Bestandteil der Säuren* des Schwefels und Phosphors bildete. (Ströker 1982, S. 239; Hervorheb. i. O.)

LAVOISIER verallgemeinerte diese Beobachtungstatsachen und bezeichnete die bei der Verbrennung absorbierte Luft fortan als ‘säurebildendes Gas’ (*gaz oxygène*), was in der deutschen Übersetzung zu dem etwas unglücklichen Wort ‘Sauerstoff’ führte (vgl. Hammer 1995, S. 39). LAVOISIER kam schließlich zu der verallgemeinerten Feststellung, dass Sauerstoff verantwortlich sei für die sauren Eigenschaften einer Substanz. Folglich definierte er Säuren als Stoffe, die aus einem Nichtmetall und Sauerstoff bestehen. Damit löste er sich erstmals in der Chemieggeschichte von einer rein eigenschaftsbestimmten Säuredefinition zugunsten einer strukturellen.

Weil diese Definition die Existenzmöglichkeit sauerstofffreier Säuren ausschloss, sich jedoch in den Folgejahren experimentelle Daten ergaben, die dem widersprachen, zweifelte man zunächst daran, Säuren überhaupt anhand ihrer Zusammensetzung charakterisieren zu können. Nachdem neben der Salzsäure auch die Blausäure zu Beginn des 19. Jahrhunderts als sauerstofffreie Säure entdeckt worden war, konnte auch von einer singulären Ausnahme nicht mehr die Rede sein. Der englische Chemiker H. DAVY (\*1778; †1829) löste LAVOISIERS Definition schließlich ab, indem er im Jahre 1814 postulierte, alle Säuren seien Stoffe, die aus einem oder mehreren Nichtmetallen und Wasserstoff bestehen; der Wasserstoff bestimme dabei die gemeinsamen Eigenschaften der Säuren.

Die Schwachstelle dieser Säuredefinition lag in ihrem überzogenen Anspruch: Mochte für die zu jener Zeit als Säuren angesehenen Stoffe zutreffen, daß alle Säuren Wasserstoff enthielten, so war dieser Satz nicht umkehrbar. Bereits die damals bekannten Kohlenwasserstoffe, aber auch das Wasser selbst zeigten dies deutlich. Es bedurfte einer einschränkenden Präzisierung. (Hammer 1995, S. 39)

Eine solche Präzisierung lieferte J. v. LIEBIG (\*1803; †1873) etwa 25 Jahre später: Es läge nur dann eine Säure vor, wenn Wasserstoff durch Metall ersetzbar sei und wenn eine

---

<sup>7</sup> Der Übergang von der Phlogiston- zur Oxidationstheorie war eher zögerlich und langsam, nicht sprunghaft und abrupt, wie STRÖKER (1982, S. 246ff.) zeigt. Vielmehr generierten Phlogistiker zunächst zahlreiche Hilfs-hypothesen, um den empirischen Befund der *Massenzunahme* bei der Verbrennung von Metallen mit dem gleichzeitigen *Entweichen* von Phlogiston in Einklang zu bringen: Bereits 1772 postulierte z. B. L.-B. GUYTON DE MORVEAU (\*1737; †1816), Phlogiston habe eine negative Masse (vgl. Beretta 1999, S. 34); P. J. MACQUER (\*1718; †1784) argumentierte, dass die „bei der Verbrennung eindringenden Luftteilchen [...] die Phlogistonpartikel freisetzen und selber deren Stelle einnehmen“ (Ströker 1982, S. 249); H. CAVENDISH (\*1731; †1810) reduzierte das Problem zunächst nur auf eine unterschiedliche Terminologie (vgl. ebd., S. 254f.).

wässrige Lösung der Säure aus unedlen Metallen Wasserstoff freisetze. Diese operationale Konkretisierung blieb jedoch auf der Ebene der Phänomene stehen.

### **Die Säure-Base-Definition von ARRHENIUS**

Insbesondere F. A. KEKULÉ (\*1829; †1896) und J. H. VAN 'T HOFF (\*1852; †1911) vertraten in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Auffassung, dass für die makroskopischen Eigenschaften eines Stoffes die kleinsten Teilchen, aus denen er besteht, verantwortlich sind. Diese Überzeugung ließ LIEBIGs pragmatische Säuredefinition als unzureichend erscheinen. Besonders VAN 'T HOFFs Forschungen auf dem Gebiet der kolligativen Stoffeigenschaften, welche nur von der Teilchenanzahl, jedoch nicht von der Art der Zusammensetzung eines Stoffes abhängen (d. h. extensive Größen wie z. B. Gasvolumen, Masse, osmotischer Druck, Dampfdruck- und Gefrierpunktserniedrigung), brachten dem schwedischen Chemiker S. ARRHENIUS (\*1859; †1927) für seine Idee einer elektrolytischen Dissoziation einen entscheidenden Hinweis. Die experimentelle Bestimmung extensiver Größen bei Elektrolyten in wässrigen Lösungen ergab nämlich stets größere Werte, als man vorausberechnete. ARRHENIUS nahm daher an, dass die Moleküle, aus denen man sich Säuren, Basen und Salze aufgebaut vorstellte, beim Lösen in Wasser in Kationen und Anionen 'zerfallen', sie also 'dissoziieren'. So konnte er sich die größeren Werte erklären, weil dadurch natürlich mehr Teilchen in Lösung vorliegen, als man zuvor mutmaßte.

Die Annahme einer elektrolytischen Dissoziation gestattete auch eine neue Sichtweise auf Säuren und Basen: Säuren sind nach ARRHENIUS Stoffe, die in Wasserstoff-Ionen ( $H^+$ ) und Säure-Restionen zerfallen; Basen dagegen dissoziieren unter Bildung von Hydroxid-Ionen ( $OH^-$ ). Der jeweilige Dissoziationsgrad bedingt dabei die Stärke einer Säure bzw. Base (vgl. Mortimer 2001, S. 282).

ARRHENIUS definierte damit zwar erstmalig, was eine Säure bzw. eine Base im submikroskopischen Bereich ist, blieb jedoch letztlich noch der stofflichen Ebene verhaftet, da das Dissoziationsvermögen als Fähigkeit von Stoffen konzeptualisiert wird – HAMMER (1995, S. 40) spricht daher von einem 'konstitutionellen' Säure-Base-Konzept. Problematisch an dieser Definition ist vor allem, dass einerseits der Einfluss des Lösemittels einseitig betrachtet wird und dass andererseits beispielsweise saure Salze (z. B. Aluminiumchlorid,  $AlCl_3$ ) bzw. alkalische Salze (z. B. Natriumcarbonat,  $Na_2CO_3$ ) existieren, die nicht in Wasserstoff-Ionen bzw. Hydroxid-Ionen zerfallen können (vgl. Binnewies *et al.* 2004, S. 200).

### **Die Säure-Base-Definition von BRØNSTED**

J. N. BRØNSTED (\*1879; †1947) und T. M. LOWRY (\*1874; †1936) griffen unabhängig voneinander die bereits benannten Defizite im Modell von ARRHENIUS auf und betrachteten Wasser nicht mehr einfach nur als Lösemittel, sondern als *Reaktionspartner*. Begreift man Wasser als Reaktionspartner, sind Säuren bzw. Basen keine Stoffe mehr, die sich im

Wasser einfach zersetzen, sondern solche, die mit Wassermolekülen *reagieren*. Diese Sicht wurde unter anderem dadurch begünstigt, dass differenziertere Vorstellungen zum Atom- bau die Idee einer Dissoziation in kleinste, geladene und in wässriger Lösung existente Wasserstoff-Ionen ( $H^+$ ), die als reine Protonen interpretiert werden müssten, ins Wanken brachte. Geht man davon aus, dass Wasserstoff-Ionen ( $H^+$ ) mit Wasser ( $H_2O$ ) unter Bildung von Oxonium-Ionen ( $H_3O^+$ ) *reagieren*, welche augenblicklich mit weiteren Wassermolekülen umgeben und damit zu Hydronium-Ionen ( $H_3O^+_{(aq)}$ )<sup>8</sup> hydratisiert werden, dann sind Säuren Stoffe, die an *Wasser als Base* Protonen abgeben können. Basen dagegen können in wässriger Lösung bei einer Reaktion mit *Wasser als Säure* ein Proton aufnehmen. Bei Säure-Base-Reaktionen in wässriger Lösung ist das Wasser somit als amphoterer Reaktionspartner zu betrachten.

Bezogen auf Reaktionen in wässriger Lösung ist speziell die Definition einer Säure der von ARRHENIUS auf den ersten Blick recht ähnlich. Die Definition einer Base zeigt jedoch deutlicher, dass Säuren und Basen nicht unabhängig voneinander gesehen werden können, sondern immer durch eine Protonenübertragungsreaktion miteinander gekoppelt sind und dabei in einem dynamischen chemischen Gleichgewicht stehen. Ferner erlaubt das Konzept von BRØNSTED/LOWRY mit der konsequenten Annahme korrespondierender Säure-Base-Paare auch eine Anwendung auf nichtwässrige, aprotische Lösemittel. Die wohl entscheidendste Erweiterung im Säure-Base-Konzept von BRØNSTED bzw. von LOWRY ergibt sich durch das Donator-Akzeptor-Prinzip:

Die stoffeigenschaftsbezogene Frage, was eine Säure bzw. eine Base sei, ist ersetzt durch eine funktionsbezogene Frage, welche Partikel als Säuren bzw. Basen wirken können. (Hammer 1995, S. 41)

Streng genommen wird daher mit der BRØNSTED/LOWRY-Definition gar nicht mehr die sinnlich wahrnehmbare Ebene der Stoffe erfasst, sondern nur noch die theoretische Ebene der 'kleinsten Einheiten':

Die eigentlichen Säuren und Basen als die Protonenüberträger sind nicht die Stoffe, sondern deren Teilchen. (Ebd., S. 42)

Im allgemeinen Sprachgebrauch der Chemiker wird das Konzept jedoch auch auf Stoffe übertragen, sodass beispielsweise eine wässrige Salzsäure-Lösung durchaus auch nach der BRØNSTED-Definition als 'Säure' (und nicht nur als Protonendonator) bezeichnet wird.

---

<sup>8</sup> Man geht davon aus, dass sich vier Wassermoleküle um ein Wasserstoffproton anlagern, sodass man das so entstehende Teilchen treffender mit der Formel  $H_5O_4^+$  bezeichnen müsste. Es hat sich jedoch eingebürgert, das hydratisierte Wasserstoffproton lediglich mit der Formel  $H_3O^+_{(aq)}$  abzukürzen und es als 'Hydronium-Ion' zu bezeichnen. Oftmals wird dieses Ion auch lediglich mit  $H^+_{(aq)}$  abgekürzt, obgleich Wasserstoff-Ionen in wässriger Lösung nicht existent sein können. Der Index 'aq' unterscheidet es jedoch von einem hypothetischen Wasserstoffproton ( $H^+$ ) bzw. einem Oxonium-Ion ( $H_3O^+$ ) (vgl. Binnewies *et al.* 2004, S. 201; Hammer 1995, S. 41).

### 5.2.2.2 Wege der Erkenntnisgewinnung von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED<sup>9</sup>

#### LAVOISIER

Im Jahre 1778 verfasst LAVOISIER eine Abhandlung<sup>10</sup> (*Considérations générales sur la nature des acides et sur les principes dont ils sont composés*), in der er seine Sauerstoff-Hypothese präzisiert, indem er auf Untersuchungen zu Säuren verweist. Ausgangspunkt für seine Säure-Definition ist die Beobachtung, dass bei der Verbrennung von Nichtmetallen in ‘atembare Luft’ Stoffe entstehen, die mit Wasser sauer reagieren. Außerdem enthalten alle von ihm untersuchten Säuren als Bestandteil ‘atembare Luft’. LAVOISIER nimmt daher an, dass diese auch für die sauren Eigenschaften einer Substanz verantwortlich ist:

Es sind von mir schon vielfach Beweise dafür beigebracht worden, daß die „reinste“, von Priestley „dephlogistisiert“ genannte, Luft ein konstituierender Bestandteil verschiedener Säuren, namentlich der Phosphor-, Vitriol- und Salpetersäure ist. Nach weiteren Erfahrungen kann ich diese Behauptung jetzt dahin erweitern, daß diese reinste, alleinig atembare Luft als eigentlich säurebildendes Prinzip in allen Säuren vorhanden ist und, je nach dem einen oder dem andern mitverbundenem Prinzip, bald die eine und bald die andere Säure bildet. (Lavoisier 1778/1930, S. 35; Hervorheb. i. O.)

Anstelle der Bezeichnung ‘reinste Luft’ wählt LAVOISIER bei seinen weiteren Ausführungen den Ausdruck „säuerndes Prinzip“ (ebd.) bzw. ‘Oxygen’. Seine Vermutung sieht er auch darin bestätigt, dass Säurestärke und Gehalt an ‘säuerndem Prinzip’ korrelieren, so dass die jeweils stärkere Säure mehr dieses ‘Prinzips’ (sprich Sauerstoff) enthält, wie dies z. B. bei salpetriger Säure ( $\text{HNO}_2$ ) und Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) oder bei schwefliger Säure ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) und Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) der Fall ist. Innerhalb seines Gedankenganges durchaus stringent nimmt er ferner an, dass das ‘säuernde Prinzip’ grundsätzlich übertragbar sein muss:

Ich glaube indessen imstande zu sein im folgenden zu zeigen, daß es keine Säure gibt, mit Ausnahme vielleicht der Seesalzsäure<sup>11</sup>, die sich nicht zerlegen und wieder zusammensetzen ließe und der man das säuernde Prinzip nicht entziehen und wiedergeben könnte.

<sup>9</sup> Die Recherche und Zusammenstellung der meisten Originalquellen, auf die ich hier zurückgreife, hat dankenswerterweise Frau B. BUCHEN in einer von mir intensiv mitbetreuten Staatsexamensarbeit übernommen (vgl. Buchen 2004, S. 55-82). Daraus resultiert auch eine gemeinsame Veröffentlichung inklusive Online-Ergänzungen (vgl. Hofheinz & Buchen 2006a; 2006b; 2006c).

<sup>10</sup> Eine deutsche Übersetzung dieser Abhandlung (Lavoisier 1778/1930) mit dem Titel ‘Allgemeine Betrachtungen über die Natur der Säuren und über die Prinzipien, aus denen sie zusammengesetzt sind’ ist erst 1930 in einem Sammelband erschienen und wird dort auf das Jahr 1778 datiert. Nach dieser Ausgabe zitiere ich im Folgenden. Laut BERETTA (1999, S. 52) erschien die Abhandlung jedoch erst im Jahre 1779.

<sup>11</sup> Gemeint ist damit Salzsäure. LAVOISIER war sich demnach dieser Ausnahme, die seine Definition hätte widerlegen können, durchaus bewusst. Er war jedoch, wie STRÖKER (1982, S. 241) vermutet, nicht ‘betriebsblind’, sondern agierte methodisch sogar durchaus stringent, indem er an seiner bewährten Theorie festhielt: „Daß sich bei der Analyse der Salzsäure kein Sauerstoff ausfindig machen ließ, mußte noch nicht bedeuten, daß er darin nicht vorhanden war. Möglicherweise war seine Bindung an einen ihrer Bestandteile so fest, daß er mit den bisher erprobten analytischen Mitteln nicht freigesetzt werden konnte.“ (Ebd., S. 241f.)

Solche Arbeiten verlangen die verschiedenartigsten Hilfsmittel und die für die Erzielung der hierher gehörigen Verbindungen nötigen Verfahren variieren mit den in Behandlung genommenen Substanzen. Für die einen muß man zur Verbrennung schreiten, sei es in der atmosphärischen Luft oder in der reinen Luft, wie z. B. beim Schwefel, dem Phosphor oder bei der Kohle. Diese Substanzen nehmen bei der Verbrennung das säuernde Prinzip, das Oxygen, auf und verwandeln sich dadurch in Vitriolsäure<sup>12</sup>, Phosphorsäure, Kreidesäure (fixe Luft)<sup>13</sup>. Für andere Substanzen genügt es, sie einfach der Luft unter geringer Erwärmung auszusetzen, was bei allen der sauren Gärung fähigen vegetabilischen Stoffen anwendbar ist. Bei all diesen Arbeitsweisen wird eine gewisse Menge reinster Luft absorbiert und das damit aufgenommene säuernde Prinzip erzeugt durch seine Bindung an die passende Substanz die betreffende Säure. Es ist aber auch in vielen Fällen erforderlich, den Weisungen der Verwandtschaftslehre zu folgen und davon geleitet das säuernde Prinzip von einer bereits bestehenden Verbindung desselben auf eine andere zu übertragen. (Ebd., S. 36f.)

Nach diesem Verständnis lässt sich eine Säure dadurch bilden, dass ein Stoff bei der Verbrennung das 'säuernde Prinzip' aufnimmt. Darüber hinaus sei es aber auch möglich, dieses 'Prinzip' wieder aus einer Verbindung zu entfernen und auf einen anderen Stoff zu übertragen. Auf diese Weise müsste dann ebenfalls eine Säure entstehen.

Zur Überprüfung dieser Annahme beschreibt LAVOISIER einen damals bekannten Versuch von BERGMAN<sup>14</sup>, bei dem man Zucker mit Salpetersäure reagieren lässt. Man ging seinerzeit davon aus, dass Zucker in Gegenwart von Salpetersäure *zersetzt* wird. Falls LAVOISIERS Annahme jedoch stimmt, müsste das in der Salpetersäure enthaltene 'säuernde Prinzip' bei diesem Experiment auf den Zucker *übertragen* werden, wobei folglich Zuckersäure entstehen müsste (ebd., S. 37). LAVOISIER beschreibt sein entsprechendes Experiment recht genau:

In eine kleine gläserne Retorte wurden 4 Gros Zucker getan und mit einer Mischung von 2 Unzen Salpetersäure mit 2 Unzen Wasser übergossen. Dann wurde die Retorte über das freie Feuer eines kleinen Ofens gesetzt. An den recht langen Hals derselben ward eine doppelt tubulierte, 8 Unzen, 7 Gros, 24 Grains destilliertes Wasser enthaltende Flasche angefügt, die durch ein Glasrohr mit einem gewöhnlichen, chemisch-pneumatischen Apparat in Verbindung stand. (Ebd., S. 38)<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup> Durch thermische Zersetzung von 'Vitriolen' (z. B. Kupfersulfat/'Kupfervitriol') gewann man früher 'Vitriolsäure' ('Vitriolöl'); gemeint ist daher Schwefelsäure.

<sup>13</sup> Der Schotte J. BLACK (\*1728; †1799) entdeckte im Jahre 1754, dass beim Erhitzen von *magnesia alba* (Magnesiumcarbonat) eine besondere 'Luft' (Kohlenstoffdioxid) entsteht, die einerseits erstickend wirkt und andererseits wieder an Stoffe gebunden werden kann. BLACK nannte sie daher 'fixe Luft' (*fixed air*). Die entsprechende Säure (Kohlensäure) lässt sich auch aus Kreide (Calciumcarbonat) gewinnen, daher der Name Kreidesäure.

<sup>14</sup> T. O. BERGMAN (\*1735; †1784) und C. W. SCHEELE stellten 1776 unabhängig voneinander aus Rohrzucker und Salpetersäure erstmals Oxalsäure her, die damals Zuckersäure genannt wurde. Heute versteht man unter Zuckersäure jedoch Glucarsäure (Oxidationsprodukt der Reaktion von Glucose mit Salpetersäure).

<sup>15</sup> 'Gros' (frz. Bezeichnung für den Groschen), 'Unze' (zu lat. *uncia* = 1/12) und 'Grain' (zu lat. *granum* = Korn) sind alte Gewichtseinheiten, die je nach Region und Branche oftmals unterschiedlich verwendet wurden (vgl. Kahnt & Knorr 1987). Speziell bei der Einheit 'Unze' schwankt der absolute Wert. Es ist zu vermuten, dass sich LAVOISIER auf die nach der französischen Stadt Troyes benannte und in Großbritannien verwendete Troy-Unze (*troy ounce*) bezieht (vgl. ebd., S. 326; auch Apotheker-Unze genannt), auch um eine Vergleichbarkeit seiner Werte mit PRIESTLEY zu erreichen. Eine Umrechnung (ebd., S. 107, 110, 331) in das metrische System ergibt dann: 1 Grain = 0,0531 Gramm; 1 Gros = 72 Grains = 3,824 Gramm; 1 Unze = 31,1035 Gramm.

LAVOISIER nutzt offensichtlich eine Destillationsapparatur und leitet die entstehenden gasförmigen Reaktionsprodukte durch eine Art Gaswaschflasche, die mit Wasser gefüllt ist. Auch seine Beobachtungen hält er sehr genau fest:

Der Zucker löste sich ganz ruhig. Sowie die Flüssigkeit sich aber auf 40° bis 50° Réaumur<sup>16</sup> erwärmt hatte, begann sie heftig aufzukochen und Dämpfe von stärkster und reinsten Salpeterluft, wie ich sie noch nie gesehen habe, auszustoßen. Man muß bei dieser Operation sehr, sehr langsam vorgehen, damit die sich bildende Zuckersäure nicht zerstört werde und man nicht anstatt der Salpeterluft ein Gemenge von brennbarer Luft und luftförmiger Kreidesäure erhalte. Man muß darum sofort, da das Aufkochen beginnt, alles Feuer entfernen und es nur dann wieder heranbringen, wenn es nötig ist, wenn das Kochen nachgelassen hat. Nach einiger Zeit, etwa einem Drittel oder der Hälfte der Operationsdauer, hört die Salpeterluft auf rein überzugehen, sie wird durch sich fortan immer vermehrende Kreidesäure verunreinigt. Sobald nichts weiter sich zeigt als Kreidesäure und brennbare Luft, so ist die Operation beendet. (Ebd.)

Mit 'salpeteriger Luft' sind nitrose Gase gemeint. 'Fixe Luft' bzw. gasförmige 'Kreidesäure' ist, wie bereits erwähnt, die damalige Bezeichnung für Kohlenstoffdioxid. Die Bezeichnung 'brennbare Luft' (*inflammable air*) geht auf H. CAVENDISH<sup>17</sup> zurück und meint Wasserstoff.<sup>18</sup> LAVOISIER ist sich offenbar bewusst, dass die Bildung von Kohlenstoffdioxid ein Hinweis auf einen bereits einsetzenden Zersetzungsprozess der Oxalsäure ist.

Er fängt die Gase fraktioniert auf und hält das Ergebnis tabellarisch fest (siehe Abbildung 6). Weil ein Zoll damals 2,71 cm entsprachen (vgl. Kahnt & Knorr 1987, S. 352), sind ein Kubikzoll demnach etwa 19,9 cm<sup>3</sup> bzw. 19,9 ml. Somit hat LAVOISIER ca. 6 Liter gasförmige Produkte erhalten, jedoch keine 'reinste Luft' bzw. kein 'säuerndes Prinzip'. Dieses muss, so folgert er, auf den Zucker übergegangen sein und mit diesem in der Retorte Zuckersäure gebildet haben.

Salpeterige Luft . . . . .	190 Kubikzoll
Fixe Luft (Kreidesäure) . . . . .	90 „
Brennbare Luft . . . . .	25 „
Zusammen 305 Kubikzoll.	

**Abbildung 6:** LAVOISIERS Versuchsergebnisse bei der Reaktion von Zucker mit Salpetersäure (Aus: Lavoisier 1778/1930, S. 39)

<sup>16</sup> Die Temperatureinheit Réaumur geht auf den Franzosen R.-A. F. DE RÉAUMUR (\*1683; †1757) zurück. Die im Text genannten 40-50° Réaumur entsprechen 50-60° Celsius.

<sup>17</sup> CAVENDISH hielt dieses brennbare Gas, welches er im Jahre 1766 bei der Reaktion von Mineralsäuren mit unedlen Metallen 'entdeckte', zunächst für Phlogiston, welches aus dem Metall entweichen sollte. Prinzipiell war Wasserstoff bereits lange bekannt, jedoch bislang nicht systematisch untersucht worden (vgl. Ströker 1982, S. 189ff.).

<sup>18</sup> Die Entstehung von Wasserstoff bei der thermischen Zersetzung der Oxalsäure ist eher ungewöhnlich. Möglicherweise handelte es sich bei dem brennbaren Gas aber auch um Kohlenstoffmonoxid, welches zu Zeiten LAVOISIERS noch nicht erforscht war.

In der Retorte fand ich 2 Unzen, 6 Gros 18 Grains einer durchsichtigen, farblosen Säure, wie sie B e r g m a n beschrieben hat. Das Wasser in der vorgelegten Flasche hatte sich um 1 Unze, 2 Gros, 12 Grains vermehrt, war schwach sauer und hatte einen schwachen, salpeterigen Geruch. (Ebd.; Hervorheb. i. O.)

Um exakter bestimmen zu können, wie viel des ‘säuernden Prinzips’ von der Salpetersäure auf den Zucker übergegangen ist, ermittelt LAVOISIER – methodisch stringent – auch den Anteil an nicht umgesetzter, per Destillation in die Flasche übergegangener Salpetersäure (vgl. ebd.). Dazu untersucht er die in der Flasche kondensierte, schwach saure, ‘salpeterig’ riechende Flüssigkeit hinsichtlich Menge und Beschaffenheit per Rücktitration mit ‘fixem, vegetabilischen Alkali’<sup>19</sup>. Aus den Ergebnissen schließt er, dass von den eingesetzten 2 Unzen Salpetersäure (= 61,2 g) nur 1 Unze, 4 Gros, 15 1/3 Grains (= 46,2 g) verbraucht worden sind. Da er aus vorhergehenden Untersuchungen weiß, dass 1 Unze Salpetersäure 120 Kubikzoll ‘säuerndes Prinzip’ enthält, müssen nach seiner Berechnung ca. 183 Kubikzoll (ca. 3,6 Liter) ‘säuerndes Prinzip’ an den Zucker gebunden worden sein:

Es sind demnach B e r g m a n sowohl als auch alle diejenigen, die nach ihm über diesen Gegenstand geschrieben haben, im Irrtum gewesen, wenn sie die besprochene Säure als aus der Zersetzung des Zuckers entstanden betrachten. Es ist im Gegenteil sicher, daß diese Säure eine Verbindung des Zuckers mit fast einem Drittel ihres Gewichts säuerndem Prinzip ist. (Ebd., S. 40; Hervorheb. i. O.)

Um sicher zu gehen, wiederholt LAVOISIER das Experiment. Auch bei diesem zweiten Versuch findet er erneut ähnliche Werte. Schließlich wandelt er bei einem weiteren Male das Experiment gegen Ende hin ab:

Nachdem keine Salpeterluft mehr übrigging und in der Retorte nur noch die Zuckersäure übriggeblieben war, entfernte ich die Flasche, verband die Retorte mittels der Glasröhre direkt mit der Glocke in der pneumatischen Wanne und brachte ein gelindes Feuer unter die Retorte. So fing ich die sämtliche Luft, die sich nun zu entwickeln begann, direkt in der Glocke auf, bis zuletzt, nachdem das Feuer etwas verstärkt worden war, nichts mehr als ein kohliges Beschlag in der Retorte zu sehen war. Das übergegangene elastische Fluidum habe ich in zehn Portionen gesondert aufgefangen und folgendes Endresultat erhalten. (Ebd., S. 41)

LAVOISIER hat offensichtlich eine thermische Zersetzung der Zuckersäure durchgeführt. Bei dieser müsste sich das ‘säuernde Prinzip’ eigentlich wieder nachweisen lassen. Die Tabelle (siehe Abbildung 7) zeigt jedoch, dass bei der Zersetzung der Zuckersäure, kein ‘säuerndes Prinzip’ bzw. keine ‘reinste Luft’ (Sauerstoff) entstanden ist. Diesen unerwarteten Befund erklärt er sich folgendermaßen:

Die vorhergehenden Versuche haben gezeigt, daß sie [gemeint ist die ‘reinste Luft’] sich mit dem Zucker zu Zuckersäure verbunden hat; aus dem jetzt Besprochenen ersehen wir aber, daß, nachdem die Zuckersäure fertig geworden war und das Feuer etwas ermäßigt worden ist, diese Zucker-

---

<sup>19</sup> Mit ‘fixem, vegetabilischen Alkali’ ist vermutlich Pottasche (Kaliumcarbonat,  $K_2CO_3$ ) gemeint, welche man durch Verbrennung von Pflanzen, Auslaugen der Asche mit Wasser und anschließendem Eindampfen der Lösung gewann (vgl. Krünitz 1795/1806, Stichwort ‘Laugen=Salz’).

säure sich fast gänzlich in Kreidesäure, fixe Luft und brennbare Luft gespalten hat. Was ist aber die Kreidesäure? Das habe ich anderwärts bereits gezeigt; sie ist eine Verbindung der Kohlenmaterie mit Oxygen, dem säuernden Prinzip, das von der Salpetersäure sich abgespalten hat und die große am Ende der Operation gebildete Menge luftartiger Kreidesäure bildet. (Ebd.)

Portion	Salpeterluft	Kreidesäure luftförmig	Brennbare Luft	Zusammen
1.	$56\frac{1}{3}$	—	—	$56\frac{1}{3}$
2.	$49\frac{6}{10}$	6	—	$55\frac{6}{10}$
3.	$23\frac{1}{2}$	$22\frac{1}{2}$	$4\frac{3}{4}$	$50\frac{2}{3}$
4.	$21\frac{5}{10}$	$30\frac{3}{3}$	$4\frac{1}{3}$	$56\frac{4}{10}$
5.	$14\frac{6}{10}$	$45\frac{1}{2}$	$2\frac{9}{10}$	63
6.	15	$39\frac{1}{4}$	$7\frac{1}{2}$	$61\frac{3}{4}$
7.	—	$28\frac{1}{3}$	$8\frac{1}{4}$	$36\frac{3}{5}$
8.	—	48	$11\frac{4}{10}$	$59\frac{1}{10}$
9.	—	$32\frac{1}{10}$	8	$40\frac{4}{10}$
10.	—	$25\frac{5}{10}$	17	$42\frac{4}{10}$
Zusammen	$180\frac{13}{30}$	$277\frac{101}{120}$	$64\frac{1}{20}$	$522\frac{13}{40}$

**Abbildung 7:** LAVOISIERS ermittelte Gasanteile in Abhängigkeit von der Fraktion bei der thermischen Zersetzung von Zuckersäure (Aus: Ebd., S. 42)

LAVOISIER findet das ‘säuernde Prinzip’ (Sauerstoff) in gebundener Form in der ‘Kreidesäure’ (Kohlenstoffdioxid) wieder. Damit sieht er es als bewiesen an, dass dieses Prinzip (also Sauerstoff) auf den Zucker übertragen wurde, wodurch – nach seinem Verständnis – eine Säure gebildet wurde. Durch die Übertragung des ‘säuernden Prinzips’ auch auf den ‘vegetabilischen’ und damit pflanzlichen Bereich müssten sich, so folgert LAVOISIER, weit mehr Säuren finden lassen, als sie zu der damaligen Zeit bekannt waren.

Alles, was hier über den Zucker ausgesagt ist, kann, wie ich gesagt habe, auf viele tierische und pflanzliche Substanzen übertragen werden. Aus ihrer Verbindung mit Salpetersäure, oder richtiger, mit dem in ihr enthaltenen säuernden Prinzip, gehen verschiedenartige Säuren hervor, von denen viele sicherlich einander ähnliche Eigenschaften haben, doch aber verschiedenartige Verbindungen erzeugen. (Ebd.)

Am Ende der Abhandlung fasst LAVOISIER seine Ergebnisse in sechs Punkten zusammen:

Aus meinen in diesen als auch in früheren Abhandlungen dargelegten Versuchen und Überlegungen geht folgendes Ergebnis hervor:

1. Wenn das säuernde Prinzip, Oxygen, sich mit irgendeinem Körper – die meisten Metalle ausgenommen – ohne ihn zu zersetzen, verbindet, so wird dieser in eine eigenartige Säure umgewandelt, die, abgesehen von den allen Säuren gemeinschaftlichen Eigenschaften, ihren besondern, ihr eigentümlichen Charakter hat.

2. Mit der metallischen Substanz bildet dieses Prinzip in den allermeisten Fällen die unter dem Namen: Metallalk bekannten Verbindungen. Ich muß aber hinzusetzen, daß es selbst in dieser Klasse von Substanzen mehrere, wie Arsenik, Eisen<sup>20</sup> und vielleicht noch einige andere gibt,

<sup>20</sup> Saure Metalloxide sind in der Tat recht selten. LAVOISIER konnte rein phänomenologisch aber offenbar sowohl die nur in wässrigen Lösungen existente Arsenige Säure ( $H_3AsO_3$ ), die beim Eindampfen ihr Anhydrid, also das von LAVOISIER angesprochene ‘Arsenik’ (Arsen(III)-oxid,  $As_2O_3$ ) abscheidet, als auch die saure Wir-

die mit einem Überschuß des säuernden Prinzips, des Oxygens, sich verbinden und dann nicht bloß den Salzcharakter, sondern auch denjenigen der Säuren annehmen und so wahre Lösungsmittel werden.

3. Das säuernde Prinzip besitzt, wie alle andern, seine besonderen Verwandtschaftsgrade. So ist es z.B. mit dem Zucker und mit den meisten pflanzlichen und tierischen Stoffen viel stärker verwandt als mit der Salpeterluft, infolgedessen es diese verläßt, um mit anderen Substanzen sich zu Säuren zu vereinigen.

4. Wieviele Säuren sich bilden können, kann man jetzt nicht voraussagen, da man noch nicht alle Substanzen kennt, die sich mit dem säuernden Prinzip verbinden, und auch die Mittel noch nicht hat, die Verbindungen herbeizuführen.

5. Die Salpetersäure kennen wir jetzt schon einigermaßen genauer als sonst. Daß sie aus den beiden Prinzipien, der Salpeterluft und dem Säuernden, besteht, ist so gut wie bewiesen. Sie ist darum zu einem wertvollen analytischen Werkzeug in der Chemie geworden, das noch zu großen Erkenntnissen [Fehler i. O.] auf dem Gebiete der Pflanzenstoffe führen wird.

6. Nach den in dieser Abhandlung mitgeteilten Versuchen ist es wahrscheinlich, daß die Kohlenmaterie in den Pflanzen erzeugt wird und nicht ein vom Feuer gebildetes Produkt ist, wie die Chemiker bis jetzt angenommen haben. (Ebd., S. 43f.; Hervorheb. i. O.)

LAVOISIER hat versucht zu beweisen, dass sich ‘Oxygen’ (Sauerstoff) nicht nur als Bestandteil aller Säuren identifizieren lässt, sondern dass er auch für die sauren Eigenschaften eines Stoffes verantwortlich ist. Diese Hypothese wurde im Jahre 1814 von H. DAVY widerlegt. LAVOISIER ging ferner davon aus, dass die Verbindung eines (nichtmetallischen) Stoffes mit dem ‘säuernden Prinzip’ eine ‘eigenartige’ Säure liefere, die somit charakteristische Eigenschaften aufweist. Auch nach heutigem Verständnis trifft es zu, dass Nichtmetalloxide mit Wasser Säuren bilden. Aufgrund der stärkeren ‘Verwandtschaft’ zu pflanzlichen und tierischen Substanzen, wie es LAVOISIER ausdrückte, ließe sich das ‘säuernde Prinzip’ aus der Salpetersäure entfernen und auf pflanzliche bzw. tierische Substanzen übertragen. Daraus folgerte LAVOISIER, dass Kohlenstoffverbindungen nicht nur bei einer Verbrennung entstehen, sondern auch von Pflanzen gebildet werden. Auch wenn sich seine Säure-Definition letztlich als unhaltbar erwies, gab diese dennoch den Anstoß, in der Folgezeit zahlreiche – wie man heute sagen würde – organische Säuren zu finden (vgl. Ströker 1982, S. 241). Denn seine Annahme, dass „die Kohlenmaterie in den Pflanzen erzeugt wird und nicht ein vom Feuer gebildetes Produkt ist“ (Lavoisier 1779/1930, S. 44), ist durchaus zutreffend.

Kategorisiert man LAVOISIERS methodisches Vorgehen in der Rückschau und presst es in eine sicherlich idealisierte tabellarische Schrittfolge (wobei LAVOISIERS Veröffentlichung selbst wahrscheinlich bereits eine ‘Glättung’ des realen Forschungshandelns darstellte), bei der mit Blick auf Schule auch eine heute gebräuchlichere Terminologie verwendet wird, ergibt sich folgendes Bild (siehe Tabelle 19):

---

kung von Kationensäuren, namentlich von hydratisierten Eisen(III)-ionen ( $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}_{(\text{aq})}$ ) (vgl. Binnewies *et al.* 2004, S. 495, 665f.).

<b>methodischer Schritt</b>	<b>Inhaltliche Skizzierung</b>
<b>Staunen/sich wundern</b>	Verbrennungsprodukte von Nichtmetallen reagieren beim Einleiten in Wasser sauer.
<b>Fragestellung entwickeln</b>	Welche Gemeinsamkeit haben alle Säuren?
<b>Hypothese bilden</b>	Alle Säuren enthalten Sauerstoff; Sauerstoff ist verantwortlich für die sauren Eigenschaften eines Stoffes.
<b>Experiment planen und durchführen</b>	Demnach kann man eine Säure herstellen, indem man Sauerstoff aus einer Verbindung entfernt und auf einen anderen Stoff überträgt. Bei der Reaktion von Zucker mit Salpetersäure müsste beispielsweise Zuckersäure entstehen.
<b>Beobachtung</b>	Es entweichen braune Dämpfe.
<b>Auswertung</b>	Die Untersuchung der Gase zeigt ein Gemisch von Stickoxiden, Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff.
<b>Daten interpretieren</b>	Es entsteht kein Sauerstoff, d. h., der Sauerstoff muss an den Zucker gebunden worden sein.
<b>Neue Hypothese</b>	Bei der thermischen Zersetzung der Zuckersäure muss Sauerstoff frei werden und sich so als Bestandteil von Zuckersäure nachweisen lassen.
<b>Bestätigungsexperiment</b>	Thermische Zersetzung von Zuckersäure.
<b>Beobachtung/Auswertung</b>	Sauerstoff lässt sich nicht nachweisen. Es entsteht aber Kohlenstoffdioxid.
<b>Erklärung: Rückgriff auf Bekanntes</b>	Kohlenstoffdioxid besteht aus „Kohlenmaterie“ und Sauerstoff, d. h., der Sauerstoff befindet sich im Kohlenstoffdioxid.
<b>Schlussfolgerung/ Vorhersage</b>	Kohlenstoffverbindungen entstehen nicht bei der Verbrennung, sondern werden von Pflanzen erzeugt.

**Tabelle 19:** Das naturwissenschaftliche Vorgehen von LAVOISIER (Nach: Hofheinz & Buchen 2006c)

## ARRHENIUS

Bis zum Jahre 1880 waren die genauen Vorgänge bei einer Elektrolyse noch weitgehend ungeklärt (vgl. Gröger 1996, S. 72ff.). Es war zwar bekannt, dass Salzlösungen den elektrischen Strom leiten können, doch es fehlte eine schlüssige Erklärung für das Zustandekommen der Leitfähigkeit. Die Mehrzahl der Forscher nahm an, dass die gelösten Salze durch die Kraft des Stromes in ‘Teilmoleküle’ gespalten wurden, denen M. FARADAY (\*1791; †1867) in den 1830ern den Namen ‘Ionen’ gab. Ionen sollten als Träger positiver bzw. negativer Ladungen verantwortlich für die beobachtete Leitfähigkeit sein. Im Gegensatz zur heutigen Vorstellung sollten sie jedoch erst durch den Einfluss des Stromes entstehen. Die experimentell festgestellte unterschiedliche Leitfähigkeit verschiedener Salze konnte so allerdings nicht erklärt werden.

Im Jahre 1883 widmete sich S. ARRHENIUS in seiner Dissertation<sup>21</sup> der Untersuchung der galvanischen Leitfähigkeit von ‘äußerst verdünnten Elektrolyten’, d. h. solchen, die weitaus verdünnter sind (bis zu einer 1/23100-normalen Verdünnung im Falle einer Natriumchlorid-Lösung; vgl. Arrhenius 1883/1907, S. 38), als sie beispielsweise zuvor schon von H. F. E. LENZ (\*1804; †1865) und F. W. KOHLRAUSCH (\*1840; †1910) untersucht worden waren (vgl. auch Gröger 1996, S. 81). ARRHENIUS notiert dazu:

Als ich im Winter 1882/83 daran ging, Untersuchungen über die Leitfähigkeit verdünnter Lösungen vorzunehmen, schien es mir für den Erfolg dieser Versuche von größter Wichtigkeit, zuvor die äußerst verdünnten wässrigen Lösungen in bezug auf ihr elektrisches Leitvermögen zu untersuchen. Nun ist aber in diesem Punkte die physikalische Literatur sehr lückenhaft. Die einzigen veröffentlichten Untersuchungen über verdünnte Lösungen stammen von *Lenz* [...] her; aber einerseits ist das in seiner Arbeit untersuchte Material auf die Verbindungen von Kalium, Natrium, Ammonium und Wasserstoff beschränkt, andererseits ist auch die Verdünnung dieser Lösungen nicht so weit getrieben worden, wie ich es für wünschenswert halte. Versuche, diese Frage zu lösen, scheinen auch von *Kohlrausch*, der sich um dieses Gebiet sehr verdient gemacht hat, angestellt worden zu sein. Er erwähnt häufig die interessanten und merkwürdigen Verhältnisse, die er in stark verdünnten Lösungen beobachtet hat, und auf die in einer andern Abhandlung zurückzukommen er sich vorbehält. [...] Da sechs Jahre seit diesem Vorbehalt verflossen sind, ohne daß ein entsprechender Bericht veröffentlicht ist, habe ich mich nicht verpflichtet gefühlt, auf die Veröffentlichung der folgenden Untersuchungen zu verzichten, umsoweniger als *Kohlrausch* angibt, seine Resultate stimmten mit denen von *Lenz* überein, während die Schlüsse, zu denen ich gelangt bin, sehr wenig mit den in der Arbeit von *Lenz* dargelegten gemein haben. (Arrhenius 1883/1907, S. 3f.; Hervorheb. i. O.)

---

<sup>21</sup> Die beiden Teile seiner Dissertation wurden im Jahre 1883 eingereicht und auch zum Druck angenommen. Die eigentliche Veröffentlichung erfolgte jedoch erst ein Jahr später in einem Sammelband der Schwedischen Akademie der Wissenschaften. Die beiden Begutachter der Dissertation, der Physiker T. R. THALÉN (\*1827; †1905) und der Chemiker P. T. CLEVE (\*1840; †1905) der Universität Uppsala, vergaben lediglich die Note *non sine laude*, womit ARRHENIUS zwar der Dokortitel zuerkannt wurde, ihm jedoch die Chance auf eine Lehrerbefreiung zunächst verwehrt blieb. PALMAER (1929, S. 450) geht davon aus, dass dies primär den „revolutionierenden Ansichten“ (ebd.), die ARRHENIUS in seiner Dissertation vertrat, geschuldet war. Erst ein anerkennender Besuch des am Polytechnikum zu Riga lehrenden Physikochemikers W. OSTWALD (\*1853; †1932), der das Potenzial der Forschungsergebnisse erkannt hatte und ARRHENIUS daher auch eine Stelle in Riga anbot, verschafften ihm noch im Jahre 1884 eine Dozentur in Uppsala.

Im Folgenden beschreibt ARRHENIUS die bei seinen Untersuchungen verwendeten Instrumente sowie seine Versuchsanordnung und -durchführung. Seine Methode beruht auf der Messung des ohmschen Widerstandes unterschiedlich verdünnter Lösungen. Über sein experimentelles Vorgehen schreibt er:

Jede Beobachtungsreihe bezweckt, die Leitfähigkeit mehrerer verschiedener Lösungen eines und desselben Salzes zu untersuchen. Zuerst wägt man eine bestimmte Menge des Präparates und schüttet es in das Widerstandsgefäß, dann fügt man ungefähr 35 ccm destilliertes Wasser hinzu und wägt das Widerstandsgefäß mit seinem Inhalt, wodurch man das Gewicht des Wassers und mithin die Konzentration bestimmt. Dann beschleunigt man die Lösung des Präparates, indem man das innere System mehrere Male im Widerstandsgefäß hebt und senkt und dann die Flüssigkeit in derselben Weise schüttelt. (Ebd., S. 18f.)

ARRHENIUS ist mit seinen ersten Messwerten allerdings nicht zufrieden:

Die erste Messung wurde in dieser Weise mit einer Lösung (NaCl) [...] durchgeführt. Die hierbei erhaltenen Werte waren sehr unregelmäßig, was mich auf den Gedanken brachte, daß die Art der Ausführung fehlerhaft sei. Dieser Fehler konnte kaum von etwas anderem herrühren, als von schlechtem Umrühren [...]. (Ebd., S. 19)

Nachdem dieser Fehler behoben ist, zeigen die gefundenen Werte eine auffallende Regelmäßigkeit. Die einzelnen Versuchsreihen sowie die aus den Widerständen berechneten Leitfähigkeiten stellt ARRHENIUS tabellarisch zusammen: Zunächst gibt er die Änderung der Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Verdünnung für alle gemessenen Lösungen an (ebd., S. 27ff). In einer zweiten Tabelle sortiert er anschließend seine Ergebnisse nach gemessenen Leitfähigkeiten, indem er die entsprechenden Verdünnungsexponenten<sup>22</sup> angibt (ebd., S. 32f.). Auffallend und interpretationsbedürftig ist dabei das Ergebnis, dass die Leitfähigkeit einer Elektrolytlösung mit steigender Verdünnung zunimmt.

In Kapitel III des ersten Teils seiner Dissertation diskutiert ARRHENIUS seine Ergebnisse anhand von 13 Thesen (ebd., S. 44ff.). Zunächst formuliert er die für die damalige Zeit durchaus akzeptierte Ansicht, dass bei identischen Randbedingungen die elektrische Leitfähigkeit verdünnter Lösungen von Elektrolyten proportional der Konzentration an Gelöstem sei. Er gibt jedoch zu bedenken, dass dies nur dann gelten könne, wenn (a) der Elektrolyt mit dem Lösemittel nicht reagiere, was aber beispielsweise bei sauren Salzen der Fall sei, und wenn (b) die gelösten Elektrolyte untereinander nicht reagierten, wie dies aber beispielsweise im Falle einer Säure und einer Base geschehe. Aufgrund dieser Überlegungen und der experimentell festgestellten Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit der untersuchten Lösungen bei steigender Verdünnung modifiziert er die genannte, gängige Sichtweise der Zeit in seiner vierten These, die bereits den Grundgedanken der Dissoziations- theorie enthält:

---

<sup>22</sup> Unter einem Verdünnungsexponenten versteht er, „in welchem Verhältnis die Leitfähigkeit einer Salzlösung sich vermindert, wenn diese durch Wasser auf ihr doppeltes Volumen verdünnt wird“ (Arrhenius 1883/1907, S. 25). Vgl. zur Besprechung der von ARRHENIUS gewonnenen Ergebnisse auch GRÖGER (1996, S. 82ff.).

4. Wenn bei der Verdünnung irgend einer Lösung die Leitfähigkeit sich nicht proportional der Menge des Elektrolyten ändert, so muß durch den Zusatz des Lösungsmittels eine chemische Veränderung in der Lösung stattgefunden haben. (Ebd., S. 45)

Diese in der Lösung stattfindende ‘chemische Veränderung’ – wenige Seiten später spricht ARRHENIUS auch deutlich unumwundener von einer ‘chemischen Reaktion’ (ebd., S. 58) – präzisiert er in seinen Thesen 11 bis 13:

11. Die wässerigen Lösungen aller Elektrolyte enthalten den gelösten Elektrolyten mindestens teilweise in Form molekularer Komplexe. [...]
12. Verdünnt man die Lösung eines Normalsalzes [d.h. eines weder sauren noch basischen Salzes], so nähert sich die Komplexität asymptotisch einer unteren Grenze [...]. Bezüglich dieser Grenze wollen wir bemerken, daß die molekulare Leitfähigkeit aller Normalsalze sich bei größter Verdünnung deutlich demselben Wert nähert. [...]
13. Die Grenze, der sich die Komplexität eines gelösten Normalsalzes bei äußerster Verdünnung nähert, ist für alle normalen Salze dieselbe. Wahrscheinlich wird diese Grenze erst erreicht, wenn die Salze in einfache Molekeln, wie sie durch die chemische Molekularformel dargestellt werden, gespalten sind. (Ebd., S. 57)

Das Ansteigen der elektrischen Leitfähigkeit bei zunehmender Verdünnung der Lösung erklärt sich ARRHENIUS demnach, indem er annimmt, dass die Moleküle eines gelösten Stoffes zu Komplexen aggregieren, die jedoch bei steigender Verdünnung immer weiter zerfallen, bis schließlich alle Moleküle unabhängig voneinander in Lösung vorliegen. Bei diesem Verdünnungsgrad ist nach seiner Auffassung dann auch eine maximal mögliche Leitfähigkeit erreicht (vgl. auch Gröger 1996, S. 83f.).

Während die im ersten Teil der Arbeit aufgestellten Thesen in erster Linie unmittelbar aus Versuchen abgeleitet worden sind, beinhaltet der zweite Teil (Arrhenius 1883/1907, S. 59-145) mit dem Titel ‘Chemische Theorie der Elektrolyte’ theoretische Überlegungen zu den im ersten Teil angeführten Resultaten. Hier präzisiert ARRHENIUS auch seine Idee der in Lösung allmählich zerfallenden Molekül-Aggregate. Dazu nutzt er zunächst die bereits allgemein bekannte Besonderheit des Ammoniaks, sich atypisch bezüglich der Leitfähigkeit zu zeigen (ebd., S. 59): Erst bei einer stärkeren Verdünnung stellt sich eine Leitfähigkeit ein. Ähnliches sei aber auch von der Essigsäure sowie von reiner Salzsäure bekannt (ebd., S. 60). In These 15 stellt er eine verallgemeinernde Hypothese auf, die imstande ist, diesen Sachverhalt zu erklären:

15. Die wässrige Lösung irgend eines Hydrates setzt sich außer aus dem Wasser aus zwei Bestandteilen zusammen, einem aktiven, elektrolytischen, und einem inaktiven, nicht elektrolytischen. Diese drei Bestandteile, das Wasser, das aktive Hydrat und das inaktive Hydrat bilden ein chemisches Gleichgewicht in der Weise, daß bei Verdünnung der aktive Teil sich vermehrt, und der inaktive Teil sich vermindert. (Ebd., S. 61)

ARRHENIUS nimmt also an, dass nur die ‘aktiven’ Teilchen für die Leitfähigkeit verantwortlich sind und sich bei steigendem Verdünnungsgrad vermehrt bilden. Als Maß für die Aufspaltung der Molekülkomplexe in ‘aktive’ und ‘inaktive’ Teilchen führt er einen ‘Aktivi-

tätskoeffizienten' ein (ebd.), den er später als *Dissoziationsgrad* bezeichnen wird (vgl. Palmaer 1929, S. 447f.). Der Aktivitätskoeffizient drückt das Verhältnis zwischen den *tatsächlich* in Lösung vorhandenen Teilchen (aus heutiger Sicht sind Ionen gemeint) und der Anzahl an *ursprünglich angenommenen* Teilchen aus, welche als ganze Moleküleinheiten zu denken sind.

Dass er damit bereits auch die Grundlage für eine neue Säure-Base-Definition geschaffen hat, ist ihm vermutlich gar nicht bewusst, obgleich er bereits die unterschiedliche Stärke von Säuren und Basen anhand dieses Modells sinnvoll zu unterscheiden weiß (vgl. Arrhenius 1883/1907, S. 68ff.). Gegen die etablierte Denkweise der Zeit ist vor allem die Idee, dass diese 'Aufspaltung' – ARRHENIUS vermeidet das Wort Dissoziation noch gezielt (vgl. Gröger 1996, S. 89) – in 'aktive' und 'inaktive' Teilchen beim Lösen von Salzen in Wasser oder bei Säuren und Basen *ohne* Zufuhr von äußerer Energie vor sich gehen soll. Bis dato wurde angenommen, dass sich An- und Kationen nur durch Anlegen einer elektrischen Spannung bildeten. Unklar ist ARRHENIUS jedoch, was *genau* diese 'aktiven' und 'inaktiven' Teilchen sind:

Wodurch diese beiden Bestandteile sich voneinander unterscheiden, muß noch aufgeklärt werden. Wahrscheinlich ist der aktive Teil, wie beim Ammoniak, eine Verbindung des inaktiven mit dem Lösungsmittel. Oder aber die Inaktivität wird durch eine Komplexität der Molekeln bedingt [...]. Oder der Unterschied zwischen dem aktiven und dem inaktiven Anteil kann in rein physikalischen Eigenschaften bestehen [...]. (Arrhenius 1883/1907, S. 61)

Er sendet seine Arbeit am 15.6.1884 ratsuchend an W. OSTWALD, der an ähnlichen Themen forscht (vgl. Gröger 1996, S. 89). Die Reaktion auf die Abhandlung, die OSTWALD (1926) in seiner Autobiographie ausführlich dargelegt hat, unterstreicht das innovative Potenzial der arrheniusschen Thesen:

Was darin stand, war so abweichend vom Gewohnten und Bekannten, daß ich zunächst geneigt war, das ganze für Unsinn zu halten. Dann aber entdeckte ich einige Berechnungen des offenbar noch sehr jungen Verfassers, welche ihm bezüglich der Affinitätsgrößen der Säuren zu Ergebnissen führten, die gut mit den Zahlen übereinstimmten, zu denen ich auf ganz anderem Wege gelangt war. Und schließlich konnte ich mich nach eingehendem Studium überzeugen, daß durch diesen jungen Mann das große Problem der Verwandtschaft zwischen Säuren und Basen, dem ich ungefähr mein ganzes Leben zu widmen gedachte, und von dem ich bisher in angestrengter Arbeit erst einige Punkte aufgeklärt hatte – der wesentlichste war das Vorhandensein einer von der Art des Vorganges unabhängigen Verwandtschaftsgröße – in viel umfassenderer Weise als von mir angegriffen und auch teilweise schon gelöst war. (Ebd., S. 217)

OSTWALD gelingt es, die Versuchsergebnisse von ARRHENIUS nicht nur zu reproduzieren, sondern auch auf eine größere Anzahl an Säuren zu übertragen. Die von ARRHENIUS gegebene Erklärung, 'Molekülkomplexe' würden im Wasser bei zunehmender Verdünnung allmählich zerfallen und daher einen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit der Lösung verursachen, hält er jedoch für nicht schlüssig:

Sucht man nach der Ursache, welche bei steigender Verdünnung die spezifischen Unterschiede der Säuren mehr und mehr verwischt, so kann man sie nur im Einfluss des Wassers finden. S. Arrhenius spricht [...] die Ansicht aus, dass im Grunde alle Säuren gleich stark sind, und dass die Verschiedenartigkeit ihrer Wirkungen nur daher rühre, dass eine wechselnde Anzahl ihrer Molekülen im „activen“, d. h. reaktionsfähigen Zustande ist. Es ist unzweifelhaft, dass ein Molekül, welches nicht des doppelten Austausches fähig ist, nicht elektrolytisch leiten kann; die Frage kann nur die nach der Ursache der Unfähigkeit sein. Arrhenius sucht sie in der „Complexität“ der Moleküle, d. h. in ihrer Anhäufung zu grösseren Molecularaggregaten; mir scheint schon die Thatsache, dass normale Essigsäure 250 Mal schlechter leitet, als Salzsäure, gegen eine solche Annahme zu sprechen, da derselben gemäss von 250 Molekülen zur Zeit immer 249 zu nicht elektrolysirbaren Complexen vereinigt sein müssten. Auch trägt eine solche Vorstellung in keiner Weise dem unzweifelhaften Einfluss der chemischen Constitution auf die Grösse der Affinität und des Leitungsvermögens Rechnung. (Ostwald 1884, S. 234; Hervorheb. i. O.)

Ein entscheidender Impuls zur Lösung dieses Problems kommt unerwartet knapp zwei Jahre später aus den Niederlanden: J. H. VAN 'T HOFF veröffentlicht 1886 Forschungsergebnisse, in denen er postuliert, dass die damals bekannten Gasgesetze auch auf Lösungen angewendet werden könnten; namentlich das BOYLE-MARIOTTE'sche Gesetz, wonach der Druck eines Gases bei isothermen Bedingungen umgekehrt proportional zum Volumen ist, das GAY-LUSSAC'sche Gesetz, wonach das Volumen eines Gases bei isobaren Bedingungen proportional zur Temperatur ist, sowie das AVOGADRO'sche Gesetz, wonach Volumina beliebiger Gase unter isothermen und isobaren Bedingungen proportional zur Teilchenanzahl sind.

Der Druck, welchen ein Gas bei einer gegebenen Temperatur besitzt, wenn eine bestimmte Anzahl von Molekülen in einem bestimmten Volumen verbreitet ist, ist gleich gross mit dem osmotischen Druck, welcher unter denselben Umständen von der Mehrzahl der Körper ausgeübt wird, wenn sie in einer beliebigen Flüssigkeit, einerlei welcher, aufgelöst sind. (van't Hoff 1886, S. 43)

Die etwas vage Formulierung 'Mehrzahl der Körper' weist auf das Problem hin, mit welchem VAN 'T HOFF allerdings noch konfrontiert war: Lösungen von Salzen, Säuren und Basen wiesen einen höheren osmotischen Druck, eine größere Siedetemperaturerhöhung und eine größere Schmelztemperaturerniedrigung auf, als VAN 'T HOFF mit der aus den oben genannten Gesetzen abgeleiteten Formel

$$pV = RT$$

zunächst berechnete, „wobei zu bemerken ist, daß bei der Berechnung selbstverständlich keine Spaltung des Salzes in Ionen vorausgesetzt wurde“ (Palmaer 1929, S. 452). Um dennoch sinnvolle Werte zu finden, hält VAN 'T HOFF an der obigen Gleichung und damit auch an der allgemeinen Gaskonstante  $R$  fest, fügt jedoch noch den Faktor  $i$  ein:

$$pV = iRT$$

Er bestimmt den Korrekturfaktor  $i$  empirisch unter anderem anhand der Abweichung der Schmelztemperatur einer Lösung von dem nach der Konzentration der Lösung eigentlich zu erwartenden Wert.

ARRHENIUS erhält VAN 'T HOFFS Abhandlung aufgrund verschiedener Umstände erst Mitte Februar 1887 (vgl. Gröger 1996, S. 112), erkennt jedoch rasch den Zusammenhang mit seiner eigenen Forschungstätigkeit. Am 30.3.1887 schreibt er in einem Brief aus Würzburg an VAN 'T HOFF:

Die Abhandlung hat mir nämlich in unerhörtem Grade Klarheit geschafft über die Konstitution der Lösungen. Wenn z. B. Chlornatrium sich normal verhalten würde, d. h. aus einfachen Molekülen bestehen würde so würde der Koeffizient  $i = 1$  sein. Da  $i$  aber viel größer ist so ist der natürlichste Ausweg dies zu erklären zu sagen dass NaCl theilweise dissociirt ist, ganz so wie man sagt dass bei höherer Temperatur  $J_2$  dissociirt ist. [...] Was ich in meiner Arbeit "sur la conductibilité" aktive Molekel genannt habe ist also dasselbe wie dissociirte Moleküle. (Arrhenius 1887a)

Noch im selben Jahr veröffentlicht ARRHENIUS einen Artikel, in dessen Titel bereits der Terminus Dissoziation auftaucht. Er möchte zeigen, dass seine Annahme einer elektrolytischen Dissoziation eine schlüssige Erklärung für VAN 'T HOFFS Korrekturfaktor  $i$  darstellt. Dazu legt er zunächst nochmals seine Sicht der Dinge dar:

In einer früheren Arbeit „sur la conductibilité galvanique des électrolytes“ habe ich solche Moleküle, deren Ionen in ihren Bewegungen voneinander unabhängig sind, aktiv, die übrigen Moleküle, deren Ionen miteinander fest verbunden sind, inaktiv genannt. Ebenso habe ich die Wahrscheinlichkeit hervorgehoben, dass in äusserster Verdünnung alle inaktiven Moleküle eines Elektrolytes in aktive verwandelt werden [...]. Diese Annahme will ich für die unten ausgeführten Berechnungen zu Grunde legen. Mit Aktivitätskoeffizient habe ich das Verhältnis zwischen der Anzahl der aktiven und der Summe aktiver und inaktiver Moleküle bezeichnet [...]. Der Aktivitätskoeffizient eines Elektrolytes in unendlicher Verdünnung wird also gleich  $e i n s$  angenommen. (Arrhenius 1887b, S. 632; Hervorheb. i. O.)

Anschließend vergleicht er Werte für  $i$  von einigen Nichtleitern, Basen, Säuren und Salzen, indem er  $i$  einmal nach VAN 'T HOFFS Methode der Gefrierpunktserniedrigung ermittelt, ein zweites Mal unter Anwendung seines von ihm ermittelten Aktivitätskoeffizientens. Die recht große Übereinstimmung der beiden nach unterschiedlichen Verfahren gefundenen Werte für den Korrekturfaktor  $i$  bestärken ARRHENIUS in seiner Idee einer elektrolytischen Dissoziation:

Dieses zeigt a posteriori, dass aller Wahrscheinlichkeit nach die Annahmen, von denen ich bei der Berechnung dieser Ziffern ausgegangen bin, in der Hauptsache sich richtig erweisen. Diese Annahmen waren:

1) Dass van't Hoff's Gesetz nicht nur für die Mehrzahl, sondern für alle Körper gültig ist, auch für diejenigen, die früher als Ausnahmen betrachtet worden sind (Elektrolyte in wässriger Lösung).

2) Dass jeder Elektrolyt (in wässriger Lösung) theils aus (in elektrolytischer und chemischer Beziehung) aktiven, theils aus inaktiven Molekülen besteht, welche letztere jedoch bei Verdünnung sich in aktive umsetzen, so dass in unendlich verdünnten Lösungen nur aktive Moleküle vorkommen. (Ebd., S. 637; Hervorheb. i. O.)

Für seine Theorie der elektrolytischen Dissoziation, auf der auch die Annahme beruht, dass starke Säure und starke Basen in Wasser vollständig dissoziiert vorliegen (ebd., S. 641), erhält ARRHENIUS im Jahre 1903 den Nobelpreis.

Stellt man die Entwicklung der Dissoziationstheorie in einer idealisierten, tabellarischen Schrittfolge dar, ergibt sich folgendes Bild (siehe Tabelle 20):

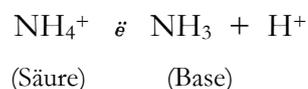
methodischer Schritt	Inhaltliche Skizzierung
<b>Staunen/sich wundern</b>	Wässrige Salzlösungen leiten den elektrischen Strom.
<b>Fragestellung entwickeln</b>	Welchen Einfluss hat die Verdünnung auf die elektrische Leitfähigkeit von Lösungen?
<b>Hypothese bilden</b>	Die elektrische Leitfähigkeit verhält sich proportional zur Konzentration des gelösten Stoffes.
<b>Experiment planen</b>	Untersuchung der Leitfähigkeit verschiedener, auch stark verdünnter Lösungen.
<b>Messen/beobachten</b>	Messung des Widerstands als Funktion der Leitfähigkeit.
<b>Daten ordnen/vergleichen</b>	Zusammenstellen der Werte in einer Tabelle.
<b>Daten interpretieren</b>	Die Leitfähigkeit steigt mit zunehmender Verdünnung.
<b>Ursache-Wirkungs-Beziehung aufstellen</b>	Die Moleküle eines Salzes aggregieren in Lösung zu Komplexen, die bei zunehmender Verdünnung in 'aktive' und 'inaktive' Teile zerfallen, wobei die 'aktiven' die Leitfähigkeit verursachen.
<b>Kommunizieren</b>	Austausch mit anderen Forschern ( <i>W. Ostwald, J. N. van 't Hoff</i> )
<b>Theoretische Annahmen einbeziehen</b>	Ergebnisse von <i>van 't Hoff</i> zum osmotischen Druck einer Lösung lassen sich erklären, wenn man eine Dissoziation der Moleküle annimmt.
<b>Generalisieren/Denkmodell entwerfen</b>	Theorie der elektrolytischen Dissoziation.

**Tabelle 20:** Das naturwissenschaftliche Vorgehen von ARRHENIUS (Nach: Hofheinz & Buchen 2006c)

**BRØNSTED**

Es war um die Mitte der 80er Jahre, als S v a n t e A r r h e n i u s die Anschauung entwickelte, daß Säuren, Basen und Salze in wässriger Lösung mehr oder weniger vollständig in elektrisch geladene Bestandteile, die sogenannten Ionen, dissoziiert seien, eine Anschauung, die von der durchgreifendsten Bedeutung für alle spätere Naturwissenschaft gewesen ist. [...] Indem man die Säuren als Stoffe definierte, die bei der Dissoziation in wässriger Lösung Wasserstoffionen liefern und die Basen als Stoffe, die bei der Dissoziation OH-Ionen geben, dachte man sich, daß die Molekeln der Säuren und die der Basen sozusagen ihre charakteristischen Eigenschaften auf diesen Spaltungsprodukten ablagern. [...] Wir betrachten fort und fort das Wasserstoffion als den Träger der sauren, das Hydroxylion als den Träger der basischen Eigenschaften. Wir messen fort und fort die Acidität, die Säurigkeit, einer Lösung durch die Konzentration an Wasserstoffion, die Basizität durch die Konzentration an Hydroxylion. (Brønsted 1930, S. 229; Hervorheb. i. O.)

BRØNSTED weist zwar zunächst ARRHENIUS' Verdienste aus, findet aber andernorts auch recht klare Worte für dessen Definition, bei der man „nun fast ein halbes Jahrhundert stehen geblieben“ (ebd.) sei: Das Konzept sei lediglich eine „ältere, historisch und praktisch begründete Auffassung“ (Brønsted 1928, S. 2049), jedoch „einseitig und unvollständig“ (ebd.). Ausgangspunkt der Entwicklung einer neuen, „allgemeineren und schärferen Definition“ (Brønsted 1930, S. 230) von Säuren und Basen, wie es BRØNSTED in der Rückschau formuliert, seien theoretische Unstimmigkeiten, die sich bei genauerer Betrachtung des ARRHENIUS-Konzepts ergeben. Die Diskrepanzen treten jedoch zunächst nur bei der Basen-Definition auf; die arrheniussche Säuredefinition sei dagegen, so BRØNSTED noch 1923, „wohl niemals ernstlich angefochten worden“ (Brønsted 1923, S. 718). Bei der Base Ammoniak gebe es aber beispielsweise das Problem, dass diese auch in nichtwässrigen Lösemitteln basische Eigenschaften zeige, und zwar ohne Hydroxid-Ionen auszubilden. Eine „modifizierte Basenauffassung“ (ebd., S. 719) müsse daher unabhängig vom Lösemittel sein und von gekoppelten Säure-Base-Reaktionen ausgehen. BRØNSTEDs Säure-Base-Definition aus dem Jahre 1923 lautet dementsprechend: „Säuren und Basen sind Stoffe, die einer Abspaltung bzw. Anlagerung von Wasserstoffionen fähig sind“<sup>23</sup> (ebd., S. 719; Hervorheb. i. O.). Im Falle des Ammoniaks schlägt er folgendes Gleichgewicht vor (ebd., S. 720):



In Anbetracht einer sich ausschärfenden Atomtheorie widmet sich BRØNSTED wenige Jahre später auch den Säuren und fragt sich, ob es sinnvoll sein kann, dem 'Zerfallsprodukt' einer Säure – gemeint sind H<sup>+</sup>-Ionen – eine derartige Sonderrolle zuzuweisen:

<sup>23</sup> Die Formulierung des Säure-Base-Konzepts von BRØNSTED wird in der Regel auf das Jahr 1923 datiert (vgl. Hammer 1995, S. 41; Mortimer 201, S. 282). Angesichts der zitierten Definition von 1923, die noch wesentlich auf dem ARRHENIUS'schen Dissoziationskonzept basiert, ist dies jedoch wenig sinnvoll. Es zeigt sich erneut – wie bereits auch bei der Überwindung der Phlogiston-Theorie –, dass der Wechsel eines wissenschaftlichen Paradigmas weitaus weniger 'revolutionär' und 'inkommensurabel' verläuft, als es beispielsweise KUHN (1976) annimmt.

Ich weiß nicht, ob es jedem Chemiker ergangen ist wie mir, daß er sich zu einem gewissen Zeitpunkt seines chemischen Studiums, wenn er sich die anerkannten Lehren wohl angeeignet und sich mit ihnen vertraut gemacht hat, die Frage vorgelegt hat, worauf es letzten Endes beruht, daß diese zwei Molekelarten, die Wasserstoff- und die Hydroxylionen, eine solche hervorragende Sonderstellung einnehmen, so ungleich allen anderen Molekeln. Lehrbücher geben keine Antwort darauf. (Brønsted 1930, S. 229)

Er geht davon aus, dass die ‘Sonderstellung’ beider Teilchenarten nicht zu rechtfertigen ist. Gegen das Alleinstellungsmerkmal der Hydroxid-Ionen führt er, wie bereits im Jahre 1923, experimentelle Befunde an, gegen das der Wasserstoff-Ionen theoretische:

Eine Lösung von Natriummethylat in Methylalkohol zeigt die Eigenschaften, die man basische zu nennen pflegt, ganz wie wässrige Lösungen von NaOH, obwohl sie keine Spuren von Hydroxylion enthält. Die Lösungen von Ammoniak in Äther oder von Piperidin in Benzol verhalten sich ganz wie wässrige Lösungen dieser Stoffe, beeinflussen Indikatoren und werden von Säuren titriert, obwohl sie selbstverständlich keine Hydroxylionen enthalten. [...]

Ebensowenig wie es möglich ist, das OH-Ion oder irgendein anderes Ion als die eigentliche Basenmolekel hervorzuheben, ist es möglich, eine Molekel anzugeben, die als universeller Träger der sauren Eigenschaft fungiert. Die klassische Dissoziationstheorie sah bisher die Wasserstoffionen als solche an. Nun lehrt indessen die moderne Atomtheorie, daß das eigentliche, einfache Wasserstoffion mit dem positiven Kern des Wasserstoffatoms, dem *P r o t o n*, identisch ist. Aber ein solcher Atomkern hat nach allem, was darüber bekannt ist, keine Wahrscheinlichkeit, in freiem Zustand in irgendeinem Lösungsmittel zu bestehen, sondern vereinigt sich, wenn er in ihm freigemacht wird, sogleich chemisch mit den umgebenden Molekeln. (Ebd., S. 230; Hervorheb. i. O.)

BRØNSTED wählt bei den angegebenen Experimenten im Falle der Basen natürlich bewusst solche, die nicht in wässriger Lösung stattfinden: Natriummethylat (Natriummethanolat,  $\text{CH}_3\text{ONa}$ ) bildet in methanolischer Lösung Natrium-Kationen und Methanolat-Anionen, die mit einer beliebigen Säure als Base reagieren, und zwar in der Tat ohne Ausbildung von Hydroxid-Ionen; analog reagiert in Ether gelöster Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) genauso wie eine benzolische Lösung des aliphatischen, heterocyclischen Piperidins ( $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{N}$ ) basisch ohne Beteiligung von Hydroxid-Ionen. BRØNSTED folgert daraus, dass Hydroxid-Ionen zwar durch eine *Reaktion* einer Base mit Wasser entstehen, dies aber somit ein Spezifikum des Lösemittels Wasser ist, nicht jedoch das Spezifikum aller Basen. Analog dazu könne auch die Ausbildung von Wasserstoff-Ionen und mithin Protonen nicht das Spezifikum aller Säuren sein, zumal sich die ARRHENIUS-Definition „über das weitere Schicksal des Protons, nachdem es das Säure-Molekül verlassen hat“ (Brønsted 1928, S. 2051), ausschweigt. BRØNSTED selbst bietet folgende Erklärung über den Verbleib des Protons an:

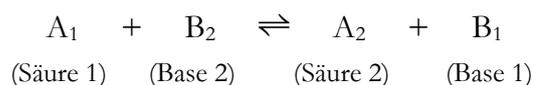
Wenn Wasser das Lösungsmittel ist, so entstehen die Ionen  $\text{H}_3\text{O}^+$ , eine chemische Verbindung zwischen der Wassermolekel und dem Proton, und diese Molekel ist es, die in der gebräuchlichen Terminologie, wenn es sich um wässrige Lösungen handelt, als Wasserstoffion auftritt. Ist nicht Wasser, sondern z. B. Methylalkohol das Lösungsmittel, so werden sich die Protonen, die in der Lösung frei werden, mit der Alkoholmolekel vereinigen und  $\text{CH}_3\text{OH}_2^+$  als diejenige Molekel geben, die in methylalkoholischer Lösung als Wasserstoffion fungiert. Es werden mit anderen Worten ebenso viele verschiedene Wasserstoffionen gefunden, als es Lösungsmittel gibt, und es würde willkürlich und ungerechtfertigt sein, wenn das eine auf Kosten des anderen als das wahre Wasser-

stoffion hervorgehoben und zum Inhaber der sauren Eigenschaften gemacht würde. Wir müssen uns vielmehr mit der Tatsache abfinden, dass eine solche universelle Molekel nicht existiert, und versuchen unsere Auffassung der Säuren damit in Einklang zu setzen. (Brønsted 1930, S. 230)

Eine stimmigere Definition müsse nach BRØNSTED vier Kriterien erfüllen (siehe ebd.):

- die sauren oder basischen Eigenschaften eines Stoffes dürften nicht anhand ihrer Dissoziationsprodukte festgemacht werden, sondern „an den Säure- und Basenmolekeln selbst“;
- es muss eine Definition sein, „die den Säuren- und Basenbegriff auf logischere Weise miteinander verbindet, als es bisher geschah“;
- die Definition muss angeben, was das Besondere an Säuren und Basen ist;
- die Definition muss „unabhängig vom Lösungsmittel formuliert werden“.

Eine diese Kriterien erfüllende Definition sieht BRØNSTED in korrespondierenden Säure-Base-Paaren, bei denen eine *protolytische Reaktion* (Protonenübertragungsreaktion) stattfindet. Säuren sind dabei als *protogene Stoffe* (Protonendonatoren), Basen als *protophile Stoffe* (Protonenakzeptoren) definiert (vgl. ebd., S. 231). Wenn eine Säure  $A_1$  ein Proton abgibt, wird sie zur korrespondierenden Base  $B_1$ ; wenn eine Base  $B_2$  das Proton aufnimmt, wird sie zur korrespondierenden Säure  $A_2$  (vgl. ebd.):



BRØNSTED schlussfolgert daher:

Die Begriffe Säure und Base sind hier auf das genaueste miteinander verknüpft. Darin, daß die Verknüpfung mit Hilfe von Protonen, Wasserstoffkernen, erfolgt, die identisch mit dem positiven Elementarquantum sind, ist die Sonderstellung der Säuren und Basen begründet. Und das Lösungsmittel geht offenbar in die Definition nicht ein. (Ebd., S. 230)

Nach diesem allgemeinen Schema stellen Säure-Base-Reaktionen in wässrigen Lösungen, bei denen sich beispielsweise im Falle der Salzsäure Hydronium-Ionen oder im Falle der Natronlauge Hydroxid-Ionen bilden, lediglich einen Sonderfall<sup>24</sup> des allgemeineren Schemas dar, bei dem Wasser als Ampholyt im Falle der Salzsäure als Base und im Falle der Natronlauge als Säure reagiert. Auch die Salzbildung, die bei einer Säure-Base-Reaktion im Sinne von ARRHENIUS zu beobachten ist, ist lediglich Folge dieses Sonderfalls.

<sup>24</sup> BRØNSTED (1928, S. 2059) verdeutlicht dies nochmals am Beispiel von Chlorwasserstoffgas ( $\text{HCl}_{(g)}$ ) sowie Ammoniak ( $\text{NH}_3_{(g)}$ ), welche nach ARRHENIUS *keine* Säure bzw. *keine* Base sind: Erst *in Wasser gelöst* findet nach ARRHENIUS eine Dissoziation statt, bei der sich im Falle des Chlorwasserstoffs neben Chlorid-Ionen ( $\text{Cl}^-_{(aq)}$ ) auch Wasserstoff-Ionen ( $\text{H}^+_{(aq)}$ ) bilden, die dann für den sauren Charakter der sich bildenden Salzsäure verantwortlich sind. Im Falle des Ammoniaks entstehe nach ARRHENIUS zunächst 'hydratisierter Ammoniak' ( $\text{NH}_4\text{OH}_{(aq)}$ ), der in Ammonium-Ionen ( $\text{NH}_4^+_{(aq)}$ ) und Hydroxid-Ionen ( $\text{OH}^-_{(aq)}$ ) dissoziiere, wodurch die Lösung basisch sei. – Nach BRØNSTED ist jedoch auch Chlorwasserstoffgas eine Säure, da das Molekül prinzipiell Protonen abgeben und damit als Säure wirken *kann*. Genauso ist Ammoniak eine Base, weil das Molekül prinzipiell ein Proton aufnehmen *kann*.

Bezogen auf die Stärke von Säuren und Basen bedeutet dies ferner, dass das Wasser „mithin einen degradierenden und auch nivellierenden Einfluß [...] auf sehr starke Säuren und Basen kraft seines amphiproten Charakters“ (ebd., S. 232; Hervorheb. i. O.) ausübt. Daher bleibt die Konzentration an Hydronium-Ionen zwar nach wie vor als Maß für die Acidität einer wässrigen Lösung bestehen (ebd.), für eine sinnvolle *Charakterisierung* von Säuren und Basen sei Wasser als Lösemittel jedoch ungeeignet:

Die Eigenschaften der Säuren und Basen dürfen also keineswegs, wie wohl allgemein geglaubt wird, in wässrigen Lösungen, sondern müssen im Gegenteil in Lösungen von benzolähnlichem, aprotom Charakter untersucht werden, wenn wir den umfassendsten und tiefsten Einblick in die Natur dieser Stoffe gewinnen wollen. (Ebd.)

Versucht man aus der deutlich theoriegeleiteten Vorgehensweise von BRØNSTED wesentliche methodische Schritte abzuleiten, kann folgende Vorgehensweise erkannt werden (siehe Tabelle 21):

methodischer Schritt	Inhaltliche Skizzierung
<b>Staunen/sich wundern</b>	Unstimmigkeiten mit der ARRHENIUS-Definition: Ammoniak zeigt auch in nichtwässrigen Lösemitteln basische Eigenschaften, obwohl das $\text{NH}_3$ -Molekül keine OH-Gruppe aufweist. Die Sonderstellung der $\text{OH}^-$ -Ionen als Träger der basischen Eigenschaften ist daher fragwürdig.
<b>Theoretische Annahmen einbeziehen</b>	Nach neueren Erkenntnissen der Atomtheorie sind Wasserstoff-Ionen und Protonen identisch. Protonen können in Lösung jedoch nicht frei existieren. Auch die Sonderstellung der $\text{H}^+$ -Ionen als Träger der sauren Eigenschaften muss infrage gestellt werden.
<b>Fragestellung entwickeln</b>	Sind Wasserstoffionen tatsächlich verantwortlich für die sauren Eigenschaften eines Stoffes? Verursachen die Hydroxid-Ionen tatsächlich die basischen Eigenschaften eines Stoffes?
<b>Problem erfassen und formulieren</b>	Säuren und Basen müssen neu definiert werden. Die neue Definition muss die aufgezeigten Unstimmigkeiten erklären können.
<b>Hypothese aufstellen</b>	Annahme korrespondierender Säure-Base-Paare: Das Proton wird von der Säure auf die Base übertragen (Protonenübertragungsreaktion).
<b>Bestätigung/Anwendung</b>	Diese Annahme erklärt die basische Reaktion von Ammoniak auch in nichtwässrigen Lösemitteln sowie generell Säure-Base-Reaktionen in wässrigen und nichtwässrigen Lösemitteln.
<b>Generalisieren/Denkmodell entwerfen</b>	Donator-Akzeptor-Prinzip: Säuren sind Teilchen, die Protonen abgeben können; Basen sind Teilchen, die Protonen aufnehmen können. Die Definition gilt unabhängig vom Lösemittel.

**Tabelle 21:** Das naturwissenschaftliche Vorgehen von BRØNSTED (Nach: Hofheinz & Buchen 2006c)

### 5.2.3 „Forschern auf die Finger geschaut“ – ein Gruppenpuzzle als Strukturierungshilfe zur Reflexion über naturwissenschaftliches Arbeiten in Theorie und Praxis

Der sicherlich idealisierte Forschungsgang der drei Wissenschaftler, wie er in den Tabellen 19, 20 und 21 dargelegt ist, dient als Grundlage für die erste Interventionsmaßnahme, die stark materialbasiert ist. Die Zusammenstellung des Materials beruht dabei auf folgenden didaktischen Entscheidungen:

- Um eine methodische Reflexion bei den Schülern in Gang zu setzen, wird – anders als bei dem historisch-problemorientierten Unterrichtsverfahren – bewusst auf Experimente verzichtet, da ansonsten der Blick zu sehr auf die Durchführung und die inhaltliche Deutung der Experimente gerichtet werden würde. Ziel dieser Unterrichtseinheit ist nicht ein Verständnis verschiedener Säure-Base-Konzepte, sondern eine Reflexion über naturwissenschaftsmethodisches Handeln.
- Demnach ist es sinnvoll, dass Säure-Base-Konzepte bereits im Unterricht behandelt wurden, weil dann der Blick vor allem auf das Vorgehen der Forscher fällt. Da das Material jedoch unabhängig von der fachlichen Tiefe des bisherigen Unterrichts einsetzbar sein soll, wird das Arbeitsmaterial auf dem Leistungsniveau einer 10. Klasse konstruiert. Dadurch wird das fachwissenschaftliche Verständnis der zu bearbeitenden Texte erleichtert.
- Um das naturwissenschaftliche Handeln der Forscher zu akzentuieren und auch um den Zeitbedarf im Unterricht in Grenzen zu halten, wird das historische Quellenmaterial, anders als bei dem historisch-genetischen Ansatz, aufgearbeitet und somit didaktisch transformiert. Ziel ist nicht eine Rekonstruktion der Entstehungsbedingungen unterschiedlicher Säure-Base-Konzepte, sondern, wie bereits vermerkt, das methodische Handeln der jeweiligen Forscher. Daher wird der fachwissenschaftliche Inhalt des Quellenmaterials mit Hilfe ergänzender Erklärungen auf den Kenntnisstand von Schülern einer Jahrgangsstufe 10 abgestimmt und die Schreibweisen bei wörtlichen Zitaten werden, wo es das Verständnis erhöht, behutsam dem heutigen Stand angeglichen. Zitate und Bilder<sup>25</sup> illustrieren den Text, um so den Aufforderungscharakter des Materials zu erhöhen. Einem wissenschaftshistorischen Anspruch wird es daher aber freilich nicht mehr gerecht werden können.

Für die Bearbeitung des Materials bietet sich ein arbeitsteiliges Vorgehen an, getrennt nach den jeweiligen Forschern. Um jedoch einen Vergleich der wissenschaftlichen Arbeitsweisen vornehmen zu können, müssen die Ergebnisse sinnvoll und möglichst auf einem höheren Abstraktionsniveau zusammengeführt werden. Forschungsmethodisch ist es ferner sinnvoll, wenn der Einfluss des Lehrers so weit als möglich in den Hintergrund tritt. Daher bietet sich unterrichtsmethodisch das Verfahren des ‘Gruppenpuzzles’ an.

Dabei handelt es sich um eine Variante der Gruppenarbeit, bei der ein Lernbereich in mehrere Puzzlestücke (*jigsaw pieces*) aufgeteilt wird, die erst allmählich zu einem Ganzen vereinigt werden. Die Methode stammt aus den USA und wurde dort Anfang der 1970er

---

<sup>25</sup> Für das Gruppenpuzzle habe ich ausschließlich Zitate verwendet, die ich auch bereits in Kapitel 5.2.2.2 genutzt habe; einen erneuten Einzelnachweis halte ich daher für entbehrlich. Der Quellennachweis für die verwendeten Bilder im Gruppenpuzzle findet sich im Anhang A-3.

Jahre von E. ARONSON (1984) und seiner Arbeitsgruppe unter dem Label *jigsaw classroom* erprobt. Eine Umsetzung im Unterricht erfolgt immer in mehreren Phasen (vgl. ebd., S. 50; Clarke 1994, S. 35f.; Frey-Eiling & Frey 2002, S. 50f.): Nachdem der Lehrer kurz in die Thematik eingeführt und sie motiviert hat, erfolgt eine Einteilung in verschiedene, heterogene, möglichst gleich große Expertengruppen<sup>26</sup>, wobei jedes ‘Puzzlestück’ durch mindestens eine Expertengruppe vertreten sein muss. Die Mitglieder einer Expertengruppe müssen sich nun selbstständig z. B. mithilfe von Selbststudienmaterial mit einem Themengebiet so auseinandersetzen, dass sie zu Experten auf diesem Teilgebiet werden. Man spricht daher hier auch von einer „Expertenrunde“ (ebd., S. 51) bzw. von „focused exploration“ (Clarke 1994, S. 36). Selbstverständlich können (und sollen) sich die einzelnen Mitglieder der Expertengruppen jedoch untereinander beraten und sich gegenseitig unterstützen. In der anschließenden ‘Unterrichtsrunde’ treffen sich Experten aus unterschiedlichen Expertengruppen und tauschen dort ihr Erlerntes aus (*reporting and reshaping*). Da bei der Unterrichtsrunde pro ‘Puzzlestück’ mindestens ein Experte vorhanden ist, ergibt sich hier zusammengelegt ein Ganzes. Über dieses Ganze wird abschließend im Plenum diskutiert und reflektiert (*integration and evaluation*).

Vorteile dieser Methode zeigen sich sowohl in *sozialer* wie auch in *fachlicher* Hinsicht: ARONSON (1984, S. 48) verweist dezidiert auf das der Methode inhärente Potenzial eines *impliziten* Erwerbs prosozialer Handlungsweisen. Dies führe nicht nur zu einer größeren Akzeptanz des Unterrichts, sondern auch des gesamten schulischen Umfeldes, verbunden mit einer Stärkung des Selbstwertgefühls des Einzelnen und einer größeren Wertschätzung der Schüler untereinander (vgl. ebd., S. 53f.). Darauf weisen auch, gestützt durch mehrere Studien, FREY-EILING & FREY (2002, S. 52) hin. Ferner lassen sich auch in mehreren Studien bessere Schulleistungen in Folge eines Gruppenpuzzles nachweisen (Aronson 1984, S. 54; Frey-Eiling & Frey 2002, S. 52f.).<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> Statt die Thematik im Plenum einzuführen und zu motivieren, können zunächst auch heterogene ‘Stammgruppen’ (*home groups*) gebildet werden (vgl. Clarke 1994, S. 35f.), die alle mit ein und demselben größeren Problem konfrontiert werden. Zur Lösung dieses Problems müssen sich die Mitglieder der Stammgruppe aufteilen und jeweils unterschiedliche Teilaspekte des Problems erarbeiten. Dabei treffen sie sich mit Mitgliedern anderer Stammgruppen, die an dem gleichen Problem arbeiten. So entstehen dann die verschiedenen ‘Expertengruppen’. Die ‘Unterrichtsrunde’ erfolgt dann wieder in den Stammgruppen. Diese Variante scheint mir zwar Vorteile bei einem impliziten Erwerb von Kooperationsfähigkeit zu bieten, jedoch Nachteile bei der Effizienz, weil diese vorgeschaltete Phase keinen Beitrag zur Problemlösung liefert.

<sup>27</sup> Die Meinungen zur Effektivität kooperativer Unterrichtsmethoden im naturwissenschaftlichen Unterricht gehen auseinander. SUMFLETH *et al.* (2002, S. 207) postulieren z. B., selbstorganisierte und kooperative Lernprozesse „erscheinen wirksam zum Erreichen affektiv-motivationaler Ziele, gelten jedoch als weniger effizient zur Wissensvermittlung“. TEPNER *et al.* (2006) können dies dagegen empirisch nicht bestätigen. Sie kommen in einer Studie zur Effektivität eines Gruppenpuzzles im Chemieunterricht (Testgruppe, n = 291) im Vergleich zum tradierten, fragend-entwickelnden Unterrichtsverfahren (Kontrollgruppe, n = 282) zu dem Ergebnis, dass die Testgruppe „höchst signifikant“ (ebd., S. 276) besser in einem identischen Wissenstest abschneidet als die frontal unterrichtete Kontrollgruppe. Erwartungsgemäß war zwar die Behaltensleistung der Schüler bei den Themen besonders groß, die sie sich in den Expertenrunden selbstständig erarbeiten mussten. „Allerdings lag die Lernleistung der Rezipienten in den Kleingruppen des Gruppenpuzzles immer noch über der Lernleistung

In meinem Sinne entscheidend sind jedoch weniger diese ausgewiesenen Vorteile, sondern dass es vermittels dieser Methode gelingen kann, dass Schüler substanzielle forschungsmethodische Parallelen *trotz* heterogener Forschungswege selbstständig entdecken können. Die Methode des Gruppenpuzzles eignet sich daher recht gut als eine bezogen auf den Erwerb von NOS *vorstrukturierte* Lernumgebung. Die konkrete, mehrfach überarbeitete<sup>28</sup> unterrichtliche Umsetzung, die insgesamt vier Unterrichtsstunden umfasst, sieht folgendermaßen aus:

#### **(1) Einführung: Wie gehen Naturwissenschaftler vor?**

Der Lehrer gibt eine kurze, verbale Einführung in die Themengebiete 'naturwissenschaftliches Arbeiten' sowie 'Natur der Naturwissenschaften' und gegebenenfalls in die Methode des Gruppenpuzzles (siehe Anhang A-1). Die Aufteilung in die Expertengruppen erfolgt themenbezogen: (a) „LAVOISIER forscht und sucht Zuckersäure“, (b) „ARRHENIUS und die 'aktiven' Moleküle“ sowie (c) „Aus der Gedankenwelt von BRØNSTED“ (siehe Anhang A-2). Da es nur drei Puzzlestücke gibt, muss jedes Teilgebiet von mehreren Gruppen bearbeitet werden. Vorteilhaft ist daran, dass so ein „peer support“ (Clarke 1994, S. 47) möglich wird, d. h., dass in der anschließenden Unterrichtsrunde mehr als ein Experte pro Puzzlestück vertreten ist.

#### **(2) Expertenrunde: Bearbeitung des Unterrichtsmaterials in Expertengruppen**

In den Expertengruppen erfolgt die selbstständige Bearbeitung des Unterrichtsmaterials. Im Kern sollen anhand des Materials die wesentlichen Schritte des methodischen Vorgehens der jeweiligen Forscher herausgearbeitet werden.

#### **(3) Unterrichtsrunde: Austausch der Ergebnisse in Lerngruppen**

Die Expertengruppen reorganisieren sich zu Lerngruppen mit mindestens einem Experten pro Teilgebiet. Die Experten tauschen sich über das Vorgehen der drei Forscher aus. In der gemeinsamen Diskussion soll deutlich werden, dass es nicht *die* Methode gibt, um naturwissenschaftliches Vorgehen zu beschreiben, sondern dass die Forscher auf ganz unterschiedlichen Wegen zu ihren Erkenntnissen gelangen. Ihr Ergebnis halten die Schüler in Form eines Schaubildes fest, welches die verschiedenen Aspekte des methodischen Vorgehens sinnvoll vereint.

#### **(4) Austausch im Plenum**

Die einzelnen Gruppen stellen ihre Ergebnisse kurz vor. Gemeinsamkeiten und Unterschiede sowie Schwierigkeiten bei der Erarbeitung werden im Plenum erörtert. Schließlich kann herausgestellt werden, welche gemeinsamen und unterschiedlichen Denk-, Arbeits- und Erkenntnismethoden LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED kennzeichnen, welchen Anteil kreative, so-

---

im Frontalunterricht“ (ebd., S. 277). Differenzierter betrachten dies BRÜGELMANN (2005, S. 302, 307ff.) und MEYER (2004, S. 155ff.), die u. a. darauf verweisen, dass es bei diesem Forschungsfeld überaus schwierig sei, das Erreichen von Zielen auch adäquat zu messen bzw. (Stör-)Variablen legitim zu kontrollieren. Daher seien solche Postulate bzw. Studien oft gar nicht miteinander vergleichbar.

<sup>28</sup> Eine erste Fassung des Gruppenpuzzles hat Frau B. BUCHEN (2004) in ihrer von mir intensiv mitbetreuten Staatsexamensarbeit erarbeitet und auch in einem Chemiekurs der Jahrgangsstufe 11 eines hiesigen Gymnasiums erprobt. Aufbauend auf diesen Erfahrungen habe ich das Gruppenpuzzle gemeinsam mit Frau BUCHEN speziell bei der Vorgehensweise von S. ARRHENIUS grundlegend überarbeitet und erneut in einer Pilotstudie mit Schülern eines 11. Jahrgangs getestet. Daraus resultieren noch kleinere, sprachliche Änderungen, die in der Publikation (Hofheinz & Buchen 2006b) bereits berücksichtigt sind.

ziale und kulturelle Einflüsse auf die Entstehung der Konzepte hatten, welchen epistemologischen Status ihre Säure-Base-Definitionen haben und was diese Definitionen von Gesetzen bzw. Theorien unterscheidet.

Das historische Quellenmaterial wurde für das Gruppenpuzzle (siehe Anhang A-2 sowie Hofheinz & Buchen 2006b) didaktisch so aufbereitet, dass ein Ergebnisaustausch der Experten untereinander innerhalb einer Unterrichtsstunde möglich ist. Die Unterrichtsrunde sowie das Erstellen der Schaubilder erfolgt idealerweise in einer Doppelstunde. Der abschließende Austausch im Plenum dauert, je nach Lerngruppe, mindestens eine Einzelstunde.

Die Materialien selbst, die die Expertengruppen in Briefumschlägen mit aufgeklebten Arbeitsanweisungen erhalten, sind keine illustrierten Lehrtexte, sondern echte Lernmittel, bei denen die Gestaltung in Form einer 'Sortieraufgabe' zum Handeln herausfordert. Bei den Materialien zum Vorgehen von LAVOISIER und ARRHENIUS erhalten die Schüler einzelne, unsortierte, mit Bildern veranschaulichte Textabschnitte, die in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht werden müssen. Zitate erhöhen den 'Echtcharakter' der Textausschnitte. Heute nicht mehr gebräuchliche Termini wie beispielsweise 'Kreidesäure' werden in Hinweisboxen erklärt. Um das methodische Handeln der jeweiligen Forscher besonders zu akzentuieren, sollen die Schüler den Textabschnitten eine möglichst nur aus einem Wort bestehende Überschrift geben, die den entsprechenden naturwissenschaftlichen Prozess benennt. Diese Einschränkung soll helfen, treffende Überschriften zu finden, die sich auf die Methode des Forschers bezieht und nicht auf den Inhalt des Textabschnitts. Anschließend sollen die einzelnen Textausschnitte gemäß dem wahrscheinlichen Forschungsverlauf sortiert werden. Auf diese Weise kann nicht nur das methodische Vorgehen der Forscher schrittweise erarbeitet und nachvollzogen werden, sondern spätestens im Plenum verdeutlicht werden, dass es keine allgemeingültige naturwissenschaftliche Vorgehensweise gibt. Bei BRØNSTEDS Vorgehensweise dienen zwei Fotos, die diesen einmal nachdenklich am Schreibtisch, einmal experimentierend im Chemielabor zeigen, einerseits dazu, das Zusammenspiel von Theorie und Empirie zu symbolisieren, andererseits Textabschnitte zu seiner aufgestellten Säure-Base-Definition leichter sortieren und klassifizieren zu können. Da dieses Material im Vergleich zu dem der beiden anderen Forscher weniger textlastig ist, besteht eine zusätzliche Schwierigkeit darin, einen leeren Abschnitt zu füllen und auf diese Weise das Vorgehen zu vervollständigen. Der in dem Forschungsprozess fehlende Schritt bezieht sich auf den Ausgangspunkt von BRØNSTEDS eigener Definition, nämlich das Infragestellen der Sonderstellung der Wasserstoff- und Hydroxid-Ionen. Darauf können Schüler freilich nicht unbedingt kommen. Jedoch ist es auffällig, dass auf keinem der Textabschnitte eine forschungsleitende Fragestellung notiert ist – dies wiederum können Schüler als Überschrift notieren, selbst wenn sie diese Frage inhaltlich nicht formulieren können. Für den Fall, dass die Schüler keinerlei Ideen haben bezüglich Überschrift und Inhalt des leeren Textabschnitts, bietet er didaktisch gesehen dennoch einen wertvollen Denk-

und Handlungsanreiz, der sich nicht nur positiv auf die Auseinandersetzung mit den übrigen Textabschnitten auswirken kann, sondern auch bereits ein Nachdenken auf einer Metaebene begünstigen kann.

Anhand der Materialien sollen die wesentlichen Schritte des methodischen Vorgehens der drei Forscher herausgearbeitet werden, so dass am Ende alle Gruppen – was das Vorgehen der Forscher anbelangt – zu einem ähnlichen, jedoch auf den jeweiligen Forscher zugeschnittenen Ergebnis gelangen können (vgl. Tabelle 22).

LAVOISIER	ARRHENIUS	BRØNSTED
1. Fragestellung / Hypothese	1. Phänomen / Fragestellung	1. Arrhenius-Definition
2. Experiment	2. Experiment	2. experimentelle Anomalien
3. Beobachtung	3. Beobachtung / Auswertung	3. weitere Anomalien bei Einbezug einer Theorie
4. Auswertung	4. Hypothese	4. Unstimmigkeiten
5. Erklärungsmodell / neue Hypothese	5. Kommunikation / Austausch mit anderen Forschern	5. Fragestellung (leerer Abschnitt)
6. Prognose	6. Einbezug einer Theorie	6. Hypothese
7. Schlussfolgerung	7. Aufstellen einer eigenen Definition	7. Neudefinition

**Tabelle 22:** Das Vorgehen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED im Vergleich

Anschließend entwickeln die einzelnen Gruppen ein Schaubild, welches die wesentlichen Aspekte des jeweiligen methodischen Vorgehens vereint bzw. gezielt kontrastiert. Die Form der Darstellung wird hier bewusst offen gelassen, damit die Schüler ihre eigenen inneren Bilder sprechen lassen können. Unabhängig von der Art der Darstellung und unabhängig davon, ob das Vorgehen von LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED konvergierend oder divergierend dargestellt wird, müssen die Schaubilder quasi automatisch mindestens das begriffliche Inventar naturwissenschaftlicher Prozesse aufweisen. Im Idealfall bringt das Schaubild bereits Ansätze eines Wissens über die Natur der Naturwissenschaften zum Ausdruck.

Primäres Lehrziel dieser Interventionsmaßnahme ist es, dass Schüler ein Verständnis für naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen entwickeln und damit erste Elemente eines Metawissens über Naturwissenschaften erwerben. In der üblichen Weise formuliert sollen die Schüler somit erfahren,

- dass naturwissenschaftliches Vorgehen in der Regel durch ein Zusammenspiel von Theoretisieren und Experimentieren gekennzeichnet ist.
- dass Experimentieren und Beobachten in der Regel theorie- und fragestellungsgeleitet sowie reflektiert abläuft.
- dass sich naturwissenschaftliches Vorgehen nicht durch eine einheitliche Methode beschreiben lässt, sondern dass es, indem es gegenstands- und problemspezifisch begründet wird, auf

vielfältige, aber gleichwohl systematische Weise erfolgen kann, wobei auch zufällige Erkenntnisse von Bedeutung sein können.

- dass das Experiment eine zentrale Funktion im Forschungsprozess einnimmt und dass es zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt werden kann.
- dass Naturwissenschaften als empirische Wissenschaften kein System allzeit gültiger Sätze bilden, sondern dass wissenschaftliche Aussagen beim Vorliegen neuer Erkenntnisse überdacht werden müssen.
- dass alle naturwissenschaftlichen Aussagen per se Hypothesen bleiben, deren Bestätigungsgrad jedoch sehr unterschiedlich sein kann.

Als Handlungsziele bei der konkreten Umsetzung des Gruppenpuzzles im Unterricht sollen die Schüler

- das Material mit Blick auf die jeweilige Aufgabenstellung lesen und bearbeiten.
- die einzelnen Textabschnitte sinnvoll ordnen und jeweils mit einer Überschrift versehen.
- sich innerhalb der Expertengruppe darüber verständigen, welche Aspekte des methodischen Vorgehens sie für wichtig erachten und welche sie in der Phase des gegenseitigen Unterrichtens ('Unterrichtsrunde') an ihre Mitschüler weitergeben wollen.
- ihre Mitschüler in der 'Unterrichtsrunde' über wichtige Aspekte des methodischen Vorgehens der jeweiligen Forscher unterrichten bzw. den Erklärungen ihrer Mitschüler zuhören.
- kooperativ zusammenarbeiten, mit ihren Gruppenmitgliedern über die verschiedenen Vorgehensweisen der Forscher diskutieren und forschungsmethodische Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausstellen.
- in Zusammenarbeit mit ihren Gruppenmitgliedern eine geeignete Darstellungsform finden, um das Vorgehen der Forscher in einem Schaubild sinnvoll zu vereinen.
- ein Schaubild erstellen.
- im Plenum über die Schaubilder diskutieren und über naturwissenschaftliche Methoden reflektieren.

## 5.3 Ein *impliziter* Weg – eigenständiges, naturwissenschaftlich orientiertes Arbeiten

### 5.3.1 Superabsorbierende Polymere in Babywindeln als Problemgrund eines experimentellen Untersuchungsauftrags im Unterricht

Experimentell zu lösende naturwissenschaftliche Untersuchungsaufträge, die Schülern möglichst vielfältige Gestaltungsspielräume eröffnen, lassen sich finden, wenn naturwissenschaftliche Aspekte mit technischen verknüpft<sup>29</sup> werden. Dazu eignen sich schulisch weniger beachtete bzw. für Schüler noch unbekannte *naturwissenschaftliche Gegenstände*, die jedoch weitgehend geläufige *technische Anwendungsbezüge* aufweisen. Im Rahmen einer Interventionsmaßnahme mit Bezug auf die Natur der Naturwissenschaften ist es ferner sinnvoll, wenn der fachliche Gegenstand fächerverbindend ist. Ein solcher Gegenstand, der biologische, chemische und physikalische Aspekte birgt und eine allseits bekannte, technische Anwendungsseite aufweist (Babywindeln), ist die Stoffgruppe der superabsorbierenden Polymere (SAP), die erst Ende der 1970er Jahre eine ökonomische Bedeutung erlangten (vgl. Bourtscheidt *et al.* 1997). Der weitgehend offene Untersuchungsauftrag basiert aus mehreren Gründen auf dem fachlichen Gegenstand der Superabsorber in Babywindeln:

- Die erst relativ kurze Vermarktungszeit ist in meinem Sinne vorteilhaft, weil dadurch die fachlichen Hintergründe von Superabsorbieren ebenfalls erst relativ spät für schulische Zwecke aufbereitet wurden<sup>30</sup>. SAP werden zwar inzwischen von einigen Schulbüchern aufgegriffen, jedoch primär im Zusammenhang mit radikalischen Polymerisationsreaktionen in den Jahrgangsstufen 12 oder 13. Ursachen für die Eigenschaften superabsorbierender Polymere, Flüssigkeiten absorbieren zu können, werden hier nur kurz angesprochen. Vielen Schülern einer Jahrgangsstufe 11 ist dieser Unterrichtsgegenstand daher bislang nicht bekannt.
- Das Repertoire an Experimenten, welches mit Superabsorbieren und Babywindeln sinnvoll (d. h. auf die Verwendung bezogen) durchgeführt werden kann, ist relativ überschaubar (vgl. Bourtscheidt *et al.* 1997; Köhler-Krützfeldt 2001b; Reinelt 1997), gefahrlos durchführbar und vor allem für Schüler selbst erschließbar, weil der Einsatzbereich experimentelle Fragestellungen bereits vorstrukturiert.
- Das Phänomen der Wasseraufnahmekapazität der Substanzen, die in Windeln zum Einsatz kommen, ist zwar allseits bekannt, jedoch bezüglich der tatsächlichen Menge wirklich er-

---

<sup>29</sup> Während es Naturwissenschaften originär um *Erkennen* geht, ist das Leitbild der technisch orientierten Ingenieurwissenschaften der Prozess des *Optimierens*. Lebensweltlich bedeutsam ist jedoch eher der Bereich der Technik. Daher folge ich hier dem Vorschlag von SHAMOS (1995, S. 225f.) und nutze ein technisches Problem als Basis des Untersuchungsauftrags (vgl. dazu ausführlicher die Kapitel 2.2.6 und 4.3.3 dieser Arbeit).

<sup>30</sup> Meines Wissens erfolgte dies erstmals in den späten 1990er Jahren im Zuge einer Kooperationsinitiative zwischen Schulen und Chemiekonzernen im Regierungsbezirk Köln. Das daraus resultierende Unterrichtsmaterial ist in einem Sammelband mit dem Titel 'Chemie in Köln und Umgebung' veröffentlicht. Dort finden sich auch zwei Vorschläge zur Einbindung superabsorbierender Polymere in den Unterricht (Bourtscheidt *et al.* 1997; Reinelt 1997), in denen unter anderem ein gewisses Repertoire an schulisch nutzbaren Experimenten vorgestellt wird.

- staunlich und daher motivierend: Superabsorber können bis zum 1000-fachen ihres Eigengewichts an reinem Wasser aufnehmen (Göthlich *et al.* 2005, S. 267).
- Das Phänomen der Wasseraufnahmekapazität basiert auf Grundlagen, die teilweise im Biologieunterricht (Osmose), teilweise im Chemieunterricht (Ionen, Teilchenwechselwirkung) und teilweise im Physikunterricht (Grundprinzip der Elektrostatik, Druck) behandelt werden. Daher sind SAP ein *naturwissenschaftliches* Thema.
  - Babywindeln entstammen unzweifelhaft der Lebenswelt der Schüler und weisen somit eine hohe Alltagsrelevanz auf, was sich motivational positiv auswirken könnte, weil dadurch Wissen direkt anwendungsbezogen erworben werden kann. Für Schüler einer 11. Jahrgangsstufe ist der Alltagsbezug jedoch im Regelfall eher mittelbar gegeben. Dies kann man aber auch als Vorteil sehen, weil dadurch potenziell hinderliche emotionale Aspekte sowie genderspezifische Vorlieben kaum zu erwarten sind.

### 5.3.2 Fachwissenschaftliche Hintergründe zu superabsorbierenden Polymeren

Die Darlegung des fachlichen Hintergrundes stützt sich neben Veröffentlichungen (Göthlich *et al.* 2005; Staples *et al.* 1998; Thiel *et al.* 1995) vor allem auch auf ein Internetdokument eines Produktentwicklers der BASF-AG aus dem Bereich SAP (Elliot o. J.).

Superabsorber sind quellfähige Feststoffe, die bis zur 1000-fachen Menge ihres Eigengewichts an wässrigen Flüssigkeiten rasch aufnehmen und, anders als bei einem Schwamm, auch speichern können. In Babywindeln haben sie sich daher „vom High-Tech-Gimmick zur entscheidenden funktionalen Komponente gewandelt“ (Fischer 2000, S. 148). Der saugfähige Kern einer Windel enthält heutzutage neben etwa 18 Gramm Zellstoff rund 15 Gramm Superabsorber. Diese Menge ist in der Lage, circa 400 Gramm Harn zu binden (ebd.). Aufgrund der Eigenschaft, wässrige Flüssigkeiten aufnehmen zu können, ergibt sich inzwischen ein breites Einsatzspektrum für Superabsorber, z. B. bei der Produktion von Hygieneprodukten, dem Schutz von Erdkabeln, beim Transport feuchtigkeitsempfindlicher Produkte oder im Pflanzenbau (vgl. Köhler-Krützfeldt 2001a, S. 49ff.).

Chemisch betrachtet handelt es sich bei superabsorbierenden Polymeren um kovalent vernetzte, teilneutralisierte<sup>31</sup> Polyacrylsäure (vgl. Göthlich *et al.* 2005, S. 272). Die Herstellung erfolgt meist in Lösung durch radikalische Copolymerisation von Acrylsäure (Propensäure,  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{COOH}$ ) mit Natriumacrylat ( $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{COO}^-\text{Na}^+$ ) (vgl. Abbildung 8).

---

<sup>31</sup> Bei der Herstellung von SAP wird die Acrylsäure zuvor mit Natronlauge teilneutralisiert. Neben diesem vom technischen Standpunkt her einfachsten Verfahren der Prä-Neutralisation besteht auch die Möglichkeit einer Post-Neutralisation, bei der das bereits feste SAP-Gel mit einer basischen Substanz zur Reaktion gebracht werden muss. Die Wahl der Neutralisationsmethode hängt im Regelfall davon ab, ob die Löslichkeit des 'Vernetzers' (*cross-linker*) vom pH-Wert der Reaktionslösung beeinflusst wird (vgl. Elliot o. J., S. 9).

Dem Reaktionsgemisch wird außer einem Initiator<sup>32</sup> zusätzlich noch ein ‘Vernetzer’ (*cross-linker*) zugesetzt (vgl. Abbildung 9).

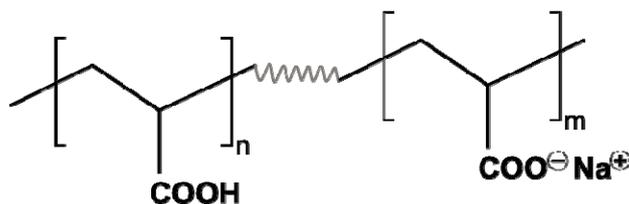


Abbildung 8: Polymer-Einheiten eines Superabsorbers

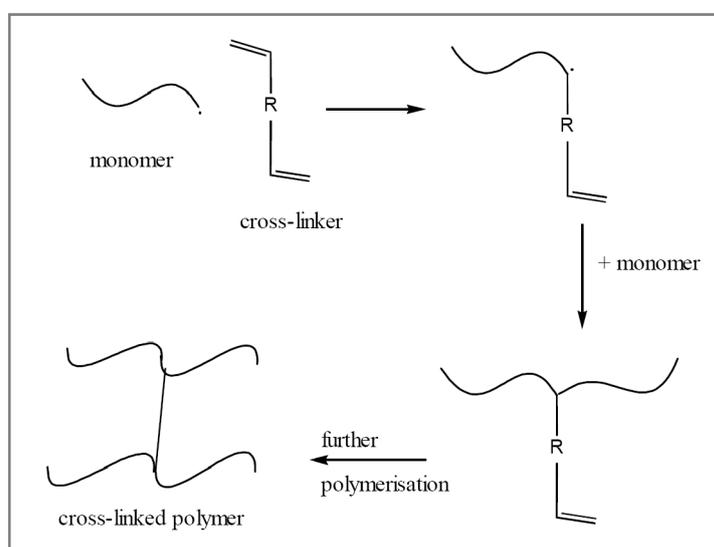


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Einbaus kovalent gebundener Vernetzer (*cross-linker*) in die Polymerkette. (Aus: Elliot o. J., S. 10)

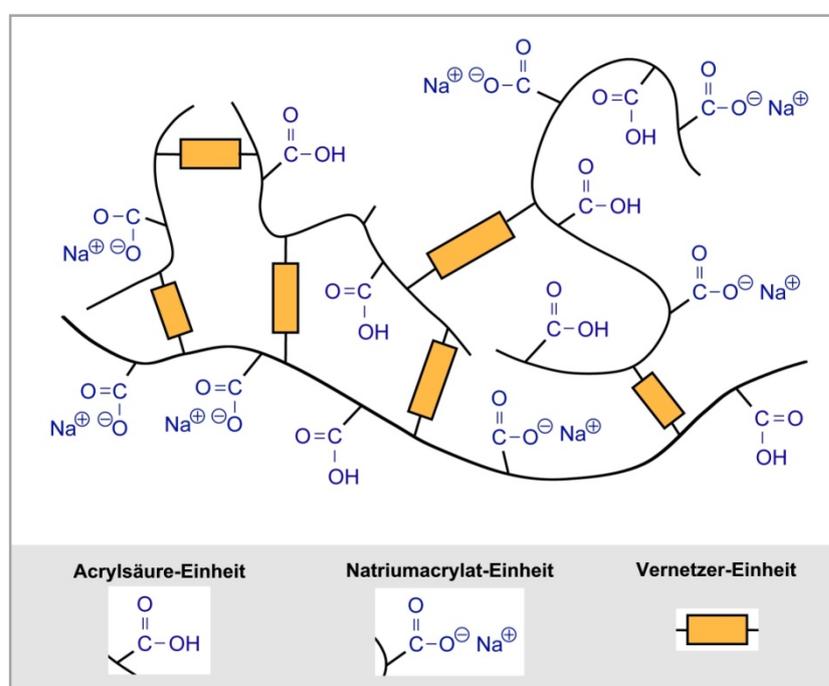
Als ‘Vernetzer’ kommen Moleküle zum Einsatz, die mindestens zwei Doppelbindungen als reaktive Zentren aufweisen, z. B. Methylendiacylamid  $[(\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH})_2\text{CH}_2]$  (vgl. auch Staples *et al.* 1998, S. 21). Durch die Zugabe solcher Moleküle während des Polymerisationsprozesses bildet sich statt des eigentlich wasserlöslichen Polyacrylats ein dreidimensionales, polymeres, elastisches Netzwerk (vgl. Abbildung 10), welches sich daher flexibel dehnen und auch wieder zusammenziehen kann. Das Polymer-Grundgerüst ist bedingt durch die Carboxyl-Gruppen ( $-\text{COOH}$ ), die Carboxylat-Gruppen ( $-\text{COO}^-$ ) und die Natriumkationen ( $\text{Na}^+$ ) dennoch hydrophil. Die kovalent gebundenen ‘Vernetzer’

<sup>32</sup> Ohne Stabilisatoren polymerisiert Acrylsäure zwar mit der Zeit selbsttätig, zur Beschleunigung und gezielten Auslösung des Polymerisationsvorgangs nutzt man jedoch Initiatoren, z. B. ein Redoxsystem mit Kaliumperoxodisulfat ( $\text{KO}_3\text{S}-\text{O}-\text{O}-\text{SO}_3\text{K}$ )/Natriumdisulfit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) (vgl. Staples *et al.* 1998, S. 20). Die sich intermediär bildenden Sulfat-Radikale ( $\text{SO}_4^{\cdot-}$ ) fungieren dann als eigentliche Initiatoren der Polymerisation.

(*cross-linker*) bewirken jedoch, dass das Molekül nicht mehr wasserlöslich, sondern nur noch quellbar ist. Bei Wasserzugabe entsteht daher keine Lösung, sondern ein sogenanntes Hydrogel (vgl. Elliot o. J., S. 5), ein Sonderfall einer flüssigen, wässrigen Polymer-Lösung:

Drei Effekte verursachen diesen Sonderfall:

- Die das Gel umgebende Phasengrenze ist für die Polymerbestandteile des Netzwerks undurchlässig (ähnlich einer semipermeablen Membran bei einem osmotischen Experiment);
- Sind Moleküle vorhanden, die größer als die „Maschenweite“ des Netzwerkes sind, so können diese Moleküle nicht in das Gel eindringen bzw. diese[s] nicht verlassen (Größenausschluss-effekte; ähnlich einer semipermeablen Membran bei einem osmotischen Experiment);
- Durch die Vernetzung der Polymerketten besitzt das Gel elastische Eigenschaften (Gummi-elastizität). (Thiel *et al.* 1995, S. 1569f.)

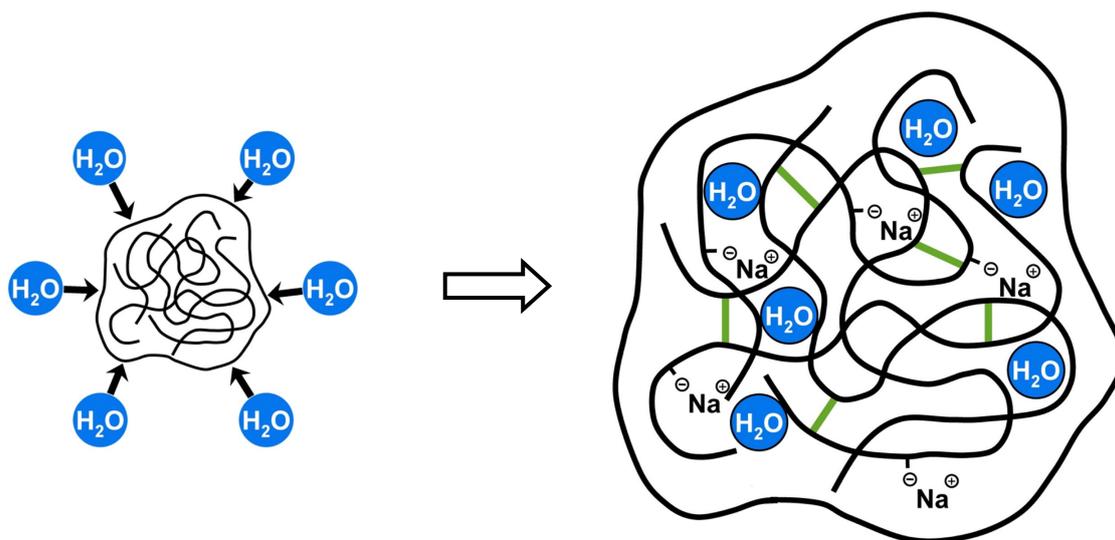


**Abbildung 10:** Schematische Darstellung eines Ausschnitts aus dem Polymer-Netzwerk mit kovalent gebundenen 'Vernetzern' (Nach: BASF o. J.)

Letztlich ergeben sich aus dem Sonderfall des Hydrogels zwei (einander ergänzende) Erklärungsmodelle, um das Phänomen zu deuten, dass ionische, superabsorbierende Polymere derart große Flüssigkeitsmengen aufnehmen können (vgl. Göthlich *et al.* 2005, S. 272). Beide Modelle basieren auf Wechselwirkungen zwischen dem Polymer-Netzwerk und den Wassermolekülen.

Ein Deutungsmodell führt das Quellvermögen der SAP auf elektrostatische Abstößungskräfte zurück. Im Ursprungszustand ist das Polymer-System des Superabsorbers insgesamt gesehen elektrisch neutral, da die negativen Ladungen der Carboxylat-Anionen durch die positiven Natrium-Kationen ausgeglichen werden. Beim Kontakt mit Wasser er-

folgt eine Hydratation der Natrium-Kationen, die im Gegensatz zu den Carboxylat-Gruppen relativ frei beweglich sind. Dadurch sinkt die coulombsche Anziehung zwischen den Natrium-Ionen und den Carboxylat-Ionen; die Abstoßungskräfte zwischen den Carboxylat-Anionen nehmen jedoch zu – die Polymerketten strecken bzw. dehnen sich daher (vgl. auch Abbildung 11). Wasserstoffbrückenbindungen mit den Carboxylat-Gruppen halten die Wassermoleküle im Inneren des Hydrogels fest.



**Abbildung 11:** Schematische Darstellung des Quellprozesses schwach vernetzter, teilneutralisierter Polyacrylsäure beim Kontakt mit Wasser. (Nach: Göthlich *et al.*, S. 267)

Ein erweitertes Deutungsmodell (vgl. Elliot o. J., S. 5) baut auf dem ersten auf und berücksichtigt, dass sich die hydratisierten Natrium-Ionen zwar frei innerhalb des Netzwerks bewegen, dieses aber nicht verlassen können, weil Anziehungskräfte (Coulomb-Kräfte) zwischen Natrium- und Carboxylat-Ionen die Elektroneutralität des Moleküls wahren. Das Verhalten des Hydrogels ist daher mit dem einer semipermeablen Membran vergleichbar, die die Natrium-Ionen am Verlassen des Netzwerks hindert. Daher

[...] besitzt das ionische Polymer lokal einen höheren osmotischen Druck als das umgebende Medium. Zum Ausgleich diffundiert Wasser in das Knäuel [...]. (Göthlich *et al.* 2005, S. 272)

Prinzipiell würde so lange Wasser in das Netzwerk diffundieren, bis ein Konzentrationsausgleich zwischen der Ionen-Konzentration innerhalb und außerhalb des Polymer-Knäuels erreicht ist, was einem Lösen des Polymers gleichkäme. Die 'Vernetzer' begrenzen jedoch rein physikalisch eine unendliche Ausdehnung des Polymers. Erhöht man dagegen die Kationenkonzentration außerhalb des Hydrogels, so verringert dies das Konzentrationsgefälle und damit auch den hydrostatischen Überdruck im Polymer – die Flüssigkeitsaufnahme Kapazität des Superabsorbers sinkt. Ein maximales Quellvermögen wird daher mit deionisiertem Wasser erreicht.

Die Flüssigkeitsaufnahmekapazität von Superabsorbentpolymeren wird somit produktionsseitig vom Neutralisations- und Vernetzungsgrad des Makromoleküls beeinflusst, anwendungsbedingt vom Ionengehalt und dem pH-Wert der wässrigen Flüssigkeit:

- Ein höherer Neutralisationsgrad führt im Prinzip zu einer Erhöhung der Natrium-Ionenkonzentration im Hydrogel und damit zu einem größeren hydrostatischen Druck. Jedoch gibt es offenbar einen Schwellenwert, der auch abhängig ist vom verwendeten Vernetzer-Molekül (vgl. Elliot o. J., S. 7f.).
- Der Grad der Vernetzung hat einen direkten Effekt auf das Quellvermögen des Polymer-Knäuels und die Stärke des Netzwerks. Ein hoher Vernetzungsgrad erhöht einerseits die Stabilität des sich bildenden Hydrogels, begrenzt aber zugleich die Ausdehnungsfähigkeit des Polymer-Gerüsts. In der Praxis bedeutet dies, dass ein höherer Anteil an ‘Vernetzern’ zu Superabsorbentpolymeren führt, die zwar ein verringertes Quellvermögen haben, jedoch bei Druck (etwa wenn ein Baby auf seiner Windel sitzt) kaum Flüssigkeit abgeben. Ein geringerer Anteil an ‘Vernetzern’ ergibt dagegen ein saugfähigeres Produkt, welches aber einerseits eine klebrige Konsistenz aufweist und andererseits bei Druck leichter wieder Flüssigkeit verliert. Diesem Zielkonflikt kann man inzwischen durch eine zusätzliche Oberflächenvernetzung nach der Polymerisation (*post cross-linking*) begegnen (Elliot o. J., S. 12f.). Als Resultat erhält man ein Makromolekül, welches im Kern nur leicht vernetzt ist, was für die Flüssigkeitsaufnahmekapazität günstig ist, an der Oberfläche jedoch deutlich stärker, was einem Flüssigkeitsaustritt unter Druck entgegenwirkt.
- Der Ionengehalt einer wässrigen Flüssigkeit beeinflusst unmittelbar die Aufnahmekapazität eines SAP für diese Flüssigkeit, weil der ‘osmotische Druck’ im Polymer-Netzwerk entsprechend sinkt.
- Wässrige, saure Lösungen führen zu einer Protolyse der Carboxylat-Gruppen des Polymers und damit zu einem Austausch der Natrium-Ionen. Dadurch sinkt einerseits die elektrostatische Abstoßung der Carboxylat-Gruppen, wodurch eine Streckung des Polymer-Knäuels kaum noch stattfindet. Ferner vermindert dies auch den ‘osmotischen Druck’ im Hydrogel, weil die Natrium-Ionen das Polymer nun verlassen können.
- Wässrige, alkalische Lösungen setzen ebenfalls die Quellfähigkeit des SAP herab, weil dann unvermeidlich auch die Kationen-Konzentration der Flüssigkeit hoch und damit das Kationen-Konzentrationsgefälle zwischen Hydrogel und Lösemittel geringer ist.

Weil Harn<sup>33</sup> gelöste anorganische Salze wechselnder Konzentration enthält und überdies leicht sauer ist, wird das Quellvermögen von SAP für Babywindeln daher mittels isotoni-scher Lösungen (in der Regel eine 0,9-prozentige Natriumchloridlösung) getestet.

---

<sup>33</sup> Harn ist eine wässrige Lösung zahlreicher organischer und anorganischer Stoffe mit einem pH-Wert zwischen 5,0 und 6,4. Der Gehalt an Inhaltsstoffen ist tagesperiodisch schwankend. Im sogenannten ‘24-Stunden-Harn’ finden sich „beim gesunden Erwachsenen z. B. Harnstoff (durchschnittlich 20 g), Harnsäure (0,5 g), Kreatinin (1,2 g), Ammoniak (0,5 g), Aminosäuren (2 g), Proteine (60 mg), reduzierende Substanzen (0,5 g, davon etwa 70 mg D-Glucose od. *Harnzucker*), Citronensäure (0,5 g)“ (Falbe & Regitz 1990, S. 1729; Hervorheb. i. O.) sowie weitere organische Verbindungen. An anorganischen Ionen, von denen die Kationen das Quellvermögen superabsorbierender Polymere stark beeinflussen, liegen im ‘24-Stunden-Harn’ vor: „Na<sup>+</sup> (5,9 g), K<sup>+</sup> (2,7 g), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (0,8 g), Ca<sup>2+</sup> (0,5 g), Mg<sup>2+</sup> (0,4 g), Cl<sup>-</sup> (8,9 g), PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (4,1 g), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (2,4 g)“ (ebd.).

### 5.3.3 „Hightech in der Babywindel“ – ein (weitgehend) offener Untersuchungsauftrag in Theorie und Praxis

Der Untersuchungsauftrag „Hightech in der Babywindel“ lehnt sich an das in Kapitel 4.3 vorgestellte *inquiry*-Verfahren an. Mittels Vorstudien wurde der Untersuchungsauftrag bereits mehrfach erprobt und vor allem sprachlich und hinsichtlich des Arbeitsauftrages überarbeitet.

In der hier dokumentierten Fassung werden die Schüler mit schriftlichen Informationen rund um den Aufbau und die Wirkungsweise einer Babywindel sowie mit einem Arbeitsauftrag konfrontiert (siehe Anhang B-1). Die Konstruktion des Untersuchungsauftrages basiert auf folgenden didaktischen Entscheidungen:

- Mittels dieser Interventionsmaßnahme wird untersucht, welchen Beitrag ein weitgehend offener Untersuchungsauftrag (*inquiry*) für den impliziten Erwerb eines Wissens über die Natur der Naturwissenschaften (*learn about the nature of science*) leisten kann. Da ein solches Wissen nicht unabhängig von bestimmten Inhalten (*science content*) und bestimmten Verfahren (*doing science*) erworben werden kann, haben der fachliche Gegenstand und die Durchführungsweise des *inquiry* natürlich forschungsmethodisch einen Einfluss. Um diese Einflüsse genauer bestimmen zu können, müssten unterschiedliche naturwissenschaftliche Gegenstände und auch unterschiedliche *inquiry*-Typen erforscht werden. Dies ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit. Mir geht es zunächst darum, ob das *inquiry*-Verfahren, wenn es aus einer lerntheoretisch fundierten Sichtweise durchgeführt wird, überhaupt ein Potenzial für den impliziten Erwerb von NOS bietet.
- Dies verdeutlicht zugleich: Der fachliche Gegenstand darf aus forschungsmethodischer Sicht nicht beliebig und daher nicht von den Schülern frei wählbar sein, weil dies eine Variablenkontrolle unmöglich machen würde. Daher wird er von mir vorgegeben. Wichtig ist jedoch, dass die Hintergründe für die Schüler auch unbekannt sind, damit sie überhaupt ein Problem zu bearbeiten haben. Dies ist bei dem fachlichen Gegenstand der superabsorbierenden Polymere wahrscheinlich (vgl. Kapitel 5.3.1).
- Themenvorgabe und *open inquiry* schließen sich auf den ersten Blick eigentlich aus. Ein angeleiteter Untersuchungsauftrag (*guided inquiry*) wäre jedoch kontraproduktiv für den Erwerb eines sinnvollen Wissens über NOS, da dadurch *eine* naturwissenschaftliche Methode privilegiert werden würde. Daher wird hier, anders als bei einem völlig offenen Untersuchungsauftrag, der von Schülerfragen ausginge, ein Problemgrund vorstrukturiert; anders als bei einem angeleiteten Untersuchungsauftrag werden jedoch Verfahrensschritte nicht vorgegeben.
- In Anlehnung an lernpsychologische Forschungsergebnisse (vgl. Kapitel 4.2) sollte der Problemgrund herausfordernd, aktivierend und authentisch gestaltet sein. Daher bekommen die Schüler nicht einfach nur einen Arbeitsauftrag, sondern auch eine mit Abbildungen illustrierte Textgrundlage inklusive realer Daten<sup>34</sup>. Die Textgrundlage ist bewusst populärwissenschaftlich formuliert und enthält daher auch sachlich falsche, aber kommunikativ verbreitete phraseologische Formulierungen, wie z. B.: „Pro Nacht lassen Kinder einiges an Wasser“

<sup>34</sup> Die Quellenangaben der verwendeten Bilder für den Untersuchungsauftrag finden sich im Anhang B-2. Dort sind ebenfalls die auf Erhebungen der Firma Procter & Gamble basierenden Werte der durchschnittlichen Urinmenge, die ein Baby nachts lässt, nachgewiesen.

(Anhang B-1). Da die Schüler in die Rolle von Wissenschaftlern gedrängt werden, fordern solche Formulierungen eine Präzisierung heraus.

- Zugleich muss das Problem auch relativ voraussetzungslos zu bearbeiten sein. Daher sind in der Textgrundlage – angelehnt an das Prinzip des *embedded data designs*<sup>35</sup> – alle relevanten Informationen zur Problemlösung bereits implizit enthalten. Eine eigenständige Recherche ist letztlich erst dann erforderlich, wenn erkannt wurde, dass es wichtig ist zu wissen, ob Harn gelöste Salze enthält. Neben relevanten enthält der Arbeitsauftrag bewusst auch irrelevante Informationen (beispielsweise zum Aufbau einer Windel), damit Schüler herausgefordert werden, selbst zu entscheiden, welche Informationen wichtig sind.
- Der Arbeitsauftrag, ein „aussagekräftiges Set an Daten bezüglich des saugfähigen Kerns“ (siehe Anhang B-1) einer Windel zusammenzustellen, ist bewusst offen gehalten. Welche Daten überhaupt erhebbar und welche davon ‘aussagekräftig’ sind, müssen die Schülergruppen zunächst für sich präzisieren. Nach AEBLI, der drei große Gruppen von Problemen unterscheidet, handelt es sich hier demnach um ein Problem mit Lücke:

Das Problem ist die Lücke, die zwischen den verfügbaren Mitteln und dem Ziel klafft. Wie die Mittel einsetzen, welche Mittel einsetzen, welche Aufbauschritte ausführen, das ist die Frage. (Aebli 1983, S. 280)

Typisch für solche Probleme, für die eine Lösungsmöglichkeit *gestaltet* werden muss, ist eine relativ vage Ausgangslage (vgl. ebd., S. 285). Dies bedingt nicht nur eine Offenheit auch des Zielzustandes, sondern außerdem eine systemische Komplexität (vgl. Edelmann 2000, S. 220). Daher sind relativ viele, individuelle und auch nach Niveau gestufte Lösungsmöglichkeiten denkbar.

- Indem Gruppen *ihren* Vorschlag zur Lösung des Problems umsetzen, müssen sie eigene technische Rahmenbedingungen festlegen, experimentieren, beobachten, messen, Daten erheben und analysieren, Schlussfolgerungen ziehen, Ergebnisse für ihre Mitschüler visualisieren, kurz: naturwissenschaftliche Prozesse anwenden. Dabei ist eine „subtile Balance zwischen praktischer Tätigkeit und theoretischer Reflexion“ (Engeln & Euler 2005, S. 81) erforderlich. Dadurch könnte ein implizites Lernen über die Natur der Naturwissenschaften zumindest begünstigt werden.

---

<sup>35</sup> Diese Idee ist dem sogenannten *anchored instruction*-Ansatz entlehnt, der von der *Cognition and Technology Group at Vanderbilt University* (CTGV 1997) entwickelt wurde. Der Ansatz geht davon aus, dass Lernen ein konstruktiver und situierter Prozess ist, bei dem ein Geflecht aus Vorerfahrungen, Vorwissen und emotionalen Überzeugungen maßgeblich darüber entscheidet, ob das Gelernte anschlussfähig ist. Neues wird daher nur dann gespeichert, wenn es einerseits mit bestehenden Wissensstrukturen und andererseits mit konkreten Problemlösungskontexten verankert und vernetzt werden kann. Eine offenbar gute Vernetzungsgrundlage ist ein sogenannter *narrativer Anker* (vgl. ebd., S. 24f.). Dabei handelt es sich um komplexe Geschichten oder Beschreibungen von möglichst realen Problemen, die es erlauben, eine Situation vollständiger als normalerweise üblich zu simulieren. Dabei wird auf (oft multimediale) Designs zurückgegriffen, bei denen die Daten, die zur Problemlösung benötigt werden, bereits in der Geschichte (implizit) vorhanden sind (*embedded data design*; vgl. ebd., S. 139). Recht bekannt sind die zwölf von der CTGV herausgegebenen, knapp 20-minütigen Spielfilme für den Mathematikunterricht, bei denen der Protagonist, Jasper Woodbury, mit verschiedenen Problemen konfrontiert wird (vgl. auch Reinmann-Rothmeier & Mandl 2001, S. 617f.). Eine interessante Abwandlung dieses Ansatzes ist das sogenannte *story telling*. Die Idee ist hierbei, implizites Wissen durch ‘Erfahrungsgeschichten’ verfügbar zu machen (vgl. Neubauer *et al.* 2004).

Der gesamte experimentelle Untersuchungsauftrag inklusive Ergebnisvorstellung der Gruppen kann prinzipiell problemlos in einer Doppelstunde durchgeführt werden. Sinnvoller ist es jedoch, wenn den Schülern für die Datenaufbereitung mehr Zeit eingeräumt wird, sodass die Plenumsphase mit Ergebnispräsentation und Besprechung der Vorgehensweisen in einer anschließenden Einzelstunde erfolgt.

Bei der konkreten Durchführung des Untersuchungsauftrages bekommen die Schüler-teams außer dem Arbeitsblatt (Anhang B-1) kein weiteres Material. Babywindeln und Superabsorber stehen an einer zentralen Stelle bereit und können bei Bedarf benutzt werden. Gängige Experimentierutensilien (z. B. Bechergläser, Waage etc.) müssen die Schüler jedoch anfordern bzw. aus Schülerarbeitschränken selbst auswählen. Beim kooperativen Problemlösen können Schüler gefahrlos und selbstständig agieren und dabei möglicherweise z. B. folgende, denkbare Untersuchungsschritte erproben:

- Die Wasseraufnahmekapazität sowie den ‘Komfortbereich’ einer Windel bestimmen.
- Den Aufbau der saugfähigen Schicht analysieren sowie den saugfähigen Kern einer Windel isolieren.
- Die Eigenschaften des saugfähigen Kerns mit denen von SAP vergleichen.
- Das Quellvermögen einer bestimmten Menge an SAP mit Wasser bestimmen. Dabei können auch zeitliche Aspekte beachtet werden.
- Die Rahmenbedingungen für den Sättigungsgrad des Hydrogels bzw. den ‘Komfortbereich’ einer Windel quantitativ festlegen, indem z. B. durch einen definierten Druck das Gewicht eines Babys und per Löschblatt der ‘Komfortbereich’ simuliert werden. Wird dies mit destilliertem bzw. deionisiertem oder auch mit sehr weichem Leitungswasser durchgeführt, kann die Frage auftauchen, warum käufliche Windeln für 10-12 Monate alte Babys sehr viel mehr Wasser absorbieren können als dies prinzipiell laut der im Material (Anhang B-1) eingebetteten Grafik nötig wäre.
- Das Quellvermögen in Abhängigkeit von pH-Wert, Art und Konzentration gelöster Stoffe sowie Temperatur der zu absorbierenden Flüssigkeit bestimmen.
- Die grobe Zusammensetzung von Harn recherchieren (knappe Informationen müssen auf Nachfrage zur Verfügung stehen, z. B. per Buch, Informationsblatt oder auch Internet), um eine entsprechende Flüssigkeit simulieren zu können, mit der erneut das Quellvermögen von SAP getestet wird.
- Anhand der gegebenen Informationen zur durchschnittlichen, nächtlichen Harnmenge eines Babys ein Vertrauensintervall bestimmen, innerhalb dessen die Harn-Aufnahmekapazität einer ‘Nachtwindel’ liegen sollte.
- Die gewonnenen Daten (grafisch) aufbereiten und eine begründete Empfehlung aussprechen, welche Menge an Superabsorber für eine Windel erforderlich ist, um den selbst gewählten Kriterien eines ‘Komfortbereichs’ bei einer selbst zu definierenden maximalen Tragedauer gerecht zu werden.

Der hier vorgestellte Untersuchungsauftrag stellt nicht nur hohe Ansprüche an die naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen der Schüler, sondern auch an ihre kooperations- und generellen Problemlösefähigkeiten. Diese Ansprüche bergen jedoch zugleich auch ein Poten-

zial: Denn der Untersuchungsauftrag gestattet den Schülern nicht nur, wesentliche naturwissenschaftliche Arbeits- und Denkweisen selbstständig für sich zu entdecken, er ermöglicht auch, gleichzeitig darüber methodisch zu reflektieren.

## 6. Schülervorstellungen zu *Nature of Science* in der Evaluation

### 6.1 Vorbemerkungen

Die Frage, ob und gegebenenfalls wie Schüler Wissen über die Natur der Naturwissenschaften *im ganz normalen Unterricht* nachhaltig erwerben können, ist bislang unbeantwortet. Die Evaluation der beiden in Kapitel 5 vorgestellten Interventionsmaßnahmen soll daher Aufschluss über folgende Fragestellungen bieten:

- Welche Vorstellungen zum Lernbereich ‘Natur der Naturwissenschaften’ bringen Schüler einer Jahrgangsstufe 11 überhaupt mit in den Unterricht?
- Welche Effekte haben bislang unerforschte, *implizit vorstrukturierte Lernarrangements* auf die Schülervorstellungen zum Lernbereich einer Natur der Naturwissenschaften, die sich gezielt im Spannungsfeld von Konstruktion und Instruktion bewegen? Beispielhaft wird hier das in Kapitel 5.2 vorgestellte Gruppenpuzzle ‘Forschern auf die Finger geschaut’ untersucht, bei dem Schüler eine eigenständige Rekonstruktion historisch gut dokumentierter und explizit dargelegter Forschungsprozesse leisten müssen. Wissen über NOS ist in dem Lernarrangement nicht explizit, sondern nur implizit-vorstrukturiert enthalten.
- Welche Effekte zeigt ein lerntheoretisch attraktiver Weg eines *impliziten Lernens* auf die Schülervorstellungen zum Lernbereich einer Natur der Naturwissenschaften, bei dem Schüler in der Rolle naturwissenschaftlicher Forscher einem strukturell offenen naturwissenschaftlichen Problem nachgehen müssen (*open inquiry*)? Beispielhaft wird hier der in Kapitel 5.3 vorgestellte Forschungsauftrag ‘Hightech in der Babywindel’ untersucht, bei dem Schüler in eine problemhaltige Situation versetzt werden, in der sie experimentell gestützte Lösungsvorschläge unterbreiten müssen. Wissen über NOS kann in dem Lernarrangement nur inzidentell erworben werden.

Die Thematik an sich bringt es mit sich, dass es schwierig ist, Vorstellungen zu *nature of science* zu erheben (vgl. *et al.* 2002, S. 498; Priemer 2006, S. 166f.). Dies liegt vor allem daran, dass der Gegenstandsbereich weder klar umrissen noch allgemein konsensfähig ist (vgl. Kapitel 3.2). Ferner kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass Schüler bereits stabile und vor allem widerspruchsfreie Ansichten zu NOS etabliert haben. Folglich sind Aussagen, die über Schülervorstellungen zur Geartetheit der Naturwissenschaften getroffen werden, sehr eng an die Grundannahmen des eingesetzten Evaluationsinstruments geknüpft.

Bevor solche Aussagen getroffen werden können, muss daher zunächst das genutzte Evaluationsinstrument vorgestellt (Kapitel 6.2) und die Studie forschungsmethodisch vertortet (Kapitel 6.3) werden.

## 6.2 Der Fragebogen VNOS-C als Instrument zum Erheben von Vorstellungen über *Nature of Science*

### 6.2.1 Offene versus geschlossene Instrumente

Um bei Schülern deren Ideen zu *nature of science* zu erfassen, gibt es eine Vielzahl an Erhebungsinstrumenten<sup>1</sup>, die sich je nach der Zielsetzung der jeweiligen Studien sowie den Überzeugungen der Forscher teilweise stark unterscheiden. Neben eher klassischen Verfahren wie der Nutzung von Fragebögen, Interviews oder nicht-teilnehmenden Beobachtungen bieten sich z. B. auch vorgegebene Situationen an, die von den Probanden beurteilt werden müssen, oder die Auswertung von Materialien, die Schüler angefertigt haben (vgl. Lederman *et al.* 1998, S. 610ff.; Priemer 2006, S. 164f.). Dominiert wird die Forschungspraxis jedoch eindeutig von geschlossenen Erhebungsinstrumenten in Form von Fragebögen, von denen allein LEDERMAN *et al.* (1998) über zwanzig verschiedene dokumentieren.

Ein vielfach eingesetztes, geschlossenes Instrument ist beispielsweise der VOSTS-Fragebogen (*Views on Science-Technology-Society*) (Aikenhead & Ryan 1992), der aus einem Pool von 114 Multiple-Choice-Fragen besteht. AIKENHEAD & RYAN greifen auf dieses Antwortformat zurück, weil hier – anders als z. B. bei LIKERT-Skalen<sup>2</sup> – deutlich geringere Abweichungen (15-20%) im Vergleich zu den Antworten auftraten, die dieselben Probanden im Nachgang in halbstrukturierten Interviews gaben. Solche immer noch recht hohen Abweichungen sind vor allem dadurch erklärbar, dass bei geschlossenen Instrumenten, die konstruiert wurden, um Schüleransichten über die Geartetheit der Naturwissenschaften zu

---

<sup>1</sup> Vgl. für einen recht umfassenden Überblick LEDERMAN *et al.* (1998) sowie PRIEMER (2006), der auch stärker psychologisch orientierte Instrumente anführt, um generell epistemologische Überzeugungen zu erheben.

<sup>2</sup> Mittels LIKERT-Skalen (vgl. Rost 1996, S. 52f.), die auf der Grundidee des ‘semantischen Differenzials’ (OSGOOD) bzw. des ‘Polaritätsprofils’ (HOFSTÄTTER) basieren, möchte man Einstellungen erheben. Zugrunde gelegt wird dabei ein Kommunikationsmodell, bei dem Sprache offenbar als Spiegel der Kognition gefasst wird: Den Probanden werden Aussagen vorgegeben, welche sie mittels ebenfalls vorgegebener, gegensätzlicher Adjektivpaare skalieren sollen (etwa nach ‘gut – böse’, ‘stark – schwach’, etc.). Man unterstellt dabei, dass sich so Einstellungen anhand der ermittelten semantischen Repräsentationen objektiv erheben und statistisch analysieren lassen, d. h., angekreuzte Adjektive sollen auf die persönlichen Ansichten eines Menschen verweisen. Ankreuzbar sind jedoch nur *mögliche Konnotationen* (diese sind ja vorgegeben) als Response auf einen Stimulus. Wortbedeutungen sind jedoch immer Denotat *und* Konnotat zugleich und von daher auch nie eindeutig, sondern stets mehrdeutig. Die „unmittelbare Bedeutung des Wortes [stellt] im Grunde die *Auswahl* der erforderlichen Bedeutung aus einer Reihe von möglichen“ (Lurija 1982, S. 36; Hervorheb. i. O.) dar. In der Regel treffen *wir* jedoch diese Auswahl bei jedem Wort, wodurch sich der *Wortsinn* konstituiert; sie wird normalerweise nicht vorgegeben. *Bedeutung* entsteht daher nach LURIJA durch ein „System von Zusammenhängen, die hinter dem Wort stehen“ (ebd., S. 54). Der *Sinn* ist im Gegensatz dazu jedoch die „*individuelle Bedeutung eines Wortes*, die aus diesem objektiven System von Zusammenhängen herausgegliedert“ (ebd.; Hervorheb. i. O.) wird. Auf diese Weise bringt der Sinn einen subjektiven Bedeutungsaspekt in ein Wort hinein. Dies heißt aber auch: Erst der *Sinn* könnte auf eine ‘Einstellung’ hinweisen – er wird mittels LIKERT-Skalen jedoch nicht erhoben. Daher ist es m. E. nicht verwunderlich, dass AIKENHEAD & RYAN (1992, S. 479) Abweichungen von bis zu 80% zwischen den Antworten in den Interviews und den Kreuzen bei den LIKERT-Skalen fanden. (Vgl. zur Kritik an der These, Sprache sei ein Spiegel der Kognition, auch Feilke 1994b sowie Feilke & Schmidt 1995.)

erheben, in der Regel *eine* Sichtweise privilegiert wird, ohne dem Probanden alternative Antwortmöglichkeiten einzuräumen.

LEDERMAN *et al.* (1998; 2002) greifen diese Kritik auf und verschärfen das auch bei AIKENHEAD & RYAN vorgebrachte Argument der Vagheit sprachlicher Äußerungen, was generell gegen klassische *paper-and-pencil-tests* spreche: Es könne nicht nur nicht vorausgesetzt werden, dass alle Fragen auch genau so verstanden würden, wie sie von den jeweiligen Forschern intendiert seien; vielmehr spiegelten die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten häufig auch die NOS-Sichtweise desjenigen wider, der den Fragebogen entworfen habe und privilegiere so dessen Position. Die im Anschluss an geschlossene Erhebungsinstrumente gezogenen Schlüsse seien daher nicht valide:

Thus, the views that ended up being ascribed to respondents were more likely an artifact of the instrument in use than a faithful representation of the respondents' conceptions of NOS. (Lederman *et al.* 2002, S. 502)

Daher plädieren sie für einen *offenen* Fragebogen, kombiniert mit fakultativen Interviews, weil dieses Vorgehen zwar ebenfalls eine Sichtweise bevorzuge, eine Alternative jedoch zu entfalten gestatte und daher mehr Tiefgang bei der Analyse erlaube:

Very often, the significant question is not whether a person's view of the nature of science conforms to a particular espoused viewpoint, but rather, what are the limits of the person's understandings and how do their understandings affect their choices and behaviors. These questions require more detailed descriptions of a person's beliefs than paper and pencil instruments alone are able to provide. (Lederman *et al.* 1998, S. 610)

An *offenen*, etablierten Instrumenten gibt es meines Wissens außer den VNOS-Fragebögen (*Views of Nature of Science*) der Arbeitsgruppe um LEDERMAN nur noch Leitfadeninterviews zu naturwissenschaftlichen Vorstellungen (z. B. eingesetzt von Carey *et al.* 1989 und Driver *et al.* 1996<sup>3</sup> sowie teilweise auch von Grygier *et al.* 2004 und Sodian *et al.* 2002) und Gruppendiskussionen (vgl. Solomon 1992). Die Auswertung der Leitfadeninterviews bzw. der Gruppendiskussionsbeiträge erfolgt hier jeweils analog zu der, wie sie für die VNOS-Fragebögen vorgeschlagen wird: Die gegebenen Antworten werden Kategorien zugeordnet, die an das Material herangetragen werden.

Letztlich scheint die Diskussion um adäquate Instrumente jedoch eher eine Frage der intendierten Ziele<sup>4</sup> zu sein. AIKENHEAD (2003) bringt es treffend auf den Punkt, wenn er

<sup>3</sup> DRIVER *et al.* (1996, S. 62ff.) führen die Leitfadeninterviews im Anschluss an einen Fragebogen (ebd., S. 73) durch, bei dem Schüler einschätzen sollen, ob ein gegebenes Statement eine naturwissenschaftliche Frage darstellt oder nicht. Anders als bei den Fragebögen 'VNOS' oder 'VOSTS' müssen die Fragen bei Driver *et al.* daher in konkrete Kontexte eingebunden sein. So ließen sich Antworten gemäß sozialer Erwünschtheit eher vermeiden und reales Handeln besser erfassen (ebd., S. 57f.). Fraglich ist dabei jedoch, inwiefern die Antworten eine Dekontextualisierung und damit eine Generalisierung erlauben.

<sup>4</sup> Dies zeigt sich beispielsweise deutlich anhand der Kritik, die WENNING (2006) an den VNOS-Fragebögen übt: „The difficulty with VNOS is that all three versions of the test consist only of open-ended questions to which there are no right or wrong answers. [...] While such questionnaires can be powerful tools in determin-

feststellt, dass offene Instrumente zwar mühsam auszuwerten seien und nur auf wenige Konzepte beschränkt bleiben, dafür jedoch fundiertere Aussagen erlauben:

Both the VNOS-form C (Lederman et al., 2002) and the Images of Science Probes (Driver et al., 1996) provide flexible techniques for gathering evidence in depth, even though the approach is labour intensive and the breadth of topics is necessarily restricted to a few key humanistic concepts. (Ebd., S. 58)

### 6.2.2 Fragebogen VNOS-C und dessen Adaption im Detail

Der von LEDERMAN *et al.* (2002) entwickelte und dokumentierte Fragebogen VNOS-C (vgl. Tabelle 23) stellt eine überarbeitete Fassung vorheriger Versionen<sup>5</sup> des Fragebogens dar (vgl. Abd-El-Khalick *et al.* 1998; Lederman & O'Malley 1990). Gemeinsam ist allen Varianten, dass es sich um offene Fragebögen handelt, bei denen Schüler ihre Sicht der Dinge darlegen können und es keine eindeutig richtigen oder falschen Antworten gibt. Um Fehlinterpretationen zu minimieren, können fakultativ halbstrukturierte Follow-Up-Interviews eingesetzt werden. Die Interviews werden forschungsmethodisch nicht nur zur Validierung der Fragebögen eingesetzt, sondern auch um ausführliche und individuelle Schülerportraits zu erstellen: „The interviews also aimed to generate in-depth profiles of participants' NOS views“ (ebd., S. 503f.).

Die zehn Fragen des VNOS-C decken insgesamt jene acht Zielbereiche eines Wissens über die Natur der Naturwissenschaften ab, die bereits in Tabelle 11 in Kapitel 3.2.2 dargelegt wurden:

- a) Empirische Basis
- b) Status von Beobachtungen, Deutungen und (Denk-)Modellen (Theorie vs. Empirie)
- c) Status von Theorien und naturwissenschaftlichen Gesetzen
- d) Anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften
- e) Theoriegebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens

---

ing what students think in detail about a limited number of topics (7 in version B and 10 in version C), these questionnaires are not based on comprehensive NOS framework, they are difficult to administer and score with large populations, and are not geared toward assessing knowledge about the nature of science per se“ (ebd., S. 11). Bei genauerer Betrachtung beziehen sich WENNINGS Argumente eher auf allgemeine Charakteristika qualitativer Forschungsmethoden, weniger auf die VNOS-Fragebögen an sich.

<sup>5</sup> Eine Überarbeitung des ursprünglichen Fragebogens VNOS-A wurde nötig, weil sich in anschließenden Interviews herausstellte, dass einige Fragen missverständlich gestellt waren (Lederman *et al.* 2002, S. 504). In der Forschungspraxis werden daher zumeist die Varianten VNOS-B und VNOS-C (VNOS-C erfasst die intendierten NOS-Zielbereiche breiter als VNOS-B) verwendet, sodass hier eine reichhaltige Vergleichsdatenbasis existiert. Daneben gibt es aber noch weitere Fassungen mit anderen Schwerpunktsetzungen und auch anderen Zielgruppen (z. B. für die Unter- und Mittelstufe). Gleichwohl überschneiden sich diese oft inhaltlich. Alle Varianten sind im Internet vom Projekt ICAN (*Inquiry, Context, and Nature of Science*) dokumentiert. (Verfügbar über: <http://www.projectican.com/assessment.html>; Datum des letzten Zugriffs: 19.12.2007.)

- f) Sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen  
 g) Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode  
 h) Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens

Original VNOS-C (Lederman <i>et al.</i> 2002, S. 509)	Übersetzung	Zielbereich(e)
1. What, in your view, is science? What makes science (or a scientific discipline such as physics, biology, etc.) different from other disciplines of inquiry (e.g., religion, philosophy)?	1. Was verstehen Sie unter dem Wort „Naturwissenschaften“? Was ist ihrer Meinung nach der Unterschied zwischen Naturwissenschaften (oder z. B. einer naturwissenschaftlichen Disziplin wie Physik oder Biologie) und anderen Forschungsrichtungen (wie z. B. Theologie oder Philosophie)?	a g (h)
2. What is an experiment?	2. Was ist ein Experiment?	a, b
3. Does the development of scientific knowledge <b>require</b> experiments? <ul style="list-style-type: none"> <li>- If yes, explain why. Give an example to defend your position.</li> <li>- If no, explain why. Give an example to defend your position.</li> </ul>	3. Sind für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens Experimente <b>erforderlich</b> ? <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falls ja, begründen Sie warum. Nennen Sie ein Beispiel, um ihre Meinung zu untermauern.</li> <li>- Falls nein, begründen Sie warum. Nennen Sie ein Beispiel, um ihre Meinung zu untermauern.</li> </ul>	a b c d
4. After scientists have developed a scientific theory (e.g., atomic theory, evolution theory), does the theory ever change? <ul style="list-style-type: none"> <li>- If you believe that scientific theories do not change, explain why. Defend your answer with examples.</li> <li>- If you believe that scientific theories do change:            (a) Explain why theories change? (b) Explain why we bother to learn scientific theories? Defend your answer with examples.</li> </ul>	4. Kann sich eine naturwissenschaftliche Theorie jemals ändern, wenn Naturwissenschaftler sie einmal entwickelt haben (z. B. Evolutionstheorie)? <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falls Sie glauben, dass sich naturwissenschaftliche Theorien <b>nicht</b> ändern, begründen Sie warum! Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!</li> <li>- Falls Sie glauben, dass sich naturwissenschaftliche Theorien <b>ändern</b>: (a) Warum ist das so? Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen. (b) Warum beschäftigt man sich dann in der Schule überhaupt mit naturwissenschaftlichen Theorien? Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!</li> </ul>	c h
5. Is there a difference between a scientific theory and a scientific law? Illustrate your answer with an example.	5. Gibt es einen Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz? Veranschaulichen Sie ihre Antwort mit einem Beispiel!	b c h
6. Science textbooks often represent the atom as a central nucleus composed of protons (positively charged particles) and neutrons (neutral particles) with electrons (negatively charged particles) orbiting that nucleus. How certain are scientists about the structure of the atom? What specific evidence <b>do you think</b> scientists used to determine what an atom looks like?	6. Ein Atom wird in naturwissenschaftlichen Lehrbüchern oft so dargestellt, dass sich im Zentrum ein Kern aus Protonen (positiv geladene Teilchen) und Neutronen (neutrale Teilchen) befindet, der von Elektronen (negativ geladene Teilchen) umkreist wird. Wie sicher sind Naturwissenschaftler, dass ein Atom genau so aussieht? Welche Belege haben Naturwissenschaftler <b>Ihrer Meinung nach</b> herangezogen um zu entscheiden, wie ein Atom aussieht?	b d h
7. Science textbooks often define a species as a group of organisms that share similar characteristics and can interbreed with one another to produce fertile offspring. How certain are scientists about their characterization of what a species is? What specific evidence <b>do you think</b> scientists used to determine what a species is?	7. In naturwissenschaftlichen Lehrbüchern wird eine Spezies oft als Gruppe von Organismen mit ähnlichen Merkmalen definiert, die sich untereinander vermehren können, um fruchtbare Nachkommen zu zeugen. Wie sicher sind sich Naturwissenschaftler hinsichtlich ihrer Definition, was eine Spezies ist? Welche Beweise haben Naturwissenschaftler <b>Ihrer Meinung nach</b> herangezogen um zu entscheiden, was eine Spezies ist?	b d h

Original VNOS-C (Lederman <i>et al.</i> 2002, S. 509)	Übersetzung	Zielbereich(e)
<p>8. It is believed that about 65 million years ago the dinosaurs became extinct. Of the hypotheses formulated by scientists to explain the extinction, two enjoy wide support. The first, formulated by one group of scientists, suggests that a huge meteorite hit the earth 65 million years ago and led to a series of events that caused the extinction. The second hypothesis, formulated by another group of scientists, suggests that massive and violent volcanic eruptions were responsible for the extinction. How are these <b>different conclusions</b> possible if scientists in both groups have access to and use the <b>same set of data</b> to derive their conclusions?</p>	<p>8. Man glaubt, dass die Dinosaurier vor mehr als 65 Millionen Jahren ausstarben. Zwei Hypothesen, warum sie ausstarben, sind weit verbreitet: Eine Gruppe von Naturwissenschaftlern geht davon aus, dass ein großer Meteorit vor 65 Millionen Jahren die Erde traf und eine Vielzahl von Ereignissen auslöste, die das Aussterben verursachten. Eine andere Gruppe von Naturwissenschaftlern vertritt die zweite Hypothese, wonach gewaltige Vulkanausbrüche für das Aussterben verantwortlich sind. Wie sind diese <b>unterschiedlichen Schlussfolgerungen</b> möglich, obgleich doch die Wissenschaftler beider Gruppen Zugang zu den <b>gleichen Informationsquellen</b> haben und auch von den gleichen Quellen ihre Schlussfolgerungen ableiten?</p>	<p>d e f g</p>
<p>9. Some claim that science is infused with social and cultural values. That is, science reflects the social and political values, philosophical assumptions, and intellectual norms of the culture in which it is practiced. Others claim that science is universal. That is, science transcends national and cultural boundaries and is not affected by social, political, and philosophical values, and intellectual norms of the culture in which it is practiced.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- If you believe that science reflects social and cultural values, explain why. Defend your answer with examples.</li> <li>- If you believe that science is universal, explain why. Defend your answer with examples.</li> </ul>	<p>9. Einige behaupten, dass die Naturwissenschaften in soziale und kulturelle Traditionen eingebunden sind. Damit ist gemeint, dass die Naturwissenschaften soziale und politische Wertschätzungen, philosophische Grundgedanken sowie geistige Maßstäbe der jeweiligen Kultur widerspiegeln. Andere sind der Ansicht, dass Naturwissenschaften universell sind. Damit ist gemeint, dass Naturwissenschaften nationale und kulturelle Grenzen überschreiten und durch soziale, politische und philosophische Werte sowie durch geistige Maßstäbe der jeweiligen Kultur nicht beeinflusst werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falls Sie glauben, dass Naturwissenschaften soziale und kulturelle Wertvorstellungen widerspiegeln, begründen Sie warum. Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!</li> <li>- Falls Sie glauben, dass Naturwissenschaften universell sind, begründen Sie warum. Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!</li> </ul>	<p>e f g</p>
<p>10. Scientists perform experiments/investigations when trying to find answers to the questions they put forth. Do scientists use their creativity and imagination during their investigations?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- If yes, then at which stages of the investigations you believe scientists use their imagination and creativity: planning and design, data collection, after data collection? Please explain why scientists use imagination and creativity. Provide examples if appropriate.</li> <li>- If you believe that scientists do not use imagination and creativity, please explain why. Provide examples if appropriate.</li> </ul>	<p>10. Naturwissenschaftler führen Experimente / Untersuchungen durch, um Antworten auf Fragen zu finden, die sie aufwerfen. Nutzen sie während ihrer Untersuchungen auch ihre Kreativität und Phantasie?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falls ja, an welchem Punkt einer Untersuchung nutzen Naturwissenschaftler Ihrer Meinung nach Kreativität und Phantasie: Beim Planen und Entwerfen? Beim Erheben von Daten? Nach der Datenerhebung? Bitte erklären Sie, warum Naturwissenschaftler Phantasie und Kreativität nutzen. Geben Sie Beispiele falls möglich.</li> <li>- Falls Sie der Meinung sind, dass Naturwissenschaftler keine Phantasie und Kreativität einsetzen, erklären Sie bitte warum. Geben Sie Beispiele falls möglich.</li> </ul>	<p>d g</p>

**Tabelle 23:** Der Fragebogen VNOS-C (Lederman *et al.* 2002, S. 509; Übersetzung: V. H.) und seine Zuordnung zu NOS-Zielbereichen. Vorrangige Zielbereiche sind fett gedruckt.

Wie Tabelle 23 zeigt, zielen die einzelnen Fragen – anders als bei den Varianten VNOS-A oder VNOS-B – stets *benutzt* auf mehrere Zielbereiche. Dadurch vermag der VNOS-C-

Fragebogen eine validere und vor allem konsistentere NOS-Sicht der befragten Personen aufzuzeigen.

Zielgruppe des Fragebogens sind letztlich Erwachsene, aber auch Schüler der US-amerikanischen Abschlussklassen (*grade K-12*; vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 499); der Fragebogen sollte von daher prinzipiell auch bei deutschen Oberstufenschülern einsetzbar sein. Meine Übersetzung sowie die Konsistenz zwischen Fragebogenantworten und Interviewstatements habe ich zunächst bei Studierenden des Lehramtes GHR ( $n = 46$ ) überprüft. Daraus ergaben sich einerseits für den Fragebogen einige Änderungen beim Satzbau und bei der Wortwahl. Andererseits konnte hier bereits der dominante alltagssprachliche Gebrauch wissenschaftstheoretischer Termini (Experiment, Gesetz, Theorie) anhand der Interviews festgestellt werden. Vor allem aber zeigte sich, dass der von LEDERMAN *et al.* genannte übliche Bearbeitungszeitrahmen von 45-60 Minuten (ebd., S. 511) voll ausgeschöpft werden musste. Beherzigt man ferner den in meinen Augen sehr sinnvollen Rat, „not to set time limits“ (ebd.), ist der VNOS-C nicht innerhalb einer Einzelstunde von 45 Minuten bearbeitbar. Ähnliches berichtet auch CHEN (2006):

Presently the most popular pencil and paper tool is the Views of the Nature of Science Questionnaire (VNOS), developed by Lederman *et al.* (2002). This widely used questionnaire is composed of 10 open-ended questions. However, it is challenging to participants to fully articulate their views in 40-60 minutes [...]. (Ebd., S. 805)<sup>6</sup>

Um den Fragebogen im ganz normalen Unterricht einsetzen zu können, habe ich ihn daher um zwei Items gekürzt, und zwar um die Fragen sieben und zehn. Während die Zielbereiche von Frage sieben im vollen Umfang auch von Frage sechs abgedeckt werden, wird der Zielbereich 'anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften/Kreativität', der mittels Frage zehn des VNOS-C erhoben wird, in meiner adaptierten Fassung des Fragebogens leider nur noch unzureichend mit Frage sechs erfasst. Diese Einschränkung muss bei der Datenauswertung berücksichtigt werden.

Die gekürzte Fassung wurde im Anschluss anhand einer Pilotstudie bei Schülern einer Jahrgangsstufe 11 ( $n = 27$ ) erprobt. Von diesen Schülern habe ich nur noch 16 interviewt, um die Konsistenz zwischen Fragebogenantwort und mündlicher Äußerung zu testen. Dabei zeigten sich nun insgesamt große Übereinstimmungen zwischen den anhand der Fragebögen erstellten NOS-Portraits und den Interviewstatements. LEDERMAN *et al.* (2002) führen dies unter anderem auf eine wachsende 'Auswertekompetenz' beim Umgang mit den Fragebögen zurück:

With repeated use, researchers should develop expertise in interpreting VNOS responses. Such expertise becomes evident when researchers obtain high degrees of correspondence between their in-

---

<sup>6</sup> CHEN (2006) hält den VNOS-Fragebogen insgesamt für eine Überforderung der Probanden und bemängelt, dass überdies Follow-Up-Interviews nötig seien. Er entwickelt daher mit dem *Views on Science and Education Questionnaire* (VOSE) wieder einen geschlossenen Fragebogen.

ferences regarding respondents' NOS views as derived from VNOS responses and the views elucidated by those respondents during interviews. (Ebd., S. 511f.)

Ausgehend davon konnte der Fragebogen – nun unverändert – für die eigentliche Studie eingesetzt werden (siehe Anhang C-1 bzw. Tabelle 23).

## 6.3 Forschungsmethodische Verortung der Studie

### 6.3.1 Standortbestimmung

Auch wenn „es bisher nicht eindeutig gelungen ist, qualitative und quantitative Analyse definitorisch klar abzugrenzen“ (Mayring 2001), wird in der Regel davon ausgegangen, dass eine Studie, die methodisch *standardisierte* Instrumente einsetzt, vom Design her auch auf eine repräsentative Stichprobe zurückgreift. Eine solche klassische *quantitative Studie* erlaubt es dann, Verallgemeinerungen zu treffen, und gelangt so zu statistisch gesicherten Befunden in Form von Allaussagen bzw. Gesetzen – jedoch um den Preis der Vereinfachung und der Nivellierung von Besonderheiten und Einzelfällen. Während dies für das Erstellen allgemeiner Regeln sicherlich sinnvoll ist, steht z. B. BRÜGELMANN (2005) einer solchen einseitig auf „technische Präzision der Daten“ (ebd., S. 340) orientierten Forschung in *pädagogischen* Kontexten jedoch eher skeptisch gegenüber, denn es sei umstritten, „ob diese Art der Forschung den Besonderheiten menschlichen Denkens, Fühlens und Handelns gerecht wird“ (ebd.). In der alltäglichen, schulischen Praxis sei gerade der Blick auf das Individuum relevant, der Lernwege einzelner Schüler betrachte. BRÜGELMANN fordert deshalb, die klassische, auf Quantifizierung ausgerichtete Forschung im schulischen Umfeld durch Einzelfallstudien zu ergänzen.<sup>7</sup>

Echte Lernprozessanalysen basieren oftmals auf solchen Einzelfallstudien und nutzen methodisch interpretative Instrumente. Sie sind meist so angelegt, dass nur mit einem Fall oder wenigen Einzelfällen gearbeitet wird. Eine solche klassische *qualitative Studie* erlaubt zwar wesentlich mehr Tiefgang und gestattet den differenzierten Blick von außen auf ein Individuum, den dadurch möglichen, individuellen Portraits mangelt es jedoch an prognostischer Kraft. Stärken und Schwächen beider Forschungstraditionen weisen damit prinzipiell ein „komplementäres Verhältnis“ (Brügelmann 1999, S. 7) auf. Deshalb versuchen Modelle zur Methodenintegration, die sich grob in eine *sequenzielle*, eine *parallele* bzw. eine *komplementäre* Verbindung qualitativer und quantitativer Verfahren unterteilen lassen (vgl. Kelle 1999; Prein & Erzberger 2000, S. 349ff.), die jeweiligen Stärken dieser beiden Vorgehensweisen synergetisch zu nutzen.

- Bei einer *sequenziellen* Verbindung (Phasenmodell) werden in einer Vorstudie zunächst qualitative Verfahren zur Hypothesengenerierung eingesetzt; die Hypothesenprüfung erfolgt anschließend mittels quantitativer Verfahren. Individuelle Abweichungen einzelner Probanden, die der Forschungshypothese zuwiderlaufen, werden dann jedoch statistisch verwischt und gehen bedingt durch die Forschungsmethode verloren.
- Ein *paralleler* Methodeneinsatz (Konvergenzmodell, *mixed methodologies*) erfolgt in der Regel mit dem Ziel, den Blick auf den Untersuchungsgegenstand zu weiten. In diesem Zusam-

---

<sup>7</sup> Auch LEDERMAN *et al.* (1998) fordern einen stärkeren Praxisbezug der Forschung, der sich letztlich nur durch Fallstudien erreichen lässt: „In terms of assessment, it is time that we move on to questions of classroom practice and lay to rest the continued assessment of teachers’ and students’ conceptions“ (ebd., S. 612).

menhang wird häufig von ‘Triangulation’ gesprochen (vgl. Kapitel 6.3.3). Oftmals bleibt hier jedoch die Frage unbeantwortet, wie sich die Ergebnisse bei einem Einsatz multimethodischer Designs legitim aufeinander beziehen lassen.

- Bei einer *komplementären* Vorgehensweise (Komplementaritätsmodell) wird davon ausgegangen, dass „der Forschungsgegenstand durch die angewandte Methode erst konstruiert wird“ (Prein & Erzberger 2000, S. 351). Dies impliziert, dass bei quantitativen Verfahren *andere* Aspekte eines Forschungsgegenstandes in den Blick geraten als bei einer qualitativen Vorgehensweise. Durch eine Methodenkombination könne beim Komplementaritätsmodell dadurch aber auch der Kontext sozialen Handelns verdeutlicht werden (ebd., S. 352).

PREIN & ERZBERGER weisen jedoch deutlich darauf hin, dass idealtypische Modelle „oft an den Problemen konkreter empirischer Forschung vorbeigehen“ (ebd., S. 355). Maßgebend bei der Auswahl von Forschungsmethoden müsse daher immer sein, dass sie dem Erkenntnisgegenstand angemessen sind.

### 6.3.2 Kopplung qualitativer und quantitativer Forschungselemente

In der vorliegenden Studie soll ein Pre-Post-Vergleich klären, ob die Interventionen überhaupt einen Effekt haben. Als Evaluationsinstrument wird dazu ein Fragebogen (siehe Anhang C-1) genutzt, der auf der Basis des ‘VNOS-C’ (siehe Kapitel 6.2.2) auf hiesige Verhältnisse adaptiert wurde. Dieser Fragebogen ist zwar offen, aber dennoch weitgehend standardisiert; fakultative, halbstrukturierte Interviews können sich anschließen. Diese *Produktmessungen* dienen forschungsmethodisch einer Reduktion der Vielfalt (vgl. Flick 1995, S. 165). Sie werden durch wenige, ausgewählte *Prozessanalysen* ergänzt, um mittels einer ‘Kontextualisierung’ (vgl. ebd., S. 166) bzw. „Explikation“ (Mayring 2003, S. 77ff.) das Potenzial der jeweiligen Intervention unter Berücksichtigung der konkreten Bedingungen abschätzen zu können. Die vorliegende Studie nutzt demnach ebenfalls eine Kopplung qualitativer und quantitativer Forschungselemente.

Die Auswertung aller Fragebögen erfolgt zunächst nach Kategorien (siehe Kapitel 6.4) und damit bereits teils ‘qualitativ’, teils ‘quantitativ’:

Bei einem solchen Vorgehen, das mit Kategoriensystemen arbeitet, besteht also der erste Schritt aus qualitativen Analysen, der zweite Schritt aus quantitativen Prozeduren, die dann in einem dritten Schritt wieder (qualitativ) interpretiert werden müssen. (Mayring 2001)

Unterstützend wird eine sogenannte QDA-Computersoftware (*Qualitative Data Analysis-Software*) genutzt.<sup>8</sup> Im Gegensatz zur rein quantitativen Analyse übernimmt hier jedoch

---

<sup>8</sup> Ich habe als QDA-Software das Computerprogramm MAXQDA 2 genutzt. Im Gegensatz zu vergleichbaren Produkten (wie etwa ATLAS.ti) bietet MAXQDA 2 neben einer deutschsprachigen Bedieneroberfläche und einer sehr ausführlichen Dokumentation über Einsatzmöglichkeiten und Grenzen des Programms (vgl. z. B. Kuckartz 2005) m. E. vor allem eine gute Handhabbarkeit der codierten Segmente (Text-Retrieval).

nicht die Software die Auswertungsarbeit; ihr Einsatz beschränkt sich darauf, dass sie die „qualitativen Analyseschritte des Interpretieren unterstützt, erleichtert und dokumentiert“ (ebd.). Qualitativ gewonnene Daten lassen sich so auch kategorisieren und anschließend quantifizieren. Dies bietet den Vorteil, dadurch einen besseren Überblick über die Gesamtergebnisse zu gewinnen:

Simple counting techniques, theoretically derived and ideally based on participants' own categories, can offer a means to survey the whole corpus of data ordinarily lost in intensive, qualitative research. Instead of taking the researcher's word for it, the reader has a chance to gain a sense of the flavour of the data as a whole. (Silverman 2001, S. 37)

Trotz meiner kleinen Stichprobe werde ich daher die Codier-Ergebnisse auch quantifizierend aufbereiten.

FLICK (2004) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass das Hinzuziehen ergänzender, quantitativer Daten hilfreich für eine „Kontextualisierung und Plausibilisierung von qualitativ gewonnenen Daten“ (ebd., S. 81) sein kann. Er meint damit, *zusätzliche* Daten zu generieren und begründet dies auf zwei Ebenen: inhaltlich könne so der Sinnzusammenhang vollständiger dargelegt werden, methodisch diene dies einer Validierung. Aber auch ohne zusätzliche Daten zu erheben, können nach BRÜGELMANN (1999) ähnliche Effekte mit „Brückeninstrumenten“ (ebd., S. 11) erreicht werden, wenn man die klassische Unterscheidung in qualitative und quantitative Studien produktiv aufbricht:

		METHODE	
		(1) „quantitativ“ standardisierte Instrumente	(2) „qualitativ“ interpretative Instrumente
DESIGN	(A) „quantitativ“ (repräsentative) Stichprobe	statistische Aussagen als „Gesetze“	interpretierende Verdichtung zu „Typen“
	(B) „qualitativ“ Einzelfall(-fälle)	formalisierte Einordnung über „Fallanalysen“	persönliche Beschreibung als „Portraits“

Tabelle 24: Kopplung 'qualitativer' und 'quantitativer' Forschung. (Nach Brügelmann 1999, S. 7)

Bei genauerer Unterscheidung zwischen dem *Design* (also dem Untersuchungsplan) und der *Methode* (also den Verfahren der Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung) einer Studie sind Mischformen nicht nur denkbar, sondern vor allem auch fruchtbar (siehe Tabelle 24), denn „sie erlauben, über Daten aus standardisierten Verfahren Studien vom Typ

(A1) und vom Typ (B2) aufeinander zu beziehen, d. h. Einzelfallstudien in größere Stichproben zu verorten“ (ebd.). Die Vorteile eines solchen Vorgehens liegen auf der Hand: Nutzt man bei einer Fallstudie (auch) standardisierte Instrumente zur quantifizierenden Produktmessung und führt damit *Fallanalysen* durch (Variante B1), so ist durch die indirekte Verortung der Einzelfälle in eine virtuelle, größere Stichprobe eine interpretative Verdichtung zu *Typen* (Variante A2) mittels qualitativer Prozessbeobachtungen prinzipiell möglich. Dadurch ist es im Gegensatz zu klassischen, quantitativen Studien auch machbar, die aus pädagogischer Sicht virulenten „Abweichungen vom Durchschnitt wahrzunehmen, und zwar möglichst im ‘Kontext’, so dass wir statistische Verallgemeinerungen situationspezifisch interpretieren können“ (ebd., S. 6). Die daraus resultierenden, ‘kontextuellen Verallgemeinerungsaussagen’ gewinnen so in zweifacher Hinsicht an Aussagekraft: Einerseits bieten sie die Gelegenheit, einen individuellen Abgleich hinsichtlich der Übertragbarkeit des Kontexts vorzunehmen, um das Potenzial einer Intervention auch ‘vor Ort’ (d. h., auch bei anderen Gegebenheiten) auszuloten. Andererseits ermöglichen sie durch die Verdichtung zu Typen eine Beschreibung des Potenzials auch in den Grenzbereichen, welche bei rein quantifizierenden Studien systembedingt nicht in den Blick genommen werden können. Mit dem Ziel, „grundlagenorientierte ‘Lehr-Lern-Forschung’“ (ebd., S. 3) zu betreiben, kann so die Frage beantwortet werden, welche „(Ursache-Wirkung-)Beziehungen [...] zwischen verschiedenen Bedingungen und Merkmalen von Unterricht“ (ebd.) bestehen. Letztlich ist auf diese Weise eine fundierte Einschätzung des Potenzials einer Intervention möglich.

Der adaptierte Fragebogen kann als ein solches ‘Brückeninstrument’ im brügelmannschen Sinne dienen, denn dadurch, dass es sich hierbei um ein teilstandardisiertes Instrument handelt, kann prinzipiell ein Vergleich mit anderen Studien erfolgen und damit auf eine virtuelle, größere Vergleichsgruppe<sup>9</sup> zurückgegriffen werden. Neben einer eher quantifizierenden Aussage im Sinne SILVERMANS (2001) wird das Augenmerk im Anschluss daher gezielt auf den ‘Grenzbereich’ im Sinne BRÜGELMANNs (1999) gerichtet, um anhand der ‘Abweichungen vom Durchschnitt’ das Potenzial der Interventionen genauer beleuchten zu können.

---

<sup>9</sup> Der Einsatz des (teilweise leicht modifizierten) Fragebogens VNOS-C wird z. B. dokumentiert bei: ABD-EL-KHALICK (2001) [n = 30; die Ergebnisse lassen sich für die Zielbereiche nicht bruchlos quantifizieren], ABD-EL-KHALICK (2005) [n = 56], ABD-EL-KHALICK & AKERSON (2004) [n = 28], ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN (2000a) [n = 166 + 15; teilweise nicht vergleichbare Stichprobe], AKERSON *et al.* (2000) [n = 50], HANUSCIN *et al.* (2006) [n = 9; nicht vergleichbare Stichprobe], HOWE & RUDGE (2005) [n = 81; nur Veränderungen dokumentiert], KHISHFE & ABD-EL-KHALICK (2002) [n = 62], KURDZIEL & LIBARKIN (2002) [n = 126], LEDERMAN *et al.* (2001) [n = 15; nicht vergleichbare Stichprobe], SCHWARTZ *et al.* (2004) [n = 15; nicht vergleichbare Stichprobe].

### 6.3.3 Qualitätssicherung und Gütekriterien bei der vorliegenden Studie

Empirische Forschung kann nur als solche bezeichnet werden, wenn Wege und Methoden der Erkenntnisgewinnung nachvollziehbar dargelegt werden und Ergebnisse dadurch prüfbar sind. Bei Fallstudien ist dies jedoch problematisch: Weil qualitative Forschung im Vergleich zur rein quantitativen nicht nur eine gänzlich andere erkenntnistheoretische und methodologische Basis aufweist, sondern auch ihres spezifischen Potenzials beraubt werden würde, kann eine Qualitätssicherung nicht anhand der klassischen Gütekriterien der Testtheorie (vgl. z.B. Diekmann 1998, S. 216ff.; Rost 1996, S. 31ff.) – Objektivität, Reliabilität, Validität – erfolgen. So ist z.B. eine Auswertungsobjektivität in Form einer echten Intersubjektivität bei einer interpretativen Auswertung kaum erreichbar, vielleicht sogar eher hinderlich. Dies heißt nun aber nicht, dass man vor dem „nach wie vor ungelöste[n]“ Bewertungsproblem qualitativer Forschung“ (Flick 1998, S. 239) kapitulieren muss: Denkbare Auswege (vgl. ebd., S. 240; Mayring 2003, S. 109ff.) sind *neue* Gütekriterien zu entwickeln, die den Besonderheiten qualitativer Forschung gerecht werden, oder eine sinnvolle und angemessene *Reformulierung* der klassischen Gütekriterien, wie sie BRÜGELMANN (2005, S. 324ff., S. 339ff.) vorlegt.

#### *Zur Frage der Repräsentativität der Stichprobe*

Die vorliegende Fallstudie ist nicht repräsentativ. Die Auswahl der teilnehmenden Schüler erfolgte nicht so, dass „die Stichprobe ein möglichst getreues Abbild der Grundgesamtheit darstellen soll“ (Merten 1995, S. 284). Ich wählte statt eines ‘statistischen Samplings’ primär nach Gesichtspunkten der Kooperationsbereitschaft der jeweiligen Kurslehrer, weil es durch die Fragestellung der Studie nicht sinnvoll gewesen wäre, mit einer großen Stichprobe zu arbeiten; durch die Anlage der Studie wäre es ferner auch nicht möglich gewesen, ein strukturgleiches, verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit zu nutzen. Weil aber gerade im schulischen Alltag „Befunde aus Stichprobenuntersuchungen [...] für den Einzelfall immer nur den Status einer Hypothese“ (Brügelmann 2005, S. 342) haben, habe ich bei meiner Stichprobe zwar auf Repräsentativität keinen Wert gelegt, jedoch bei der Auswertung in Anlehnung an die Methode des *purposive samplings* (vgl. Flick 1998, S. 87f.) bewusst nach *typischen* Fällen gesucht. Dies wird dadurch ermöglicht, dass der Rückgriff auf ein etabliertes Instrument (Fragebogen ‘VNOS-C’) – wie bereits weiter oben ausgeführt – eine indirekte Verallgemeinerung der Ergebnisse gestattet: Einerseits durch die Referenz auf eine virtuelle, größere Vergleichsgruppe mit  $n = 488$  (vgl. Kapitel 6.5), andererseits durch die ausführlichen Antwortmuster, die die Fragebogenentwickler selbst bereits gesammelt haben (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 513ff.).

#### *Zur Frage der Validität*

BRÜGELMANN (2005) drückt es bildlich aus: „Bleiben in unserem Netz die Fische hängen, die wir fangen wollen – oder auch irrelevante Gegenstände“? (ebd., S. 324). Gerade das In-

fragestellen der Validität klassischer Ankreuztests zum Erheben von (Schüler-)Vorstellungen über das Wesen naturwissenschaftlichen Arbeitens haben die Arbeitsgruppe um LEDERMAN veranlasst, einen *offenen* Fragebogen zu entwickeln.<sup>10</sup> Eine zusätzliche Validierung der Fragebögen ergibt sich durch anschließende Leitfadeninterviews, in denen der Forscher mit den Beforschten nochmals über Antworten des Fragebogens spricht.

During these interviews, participants were provided their questionnaires [...] and asked to read, explain, and justify their responses. (Lederman *et al.* 2002, S. 504)

Dieser Austausch mit den Beforschten ist als 'kommunikative Validierung' (*member-check*) bekannt (vgl. Flick 1998, S. 245f.). Allerdings muss ein hier erzielter Konsens nicht notwendig eine gültige Absicherung darstellen, da die Beforschten auch gemäß sozialer Erwünschtheit antworten können. Eine solche Kombination mehrerer Methoden zur Erforschung ein und desselben Gebietes wird in der empirischen Sozialforschung seit DENZIN (1978), der in den 1970er Jahren dazu erstmals ein systematisches Konzept vorlegte, mit einer aus der Geodäsie entlehnten Metapher als Triangulation bezeichnet. Werden wie bei der kommunikativen Validierung *verschiedene* Methoden kombiniert (z. B. Fragebögen mit Interviews), spricht DENZIN von „*between-method* or *across-method* triangulation“ (ebd., S. 302; Hervorheb. i. O.). Da sich bei dem von mir genutzten Fragebogen mehrere Fragen auf identische NOS-Zielbereiche beziehen, liegt zusätzlich eine *methodenimmanente* Triangulation (*within-method*) vor.

Ob das Verfahren der Triangulation tatsächlich eine Validierung darstellt, wird mitunter auch bezweifelt, weil schließlich jede Methode ihren Untersuchungsgegenstand überhaupt erst konstituiert (vgl. Prein & Erzberger 2000, S. 351). Aufgrund der Reaktivität von Methoden auf den erforschten Gegenstand haben DENZIN & LINCOLN (1994) daher das Konzept modifiziert und plädieren dafür, Triangulation vor allem als einen Weg der Erkenntnis*erweiterung* anzusehen und damit als *Alternative* zur konventionellen Validierung:<sup>11</sup>

However, the use of multiple methods, or triangulation, reflects an attempt to secure an in-depth understanding of the phenomenon in question. Objective reality can never be captured. Triangulation is not a tool or a strategy of validation, but an alternative to validation. (Ebd., S. 2).

In diesem Sinne können auch bei mir die Interviews gesehen werden. Daher habe ich auch nicht alle Schüler interviewt, sondern nur für die Studie interessante Fälle.

<sup>10</sup> Dies wird in der Forschungspraxis freilich unterschiedlich beurteilt und gehandhabt. So nutzen z. B. PRIEMER & SCHÖN (2005) – obgleich sie auch auf LEDERMAN *et al.* (1998) verweisen – zum Erheben epistemologischer Überzeugungen bewusst geschlossene Fragebögen, weil auch „die 'alternativen' Verfahren [...] Validitätsprobleme“ (Priemer & Schön 2005, S. 280) hätten. Dies zeigt einerseits das Dilemma auf, verdeutlicht jedoch andererseits zugleich auch den jeweiligen Forschungsfokus: Liegt der Schwerpunkt auf der Vorhersagevalidität, wird man eher geschlossene Fragebögen nutzen; liegt er aber auf der Konstruktvalidität, so sind sicherlich offene Fragebögen sinnvoller.

<sup>11</sup> Ähnlich sieht dies FLICK (2004, S. 49): „Aufschlussreich wird die methodische Triangulation, wenn darüber komplementäre Ergebnisse erzielt werden, d. h. einander ergänzende Ergebnisse, die ein breiteres, umfassenderes oder ggf. vollständigeres Bild des untersuchten Gegenstandes liefern.“

Die VNOS-Fragebögen sind hinsichtlich ihrer *Konstruktvalidität* gründlich getestet worden (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 503ff.). Ausführlich dokumentiert ist dies für die Variante ‘VNOS-B’, bei der Experten und Laien<sup>12</sup> den Fragebogen bearbeiten mussten und im Anschluss interviewt wurden:

Data analyses indicated that the expert group’s responses to the VNOS-B reflected current NOS understandings at a rate nearly three times higher than those of the novice group [...]. These results lent strong support to the construct validity of the VNOS-B. (Ebd., S. 506f.)<sup>13</sup>

Um die *semantische Validität* des eingesetzten Kategoriensystems zu gewährleisten, also „die Richtigkeit der Bedeutungsrekonstruktion des Materials“ (Mayring 2003, S. 111), wurde das Kategoriensystem (siehe Anhang C-2) mehrfach erprobt und überarbeitet und schließlich ein Codierleitfaden mit Ankerbeispielen (siehe Anhang C-3) erstellt (vgl. dazu genauer Kapitel 6.4).

#### *Zur Frage der Reliabilität und Objektivität*

Das Kriterium der Reliabilität (Zuverlässigkeit) im Sinne einer verlässlichen *Replizierbarkeit* der Ergebnisse auch mittels anderer Testverfahren ist gerade bei qualitativen Fallstudien nicht nur infolge der geringen Stichprobenanzahl problematisch, sondern vor allem aufgrund des Datenmaterials, mit dem qualitative Forschung arbeitet:

Bei Reliabilitätsbestimmungen erscheinen Parallel-Test-Verfahren problematisch, da die Äquivalenz zweier Instrumente bei der Analyse sprachlichen Materials nur sehr selten erweisbar sein dürfte. (Mayring 2003, S. 110)

BRÜGELMANN (2005, S. 330) schlägt deshalb vor, bewusst den *Kontextbezug* zu verdeutlichen. Daher habe ich die Interventionsmaßnahmen in Kapitel 5 mit Blick auf *konkreten* Unterricht ausführlich vorgestellt, sodass Lehrer die Ergebnisse bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf andere Lerngruppen besser abschätzen können; eine echte Reproduzierbarkeit der sich aus dem Gruppenpuzzle und dem offenen Untersuchungsauftrag ergebenden Effekte ist nämlich nicht möglich.

Um eine größere Verlässlichkeit der Aussagen zu gewinnen (und damit auch ein höheres Maß an Auswertungsobjektivität zu gewährleisten), ist es bei der Inhaltsanalyse üblich, einen Wert für die Inter-coderreliabilität  $C_R$  anzugeben (vgl. z. B. Mayring 2003, S. 113f.; Mayring & Gläser-Zikuda 2005). Dies ist ein Maß für den „Grad der Übereinstimmung der Zuordnungen von zwei Kodierern“ (Diekmann 1998, S. 492). Im einfachsten Fall wird die Anzahl an übereinstimmenden Codierungen  $C_U$  mit der Anzahl der Codierer  $n$  multi-

<sup>12</sup> Die Gruppe der *Experten* bestand aus „individuals with doctoral degrees in science education, or history or philosophy of science“. Die *Laien* hatten einen zwar vergleichbaren Bildungsstand, „but their doctoral degrees were in fields such as American literature, history, and education“ (Lederman *et al.* 2002, S. 505f.).

<sup>13</sup> Diese Ergebnisse sind durchaus auch auf die Fragebogenvariante VNOS-C übertragbar (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 508), bei der fünf Fragen der Variante B (und damit deutlich über Zweidrittel aller Fragen des VNOS-B) in leicht modifizierter Form verwendet werden.

pliziert und zu der Anzahl aller Codierentscheidungen  $C_i$  nach folgender Gleichung<sup>14</sup> in Beziehung gesetzt:

$$C_R = \frac{n \cdot C_{\bar{U}}}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

**Formel zur Bestimmung der Intercoderreliabilität** (vgl. Mayring 2003, S. 113)

Als gut sieht man Übereinstimmungen von über 80% an, bei „Kategorien zu komplizierten Sachverhalten [...] werden wir bereits Koeffizienten von .75 [...] als Erfolg werten“ (Rössler 2005, S. 192). HOLSTI, dem das erstmalige Aufstellen der Formel zugeschrieben wird, warnt jedoch vor einer einfachen Anwendung:

Defining an *acceptable level of reliability* is one of the many problems in content analysis for which there is no single solution. (Holsti 1969, S. 142; Hervorheb. i. O.)

Denn ganz offenkundig wird durch wenige Kategorien eine höhere Intercoderreliabilität begünstigt; komplexe Kategoriensysteme dagegen erlauben zwar inhaltlich mehr Trennschärfe, die Reliabilität jedoch sinkt. HOLSTI empfiehlt daher abzuwägen: „The analyst may be forced to strike some balance between reliability and relevance of categories“ (ebd.). Diesem Dilemma begegnet man häufig auf mathematischem Wege, indem man die Anzahl der rein zufällig zu erwartenden Codierentscheidungen mittels einer Kontingenzmatrix ermittelt und bei der Berechnung berücksichtigt (vgl. Mayring 2003, S. 113f.; Mer-ten 1995, S. 305ff). Die so ermittelte Intercoderreliabilität dokumentiert dann freilich exakter den Grad der Übereinstimmung zwischen mehreren Codierern und deckt Fehler im Codesystem bzw. bei den Codierentscheidungen auf. Bedenkt und akzeptiert man jedoch, dass *echte* Objektivität bei der Auswertung nicht zu gewährleisten ist, denn „die Standardisierung von Beobachtungen und Deutungen umgeht nicht deren Personenabhängigkeit, sondern privilegiert nur *eine* Subjektivität gegenüber anderen“ (Brügelmann 2005, S. 328), wird BRÜGELMANN'S Forderung verständlich, bei der Auswertung sogar *bewusst* „Mehrperspektivität“ durch mehrere Auswerter<sup>15</sup> zu erzeugen und diese auch bei abweichenden Interpretationen der Befunde zu dokumentieren (vgl. dazu Kapitel 6.4).

Zur Gewährleistung einer *Durchführungsobjektivität* schlagen LEDERMAN *et al.* (2002, S. 511) gezielt Randbedingungen für den Fragebogeneinsatz vor, die beachtet werden sollten.

<sup>14</sup> Der Hersteller der QDA-Software MAXQDA 2 unterstützt seine Anwender mit einem eigens dafür auf der Homepage bereitgestellten Add-In für die Software Microsoft Excel®, welches die Intercoderreliabilität berechnen kann. Ich habe dieses Programm jedoch nicht genutzt, weil keine Toleranzintervalle einstellbar sind und überdies eine sehr spezielle Datenstruktur vorliegen muss.

<sup>15</sup> DENZIN (1978) bezeichnet dies als „investigator triangulation“ (ebd., S. 297). Er weist explizit darauf hin, dass dies jedoch nicht bedeutet, Arbeit aus ökonomischen Gründen zu delegieren, sondern dass *unterschiedliche* Personen *dieselben* Daten bearbeiten.

Diese sinnvollen Empfehlungen habe ich auch in der vorliegenden Studie berücksichtigt. Im Einzelnen sind dies folgende:

- Der Fragebogen wird „under controlled conditions“ (ebd.) eingesetzt, d. h. im Klassenraum unter meiner Aufsicht. Ein eigenständiges Bearbeiten beispielsweise zu Hause kann nicht sicherstellen, dass tatsächlich die Vorstellungen der *Probanden* erhoben werden.<sup>16</sup>
- Den Schülern wird genügend Zeit für die Bearbeitung des Fragebogens eingeräumt. LEDERMAN *et al.* schlagen als Bearbeitungsdauer des VNOS-C 45-60 Minuten vor (vgl. ebd.). Meine um zwei Fragen gekürzte Fassung kann erfahrungsgemäß gut in 45 Minuten (und damit einer Einzelstunde) bearbeitet werden.
- Jede Frage ist auf einer separaten Seite notiert, sodass genügend Platz für Antworten bleibt.
- Die Schüler werden darauf hingewiesen, dass es keine ‘richtigen’ bzw. ‘falschen’ Antworten im üblichen Sinne gibt.
- Die Schüler werden explizit ermutigt, tatsächlich *ihre* Sicht der Dinge darzulegen.

#### 6.3.4 Design der Studie und methodische Entscheidungen im Überblick

Die Studie wurde mit drei unterschiedlichen Chemie-Kursen der Jahrgangsstufe 11 an Gymnasien des Kreises Siegen-Wittgenstein bzw. des Kreises Olpe durchgeführt. In Kurs A ( $n = 18$ ) wurde nur das Gruppenpuzzle erprobt, in Kurs B ( $n = 16$ ) nur der offene Untersuchungsauftrag, im dritten Kurs C ( $n = 26$ ) eine konsekutive Kombination beider Interventionsmaßnahmen. Für die Studie wurden nur die Schüler eines Kurses berücksichtigt, die sowohl am Pre- als auch am Post-Test teilgenommen haben *und* auch in *allen* Unterrichtsstunden der Interventionsmaßnahme – das sind im Falle des Gruppenpuzzles vier Stunden, im Falle des experimentellen Untersuchungsauftrages drei Unterrichtsstunden – anwesend waren. Dies erklärt die vermeintlich atypischen geringen Kursstärken der Kurse A und B (in beiden Kursen sind regulär 27 Schüler; Kurs C hat eine reguläre Kursstärke von 28 Schülern).

Die Fragebögen (siehe Anhang C-1) wurden jeweils innerhalb einer zusätzlichen Einzelstunde (d. h. in 45 Minuten) beantwortet. Dazu wurden immer gezielt Unterrichtsstunden genutzt, die an Freistunden bzw. große Pausen der Schüler grenzten, sodass es den Schülern möglich war, bei Bedarf auch 50 bis 55 Minuten Bearbeitungszeit zu nutzen. Die eigentlichen Interventionsmaßnahmen erfolgten recht unmittelbar im Anschluss an den Pre-Test für die Schüler unangekündigt. Der gleiche Fragebogen wurde jeweils circa einen Monat nach der Maßnahme erneut eingesetzt.

---

<sup>16</sup> Dies ist meines Erachtens eine essenzielle Bedingung. Studien, die dies missachten – etwa die von TAN & BOO (2004) in Singapur, bei der ein VNOS-Fragebogen zur Beantwortung per Email mit der Bitte verschickt wurde, nur die eigenen Ansichten darzulegen, ohne zusätzliche Quellen heranzuziehen (vgl. ebd., S. 4) – büßen dadurch an Glaubwürdigkeit ein.

Die Interviews wurden einen weiteren Monat später durchgeführt und in Elternsprechzimmern bzw. der Chemie-Vorbereitung der jeweiligen Schule mit einem professionellen MP3-Aufnahmegerät mit externem Mikrofon aufgezeichnet. Wenn möglich habe ich Freistunden der Schüler genutzt; teilweise stellten die unterrichtenden Kollegen die betroffenen Schüler aber auch dankenswerterweise für die Dauer des Interviews vom laufenden Unterricht frei. Die Transkription der Interviews in normales Schriftdeutsch erfolgte gestützt durch die Transkriptionssoftware 'f4 audio'<sup>17</sup>. Zur Begrenzung der Informationsverluste, die unvermeidbar entstehen, wenn ein Gespräch schriftlich fixiert wird, wurde das Notationssystem von KALLMEYER & SCHÜTZE (1977, S. 268) in der Überarbeitung von KUCKARTZ (2005, S. 48) verwandt (siehe Anhang D-1).

Tabelle 25 gibt einen Überblick über den Untersuchungsplan der vorliegenden Studie:

<b>Kurs A (n = 18)</b>	<b>Kurs B (n = 16)</b>	<b>Kurs C (n = 26)</b>
<b>Pre-Test per adaptiertem Fragebogen VNOS-C (n = 60)</b>		
<b>Gruppenpuzzle</b> „Forschern auf die Finger geschaut“		<b>Gruppenpuzzle</b> „Forschern auf die Finger geschaut“
	<b>experimenteller Untersuchungsauftrag</b> „Hightech in der Babywindel“	<b>experimenteller Untersuchungsauftrag</b> „Hightech in der Babywindel“
<b>- 1 Monat -</b>		
<b>Post-Test per adaptiertem Fragebogen VNOS-C (n = 60)</b>		
<b>- 1 Monat -</b>		
<b>fakultative Interviews (n = 3)</b>		

**Tabelle 25:** Der Untersuchungsplan der Studie im Überblick

<sup>17</sup> Die *dr. dressing & pebl GmbH* stellt die Software 'f 4 audio' freundlicherweise kostenfrei unter folgender Internetadresse zur Verfügung: <http://www.audiotranskription.de/> [Letzter Zugriff: 24.3.2008].

## 6.4 Zum Auswertungsverfahren der Fragebögen und Interviews

Weil es das primäre Ziel meiner Untersuchung ist herauszufinden, ob und gegebenenfalls wie Schüler adäquate Vorstellungen über die Natur der Naturwissenschaften entwickeln können, müssen – anders als etwa beim Verfahren der *grounded theory* – die Fragebögen unter bestimmten, *vorgegebenen* Gesichtspunkten ausgewertet werden – in meinem Falle zur Geartetheit der Naturwissenschaften. Daher bietet es sich an, als Auswertungsverfahren auf die *qualitative Inhaltsanalyse* (vgl. Mayring 2003) zurückzugreifen, denn ein wesentliches Kennzeichen der qualitativen Inhaltsanalyse

[...] ist die Verwendung von Kategorien, die häufig aus theoretischen Modellen abgeleitet sind: Kategorien werden an das Material herangetragen und nicht unbedingt daraus entwickelt, wenngleich sie immer wieder daran überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden. (Flick 1998, S. 212)

Um Sichtweisen zum Lernbereich *nature of science* und deren Änderungen bei Schülern einer 11. Jahrgangsstufe in Anhängigkeit von bestimmten Interventionsmaßnahmen zu erheben, werden die Fragebögen zunächst nach dem Verfahren der *strukturierenden Inhaltsanalyse* beurteilt (vgl. Mayring 2003, S. 82ff.; siehe Abbildung 12). Um das Potenzial der Maßnahmen genauer beleuchten zu können, werden in einem zweiten Analyseschritt wenige Einzelfallanalysen im Sinne einer *Explication* durchgeführt (vgl. ebd., S. 77f.).

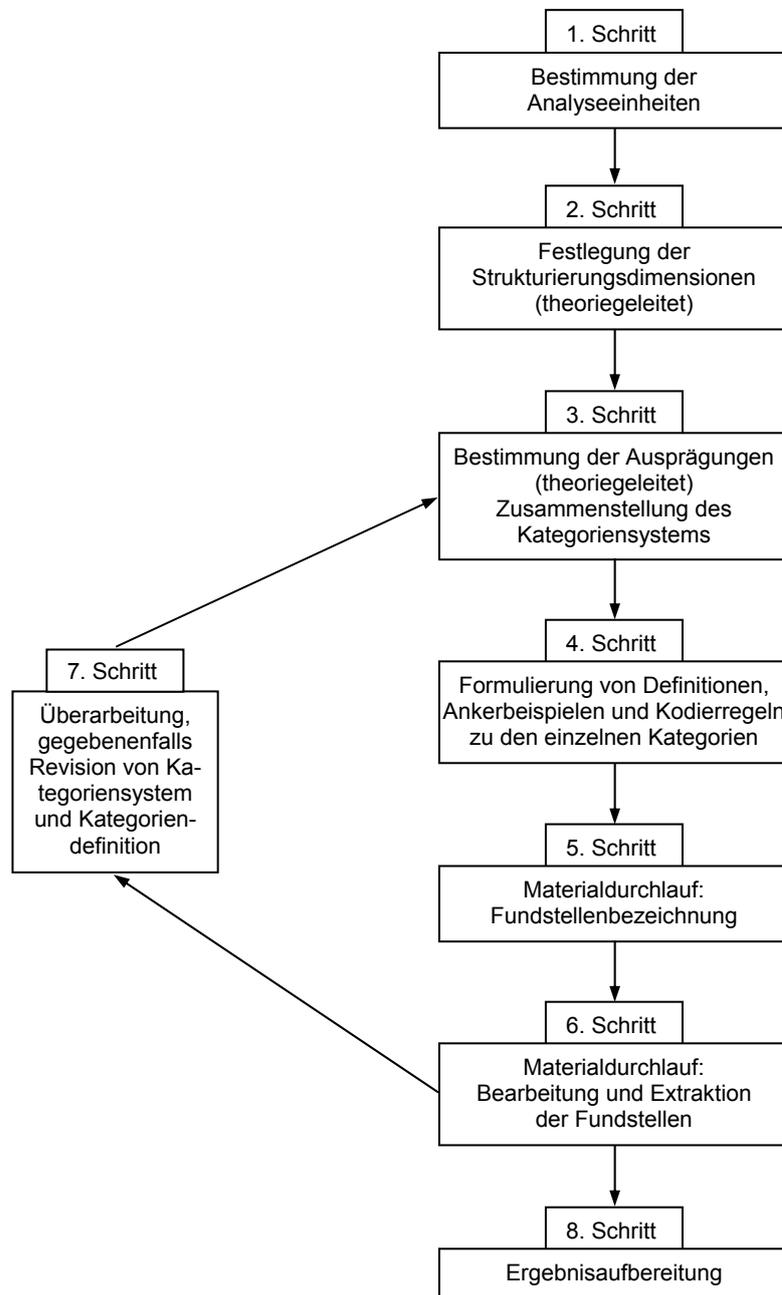
### *Strukturierende Inhaltsanalyse*

Zur Reduktion der Vielfalt – als Material der Analyse dienen 60 Fragebögen – werden die Fragebogenantworten zunächst in eine computerlesbare Form gebracht. Dabei habe ich folgende, pragmatische Entscheidungen getroffen:

- Häufig wiederkehrende Wörter wie z. B. ‘Experiment’ oder ‘Naturwissenschaften’ werden mit ‘Exp.’ bzw. ‘NW’ abgekürzt.
- Wo es sinnvoll erscheint, erfolgt bei der Digitalisierung der Schülerantworten eine Paraphrasierung, d. h. „nichtinhaltstragende (ausschmückende) Textbestandteile [werden] fallengelassen“ (ebd., S. 61). In Zweifelsfällen muss der Text jedoch wörtlich wiedergegeben werden.
- Rechtschreibfehler und offensichtliche Grammatikfehler werden dem sprachlichen Standard angeglichen.

Kleinste Analyseeinheit für die anschließende Codierung sind pragmatische Ausdrucksbedeutungen auf Sprechaktebene (vgl. Löbner 2003, S. 13), größte Analyseeinheiten stellen mehrere, zusammenhängende Sätze dar. Die ‘Strukturierungsdimension’ (vgl. Mayring 2003, S. 85; siehe ‘zweiter Schritt’ in Abbildung 12) ist bei mir doppelt besetzt: Einerseits nutze ich eine *inhaltliche* Strukturierung, um „bestimmte Themen, Inhalte, Aspekte aus dem Material herauszufiltern und zusammenzufassen“ (ebd., S. 89), die sich auf den Lernbereich einer Natur der Naturwissenschaften beziehen. Dabei nehme ich zugleich eine *skalierende* Strukturierung vor (vgl. ebd., S. 92), um die Schülerantworten nach den Ausprägungen ‘eher elaboriert’ bzw. ‘eher naiv’ einzuschätzen. Anders jedoch als bei der prototypi-

schen ‘skalierenden Strukturierung’ werden die Fragebögen nicht hinsichtlich *eines* Aspektes *breit* skaliert (z. B. nach kaum – wenig – mittel – viel), sondern hinsichtlich *vieler* NOS-Aspekte nur *grob* skaliert (eher elaboriert – eher naiv). Unterstützend wird dabei die Software MAXQDA 2 eingesetzt.



**Abbildung 12:** Ablaufplan strukturierender Inhaltsanalyse (Mayring 2003, S. 84)

Das genutzte Kategoriensystem wurde in Anlehnung an LEDERMAN *et al.* (2002, S. 514ff.) erarbeitet. Dessen Tauglichkeit wurde anhand von Pre-Tests mit Lehramtsstudierenden im ersten Semester ( $n = 46$ ) sowie Schülern der elften Jahrgangsstufe ( $n = 27$ ) überprüft. Die Kategorien, zu denen die Antworten zugeordnet werden, ergaben sich damit primär theoriegeleitet; sie wurden aber durch die Erprobung des Kategoriensystems auch modifiziert.

Einzelne Subcodes wurden beispielsweise in der Regel erst anhand der konkreten Fragebogenantworten gewonnen. Die Relevanz der Codes bestärkte sich durch gezielte Nachfragen bei anschließenden Interviews. In der Praxis hat es sich ferner als sinnvoll erwiesen, die Fragebögen nicht Frage für Frage auszuwerten, sondern nach NOS-Aspekten (vgl. auch ebd., S. 512). Auf Basis dieser so gewonnenen Erfahrungen habe ich detaillierte Codiervorschriften mit Ankerbeispielen in Form eines Codierleitfadens erstellt und danach zwei weitere Codierer geschult (vgl. Diekmann 1998, S. 491; Mayring 2003, S. 83).

Mittels des Codierleitfadens codierten ich und die beiden weiteren Codierer unabhängig voneinander eine Reihe von Fragebögen, wobei auch Vorschläge zur Ergänzung bzw. Überarbeitung der Kategorien gemacht werden sollten. Die Intercoderreliabilitäten bei vier zufällig gezogenen Fragebögen sind in Tabelle 26 dokumentiert (vgl. auch Anhang C-4):

	$C_R$ (Codierer a, b)	$C_R$ (Codierer a, c)	$C_R$ (Codierer b, c)	$C_R$ (Codierer a, b, c)
Fragebogen A	.77	.80	.87	.73
Fragebogen B	.70	.75	.70	.60
Fragebogen C	.72	.79	.70	.63
Fragebogen D	.40	.50	.61	.24

**Tabelle 26:** Intercoderreliabilitäten. Berechnet nach HOLSTI (1969, S. 142)

Auffällig sind die niedrigen Reliabilitätskoeffizienten bei Fragebogen D, vor allem im Vergleich zu den teilweise sehr guten Intercoderreliabilitäten bei den anderen drei Fragebögen. Dies wurde anschließend thematisiert. Dieser intensive Austausch- und Abstimmungsprozess brachte einerseits auf einer eher formalen Ebene sechs zusätzliche Kategorien, sieben Modifikationen und zwei Streichungen hervor, so dass ich letztendlich mit sieben übergeordneten Kategorien – jeweils unterteilt in die beiden Subcodes ‘eher elaboriert’ und ‘eher naiv’ – und 54 codierbaren Zuordnungseinheiten arbeite (siehe Anhang C-2).<sup>18</sup> Zusätzlich erfolgte auch eine Präzisierung des Codierleitfadens (die aktuelle Fassung findet sich in Anhang C-3). Die Intercoderreliabilität lag bei einem erneuten Codierdurchgang dann in einem als ‘normal’ zu bezeichnenden Rahmen.<sup>19</sup> Insgesamt zeigt sich, dass die Übertragbarkeit des adaptierten Fragebogens „VNOS-C“ auf deutsche Schüler einer 11. Jahrgangsstufe eindeutig möglich und auch fruchtbar ist.

### *Explikation/Kontextanalyse*

Um das Potenzial der Interventionsmaßnahmen genauer ausloten zu können, werden die Schüler, die bezogen auf den Zielbereich der Natur der Naturwissenschaften offenkundig

<sup>18</sup> Die einzelnen Änderungen sind in Anhang C-2 dokumentiert.

<sup>19</sup>  $C_{R(a,b)} = .71$ ;  $C_{R(a,c)} = .76$ ;  $C_{R(b,c)} = .69$ ;  $C_{R(a,b,c)} = .62$

deutlich von den Interventionsmaßnahmen profitiert haben, eingehender in Einzelfallstudien untersucht im Sinne einer Explikation (Mayring 2003, S. 77ff.) bzw. Kontextualisierung (Flick 1995, S. 166). Für eine *enge* Kontextanalyse werden einerseits erneut die Fragebögen genutzt; für eine *weite* Kontextanalyse greife ich auf die Interviews zurück. Um den Blick zu weiten, habe ich einerseits die Interviews mit Kollegen aus unserer Arbeitsgruppe ausgewertet; andererseits greife ich auch auf Dokumente zurück, die im Verlauf der Interventionsmaßnahmen im Unterricht entstanden sind. Deren Aussagekraft ist auf den Einzelfall bezogen zwar beschränkt, weil jeweils in Gruppen gearbeitet wurde, jedoch lassen sich die Ergebnisse so besser auf ihre mögliche Übertragbarkeit hin einschätzen.

Tabelle 27 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die getroffenen forschungsmethodischen Entscheidungen:

	Instrument	
	adaptierter Fragebogen VNOS-C	Interview
<b>Art des Materials</b>	Offene Fragebögen, die unmittelbar vor (Pre-Test) und ca. einen Monat nach (Post-Test) der Intervention von den Schülern ausgefüllt wurden.	Transkriptionen halbstrukturierter, offener Interviews, die ca. zwei Monate nach der Intervention von mir geführt wurden.
<b>Grundgesamtheit</b>	Alle Schüler aller Jahrgangsstufen 11.	Stichprobenumfang „adaptierter Fragebogen VNOS-C“.
<b>Stichprobenumfang</b>	Schüler von drei unterschiedlichen Chemie-Kursen der Jahrgangsstufe 11 der Kreise Siegen-Wittgenstein bzw. Olpe (n = 60). Die willkürliche Auswahl ist nicht repräsentativ.	Schüler, die im Pre-Post Codiervergleich im adaptierten Fragebogen VNOS-C deutlich elaboriertere Ansichten zeigen (n = 3).
<b>Datenaufbereitung</b>	Paraphrasierende Digitalisierung der Fragebögen nach MAYRING (2003, S. 61).	Vollständige, wörtliche Transkription nach dem Notationssystem von KALLMEYER/SCHÜTZE in der Überarbeitung von KUCKARTZ (2005, S. 48).
<b>Analyseverfahren</b>	<p>a) <u>Strukturierende Inhaltsanalyse</u> Zuordnung zu ausgewählten Bereichen eines Wissens über NOS mittels Codierleitfadens zur Reduktion der Vielfalt (vgl. Mayring 2003, S. 85ff.). Die Kategorien werden deduktiv an das Material herangetragen.</p> <p>b) <u>Enge Kontextanalyse</u> Einzelfallanalysen im Sinne einer Explikation bzw. Kontextualisierung, um das Potenzial der Interventionsmaßnahme genauer auszuloten (vgl. Flick 1995, S. 166; Mayring 2003, S. 58f., 77ff.).</p>	<p>a) <u>Strukturierende Inhaltsanalyse</u> In Zweifelsfällen werden die geführten Interviews zur kommunikativen Validierung der Fragebögen genutzt (<i>across-method triangulation</i>).</p> <p>b) <u>Weite Kontextanalyse</u> Einbezug der Interviews als weiteres Material zur Explikation (vgl. Mayring 2003, S. 58f., 77ff.).</p>

**Tabelle 27:** Getroffene Entscheidungen zur Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung im Überblick

## 6.5 Auswertung der Fragebögen

### 6.5.1 Ein erster Blick: Ansichten zu NOS bei Schülern der Jahrgangsstufe 11

Zunächst wird angelehnt an SILVERMAN (2001, S. 37) (vgl. auch Kapitel 6.3.2) ein für qualitative Studien eher unüblicher, aber gleichwohl lohnender quantifizierender und vergleichender Überblick über Teilergebnisse des Pre-Tests gegeben, um anschließend einzelne Schüleraussagen vor diesem Hintergrund besser einschätzen zu können.

<i>Probanden / Land / Stichprobe / Quellenangabe</i>	Lehramtsstudierende mit NW im Nebenfach / USA / n = 56 / ABD-EL-KHALICK (2005)	Studierende Grundschullehramt / USA / n = 28 / ABD-EL-KHALICK & AKERSON (2004)	Lehramtsstudierende / USA / n = 166 / ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN (2000a)	Studierende Grundschullehramt / USA / n = 50 / AKERSON <i>et al.</i> (2000)	11-jährige Schüler / Libanon / n = 62 / KHISHFE & ABD-EL-KHALICK (2002)	Studierende / USA / n = 126 / KURDZIEL & LIBARKIN (2002)	<b>Gesamt (Durchschnitt)</b> n = 488	Eigene Ergebnisse: Schüler Jgst. 11 / Deutschland / n = 60
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle	28,6%	25%	30%	44%	8%	***	<b>27,6%*</b>	65%**
empirische Basis	10,7%	29%	4%	16%	5%	11%	<b>9,4%*</b>	3,3%**
Kreativität	30,4%	18%	15%	20%	5%	23,7%	<b>18,4%*</b>	20%**
Mythos naturwissenschaftliche Methode	***	14%	0%	***	***	***	***	0%**
Subjektivität / Theoriegebundenheit	39,3%	****	17%	38%	***	13,7%	<b>21,7%*</b>	56,7%**
Theorien und Gesetze	10,7%	11%	10%	2%	***	***	<b>8,9%*</b>	8,3%**
Vorläufigkeit	26,8%	11%	7%	12%	6,5%	7,6%	<b>10,1%*</b>	11,7%**

\* Der angegebene Durchschnittswert (bezogen auf n = 488) ist auf die jeweilige Probandenanzahl bezogen; er stellt daher nicht das einfache arithmetische Mittel der einzelnen Prozentwerte dar.

\*\* Aufgrund meines Codiersystems sind pro Zielbereich prinzipiell mehrere Codierentscheidungen pro Person möglich. Um jedoch eine bessere Vergleichbarkeit mit den anderen Ergebnissen zu ermöglichen, sind bei den angegebenen Prozentzahlen Mehrfachcodierungen innerhalb eines Zielbereiches dennoch nur einfach berücksichtigt worden.

\*\*\* Es liegen keine Angaben vor bzw. die Angaben sind nicht sinnvoll quantifizierbar.

\*\*\*\* Daten nicht vergleichbar.

**Tabelle 28:** Vergleich des prozentualen Anteils an Probanden aus unterschiedlichen Studien, die in Pre-Tests zu Aspekten von *nature of science* elaborierte Sichtweisen zeigen

Tabelle 28 zeigt mittels eines quantifizierten, auf die NOS-Zielbereiche aufgeschlüsselten Vergleichs, wie viele Schüler des Pre-Tests ( $n = 60$ ) im Vergleich zu Probanden in anderen Pre-Tests ( $n = 488$ ) eine elaborierte Sichtweise im jeweiligen Zielbereich vertreten. Die Beschränkung auf die elaborierten Betrachtungsweisen beruht darauf, dass in der einschlägigen Literatur nur dort eine breitere Datenbasis zur Verfügung steht. Ferner können für einen solchen Vergleich natürlich auch nur Studien genutzt werden, deren Daten quantifizierbar sind. Darüber hinaus werden nur Studien mit Teilnehmern, die noch keinen Studienabschluss haben, herangezogen – zahlreiche Untersuchungen mit fertig ausgebildeten Lehrern oder auch Absolventen mit Bachelor-Abschluss werden daher nicht berücksichtigt. Die Vergleichbarkeit leidet dennoch, weil auch die für den Vergleich herangezogenen Studien nicht mit 16- bis 17-jährigen *Schülern*, sondern mit deutlich über 20-jährigen *Studierenden* durchgeführt worden sind (vgl. Abd-El-Khalick & Akerson 2004, S. 793; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1063; Akerson *et al.* 2000, S. 299). Einzig die Studie von KHISHFE & ABD-EL-KHALICK (2002) wurde mit Schülern realisiert, allerdings mit 11-Jährigen. Analoge Studien zu der vorliegenden mit einer wirklich vergleichbaren Stichprobe sind mir nicht bekannt.<sup>20</sup>

Ein erster, grober vergleichender Blick auf Tabelle 28, der zusätzlich die genaueren Einzelauswertungen in Anhang C-5 berücksichtigt, zeigt:

- Die vergleichsweise hohe Prozentzahl von 65 % an elaborierten Sichtweisen im Pre-Test im Zielbereich ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ verteilt sich nahezu ausschließlich auf die beiden Unterkategorien ‘Experiment als Mittel der Erkenntnis’ (53,3 %) sowie ‘Atome als Konstrukt’ (20 %). Den untersuchten deutschen Schülern der Jahrgangsstufe 11 ist die erkenntnisleitende Funktion eines Experiments offenbar *deutlich* eher bewusst als US-amerikanischen Schülern bzw. Studierenden.
- Die relativ niedrige Prozentzahl von 3,3 % an elaborierten Sichtweisen im Pre-Test im Zielbereich ‘empirische Basis’ zeigt, dass nur zwei von 60 Probanden im Pre-Test der Meinung sind, dass in den Naturwissenschaften lediglich Phänomene erklärt und systematische Beobachtungen interpretiert werden. Rund 90 % der Schüler vertreten dagegen die Ansicht, in den Naturwissenschaften gehe es um zu entdeckende ‘Fakten der Natur’. Das sich hier bei den untersuchten Schülern der 11. Jahrgangsstufe abzeichnende ‘naturalistische Weltbild’ ist vor allem auch im Vergleich zu den US-amerikanischen Jugendlichen deutlich ausgeprägt.
- Zwölf Teilnehmer (20 %) vertreten im Pre-Test die Ansicht, dass Naturwissenschaften auch kreative Momente beinhalten. Obgleich in meiner adaptierten Fassung des Fragebogens Fra-

---

<sup>20</sup> Dies weist auf eine Forschungslücke hin, die bereits in Kapitel 4.4 angesprochen wird: Es gibt kaum Studien, die den Einfluss von Interventionsmaßnahmen auf Ansichten und Änderung der Ansichten zur Geartetheit der Naturwissenschaften *bei Schülern* erheben. Eine wichtige Voraussetzung, damit Schüler adäquate Vorstellungen zu NOS entwickeln können, sind natürlich entsprechende Vorstellungen bei ausgebildeten oder zukünftigen *Lehrern*, wie z. B. HÖTTECKE & RIEB (2007, S. 2) oder auch ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN (2000a) treffend feststellen: „It is obvious that teachers cannot possibly teach what they do not understand“ (ebd., S. 1058). Dennoch bleibt auch für Lehrer mit adäquaten Vorstellungen zum Lernbereich einer *nature of science* die Frage offen, welche Unterrichtsszenarien geeignet sind, bei Schülern angemessene Vorstellungen zu NOS zu etablieren. In diesem Bereich muss weitere Forschung betrieben werden.

- ge 10 des VNOS-C, die diesen Punkt dezidiert erfragt, gestrichen wurde (vgl. Kapitel 6.2.2), wird hier offensichtlich der Durchschnittswert bestätigt.
- Schüler einer Jahrgangsstufe 11 äußern von sich aus nicht (0 %) die Vorstellung, dass es in den Naturwissenschaften einen (problembezogenen) Methodenpluralismus gibt.
  - Die relativ hohe Prozentzahl von 56,7 % an elaborierten Sichtweisen im Pre-Test im Zielbereich ‘Subjektivität/Theoriegebundenheit’ beruht größtenteils auf der Ansicht vieler Schüler (43,3 %), dass die widersprüchlichen Gründe, die für das Aussterben der Dinosaurier angeführt werden, auf unterschiedliche Interpretationen der Forscher zurückzuführen sind; ferner vertreten auch ein Viertel aller Schüler die Meinung, dass Forschung kulturell beeinflusst ist. Diese Zahlen überraschen nicht nur, weil sie vergleichsweise hoch sind, sondern auch, weil sie auf den ersten Blick offenbar nicht vereinbar sind mit der dominanten Annahme, es gehe in den Naturwissenschaften um Fakten der Natur.
  - Übereinstimmend mit Ergebnissen anderer Studien verwenden die Probanden die Fachbegriffe ‘Gesetz’ und ‘Theorie’ fast durchweg alltagssprachlich. Interessant ist hier überdies, dass von den fünf Schülern (8,3 %), die im Pre-Test eine elaborierte Sichtweise vertreten, immerhin drei keinen in sich konsistenten Standpunkt haben, da sie in diesem Zielbereich auch naive Vorstellungen äußern.
  - 47 Probanden (78 %) bejahen die Frage, ob sich Theorien ändern können (Frage 4 des Fragebogens VNOS-C). Während 13 (28 %) davon jedoch gar keine Begründung angeben, führen 34 Schüler (72 %) Gründe an, die auf einen rein alltagssprachlichen Gebrauch des Wortes ‘Theorie’ verweisen. Nur sieben Schüler (11,7 %) vertreten die als elaboriert zu kennzeichnende Ansicht, dass erst durch massive neue Hinweise oder eine Neuinterpretation von Befunden möglicherweise ein Theorienwandel stattfinden kann. Diese Ergebnisse decken sich mit denen anderer Studien.

Dieser grobe Blick zeigt, dass die Adaption des Fragebogens VNOS-C auf deutsche Verhältnisse offenbar durchaus möglich ist, weil sich prinzipiell sinnvolle Befunde ergeben. Erstaunlich sind dabei einerseits die sehr ähnlichen Prozentwerte im Vergleich zu den US-amerikanischen Studierenden bzw. Schülern bei den NOS-Zielbereichen ‘Kreativität’, ‘Theorien und Gesetze’ sowie ‘Vorläufigkeit’, aber auch die großen Abweichungen bei den Zielbereichen ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’, ‘empirische Basis’ sowie ‘Subjektivität/Theoriegebundenheit’ (vgl. Abd-El-Khalick 2005, S. 24ff.; Abd-El-Khalick & Akerson 2004, S. 797ff.; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1072ff.; Akerson *et al.* 2000, S. 305ff.; Khishfe & Abd-El-Khalick 2002, S. 567ff.; Kurdziel & Libarkin 2002, S. 326).<sup>21</sup>

Die nachfolgende, detaillierte Betrachtung der Schüleraussagen in Kapitel 6.5.2 soll vor allem einen Rahmen zur anschließenden Beurteilung der Interventionsmaßnahmen bereitstellen. Sie kann aber auch hilfreich sein, um mögliche Gründe für die oben genannten Gemeinsamkeiten und Unterschiede aufzuzeigen.

<sup>21</sup> Die Ergebnisse der Studien von KHISHFE & ABD-EL-KHALICK (2002) bzw. KURDZIEL & LIBARKIN (2002) lassen sich nur eingeschränkt mit meinen Ergebnissen vergleichen, weil bei beiden Studien nur vier NOS-Zielbereiche erhoben bzw. ausgewertet wurden.

### 6.5.2 Pre-Test: Schüleransichten zu den NOS-Zielbereichen im Detail

*Status von Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodellen – empirische Basis – anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften – Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode*

Die NOS-Zielbereiche ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ und ‘empirische Basis’ sind stärker als die anderen Zielbereiche miteinander verwoben, denn Naturwissenschaften basieren zu großen Teilen auf der Beobachtung von Phänomenen und haben daher eine empirische Basis. Um so erstaunlicher ist, dass 39 von 60 Probanden (65 %) im erstgenannten Bereich im Pre-Test eine relativ laborierte Sichtweise zeigen, im Zielbereich ‘empirische Basis’ jedoch nur zwei (3,3 %). Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich auflösen, wenn man genauer vergleicht, was beide Zielbereiche voneinander unterscheidet (vgl. auch Anhang C-2): Während es bei ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ um *konkrete* Operationen (Beobachtung von Experimenten), *unmittelbare* Konsequenzen (Schlussfolgerungen) und *veranschaulichte* Abstraktionen (Darstellung des Kern-Hülle-Atommodells als Beispiel für ein naturwissenschaftliches Denkmodell) geht und man sich daher auf einem relativ schulnahen Terrain bewegt, umfasst der Bereich ‘empirische Basis’ den stark wissenschaftstheoretisch unterfütterten eher *abstrakten* Umgang mit Evidenzen.

Abbildung 13 gibt einen Überblick über die Anzahl aller Codierentscheidungen im Pre-Test in den Zielbereichen ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ sowie ‘empirische Basis’.

Zielbereich	Subkategorie	Anzahl
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle	Eher elaboriert	0
	Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)	12
	Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung	0
	Exp. als Mittel der Erkenntnis	32
	Exp. können nichts verifizieren	0
	Exp. können Theorien nur stützen und/oder widerlegen	0
	Exp. nicht zwingend für Theoriebildung	2
	Eher naiv	1
	Atome als Fakten (z.B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)	30
	Exp. (unbedingt) erforderlich	58
	Exp. beweist (und widerlegt) etwas	44
	Exp. veranschaulicht etwas	13
	Objektiv Daten sammeln	7
	Keine Antwort / Nicht codierbar	18
Empirische Basis	Eher elaboriert	0
	Interpretation systematischer Beobachtungen	0
	Phänomene erklären	2
	Eher naiv	0
	Aus Beobachtungen Theorien aufstellen	2
	Eindeutig richtige und falsche Antworten	18
	Entdecken von Naturgesetzen / Wahrheiten	12
	Fakten der Natur	41
NW sind praktisch orientiert / Technik	7	
Keine Antwort / Nicht codierbar	4	

**Abbildung 13:** Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Test in den Zielbereichen ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ sowie ‘empirische Basis’ (Screenshot aus MAXQDA 2)

Vorstellungen zum Status von empirischen Beobachtungen und daraus ableitbaren Schlussfolgerungen werden mittels der zweiten und dritten Frage des VNOS-Fragebogens erfasst (vgl. Anhang C-1). Während in der zweiten Frage direkt nach einer Worterklärung für den Terminus ‘Experiment’ gefragt wird, zielt die dritte Frage auf das Wechselspiel von Theorie und Empirie.

Die in der Pre-Studie zum Ausdruck gebrachten Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Experimenten zeigen sich zunächst einmal daran, dass 59 von 60 Schülern (98,3 %) eine naive Sichtweise vertreten. Die hohe Anzahl an Codierentscheidungen in diesem Bereich (vgl. Abbildung 13) zeigt, dass die meisten Schüler mehrere Aussagen zu Experimenten treffen, die als *naiv* charakterisiert werden müssen. Lediglich sieben Schüler (11,7 %) weisen nur *eine* Codierung nach ‘naiv’ auf. Das weitaus typischste Argumentationsmuster der Schüler (66,7 %) ist, dass Experimente *unbedingt erforderlich* sind und überdies als *Prüfsteine* dienen, die etwas klar beweisen bzw. widerlegen können. Dennoch lassen sich die Schülervorstellungen nicht bruchlos mit dem einfachen Raster ‘eher naiv’ versus ‘eher elaboriert’ erfassen, weil trotz der Tatsache, dass 98,3 % der Schüler naive Ansichten zeigen, 33 Schüler (55 %) auch elaborierte Standpunkte vertreten. Dies verdeutlicht, dass viele Schüler keine konsistenten Vorstellungen innerhalb dieses Zielbereichs besitzen.

Abbildung 13 zeigt, dass sich elaborierte Sichtweisen bei ‘Beobachtungen und Schlussfolgerungen’ fast ausschließlich im Bereich ‘Experimente als Mittel der Erkenntnis’ erkennen lassen – auf die Frage, was ein Experiment ist, wird von 32 Schülern (53,3 %) das *erkenntnisleitende Interesse beim Experimentieren* deutlich benannt. Dies belegen beispielhaft folgende Schüleräußerungen:<sup>22</sup>

Ein Experiment ist ein Versuch, mit dem man Erkenntnisse über etwas sammeln möchte. (DF2005<sup>A-Pre</sup>)

Man wagt sich an unerforschte Sachen um rauszufinden, wie sie funktionieren. (MD1511<sup>C-Pre</sup>)

Ein Experiment ist der Weg zum „Wissen“. (KöAn<sup>C-Pre</sup>)

Die von SCHMITZ (2004, S. 94) und GRÖGER (2004) gefundenen Betrachtungsweisen bei Facharbeiten schreibenden Schülern, wonach die Funktion eines Experiments eher illustrativ bestimmt werde, es jedoch nicht als Medium der Erkenntnisgewinnung gesehen wird (vgl. Kapitel 4.3.3), können somit nicht reproduziert werden. Vermutlich wirkt der schulische Kontext einer Facharbeit, bei der kaum echte naturwissenschaftliche Forschung betrieben werden kann, als eine stark moderierende Variable. Von den in der vorliegenden Studie untersuchten Schülern geben zwar ebenfalls 13 (27,7 %) an, dass ein Experiment etwas veranschaulichen kann; neun von ihnen benennen *zusätzlich* aber auch die Erkennt-

<sup>22</sup> Alle zitierten Schüleräußerungen werden nach folgendem Muster nachgewiesen: Schülerkürzel<sup>Kurs-Erhebung</sup>. Schüler, die den Fragebogen statt mit Kürzel mit richtigem Namen versehen haben, werden von mir analog dazu anonymisiert.

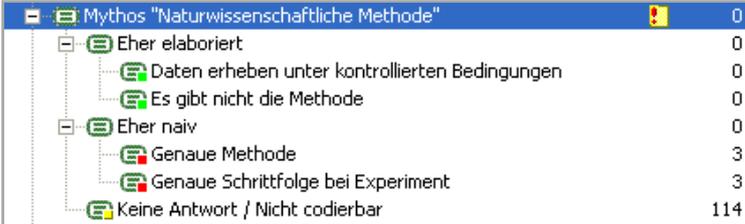
nisfunktion und verorten damit ein Experiment multifunktional. Somit vertreten lediglich vier Schüler (6,7 %) die Ansicht, ein Experiment sei *ausschließlich* ein Demonstrationsmittel.

Nur in drei Fällen (AbMa<sup>A-Pre</sup>, MoJa<sup>B-Pre</sup>, RoDa<sup>C-Pre</sup>) weist das verwendete Verb (‘ausprobieren’) auf die naive Anschauung hin, dass das Erkenntnisinteresse mit einer eher willkürlichen Handlung nach einem *trial-and-error*-Verfahren verbunden ist. 22 von 60 Schülern (37,7 %) vertreten dagegen dezidiert die elaborierte Position, dass einem Experiment im Regelfall (umfangreiche) *theoretische Überlegungen* vorangehen. Beispielhaft seien dazu folgende Äußerungen angeführt:

Man macht sich, bevor man ein Experiment startet, Gedanken, wie sich bestimmte Stoffe (z. B. in der Chemie) zueinander verhalten. Um seine vorher bedachten Theorien zu überprüfen, startet man Versuche, in denen diese Theorien real durchgeführt werden. (FaCh<sup>B-Pre</sup>)

Ein Experiment ist ein Versuch, bei dem vorher nicht eindeutig klar sein muss, was sich letztendlich als Versuchsergebnis herausstellen kann. Man experimentiert, um eine Idee zu bestätigen und um Zusammenhänge festzustellen. (FeKa<sup>B-Pre</sup>)

Damit zeigen deutsche Schüler einer Jahrgangsstufe 11 eine deutlich reflektiertere Sicht als beispielsweise US-amerikanische Siebtklässler, die ein Experiment eher für ein willkürliches Probehandeln bar jeder vorherigen Hypothesenbildung halten (vgl. Carey *et al.* 1989, S. 523, 526). Aber auch wenn einem guten Drittel der Schüler der Jahrgangsstufe 11 das wechselseitige Zusammenspiel von Theorie und Empirie ansatzweise bewusst ist, so ist diese elaborierte Vorstellung bei 19 dieser Schüler – dies entspricht 86,4 % der Teilpopulation! – *zugleich* mit der naiven Idee verkoppelt, Experimente seien *eindeutige Prüfsteine* für Ideen, Theorien oder Gesetze, wie aus den oben zitierten Schüleräußerung ebenfalls ersichtlich wird. Dies zeigt einerseits, dass die Wortverwendung der Fachbegriffe ‘Theorie’ und ‘Gesetz’ eher alltagssprachlich erfolgt (dazu später mehr); andererseits deutet dies aber auch auf eine *naiv-empiristische Sichtweise* hin, bei der naturwissenschaftliches Treiben darin bestehe, (objektiv) Daten zu sammeln, diese auszuwerten und anschließend daraus Theorien und Gesetze abzuleiten.



Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"	Anzahl
Eher elaboriert	0
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen	0
Es gibt nicht die Methode	0
Eher naiv	0
Genaue Methode	3
Genaue Schrittfolge bei Experiment	3
Keine Antwort / Nicht codierbar	114

**Abbildung 14:** Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Test im Zielbereich ‘Mythos einer naturwissenschaftlichen Methode’ (Screenshot aus MAXQDA 2)

Dem scheint zunächst jedoch zu widersprechen, dass lediglich sieben Schüleraussagen (11,7 %) tatsächlich nach ‘objektiv Daten sammeln’ codiert wurden (vgl. Abbildung 13)

und nur fünf Schüler (8,3 %) insgesamt sechs Aussagen treffen (vgl. Abbildung 14), die darauf schließen lassen, dass diese Schüler die Position vertreten, eine einheitliche, universelle Methode sei ein Kennzeichen der Naturwissenschaften. „Die Vorgehensweise ist überall gleich“, wie es DJ3112<sup>C-Pre</sup> für diese Schülergruppe programmatisch auf den Punkt bringt. Die hohe Anzahl an 114 Codierentscheidungen nach ‘keine Antwort/nicht codierbar’ im Zielbereich ‘Mythos einer naturwissenschaftlichen Methode’ (vgl. Abbildung 14), welcher mittels der ersten beiden Fragen des VNOS-C erhoben wird, vermag diesen vermeintlichen Widerspruch jedoch zu erklären: Schüler machen *von sich aus* kaum Angaben, die sich auf methodisches Vorgehen in den Naturwissenschaften beziehen. So erklären sich auch die wenigen Codierentscheidungen im Bereich ‘objektiv Daten sammeln’.

Dies ist bei amerikanischen Probanden offenbar anders: In zwei Studien (Abd-El-Khalick 2001, S. 221; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1074) wird berichtet, dass ca. 25 % der Befragten ohne Nachfrage (‘without any prompts’) äußern, es gebe eine spezielle naturwissenschaftliche Methode. ABD-EL-KHALICK & AKERSON (2004) berichten sogar:

[...] 86 % of participants believed that science is characterized by the use of a single scientific method or a set of orderly and logical steps. (Ebd., S. 797)

Möglicherweise lässt sich dies darauf zurückführen, dass in den USA ein forschend-entwickelndes, experimentell gestütztes Unterrichtsscript, bei dem Experimente nach einem immer gleichbleibenden methodischen Muster durchgeführt werden, viel häufiger als in Deutschland genutzt wird (vgl. PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 166).

Eine Ausnahme bei den hier untersuchten Probanden stellt der Schüler dar, der innerhalb des Zielbereichs ‘Mythos einer naturwissenschaftlichen Methode’ als einziger *zwei* Aussagen getroffen hat, die als *naiv* zu codieren sind. Auf die Frage, was Naturwissenschaften sind bzw. was ein Experiment ist, antwortet er:

Naturwissenschaften suchen nach Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Welt, wie wir sie erleben. Der Naturwissenschaftler nimmt eine Theorie an und versucht, diese anhand von Experimenten zu verifizieren oder falsifizieren, um anschließend ein Gesetz zu erstellen; hierbei legt er auch die Rahmenbedingungen fest. [...]

Zunächst liegt eine Theorie, eine Annahme vor über bestimmte Gesetzmäßigkeiten oder bestimmtes Verhalten unter bestimmten Voraussetzungen. Anschließend führe ich einen Versuch durch, der dieser Theorie unter den gegebenen Bedingungen entspricht, um dann die Theorie zu verifizieren oder falsifizieren. Je nach Ausgang des Versuches wird dann ein Gesetz aufgestellt oder die Theorie überarbeitet. (FS1811<sup>B-Pre</sup>)

Die erste Aussage wird innerhalb des Zielbereichs ‘Mythos einer naturwissenschaftlichen Methode’ dem Subcode ‘genaue Methode’ zugeordnet, die zweite Aussage dem Subcode ‘genaue Schrittfolge bei Experiment’. Offensichtlich tritt hier eine neopositivistische Auffassung zu Tage, die sich auch eines entsprechenden Sprachinventars bedient. Allerdings wird – entgegen der Position des Neopositivismus (vgl. Kapitel 3.2.1) – entweder ein Gesetz einer Theorie hierarchisch übergeordnet oder das Wort Theorie alltagssprachlich im

Sinne von Hypothese verwendet. Eine logische Verknüpfung mehrerer Gesetze (erst hier würden Vertreter des Neopositivismus von einer Theorie sprechen) wird nicht angesprochen.

Auch wenn außer FS1811<sup>B-Pre</sup> nur noch drei weitere Schüler (SJR2206<sup>A-Pre</sup>, StSa<sup>A-Pre</sup> und MST1202<sup>C-Pre</sup>) die klassischen wissenschaftstheoretischen Termini des Neopositivismus – Verifikation und Falsifikation – *expressis verbis* erwähnen und nur insgesamt fünf Schüler (wie oben bereits erwähnt) eine einheitliche naturwissenschaftliche Methode *von sich aus* nennen, gibt es Hinweise, dass weitaus mehr Schüler eine *naiv-empiristische Sichtweise* im Pre-Test vertreten. Dafür spricht beispielsweise, dass 58 von 60 Schülern (96,7 %) Experimente für unbedingt erforderlich halten, „denn ohne Experimente würde Forschung stillstehen, da man nichts Neues mehr erfahren kann“ (KwNa<sup>A-Pre</sup>), wie eine Schülerin vermerkt. Diese in ihrer Radikalität zwar fragwürdige, aber in gewisser Weise auch berechtigte Äußerung wird jedoch bei 49 von 60 Schülern (81,7 %) *zugleich* mit der Ansicht kombiniert, essenziell bei Naturwissenschaften sei der Umgang mit eindeutigen *Fakten* mit dem Ziel, *Naturgesetze* zu *entdecken*. Dies untermauert die These einer dominanten naiv-empiristischen Sichtweise auf Naturwissenschaften bei einem Gros der Schüler.

Neben dem durchaus nachvollziehbaren Argumentationsstrang, dass Experimente erforderlich sind, weil so neue Erkenntnisse gefunden werden können, gibt es noch drei weitere, die als eher naiv zu klassifizieren sind: Experimente seien erforderlich a) für medizinische Forschung (sechs Nennungen), b) zur Illustration (13 Nennungen) und c) als Beweis (22 Nennungen). Beispielhaft für den Argumentationsstrang der Erweisbarkeit sei nachfolgende Antwort auf die dritte Frage des VNOS-C angeführt:

Natürlich benötigt man für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens Experimente, da es ja sonst keinerlei Gründe für die Theorien der Wissenschaftler geben würde. Alles wäre unbestätigt oder möglicherweise sogar falsch. Es muss immer Beweise geben, die nur in Experimenten gewonnen werden können. (WoJe<sup>A-Pre</sup>)

Experimente werden, wie bereits zuvor erwähnt, als Beweise, als Prüfsteine der Wahrheit angesehen. Einerseits impliziert dies – auch wenn es nur 18 Schüler (30 %) wörtlich so äußern –, dass es aus Schülersicht das eindeutig Richtige und das eindeutig Falsche geben *muss*. Andererseits folgt daraus auch, dass Experimente prinzipiell exakte, nicht interpretationsbedürftige Ergebnisse liefern können. Dies sind weitere Hinweise für eine naiv-empiristische Auffassung eines Großteils der Schüler.

Lediglich zwei Schüler setzen sich mit der Vorstellung auseinander, dass naturwissenschaftliche Forschung prinzipiell auch ohne Experimente vorangetrieben werden kann:

Zum Teil sind Experimente nötig, aber nicht in jedem Bereich. Wenn man zum Beispiel ein physikalisches Gesetz „entdeckt“ hat, so muss man es beweisen können. Dieses kann nur anhand von Experimenten geschehen. Ein anderes Beispiel ist die Entstehung der Welt. Man kann heute noch nicht sagen, wie genau sie entstanden ist. Experimente hierzu sind wohl unmöglich. Dennoch gibt es über diesen Themenbereich Dinge, die wir wissen, jedoch nicht experimentell beweisen können. (JoSt<sup>B-Pre</sup>; Anführungszeichen i. O.)

Ich denke nicht, dass Experimente zur Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens erforderlich sind. So basiert das leukippsche Atommodell im Altertum bestimmt nicht auf einem Experiment, sondern rein auf der Phantasie des Wissenschaftlers Leukipp! Experimente sind bestimmt hilfreich, um neues Wissen zu erwerben, jedoch nicht unbedingt erforderlich. (GiSt<sup>C-Pre</sup>)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich bei den beiden Teilbereichen 'Beobachtungen' und 'Schlussfolgerungen' kein einfaches, einheitliches Bild<sup>23</sup> ergibt. Aussagen wie beispielsweise die von HAMMANN (2004), wonach „Schülervorstellungen über die experimentelle Methode [...] in wesentlichen Punkten von den naturwissenschaftlichen abweichen“ (ebd., S. 199), sind daher meines Erachtens zu pauschal gefällt.

*Von sich aus* machen Schüler, wie bereits herausgestellt, kaum Angaben über das 'Wie' in den Naturwissenschaften, also über *methodisches* Vorgehen. Das 'Was', also eine *Gegenstandsbestimmung*, geben sie aber sehr wohl an: Während nur zwei Schüler (3,3 %) bei ihrer Gegenstandsbestimmung die elaborierte Sicht äußern, in den Naturwissenschaften würden Phänomene erklärt, nennen 54 Schüler (90 %) – übereinstimmend mit den meisten amerikanischen Studien (vgl. z. B. Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1074) – als Charakteristika das 'Entdecken von Naturgesetzen' bzw. den Umgang mit 'Fakten der Natur'.<sup>24</sup> Prototypische Antworten für diese beiden eindeutig dominanten Bereiche lauten:

Zu den Naturwissenschaften gehören z. B. Physik, Biologie und Chemie. Diese Wissenschaften beschäftigen sich mit den von der Natur vorgegebenen Gesetzen. Diese werden erforscht und bewiesen. Unter dem Begriff „Naturwissenschaften“ verstehe ich daher die Forschung nach Gesetzen. (MD1511<sup>C-Pre</sup>)

Unter dem Wort Naturwissenschaft verstehe ich die Wissenschaft der Dinge, die es ohne menschlichen Einfluss schon immer gegeben hat. (BaTi<sup>C-Pre</sup>)

Letztgenanntes Zitat verdeutlicht ferner einen Sachverhalt, den auch jüngst HÖTTECKE & RIEß (2007, S. 5) bei Lehramtsstudierenden finden konnten: Die bereits in Kapitel 2.2.2 angesprochene Kluft der „zwei Kulturen“ (Snow 1959) scheint offenbar internalisiert zu sein. In der ersten Frage des Fragebogens VNOS-C (vgl. Anhang C-1) werden die Probanden gebeten, Naturwissenschaften von anderen Forschungsrichtungen wie z. B. der Theologie oder Philosophie abzugrenzen: Während in den *Geisteswissenschaften* Dinge „frei erfunden“ (AbMa<sup>A-Pre</sup>) werden, man dort „über Ergebnisse diskutieren“ (MD3108<sup>C-Pre</sup>) kann, weil sie „auf Spekulation“ (SS2001<sup>C-Pre</sup>) bzw. „Mutmaßungen“ (JoSt<sup>B-Pre</sup>) basieren, sind *Naturwissenschaften* „reeller“ (RiCh<sup>C-Pre</sup>), sie halten sich „an wahren Begebenheiten fest“ (SS2001<sup>C-Pre</sup>), man erhält „handfeste wissenschaftliche Ergebnisse“ (HeSe<sup>C-Pre</sup>) und es

<sup>23</sup> Dieser Befund korreliert mit Ergebnissen der 'PISA Studie 2006', bei der ebenfalls diese beiden Teilbereiche erhoben worden sind unter dem Label 'naturwissenschaftliche Phänomene erklären' bzw. 'naturwissenschaftliche Evidenz nutzen'. Auffällig sei „bei der Teilskala *naturwissenschaftliche Evidenz nutzen* [...] die im Vergleich zu den anderen Skalen hohe Leistungsstreuung“ (PISA-Konsortium Deutschland 2007, S. 89; Hervorheb. i. O.).

<sup>24</sup> ABD-EL-KHALICK (2001) formuliert sogar recht scharf, dass 60 % der Probanden eine Art quasi-religiöses naturwissenschaftliches Weltbild hätten, ein „'scientific' worldview“ (ebd., S. 221), welches nur ein 'richtig' oder 'falsch' zulasse.

lässt sich „eindeutig zwischen richtig und falsch unterscheiden“ (SJR2206<sup>A\_Pre</sup>). Geisteswissenschaften stehen demnach für einen fiktiven Bereich, der von Menschenhand geschaffen wurde, während Naturwissenschaften das Natürliche, Faktische, Greifbare, Beweisbare, das immer schon Gegebene repräsentieren:

Der Bereich der Geisteswissenschaften beschäftigt sich mit den Bereichen, welche erst durch das Zusammenkommen von Menschen aufgetan werden. Wenn niemand sich ausgedacht hätte, dass es etwas Göttliches gibt, wäre Theologie z. B. sehr unnütz. Dadurch bleiben Ergebnisse der Geisteswissenschaften immer sehr vage. Im Bereich der Naturwissenschaften versucht man zu beweisen. (ReSt<sup>C\_Pre</sup>)

Dass *jede* Wissenschaft letztlich auch immer Züge einer Kulturwissenschaft tragen *muss*, weil sie von Menschen betrieben wird (vgl. Buck 1995a; Janich 1997 sowie Kapitel 3.2.1), wird von keinem Probanden benannt – die untersuchten Schüler vertreten daher eine *naturalistische Sicht* auf Naturwissenschaften. Diese These kann dadurch untermauert werden, dass viele Schüler bei der Bestimmung des Gegenstandsbereichs eine Art selbstreferenzielles Begründungsmuster verwenden. Sehr deutlich wird dies an folgenden Beispielen:

Unter Naturwissenschaften verstehe ich halt die Wissenschaften, die etwas mit Natur zu tun haben oder mit Stoffen, die man aus der Natur gewinnen kann. (AKK2605<sup>A\_Pre</sup>; Unterstreichung i. O.)

Unter Naturwissenschaft verstehe ich, wie das Wort schon sagt, Wissenschaft über die Natur. (Ich weiß nicht, wie ich das schreiben soll). (TrBa<sup>B\_Pre</sup>; Einklammerung i. O.)

Naturwissenschaften sind, wie der Name schon sagt, Wissenschaften von natürlichen Begebenheiten und Vorgängen. (SS2001<sup>C\_Pre</sup>)

Eine Folge davon ist, dass echte Forschung bzw. ein Objektbereich kaum benannt werden (von ähnlichen Befunden berichten auch Höttecke & Rieß 2007, S. 4f.). Lediglich sechs Schüler (10 %) konkretisieren in ihren Antworten den Gegenstandsbereich, indem sie medizinische Bereiche anführen; von zwei Schülern wird zusätzlich auch die Kernforschung benannt. Bemerkenswert und zugleich bedenklich ist, dass ökologische sowie technisch-ökonomische Aspekte von keinem einzigen Schüler als Forschungsgebiet der Naturwissenschaften von sich aus angesprochen werden.

Der Teilbereich der ‘Denkmodelle’ wird primär mittels Frage Nummer sechs des VNOS-Fragebogens erfasst (vgl. Anhang C-1): Dort wird zunächst das für die Schule sehr gängige Kern-Hülle-Atommodell knapp dargelegt; erfragt werden anschließend dessen epistemologischer Status sowie Belege, auf denen das Modell gründet. Aus Abbildung 13 geht hervor, dass im Zielbereich ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ 18 von 60 Antworten (30 %) nicht codiert werden konnten – dies betrifft ausnahmslos jene sechste Frage des VNOS-C. Während in der Tat drei Schüler (HCU2710<sup>C\_Pre</sup>, HaDj<sup>C\_Pre</sup>, MA2604<sup>C\_Pre</sup>) gar keine Antwort geben, antworten viele Schüler ausweichend, z. B.:

Mit diesem Thema habe ich mich noch nicht beschäftigt und um genau zu sein, habe ich auch keine Ahnung, wie sie dies rausbekommen haben sollen. Spontan würde mir höchstens das Elek-

tronenmikroskop einfallen, obwohl ich bezweifle, dass man mit Hilfe eines solchen Mikroskops den Atomaufbau entdecken/sehen würde. (JoSt<sup>B-Pre</sup>)

Ich glaube, dass am Anfang Atome verschieden dargestellt wurden. Wie sicher sich die Naturwissenschaftler sind, dass ein Atom genau so aussieht, weiß ich auch nicht genau. (UU0504<sup>C-Pre</sup>)

Solche und ähnliche Antworten, bei denen Kandidaten ihre Indifferenz zum Ausdruck bringen, wurden ebenfalls nach 'keine Antwort/nicht codierbar' codiert. Hier wird meines Erachtens auch deutlich, dass es in dieser Schülergruppe sicherlich einige gibt, die vermutlich eine durchaus elaborierte Ansicht vertreten, diese jedoch (bewusst?) nur sehr vage äußern, um keine 'falsche' Antwort zu geben. Ebenfalls nach 'keine Antwort/nicht codierbar' sind alle Aussagen codiert worden, bei denen auf einer Metaebene der Inhalt der Frage selbst thematisiert wird:

Gute Frage! Ich habe keine Ahnung! Vielleicht durch Mikroskopieren. (HaYe<sup>B-Pre</sup>)

Die gleiche Frage habe ich meinem früheren Chemielehrer gestellt, aber er konnte mir keine genaue oder zufriedenstellende Antwort geben. (FaCh<sup>B-Pre</sup>)

Auf einer konnotativen Ebene ist eine gleichfalls nach 'keine Antwort/nicht codierbar' codierte Schülerantwort interessant, die zwar 'unsinnig' klingt, aber überdeutlich das Zerrbild des sozial vereinsamten Wissenschaftlers zum Ausdruck bringt (vgl. auch Kapitel 2.1):

Die Naturwissenschaftler hatten nix anderes zu tun! Keine Freunde, keine City. Haben die sich gedacht, was die machen sollen, sind die auf Forschen gekommen!

»Ich hab doch keine Ahnung!« (DiPe<sup>B-Pre</sup>; Zeichensetzung i. O.)

30 von 60 Schülern (50 %) betrachten Atome eindeutig als Fakten. Von dieser naiven Vorstellung bei 25-60 % der Probanden berichten auch US-amerikanische Studien (vgl. Abd-El-Khalick 2001, S. 222; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1077). Die Argumentationsmuster sind zwar keineswegs einheitlich, lassen sich jedoch grob in drei Kategorien einteilen: eine *pseudowissenschaftliche Sichtweise* (13,3 %), eine *monokausal-empiristische Sichtweise* (20 %) sowie eine *schlussfolgernd-empiristische Sichtweise* (16,7 %).

- Acht Schülerantworten (13,3 %) müssen als *pseudowissenschaftlich* klassifiziert werden. Kennzeichen hierfür ist ein oft floskelhafter Sprachgebrauch („Man hat die Atome in ihre Bestandteile zerlegt oder sie mit Strahlung bestrahlt“ (MST1202<sup>B-Pre</sup>)), der häufig mit einer unreflektierten Technikgläubigkeit („[...] durch heutige Messtechnik und viele Experimente ist die Genauigkeit des Wissens um Atome und deren Aufbau sehr hoch“ (SK1006<sup>A-Pre</sup>)) bzw. einem naiven Faktenoptimismus gepaart ist („Ich denke, dass dies durch ein Gesetz festgelegt ist und dadurch die Bahnen um den Kern nur so angelegt sein können“ (BrJa<sup>C-Pre</sup>)).
- Insgesamt 12 Schüler (20 %) führen als Beleg für die Richtigkeit des vorgestellten Atommodells einen einzelnen Grund an, der sich durchweg auf empirische Daten stützt – sie argumentieren daher *monokausal-empiristisch*: Vier Schüler erklären mit knappen Worten den Streuversuch von RUTHERFORD und führen diesen als Beweis für das Kern-Hülle-Atommodell an. Acht Schüler gehen davon aus, „dass Atome mit Elektronenmikroskopen sichtbar gemacht werden können“ (DD<sup>B-Pre</sup>). Auffällig ist, dass angesichts des in der Frage vorgestellten Atommodells lediglich der Name RUTHERFORD fällt – nicht jedoch z. B. THOMSON, dessen

Modell Status quo war, als RUTHERFORD seinen Streuversuch durchführte, oder BOHR, der immerhin eine Antwort auf RUTHERFORDS Problem geben konnte, dass die Elektronen bei dessen Modell eigentlich in den Kern stürzen müssten (vgl. Kippenhahn 1994, S. 94-122). Da der rutherfordische Versuch oftmals zum Gegenstand von Unterricht gemacht wird, ist dies meines Erachtens ein Hinweis darauf, dass historische Modellbildungen nur dann zu tragfähigen Konzepten führen können, wenn sie nicht bloß singular verwendet, sondern zugleich geschichtlich *verortet* werden – dies scheint im Unterricht der getesteten Probanden vermutlich nicht der Fall gewesen zu sein. Eine unhistorische Verinselung von Sachverhalten protegiert meines Erachtens die Vorstellung, diese als definitive Fakten anzusehen.

- Zehn Schüler (16,7 %) vertreten eine *schlussfolgernd-empiristische Sichtweise*, wonach mehrere Experimentalbefunde kohärent aufeinander bezogen wurden, um das Kern-Hülle-Atommodell empirisch abzusichern. Prototypisch kann hier die Antwort von ShIg<sup>A-Pre</sup> angeführt werden: „[...] es gibt auch Röntgen-‘Aufnahmen’ oder Projektionen von Kristallen, die das nachweisen“ (Anführungszeichen i. O.). Die an und für sich elaborierte Kohärenz-Vorstellung bleibt jedoch naiv, weil alle zehn Probanden im *gleichen* Gedankengang direkt oder indirekt Termini aus dem Wortfeld ‘beweisen’ nutzen.

Immerhin 12 von 60 Schülern (20 %) äußern sich skeptisch im Hinblick auf eine exakte Realentsprechung des vorgestellten Atommodells. Drei Schüler geben auch gezielt an, dass Naturwissenschaftler nicht konkret sagen können, „dass ein Atom genau so aussieht, da sie diese nicht sehen können“ (DF2005<sup>A-Pre</sup>); man könne nur Rückschlüsse ziehen und die Darstellung sei so, dass Naturwissenschaftler „mit diesem Modell die meisten beobachtbaren Vorgänge erklären können“ (FS1811<sup>B-Pre</sup>). Die Hälfte der 12 Schüler führen zusätzlich an, dass dieses Atommodell gewählt wurde, um „es möglichst anschaulich darzustellen, um es besser erklären zu können“ (SiNa<sup>B-Pre</sup>): „Die Darstellung des Atoms ist für das Vorstellungsvermögen so gewählt“ (RiCh<sup>C-Pre</sup>). Drei Schüler erwähnen darüber hinaus, dass es nicht nur dieses eine Modell gebe: „Es gab in der Geschichte verschiedene Atommodelle“ (ScLe<sup>C-Pre</sup>); „Ich glaube, dass Naturwissenschaftler mehrere Darstellungen haben, wie ein Atom aussehen könnte, und dass diese Darstellung am geläufigsten ist“ (TeLi<sup>A-Pre</sup>). Die hier nur vage anklingende sozialkonstruktivistische Vorstellung eines Aushandlungsprozesses unter Wissenschaftlern – ganz im Sinne KUHNs – formuliert ein Schüler auch ganz dezidiert:

Man weiß, dass ein Atom zu klein ist, um es mit einem Elektronenmikroskop zu betrachten. Daher wäre meine Idee, dass sich die Wissenschaftler auf ein Norm-Modell geeinigt haben. Sie stellten wahrscheinlich alle ihre Modelle zur Verfügung und jenes Modell, welches in den Lehrbüchern steht, kam dabei heraus. (HD1608<sup>C-Pre</sup>)

Damit wird insgesamt deutlich, dass – analog zu den Teilbereichen ‘Beobachtungen’ und ‘Schlussfolgerungen’ – auch die Bandbreite an Schülvorstellungen zu naturwissenschaftlichen Deutungsmustern, die sich oft in Form von Modellen manifestieren, recht heterogen ist.

Im Originalfragebogen VNOS-C wird der Teilbereich ‘Kreativität’ dezidiert erfragt; diese Frage wurde von mir jedoch gestrichen (vgl. Kapitel 6.2.2). Um dennoch Vergleichs-

zahlen über diesen Zielbereich zu erhalten, habe ich hier ebenfalls die Antworten zu Frage Nummer sechs meines adaptierten Fragebogens als Grundlage genutzt, denn die Entwicklung eines Atommodells ist unzweifelhaft auch ein kreativer Akt – tiefergehende Aussagen zur Kreativität von Wissenschaftlern sind so aber nicht möglich.

### *Status von Theorien und Gesetzen – Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens*

Mittels der Fragen vier und fünf des adaptierten Fragebogens VNOS-C werden Vorstellungen zum metasprachlichen Fachterminus ‘Theorie’ erhoben. Während in Frage fünf der Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz erfragt wird, können die Probanden in Frage vier ihre Ansichten zur Theoriendynamik darlegen.

Das Wort ‘Theorie’ bezeichnet in den Naturwissenschaften ein ausdifferenziertes, reichhaltig strukturiertes Erklärungssystem bzw. Denkmodell mit sowohl interpretatorischer als auch prognostischer Kraft. Gesetze im naturwissenschaftlichen Sinne treffen dagegen verallgemeinerte Aussagen über Zusammenhänge zwischen empirisch beobachtbaren Größen unter bestimmten Bedingungen. Weil sich Theorien auf eine erklärende Meta-Ebene beziehen, Gesetze jedoch auf einen konkret-faktischen Objektbereich, befinden sie sich somit auf logisch unterschiedlichen Ebenen.

Kategorie	Anzahl
Theorien & Gesetze	0
Eher elaboriert	0
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage	4
keine Hierarchie Theorie/Gesetz	0
Theorie = etabliertes Denkmodell	0
Theorie gibt Forschungsrahmen vor	1
Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig	1
Eher naiv	0
Gesetze = bewiesen / gültig / fest	48
Theorie = Hypothese/unbewiesene Idee	42
Theorie = Vorstufe zu Gesetz	6
Keine Antwort / Nicht codierbar	7

**Abbildung 15:** Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Test im Zielbereich ‘Theorien und Gesetze’ (Screenshot aus MAXQDA 2)

Abbildung 15 veranschaulicht sehr deutlich, dass Schüler einer Jahrgangsstufe 11 eine solche Sichtweise so gut wie nicht vertreten. Lediglich zwei Schüler (3,3 %) äußern etwas vage die elaborierte Ansicht, dass eine Theorie „Auffassungen von Dingen“ (SiPa<sup>C-Pre</sup>), die Wissenschaftler haben, bündelt, sie ein „Grundstein ist, von dem die Forschung ausgeht“ (FS1811<sup>B-Pre</sup>). Nur vier Schüler (6,7 %), darunter erneut SiPa<sup>C-Pre</sup>, führen Gesetze auf eine empirische Basis zurück. Damit vertreten insgesamt nur fünf Schüler elaborierte Vorstellungen innerhalb des Zielbereichs ‘Theorien und Gesetze’.

Auffällig ist dabei jedoch, dass drei dieser fünf Schüler, welche Gesetze mit Empirie in Verbindung bringen, *zugleich* auch die eher naive Sichtweise äußern, dass Gesetze ein für alle Mal feststehen bzw. bewiesen sind. ScLi<sup>C-Pre</sup> schreibt dazu beispielsweise: „Ich denke, dass ein naturwissenschaftliches Gesetz schon (längere Zeit) bewiesen und in vielen Fällen angewendet wurde“ (Einklammerung i. O.). Letztlich vertreten daher nur zwei Schüler innerhalb des Zielbereichs ‘Theorien und Gesetze’ Sichtweisen, die sich aus einem gegenwärtigen, wissenschaftstheoretischen Blickwinkel als elaboriert bezeichnen lassen.

Abbildung 15 zeigt, dass insgesamt 48 von 60 Schülern (80 %) davon ausgehen, dass *naturwissenschaftliche Gesetze* endgültig bewiesen sind: Gesetze seien „etwas Feststehendes“ (KöAn<sup>C-Pre</sup>), sie seien „unveränderbar“ (DeÜn<sup>A-Pre</sup>), „unwiderlegbar“ (TeLi<sup>A-Pre</sup>), „richtig“ (EN<sup>A-Pre</sup>), „bewiesen und immer gültig“ (StSa<sup>A-Pre</sup>). Diese Vorstellung zeigt sich quasi durchweg bei allen Studien, die den Fragebogen VNOS-C als Instrument nutzen (vgl. z. B. Abd-El-Khalick 2001, S. 222; Abd-El-Khalick 2005, S. 24; Abd-El-Khalick & Akerson 2004, S. 797; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1076; Höttecke & Rieß 2007, S. 10).

42 von 60 Schülern (70 %) verstehen unter einer *naturwissenschaftlichen Theorie* eine (noch) unbewiesene Idee: Eine Theorie sei eine „Vermutung“ (DaDo<sup>B-Pre</sup>), „eine nicht begründete Mutmaßung“ (SK1006<sup>A-Pre</sup>), „eine noch nicht vollständig bewiesene Behauptung“ (GiSt<sup>C-Pre</sup>). Teilweise schwingen auch abwertende Konnotationen mit, wenn Schüler beispielsweise eine Theorie als „Meinung“ (DiPe<sup>B-Pre</sup>) bezeichnen, lapidar anmerken: „halt eine Theorie“ (SzSy<sup>A-Pre</sup>), sie als „unvollständig“ (SiNa<sup>B-Pre</sup>) hinstellen.

Aus der Kopplung beider als *naiv* zu klassifizierenden Aussagen ergibt sich das dominante Antwortmuster, welches 39 von 60 Schülern vertreten (65 %). Beispielhaft sei folgende Schülerantwort zitiert:

Ich würde sagen, dass Theorien nur Vermutungen sind, die man nicht beweisen kann. Möglichkeiten, die man eventuell in Betracht ziehen kann. Naturwissenschaftliche Gesetze sind bewiesen und hinterlegt. (LSD61<sup>B-Pre</sup>)

Summiert man all jene Schüler, die entweder die These vertreten, naturwissenschaftliche Gesetze seien unwiderruflich zementierte Gegebenheiten, und/oder naturwissenschaftliche Theorien seien bloße Annahmen, so kommt man auf 85 % (51 von 60 Schülern). Dieses Rechenspiel ist insofern bedeutsam, als dass damit zugleich deutlich wird, dass 85 % der Schüler mindestens einen der beiden Fachtermini ‘Gesetz’ und ‘Theorie’ in ihrer alltagssprachlichen Wortbedeutung verwenden, wie die Auswahl an Musterantworten (siehe oben) eindeutig zeigt – im Fragebogen wurde jedoch mittels der fünften Frage dezidiert der Unterschied zwischen einer *naturwissenschaftlichen Theorie* und einem *naturwissenschaftlichen Gesetz* erfragt (vgl. Anhang C-1). Dies ist in zweifacher Hinsicht bedeutsam: Einerseits offenbart dies ein Manko des gegenwärtigen Naturwissenschaftsunterrichts, bei dem zwar *objektsprachliche* Fachtermini gelehrt werden, *metasprachliche* Fachbegriffe zur Beschreibung des Objektbereichs jedoch offensichtlich nicht. Andererseits müssen die Schülvoraus-

sagen zu den übrigen Zielbereichen, insbesondere zu dem der ‘Vorläufigkeit’, vor diesem Hintergrund betrachtet werden.

Anders als bei vielen US-amerikanischen Studien (vgl. z. B. Abd-El-Khalick 2005, S. 24; Abd-El-Khalick & Akerson 2004, S. 800; Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1076), aber auch bei deutschen (Höttecke & Rieß 2007, S. 10) zeigen die Probanden dieser Studie *von sich aus* keine überwiegend hierarchische Ansicht bezüglich des Verhältnisses zwischen Theorie und Gesetz. Dies ist aufgrund der stark alltagssprachlichen Wortverwendungsmuster meines Erachtens aber auch präferent, denn eine Theorie im Sinne einer bloßen Spekulation ist im Alltag weit von einem eindeutig konsolidierten Grundsatz entfernt. Lediglich 6 von 60 Schülern (10 %) äußern im Pre-Test von sich aus die Vorstellung, ein Gesetz stehe über einer Theorie bzw. eine bewiesene Theorie werde zu einem Gesetz. Bei einer solchen Sichtweise wird ein nur gradueller Unterschied zwischen Theorien und Gesetzen angenommen. Dies kommt z. B. in folgender Schülerantwort deutlich zum Ausdruck:

Es gibt keinen Unterschied zwischen naturwissenschaftlichen Theorien und den Gesetzen. Dies liegt daran, dass die Gesetze aus den begründeten Theorien entstanden sind. (DJ3112C<sub>Pre</sub>; Unterstreichung i. O.)

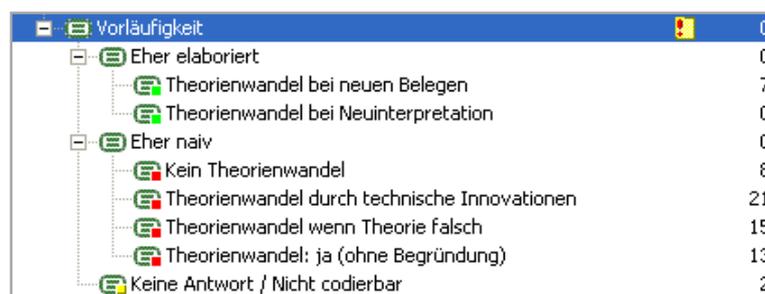
Insgesamt zeigt sich bei diesem Zielbereich, dass die Schüleransichten zu ‘Theorien und Gesetzen’ quasi durchweg auf Alltagsmustern basieren. Dies weist deutlich darauf hin, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht solche metasprachlichen Fachbegriffe dezidiert zum Gegenstand von Unterricht gemacht werden müssten.

Eine etablierte, naturwissenschaftliche Theorie ist zwar oftmals relativ dauerhaft; sie muss allerdings nicht ewig Bestand haben. Insbesondere aufgrund neuer Forschungsergebnisse oder aber auch durch eine Neubewertung existierender Befunde kann sie daher revidiert oder erweitert werden. Die Theorie wird dadurch jedoch nicht ‘falsch’, sondern lediglich unangemessen.<sup>25</sup> Naturwissenschaftliche Theorien haben daher prinzipiell einen tentativen Charakter.

Abbildung 16 verdeutlicht zwar, dass nur acht Schüler (13,3 %) die Frage vier des adaptierten VNOS-C (‘Kann sich eine wissenschaftliche Theorie jemals ändern, wenn Naturwissenschaftler sie einmal entwickelt haben?’) verneinen – die Schüleraussagen zum Zielbereich ‘Vorläufigkeit’ sind jedoch vor dem Hintergrund, dass das Wort ‘Theorie’ fast durchweg alltagssprachlich genutzt wird, nur von eingeschränkter Aussagekraft. Dass die

<sup>25</sup> Dieser Sachverhalt lässt sich recht gut anhand der Säure-Theorie von ARRHENIUS verdeutlichen (vgl. Kapitel 5.2.2): Aus heutiger Sicht ist ihr Gegenstandsbereich zu eng gefasst, weil sie sich nur auf wässrige Lösungen beschränkt, und ihre innerparadigmatische Konsistenz ist begrenzt, weil sie mit gegenwärtigen Ansichten zum Atombau nicht kompatibel ist. Gleichwohl ist das Säure-Konzept von ARRHENIUS dadurch nicht ‘falsch’. Im wässrigen Medium vermag es (fast) alle Phänomene nicht weniger angemessen zu erklären als das Konzept von BRØNSTED – aus gutem Grund hat es daher seinen festen Platz im Unterricht der Sekundarstufe I (vgl. z. B. MSW NRW 1993, S. 91f.).

überwiegende Mehrheit der Schüler (86,7 %) von einem prinzipiellen Theorienwandel ausgeht, kann infolgedessen dennoch nicht als elaborierte Sichtweise gewertet werden – vielmehr ist dieser Standpunkt eine logische Folge der alltagssprachlichen Wortverwendung. „Natürlich können sie sich ändern, was auch der Name ‘Theorie’ schon verrät“, antwortet daher KwNa<sup>A-Pre</sup> aus Sicht einer alltagssprachlichen Wortverwendung völlig stringent. Von einem vergleichbaren Befund berichtet auch ABD-EL-KHALICK (2001, S. 222).



Kategorie	Anzahl
Vorläufigkeit	0
Eher elaboriert	0
Theorienwandel bei neuen Belegen	7
Theorienwandel bei Neuinterpretation	0
Eher naiv	0
Kein Theorienwandel	8
Theorienwandel durch technische Innovationen	21
Theorienwandel wenn Theorie falsch	15
Theorienwandel: ja (ohne Begründung)	13
Keine Antwort / Nicht codierbar	2

**Abbildung 16:** Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Test im Zielbereich ‘Vorläufigkeit’ (Screenshot aus MAXQDA 2)

Falls Gründe für einen Theorienwandel angeführt werden, dominieren bei der naiven Sichtweise zwei Argumentationsmuster: Theorien können sich durch technische Innovationen (35 %) ändern bzw. wenn sie sich als falsch herausstellen (25 %). Bei dem ersten Argumentationsstrang ist erneut eine naive Technikgläubigkeit feststellbar, denn im Regelfall sind die angeführten Gründe stark pauschalisierend: „technische Errungenschaften“ (ReSt<sup>C-Pre</sup>), „bessere Forschungsmethoden“ (HD1608<sup>C-Pre</sup>), „modernere[...], fortschrittlichere[...] Technologie“ (USH227<sup>B-Pre</sup>), kurzum: „Die Möglichkeiten, die man heute hat, nach Dingen zu forschen, sind weitaus besser als vor 50 Jahren oder noch früher“ (StSa<sup>A-Pre</sup>). Nur in zwei Fällen wird die Technik präzisiert und damit auch benannt, indem auf „weiterentwickelte Mikroskope“ (ScLi<sup>C-Pre</sup>) verwiesen wird (so auch bei SiNa<sup>B-Pre</sup>).

Abbildung 16 zeigt, dass sieben Schüleraussagen nach elaboriert codiert wurden – wirklich elaborierte Ansichten im Zielbereich ‘Vorläufigkeit’ sind aber nur in drei Fällen (5 %) anzutreffen, denn bei den übrigen vier Schülern ist die elaborierte Sichtweise, ein Theorienwandel könne durch neue Erkenntnisse eintreten, zugleich mit einer naiven Position verbunden: zwei Schüler geben als Gründe ebenfalls technische Verbesserungen an, die anderen beiden sprechen zugleich davon, dass die alte Theorie widerlegt werde.

### *Sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen/Theoriegebundenheit*

Naturwissenschaftliche Forschung und die Interpretation von Forschungsergebnissen sind auch sozial und kulturell beeinflusst. Individuelle Überzeugungen, Vorwissen, Erfahrungen sowie disziplinär akzeptierte Forschungsprogramme beeinflussen die Arbeit eines Na-

turwissenschaftlers und entscheiden letztlich sogar darüber, was überhaupt wie untersucht wird und was beobachtet wird (und was nicht). Vor diesem Hintergrund ist jede Beobachtung stets schon theoriegeleitet. Diese (sozial-)konstruktivistische Sichtweise auf Naturwissenschaften führt jedoch nicht zu einem Relativismus oder gar einer Beliebigkeit – zentral für den Naturwissenschaftsbetrieb ist vielmehr das soziale, kommunikative Aushandeln von Bedeutungen nach rationalen oder auch paradigmatischen Kriterien (vgl. z. B. Janich 1997; Kuhn 1976; Lakatos 1982; Mittelstraß 1989; Popper 1982).

Mittels der Fragen sieben und acht des adaptierten Fragebogens VNOS-C werden die Vorstellungen zur Theoriegebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens bzw. zum Einfluss sozialer und kultureller Faktoren auf die Genese naturwissenschaftlichen Wissens erhoben. Dazu werden die Probanden einerseits in Frage acht dezidiert gefragt, ob Naturwissenschaften universell seien oder ob sie durch soziale und kulturelle Wertvorstellungen beeinflusst werden. Meinungen zur Theoriegebundenheit werden eher indirekt erhoben, indem in Frage sieben zunächst zwei gängige, aber unterschiedliche Begründungen für das Aussterben der Dinosaurier vor mehr als 65 Millionen Jahren gegenübergestellt werden; im Anschluss daran wird erfragt, wie diese beiden konträren Schlussfolgerungen bei gleicher Datenlage möglich sind.

Category	Count
Subjektivität / Theoriegebundenheit	0
Eher elaboriert	0
Dinos: Interpretation der Forscher	26
Forschung kulturell beeinflusst	15
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung	1
Eher naiv	0
Dinos: inhaltliche Antwort	19
Dinos: widersprüchliche/uneindeutige Daten	16
Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen	7
Forschung durch Geld beeinflusst	1
Universell (z.B. weil Fakten überall gleich)	37
Keine Antwort / Nicht codierbar	15

**Abbildung 17:** Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Test im Zielbereich ‘Subjektivität/Theoriegebundenheit’ (Screenshot aus MAXQDA 2)

In Kapitel 6.5.1 wurde schon darauf verwiesen, dass die untersuchten Schüler im Zielbereich ‘Subjektivität/Theoriegebundenheit’ bereits im Pre-Test einen vergleichsweise differenzierten Standpunkt vertreten: 56,7 % (34 Schüler) weisen eine Codierung nach elaboriert auf, im internationalen Vergleich sind es nur 21,7 % (vgl. Tabelle 28, Kapitel 6.5.1). Die Tatsache, dass insgesamt 42 Codierentscheidungen nach elaboriert getroffen wurden (siehe Abbildung 17), untermauert dies noch, da somit einige Schüler – acht an der Zahl – mehr als eine elaborierte Codierung haben. Diese Ergebnisse stehen jedoch im Widerspruch zu der zuvor getroffenen Aussage, die Mehrzahl der untersuchten Probanden weisen ein naturalistisches Weltbild auf. Um diese Diskrepanz erklären zu können, müssen noch weitere Befunde untersucht werden:

26 Schüler (43,3 %; siehe Abbildung 17) vertreten die wissenschaftstheoretisch breit akzeptierte Sichtweise, dass die widersprüchlichen Gründe, die für das Aussterben der Dinosaurier angeführt werden, auf unterschiedlichen Interpretationen der Forscher beruhen. Sehr deutlich wird dies z. B. an folgender Schülerantwort:

Die Informationsquellen geben Anhaltspunkte und Denkanstöße. Welche Schlussfolgerungen Wissenschaftler daraus ziehen, ist ihre eigene Interpretation. (HoLe<sup>A-Pre</sup>)

Dieses Ergebnis darf jedoch nicht dahingehend gedeutet werden, dass auch 43,3% der Schüler *insgesamt* eine als elaboriert zu kennzeichnende sozialkonstruktivistische Position vertreten, denn zwei weitere Befunde schränken dies ein. Einerseits lassen sich bei genauerer Betrachtung der Schüleraussagen bei mindestens 11 der 26 Schüler Ansätze einer *relativistischen Position* ausmachen; andererseits zeigen sich bei 18 von diesen 26 Schüleraussagen auch auffallend viele *Inkonsistenzen* im direkten Quervergleich mit anderen Antworten, die die jeweiligen Schüler gegeben haben:

Bezeichnend für die *relativistischen Positionen* sind beispielsweise Äußerungen wie die, dass „jeder Mensch anders denkt“ (SiPa<sup>C-Pre</sup>), dass „jeder Mensch die Dinge anders sieht“ (HaDj<sup>C-Pre</sup>); „die einen glauben das, die anderen halt was anderes“ (SzSy<sup>A-Pre</sup>); man habe sich eben „verschiedene Infos zurechtgebogen“ (PrTa<sup>A-Pre</sup>). Von ähnlichen Befunden berichten auch HÖTTECKE & RIEß (2007). Sie schlussfolgern: eine „sozialkonstruktivistische Begrifflichkeit wird nur an der Oberfläche verwendet“ (ebd., S. 9).

Hinweise auf *Inkonsistenzen* lassen sich finden, wenn man die Antworten auf die Fragen eins und sieben (teilweise auch acht) bei jedem einzelnen Schüler auf interne Kohärenz prüft. Dabei zeigen sich teilweise Ansichten, die eigentlich unvereinbar sind:

- AKK2605<sup>A-Pre</sup> unterscheidet in Frage eins des adaptierten Fragebogens Naturwissenschaften von Geisteswissenschaften dadurch, dass erstere „mit etwas Materiellem beweisbar oder belegbar“ seien, letztere „sich mit Nichtmateriellem beschäftigen, eher mit etwas Geistigem und mit dem Verstand.“ Auf die ‘Dinosaurier-Frage’, die eindeutig eine naturwissenschaftliche ist, antwortet er jedoch: „Viele Informationen kann man auch mehrfach deuten“ – diese Antwort würde demnach eher zu seiner Bestimmung der Geisteswissenschaften passen.
- HoLe<sup>A-Pre</sup> geht ebenfalls davon aus, dass naturwissenschaftliche Forschung das Ziel verfolgt, „‘Phänomene’ zu beweisen und zu erklären.“ Im Falle der Dinosaurier geben Phänomene jedoch nur „Anhaltspunkte und Denkanstöße“ und bieten Raum für „eigene Interpretation“, wie bereits oben zitiert wurde.
- KrDa<sup>A-Pre</sup> gibt an, dass Naturwissenschaften „auf naturgegebenen, unveränderlichen Gesetzen und Tatsachen“ beruhen. Die ‘Tatsachen’ scheinen im Bezug auf Dinosaurier allerdings eher ‘weich’ zu sein, denn Wissenschaftler arbeiten hier zwar „mit den gleichen Informationsquellen, jedoch interpretieren sie diese unterschiedlich.“
- JoSt<sup>B-Pre</sup> antwortet auf Frage sieben: „Aus den gegebenen Informationen kann man schlussfolgern, jedoch auf verschiedene Art und Weise.“ Bei der Frage nach der Universalität der Naturwissenschaften ist von einem Interpretationsspielraum allerdings keineswegs mehr die Rede: „Meiner Meinung nach sind Naturwissenschaften universell, siehe Schwerkraft. Diese gilt auf der kompletten Erde und nicht nur bei speziellen Kulturen. Es mag sein, dass ‘Ent-

decker' durch kulturelle Einflüsse auf bestimmte Gesetze gekommen/gestoßen sind (siehe Bau der Pyramiden → mathematische Formeln), jedoch gelten diese auch auf der kompletten Erde.“ (Zeichensetzung i. O.)

Die Auflistung ließe sich fortsetzen. Solche oder ähnliche Widersprüche, bei denen Naturwissenschaften einerseits als *eindeutig beweisbar* und/oder *universell* benannt werden, Paläontologen jedoch *Interpretationsspielräume* zugestanden werden, finden sich außer bei den vier zitierten Probanden noch bei weiteren 14 Schülern. Insgesamt kann daher nicht 26, sondern nur acht Schülern (13,3%) eine *konsistente* sozialkonstruktivistische Sichtweise beim Zielbereich 'Theoriegebundenheit' im Pre-Test zugeordnet werden. – Wie sind diese internen Inkonsistenzen erklärbar?

Bedingt durch die große zeitliche Distanz ist das Sachgebiet der Dinosaurier im wahren Wortsinne 'unfassbar'. Dadurch bietet es freilich Raum für eine nicht nur mediale Fiktionalisierung (die beispielsweise in Spielfilmen weidlich genutzt wurde und wird). Infolgedessen hat dieser Themenkomplex sicherlich auch eine gewisse Emotionalisierung erfahren. Dies zeigt sich z. B. an folgender Schüleräußerung:

Da das Ganze vor über 65 Millionen Jahren passierte, kann man wohl kaum genaue Informationen darüber erhalten und die Quellen sind ja schließlich keine detaillierten Protokolle oder so. Also mir persönlich gefällt die Theorie von Vulkanausbrüchen, aschebedeckter Erde und eine darauffolgende Eiszeit, während der nur kleinste Säugetiere und so überleben, besser. (SiNa<sup>B-Pre</sup>)

Das hier beschriebene bildliche Szenario, welches SiNa<sup>B-Pre</sup> besser „gefällt“ (und nicht etwa 'logischer erscheint' oder 'nachvollziehbarer' ist), verweist deutlich eher auf einen Film- oder Romanplot als auf naturwissenschaftliche Forschung. Interessant ist daher auch die Antwort eines Schülers, bei der dieser zur Illustration seines Standpunkts auf die geisteswissenschaftliche Domäne zurückgreift:

Die Wissenschaftler haben die Beobachtungen, Messungen und das zugrunde liegende Material unterschiedlich gedeutet. Das könnte man mit einer Gedichtinterpretation vergleichen. Hier gibt es keine eindeutige Lösung, es kommt auf den Standpunkt des Betrachters an. (GiSt<sup>C-Pre</sup>)

Völlig konträr dazu äußert GiSt<sup>C-Pre</sup> auf Frage eins des Fragebogens, was Naturwissenschaften seien, dass diese versuchten, „die Welt auf rationale Weise zu erklären“. Auch die Antwort auf Frage acht steht zu obiger Äußerung, es komme auf den Betrachterstandpunkt an, im Widerspruch:

Die Naturwissenschaften sind meiner Meinung nach universell, da sie Fakten darlegen und eine Beeinflussung von außen, also durch die Kultur, die Ergebnisse verfälschen würde und sie somit keine Fakten mehr darstellen würden, weshalb sie keine naturwissenschaftlichen Ergebnisse sein würden. (GiSt<sup>C-Pre</sup>)

Die Inkonsistenzen können daher meines Erachtens so erklärt werden, dass diese 18 Schüler Studien zum Aussterben der Dinosaurier letztlich nicht (primär oder ausschließlich) den Naturwissenschaften zurechnen.

19 Schüler (31,7 %) beantworten Frage sieben des adaptierten Fragebogens VNOS-C nicht auf einer Metaebene, sondern bleiben dem Inhaltsbereich verhaftet. Solche Antworten wurden nach ‘inhaltliche Antwort’ codiert. Bei diesen Äußerungen ist häufig der Versuch einer *Harmonisierung* feststellbar. Beispielhaft können folgende Antworten angeführt werden:

So können die Folgen eines Meteoriten und die von schlimmen Vulkanausbrüchen wohl zum selben Ergebnis kommen. (FeKa<sup>B\_Pre</sup>)

Vielleicht ist ja beides gleichzeitig passiert! Und beide Gruppen denken, ihre Schlussfolgerung war die Richtige! (USH227<sup>B\_Pre</sup>)

Bei beiden Thesen ist die Verdunkelung der Sonne Schuld am Aussterben. Nun ist nur die Frage, was diese Verdunkelung hervorrief. (BaTi<sup>C\_Pre</sup>)

Diese Tendenz zeigt sich auch bei Antworten, die nach ‘widersprüchliche/uneindeutige Daten’ bzw. nach ‘zeitlicher Abstand/keine Zeugen’ codiert wurden (vgl. Abbildung 17). Anders als bei den rein inhaltlichen Antworten werden hier aber (oft zusätzlich) auch abstrakte Überlegungen angestellt. Insgesamt zeigen 17 Schüler (28,3 %) diesen Hang zur Harmonisierung, bei dem Komplexität nicht ausgehalten, sondern nach einer eindeutigen Lösung gesucht wird.

Eine Mehrheit von 61,7 % (37 Schüler) geht davon aus, dass Naturwissenschaften in der heutigen Zeit allgemeine, universelle, eindeutige Antworten auf naturwissenschaftliche Fragen geben bzw. geben sollten. Vier Schüler räumen zwar ein, dass früher religiöse Einflüsse zu verzeichnen waren; „in einem aufgeklärten, säkularisierten Staat“ (SJR2206<sup>A\_Pre</sup>) seien Naturwissenschaften jedoch universell. Das eindeutig dominante Argumentationsmuster ist dabei das der Erweisbarkeit: Wären Naturwissenschaften nicht universell, gäbe es „kein richtiges Ergebnis“ (DF2005<sup>A\_Pre</sup>); schließlich befassen sich die Naturwissenschaften „mit Tatsachen und nicht mit Wunschvorstellungen“ (SJR2206<sup>A\_Pre</sup>). Ein Schüler bringt es ganz pragmatisch auf den Punkt:

Ich denke, dass ein Sack Reis in China genauso schnell umfällt wie in Deutschland. Beides sind unterschiedliche Kulturen und trotzdem fällt der Sack ja gleich schnell. Also ist Naturwissenschaft universell. (DaDo<sup>B\_Pre</sup>)

Nur ein Viertel der Probanden (15 Schüler) vertreten die als elaboriert zu kennzeichnende Ansicht, dass naturwissenschaftliche Forschung auch subjektiven sowie kulturellen (paradigmatischen) Einflüssen unterliegt. Gründe bzw. Beispiele für diesen Standpunkt führen allerdings nur neun der 15 Schüler an: Vier Schüler machen psychologische Gründe geltend, wonach sich „niemand von der äußerlichen Beeinflussung 100%ig trennen kann“ (FS1811<sup>B\_Pre</sup>). Fünf Schüler nennen inhaltliche Beispiele: zweimal wird das ‘Klonen von Stammzellen’ angegeben, zweimal ‘die Politik der Grünen’ und einmal ‘die Kirche’.

Übereinstimmend mit anderen Studien (vgl. z. B. Abd-El-Khalick & Lederman 2000a, S. 1078) lassen sich auch bei dieser Studie insgesamt keine genderspezifischen Unterschiede beim Konzept *nature of science* ausmachen.

### 6.5.3 Pre-Post-Vergleich: Veränderungen von Schüleransichten zu NOS

Welche Wirkung(en) zeigen die in Kapitel 5 vorgestellten Interventionsmaßnahmen bezüglich eines Erwerbs von Wissen über *nature of science*?

Um eine anschauliche, direkte Vergleichbarkeit der Codierentscheidungen des Pre- und des Post-Tests zu gewährleisten, werde ich zunächst mit Tabelle 29 und Abbildung 18 einen Überblick über die Gesamtergebnisse geben. Der Zielbereich ‘anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften’ bleibt in Abbildung 18 unberücksichtigt, weil hier – wie bereits im vorigen Kapitel dargelegt – legitime, substantielle Aussagen aufgrund der Kürzung des Original-Fragebogens VNOS-C nicht sinnvoll zu treffen sind. Während Abbildung 18 eine Zusammenschau *aller* Codierentscheidungen ermöglicht, gestattet Tabelle 29 einen Vergleich auch mit anderen Studien (siehe auch Tabelle 28 in Kapitel 6.5.1), weil hier die Codierentscheidungen pro Schüler nur einfach gerechnet wurden.

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	60 = 100 %	60 = 100 %	39 = 65 %	45 = 75 %
– Denkmodelle	30 = 50 %	22 = 37 %	12 = 20 %	22 = 37 %
– Status eines nw-Experiments	59 = 98 %	60 = 100 %	33 = 55 %	38 = 63 %
<b>Empirische Basis</b>	56 = 93 %	56 = 93 %	2 = 3 %	6 = 10 %
<b>Kreativität</b>	46 = 77 %	38 = 63 %	12 = 20 %	22 = 37 %
<b>Mythos ‘NW-Methode’</b>	5 = 8 %	6 = 10 %	0	3 = 5 %
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	49 = 82 %	44 = 73 %	34 = 57 %	44 = 73 %
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	53 = 88 %	53 = 88 %	5 = 8 %	11 = 18 %
<b>Vorläufigkeit</b>	54 = 90 %	45 = 75 %	7 = 12 %	18 = 30 %

Tabelle 29: Anzahl *schülerbezogener* Codierentscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 60)<sup>26</sup>

Aus dem Vergleich der Anzahl getroffener Codierentscheidungen (siehe Abbildung 18) sowie den Prozentwerten aus Tabelle 29 lässt sich eine grobe Tendenz ableiten: Im Großen und Ganzen erfolgt bei fast allen NOS-Zielbereichen im Pre-Post-Vergleich ein leichter Rückgang an naiven Vorstellungen und ein leichter Zugewinn an elaborierten Sichtweisen. Wichtiger als diese Tendaussage, mit der letztlich wenig gewonnen ist, sind meines Erachtens jedoch zwei Befunde, die sich ebenfalls anhand dieser Gesamtschau herleiten lassen: Einerseits erzeugen die Interventionsmaßnahmen offenbar Veränderungen und haben damit eine Wirkung, und zwar trotz ihrer vergleichsweise kurzen zeitlichen Dauer. Andererseits weist auch der Post-Test recht deutlich auf eine nach wie vor dominante naive Sichtweise über NOS bei den untersuchten Probanden hin und dokumentiert damit den Handlungsbedarf auf diesem Forschungsgebiet.

<sup>26</sup> Die nach Interventionsgruppen (Kurse A, B und C) aufgeschlüsselten Codierentscheidungen im Pre-Post-Vergleich inklusive Prozentwerte finden sich in Anhang C-5.

	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	0	0
Eher elaboriert	0	0
Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)	12	22
Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung	0	1
Exp. als Mittel der Erkenntnis	32	33
Exp. können nichts verifizieren	0	2
Exp. können Theorien nur stützen und/oder widerlegen	0	11
Exp. nicht zwingend für Theoriebildung	2	2
Eher naiv	1	0
Atome als Fakten (z.B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)	30	22
Exp. (unbedingt) erforderlich	58	59
Exp. beweist (und widerlegt) etwas	44	47
Exp. veranschaulicht etwas	13	12
Objektiv Daten sammeln	7	2
Keine Antwort / Nicht codierbar	18	13
<b>Empirische Basis</b>	0	0
Eher elaboriert	0	0
Interpretation systematischer Beobachtungen	0	1
Phänomene erklären	2	5
Eher naiv	0	0
Aus Beobachtungen Theorien aufstellen	2	3
Eindeutig richtige und falsche Antworten	18	14
Entdecken von Naturgesetzen / Wahrheiten	12	11
Fakten der Natur	41	37
NW sind praktisch orientiert / Technik	7	6
Keine Antwort / Nicht codierbar	4	4
<b>Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"</b>	0	0
Eher elaboriert	0	0
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen	0	3
Es gibt nicht die Methode	0	0
Eher naiv	0	0
Genaue Methode	3	3
Genaue Schrittfolge bei Experiment	3	4
Keine Antwort / Nicht codierbar	114	110
<b>Subjektivität / Theoriegebundenheit</b>	0	0
Eher elaboriert	0	0
Dinos: Interpretation der Forscher	26	34
Forschung kulturell beeinflusst	15	24
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung	1	2
Eher naiv	0	0
Dinos: inhaltliche Antwort	19	19
Dinos: widersprüchliche/uneindeutige Daten	16	7
Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen	7	10
Forschung durch Geld beeinflusst	1	2
Universell (z.B. weil Fakten überall gleich)	37	28
Keine Antwort / Nicht codierbar	15	13
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	0	0
Eher elaboriert	0	0
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage	4	5
keine Hierarchie Theorie/Gesetz	0	1
Theorie = etabliertes Denkmodell	0	5
Theorie gibt Forschungsrahmen vor	1	0
Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig	1	4
Eher naiv	0	0
Gesetze = bewiesen / gültig / fest	48	49
Theorie = Hypothese/unbewiesene Idee	42	39
Theorie = Vorstufe zu Gesetz	6	10
Keine Antwort / Nicht codierbar	7	5
<b>Vorläufigkeit</b>	0	0
Eher elaboriert	0	0
Theorienwandel bei neuen Belegen	7	15
Theorienwandel bei Neuinterpretation	0	4
Eher naiv	0	0
Kein Theorienwandel	8	0
Theorienwandel durch technische Innovationen	21	14
Theorienwandel wenn Theorie falsch	15	15
Theorienwandel: ja (ohne Begründung)	13	16
Keine Antwort / Nicht codierbar	2	1

Abbildung 18: Anzahl getroffener Codierentscheidungen im Pre-Post-Vergleich. (Screenshots aus MAXQDA 2)

	<b>Kurs A</b>			<b>Kurs B</b>			<b>Kurs C</b>		
	Pre Gruppen- puzzle (n = 18)	Post Gruppen- puzzle (n = 18)	$\Delta$	Pre Inquiry (n = 16)	Post Inquiry (n = 16)	$\Delta$	Pre GP & Inquiry (n = 26)	Post GP & Inquiry (n = 26)	$\Delta$
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>									
Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)	4	10	+6	3	4	+1	5	8	+3
Beobachtung gebunden an Wahrnehmung	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$	0	1	+1
Exp. als Mittel der Erkenntnis	9	10	+1	6	8	+2	17	15	-2
Exp. können nichts verifizieren	0	0	$\pm 0$	0	1	+1	0	1	+1
Exp. können Theorien nur stützen u./o. widerlegen	0	3	+3	0	0	$\pm 0$	0	8	+8
Exp. nicht zwingend für Theoriebildung	0	0	$\pm 0$	1	2	+1	1	0	-1
<b>Gesamt</b>	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>+10</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>+5</b>	<b>23</b>	<b>33</b>	<b>+10</b>
<b>Empirische Basis</b>									
Interpretation systemat. Beobachtungen	0	1	+1	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$
Phänomene erklären	1	0	-1	0	1	+1	1	4	+3
<b>Gesamt</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>+1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>+3</b>
<b>Kreativität</b>									
Atom: (kreatives) Konstrukt/Fiktion	4	10	+6	3	4	+1	5	8	+3
<b>Gesamt</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>+6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>+1</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>+3</b>
<b>Mythos NW-Methode</b>									
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen	0	0	$\pm 0$	0	+1	+1	0	2	+2
Es gibt nicht die Methode	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b><math>\pm 0</math></b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>+2</b>
<b>Subjektivität/ Theoriegebundenheit</b>									
Dinos: Interpretation der Forscher	8	13	+5	7	7	$\pm 0$	11	14	+3
Forschung kulturell beeinflusst	3	6	+3	3	6	+3	9	12	+3
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$	1	2	+1
<b>Gesamt</b>	<b>11</b>	<b>19</b>	<b>+8</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>+3</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>+7</b>
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>									
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage	1	2	+1	1	2	+1	2	1	-1
keine Hierarchie Theorie/Gesetz	0	1	+1	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$
Theorie = etabliertes Denkmodell	0	4	+4	0	0	$\pm 0$	0	1	+1
Theorie gibt Forschungsrahmen vor	0	0	$\pm 0$	1	0	-1	0	0	$\pm 0$
Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$	1	4	+3
<b>Gesamt</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>+6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b><math>\pm 0</math></b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>+3</b>
<b>Vorläufigkeit</b>									
Theorienwandel bei neuen Belegen	2	4	+2	3	5	+2	2	6	+4
Theorienwandel bei Neuinterpretation	0	4	+4	0	0	$\pm 0$	0	0	$\pm 0$
<b>Gesamt</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>+6</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>+2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>+4</b>
<b><math>\Sigma = 32</math></b>	<b><math>\Sigma = 68</math></b>	<b><math>\Delta = +36</math></b>	<b><math>\Sigma = 28</math></b>	<b><math>\Sigma = 41</math></b>	<b><math>\Delta = +13</math></b>	<b><math>\Sigma = 55</math></b>	<b><math>\Sigma = 87</math></b>	<b><math>\Delta = +32</math></b>	
$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	$\emptyset$ pro	
SuS: 1,8	SuS: 3,8	SuS: +2,0	SuS: 1,8	SuS: 2,6	SuS: +0,8	SuS: 2,1	SuS: 3,3	SuS: +1,2	

**Tabelle 30:** Anzahl getroffener Codierentscheidungen nach 'elaboriert' im Pre-Post-Vergleich, aufgeschlüsselt nach Interventionsgruppen und Codiermöglichkeiten

Um das Potenzial der beiden Interventionsmaßnahmen abschätzen zu können, muss der Blick von der gesamten Stichprobe ( $n = 60$ ) auf die jeweiligen nach Interventionsmaßnahmen geschiedenen Teilstichproben gerichtet werden. Dabei ist es sinnvoll, sich primär auf die *Veränderungen* bei den Schüleransichten zum Bereich einer Natur der Naturwissenschaften zu beschränken, um dem Problem zu entgehen, einen willkürlichen, kaum begründbaren 'Normwert' ziehen zu müssen. Einen solchen nach Interventionsmaßnahmen geschiedenen Überblick über Veränderungen im elaborierten Bereich gibt Tabelle 30. Hier wird summarisch recht deutlich erkennbar: Während die alleinige Durchführung eines geöffneten experimentellen Untersuchungsauftrages hinsichtlich der Änderung von Schüleransichten zu *nature of science* nur geringe Effekte zeigt (siehe Kurs B, Tabelle 30), bietet das mit Blick auf die Geartetheit der Naturwissenschaften implizit-vorstrukturierte Gruppenpuzzle (vgl. Kapitel 5.2) diesbezüglich offenbar ein beachtenswertes Potenzial: Die Anzahl an elaborierten Codierungen pro Schüler hat sich im Pre-Post-Vergleich in Kurs A, in dem nur das Gruppenpuzzle durchgeführt wurde, mehr als verdoppelt (vgl. Tabelle 30). Die Zuwächse an elaborierten Codierentscheidungen in Kurs C, bei dem Gruppenpuzzle und Untersuchungsauftrag konsekutiv durchgeführt wurden, bewegen sich innerhalb des Spielraums der Kurse A und B.

Welche Veränderungen zeigen sich innerhalb der NOS-Zielbereiche bei welchen Kursen im Pre-Post-Vergleich?

Wie bereits im Pre-Test bleiben auch im Post-Test die Vorstellungen zum Status eines naturwissenschaftlichen Experiments innerhalb des Zielbereichs 'Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle' recht inkonsistent: Auf der einen Seite treffen alle 60 Schüler (siehe Tabelle 30) mindestens eine Aussage, die nach 'naiv' codiert wurde; andererseits weisen 38 Schüler (63,3 %) aber auch elaborierte Ansichten auf. Während die beiden typischen Argumentationsmuster des Pre-Tests – 'Experimente sind ein Mittel der Erkenntnis' sowie 'Experimente sind unbedingt erforderlich, da sie als Prüfsteine dienen' – auch im Post-Test bei 55 % bzw. 73,3 % der Schüler anzutreffen sind, taucht die Vorstellung, dass Experimente Theorien oder Hypothesen nur stützen können, ausschließlich im Post-Test auf – interessanterweise nur bei Schülern der Kurse A und C. Insgesamt 11 Schüler (18,3 %) – drei aus Kurs A und acht aus Kurs C (siehe Tabelle 30) – verwenden erstmals im Post-Test Verben wie 'unterstützen' oder 'untermauern' statt Verben aus dem Wortfeld 'beweisen'.

Auffällig ist bei diesen Schülern eine häufig nun durchgängig *vorsichtigerer Wortwahl*: Ein Schüler formuliert beispielsweise im Pre-Test: „Ein Experiment ist ein Versuch, mit dem eine These bewiesen oder widerlegt werden soll“ (BaTi<sup>C-Pre</sup>). Im Post-Test verwendet er zwar einen identischen Satzbau, jedoch ein semantisch viel schwächeres Verb: „Ein Experiment ist ein Versuch, mit dem eine These gestützt werden soll“ (BaTi<sup>C-Post</sup>). Ähnliches zeigt sich auch bei PrTa<sup>A</sup>, KöAn<sup>C</sup>, MA2604<sup>C</sup>, ReSt<sup>C</sup>; RoDa<sup>C</sup>, ScLi<sup>C</sup>. Die übrigen vier der

insgesamt 11 Schüler verwenden im Fragebogen – je nach Frage – beide Wortfelder (‘unterstützen’ sowie ‘beweisen’).

Dass dies vermutlich kein Zufall ist und teilweise mit substanziellen Vorstellungsänderungen einhergeht, untermauern die Antworten einer Schülerin des Kurses A auf die Frage, was Naturwissenschaften sind (Frage 1 des adaptierten Fragebogens VNOS-C). Im Pre-Test schreibt sie:

Naturwissenschaften beschäftigen sich mit Gegebenheiten der Natur. Natürliche Dinge werden erforscht und bewiesen. [...] Bei anderen Forschungsrichtungen wie z.B. Theologie oder Philosophie erforscht man eher Denkweisen und Meinungen, die so aber nicht Fakt sein müssen. (PrTa<sup>A-Pre</sup>)

Diese für den Pre-Test nahezu prototypische Antwort – in den Naturwissenschaften werden Fakten der Natur erforscht und bewiesen – steht im Post-Test eine fast schon als kulturalistisch zu bezeichnende Sichtweise gegenüber, bei der nun nicht mehr Fakten bewiesen, sondern Theorien gestützt werden:

Naturwissenschaften haben einen größeren praktischen Arbeitsteil. Man muss sich allerdings mit der Problematik, die man hat, vorher gedanklich auseinandersetzen. Daher ist der Ablauf zwischen z. B. Theologie und Philosophie und Naturwissenschaft ähnlich. Bei Naturwissenschaften kann es allerdings nicht bei diesem „gedanklichen“ Teil bleiben. Es folgen z. B. Experimente usw., um das Theoretische zu unterstützen. (PrTa<sup>A-Post</sup>)

Das Gros der Schüler (vgl. Tabelle 29 sowie Abbildung 18) bleibt jedoch – unabhängig von den jeweiligen Interventionsmaßnahmen – der naiv-empiristischen Sichtweise verhaftet und bestätigt die Tendenz des Pre-Tests, bei der Unterscheidung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften zwei disparate Kulturen voneinander abzugrenzen.

Damit konform gehen die zwar feststellbaren, aber nur geringfügigen Verschiebungen hin zu elaborierten Ansichten innerhalb des Zielbereichs ‘empirische Basis’ (vgl. Abbildung 18). Auch wenn die Schüler des Kurses C hier im direkten Kursvergleich unwesentlich stärkere Zuwächse bei der elaborierten Position zeigen als die Teilnehmer der beiden anderen Kurse (vgl. Tabelle 30), kann dies bei Beachtung der größeren Probandenzahl in Kurs C nicht als interventionsabhängiger Effekt betrachtet werden.

Augenfällige Verschiebungen zeigen sich allerdings im Pre-Post-Vergleich innerhalb des Zielbereichs ‘Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle’ beim Teilbereich der ‘Denkmodelle’, der mittels Frage Nummer sechs des VNOS-Fragebogens erfasst wird. Erfragt wird dort der epistemologische Status eines Atommodells. Betrachteten im Pre-Test noch 30 Schüler (50 %) Atome eindeutig als Fakten, so sind es im Post-Test nur noch 22 Schüler (36,7 %) (vgl. Tabelle 29); die Argumentationsmuster bleiben indes gleich. Etwas deutlicher als die Abnahme naiver Vorstellungen bezüglich einer Realentsprechung von Atomen ist die Zunahme an elaborierten Positionen: Im Post-Test äußern statt 12 (20 %) nun 22 Schüler (36,7 %), dass „niemand jemals ein Atom gesehen hat“ (DF2005<sup>A-Post</sup>), dass eine bildhafte Darstellung „nur eine Veranschaulichung eines Atoms“ (TrBa<sup>B-Post</sup>) ist, denn „bei dieser Darstellung handelt es sich ausschließlich um ein Modell“ (WoJe<sup>A-Post</sup>). Wie be-

reits beim Status eines naturwissenschaftlichen Experiments zeigen sich auch im Teilbereich der Denkmodelle deutlichere Verschiebungen hin zu elaborierten Positionen nur in den beiden Kursen A und C, in denen das Gruppenpuzzle durchgeführt wurde. Diese positive Entwicklung wird bei Kurs C jedoch dadurch ein wenig getrübt, dass von den fünf Schülern, die im Pre-Test eine elaborierte Ansicht äußerten (vgl. Tabelle 30), nur zwei dies ebenfalls im Post-Test tun. Auffällig ist, dass die vier Probanden aus Kurs A, die bereits im Pre-Test einen elaborierten Standpunkt vertreten, davon nicht betroffen sind.

Im Zielbereich ‘Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode’ sind so gut wie keine Änderungen im direkten Pre-Post-Vergleich feststellbar. Erneut zeigt sich: 91,7% der Schüler machen *von sich aus* keine Angaben, die sich auf methodisches Vorgehen in den Naturwissenschaften beziehen. Eine bereits im Pre-Test vorgestellte Ausnahme (FS1811<sup>B</sup>), bei der dem Schüler eine neopositivistische Auffassung zugeschrieben wurde, stellt auch im Post-Test einen Sonderfall dar, denn erneut zählt er zu jenen fünf Schülern (8,3%), die eine einheitliche naturwissenschaftliche Methode ausdrücklich ansprechen:

Unter Naturwissenschaft verstehe ich die Wissenschaft, die sich mit Daten und Fakten aus der beobachtbaren Natur beschäftigt und diese in Modelle einzuordnen versucht. Als nächster Schritt versuchen die empirischen Wissenschaften Gesetzmäßigkeiten zu finden und entsprechende Gesetze zu formulieren. (FS1811<sup>B-Post</sup>)

Offensichtlich hat der Schüler die positivistische Vorstellung einer nomothetischen Naturwissenschaft internalisiert. Allerdings gehört er auch zu den drei Schülern (5%), die im Post-Test erstmals die elaborierte Ansicht vertreten, dass naturwissenschaftliche Experimente nur unter bestimmten „Bedingungen“ (FS1811<sup>B-Post</sup>; ScLi<sup>C-Post</sup>) bzw. unter Beachtung bestimmter „Variablen“ (ScLe<sup>C-Post</sup>) zu Ergebnissen führen. Erneut wird damit sichtbar, dass Schülvorstellungen zum Status naturwissenschaftlicher Experimente kein homogenes Bild abgeben.

Vorstellungen zu metasprachlichen Fachtermini wie ‘Theorie’ bzw. ‘Gesetz’ bleiben bei 53 Schülern (88,3%) und damit bei der Mehrzahl ganz überwiegend naiv besetzt. Dies wird offenkundig anhand der Anzahl an Schülern, die eine als naiv klassifizierte Aussage im Zielbereich ‘Status von Theorien und Gesetzen’ treffen: Sie ändert sich im Pre-Post-Vergleich nicht (vgl. Tabelle 29). Wie wenig konsistent die Schüleransichten speziell in diesem Zielbereich sind, zeigt sich daran, dass sich die insgesamt 15 Antworten, die im Post-Test nach elaboriert codiert wurden (vgl. Abbildung 18), auf 11 Schüler verteilen (vgl. Tabelle 29); nur drei dieser 11 Schüler treffen mehrere elaborierte Aussagen. Die übrigen acht Schüler haben bezeichnenderweise auch durchweg mindestens eine als naiv klassifizierte Aussage getroffen. Die alltagssprachliche Ausdrucksbedeutung der Wörter ‘Theorie’ und ‘Gesetz’ bleibt ganz offensichtlich bestehen, obgleich sowohl in Kurs A als auch in Kurs C unmittelbar im Anschluss an das Gruppenpuzzle zumindest der Terminus ‘Theorie’ kurz zum Gegenstand von Unterricht gemacht wurde. Immerhin lassen sich bei neun Schülern dieser beiden Kurse Veränderungen hin zu elaborierten Aussagen ausmachen.

Dass diese geringen Veränderungen vermutlich in der Tat auf die Interventionsmaßnahme des Gruppenpuzzles zurückführbar sind, zeigt sich meines Erachtens daran, dass 13 Schüler, die ausnahmslos aus den Kursen A und C stammen, bei der Beantwortung der Fragen vier bzw. fünf des adaptierten VNOS-C, bei denen nach Theorien bzw. Gesetzen gefragt wird, bei ihren Antworten auf Säure-Base-Konzepte Bezug nehmen. Ein Beispiel mag dies verdeutlichen:

Eine naturwissenschaftliche Theorie ist ein Denkmodell, wie die Säure-Base-Theorie, das noch weiterentwickelt werden kann. Es ist „ausbaufähig“ und kann auch noch widerlegt werden.  
(ScLi<sup>C-Post</sup>)

Interessant ist außerdem zu beobachten, dass die vier Schüler, die im Post-Test neben der Schülerin ScLi<sup>C</sup> Theorien ebenfalls für etablierte Denkmodelle halten, einerseits ausnahmslos aus Kurs A stammen und ferner – wie auch ScLi<sup>C</sup> – gleichermaßen eine elaborierte Position im Zielbereich ‘Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens’ vertreten.

Auch wenn offenbar einige Schüler relativ deutlich von der Interventionsmaßnahme der implizit-vorstrukturierten Lernumgebung in Form eines Gruppenpuzzles profitiert haben, muss letztlich jedoch festgestellt werden: Polysemantische Termini, die fachsprachlich und alltagssprachlich verschiedene Bedeutungen aufweisen, können offenbar mittels kurzfristiger Interventionsmaßnahmen bei der Mehrzahl der Schülern kaum begrifflich ausdifferenziert werden.

Im bereits kurz angesprochenen Zielbereich ‘Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens’ zeigen sich im Post-Test bei 30 % der Schüler elaborierte Ansichten – dies sind deutlich mehr als beim Pre-Test (12 %) (vgl. Tabelle 29). Speziell das Argument, dass „neue Erkenntnisse eine neue Sichtweise“ (TeLi<sup>A-Post</sup>) gestatten und dadurch ein Theorienwandel möglich ist, wird im Post-Test doppelt so häufig vertreten wie im Pre-Test. Tendenziell sind die Zuwächse bei Schülern des Kurses A stärker als in den anderen beiden Kursen.

Während beim Pre-Test innerhalb des Zielbereichs ‘sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen/Theoriegebundenheit’ 26 Schüler (43,3 %) die Ansicht vertreten, dass die widersprüchlichen Gründe, die für das Aussterben der Dinosaurier angeführt werden, auf unterschiedlichen Interpretationen der Forscher beruhen (Frage sieben des adaptierten Fragebogens VNOS-C), sind es beim Post-Test 34 Schüler (56,7 %). Dieser offenkundige Zuwachs an elaborierten Sichtweisen muss jedoch differenzierter betrachtet werden angesichts der Tatsache, dass hier bereits bei der Auswertung des Pre-Tests Einschränkungen vorgenommen werden mussten: Im Pre-Test wiesen letztlich nur acht dieser 26 Schüler (30,8 % der Teilpopulation) eine *in sich stimmige* sozialkonstruktivistische Position auf, während die übrigen 18 Schüler (69,2 % der Teilpopulation) relativistische und/oder widersprüchliche Standpunkte erkennen ließen. Eine ähnliche Tendenz ist auch im Post-Test erkennbar: 14 der 34 Schüler (41,2 % der Teilpopulation) weisen nun im Quervergleich der Antworten auf die Fragen sieben und acht des adaptierten Fragebo-

gens VNOS-C in sich konsistente Ansichten auf: sechs Schüler aus Kurs A, drei Schüler aus Kurs B und fünf Schüler aus Kurs C. Insgesamt gesehen ist daher tatsächlich ein leichter Zuwachs an elaborierten Standpunkten feststellbar. Interessanterweise sind es abermals die Probanden des Kurses A, die die relativ größten Zuwächse an elaborierten Codierentscheidungen aufweisen. Betrachtet man statt der ganzen Kurse die Entwicklungen einzelner Schüler, so kommen im Pre-Post-Vergleich acht Schüler 'neu' hinzu, denn sechs der acht Schüler, die bereits im Pre-Test eine als sozialkonstruktivistisch zu bezeichnende Position vertreten, weisen diese auch im Post-Test auf. Dies bedeutet aber auch: Ein 'Verlust' elaborierter Ansichten ist hier eher selten.

Der im Pre-Test festgestellte Hang zur Harmonisierung der beiden Thesen zum Aussterben der Dinosaurier ist auch im Post-Test zu verzeichnen: Er ist bei insgesamt 40 % (vier Schüler der Gruppe A, je 10 Schüler der Gruppen B und C) feststellbar. Eine Fiktionalisierung bietet jedoch nur noch eine Schülerin an:

Hierbei handelt es sich lediglich um eine Theorie. Gleiche Informationen erfordern dann auch die nötige Interpretation. Demnach können verschiedene Auslegungen stattfinden und zu verschiedenen Ergebnissen führen, siehe z. B. ein Roman von Patrick Süßkind. Der Text kann auf verschiedene Weisen interpretiert werden, genauso die oben genannten Informationen. (JoSt<sup>B-Post</sup>)

Unabhängig von der Art der Interventionsmaßnahme gewinnt im Pre-Post-Vergleich jeder Kurs innerhalb des NOS-Zielbereichs 'sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen' drei elaborierte Codierungen hinzu, während die diesbezüglichen Codierentscheidungen im naiven Bereich entsprechend abnehmen. Betrachtet man *schülerweise* die Codierentscheidungen, die bei Frage acht des adaptierten Fragebogens VNOS-C vorgenommen wurden, im direkten Pre-Post-Vergleich, so zeigt sich, dass auch hier der 'Verlust' elaborierter Ansichten – ein solcher ist bei zwei Schülern feststellbar – gering ist. Vorsichtig formuliert scheinen die Interventionsmaßnahmen – insbesondere das Gruppenpuzzle – daher eine konsistentere Sichtweise bezüglich der Theoriegebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens zu begünstigen.

Auch bei einem detaillierteren Blick bestätigt sich damit die Tendenz, dass die Zuwächse an elaborierten Ansichten zum Wissensgebiet einer *nature of science* bei Schülern des Kurses A stärker sind als in den anderen beiden Kursen.

## 6.6 Produktive Abweichungen vom Durchschnitt: Fallanalyse der ‘Gewinnerkandidaten’

Um das offenkundige Potenzial der mit Blick auf den Bereich einer *nature of science* implizit-vorstrukturierten Lernumgebung – das Gruppenpuzzle (vgl. Kapitel 5.2) – etwas schärfer konturieren zu können, ist es sinnvoll, diejenigen Schüler der Kurse A und C genauer zu beleuchten, die von der Interventionsmaßnahme besonders profitiert haben.

Anzahl an elaborierten Codierungen im Post-Test

auf von	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	2				1						
1	1	3			1			1			
2			1								
3				2		1	1	2			1
4						1					
5											
6											
7											

SK1006<sup>A</sup>

DF2005<sup>A</sup>

Tabelle 31: ‘Wanderungsbewegung’ einzelner Schüler des Kurses A (n = 18)

Anzahl an elaborierten Codierungen im Post-Test

auf von	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0				1							
1		4	2	2	2	1					
2			2			1				1	
3			1	2	2						
4			1		1	1			1		
5				1							
6											
7											

ScLi<sup>C</sup>

Tabelle 32: ‘Wanderungsbewegung’ einzelner Schüler des Kurses C (n = 26)

Die Tabellen 31 und 32 geben für die Kurse A und C die jeweiligen Veränderungen hinsichtlich der Anzahl an elaborierten Sichtweisen pro Schüler an.<sup>27</sup> Damit lassen sich folgende, teilweise bereits angesprochene Befunde veranschaulichen:

- In beiden Kursen ist etwa bei der Hälfte der Probanden (50 % bei Kurs A, 46,2 % bei Kurs C) eine Zunahme an elaborierten Ansichten im Pre-Post-Vergleich feststellbar.
- Vier Schüler treffen im Post-Test zahlenmäßig weniger elaborierte Aussagen als im Pre-Test. Dabei handelt es sich um eine Schülerin aus Kurs A (AbMa<sup>A</sup>) sowie drei Schüler aus Kurs C (MA2604<sup>C</sup> von 3 auf 2; HD1608<sup>C</sup> von 4 auf 2; RiCh<sup>C</sup> von 5 auf 3).
- Bei den Schülern des Kurses A ist im Gegensatz zu denen des Kurses B eine leicht größere Streuung nach oben feststellbar.
- In Kurs A haben offenbar zwei Schüler (DF2005<sup>A</sup> sowie SK1006<sup>A</sup>) besonders von der Interventionsmaßnahme profitiert, in Kurs C eine Schülerin (SeLi<sup>C</sup>).

Die letztgenannten drei Schüler wurden etwa einen Monat nach dem Post-Test – und damit circa zwei Monate nach der Interventionsmaßnahme – interviewt. Die Interviews erfüllen dabei zwei Funktionen: Einerseits ist im Sinne einer Kontextanalyse (vgl. Flick 1995, S. 166) bzw. Explikation (vgl. Mayring 2003, S. 77ff.) zu fragen, was diese Schüler zu Profiteuren der Interventionsmaßnahmen macht. Andererseits kann anhand der Interviews auch abgeschätzt werden, welche Langzeitwirkung eine für Schüler sicherlich zwar besondere, jedoch zeitlich sehr begrenzte Maßnahme haben kann. Die vollständig nach dem Notationssystem (siehe Anhang D-1) von KALLMEYER & SCHÜTZE (1977, S. 268) in der Überarbeitung von KUCKARTZ (2005, S. 48) transkribierten Interviews finden sich in Anhang D-2.

### 6.6.1 Der Schüler DF2005<sup>A</sup> – vom Naturalisten zum moderaten Kulturalisten

Ein Vergleich der Antworten des Pre-Test mit denen des Post-Tests ergeben bei dem Schüler DF2005<sup>A</sup> einen Zugewinn an sieben elaborierten Codierentscheidungen (vgl. Tabelle 31). Interessant ist hier ein direkter, synoptischer Pre-Post-Vergleich seiner Fragebogenantworten (siehe Anhang D-3), weil sich dabei neben einer beachtlichen *Kontinuität* auch augenfällige *Modifikationen* bei bestimmten Ansichten zeigen.

Erstaunlich ist bei dem synoptischen Pre-Post-Vergleich zunächst die große inhaltliche Konstanz bei der Beantwortung der Fragen 1, 2, 3 und 6, die auf *naturalistische Vorstellungen* hinweisen: Die Naturwissenschaften befassten sich mit *Fakten der Natur*, denn Kennzeichen seien „das Sammeln von Erkenntnissen über die Natur“ (DF2005<sup>A-Pre</sup>) bzw. eine

---

<sup>27</sup> Die ‘Wanderungsbewegung’ einzelner Schüler des Kurses B (n = 16), bei dem nur der geöffnete Untersuchungsauftrag ‘Hightech in der Babywindel’ (vgl. Kapitel 5.3 sowie Anhang B-1) durchgeführt wurde, findet sich in Anhang C-6. Auffällig ist hier, dass im Pre-Post-Vergleich nur zwei Schüler (MST1202<sup>B</sup> und JoSt<sup>B</sup>) eher marginale Änderungen ( $\Delta = 3$ ) hin zu einer elaborierten Ansichten zeigen.

Beschäftigung mit „natürlichen Vorgängen in der Welt“ (DF2005<sup>A-Post</sup>), wie der Schüler im Pre- und im Post-Test schreibt. Das Erkenntnisinteresse der Naturwissenschaften könne dabei durch die Verwendung von Experimenten gestillt werden, weil diese dazu dienen, „Erkenntnisse über etwas [zu] sammeln“ (DF2005<sup>A-Pre</sup>), wie er erneut formuliert, bzw. „etwas herauszufinden“ (DF2005<sup>A-Post</sup>). Der Wirklichkeitsgehalt von Atomdarstellungen wird zwar sowohl im Pre- wie auch im Post-Test kritisch hinterfragt, jedoch zeigt sich die naturalistische Position zumindest im Pre-Test deutlich anhand der Antworten auf die Fragen 3, 4 und 8 (die im Post-Test interessanterweise anders beantwortet werden): Neben dem Erkenntnisinteresse würden Experimente auch zur Veranschaulichung eingesetzt um zu zeigen, „was *wirklich* passiert ist“. Des Weiteren ist die Rede von „*wahren* Gegebenheiten“; Ziel der Naturwissenschaften sollte es ferner sein, ein „*richtiges* Ergebnis“ zu finden (alle Zitate aus DF2005<sup>A-Pre</sup>; Hervorheb. V. H.). Betrachtet man vor diesem Hintergrund die an und für sich eher elaborierte, schlussfolgernde Position, die bei der Beantwortung von Frage sechs im Pre-Test zum Ausdruck kommt (siehe Anhang D-3), so könnte der Zweifel am Wirklichkeitsgehalt von Atomdarstellungen auch primär der „Vereinfachung“ (ebd.) geschuldet sein und muss nicht notwendig als eine prinzipielle ‘Andersweltlichkeit’ (vgl. Fladt & Buck 1996) des submikroskopischen Bereichs verstanden werden.

Die Antworten auf die Fragen 4, 5, 7 und 8 des Post-Tests weisen dagegen auf eine vergleichsweise ausdifferenzierte Position hin und damit auf Modifikationen innerhalb der Zielbereiche ‘Status von Theorien und Gesetzen’, ‘sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen/Theoriegebundenheit’ sowie ‘Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens’. Während beim Pre-Test ein Theorienwandel damit begründet wird, dass sich eine Theorie als „fehlerhaft“ erweisen könne und sie dann „nicht den wahren Gegebenheiten“ entspreche (ebd.), wird beim Post-Test nicht mehr die Theorie selbst als ‘falsch’ gekennzeichnet, sondern ein Theorienwandel damit legitimiert, dass „Gedankenfehler gefunden werden, welche zur Überarbeitung bzw. Änderung der Theorie führen können“ (DF2005<sup>A-Post</sup>). Kurz gesagt: Die Theorie sei nicht ‘falsch’, sondern die *Interpretation der Theorie* sei inadäquat.

Diese Argumentation einer *Revision und Neuinterpretation von Theorien* lässt deutlich die elaborierte Idee einer *Theoriendynamik* durchscheinen. Vor allem kommt hier aber auch eine *menschliche Komponente* ins Spiel, denn ‘Gedankenfehler’ sind Sinnzuschreibungen von Menschen. Dies wird auch durch die Definition des Terminus ‘Theorie’ bestätigt: „Theorien sind die *Gedankengänge* einzelner bzw. mehrerer *Menschen*, die sich mit einem Thema beschäftigt haben“ (ebd.; Hervorheb. V. H.). Auch bei der Frage zum Aussterben der Dinosaurier wird nun nicht mehr, wie noch im Pre-Test, auf eine Interpretationsfreiheit aufgrund widersprüchlicher Daten verwiesen (vgl. Anhang D-3), sondern auf den „Blickwinkel des Wissenschaftlers“, der auch von seiner „Außenwelt beeinflusst werden“ könne (ebd.).

Anders als im Pre-Test, bei dem der Schüler DF2005<sup>4</sup> eine deutlich naturalistische Position einnimmt, zeichnen sich damit beim Post-Test auch *kulturalistische Tendenzen* ab. Gleichwohl bleibt der Schüler Realist, wie nicht nur seine Definition von ‘Gesetzen’ – sie „basieren hauptsächlich auf Beobachtungen“ (ebd.) – zeigt, sondern insbesondere auch die Antwort auf Frage eins des Fragebogens (s. o.). Insgesamt zeigt der Schüler innerhalb der Zielbereiche ‘Status von Theorien und Gesetzen’, ‘sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen/Theoriegebundenheit’ sowie ‘Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens’ im Post-Test eine deutlich elaborierte Sicht, weil der ‘menschliche Faktor’ beim naturwissenschaftlichen Handeln nun explizit benannt wird.

Zu fragen ist allerdings, ob die reflektiertere Sicht tatsächlich ursächlich der Interventionsmaßnahme zugeschrieben werden kann, bei der mit den drei Forschern LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED der ‘menschliche Faktor’ zumindest eine deutliche Rolle gespielt hat (vgl. Kapitel 5.2.3). Ferner ist zu fragen, wie dauerhaft diese Anschauungen sind.

Im Interview (siehe Anhang D-2) gibt der Schüler DF2005<sup>4</sup> auf die gezielte Konfrontation mit der Tatsache, dass er von der Maßnahme profitiert habe, und der Nachfrage, ob er sich dies erklären könne, eine zurückhaltende und eher pauschale Antwort (Zeilen 8-10). Die beiden von ihm verwendeten semantischen Felder ‘behalten’ und ‘anwenden’ weisen dabei weniger auf eine individuelle Antwort hin als vielmehr auf eine Äußerung gemäß sozialer Erwünschtheit. Dies schließt eine hohe Behaltensleistung freilich dennoch nicht aus, zumal er offenbar sehr motiviert war, wie er jugendsprachlich deutlich zum Ausdruck bringt (vgl. Zeile 141). Die Nachfragen des Interviewers (Zeilen 11-16), ob im Anschluss an das Gruppenpuzzle zusätzliche externe Quellen (Lexika, Experten, sonstige Nachforschungen) verwendet wurden, werden verneint. Auch wenn auf die gezielte Frage, ob die Antworten des Post-Tests durch das Gruppenpuzzle beeinflusst seien, eine zögerliche Verstärkung erfolgt (Zeile 19), kann diese Zustimmung auch auf einer situationalen Erwünschtheit basieren. Andererseits werden dem Schüler jedoch durch die Nachfragen mehrere Optionen geboten, *seine* Sicht der Dinge darzulegen. Da er diese Option nicht nutzt, kann geschlussfolgert werden: dem Schüler DF2005<sup>4</sup> sind im Anschluss an das Gruppenpuzzle vermutlich keine Situationen begegnet, die er mit den Themen des Fragebogens in Verbindung gebracht hat. Die Tatsache, dass er etwa zwei Monate nach Durchführung des Gruppenpuzzles das anschließend in seiner Kleingruppe erstellte Schaubild (Abbildung 19) zwar *spontan* (Zeilen 22-26) erkennt, sich jedoch kaum noch an seine Gruppenmitglieder erinnert (Zeilen 30-35), weist im Verbund mit seiner positiven Einschätzung der gesamten Interventionsmaßnahme (Zeilen 141-142) darauf hin, dass ihm die inhaltlichen Gegenstände an sich offenbar sehr wohl noch gegenwärtig sind. Seine elaboriertere Position im Post-Test kann daher durchaus legitim auf die Interventionsmaßnahme zurückgeführt werden.

Die reflektierte Verwendung des Terminus ‘Theorie’ sowie das dezidierte Ausweisen eines ‘menschlichen Faktors’ beim naturwissenschaftlichen Handeln stellen bemerkens-

werte Veränderung im Post-Fragebogen dar. Auch im Interview wird das Wort ‘Theorie’ nicht alltagssprachlich, sondern weitgehend fachsprachlich verwendet, indem der Schüler DF2005<sup>4</sup> es einerseits klar von einer Hypothese abgrenzt (vgl. Zeilen 64-68) und andererseits die Position einer sich sozial ausdifferenzierenden und stabilisierenden Naturwissenschaft vertritt, bei der eine Theorie „ein Gedankengang“ (Zeile 47) auf einer „höhere[n] Ebene“ (Zeile 67) ist, der im Dialog mit anderen Wissenschaftlern Geltung erlangt (vgl. Zeilen 50-52, 83-84). Auffallend ist, dass diese soziale Komponente auch bereits in dem Schaubild (vgl. Abbildung 19, rechts) zum Ausdruck kommt, welches im Anschluss an das Gruppenpuzzle ‘Forschern auf die Finger geschaut’ (vgl. Anhang A-2) in der entsprechenden Kleingruppe erstellt wurde.



**Abbildung 19:** Schaubild der Kleingruppe mit Schüler DF2005<sup>4</sup>, entstanden im Anschluss an das Gruppenpuzzle

Die Konfrontation mit dem Schaubild löst bei dem Schüler DF2005<sup>4</sup> ein Lachen aus (Zeilen 24, 28). Weil die erstellten Plakate aus Schülersicht den Status eines benotbaren Arbeitsergebnisses haben, handelt es sich bei dem Lachen vermutlich um eine Verlegenheitsgeste. Dafür spricht, dass auf die positive Bewertung seitens des Interviewers (Zeile 37) eine eigentlich unangemessene Bestätigung des Schülers erfolgt (Zeile 38). Diese bezieht sich vermutlich auf die faktisch bereits beantwortete, redundante Frage des Interviewers (Zeile 37), kann aber auch, da die Äußerung leicht gedehnt gesprochen wird, als Selbstkundgabe des Schülers verstanden werden, bei der sich die kurze Anspannung der Benotungssituation löst. Ferner reagiert der Schüler DF2005<sup>4</sup> in einer anderen Situation, bei der

er seine Anspannung auch verbal zum Ausdruck bringt – „Wie soll ich das jetzt erklären?“ (Zeile 46) – paralinguistisch ebenfalls mit einem Lachen (Zeile 44-45).

Interessant ist meines Erachtens auch, wie genau sich der Schüler inhaltlich an das Schaubild erinnert. Obgleich er während des Interviews nur kurz Gelegenheit hatte, es sich erneut zu betrachten (vgl. Zeile 40) und es dem Schriftbild nach zu urteilen auch selbst nicht erstellt hat, kann er später Bezug auf den Inhalt nehmen (vgl. Zeile 82).

Deutlich erkennbar ist, dass die elaborierte Position im Post-Fragebogen beim Zielbereich ‘sozialer und kultureller Einfluss auf naturwissenschaftliches Wissen/Theoriegebundenheit’ auch noch im Interview vertreten wird (vgl. Zeilen 114-129). Innerhalb des Zielbereichs ‘Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens’ fällt der Schüler zwar auf die naive Ansicht zurück, man könne naturwissenschaftliche Hypothesen beweisen (vgl. Zeilen 99-107), gibt aber beim im Interview erfragten Zielbereich ‘Kreativität’ eine als durchaus elaboriert zu kennzeichnende Antwort (Zeilen 134-136).

Der Schüler DF2005<sup>4</sup> hat ganz offensichtlich deutlich von der Interventionsmaßnahme ‘Forschern auf die Finger geschaut’ (vgl. Kapitel 5.2.3) profitiert. Auch zwei Monate nach dem Gruppenpuzzle zeigt seine Argumentation eine bereits relativ elaborierte Position mit kulturalistischen Tendenzen.

### 6.6.2 Der Schüler SK1006<sup>4</sup> – Labilisierung naiver Positionen

Der Schüler SK1006<sup>4</sup> weist im Pre-Post-Vergleich einen Zugewinn an sechs elaborierten Codierentscheidungen (vgl. Tabelle 31) auf und hat im Pre-Test nur eine Antwort gegeben, die nach elaboriert codiert wurde (Experimente als Mittel der Erkenntnis). Auffällig bedient SK1006<sup>4</sup> im Pre-Test nahezu mustergültig *stereotype naive Ansichten*:

- Bei Naturwissenschaften geht es um den „objektiven Umgang mit Erscheinungen und Formen der Natur“.
- „Naturwissenschaften beweisen ihre Theorien“ im Gegensatz zu den Geisteswissenschaften und nutzen dazu Experimente als Prüfsteine.
- „Ein Gesetz ist nach dem beim Aufstellen vorhandenen Wissen nicht zu widerlegen und absolut richtig, eine Theorie geht mehr in die Richtung der nicht begründeten Mutmaßung, wo die Bestätigung noch in vollem Ausmaß fehlt.“
- Wissenschaftler sind sich zwar „nicht hundertprozentig“ sicher, aber ein Beweis für das vorgestellte Atommodell „könnte u. a. der Rutherford’sche Atomversuch mit  $\alpha$ -Strahlung, die auf eine dünne Goldfolie trifft, sein.“
- Unterschiedliche Schlussfolgerungen sind im Falle des Aussterbens der Dinosaurier möglich, „da die Quellen so uneinheitlich sind“. Eine der beiden Annahmen müsse jedoch falsch sein, „da sie sich gegenseitig ausschließen. Es kann für eine Erscheinung schließlich nicht zwei Erklärungen bzw. Gesetze geben.“

- Naturwissenschaften sollten universell sein, denn andernfalls sei „richtige und objektive naturwissenschaftliche Arbeit [...] nicht mehr möglich.“ (alle Zitate aus SK1006<sup>A-Pre</sup>)

Anders als bei DF2005<sup>A</sup> ist hier ein synoptischer Vergleich der Fragebogenantworten im direkten Pre-Post-Vergleich (vgl. Anhang D-3) wenig aufschlussreich, weil die Angaben des Schülers SK1006<sup>A</sup> nicht jene Auffälligkeit von einerseits Kontinuität und andererseits substanziellen Modifikationen bei bestimmten Ansichten zeigen. Die elaborierteren Sichtweisen des Post-Tests zeigen sich hier vielmehr anhand kleiner Details, die allerdings häufig mit naiven Standpunkten gekoppelt sind: Bei fünf der sieben Zielbereiche weist der Schüler SK1006<sup>A</sup> im Post-Test *gleichzeitig* naive und elaborierte Positionen auf. Zwei Beispiele mögen dies verdeutlichen. Auf die Frage fünf des adaptierten Fragebogens VNOS-C – erfragt wird hier der Unterschied zwischen einer Theorie und einem Gesetz – antwortet der Schüler im Post-Test:

Ein n.-Gesetz [naturwissenschaftliches Gesetz] ist ein kleiner Teil, der so ist und so beweisbar ist. Eine Theorie ist viel weiter und kann aus einem Gesetz hervorgehen. Theorien können widerlegt werden und beinhalten z. B. Annahmen und Vermutungen, die mal mehr mal weniger sicher sind. (SK1006<sup>A-Post</sup>)

Sichtbar vermischt sich hier die eher elaborierte Position, dass Theorien „viel weiter“ als Gesetze sind und eine Erklärung für diese darstellen, weil sie aus ihnen „hervorgehen“ können, d. h. den Status eines Denk- und Forschungsprogramms haben können, mit der eher naiven Sichtweise, welche Theorien mit dem semantischen Feld der „Annahmen und Vermutungen“ in Zusammenhang bringt.

Ähnliche Hybridvorstellungen, bei der erneut naive mit elaborierten Vorstellungen verknüpft werden, zeigen sich bei der Beantwortung von Frage sechs, die den Wirklichkeitsgehalt des dort vorgestellten Atommodells erfragt:

Naturwissenschaftler wissen, dass (fast) alles aus Protonen, Neutronen u. Elektronen besteht. Der Aufbau eines Atoms kann z. B. mit den erforderlichen Ionisierungsenergien belegt werden. Dabei kann das genaue Aussehen variieren, die Abbildungen sind nur Modelle, mit denen man Erscheinungen erklären will. Ein Problem dabei ist, dass Atome so klein sind, dass man sie nicht sehen kann und Versuche sehr schwierig sind.

Parallel zu der elaborierten Position, dass Atome nicht sichtbar seien und Atomdarstellungen daher nur den Status eines erklärenden Modells<sup>28</sup> hätten, führt der Schüler SK1006<sup>A</sup>

---

<sup>28</sup> Bereits im Pre-Test spricht der Schüler SK1006<sup>A</sup> von Modellen (siehe Anhang D-3). Allerdings zeigt sich hier eindeutig ein epistemologisches Missverständnis, bei dem Modell und Wirklichkeit verwechselt werden, denn der erwähnte rutherfordische Streuversuch wird als *Beweis für das Modell* angeführt – daher wurde die *gesamte* Aussage als naiv klassifiziert. Im Post-Test spricht SK1006<sup>A</sup> ebenfalls von Modellen: „[...] die Abbildungen sind nur Modelle, mit denen man Erscheinungen erklären will. Ein Problem dabei ist, dass Atome so klein sind, dass man sie nicht sehen kann und Versuche sehr schwierig sind“ (SK1006<sup>A-Post</sup>; siehe Anhang D-3). Diese Äußerung zeigt, dass der Schüler nun das Abbildungs- und Verkürzungsmerkmal von Modellen (vgl. Stachowiak 1973, S. 131f.) erfasst hat. Diese Teilaussage wurde daher als elaboriert klassifiziert.

Experimente zur Ermittlung von Ionisierungsenergien als faktische Belege für den dargestellten Atomaufbau an, was wiederum als naiv klassifiziert werden muss.

Bezogen auf das Konstrukt einer *nature of science* weist der Schüler daher im Post-Test eine ambivalente Haltung auf. Dies deutet meines Erachtens auf eine lerntheoretisch potenziell fruchtbare *Labilisierung etablierter Denkmuster* hin. Interessant ist es daher zu sehen, welche Überzeugungen SK1006<sup>A</sup> etwa zwei Monate nach der Interventionsmaßnahme im Interview vertritt.

Im Interview (siehe Anhang D-2) ist SK1006<sup>A</sup> zurückhaltend und mitunter nachdenklich. Die Nachfrage, ob er es sich erklären könne, warum er von der Interventionsmaßnahme profitiert habe, quittiert er zunächst mit Schweigen als Geste der Verneinung, was er nach einer Weile auch verbal unterstreicht, indem er gedehnt antwortet: „So direkt jetzt nicht“ (Zeile 7). Auffällig rasch stellt er jedoch einen Bezug zur Interventionsmaßnahme her, der allerdings chronologisch auf einem Missverständnis basiert: Nach dem ersten Fragebogen wurde zunächst das Gruppenpuzzle durchgeführt, im Anschluss wurden die Schaubilder erstellt, die sodann im Plenum zum Gegenstand von Unterricht gemacht wurden. Erst hier erfolgte eine Thematisierung von Wissen über NOS.

Dass sich SK1006<sup>A</sup> nicht mehr recht erinnert, bringt er durch seine gedehnte Sprechweise zum Ausdruck (vgl. Zeile 7). Beim gezielten Nachhaken des Interviewers – die Wörter ‘Gruppenpuzzle’ sowie ‘Säuren und Basen’ wurden bewusst vermieden – wird als Erinnerungshilfe dezidiert auf eine ‘Aktion’ seitens der Universität verwiesen. Auffällig ist, wie einsilbig der Schüler an dieser Stelle des Gesprächs und auch später bei der Frage, ob er vor dem Post-Test externe Informationsquellen genutzt habe, reagiert. Das erstellte Schaubild (Abbildung 20) erkennt er – anders als der Schüler DF2005<sup>A</sup> – eher zögerlich und lässt durch Intonation und Verwendung des Konjunktivs (vgl. Zeile 28) noch Zweifel, ob er tatsächlich das Richtige herausgesucht hat. Vielleicht ist dies jedoch auch nur dem eher zurückhaltenden Wesenszug, der im ganzen Interview zum Ausdruck kommt, geschuldet. Möglicherweise hat der Schüler SK1006<sup>A</sup> aber tatsächlich keine genaue Erinnerung mehr an die Interventionsmaßnahme. Eventuell hemmt ihn jedoch anfänglich auch nur die Interviewsituation, denn im späteren Gesprächsverlauf ist der Schüler deutlich kommunikationsfreudiger und kann auch auf die gezielte Nachfrage, wie er eine Fragebogenäußerung zu Frage acht des adaptierten VNOS-C gemeint habe (vgl. Zeilen 82-95), sehr spontan und überzeugend (vgl. Zeilen 88ff.; 94) antworten. Daher ist letztlich nicht zu entscheiden, ob der Zugewinn an reflektierten Ansichten im Post-Test bei SK1006<sup>A</sup> tatsächlich ursächlich auf die Interventionsmaßnahme zurückzuführen ist.

Im Post-Fragebogen scheinen zwar an vielen Stellen Ansätze elaborierter Positionen durch, sie sind jedoch, wie bereits angemerkt, fast stets mit naiven Standpunkten vermischt, wie sie noch im Pre-Fragebogen fast prototypisch vertreten wurden. Auffällig ist daher, dass die Interviewantwort auf die Frage, was der Schüler *jetzt* unter dem Wort Theorie verstehe, reflektierter ausfällt als das Statement im Post-Fragebogen (s. o.): Zwar

etwas unsicher und zögerlich, aber ohne Verwendung einschränkender Phrasen definiert der Schüler SK1006<sup>A</sup> im Interview eine Theorie als eine „komplexe Vorstellung“ (Zeile 40), als einen „Erklärungsversuch“ (ebd.). Interessanterweise vertritt er im Fortgang des Gesprächs auch einen teilweise laborierten Standpunkt zum Wechselspiel von Theorie und Empirie, bei dem ein naturwissenschaftliches „Gesetz nicht so vom Himmel gefallen ist, sondern aus der Theorie entstanden ist“ (Zeile 46f.). Damit werden zwar Beobachtungstatsachen zugunsten theoretischer Vorannahmen abgewertet, jedoch erliegt SK1006<sup>A</sup> nicht mehr einem naturalistischen Missverständnis, welches noch im Pre-Fragebogen deutlich zum Ausdruck kommt (s. o.). Ganz explizit verdeutlicht der Schüler auch, dass naturwissenschaftliche Aussagen stets an ‘Bedingungen’ (Zeile 58, 70) geknüpft sind, die vom Experimentator *bewusst* kontrolliert werden müssen (vgl. Zeile 70f.). Aufgrund unterschiedlicher ‘Ausgangsbedingungen’ seien „andere Ergebnisse“ (Zeile 65) möglich.

Diese Position wird jedoch nicht durchgängig vertreten: Auf die Nachfrage des Interviewers (Zeile 85ff.), was der Proband mit der Fragebogenantwort „Allerdings denke ich, dass die N. [Naturwissenschaften] freier, wesentlich freier als z. B. die Geisteswissenschaften wie z. B. Philosophie o. ä. sind“ (SK1006<sup>A-Post</sup>) gemeint habe, antwortet der Schüler spontan:

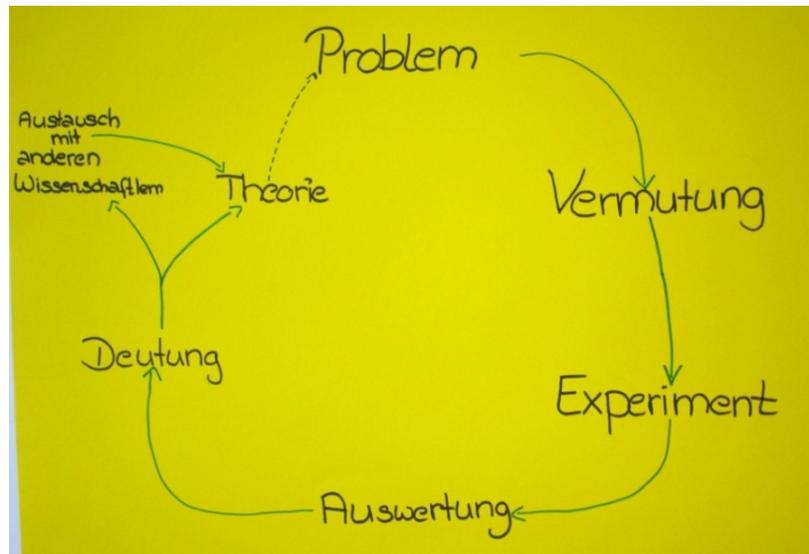
Ja, ich hab’ damit gemeint, dass das objektiver ist. Man hat ja z. B. das Fallgesetz. Äh, so was. Das fällt einfach runter. Das ist halt so. Also wenn ich jetzt dieses Päckchen Taschentücher loslasse, dann fällt das so runter.“ (Interview SK1006<sup>A</sup>, Zeile 88f.)

Auf die erneute Bitte um eine Präzisierung der aktuellen Kontextbedeutung des Wortes ‘freier’ ergänzt der Schüler noch: „Freier von Einflüssen“ (Zeile 94).

Dass das Fallgesetz an die *Bedingung* eines Gravitationsfeldes geknüpft ist, wird hier meines Erachtens nicht einfach ‘vergessen’ zu erwähnen, sondern nahezu ausgeschlossen durch den apodiktisch anmutenden Nachsatz: „Das ist halt so“ (Zeile 89). Der Schüler SK1006<sup>A</sup> fällt hier offenbar auf naive Denkmuster zurück, bei denen sich Naturwissenschaften objektiv mit Fakten der Natur befassen.

Auf die Frage, ob sich naturwissenschaftliches Handeln einer speziellen Methode bediene, verweist der Schüler SK1006<sup>A</sup> interessanterweise auf das erstellte Schaubild (vgl. Abbildung 20), obgleich dieses gar nicht in unmittelbarer Sichtweite liegt. Dieser Rückgriff auf das Poster ist in mehrfacher Hinsicht bedeutsam: Einerseits könnte dies darauf hinweisen, dass sich der Schüler doch deutlicher an die Maßnahme erinnert, als es zunächst den Anschein hat. Denn ähnlich dem Poster der Gruppe von DF2005<sup>A</sup> ist das Forschungshandeln hier als ein Kreislauf dargestellt, bei dem sich die verwendeten Termini mit den Überschriften, die sich anhand der Puzzleteile des Gruppenpuzzles ‘Forschern auf die Finger geschaut’ (vgl. Kapitel 5.2.3) ergeben, decken. Andererseits zeigt der Schüler erneut eine laborierte Position, indem er einer universellen naturwissenschaftlichen Methode eine klare Absage erteilt: „Das wird jeder Wissenschaftler für sich selbst wissen müssen“ (Zeile 102f.). Allerdings nutzt er nicht die Gelegenheit, sein Kriterium der ‘Freiheit’ an-

hand des Schaubilds zu erläutern, was sich meines Erachtens durchaus angeboten hätte. Ferner bleibt auch der im Plakat angesprochene ‘Austausch mit anderen Wissenschaftlern’ unbeachtet. Dies lässt zumindest den Rückschluss zu, dass der Proband sich bislang nicht mit einer als sozialkonstruktivistisch zu bezeichnenden Position auseinandergesetzt hat.



**Abbildung 20:** Schaubild der Kleingruppe mit Schüler SK1006<sup>A</sup>, entstanden im Anschluss an das Gruppenpuzzle

Positiv ist insgesamt festzustellen, dass SK1006<sup>A</sup> im Interview über *mehrere* NOS-Zielbereiche hinweg seine bereits im Post-Test erkennbar labilisierten, naiven Denkmuster teilweise substanziell revidiert hat. Insbesondere der Wortgebrauch von ‘Theorie’ scheint nun gefestigt dem fachsprachlichen Bereich anzugehören. Parallel dazu bleiben jedoch naive Denkmuster bestehen.

### 6.6.3 Die Schülerin ScLi<sup>C</sup> – Ambivalenz als Potenzial und Risiko

Im Pre-Post-Vergleich der Fragebogenantworten ergibt sich bei der Schülerin ScLi<sup>C</sup> – wie auch bei DF2005<sup>A</sup> – ein Zugewinn an sieben elaborierten Codierentscheidungen (vgl. Tabelle 32). Ähnlich jedoch wie bei dem Schüler SK1006<sup>A</sup> ist beim direkten Fragebogenvergleich (siehe Anhang D-3) kein radikaler Wandel zu verzeichnen – vielmehr zeigen sich beim Post-Test Modifikationen anhand feiner Übergänge hin zu elaborierten Ansichten bei fast allen Zielbereichen (Ausnahme: ‘empirische Basis’). Gleichzeitig finden sich allerdings bei der Schülerin ScLi<sup>C</sup> – wie auch schon bei SK1006<sup>A</sup> – im Post-Fragebogen bei fünf der sieben Zielbereiche Kopplungen zwischen elaborierten und naiven Positionen.

Einzig beim Zielbereich ‘empirische Basis’, der primär mittels Frage eins des adaptierten VNOS-C erfasst wird, bleibt die Schülerin ausschließlich naiven Vorstellungen verhaftet.

Die beiden Antworten auf Frage eins und damit die jeweiligen Gegenstandsbestimmungen des Wortes ‘Naturwissenschaften’ fallen im Pre-Post-Vergleich von der Essenz her auffallend ähnlich aus (vgl. Anhang D-3): Naturwissenschaften befassten sich mit *Fakten der Natur*, welche eindeutig *beweisbar* seien, wie die Schülerin ex negativo vermerkt – denn bei Geisteswissenschaften, die im „Gegensatz“ (ScLi<sup>C-Pre</sup>, ScLi<sup>C-Post</sup>) zu Naturwissenschaften stünden, könne man „keine wirklichen Beweise finden“ (ebd.), „kein ‘richtig’ oder ‘falsch’“ (ScLi<sup>C-Pre</sup>).

Diese *naturalistisch-positivistische Position* wird jedoch nur im Pre-Test durch weitere Angaben gestützt: Als Prüfsteine für die Richtigkeit einer Aussage dienten Experimente, die als „praktische Beweise“ (ebd.) daher unbedingt erforderlich seien. Passend dazu seien „Gesetze schon (längere Zeit) bewiesen“ (ebd.), Naturwissenschaften „sehr universell“ (ebd.) und unterschiedliche Schlussfolgerungen zum Aussterben der Dinosaurier möglich, weil aufgrund der langen Zeitspanne „präzise Forschungen“ (ebd.) sehr erschwert seien. Gleichzeitig wird eine gewisse *unreflektierte Technikgläubigkeit* vertreten: Ein Theorienwandel sei beispielsweise durch „weiterentwickelte Mikroskope“ (ebd.) möglich und um den Aufbau eines Atoms zu bestimmen, habe man vielleicht „verschieden geladene (Atome) Ionen miteinander ‘beschossen’“ (ebd.).

Anders als SK1006<sup>A</sup> bedient die Schülerin ScLi<sup>C</sup> im Pre-Test jedoch keineswegs stereotype naive Ansichten: Einerseits lassen sich im Pre-Fragebogen zwei Äußerungen finden, die eindeutig elaborierten Codes (‘Experimente als Mittel der Erkenntnis’; ‘Gesetze = verallgemeinerte Beobachtungsaussagen’) zugeordnet werden können; andererseits deuten manche Antworten auf eine eher *ambivalente Position* hin.

Eindeutig elaboriert ist die Aussage, dass Experimente vorrangig als Mittel der Erkenntnis dienen:

Meistens werden Experimente durchgeführt, weil man sich über den Ausgang des Versuchs unschlüssig ist, also nur eine Ahnung hat, was passieren könnte. (SciLi<sup>C-Pre</sup>)

Bei dieser Äußerung klingt durch den verwendeten Nachsatz zusätzlich die elaborierte Vorstellung an, dass man mittels Experimenten nicht im ‘Buch der Natur’ lesen kann, sondern stets theoriegeleitet experimentiert. Jedoch vermeidet die Schülerin im Pre-Fragebogen eine Begriffsbestimmung des Terminus Theorie – daher kann hier der elaborierte Code ‘Theorie gibt Forschungsrahmen vor’ nicht angewendet werden.

Gesetze werden von der Schülerin zwar als „bewiesen“ charakterisiert (s. o.), jedoch deutet die Formulierung bei Frage fünf, Gesetze seien „schon (längere Zeit) bewiesen und in vielen Fällen angewendet“ (ebd.) worden, auch auf die elaborierte Position hin, dass einem Gesetz der Status einer ‘verallgemeinerten Beobachtungsaussage’ zugestanden wird.

Neben diesen beiden Äußerungen nimmt die Schülerin zwar im Pre-Fragebogen noch weitere Einschränkungen der naturalistisch-positivistischen Position vor, jedoch können

diese nicht als elabourierte Aussagen gewertet werden, weil sie gleichzeitig wieder entkräftet werden. Beispiele dafür finden sich anhand der Antworten auf die Fragen sechs und acht, in denen die elabourierte Sichtweise wieder zurückgenommen wird, indem sie jeweils als historisch und damit überholt eingestuft wird: Es gab – so ScLi<sup>C</sup> im Pre-Fragebogen – bereits „verschiedene Theorien über den Aufbau von Atomen“ (ebd.) und Naturwissenschaften spiegelten „zumindest damals soziale und kulturelle Wertvorstellungen“ (ebd.) wider. Das ‘Damals’ wird präzisiert, indem auf das „Alttertum“ (ebd.) als geschichtliche Epoche und „die Lehren des Demokrit“ (ebd.) als Beispiel verwiesen werden. Interessanterweise distanziert sich die Schülerin jedoch sogleich wieder von diesen Standpunkten, die eine kulturalistische Sichtweise hätten erlauben können: Aussehen und Form von Atomen ließen sich *heute* mittels Experimenten feststellen (s. o.); bezüglich der Frage nach der Universalität der Naturwissenschaften antwortet sie: „*Heutzutage* ist im Gegensatz dazu alles sehr universell zurechtgelegt“ (ebd.; Hervorheb. V. H.).

Aufschlussreich ist in diesem Zusammenhang auch die eigentlich elabourierte Äußerung, bei der die Schülerin auf den Modellcharakter der Visualisierungen von Atomen verweist:

Die Modelle, die in den Lehrbüchern herangezogen werden, sollen den Aufbau *meist* nur veranschaulichen. (Ebd.; Hervorheb. V. H.)

Das einschränkende Adverb ‘meist’ ist ein weiteres Kennzeichen für eine letztlich *ambivalente Sichtweise*: Entweder *weiß* die Schülerin nicht, was ein Modell ist, oder sie möchte *bewusst* aus vielleicht konformistischen Gründen nicht eindeutig Stellung beziehen. In beiden Fällen muss die Ansicht der Schülerin als in sich widersprüchlich bezeichnet werden.

Im Post-Fragebogen findet sich die gerade benannte Distanzierung bei Frage sechs immer noch, interessanterweise jedoch *deutlich abgeschwächt*. Die Probandin bezieht bei der Beantwortung der Frage, welchen Wirklichkeitsgehalt ein vorgestelltes Atommodell aufweist, nun eine anscheinend elabourierte Position:

Die Vorstellung, wie ein Atom wirklich aussieht, wird in Lehrbüchern oft als Modell und stark vereinfacht dargestellt, um das Arbeiten mit dem Atom zu erleichtern.

Jedoch denke ich, dass sich die Naturwissenschaftler noch nicht völlig sicher über den Aufbau des Atoms sind.

Zwar haben sie Experimente durchgeführt, wie z. B. die Ionisierung von Atomen, um festzustellen, wo sich die Elektronen in diesem Atom befinden, aber ich denke, dass diese Theorie noch erweitert werden kann und es noch kein „Gesetz“ zum Atomaufbau gibt. (ScLi<sup>C-Post</sup>)

Die beiden Formulierungen „noch nicht völlig sicher“ sowie „noch kein ‘Gesetz’“ (ebd.) implizieren jedoch, dass beides in (naher) Zukunft erreicht sein wird. Dies deutet auf die naive Vorstellung einer sukzessiv fortschreitenden Naturwissenschaft hin, bei der Gesetze hierarchisch über Theorien stehen und man sich allmählich ‘der Wahrheit’ annähert. Gleichwohl kann die Antwort zumindest insofern als elabouriert gelten, als dass der Realgehalt des vorgestellten Atommodells freilich eindeutig angezweifelt wird.

Auch bei Frage acht des adaptierten VNOS-C – erfragt wird der Einfluss von Kultur und Tradition auf Naturwissenschaften – gibt die Schülerin im Post-Fragebogen nun eine elaborierte Antwort. Sie wendet zwar sicherlich berechtigt ein: „Heutzutage ist die Naturwissenschaft mehr oder weniger universell“ (ScLi<sup>C-Post</sup>). Jedoch zeugt der zweite Antwortteil von einer nun reflektierten Position:

In wenigen Punkten wird sie aber heute noch von politischen und sozialen Werten beeinflusst, z. B. im Bezug auf die Genforschung. Sie wird in einigen Ländern verboten und dadurch werden auch neue Theorien in dieser Richtung „unterdrückt“. (Ebd.)

Bei der Frage nach dem Aussterben der Dinosaurier führt sie nun nicht mehr *primär* den Zeitfaktor an, der „präzise Forschungen“ (ScLi<sup>C-Pre</sup>) erschwere, sondern „verschiedene Interpretationen“ (ScLi<sup>C-Post</sup>) der Funde und Informationsquellen. Dass die große Zeitspanne unterschiedliche Deutungen sicherlich begünstigt, wird ebenfalls treffend benannt.

Nachdem die Schülerin im Pre-Test den Terminus ‘Theorie’ gar nicht definiert hat, findet sich im Post-Fragebogen eine differenzierte, elaborierte Begriffsbestimmung, die interessanterweise auf die inhaltliche Thematik des Gruppenpuzzles Bezug nimmt:

Eine naturwissenschaftliche Theorie ist ein Denkmodell wie die Säure-Base-Theorie, das noch weiterentwickelt werden kann. Es ist „ausbaufähig“ und kann auch noch widerlegt werden. (Ebd.)

Ein Theorienwandel sei nun nicht mehr ausschließlich aufgrund technischer Innovationen möglich, wie die Probandin auf Frage vier antwortet, sondern auch aufgrund neuer Belege. Ferner wird im Post-Test erstmals – jedoch etwas vage – angesprochen, dass naturwissenschaftliche Vorgänge an „Bedingungen“ (ebd.) geknüpft sind.

Auffällig beim Pre-Post-Vergleich ist, dass das Wortfeld ‘beweisen’ im Post-Fragebogen – anders als im Pre-Test – ausschließlich bei Frage eins auftaucht. Bei der Beantwortung der weiteren Items finden sich nun folgende Formulierungen:

- Gesetzen wird auch im Post-Test der Status von Beobachtungstatsachen zugeschrieben, sie werden aber nun nicht mehr, wie noch im Pre-Fragebogen, als bewiesen charakterisiert – die Schülerin spricht stattdessen von „über mehrere Jahrhunderte ‘erprobt‘“ (ebd.) bzw. davon, dass Gesetze „nicht mehr widerlegt werden“ (ebd.) können.
- Ein Experiment dient laut Pre-Fragebogen dazu, „eine aufgestellte These entweder [zu] widerlegen oder [zu] beweisen“ (ScLi<sup>C-Pre</sup>). Im Post-Fragebogen heißt es dagegen: „Ein Experiment ist ein Versuch, den man durchführt, um eine Theorie zu unterstützen oder zu widerlegen“ (ScLi<sup>C-Post</sup>) (dazu später mehr).
- Im Pre- wie im Post-Test hält die Probandin Experimente für unbedingt erforderlich. Während jedoch im Pre-Fragebogen das Argument „praktische Beweise“ (ScLi<sup>C-Pre</sup>) lautet, heißt die Begründung im Post-Fragebogen, dass „man sich nur auf diese Weise Vorgänge erklären“ (ScLi<sup>C-Post</sup>) könne.

Die Vermutung liegt nahe, dass die Schülerin versucht, das semantische Feld ‘beweisen’ *bewusst* zu umgehen.

Die bei der Schülerin ScLi<sup>C</sup> im Pre-Fragebogen zum Ausdruck kommende *ambivalente Haltung* zum Konstrukt einer Natur der Naturwissenschaften weicht beim Post-Test in weiten Teilen einer *reflektierten Position*. Diese erscheint jedoch aufgrund der Kopplung mit naiven Ansichten als recht fragil. Das Interview kann daher Aufschluss darüber geben, wie flüchtig diese reflektiertere Haltung tatsächlich ist.

Im Interview gibt sich die Schülerin ScLi<sup>C</sup> zunächst selbstbewusst, später jedoch auch oft nachdenklich. Anders als bei den anderen beiden interviewten Schülern verläuft das Gespräch weniger gradlinig.

Die anfängliche Mitteilung des Interviewers (vgl. Anhang D-2), dass die Schülerin im Post-Fragebogen deutlich besser abgeschnitten habe als noch im Pre-Fragebogen, quittiert diese mit einer spontanen verbalen Bestätigung (Zeile 8). Nicht nur der Inhalt der Äußerung, auch das gedehnt gesprochene Wort 'das' sowie der schnelle Anschluss 'ja' (beides Zeile 8) zeigen, dass die Schülerin mit dieser Verbesserung offensichtlich gerechnet hat, als sie um das Interview gebeten wurde. Dies deutet ferner darauf hin, dass sie sich nach dem Pre-Fragebogen nicht nur, wie sie selber sagt, „noch mal Gedanken darüber gemacht“ (Zeile 12f.) hat, sondern vermutlich auch 'Rückversicherungen' über den Inhalt ihrer Gedanken eingeholt hat. Im späteren Gesprächsverlauf benennt die Probandin dann auch in der Tat das Medium, welches sie zur Vergewisserung genutzt hat:

Ja, ich hab mich zu Hause schon noch mal mit dem Chemielexikon, was ich zu Hause hab, was ich aber sonst nur benutze, wenn ich auch Hausaufgaben mache, und damit habe ich mich dann schon noch ein bisschen beschäftigt. (Zeile 66ff.)

Diese Aussage ist in mehrfacher Hinsicht bedeutsam: Auf der *Inhaltsebene* benennt die Schülerin das ihr offensichtlich vertraute Medium (ein Chemielexikon), auf das sie zurückgegriffen hat – dieses dürfte jedoch bezogen auf den Bereich NOS nur teilweise informativ gewesen sein. Dies bringt sie auch implizit zum Ausdruck, wenn sie sagt: „[...] und damit habe ich mich dann schon noch ein bisschen beschäftigt“ (Zeile 67f.), denn mit diesem Nachsatz ist sicherlich nicht nur eine inhaltliche, sondern auch eine temporale Ebene angesprochen. Des Weiteren belegt die Aussage, dass sich die Schülerin an die Interventionsmaßnahme erinnert und dass die Verbesserung des Post-Tests auf diese zurückzuführen sind. Auf der *Beziehungsebene* signalisiert die Schülerin, dass sie die Interventionsmaßnahme, obgleich sie nicht von ihrem Lehrer durchgeführt wurde, ernst genommen hat. Ohne Aufforderung hat sie offengebliebenen Fragen sogar den Status einer Hausaufgabe gegeben. Dies lässt auf Interesse und Fleiß schließen. Auf der Ebene der *Selbstkundgabe* teilt die Schülerin demnach mit, dass sie interessiert, fleißig, gewissenhaft, neugierig ist. Dazu passt auch, dass sie sich mit dem ersten Fragebogen schwer getan hat (Zeilen 10f., 18) und sich in der Kenntnis, dass noch ein weiterer Fragebogen ausgefüllt werden sollte, auf diesen besser vorbereiten wollte. Diese Wesenszüge würden auch erklären, warum sich die Schülerin, als sie sich mehrfach widerspricht, darüber zu ärgern scheint (vgl. Zeile 140).

Die indirekte Entschuldigung für ihr – aus ihrer Sicht – Nichtwissen (vgl. Zeile 168ff.) unterstützt diese Einschätzung.

Auffällig ist, dass sich die Schülerin im weiteren Gesprächsverlauf an keiner Stelle auf die im Chemielexikon gefundenen Informationen beruft. Dies wäre eine eigentlich erwartbare Handlung, insbesondere bei diffizilen Fragen, auf die sie spontan keine Antwort weiß. Stattdessen betont sie auffallend oft, dass sie „nochmal drüber nachgedacht“ (Zeile 72f.) hat, sich „Gedanken drüber gemacht“ (Zeile 81) hat. Möglicherweise möchte ScLi<sup>C</sup> damit ihr Engagement herausstellen; eventuell möchte sie jedoch nicht eingestehen, dass ihre genutzte Informationsquelle nur teilweise ergiebig war. Der Rückgriff auf das Chemielexikon verdeutlicht damit aber auch ein Problem, dem sich Schule und Unterricht stellen müssen: Bei einer einseitigen Fixierung auf Domänen gerät die Idee, bei einer im Chemieunterricht aufgeworfenen Frage *nicht* in einem Chemielexikon nach einer Lösung zu suchen, offenbar gar nicht in den Blick.

Im Post-Fragebogen hat die Schülerin vermutlich gezielt versucht, das Wortfeld ‘beweisen’ zu vermeiden. Um festzustellen, wie dauerhaft diese elaborierte Position ist, wird die Probandin im Interview mit ihren beiden Antworten auf Frage zwei des adaptierten VNOS-C konfrontiert, die ihr schriftlich vorgelegt werden:

Ein Experiment ist ein Versuch oder eine Probe, mit der man eine aufgestellte These entweder widerlegen oder *beweisen* kann. (ScLi<sup>C-Pre</sup>; Hervorheb. V. H.)

Ein Experiment ist ein Versuch, den man durchführt, um eine Theorie zu *unterstützen* oder zu widerlegen. (ScLi<sup>C-Post</sup>; Hervorheb. V. H.)

Inhaltlich sind beide Aussagen als problematisch anzusehen:

- Eine einzelne *These* – verstanden als Meinung, Behauptung – kann man mit Experimenten sicherlich widerlegen, jedoch letztlich aufgrund des Induktionsproblems (siehe Fußnote 7, Kapitel 3.2.1) nicht beweisen, auch innerhalb äußerst exakt definierter Randbedingungen nicht.
- Eine *Theorie* dagegen kann zwar mit Experimenten gestützt werden, jedoch können Experimente eine Theorie nicht widerlegen.<sup>29</sup> Nur aus der *Rückschau*<sup>30</sup> können einzelne Experimente den Status eines ‘Experimentum crucis’ erlangen und ein Paradigma im Sinne KUHNs oder ein Forschungsprogramm im Sinne LAKATOS’ zu Fall bringen (vgl. auch Kapitel 3.2.1).

Jenseits dieser wissenschaftstheoretischen Problematik verweist die im Pre-Test gefällte Aussage auf ein eher positivistisch gefärbtes Wissenschaftsbild, bei dem in den Naturwissenschaften etwas beweisbar ist. Die Antwort im Post-Test lässt dagegen auf ein eher falsi-

<sup>29</sup> Nach der sogenannten DUHEM-QUINE-These ist nur eine experimentelle Prüfung *einzelner Sätze* einer Theorie möglich, nicht jedoch einer *ganzen* Theorie (vgl. dazu ausführlich z. B. Lakatos 1982, S. 96ff.; Mittelstraß 1989, S. 211ff.).

<sup>30</sup> LAKATOS (1982) vermerkt dazu, „dass man ‘entscheidende Gegenevidenz’ oder ‘entscheidende Experimente’ als solche nur *im nachhinein* unter den Dutzenden von Anomalien erkennen kann, und zwar im Lichte einer überholenden Theorie.“ (Ebd., S. 35; Hervorheb. i. O.)

fiktionistisches und damit elaborierteres Wissenschaftsverständnis im Sinne POPPERS schließen.

Im Interview entscheidet sich die Schülerin ScLi<sup>C</sup> für die Aussage des Pre-Fragebogens und fällt damit auf einen eher naiven Standpunkt zurück. Begründen kann sie ihre Position indes nicht, wie sie überdeutlich sowohl verbal als auch nonverbal zum Ausdruck bringt (vgl. Zeile 41f.). Das Angebot des Interviewers, die Frage nach den Gründen für die eine oder andere Aussage zurückzustellen, nimmt die Schülerin dankbar an (vgl. Zeile 44). Nach dem Unterschied der beiden Termini 'These' und 'Theorie' befragt, antwortet sie:

Also für mich ist eine Theorie das, was schon fertig ist, und man wirklich sagen kann, dass das ja das fertige Modell ist und 'ne aufgestellte These ist eben nur 'ne Vermutung oder 'ne Behauptung, die man dann unterstützen oder halt widerlegen kann. (Zeile 52ff.)

Diese Äußerung lässt nicht genau erkennen, ob die Schülerin die elaborierte Ansicht des Post-Tests – eine Theorie sei „ein Denkmodell [...], das noch weiterentwickelt werden kann“ (ScLi<sup>C-Post</sup>) – reproduziert, oder ob sie auf eher alltagssprachliche Muster zurückfällt, zumal sie nun im Kontext einer *These* von 'unterstützen' und 'widerlegen' spricht. Wie fragil die Vorstellungen zum metasprachlichen Fachbegriff 'Theorie' sind, zeigt sich auch daran, dass sie im späteren Gesprächsverlauf eine Theorie kurzfristig mit einem Gesetz gleichsetzt: „Theorie ist für mich so was wie ein Gesetz, also belegt, und kann eben nicht widerlegt werden“ (Zeile 136). Auf den Hinweis des Interviewers, dass sie im Post-Test anders geantwortet habe, nimmt sie diese Aussage wieder zurück. Ihr gelingt es sogar daraufhin, ihre Antwort im Post-Fragebogen sinngemäß zu reproduzieren (vgl. Zeile 145f.). Merkwürdig ist jedoch die Tatsache, dass sie dazu den Wortlaut des Fragebogenitems als Impuls benötigt. Im Verbund mit der gedehnten, an eine Memorationsübung erinnernde Sprechweise sowie der nahezu gleichen Wortwahl wie bei der Antwort im Post-Fragebogen könnte dies auf eine bloß auswendig gelernte, jedoch unverstandene Aussage hindeuten. Eine Kontrollfrage des Interviewers bestätigt diesen Eindruck: Die Schülerin ist nicht in der Lage, ihre eigene Fragebogenantwort – „Eine naturwissenschaftliche Theorie ist ein Denkmodell [...], das noch weiterentwickelt werden kann“ (ScLi<sup>C-Post</sup>) – genauer zu erläutern (vgl. Zeile 178ff.): Sie antwortet eher stockend und pleonastisch.

Auf die Thematik einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode angesprochen äußert die Schülerin ScLi<sup>C</sup> die zwar elaborierte Position, dass Empirie an theoretische Vorüberlegungen gebunden sei (vgl. Zeile 98ff.), spricht jedoch dezidiert davon, dass Experimente Sachverhalte *beweisen* können (Zeile 99f., 103, 207) und vertritt die naive Ansicht, „dass man bei den Naturwissenschaften immer dasselbe Vorgehen hat“ (Zeile 206f.). Auf die gezielte, provokante Nachfrage des Interviewers, wie oft ein Experiment denn wiederholt werden müsse, bis ein tatsächlicher Beweis erbracht sei, gibt die Schülerin eine zunächst elaboriert klingende Auskunft:

Ja, ich denke mal, dass es sowieso schwierig ist, was wirklich zu beweisen und dass das dann endgültig ist, also. (Zeile 117f.)

Die Replik auf die Zuspitzung des Interviewers, dass echte Beweise vielleicht auch gänzlich unmöglich seien (vgl. Zeile 119f.), lässt allerdings wiederum auf eine naive Sichtweise schließen:

Ja wenn man die technischen Mittel nicht hat, aber ich denke, man hat ja schon die technischen Mittel, um Dinge zu beweisen. Das ist ja heute schon weiter als früher. (Zeile 121f.)

Eindeutig klingt hier – wie bereits im Pre-Fragebogen – eine Technikgläubigkeit an, die nicht nur durch die Dichotomie des Jetzt und des Ehedem gestützt wird, sondern auch durch einen weiteren Verweis auf technische Möglichkeiten etwas später im Interview (vgl. Zeile 164): Dank moderner Technik, so die Meinung der Schülerin, können eindeutige Beweise erbracht werden.

Speziell bei diesen beiden Punkten, ob man mit naturwissenschaftlichen Experimenten Sachverhalte beweisen kann bzw. was eine naturwissenschaftliche Theorie ist, verfügt die Schülerin im Interview über eine inkonsistente und insgesamt eher naive Position. Damit fällt ScLi<sup>C</sup> hier auf naive Muster, die sie bereits im Pre-Test vertrat, zurück. Dies darf jedoch nicht so verstanden werden, dass die Schülerin bei *allen* NOS-Zielbereichen wieder ihre ambivalente Sichtweise des Pre-Tests vertritt. Eindeutig elaborierte Vorstellungen zeigen sich im Interview bei folgenden Aspekten:

- Innerhalb des Zielbereichs ‘Subjektivität/Theoriegebundenheit’ verweist die Schülerin (wie bereits im Post-Test) darauf, dass Naturwissenschaften auch soziale und kulturelle Wertvorstellungen widerspiegeln (vgl. Zeile 81ff.). Als Beispiel führt sie erneut die Gentechnik an.
- Zumindest bei der Planung<sup>31</sup> von Experimenten gesteht die Schülerin Naturwissenschaftlern Kreativität zu (vgl. Zeile 87ff.).
- Dass sich naturwissenschaftliches Forschungshandeln im Wechselspiel von Theorie und Empirie bewegt, wird von der Schülerin benannt (vgl. Zeile 98ff.), auch wenn sie letztlich von der naiven Vorstellung einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode ausgeht (vgl. Zeile 206f.).
- Gesetze, so ScLi<sup>C</sup>, haben sich „über Jahrzehnte oder Jahrhunderte“ (Zeile 160) entwickelt; die Schülerin betrachtet daher Gesetze als erfahrungsbasierte Beobachtungstatsachen.

Anders als die beiden Schüler DF2005<sup>A</sup> und SK1006<sup>A</sup> hat die Schülerin ScLi<sup>C</sup> nicht nur das Gruppenpuzzle ‘Forschern auf die Finger geschaut’ durchgeführt, sondern im Anschluss daran auch den Untersuchungsauftrag ‘Hightech in der Babywindel’. Neben der Intention, implizites Wissen über den Bereich einer Natur der Naturwissenschaften bereitzustellen, soll das Gruppenpuzzle auch als Kompass im Sinne einer Forschungsheuristik für experimentelle Untersuchungsaufträge dienen. Diese Funktion hat die Schülerin offenbar erkannt, denn sie hebt sie ohne gezielte Nachfrage hervor (vgl. Zeile 231ff.). Widersprüchlich ist jedoch bei ihren Aussagen, dass sie das im Gruppenpuzzle vorgestellte For-

<sup>31</sup> Die Schülerin bestätigt im Interview von sich aus (Zeile 88f.) einen Forschungsbefund von HOFHEINZ & GRÖGER (2005), dass Schülern insbesondere die eigenständige Planung von Experimenten große Schwierigkeiten bereitet (vgl. auch Kapitel 4.3.3).

schungshandeln einerseits als *präskriptiv* betrachtet, wenn sie formuliert: „wie die Vorgehensweise sein *sollte*“ (Zeile 233; Hervorheb. V.H.), andererseits als *Option*: „es gab ja schon auf den Plakaten auch verschiedene Möglichkeiten“ (Zeile 254).

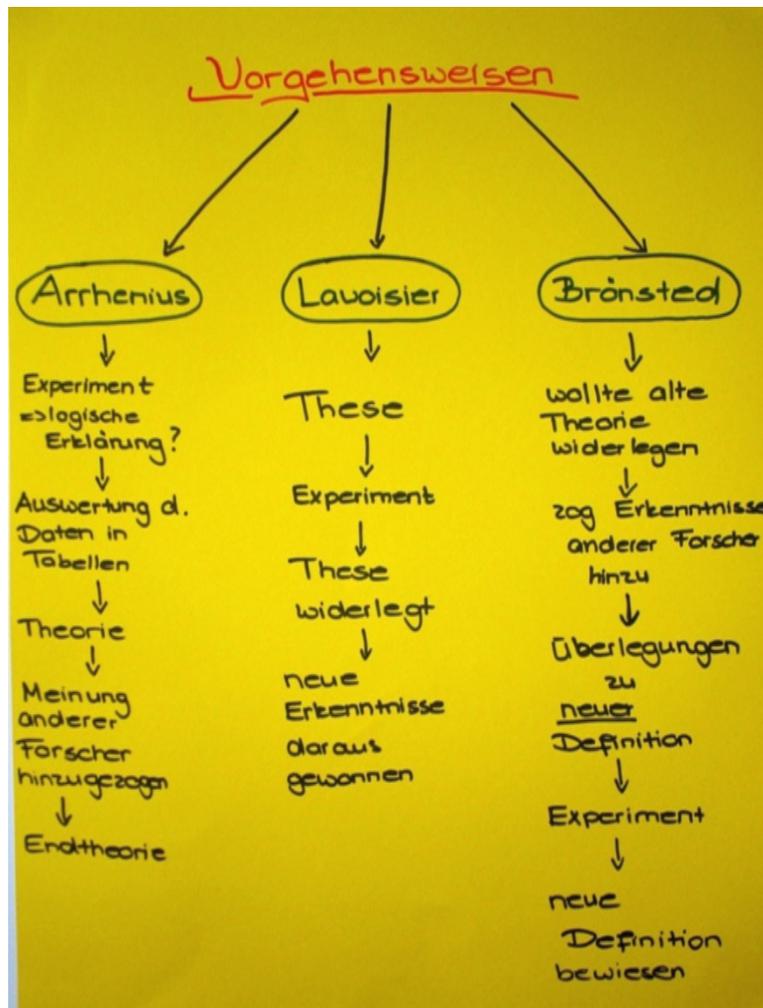


Abbildung 21: Schaubild der Kleingruppe mit Schülerin ScLi<sup>C</sup>, entstanden im Anschluss an das Gruppenpuzzle

In der Tat vermag das Gruppenpuzzle *sowohl* Divergenz *als auch* Konvergenz naturwissenschaftlichen Vorgehens aufzuzeigen. Anders jedoch als die beiden bereits vorgestellten Plakate (siehe Abbildungen 19 und 20) bringt das Schaubild der Gruppe, in der ScLi<sup>C</sup> war, interessanterweise ebendies *nicht* zum Ausdruck (vgl. Abbildung 21). Hier werden stattdessen die naturwissenschaftlichen Vorgehensweisen der drei Forscher LAVOISIER, ARRHENIUS und BRØNSTED unverbunden gegenübergestellt. Ebenfalls im Kontrast zu den andern beiden Schaubildern werden hier die Formulierungen<sup>32</sup> 'Endtheorie' sowie 'neue Definiti-

<sup>32</sup> Bei der Präsentation der Schaubilder im Unterricht bieten speziell solche Formulierungen recht fruchtbare Gesprächsanlässe, die genutzt werden sollten.

on bewiesen' verwendet (vgl. Abbildung 21), was deutlich auf naive Vorstellungen hindeutet. Obgleich die Schülerin ScLi<sup>C</sup> ebenfalls die in dem Schaubild klar benannte Meinung vertritt, dass Experimente als Beweise fungieren können, nutzt sie – anders als die beiden anderen Interviewkandidaten – dennoch an keiner Stelle des Gesprächs die Gelegenheit, auf *ibr* Gruppenposter zu verweisen. Angesichts der Tatsache, dass alle Schaubilder zwecks eindeutiger Identifikation während des Interviews vorlagen, könnte dies möglicherweise bedeuten, dass sie sich mit dem Inhalt des Posters nicht identifizieren kann oder möchte.

Insgesamt gesehen bestätigt die Schülerin ScLi<sup>C</sup> im Interview auf den ersten Blick eher die ambivalente Haltung des Pre-Tests statt der reflektierten Position, die sich im Post-Fragebogen zeigt. Bei genauerer Betrachtung betrifft dies jedoch vornehmlich den *Status naturwissenschaftlicher Theorien* sowie das Vertrauen in die *Kraft empirischer Evidenz*, gepaart mit einer *Technikgläubigkeit*. Nur bei diesen Teilbereichen fällt sie hinter ihre im Post-Test vertretene Ansicht zurück. Offenbar sind hier die tradierten Alltagsmuster besonders stabil.

## 7. Potenzial und Grenzen der Interventionsmaßnahmen: Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Nicht erst seit der Publikation von Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss sollen Schüler in den naturwissenschaftlichen Disziplinen Kompetenzen erwerben, die über bloße Fachinhalte weit hinausgehen und derzeit mit den Schlagworten ‘Fachwissen’, ‘Erkenntnisgewinnung’, ‘Kommunikation’ und ‘Bewertung’ umschrieben werden (vgl. z. B. KMK 2005b). Inhaltlich ist damit gemeint: Kenntnis von und Kommunizieren über grundlegende domänenspezifische Basiskonzepte und -theorien, Anwendung von und Kommunizieren über Wege naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung sowie Kenntnis von und Kommunizieren über genuin naturwissenschaftliche Charakteristika. Insbesondere der letztgenannte Aspekt, der im internationalen Diskurs mit *nature of science* (NOS) bezeichnet wird, findet unterrichtlich jedoch kaum Beachtung, was auch deutlich die Ergebnisse des Pre-Tests dieser Studie zeigen. Ziel der vorliegenden Fallstudie war es daher, Möglichkeiten auszuloten, wie Schüler im ganz normalen Unterricht (und damit auch unter Beachtung der Stundentafel) Wissen über *nature of science* nachhaltig erwerben können.

Dazu wurden beispielhaft am Unterrichtsfach Chemie zwei Lernarrangements konstruiert und erprobt, die innerhalb einer Sequenz von etwa vier bis fünf Unterrichtsstunden ab der Jahrgangsstufe 10 durchführbar sind. Beide Interventionsmaßnahmen setzen gezielt auf lerntheoretisch vielversprechende *implizite Aneignungsprozesse*, um unter anderem der ‘Erfahrungsbasiertheit’ des Wissens über NOS gerecht zu werden, d. h. der Tatsache, dass Wissen *über* Naturwissenschaften ein Stück weit *tacit knowing* im Sinne POLANYIS (1985) ist. Die Interventionsmaßnahmen unterscheiden sich darin, dass eine Maßnahme, das Gruppenpuzzle ‘Forschern auf die Finger geschaut’ (vgl. Anhang A-2), mit Blick auf den Gegenstandsbereich einer Geartetheit der Naturwissenschaften gezielt *implizit-vorstrukturiert* ist und daher a posteriori eine Bewusstmachung dieses Wissens gestattet. Bei dem anderen Lernarrangement, dem experimentellen, weitgehend offenen Untersuchungsauftrag ‘Hightech in der Babywindel’ (vgl. Anhang B-1), kann Wissen über NOS nur inzidentell beim eigenständigen, naturwissenschaftlich orientierten Arbeiten erworben werden. Die anschließende Evaluation beider je einzeln bzw. konsekutiv durchgeführten Interventionsmaßnahmen in drei verschiedenen Chemiekursen der Jahrgangsstufe 11 erfolgte mit dem Ziel, deren Potenzial bei der Genese von Wissen über *nature of science* abschätzen zu können.

Die im Pre-Test erhobenen Schülervorstellungen zum Bereich Natur der Naturwissenschaften zeigen erwartungsgemäß kein einfaches, einheitliches Bild, zumal auch viele Schüler keine in sich konsistenten Vorstellungen aufweisen. Gleichwohl lassen sich *typische* Nennungen ausmachen. Diese charakteristischen Antwortmuster des Pre-Fragebogens dokumentieren deutlich den Handlungsbedarf auf dem Forschungsgebiet NOS, denn sie wei-

sen unverkennbar auf ein überwiegend *naives naturalistisch-empiristisches Naturwissenschaftsverständnis* bei den meisten Schülern hin: Naturwissenschaftler hätten einen unverwehrteten Naturzugang, erforschten *die* Natur, suchten experimentell Beweise für Theorien und kämen dabei letztlich zu universell gültigen Aussagen. Theorien werden nicht als Systeme von Aussagen, sondern alltagssprachlich als ‘Mutmaßungen’ oder ‘Behauptungen’ aufgefasst. Dies offenbart ein Manko des gegenwärtigen Naturwissenschaftsunterrichts, bei dem zwar *objektsprachliche* Fachtermini gelehrt werden, *metasprachliche* Fachbegriffe zur Beschreibung des Objektbereichs jedoch offensichtlich nicht. Im Gegensatz zu Geisteswissenschaften, so die Aussage vieler Schüler, zeichneten sich Naturwissenschaften durch ihre eindeutige Erweisbarkeit aus. Deshalb seien Experimente unbedingt erforderlich, weil sie nicht nur als Mittel der Erkenntnis dienten, sondern vor allem als Prüfsteine bei der eindeutigen Wahrheitsfindung. Damit gewinnt das pädagogisch motivierte Plädoyer für einen Methodenpluralismus im Unterricht (vgl. z. B. Meyer 2004, S. 74ff.) speziell bezogen auf das Fach Chemie ein doppeltes, weil auch fachimmanent motiviertes Gewicht: Denn werden Experimente immer nur nach einem gleichbleibenden forschend-entwickelnden Muster als Bestätigungsexperimente bei der Durchführung von Problemlösungsvorschlägen eingesetzt, wird die Genese eines naiven naturalistisch-empiristischen Naturwissenschaftsbild implizit begünstigt.

Welche Effekte haben die Interventionsmaßnahmen auf solche naiven Schülervorstellungen zum Konzept einer *nature of science*?

Eine echte Modulation von Ansichten über NOS ist nach zeitlich stark begrenzten Unterrichtseinheiten sicherlich nicht zu erwarten – jedoch zeigt der Pre-Post-Vergleich, dass die Interventionsmaßnahmen ganz offensichtlich Veränderungen erzeugen und damit eine Wirkung haben, und zwar trotz ihrer vergleichsweise kurzen zeitlichen Dauer.

Während die alleinige Durchführung eines geöffneten experimentellen Untersuchungsauftrages hinsichtlich der Änderung von Schüleransichten zu *nature of science* nur geringe Effekte zeigt, bietet das mit Blick auf die Geartetheit der Naturwissenschaften implizit-vorstrukturierte Gruppenpuzzle diesbezüglich jedoch ein beachtenswertes Potenzial: Die Anzahl an elaborierten Aussagen pro Schüler hat sich im Pre-Post-Vergleich in dem Kurs, in dem nur das Gruppenpuzzle durchgeführt wurde, mehr als verdoppelt. Die konsequente Durchführung von Gruppenpuzzle und offenem Untersuchungsauftrag begünstigt ebenfalls elaboriertere Ansichten, wenngleich auch nicht ganz so deutlich wie die alleinige Durchführung des Gruppenpuzzles. Aufgrund der Anlage als Fallstudie mit nur wenigen Teilnehmern, die zudem nicht randomisiert wurden, können zwar keine Aussagen über Effektstärken getroffen werden, jedoch kann eindeutig festgehalten werden: Eine bezogen auf den Lernbereich NOS implizit-vorstrukturierte Lernumgebung vermag trotz eines zeitlich stark begrenzten Umfangs bei Schülern zum Teil elaboriertere Sichtweisen über *nature of science* hervorzubringen.

Eine wissenschaftstheoretisch fundiertere Ansicht wird im Post-Fragebogen insbesondere bezüglich des epistemologischen Status naturwissenschaftlichen Wissens vertreten. Diese äußert sich darin, dass einerseits die Vorstellung einer eindeutigen Verifizierbarkeit naturwissenschaftlicher Aussagen zurückgedrängt wird zugunsten einer Position, bei der auch naturwissenschaftliche Daten interpretationsbedürftig sind. Andererseits tritt eine Verwechslung von Realität und Modell wesentlich seltener auf. Auch bezüglich der Theoriegebundenheit jeglichen naturwissenschaftlichen Wissens wird im Post-Test eine angemessenere Sichtweise deutlich.

Gleichwohl bleiben jedoch naive Denkmuster bestehen: Ziel der naturwissenschaftlichen Domäne bleibt nach Ansicht vieler Schüler das ‘Sammeln gesicherten Wissens’, welches sich anhand ‘feststehender und bewiesener’ Gesetze manifestiere. Die Idee dieses ‘sicheren Wissens’ ist bei einigen Schülern auch offenbar problemlos mit der Vorstellung einer grundlegenden Revision des naturwissenschaftlichen Wissens bei neuen Belegen bzw. Neuinterpretationen sowie der bloß heuristischen Gültigkeit von Modellen vereinbar, was eindeutig auf Hybridvorstellungen hinweist. Auch die alltagssprachliche Ausdrucksbedeutung der Wörter ‘Theorie’ und ‘Gesetz’ bleibt ganz offensichtlich dominant. Polysemantische Termini, die fachsprachlich und alltagssprachlich verschiedene Bedeutungen aufweisen, können offenbar mittels kurzfristiger Interventionsmaßnahmen bei der Mehrzahl der Schüler kaum begrifflich ausdifferenziert werden. Der Pre-Post-Vergleich zeigt somit einerseits, dass bei der zeitlich stark befristeten Maßnahme lediglich kleinere Modifikationen in Form feiner Übergänge hin zu elaborierten Ansichten stattfinden. Andererseits dokumentiert dies aber auch eindringlich den weiteren Handlungsbedarf auf diesem Forschungsgebiet.

Übereinstimmend mit anderen Studien lassen sich auch bei dieser Studie weder im Pre- noch im Post-Test genderspezifische Unterschiede bei den Schülervorstellungen zum Konzept einer *nature of science* ausmachen.

Um das Potenzial der mit Blick auf den Bereich einer *nature of science* implizit-vorstrukturierten Lernumgebung etwas schärfer konturieren zu können, wurden etwa zwei Monate nach Durchführung des Gruppenpuzzles drei Schüler interviewt, die im Pre-Post-Vergleich von der Interventionsmaßnahme besonders profitiert haben. In allen drei Interviews zeigt sich, dass der im Post-Fragebogen festgestellte Zugewinn an elaborierten Äußerungen legitim auf die Interventionsmaßnahmen zurückgeführt werden kann.

Die Interviews verdeutlichen, dass die Schüler recht unterschiedlich von der Maßnahme profitiert haben. Während im Pre-Test noch alle eine – wenn auch ungleich ausgeprägte – naturalistische Position vertreten, lassen sich im Post-Test und im Interview dagegen deutliche Differenzen ausmachen:

- Ein Schüler lässt offenkundig kulturalistische Tendenzen erkennen: Eine Theoriendynamik und der ‘menschliche Faktor’ beim naturwissenschaftlichen Handeln werden mehrfach explizit benannt. Diese Haltung erweist sich als stabil, weil der Schüler sie auch zwei Monate nach

dem Gruppenpuzzle, welches er sehr positiv in Erinnerung hat, noch vertritt. Seine Behaltensleistung bezüglich der Inhalte der Interventionsmaßnahme sind insgesamt sehr hoch und möglicherweise auf motivationale Gründe zurückführbar, weil der Schüler seine Begeisterung über die Maßnahme jugendsprachlich ausdrückt, was der Äußerung meines Erachtens eine hohe Glaubwürdigkeit verleiht.

- Ein anderer Schüler, der im Pre-Fragebogen nahezu prototypische naive Denkmuster bezieht, weist im Post-Test und im Interview eine eher ambivalente Haltung auf, d. h. naive und elaborierte Ansichten werden miteinander vermischt. Auffallend ist, dass sich die Widersprüchlichkeit als *produktiv* erweist, denn die im Interview gezeigte Position ist elaborierter als die des Post-Tests. Fasst man das Gruppenpuzzle mit seinen impliziten Lernmöglichkeiten als reflexionsinduzierenden Impuls auf, so führt dies bei diesem Schüler offenbar zu einer fruchtbaren Labilisierung naiver, aber etablierter Denkmuster, was eingedenk der relativen Stabilität von (Schüler-)Vorstellungen durchaus erstaunlich ist.
- Die interviewte Schülerin vertritt im Pre-Test eine eher ambivalente Position, die möglicherweise auch Ausdruck einer konformistischen Haltung sein könnte. Im Post-Fragebogen weicht die Widersprüchlichkeit zwar in weiten Teilen einem reflektierten Standpunkt, im Interview fällt die Schülerin jedoch teilweise wieder auf naive Denkmuster zurück. Recht bedeutsam ist in diesem Zusammenhang, dass die Schülerin im Anschluss an den Pre-Test selbstständig mithilfe eines Chemielexikons vertiefende Informationen gesucht hat. Dies zeigt einerseits, dass das Gruppenpuzzle vermutlich tatsächlich als motivierender, reflexionsinduzierender Impuls wirkt. Andererseits wird aber auch deutlich, dass es einer interessierten, ehrgeizigen Schülerin im Selbststudium nicht gelingt, sich substanzielles und vor allem nachhaltiges Wissen zum Bereich *nature of science* anzueignen. Dies verdeutlicht, dass in diesem Bereich explizit dargelegtes Informationswissen auch bei intrinsischer Motivation kaum zu *persönlichem* Wissen selbstständig transformiert wird.

### *Ausblick*

In erster Linie belegt die vorliegende Fallstudie den enormen Handlungs- wie Forschungsbedarf auf dem Gebiet einer *nature of science*: Solange in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern lediglich den *objektsprachlichen* Fachtermini eine prominente Bedeutung beigemessen wird, *metasprachliche* Fachbegriffe und Zusammenhänge zur Beschreibung des Objektbereichs indes diskret ignoriert werden, können Schüler kein angemessenes Naturwissenschaftsverständnis entwickeln. Infolgedessen können sie den naturwissenschaftlichen Disziplinen auch keine reflektierte Wertschätzung entgegenbringen. Eine Anerkennung der kulturellen Leistungen sowie das Erkennen gesellschaftlicher Sinnbezüge wären jedoch basal, um zwei Kernproblemen des Chemie- und Physikunterrichts – dem stetig sinkenden Schülerinteresse sowie der geringen Wirksamkeit des Unterrichts – effektiv begegnen zu können.

Weil sich wissenschaftstheoretische Termini kaum losgelöst von naturwissenschaftlichen Situationen beschreiben lassen und die Natur der Naturwissenschaften als dynamischer Bereich ein großes Maß an implizitem Wissen beinhaltet, ist eine explizite Vermittlung in eher wissenschaftstheoretischen Kursen für den Naturwissenschaftsunterricht si-

cherlich unangebracht. Ein lerntheoretisch attraktiv erscheinender Weg eines rein impliziten Erwerbs von NOS im praktischen, naturwissenschaftlichen Tun erweist sich allerdings, wie die Ergebnisse der Fallstudie zeigen, als zu ineffektiv. Offenbar bedarf es eines zusätzlichen, reflexionsinduzierenden Impulses, um innere Erfahrungsmuster über die Geartetheit der Naturwissenschaften so aufzubauen, dass sie bei einer Vergegenwärtigung explizit verarbeitet werden können. Einen solchen Impuls vermag z. B. das in dieser Studie entwickelte und positiv evaluierte Gruppenpuzzle als eine mit Blick auf *nature of science* implizit-vorstrukturierte Lernumgebung zu leisten.

Auch wenn sich die Kopplung von Gruppenpuzzle und Untersuchungsauftrag für den Erwerb von Wissen über *nature of science* in dieser Studie nicht als erfolgsversprechender als die alleinige Durchführung des Gruppenpuzzles erwiesen hat, so wäre es gleichwohl lohnend zu untersuchen, welche Effekte ein angemesseneres Naturwissenschaftsverständnis auf die experimentelle Handlungskompetenz von Schülern hat. Auch wenn dies nicht Gegenstand der Studie war und daher auch nicht wissenschaftlich ausgewertet wurde, so weist doch bereits ein erster, grober Blick auf die Ergebnisse des offenen Untersuchungsauftrags ‘Hightech in der Babywindel’ deutlich darauf hin, dass Schüler erhebliche Probleme haben, eigenständig naturwissenschaftlich orientiert zu arbeiten. Dies mag einerseits an einem mangelnden Methodenrepertoire liegen, aber auch daran, dass ein unreflektierter, rezeptartiger Methodeneinsatz nicht zielführend sein kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Mittels der Fallstudie konnte das Potenzial impliziter Aneignungsprozesse beim Erwerb von Wissen über die Natur der Naturwissenschaften gezeigt werden: Ein mit Blick auf NOS *implizit-vorstrukturiertes Lernarrangement* vermag trotz eines zeitlich stark begrenzten Umfangs als ein motivierender, reflexionsinduzierender Denkipuls zu wirken, der eine fruchtbare Labilisierung naiver Denkmuster bewirken kann und sich daher als hilfreich bei der Etablierung elaborierter Ansichten über *nature of science* erweist. Das in der Fallstudie gefundene Potenzial muss jedoch noch eingehender untersucht und bei größeren Stichproben validiert werden. Vor allem aber sollten weitere Unterrichtsszenarien für unterschiedliche Jahrgangsstufen entwickelt, erprobt und optimiert werden, die das unbestreitbare Potenzial implizit-vorstrukturierter Lernumgebungen stärker als bisher ausschöpfen.

## 8. Literatur

- ABD-EL-KHALICK, FOUAD (2001): Embedding Nature of Science Instruction in Preservice Elementary Science Courses: Abandoning Scientism, but ... *Journal of Science Teacher Education* **12**(3), S. 215-233.
- ABD-EL-KHALICK, FOUAD (2005): Developing deeper understandings of nature of science: the impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning. *International Journal of Science Education* **27**(1), S. 15-42.
- ABD-EL-KHALICK, F. & AKERSON, V. L. (2004): Learning as Conceptual Change: Factors Mediating the Development of Preservice Elementary Teachers' Views of Nature of Science. *Science Education* **88**(5), S. 785-810.
- ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; LEDERMAN, N. G. (1998): The Nature of Science and Instructional Practice: Making the Unnatural Natural. *Science Education* **82**(4), S. 417-436
- ABD-EL-KHALICK, F.; BOUJAOUDE, S.; DUSCHL, R.; LEDERMAN, N. G.; MAMLOK-NAAMAN, R.; HOFSTEIN, A.; NIAZ, M.; TREAGUST, D.; TUAN, H.-L. (2004): Inquiry in Science Education: International Perspectives. *Science Education* **88**(3), S. 397-419.
- ABD-EL-KHALICK, F. & LEDERMAN, N. G. (2000a): The Influence of History of Science Courses on Students' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **37**(10), S. 1057-1095.
- ABD-EL-KHALICK, F. & LEDERMAN, N. G. (2000b): Improving Science Teachers' Conceptions of Nature of Science: a Critical Review of the Literature. *International Journal of Science Education* **22**(7), S. 665-701.
- AEBLI, HANS (1983/91997): Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus. Stuttgart: Klett-Cotta.
- AIKENHEAD, GLEN S. (2003): Review of Research on Humanistic Perspectives in Science Curricula. Paper presented at the European Science Education Research Association Conference (ESERA) 2003, August 19-23, Noordwijkerhout, The Netherlands.
- AIKENHEAD, G.S. & RYAN, A.G. (1992): The Development of a New Instrument: "Views on Science-Technology-Society" (VOSTS). *Science Education* **76**(5), S. 477-491.
- AKERSON, V. L.; ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. (2000): Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **37**(4), S. 295-317.
- AKERSON, V.L.; MORRISON, J. A.; MCDUFFIE, A.R. (2006): One Course Is Not Enough: Preservice Elementary Teachers' Retention of Improved Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **43**(2), S. 194-213.
- ALTERS, BRIAN J. (1997): Whose nature of science? *Journal of Research in Science Teaching* **34**(1), S. 39-55.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (AAAS) (1993): Benchmarks for science literacy. New York: Oxford University Press.
- ANDERSON, CHARLES W. (1995): Unterrichtsinhalte in einer multikulturellen Gesellschaft. In: S. Hopmann & K. Riquarts in Zusammenarbeit mit W. Klafki und A. Krapp (Hrsg.): Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz (33. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik), S. 127-142.
- ANDERSON, JOHN R. (1988): Kognitive Psychologie. Eine Einführung. Aus dem Amerikanischen übersetzt von J. Grabowski-Gellert, S. Granzow und U. Fehr. Dt. Übersetz. hrsg. v. A. Albert. Heidelberg: Spektrum.
- ANDERSON, RONALD D. (2002): Reforming Science Teaching: What Research Says About Inquiry. *Journal of Science Teacher Education* **13**(1), S. 1-12.
- ARONSON, ELLIOT (1984): Förderung von Schulleistung, Selbstwert und prosozialem Verhalten: Die Jigsaw-Methode. In: G. L. Huber, S. Rotering-Steinberg, D. Wahl (Hrsg.): Kooperatives Lernen. Grundlagen eines Fernstudienprojekts zum „Lernen in Gruppen“ bei Schülern, Lehrern, Aus- und Fortbildnern. Weinheim, Basel: Beltz, S. 48-59.
- ARRHENIUS, SVANTE (1883/1907): Untersuchungen über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte. Am 6. Juni 1883 der kgl. Schwedischen Akad. der Wissenschaften vorgelegte Abhandlung. Übers. von Anna Hamburger, hrsg. von O. Sackur. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 160. Reprint der Ausgabe von 1907, Leipzig, Verlag Engelmann. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, 1986.

- ARRHENIUS, SVANTE (1887a): Brief an van 't Hoff vom 30.3.1887. Zitiert nach: E. H. Riesenfeld (1931): Svante Arrhenius. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft. [Faksimilebrief, eingeklebt zwischen den Seiten 25 und 26.]
- ARRHENIUS, SVANTE (1887b): Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. *Zeitschrift für Physikalische Chemie* **1**(11/12), S. 631-648.
- AUFSCHNAITER, S. V.; FISCHER, H. E.; SCHWEDES, H. (1992): Kinder konstruieren Welten. Perspektiven einer konstruktivistischen Physikdidaktik In: S. J. Schmidt (Hrsg.): Kognition und Gesellschaft. Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus 2. Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 380-424.
- BADER, HANS JOACHIM (1997a): Schülervorstellungen und Alltagsvorstellungen. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflage 1997. München: Oldenbourg, S. 162-168.
- BADER, HANS JOACHIM (1997b): Das Experiment im Chemieunterricht. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflage 1997. München: Oldenbourg, S. 292-318.
- BADER, HANS JOACHIM (1997c): Zur Beliebtheit des Chemieunterrichts. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflage 1997. München: Oldenbourg, S. 395-402.
- BAHRDT, HANS PAUL (1969): Literarische Bildung und technische Intelligenz. In: H. Kreuzer (Hrsg.): Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C. P. Snows These in der Diskussion. München: dtv 1987, S. 296-312.
- BARKE, HANS-DIETER (2006): Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen. Berlin, Heidelberg: Springer.
- BARROW, LLOYD H. (2006): A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education* **17**(3), S. 265-278.
- BARTHOLOMEW, H.; OSBORNE, J.; RATCLIFFE, M. (2004): Teaching Students "Ideas-About-Science": Five Dimensions of Effective Practice. *Science Education* **88**(5), S. 655-682.
- BASF (o. J.): Funktionale Polymere – unsichtbare Helfer im Alltag. [Präsentationsfolien aus dem gleichnamigen Vortrag der Reihe 'Science live!', BASF]  
Verfügbar über: [http://www.rheinneckarweb.de/fileadmin/user\\_upload/BASF-Inhalte/young\\_corner/lehrer/pdf/neuesLogo\\_Experimentalvortrag\\_d.pdf](http://www.rheinneckarweb.de/fileadmin/user_upload/BASF-Inhalte/young_corner/lehrer/pdf/neuesLogo_Experimentalvortrag_d.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- BAUER, HERBERT F. (1997): Elementarisierung – ein Kernproblem des Chemieunterrichts. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflage 1997. München: Oldenbourg, S. 197-208.
- BAUER, H. F.; DEMUTH, R.; JANSEN, W.; MATUSCHEK-WILKEN, C.; SCHMIDKUNZ, H. (1997): Unterrichtsverfahren. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflage 1997. München: Oldenbourg, S. 209-241.
- BAUMERT, J.; BOS, W.; WATERMANN, R. (2000): Fachleistungen im voruniversitären Mathematik- und Physikunterricht im internationalen Vergleich. In: J. Baumert, W. Bos, R. Lehmann (Hrsg.): TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. Opladen: Leske + Budrich, S. 129-180.
- BAUMERT, J.; KLIEME, E.; NEUBRAND, M.; PRENZEL, M.; SCHIEFELE, U.; SCHNEIDER, W.; STANAT, P.; TILLMANN, K.-J.; WEIß, M. (Hrsg.) (2001a): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich.
- BAUMERT, J. & KÖLLER, O. (2000): Motivation, Fachwahlen, selbstreguliertes Lernen und Fachleistungen im Mathematik- und Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. In: J. Baumert, W. Bos, R. Lehmann (Hrsg.): TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. Opladen: Leske + Budrich, S. 181-213.
- BAUMERT, J.; LEHMANN, R.; LEHRKE, M.; SCHMITZ, B.; CLAUSEN, M.; HOSENFELD, I.; KÖLLER, O.; NEUBRAND, J. (1997): TIMSS. Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde. Opladen: Leske + Budrich.
- BAUMERT, J.; STANAT, P.; DEMMICH, A. (2001b): PISA 2000. Untersuchungsgegenstand, theoretische Grundlagen und Durchführung der Studie. In: J. Baumert; E. Klieme; M. Neubrand; M. Prenzel; U. Schiefele; W. Schneider; P. Stanat; K.-J. Tillmann; M. Weiß (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich, S. 15-68.

- BAUMERT, J. & WATERMANN, R. (2000): Institutionelle und regionale Variabilität und die Sicherung gemeinsamer Standards in der gymnasialen Oberstufe. In: J. Baumert, W. Bos, R. Lehmann (Hrsg.): TIMSS/III. Dritte Internationale Mathematik- und Naturwissenschaftsstudie – Mathematische und naturwissenschaftliche Bildung am Ende der Schullaufbahn. Bd. 2: Mathematische und physikalische Kompetenzen am Ende der gymnasialen Oberstufe. Opladen: Leske + Budrich, S. 317-372.
- BAUMGARTNER, PETER (2003): E-Learning: Lerntheorien und Lernwerkzeuge. *Österreichische Zeitschrift für Berufsbildung* **21**(3), S. 3-6.
- BBC NEWS (2006): Science ‘not for normal people’. Teenagers value the role of science in society but feel scientists are “brainy people not like them”, research suggests. Published online 2006/01/20, 13:30:38 GMT. Verfügbar über: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/education/4630808.stm> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- BECKER, H.-J.; GLÖCKNER, W.; HOFFMANN, F.; JÜNGEL, G. (1980): Fachdidaktik Chemie. Köln: Aulis.
- BELL, R. L.; BLAIR, L. M.; CRAWFORD, B. A.; LEDERMAN, N. G. (2003): Just Do It? Impact of a Science Apprenticeship Program on High School Students’ Understandings of the Nature of Science and Scientific Inquiry. *Journal of Research in Science Teaching* **40**(5), S. 487-509.
- BERETTA, MARCO (1999): Lavoisier: Die Revolution in der Chemie. *Spektrum der Wissenschaft Biographie*, Nr. 3.
- BINNEWIES, M.; JÄCKEL, M.; WILLNER, H.; RAYNER-CANHAM, G. (2004): Allgemeine und Anorganische Chemie. München: Elsevier.
- BLK (1997) = Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (Hrsg.) (1997): Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung. Heft 60. Bonn: BLK.
- BOLLENBECK, GEORG (1994): Bildung und Kultur. Glanz und Elend eines deutschen Deutungsmusters. Frankfurt/M., Leipzig: Insel.
- BRØNSTED, JOHANN NICOLAUS (1923): Einige Bemerkungen über den Begriff der Säuren und Basen. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas* **42**, S. 718-728.
- BRØNSTED, JOHANN NICOLAUS (1928): Zur Theorie der Säure-Basen-Funktion. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* **61**(8), S. 2049-2063.
- BRØNSTED, JOHANN NICOLAUS (1930): Neuere Gesichtspunkte für die Säure-Basen-Funktion. *Zeitschrift für angewandte Chemie* **43**(11), S. 229-233.
- BRÜGELMANN, HANS (1997): Die Öffnung des Unterrichts muss radikaler gedacht, aber auch klarer strukturiert werden. In: H. Balhorn & H. Niemann (Hrsg.): Sprachen werden Schrift. Mündlichkeit – Schriftlichkeit – Mehrsprachigkeit. DGLS-Jahrbuch „Lesen und Schreiben“, Bd. 7. Lengwil: Libelle, S. 43-60.
- BRÜGELMANN, HANS (1999): Fallstudien in der Pädagogik. Perspektiven für die Forschung. OASE-Bericht Nr. 46. Universität Siegen.
- BRÜGELMANN, HANS (2004): Kerncurricula, Bildungsstandards und Leistungstests: Zur unvergänglichen Hoffnung auf die Entwicklung der guten Schule durch eine Evaluation „von oben“. *Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Pädagogik* **80**(4), S. 415-441.
- BRÜGELMANN, HANS (2005): Schule verstehen und gestalten. Perspektiven der Forschung auf Probleme von Erziehung und Unterricht. Lengwil: Libelle.
- BRÜGELMANN, HANS (2007): Wie können Novizen lernen, was Könner nicht wissen? Zur notwendigen Illusion der Lehrbarkeit von Schlüsselqualifikationen und Basiskompetenzen. Vortrag anlässlich der Eröffnung des Kompetenzzentrums zur Vermittlung fachübergreifender Qualifikationen an der Universität Siegen am 20.4.2007. Verfügbar über: <http://forum-kritische-paedagogik.de/start/request.php?354> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- BRÜGELMANN, H.; BACKHAUS, A.; BRINKMANN, E.; COELEN, H.; FRANZKOWIAK, T.; KNORRE, S.; MÜLLER-NAENDRUP, B.; OSER, E.; ROTH, S. (2006): Sind Noten nützlich und nötig? Ziffernzensuren und ihre Alternativen im empirischen Vergleich. Eine wissenschaftliche Expertise des Grundschulverbandes, erstellt von der Arbeitsgruppe Primarstufe der Universität Siegen. Frankfurt/M.: Grundschulverband e.V.
- BRÜGELMANN, H. & HEYMANN, H. W. (2002): PISA 2000: Befunde, Deutungen, Folgerungen. (Langfassung des Artikels aus PÄDAGOGIK 54 (2002), Heft 3, S. 40-43). Verfügbar über: <http://www.agprim.uni-siegen.de/printbrue/brue-pisa.02r.pdf> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- BOURTSCHIEDT, K.; HOFFMANN-LINDEN, G.; KÖDDING, H.; SCHMID, A. (1997): Proctor & Gamble. Werk Euskirchen. In: G. Vollmer & C. Merschhemke (Hrsg.): Chemie in Köln und Umgebung. Unterrichtseinheiten zur Öffnung des Chemieunterrichts. Bonn: I & S GmbH. [keine fortlaufende Paginierung]

- BOVET, GISLINDE (1998): Lernpsychologie für die Schule. In: G. Bovet & V. Huwendiek (Hrsg.): Leitfaden Schulpraxis. Pädagogik und Psychologie für den Lehrerberuf. 2., erw. u. bearb. Auflage. Berlin: Cornelsen, S. 159-194.
- BUCHEN, BETTINA (2004): Naturwissenschaftliches Vorgehen reflektieren – methodologische Vorbereitung für offenes Experimentieren im Chemieunterricht. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe II mit Zusatzprüfung für die Sekundarstufe I. Siegen: Unveröffentlicht.
- BUCK, PETER (1985): „Material“, „Stoff“, „Element“ – Von der Ausblendung des Prozessualen in der Chemie. *Chimica didactica* **11**(1), S. 27-44.
- BUCK, PETER (1994): Stoff als Stoff. Von der wirklichkeitsauflösenden Wirkung des herkömmlichen präzisen Stoffbegriffs und den Schwierigkeiten, stattdessen einen exakten, existentialrelevanten Stoffbegriff zu entwickeln. *Chimica didactica* **20**(3), S. 222-236.
- BUCK, PETER (1995a): Über die allmähliche Überwindung des Irrtums, es ginge im Chemieunterricht um Naturerkenntnis. *Chimica didactica* **21**(3), S. 175-180.
- BUCK, PETER (1995b): Vier Essentials – Kommentar zu meinem „Splitter“ „Wieviele Wasserarten gibt es?“. In: Ders. & E.-M. Kranich (Hrsg.): Auf der Suche nach dem erlebbaren Zusammenhang. Überschene Dimensionen der Natur und ihre Bedeutung in der Schule. Weinheim, Basel: Beltz, S. 78-86.
- BUCK, PETER (1996a): Präzise und Exakte Begriffsbildung – oder: Was die Chemiker mit ihrer Formel- und Fachsprache notorisch übersehen und terminologisch unberücksichtigt lassen. In: P. Janich & N. Psarros (Hrsg.): Die Sprache der Chemie. 2. Erlenmeyer-Kolloquium zur Philosophie der Chemie. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 3-12.
- BUCK, Peter (1996b): Über physikalische und chemische Zugriffsmodi. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **2**(3), S. 25-28.
- BYBEE, RODGER W. (1997): Toward an Understanding of Scientific Literacy. In: W. Gräber & C. Bolte (Eds.): Scientific literacy – An international symposium. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), S. 37-68.
- BYBEE, RODGER W. (2000): Teaching Science as Inquiry. In: J. Minstrell & E. H. v. Zee (Eds.): Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science. Washington: American Association for the Advancement of Science, S. 20-46.
- BYBEE, RODGER W. (2002): Scientific Literacy – Mythos oder Realität? In: W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, R. Evans (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich, S. 21-43.
- BYBEE, RODGER W. (2003): The Teaching of Science: Content, Coherence, and Congruence. *Journal of Science Education and Technology* **12**(4), S. 343-358.
- CAREY, S.; EVANS, R.; HONDA, M.; JAY, E.; UNGER, C. (1989): 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education* **11**(special issue), S. 514-529.
- CENTRAL ASSOCIATION OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS (1909): A consideration of the principles that should determine the courses in biology in the secondary schools. *School Science and Mathematics* **9**(3), S. 241-247.
- CHAMBERS, DAVID WADE (1983): Stereotypic Images of the Scientist: The Draw-A-Scientist Test. *Science Education* **67**(2), S. 255-265.
- CHEN, SUFEN (2006): Development of an Instrument to Assess Views on Nature of Science and Attitudes Toward Teaching Science. *Science Education* **90**(5), S. 803-819.
- CHRISTEN, HANS RUDOLF (2000): Chemieunterricht: gestern, heute, morgen. *CHEMKon* **7**(2), S. 64-68.
- CIOMPI, LUC (1994): Affektlogik – die Untrennbarkeit von Fühlen und Denken. In: J. Fedrowitz; D. Matejovski; G. Kaiser (Hrsg.): Neuroworlds. Gehirn – Geist – Kultur. Frankfurt/M., New York: Campus, S. 117-130.
- CLARKE, JUDY (1994): Pieces of the Puzzle: The Jigsaw Method. In: S. Sharan (Ed.): Handbook of Cooperative Learning Methods. Westport: Greenwood Press, S. 34-50.
- COLBURN, ALAN (2000): An Inquiry Primer. *Science Scope* **23**(6), S. 42-45.
- COLLINS, A.; BROWN, J. S.; NEWMAN, S. E. (1989): Cognitive Apprenticeship: Teaching the Crafts of Reading, Writing, and Mathematics. In: L. B. Resnick (Ed.): Knowing, Learning, and Instruction. Essays in Honor of Robert Glaser. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum, S. 453-494.

- COPEPES 1972 = Conceptually Oriented Program in Elementary Science (1972): Teacher's Guide for Kindergarten/Grade One. Preliminary Edition. New York: New York University, Center for Educational Research and Field Service.
- CTGV 1997 = The Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1997): The Jasper Project. Lessons in Curriculum, Instruction, Assessment, and Professional Development. Mahwah, New Jersey: Erlbaum.
- DAHMS, HANS-JOACHIM (1994): Positivismusstreit. Die Auseinandersetzungen der Frankfurter Schule mit dem logischen Positivismus, dem amerikanischen Pragmatismus und dem kritischen Rationalismus. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- DEBOER, GEORGE E. (1991): A History of Ideas in Science Education. Implications for Practice. New York: Teachers' College Press.
- DEBOER, GEORGE E. (2004): Historical Perspectives on Inquiry Teaching in Schools. In: L.B. Flick & N.G. Lederman (Eds.): Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 17-35.
- DENZIN, NORMAN K. (1978): The Research Act. A Theoretical Introduction to Sociological Methods. New York: McGraw-Hill.
- DENZIN, N.K. & LINCOLN, Y.S. (1994): Introduction. Entering the Field of Qualitative Research. In: N.K. Denzin & Y.S. Lincoln (Eds.): Handbook of Qualitative Research. Thousand Oaks, London, New Delhi: Sage, S. 1-17.
- DEUTSCHES PISA-KONSORTIUM (Hrsg.) (2000): Schülerleistungen im internationalen Vergleich. Eine neue Rahmenkonzeption für die Erfassung von Wissen und Fähigkeiten. Berlin: Max-Planck-Institut für Bildungsforschung.
- DIEKMANN, ANDREAS (1998): Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Reinbek: Rowohlt's Enzyklopädie.
- DITUS, S. & MAYER, M. (1992): Bibliographie Chemie und Geisteswissenschaften. In: J. Mittelstraß & G. Stock (Hrsg.): Chemie und Geisteswissenschaften. Versuch einer Annäherung. Berlin: Akademie, S. 217-333.
- DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R.; SCOTT, P. (1996): Young people's images of science. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- DUIT, REINDERS (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik* **41**(6), S. 905-923.
- DUIT, REINDERS (2000): Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In: Ders. & C. v. Rhöneck (Hrsg.): Ergebnisse fachdidaktischer Lehr-Lernforschung. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Nr. 169. Kiel: IPN, S. 77-103.
- DUIT, R.; HÄUBLER, P.; PRENZEL, M. (2001): Schulleistungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung. In: F. E. Weinert (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim, Basel: Beltz, S. 169-185.
- DUNKHASE, JOHN A. (2003): The Coupled-Inquiry Cycle: A Teacher Concerns-based Model for Effective Student Inquiry. *Science Educator* **12**(1), S. 10-15.
- EDELMANN, WALTER (2000): Lernpsychologie. 6., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: BeltzPVU.
- ELLIOT, MARK (o.J.): Superabsorbent Polymers. BASF Aktiengesellschaft.  
Verfügbar über: <http://www.functionalpolymers.basf.com/portal/streamer?fid=286901> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- ENGELN, K. & EULER, M. (2005): Experimentieren im Schülerlabor: Forschen statt Pauken. In: Dies. (Hrsg.): Physikunterricht modernisieren. Erfahrungen aus Kooperationsprojekten zwischen Schule und Wissenschaft. Kiel: IPN, S. 67-90.
- ERPENBECK, JOHN & ROSENSTIEL, LUTZ VON (2003): Einführung. In: Dies. (Hrsg.): Handbuch Kompetenzmessung. Erkennen, Verstehen und Bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. IX-XL.
- EULER, MANFRED (2005): Physikunterricht modernisieren. In: K. Engeln & M. Euler (Hrsg.): Physikunterricht modernisieren. Erfahrungen aus Kooperationsprojekten zwischen Schule und Wissenschaft. Kiel: IPN, S. 13-36.
- FALBE, J. & REGITZ, M. (Hrsg.) (1989): Römpp Chemie-Lexikon. Bd. 1. A-Cl. 9., erw. und neubearb. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme.
- FALBE, J. & REGITZ, M. (Hrsg.) (1990): Römpp Chemie-Lexikon. Bd. 2. Cm-G/Bd. 3. H-L. 9., erw. und neubearb. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme.

- FALBE, J. & REGITZ, M. (Hrsg.) (1991): Römpp Chemie-Lexikon. Bd. 4. M-Pk/Bd. 5. Pl-S. 9., erw. und neubearb. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme.
- FAUSER, PETER (Hrsg.) (1996): Wozu die Schule da ist. Eine Streitschrift der Zeitschrift Neue Sammlung. Seelze: Friedrich.
- FAZ (2001) = Anonymus: Miserable Noten für deutsche Schüler. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 4.12.2001.
- FEILKE, HELMUTH (1994a): Common sense-Kompetenz. Überlegungen zu einer Theorie des „sympathischen“ und „natürlichen“ Meinens und Verstehens. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- FEILKE, HELMUTH (1994b): Ohne Netz und Spiegel. Wie bestimmt Sprache das Bewußtsein? *Der Deutschunterricht* **46**(4), S. 71-81.
- FEILKE, H. & SCHMIDT, S. J. (1995): Denken und Sprechen. Anmerkungen zur strukturellen Kopplung von Kognition und Kommunikation. In: J. Trabant (Hrsg.): Sprache denken. Positionen aktueller Sprachphilosophie. Frankfurt/M.: Fischer.
- FISCHER, AXEL (2000): Der Feuerlöscher in der Babywindel: Superabsorber halten kleine Popos trocken. In: H.-J. Quadbeck-Seeger & A. Fischer (Hrsg.): Die Babywindel und 34 andere Chemiegeschichten. Weinheim: WILEY-VCH, S. 145-152.
- FISCHER, H. E.; KLEMM, K.; LEUTNER, D.; SUMFLETH, E.; TIEMANN, R.; WIRTH, J. (2003): Naturwissenschaftsdidaktische Lehr-Lernforschung: Defizite und Desiderata. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **9**, S. 179-209.
- Flick, L. B. & LEDERMAN, N. G. (2004): Introduction. In: L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.): Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. ix-xviii.
- Flick, UWE (21995): Stationen des qualitativen Forschungsprozesses. In: Ders.; E. v. Kardorff; H. Keupp; L. v. Rosenstiel; S. Wolff (Hrsg.): Handbuch qualitative Sozialforschung. Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen. Weinheim: Beltz, S. 147-173.
- Flick, UWE (31998): Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften. Reinbek: Rowohlt's Enzyklopädie.
- Flick, UWE (2004): Triangulation. Eine Einführung. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- FLADT, R. & BUCK, P. (1996): Ein Dialog über die Funktion der Teilchenmodelle im Chemieunterricht. *Chemie in der Schule* **43**(2), S. 69-72.
- FOERSTER, H. V. & PÖRKSEN, B. (1998): Wahrheit ist die Erfindung eines Lügners. Gespräche für Skeptiker. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme.
- FREISE, GERDA (1974): Vorwort und Einführung. In: Nuffield-Chemie. Unterrichtsmodelle für das 5. und 6. Schuljahr. Grundkurs Stufe 1. Übersetzt v. Helmut Dengler und Barbara Schröder (Bearbeiterin). Mit einer Einführung von Gerda Freise. Heidelberg: Quelle & Meyer, S. 1-19.
- FREY-EILING, A. & FREY, K. (32002): Gruppenpuzzle. In: J. Wiechmann (Hrsg.): Zwölf Unterrichtsmethoden. Vielfalt für die Praxis. Weinheim, Basel: Beltz, S. 50-57.
- FRIES, E. & ROSENBERGER, R. (51981): Forschender Unterricht. Ein Beitrag zur Didaktik und Methodik des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts in allgemeinbildenden Schulen, mit besonderer Berücksichtigung der Sekundarstufen. Frankfurt/M.: Diesterweg.
- FUCHS, HANS-WERNER (2003): Auf dem Weg zu einem Weltcurriculum? Zum Grundbildungskonzept von PISA und der Aufgabenzuweisung an die Schule. *Zeitschrift für Pädagogik* **49**(2), S. 161-179.
- GAGNÉ, ROBERT M. (1963): The learning requirements for enquiry. *Journal of Research in Science Teaching* **1**(2), S. 144-153.
- GERSTENMAIER, J. & MANDL, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik* **41**(6), S. 867-888.
- GIESECKE, HERMANN (1996): Wozu ist die Schule da? In: P. Fauser (Hrsg.): Wozu die Schule da ist. Eine Streitschrift der Zeitschrift Neue Sammlung. Seelze: Friedrich, S. 5-16.
- GLASERSFELD, ERNST VON (1981, 182006): Einführung in den radikalen Konstruktivismus. In: P. Watzlawick (Hrsg.): Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus. 18. Aufl. München: Piper, S. 16-38.
- GOETHE, JOHANN WOLFGANG (1810): Zur Farbenlehre. In: K. Richter (Hrsg.) (1989): Johann Wolfgang Goethe. Sämtliche Werke nach Epochen seines Schaffens. Bd. 10. München: Hanser.
- GÖTHLICH, A.; KOLTZENBURG, S.; SCHORNICK, G. (2005): Funktionale Polymere im Alltag. *Chemie in unserer Zeit* **39**(4), S. 262-273.

- GRÄBER, WOLFGANG (1992a): Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in der Schule* **39**(7/8), S. 270-273.
- GRÄBER, WOLFGANG (1992b): Interesse am Unterrichtsfach Chemie, an Inhalten und Tätigkeiten. *Chemie in der Schule* **39**(10), S. 354-358.
- GRÄBER, W. & NENTWIG, P. (2002): Scientific Literacy – Naturwissenschaftliche Grundbildung in der Diskussion. In: W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, R. Evans (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich, S. 7-20.
- GRÄBER, W.; NENTWIG, P.; NICOLSON, P. (2002): Scientific Literacy – von der Theorie zur Praxis. In: W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, R. Evans (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich, S. 135-145.
- GRÄSEL, C. & PARCHMANN, I. (2004): Die Entwicklung und Implementation von Konzepten situierten, selbstgesteuerten Lernens. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* **7**, Beiheft 3, S. 171-184.
- GRÖGER, MARTIN (1996): Fiktionen in ihrer Bedeutung für chemische Forschungsprozesse und das Lernen von Chemie – dargestellt an der Genese des OSTWALDschen Verdünnungsgesetzes und an dem Problem des Konzeptwechsels. Dissertation. Siegen: Universität Gesamthochschule Siegen.
- GRÖGER, MARTIN (2004): Experimentieren in Facharbeiten – einige Aspekte aus Schülersicht. In: A. Pitton (Hrsg.): Chemie- und physikdidaktische Forschung und naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Münster: LIT, S. 293-295.
- GRÖGER, M.; SCHMITZ, J.; HOFHEINZ, V. (2002): Fragen aus dem realen Leben. Aufgaben in Anlehnung an die PISA-Studie. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* **13**(67), S. 21-23.
- GRYGIER, P.; GÜNTHER, J.; KIRCHER, E. (Hrsg.) (2004): Über Naturwissenschaften lernen. Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- GUDJONS, HERBERT (1993): Pädagogisches Grundwissen. Überblick – Kompendium – Studienbuch. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- GUDJONS, HERBERT (2004): Was ist eigentlich „offen“ am Offenen Unterricht? Zur Einführung in den Themenschwerpunkt. *Pädagogik* **56**(12), S. 6-9.
- GÜNTHER, JOHANNES (2006): Lehrerfortbildung über die Natur der Naturwissenschaften. Studien über das Wissenschaftsverständnis von Grundschullehrkräften. Berlin: Logos.
- HACKING, IAN (1996): Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften. Aus dem Englischen übersetzt von Joachim Schulte. Stuttgart: Reclam.
- HÄUSLER, KARL (1981): Experiment. Theorie – Wirklichkeit. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik/Chemie* **29**(6), S. 221-226.
- HÄUSLER, KARL (1997): Zur Geschichte des Chemieunterrichts. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): Konkrete Fachdidaktik Chemie. Neuauflage 1997. München: Oldenbourg, S. 10-41.
- HAMMANN, MARCUS (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle. Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. *MNU* **57**(4), S. 196-203.
- HAMMER, HANS OTTO (1995): Säure-Base-Vorstellungen. Geschichtliche Entwicklung eines Begriffspaares. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* **44**(1), S. 36-45
- HANUSCIN, D. L.; AKERSON, V. L.; PHILLIPSON-MOWER, T. (2006): Integrating Nature of Science Instruction into a Physical Science Content Course for Preservice Elementary Teachers. NOS Views of Teaching Assistants. *Science Education* **90**(5), S. 912-935.
- HARMS, U.; MAYER, J.; HAMMANN, M.; BAYRHUBER, H.; KATTMANN, U. (2004): Kerncurriculum und Standards für den Biologieunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In: H.-E. Tenorth (Hrsg.): Kerncurriculum Oberstufe II. Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik. Expertisen – im Auftrag der Ständigen Konferenz der Kultusminister. Weinheim, Basel: Beltz, S. 22-84.
- HEYMANN, HANS WERNER (1996): Allgemeinbildung und Mathematik. Studien zur Schulpädagogik und Didaktik. Band 13. Weinheim, Basel: Beltz.
- HEYMANN, HANS WERNER (1997): Zur Einführung: Allgemeinbildung als Aufgabe der Schule und als Maßstab für Fachunterricht. In: Ders. (Hrsg.): Allgemeinbildung und Fachunterricht. Hamburg: Bergmann + Helbig, S. 7-17.
- HEYMANN, HANS WERNER (1999): Was ist guter Mathematikunterricht? Statement auf der Fachtagung „Unterrichtsqualität – Erfolgreiche Lehr- und Lernformen aus fachdidaktischer Sicht“, LSW Soest, am 8. November 1999. Verfügbar über:  
<http://www.learn-line.nrw.de/angebote/qualitaetsentwicklung/download/hey mann.doc> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]

- HEYMANN, HANS WERNER (2004): Besserer Unterricht durch Sicherung von „Standards“? *Pädagogik* **56**(6), S. 6-9.
- HODSON, DEREK (1993): Re-thinking Old Ways: Towards A More Critical Approach To Practical Work In School Science. *Studies in Science Education* **22**, S. 85-142.
- HODSON, DEREK (1998): Science Fiction: the continuing misrepresentation of science in the school curriculum. *Curriculum Studies* **6**(2), S. 191-216.
- HODSON, DEREK (1999): Building a Case for a Sociocultural and Inquiry-Oriented View of Science Education. *Journal of Science Education and Technology* **8**(3), S. 241-249.
- HODSON, DEREK (2003): Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education* **25**(6), S. 645-670.
- HODSON, DEREK (2005): What is Scientific Literacy and why do we need it? *The Morning Watch – Social and Educational Analysis* **33**(1-2). Verfügbar über: <http://www.mun.ca/educ/faculty/mwatch/fall05/hodson.htm> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- HÖBLE, C; HÖTTECKE, D.; KIRCHER, E. (Hrsg.) (2004): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2001a): Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Berlin: Logos.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2001b): Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **7**, S. 7-23.
- HÖTTECKE, DIETMAR (2004): Wissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: C. Höble; D. Höttecke; E. Kircher (Hrsg.): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 43-56.
- HÖTTECKE, D. & RIEB, F. (2007): Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften – eine explorative Studie. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* **6**(1), S. 1-14.
- HOFHEINZ, VOLKER (im Druck): Allgemeinbildung durch Chemieunterricht im *literacy*-Zeitalter? *Chimica et ceterae artes rerum naturae didacticae* **34**(100)
- HOFHEINZ, V. & BUCHEN, B. (2006a): Forschern auf die Finger geschaut – ein Gruppenpuzzle zur Reflexion naturwissenschaftlicher Vorgehensweisen ab der Jahrgangsstufe 10. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule* **55**(5), S. 42-45.
- HOFHEINZ, V. & BUCHEN, B. (2006b): Online-Ergänzung zum Beitrag: Forschern auf die Finger geschaut – Ein Gruppenpuzzle zur Reflexion naturwissenschaftlicher Vorgehensweisen ab der Jahrgangsstufe 10 von V. Hofheinz und B. Buchen. Puzzle mit Lösung.  
Verfügbar über: [http://www.aulis.de/zeitschriften/ergaenzungen/pdn\\_chemie/07-2006/Hofheinz\\_Buchen/Puzzle\\_ohne\\_Loesung.pdf](http://www.aulis.de/zeitschriften/ergaenzungen/pdn_chemie/07-2006/Hofheinz_Buchen/Puzzle_ohne_Loesung.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- HOFHEINZ, V. & BUCHEN, B. (2006c): Online-Ergänzung zum Beitrag: Forschern auf die Finger geschaut – Ein Gruppenpuzzle zur Reflexion naturwissenschaftlicher Vorgehensweisen ab der Jahrgangsstufe 10 von V. Hofheinz und B. Buchen. Anhang.  
Verfügbar über: [http://www.aulis.de/zeitschriften/ergaenzungen/pdn\\_chemie/07-2006/Hofheinz\\_Buchen/Anhang.pdf](http://www.aulis.de/zeitschriften/ergaenzungen/pdn_chemie/07-2006/Hofheinz_Buchen/Anhang.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- HOFHEINZ, V. & GRÖGER, M. (2004): Konzeptuell fundiertes naturwissenschaftliches Arbeiten. In: A. Pitton (Hrsg.): Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Jahrestagung der GDGP in Heidelberg 2004. Band 25. Münster: LIT, S. 181-183.
- HOFHEINZ, V.; SCHARF, V.; SCHOLZ, M.; WOYKE, A. (1999): Buchbesprechung. 'Nikos Psarros: Die Chemie und ihre Methoden. Eine philosophische Betrachtung. Weinheim: Wiley-VCH, 1999'. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **5**(3), S. 89-93.
- HOFHEINZ, V.; SCHMITZ, J.; GRÖGER, M. (2004): Rotwein in der Schule? Aufgaben zu Basiskompetenzen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **15**(82/83), S. 50-53.
- HOFSTEIN, A. & LUNETTA, V. N. (2004): The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education* **88**(1), S. 28-54.
- HOOPS, WIKLEF (1998): Konstruktivismus. Ein neues Paradigma für Didaktisches Design? *Unterrichtswissenschaft* **26**(3), S. 229-253.
- HOPMANN, S. & RIQUARTS, K. (1995): Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. In: Dies. in Zusammenarbeit mit W. Klafki und A. Krapp (Hrsg.): Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz (33. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik), S. 9-34.

- HOLSTI, OLE R. (1969): Content Analysis for the Social Science and Humanities. Reading/Massachusetts: Addison-Wesley.
- HOWE, E. M. & RUDGE, D. W. (2005): Recapitulating the History of Sickle-Cell Anemia Research. Improving Students' NOS Views Explicitly and Reflectively. *Science & Education* **14**(3-5), S. 423-441.
- HUBER, GÜNTER L. (2000): Lernen in kooperativen Arrangements. In: R. Duit & C. v. Rhöneck (Hrsg.): Ergebnisse fachdidaktischer Lehr-Lernforschung. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Nr. 169. Kiel: IPN, S. 55-76.
- HURD, PAUL DEHART (1958): Science literacy: Its Meaning for American Schools. *Educational Leadership* **16**(1), S. 13-16, 52.
- HURD, PAUL DEHART (1998): Scientific Literacy: New Minds for a Changing World. *Science Education* **82** (3), S. 407-416.
- JANICH, PETER (1992): Grenzen der Naturwissenschaft. Erkennen als Handeln. München: Beck.
- JANICH, PETER (1994): Wozu Philosophie der Chemie? *Chemie in unserer Zeit* **28**(3), S. 139-146.
- JANICH, PETER (1997): Kleine Philosophie der Naturwissenschaften. München: Beck.
- JANK, W. & MEYER, H. (2003): Didaktische Modelle. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- JUNG, WALTER (1978): Geschichte der Naturwissenschaften im naturwissenschaftlichen Unterricht – Pro und Contra. Versuch einer fachdidaktischen Summe. In: M. Ewers (Hrsg.): Wissenschaftsgeschichte und naturwissenschaftlicher Unterricht. Bad Salzdetfurth: Franzbecker, S. 29-53.
- JUNG, WALTER (1993): Hilft die Entwicklungspsychologie dem Naturwissenschaftsdidaktiker? In: R. Duit & W. Gräber (Hrsg.): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Nr. 135. Kiel: IPN, S. 86-108.
- JÜRGENS, EIKO (2000): Die 'neue' Reformpädagogik und die Bewegung Offener Unterricht. Theorie, Praxis und Forschungslage. Sankt Augustin: Academia.
- KÄSER, UDO & RÖHR-SENDLMEIER, UNA M. (2002): Inzidentelles Lernen in verschiedenen Lebensaltern. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* **49**(3), S. 225-236.
- KAHNT, H. & KNORR, B. (1987): Alte Maße, Münzen und Gewichte. Mannheim, Wien, Zürich: Bibliographisches Institut.
- KALLMEYER, W. & SCHÜTZE, F. (1977): Zur Konstitution von Kommunikationsschemata der Sachverhaltsdarstellung. In: D. Wegner (Hrsg.): Gesprächsanalysen. Vorträge, gehalten anlässlich des 5. Kolloquiums des Instituts für Kommunikationsforschung und Phonetik, Bonn, 14. - 16. Oktober 1976. Hamburg: Buske, S. 159-274.
- KANT, IMMANUEL (1787): Vorrede zur zweiten Auflage. In: Ders. (1781/1787): Kritik der reinen Vernunft. Nach der ersten und zweiten Orig.-Ausg. hrsg. v. Raymund Schmidt. Mit einer Bibliogr. von Heiner Klemme. Hamburg: Meiner, 1993, S. 14-36.
- KELLE, UDO (1999): Integration qualitativer und quantitativer Methoden. Beitrag für die „CAQD 1999 – Computergestützte Analyse qualitativer Daten“ am 7. und 8. Oktober 1999 in Marburg.  
Verfügbar über: <http://www.maxqda.de/downloads/VTKelle.pdf> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- KEMP, ANDREW CARL (2002): Science Educators' Competing Views on the Goal of Scientific Literacy. Dissertation. Georgia: University of Georgia. Verfügbar über:  
[http://getd.galib.uga.edu/public/kemp\\_andrew\\_c\\_200205\\_phd/kemp\\_andrew\\_c\\_200205\\_phd.pdf](http://getd.galib.uga.edu/public/kemp_andrew_c_200205_phd/kemp_andrew_c_200205_phd.pdf)  
[Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- KHISHFE, R. & ABD-EL-KHALICK, F. (2002): Influence of Explicit and Reflective versus Implicit Inquiry-Oriented Instruction on Sixth Graders' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **39**(7), S. 551-578.
- KIPPENHAHN, RUDOLF (1994): Atom. Forschung zwischen Faszination und Schrecken. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- KIRCHER, E. & DITTMER, A. (2004): Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften – ein Überblick. In: C. Höble; D. Höttecke; E. Kircher (Hrsg.): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 2-22.
- KLAFKI, WOLFGANG (1963): Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Durch ein kritisches Vorwort ergänzte Auflage 1975. Weinheim, Basel: Beltz.
- KLAFKI, WOLFGANG (1985): Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Beiträge zur kritisch-konstruktiven Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz.

- KLAFKI, WOLFGANG (1990): Abschied von der Aufklärung? Grundzüge eines bildungstheoretischen Gegenentwurfs. In: H.-H. Krüger (Hrsg.): Abschied von der Aufklärung? Perspektiven der Erziehungswissenschaft. Opladen: Leske + Budrich, S. 91-104.
- KLIEME, E.; AVENARIUS, H.; BLUM, W.; DÖBRICH, P.; GRUBER, H.; PRENZEL, M.; REISS, K.; RIQUARTS, K.; ROST, J.; TENORTH, H.-E.; VOLLMER, H. J. (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise. Berlin.
- KMK (2005a) = Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005): Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz. Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung. München, Neuwied: Luchterhand.
- KMK (2005b) = Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005): Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Luchterhand.
- KÖHLER-KRÜTZFELDT, ANGELA (2001a): Entwicklung und Evaluation von Lernzyklen zum Thema „Maßgeschneiderte Polymere“ im Rahmen der Konzeption Chemie im Kontext. Dissertation. Dortmund: Universität Dortmund. Verfügbar über: [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=963473824&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=963473824.pdf](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?idn=963473824&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=963473824.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- KÖHLER-KRÜTZFELDT, ANGELA (2001b): Superabsorbierende Polymere – Kunststoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften. *MNU* 54(3), S. 163-168.
- KÖRNER, STEPHAN (1976): Induktion. II. Neuzeit. In: J. Ritter & K. Gründer (Hrsg.): Historisches Wörterbuch der Philosophie. Völlig neubearbeitete Ausgabe des 'Wörterbuchs der philosophischen Begriffe' von Rudolf Eisler. Band 4: I-K. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 329-332.
- KRAPPMANN, LOTHAR (1975): Soziologische Dimensionen der Identität. Strukturelle Bedingungen für die Teilnahme an Interaktionsprozessen. Stuttgart: Klett.
- KRÜNITZ, JOHANN GEORG (1795, 1806): Oekonomische Encyclopädie oder allgemeines System der Staats-Stadt- Haus- und Landwirthschaft, in alphabetischer Ordnung. Band 66: Lauf - Lebens=Ambra. Verfügbar über: [http://www.kruenitz1.uni-trier.de/background/entries\\_vol066a.htm](http://www.kruenitz1.uni-trier.de/background/entries_vol066a.htm) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- KUCKARTZ, UDO (2005): Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- KUECH, ROBERT (2004): Professional Development in Elementary Science Content: Effects on Views and Understandings of NOS. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research on Science Teaching (NARST) 2004, April 1-3, in Vancouver, Canada.
- KUHN, THOMAS S. (1976): Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Zweite revidierte und um das Postskriptum von 1969 ergänzte Auflage. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- KURDZIEL, J. & LIBARKIN, J. C. (2002): Research Methodologies in Science Education: Students' Ideas About the Nature of Science. *Journal of Geoscience Education* 50(3), S. 322-329.
- KUTSCHMANN, WERNER (1999): Naturwissenschaft und Bildung. Der Streit der „Zwei Kulturen“. Stuttgart: Klett-Cotta.
- LABAHN, B. & BECKER, H.-J. (2001): Chemie-Olympioniken und ihr Interesse an Chemie. In: R. Brechel (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven. Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Berlin, September 2000. Alsbach: Leuchtturm, S. 233-235.
- LAKATOS, IMRE (1982): Die Methodologie der wissenschaftlichen Forschungsprogramme. Philosophische Schriften. Band 1. Hrsg. v. John Worrall und Gregory Currie. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- LAUGKSCH, RÜDIGER C. (2000): Scientific Literacy: A Conceptual Overview. *Science Education* 84(1), S. 71-94.
- LAVOISIER, ANTOINE LAURENT DE (1778): Allgemeine Betrachtungen über die Natur der Säuren und über die Prinzipien, aus denen sie zusammengesetzt sind. In: Ders.: Das Wasser. Übers. u. hrsg. von Dr. Finkelshtein. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 230. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1930, S. 35-44.
- LEDERMAN, NORMAN G. (1992): Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching* 29(4), S. 331-359.
- LEDERMAN, NORMAN G. (2004): Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction. In: L.B. Flick & N.G. Lederman (Eds.): Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 301-317.

- LEDERMAN, N. G. & ABD-EL-KHALICK, F. (1998): Avoiding De-Natured Science: Activities that Promote Understandings of the Nature of Science. In: W. F. McComas (Ed.): *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 83-126.
- LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L.; SCHWARTZ, R. S. (2002): Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **39**(6), S. 497-521.
- LEDERMAN, N. G. & O'MALLEY, M. (1990): Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education* **74**(2), S. 225-239.
- LEDERMAN, N. G.; SCHWARTZ, R.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R. L. (2001): Preservice teachers' understanding and teaching of nature of science: An intervention study. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education* **1**(2), p. 135-160.
- LEDERMAN, N. G.; WADE, P. D.; BELL, R. L. (1998): Assessing the Nature of Science: What is the Nature of our Assessments? *Science and Education* **7**(6), S. 595-615.
- LIEBIG, JUSTUS VON (1863): *Über Francis Bacon von Verulam und die Methode der Naturforschung*. München: Cotta.
- LIND, GEORG (2007): Wozu eigentlich „Offener Unterricht“? Begründungen und Legitimation. *Schulmagazin 5-10* **75**(2), S. 9-12.
- LÖBNER, SEBASTIAN (2003): *Semantik. Eine Einführung*. Berlin, New York: deGruyter.
- LONGBOTTOM, J. E.; BUTLER, P. H. (1999): Why Teach Science? Setting Rational Goals for Science Education. *Science Education* **83**(4), S. 473-492.
- LOOB, MAIKE (2004): Hands on! Mind off? Anmerkungen zur Didaktik in Science Centers. In: K. Höner; M. Loob; R. Müller (Hrsg.): *Studienmaterial zu interdisziplinären Aspekten der Naturwissenschaftsdidaktiken*. Münster: LIT, S. 11-26.
- LUNETTA, VINCENT N. (1998): The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 249-262.
- LURIJA, ALEXANDER ROMANOWITSCH (1982): *Sprache und Bewußtsein*. Köln: Pahl-Rugenstein.
- LUTZ, B. & PFEIFER, P. (1997): Alltag und Chemie. In: P. Pfeifer, K. Häusler, B. Lutz (Hrsg.): *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. Neuaufgabe 1997. München: Oldenbourg, S. 70-79.
- MALEK, R. & STYLIANIDOU, F. (2006): Einstein Year Evaluation: Results from survey of pupils' attitudes to science and scientists. Appendices. Institute of Education, University of London.  
Verfügbar über: [http://k1.ioe.ac.uk/slcl/researchreports/EYAttitudeSurveyReport\\_Appendix\\_Final.pdf](http://k1.ioe.ac.uk/slcl/researchreports/EYAttitudeSurveyReport_Appendix_Final.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- MARTIN-HANSEN, LISA (2002): Defining inquiry. Exploring the many types of inquiry in the science classroom. *The Science Teacher* **69**(2), S. 34-37.
- MATURANA, HUMBERTO R. (1985): *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit*. Ausgewählte Arbeiten zur biologischen Epistemologie. 2., durchges. Aufl. Autoris. dt. Fassung von Wolfram K. Köck. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- MAYER, JÜRGEN (2004): Qualitätsentwicklung im Biologieunterricht. *MNU* **57**(2), S. 92-99.
- MAYNTZ, R. & SCHARPE, F. W. (1995): Der Ansatz des akteurszentrierten Institutionalismus. In: Dies. (Hrsg.): *Gesellschaftliche Selbstregulierung und politische Steuerung*. Schriften des Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung Köln, Bd. 23. Frankfurt/M., New York: Campus, S. 39-72.
- MAYRING, PHILIPP (2001): Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse. *Forum Qualitative Sozialforschung* **2**(1). Verfügbar über: <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/1-01/1-01mayring-d.htm> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- MAYRING, PHILIPP (2003): *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Basel: Beltz.
- MAYRING, P. & GLÄSER-ZIKUDA, M. (Hrsg.) (2005): *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim, Basel: Beltz.
- MCCOMAS, WILLIAM F. (1996): Ten Myths of Science: Reexamining What We Think We Know About the Nature of Science. *School Science and Mathematics* **96**(1), S. 10-16.
- MCCOMAS, WILLIAM F. (2005): Seeking NOS standards: What content consensus exists in popular books on the nature of science? Paper presented at the annual conference of the National Association of Research in Science Teaching (NARST), Dallas/TX, April 2005.  
Verfügbar über: [http://coehp.uark.edu/pase/05\\_NARST.pdf](http://coehp.uark.edu/pase/05_NARST.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]

- MCCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. (1998): The Role And Character of The Nature of Science in Science Education. In: W. F. McComas (Ed.): *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 3-39.
- MEAD, M. & MÉTRAUX, R. (1957): Image of the Scientist among High-School Students. A Pilot Study. *Science* **126** (3270), S. 384-390.
- MELLE, I.; PARCHMANN, I.; SUMFLETH, E. (2004): Kerncurriculum Chemie – Ziele, Rahmenbedingungen und Ansatzpunkte. In: H.-E. Tenorth (Hrsg.): *Kerncurriculum Oberstufe II. Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik. Expertisen – im Auftrag der Ständigen Konferenz der Kultusminister*. Weinheim, Basel: Beltz, S. 85-147.
- MERTEN, KLAUS (21995): Inhaltsanalyse. Einführung in Theorie, Methode und Praxis. Opladen: Westdeutscher.
- MESSNER, RUDOLF (2003): PISA und Allgemeinbildung. *Zeitschrift für Pädagogik* **49**(3), S. 400-412.
- MEYER, HILBERT (21993): Leitfaden zur Unterrichtsvorbereitung. Frankfurt/M.: Cornelsen Scriptor.
- MEYER, HILBERT (2004): Was ist guter Unterricht? Berlin: Cornelsen Scriptor.
- MEYLING, HEINZ (2004): Erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Texte. In: C. Höbke; D. Höttecke; E. Kircher (Hrsg.): *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 307-322.
- MSW NRW 1993 = Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1993): *Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium – Sekundarstufe I – in Nordrhein-Westfalen. Chemie*. Frechen: Ritterbach.
- MSWWF NRW 1999 = Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1999): *Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II – Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein Westfalen. Chemie*. Frechen: Ritterbach.
- MITTELSTRAB, JÜRGEN (1989): *Der Flug der Eule. Von der Vernunft der Wissenschaft und der Aufgabe der Philosophie*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- MITTELSTRAB, JÜRGEN (1992a): *Die Leonardo-Welt. Über Wissenschaft, Forschung und Verantwortung*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- MITTELSTRAB, JÜRGEN (1992b): Rationalität und Reproduzierbarkeit. In: P. Janich (Hrsg.): *Entwicklungen der methodischen Philosophie*. Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 54-67.
- MORTIMER, CHARLES E. (2001): *Chemie. Das Basiswissen der Chemie*. Übers. und bearb. von Ulrich Müller. 7. korrr. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme.
- MOSS, D. M.; ABRAMS, E. D.; ROBB, J. (2001): Examining student conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education* **23**(8), S. 771-790.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996): *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2000): *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. Washington: National Academy Press.
- NEUBAUER, A.; ERLACH, C.; THIER, K. (2004): Story Telling – Erfahrungsdokumente zur Weitergabe impliziten Wissens. In: G. Reinmann & H. Mandl (Hrsg.): *Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden*. Göttingen: Hogrefe, S. 351-358.
- NEUBRAND, M.; BIEHLER, R.; BLUM, W.; COHORS-FRESENBORG, E.; FLADE, L.; KNOCHE, N.; LIND, D.; LÖDING, W.; MÖLLER, G.; WYNANDS, A. (Deutsche PISA-2000-Expertengruppe Mathematik) (2001): *Grundlagen der Ergänzung des internationalen PISA-Mathematiktests in der deutschen Zusatzerhebung. Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* **33**(2), S. 45-59.
- NEUWEG, GEORG HANS (2000): Mehr lernen, als man sagen kann: Konzepte und didaktische Perspektiven impliziten Lernens. *Unterrichtswissenschaft* **28**(3), S. 197-217.
- NEUWEG, GEORG HANS (2006): *Das Schweigen der Könnner. Strukturen und Grenzen des Erfahrungswissens*. Vortrag am Institut Unterstrass der Pädagogischen Hochschule Zürich. Linz: Trauner.
- NIAZ, MANSOOR (1995): Cognitive conflict as a teaching strategy in solving chemistry problems: A dialectic-constructivist perspective. *Journal of research in science teaching* **32**(9), S. 959-970.
- NUFFIELD FOUNDATION (1966): *Nuffield Chemistry. Introduction and guide*. London: Longmans.
- OELKERS, JÜRGEN (2002a): „Wissenschaftliche Bildung“: Einige notwendige Verunsicherungen in beiden Richtungen. In: W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, R. Evans (Hrsg.): *Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung*. Opladen: Leske + Budrich, S. 105-120.

- OELKERS, JÜRGEN (2002b): Und wo, bitte, bleibt Humboldt? Der Pisa-Studie wird vorgeworfen, sie messe nur Wissen, aber keine Bildung. Das stimmt. Doch Schule ist keine Bildungs-, sondern eine Lehranstalt. *Die Zeit* **57**(27) vom 27.6.2002, S. 36.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (Ed.) (1999): Measuring Student Knowledge and Skills. A New Framework for Assessment. Paris: OECD.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (Ed.) (2006): Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy. A Framework for PISA 2006. Paris: OECD.  
Verfügbar über: <http://www.oecdbookshop.org/oecd/get-it.asp?REF=9806031E.PDF&TYPE=browse>  
[Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- OSTWALD, WILHELM (1884): Elektrochemische Studien. Erste Abhandlung. Die elektrische Leitungsfähigkeit der Säuren. *Journal für praktische Chemie* **30**(1), S. 225-237.
- OSTWALD, WILHELM (1913): Die Philosophie der Werte. Leipzig: Kröner.
- OSTWALD, WILHELM (1926): Lebenslinien. Eine Selbstbiographie. Erster Teil. Riga – Dorpat – Riga. 1853-1887. Berlin: Klasing & Co.
- PALMAER, WILHELM (1929): Arrhenius. In: G. Bugge (Hrsg.): Das Buch der großen Chemiker. Zweiter Band. Von Liebig bis Arrhenius. Unveränd. Nachdruck 1974. Weinheim: Verlag Chemie, S. 443-462.
- PARCHMANN, I. & KAUFMANN, H. (2006): Kompetenzen entwickeln. Wie Bildungsstandards zu einer Chance für Schulentwicklung werden können. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **17**(94/95), S. 4-9.
- PESCHEL, FALCO (2003): Offener Unterricht. Idee, Realität, Perspektive und ein praxiserprobtes Konzept in der Evaluation. Teil I u. II. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- PETERS, J.; STYLIANIDOU, F.; INGRAM, C.; MALEK, R.; REISS, M.; CHAPMAN, S. (2006): Evaluation of Einstein Year. Institute of Education, University of London.  
Verfügbar über: [http://k1.ioe.ac.uk/slcl/researchreports/File\\_5958.pdf](http://k1.ioe.ac.uk/slcl/researchreports/File_5958.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- PFUNDT, HELGA (1979): Einführung in den Lehrgang. In: J. Weninger & Dies. (Hrsg.): IPN-Lehrgang Stoffe und Stoffumbildungen. 1. Teil. Ein Weg zur Atomhypothese. Lehrerbuch. Stuttgart: Klett (eigene Paginierung).
- PFUNDT, H. & DUIT, R. (1994): Bibliographie Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht. Kiel: IPN.
- PISA-KONSORTIUM DEUTSCHLAND (Hrsg.) (2007): PISA 2006. Die Ergebnisse der dritten internationalen Vergleichsstudie. Münster: Waxmann.
- POLANYI, MICHAEL (1985): Implizites Wissen. Übersetzt von Horst Brühmann. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- POPPER, KARL RAIMUND (1961): Die Logik der Sozialwissenschaften. In: Ders.: Auf der Suche nach einer besseren Welt. Vorträge und Aufsätze aus dreißig Jahren. München: Piper <sup>8</sup>1995, S. 79-98.
- POPPER, KARL RAIMUND (1982): Erkenntnis und Gestaltung der Wirklichkeit: Die Suche nach einer besseren Welt. In: Ders.: Auf der Suche nach einer besseren Welt. Vorträge und Aufsätze aus dreißig Jahren. München: Piper <sup>8</sup>1995, S. 11-40.
- POPPER, KARL RAIMUND (1984): Gegen die großen Worte. In: Ders.: Auf der Suche nach einer besseren Welt. Vorträge und Aufsätze aus dreißig Jahren. München: Piper <sup>8</sup>1995, S. 99-113.
- POSNER, GEORGE J. (1995): Curriculumtheorie, naturwissenschaftlicher Unterricht und die Naturwissenschaften. In: S. Hopmann & K. Riquarts in Zusammenarbeit mit W. Klafki und A. Krapp (Hrsg.): Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz (33. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik), S. 273-284.
- POSTMAN, N. & WEINGARTNER, CH. (1972): Fragen und Lernen. Die Schule als kritische Anstalt. Frankfurt/M.: März.
- PREIN, G. & ERZBERGER, C. (2000): Integration statt Konfrontation! Ein Beitrag zur methodologischen Diskussion um den Stellenwert quantitativen und qualitativen Forschungshandelns. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* **3**(3), S. 343-357.
- PRENZEL, MANFRED (2000): Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts: Ein Modellversuchsprogramm von Bund und Ländern. *Unterrichtswissenschaft* **28**(2), S. 103-126.
- PRENZEL, M.; ROST, J.; SENKBEIL, M.; HÄUBLER, P.; KLOPP, A. (2001): Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In: J. Baumert; E. Klieme; M. Neubrand; M. Prenzel; U. Schiefele; W. Schneider; P. Stanat; K.-J. Tillmann; M. Weiß (Hrsg.): PISA 2000. Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich. Opladen: Leske + Budrich, S. 192-248.

- PRENZEL, M.; DRECHSEL, B.; CARSTENSEN, C. H.; RAMM, G. (2004): PISA 2003 – eine Einführung. In: M. Prenzel; J. Baumert; W. Blum; R. Lehmann; D. Leutner; M. Neubrand; R. Pekrun; H.-G. Rolff; J. Rost; U. Schiefele (Hrsg.): PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. Münster: Waxmann, S. 13-46.
- PRIEMER, BURKHARD (2006): Deutschsprachige Verfahren zur Erfassung von epistemologischen Überzeugungen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **12**, S. 159-175.
- PRIEMER, B. & SCHÖN, L.-H. (2005): Erfassung epistemologischer Überzeugungen. Vorstellung eines Testverfahrens. In: A. Pitton (Hrsg.): Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Jahrestagung der GDGP in Heidelberg 2004. Bd. 25. Münster: LIT, S. 280-282.
- PSARROS, NIKOS (1999): Die Chemie und ihre Methoden. Eine philosophische Betrachtung. Weinheim: Wiley-VCH.
- PUKIES, JENS (1979): Das Verstehen der Naturwissenschaften. Braunschweig: Westermann.
- REINELT, JUTTA (1997): Stockhausen GmbH & Co. KG. In: G. Vollmer & C. Merschhemke (Hrsg.): Chemie in Köln und Umgebung. Unterrichtseinheiten zur Öffnung des Chemieunterrichts. Bonn: I & S GmbH. [keine fortlaufende Paginierung]
- REINERS, CHRISTIANE (2002): Auf dem (Irr-)Weg zu naturwissenschaftlichen Arbeits- und Denkweisen. Eine fachdidaktische Reflexion. *CHEMkon* **9**(3), S. 136-140.
- REINERS, CHRISTIANE (im Druck): Zur Bedeutung naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkweisen für ein wissenschaftsgerechtes Verständnis von Chemie – aufgezeigt am Beispiel der Isomerie. *Chimica et ceterae artes rerum naturae didacticae*.
- REINMANN-ROTHMEIER, GABI (2001): Wissen managen: Das Münchener Modell. Forschungsbericht Nr. 131. München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie. Verfügbar über: [http://epub.uni-muenchen.de/archive/00000239/01/FB\\_131.pdf](http://epub.uni-muenchen.de/archive/00000239/01/FB_131.pdf) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- REINMANN, GABI (2005): Das Verschwinden der Bildung in der E-Learning-Diskussion. Arbeitsbericht Nr. 6. Augsburg: Universität Augsburg, Medienpädagogik. Verfügbar über: <http://gems.es-designs.com/medienpaedagogik/Arbeitsbericht6.pdf> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- REINMANN-ROTHMEIER, G. & MANDL, H. (2001): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. (4., vollst. überarb. Aufl.) Weinheim: BeltzPVU, S. 601-646.
- RENKL, ALEXANDER (1996): Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau* **47**(2), S. 78-92.
- RENKL, A.; GRUBER, H.; MANDL, H. (1996): Kooperatives problemorientiertes Lernen in der Hochschule. In: J. Lompscher & H. Mandl (Hrsg.): Lehr- und Lernprobleme im Studium. Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten. Bern u.a.: Huber, S. 131-147.
- RIEB, FALK (1997): Defizite des naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland. Current Deficits in Science Education in Germany. In: A. Dally (Hrsg.): Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften im Unterricht. Ein Weg zur naturwissenschaftlich-technischen Alphabetisierung? History and Philosophy in Science Teaching. A Means to Improve Scientific Literacy? Dokumentation eines internationalen Symposiums in der Evangelischen Akademie Loccum vom 26. bis 28. August 1996. Rehburg-Loccum: Evangelische Akademie Loccum, S. 14-32.
- RÖSSLER, PATRICK (2005): Inhaltsanalyse. Konstanz: UVK.
- ROST, JÜRGEN (1996): Lehrbuch Testtheorie, Testkonstruktion. Bern u. a.: Huber.
- ROST, J.; WALTER, O.; CARSTENSEN, C. H.; SENKBEIL, M.; PRENZEL, M. (2004) Naturwissenschaftliche Kompetenz. In: M. Prenzel; J. Baumert; W. Blum; R. Lehmann; D. Leutner; M. Neubrand; R. Pekrun; H.-G. Rolff; J. Rost; U. Schiefele (Hrsg.): PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. Münster: Waxmann, S. 111-146.
- ROTH, GERHARD (1987): Erkenntnis und Realität. Das reale Gehirn und seine Wirklichkeit. In: S.J. Schmidt (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 229-255.
- ROTH, GERHARD (1992): Das konstruktive Gehirn. Neurobiologische Grundlagen von Wahrnehmung und Erkenntnis. In: S.J. Schmidt (Hrsg.): Kognition und Gesellschaft. Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus 2. Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 277-336.
- RUTHERFORD, F. JAMES (1964): The Role of Inquiry in Science Teaching. *Journal of Research in Science Teaching* **2**(2), S. 80-84.

- RUTHERFORD, F. J. & AHLGREN, A. (1990, <sup>17</sup>1994): Science for all Americans: Project 2061. New York: Oxford University Press.
- RYDER, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. (1999): Undergraduate Science Students' Images of Science. *Journal of Research in Science Teaching* **36**(2), S. 201-219.
- RYLE, GILBERT (1949): The Concept of Mind. Harmondsworth, Middlesex: Penguin Books 1968.
- SACHSSE, HANS (1976): Was ist die naturwissenschaftliche Bildung? *MNU* **29**(5), S. 260-271.
- SANDOVAL, WILLIAM A. (2005): Understanding Students' Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education* **89**(4), S. 634-656.
- SANDOVAL, W. A. & REISER, B. J. (2004): Explanation-Driven Inquiry: Integrating Conceptual and Epistemic Scaffolds for Scientific Inquiry. *Science Education* **88**(3), S. 345-372.
- SAUSSURE, FERDINAND DE (1931, <sup>3</sup>2001): Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft. Hrsg. von Charles Bally und Albert Sechehaye. Unter Mitwirkung von Albert Riedlinger. Übersetzt von Herman Lommel. 3. Auflage. Mit einem Nachwort von Peter Ernst. Berlin, New York: de Gruyter.
- SCHÄPERS, BERND (2002): Selbstbestimmung fördern. Offener Unterricht – Raum für Individualisierungen und Beratung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **13**(70/71), S. 7-12.
- SCHALLIES, MICHAEL (2002): Naturwissenschaftlicher Unterricht im neuen Jahrhundert. *Biologie in unserer Zeit* **32**(1), S. 50-57.
- SCHARF, VOLKER (1983a): Das „eleatische Dilemma“ und die Krise des Chemieunterrichts. *MNU* **36**(3), S. 140-149.
- SCHARF, VOLKER (1983b): Zur Entmythologisierung des Einsatzes von Schülerexperimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: H. Mikelskis (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven. Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Würzburg, September 1982. Alsbach: Leuchtturm, S. 231-232.
- SCHARF, VOLKER (1984): Zum Bildungsbeitrag von Experimenten im Chemieunterricht. *Der Chemieunterricht* **15**(2), S. 13-28.
- SCHARF, VOLKER (1992): Umwelterziehung als Anleitung zu mitmenschlichen Verhaltensweisen. Gedanken zu einem umweltorientierten Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **3**(12), S. 9-13.
- SCHARF, VOLKER (1994): Urteile und Vorurteile über Chemie. Zu den Problemen des Verstehens und Verständigens aus der Sicht eines Chemiedidaktikers. *CHEMkon* **1**(1), S. 8-14.
- SCHARF, VOLKER (1997): Sekundarbereich I und naturwissenschaftliche Bildung. In: A. Schmidt-Peters & B. Weber (Hrsg.): Jugend – Bildung – Lehrerbildung. Tagungsband zum Symposium im Rahmen der feierlichen Eröffnung des Zentrums für Lehrerbildung an der Universität-Gesamthochschule Siegen am 27. Juni 1997. Siegen: Zentrum für Lehrerbildung, S. 47-56.
- SCHARF, VOLKER (1998): Die Macht des Subsumtiven oder „Das Falsche funktioniert fabelhaft.“ Anmerkungen zur Auseinandersetzung mit den Befunden der TIMS-Studie. *CHEMkon* **5**(1), S. 12-14.
- SCHARF, VOLKER (2002): Langfristig angelegte Qualitätsverbesserung statt kurzfristiger Reformeifer von Berufspredigern. *CHEMkon* **9**(2), S. 65.
- SCHARF, VOLKER (2004a): Wandel und Erhaltung – Anmerkungen zur „Ausblendung des Prozessualen“ (P. Buck) im Chemieunterricht. *Chimica didactica* **30**(1/2), S. 9-25.
- SCHARF, VOLKER (2004b): G. S. Ohms Weg der Erkenntnis – das Wechselspiel von Empirie und Theorie. In: C. Höble; D. Höttecke; E. Kircher (Hrsg.): Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, S. 148-161.
- SHECKER, H., FISCHER, H. E.; WIESNER, H. (2004): Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In: H.-E. Tenorth (Hrsg.): Kerncurriculum Oberstufe II. Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik. Experten – im Auftrag der Ständigen Konferenz der Kultusminister. Weinheim, Basel: Beltz, S. 148-234.
- SHECKER, H. & PARCHMANN, I. (2006): Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **12**, S. 45-66.
- SCHIBE, ERHARD (1988): Paul Feyerabend und die rationalen Rekonstruktionen. In: P. Hoyningen-Huene & G. Hirsch (Hrsg.): Wozu Wissenschaftsphilosophie? Positionen und Fragen zur gegenwärtigen Wissenschaftsphilosophie. Berlin, New York: de Gruyter, S. 149-171.
- SCHMIDT, SIEGFRIED J. (1987): Der Radikale Konstruktivismus. Ein neues Paradigma im interdisziplinären Diskurs. In: Ders. (Hrsg.): Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus. Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 11-88.
- SCHMIDT, SIEGFRIED J. (1994): Kognitive Autonomie und soziale Orientierung. Konstruktivistische Bemerkungen zum Zusammenhang von Kognition, Kommunikation, Medien und Kultur. Frankfurt/M.: Suhrkamp.

- SCHMIDT, SIEGFRIED J. (1998): Die Zählung des Blicks. Konstruktivismus – Empirie – Wissenschaft. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- SCHMIDKUNZ, H. & LINDEMANN, H. (1995): Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Magdeburg: Westarp.
- SCHMITZ, JOCHEN (2004): Studien zur Ausprägung naturwissenschaftlicher Handlungskompetenz bei Abiturientinnen und Abiturienten und deren Förderungsmöglichkeiten durch fächerverbindende besondere Lernleistungen am Beispiel des Seminarfaches an Thüringer Gymnasien. Dissertation. Siegen: Universität Siegen.
- SCHWAB, JOSEPH J. (1962): The Inglis Lecture. The Teaching of Science as Enquiry. In: Ders. & P. F. Brandwein (1966): The teaching of science. The Inglis Lecture. The Burton Lecture. 1961. Cambridge/Mass.: Harvard University Press, S. 1-103.
- SCHWANITZ, DIETRICH (1992): Bildung. Alles, was man wissen muß. München: Goldmann.
- SCHWARTZ, R. S.; LEDERMAN, N. G.; CRAWFORD, B. (2004): Developing Views of Nature of Science in an Authentic Context: An Explicit Approach to Bridging the Gap Between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Education* **88**(4), S. 610-645.
- SEILER, T. B. & REINMANN, G. (2004): Der Wissensbegriff im Wissensmanagement: Eine strukturgegenetische Sicht. In: G. Reinmann & H. Mandl (Hrsg.): Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden. Göttingen: Hogrefe, S. 11-23.
- SHAMOS, MORRIS H. (1963): The Price of Scientific Literacy. *Bulletin of the National Association of Secondary-School Principals* **47**(282), S. 41-51.
- SHAMOS, MORRIS H. (1988): The lesson every child need not learn. Scientific literacy for all is an empty goal. *The Sciences* **28**(4), S. 14-20.
- SHAMOS, MORRIS H. (1995): The Myth of Scientific Literacy. New Brunswick, New Jersey: Rutgers.
- SHAMOS, MORRIS H. (1996): Guest comment: The real threat of scientific illiteracy. *American Journal of Physics* **64**(9), S. 1102-1103.
- SHAMOS, MORRIS H. (2002): Durch Prozesse ein Bewußtsein für die Naturwissenschaften entwickeln. In: W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, R. Evans (Hrsg.): Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung. Opladen: Leske + Budrich, S. 45-68.
- SIEBERT, HORST (1997): Über die Nutzlosigkeit von Belehrungen und Bekehrungen. Beiträge zur konstruktivistischen Pädagogik. Hrsg. v. Landesinstitut für Schule und Weiterbildung. Soest: Kettler.
- SIEBERT, HORST (2002): Der Konstruktivismus als pädagogische Weltanschauung. Entwurf einer konstruktivistischen Didaktik. Frankfurt/M.: Verlag für Akademische Schriften.
- SILVERMAN, DAVID (2001): Interpreting Qualitative Data. Methods for Analysing Talk, Text and Interaction. London, Thousand Oaks, New Delhi: Sage.
- SMITH, M. U.; LEDERMAN, N. G.; BELL, R. L.; MCCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P. (1997): How Great Is the Disagreement about the Nature of Science: A Response to Alters. *Journal of Research in Science Teaching* **34**(10), S. 1101-1103.
- SNOW, CHARLES P. (1959): Die zwei Kulturen. Rede Lecture, 1959. In: H. Kreuzer (Hrsg.): Die zwei Kulturen. Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. C. P. Snows These in der Diskussion. München: dtv 1987, S. 19-58.
- SODIAN, BEATE (2004): Das Kind als Wissenschaftler. Wie Kinder Theorien und Weltbilder konstruieren. In: Schüler 2004. Aufwachsen. Die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen. Seelze: Friedrich, S. 55-57.
- SODIAN, B.; THOERMER, C.; KIRCHER, E.; GRYGIER, P.; GÜNTHER, J. (2002): Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. In: M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.): Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Weinheim, Basel: Beltz (45. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik), S. 192-206.
- SOLOMON, JOAN (1992): The classroom discussion of science-based social issues presented on television: Knowledge, attitudes and values. *International Journal of Science Education* **14**(4), S. 431-444.
- SPITZER, MANFRED (2007): Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens. München: Elsevier/Spektrum.
- STACHOWIAK, HERBERT (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien, New York: Springer.
- STAPLES, T. L.; HENTON, D. E.; BUCHHOLZ, F. L. (1998): Chemistry of Superabsorbent Polyacrylates. In: F. L. Buchholz & A. T. Graham (Eds.): Modern Superabsorbent Polymer Technology. New York: Wiley-VCH, S. 19-67.

- STARK, ROBIN (2003): Conceptual Change: kognitiv oder situiert? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* **17**(2), S. 133-144.
- STAUDT, E. & KRIEGESMANN, B. (1999): Weiterbildung: Ein Mythos zerbricht. Der Widerspruch zwischen überzogenen Erwartungen und Misserfolgen der Weiterbildung. In: Arbeitsgemeinschaft Qualifikations-Entwicklungs-Management (Hrsg.): *Kompetenzentwicklung '99. Aspekte einer neuen Lernkultur. Argumente, Erfahrungen, Konsequenzen*. Münster: Waxmann, S. 17-59.
- STEINER, GERHARD (2001): Lernen und Wissenserwerb. In: A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch*. 4., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 137-205.
- STORK, HEINRICH (1979): Zum Verhältnis von Theorie und Empirie in der Chemie. *Der Chemieunterricht* **10**(3), S. 45-61.
- STORK, HEINRICH (1985): Zur Rolle der Naturwissenschaftsgeschichte im naturwissenschaftlichen Unterricht, vor allem im Chemieunterricht. *Chemiker-Zeitung* **109**(9), S. 293-301.
- STORK, HEINRICH (1994): Anmerkungen zum Aufsatz „Wozu Philosophie der Chemie?“ *Chemie in unserer Zeit* **28**(5), S. 236.
- STORK, HEINRICH (1995): Was bedeuten die aktuellen Forderungen „Schülvorstellungen berücksichtigen, ‚konstruktivistisch‘ lehren!“ für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* **1**(1), S. 15-28.
- STORK, H. & KÜHN, G. (1973): Chemieunterricht im 5. und 6. Schuljahr nach dem Nuffield Chemistry Project. Teil I. *MNU* **26**(3), S. 133-142.
- STRÖKER, ELISABETH (1967): *Denkwege der Chemie. Elemente ihrer Wissenschaftstheorie*. Freiburg, München: Karl Alber.
- STRÖKER, ELISABETH (1982): *Theoriewandel in der Wissenschaftsgeschichte. Chemie im 18. Jahrhundert*. Frankfurt/M.: Klostermann.
- STRÖKER, ELISABETH (1992): *Einführung in die Wissenschaftstheorie*. 4., gegenüber der 3. unveränderte Auflage. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- STRÖKER, ELISABETH (1998): *Wissenschaftstheorie*. In: A. Pieper (Hrsg.): *Philosophische Disziplinen. Ein Handbuch*. Leipzig: Reclam, S. 437-456.
- SUMFLETH, E. & FISCHER, H. (2005): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Quo vadis? In: A. Wellensiek; M. Welzel; T. Nohl (Hrsg.): *Didaktik der Naturwissenschaften – Quo vadis?* Berlin: Logos, S. 27-39.
- SUMFLETH, E.; WILD, E.; RUMANN, S.; EXELER, J. (2002): Wege zur Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung im Chemieunterricht. Kooperatives Problemlösen im schulischen und familialen Kontext zum Themenbereich Säure-Base. In: M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.): *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Weinheim, Basel: Beltz (45. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik), S. 207-221.
- SUTTON, CLIVE (1998): *New Perspectives on Language in Science*. In: B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer, S. 27-38.
- TAN, L. T. & BOO, H. K. (2004): Assessing the Nature of Science Views of Singaporean Pre-service Teachers. *Australian Journal of Teacher Education* **29**(2), S. 1-10.
- TAUSCH, M. & WACHTENDONK, M. V. (Hrsg.) (2004): *Chemie 2000+. Band 2*. Bamberg: C. C. Buchner.
- TEPNER, M.; MELLE, I.; ROEDER, B. (2006): Effektivität des Gruppenpuzzles im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. In: A. Pitton (Hrsg.): *Lehren und Lernen mit neuen Medien. Jahrestagung der GDGP in Paderborn 2005. Band 26*. Münster: LIT, S. 275-277.
- TETENS-JEPSEN, Meike (1992): „Erst beobachten, dann deuten“. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **3**(14), S. 28-30.
- THIEL, J.; MAURER, G.; PRAUSNITZ, J. M. (1995): Hydrogele: Verwendungsmöglichkeiten und thermodynamische Eigenschaften. *Chemie Ingenieur Technik* **67**(12), S. 1567-1583.
- TÜTKEN, HANS (1971): Einleitende Bemerkungen zu den „neuen“ naturwissenschaftlichen Elementarcurricula in den USA. In: Ders. & K. Spreckelsen (Hrsg.): *Zielsetzung und Struktur des Curriculum. Texte aus der amerikanischen Diskussion. Naturwissenschaftlicher Unterricht in der Grundschule. Bd. 1*. Frankfurt/M., Berlin, München: Diesterweg, S. 7-28.
- UHLMANN, S. & PRIEMER, B. (2008): Können Schülerlabore Ansichten über Naturwissenschaften ändern? In: D. Höttecke (Hrsg.): *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung. GDGP Jahrestagung in Essen 2007*. Berlin: LIT, S. 254-256.

- UNGEHEUER, GEROLD (1987): Vor-Urteile über Sprechen, Mitteilen, Verstehen. In: Ders.: Kommunikationstheoretische Schriften I: Sprechen, Mitteilen, Verstehen. Hrsg. und eingeleitet von J. G. Juchem. Mit einem Nachwort von H.-G. Soeffner und T. Luckmann. Aachen: Rader, S. 290-338.
- VAN 'T HOFF, JACOBUS HENRICUS (1886): Une propriété générale de la matière diluée. *Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar* **21**(17), S. 42-49. Zitiert nach: S. Arrhenius (1887): Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. *Zeitschrift für Physikalische Chemie* **1**(11/12), S. 631.
- VOLLHARDT, K. P. C. & SCHORE, N. E. (2005): Organische Chemie. Übersetzung herausgegeben von Holger Butenschön. Übersetzt von Barbara Elvers, Sylvia Feil, Arne Lüchow, Andrea Kohlmann, Robert Pfeifer und Kathrin-M. Roy. Weinheim: WILEY-VCH.
- WARREN, DOROTHY (2001): The nature of science. Understanding what science is all about. London: Royal Society of Chemistry.
- WATZLAWICK, P.; BEAVIN, J. H.; JACKSON, D. D. (1969): Menschliche Kommunikation. Formen, Störungen, Paradoxien. Bern: Huber.
- WATZLAWICK, PAUL (1976): Wie wirklich ist die Wirklichkeit? Wahn, Täuschung, Verstehen. München: Piper.
- WEIGLHOFER, HUBERT (2004): Neue Wege in der Lehramtsausbildung: Das interdisziplinäre Projekt – Kooperation zwischen Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Schulpraxis. *Zeitschrift für Hochschuldidaktik* **2**, S. 1-11. Verfügbar über:  
[http://www.zfhd.at/resources/downloads/ZFHD\\_02\\_02\\_Weiglhofer\\_LA\\_Ausbildung\\_IP\\_1000209.pdf](http://www.zfhd.at/resources/downloads/ZFHD_02_02_Weiglhofer_LA_Ausbildung_IP_1000209.pdf)  
[Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- WEINERT, FRANZ EMANUEL (1998): Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten. In: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.): Wissen und Werte für die Welt von morgen. Dokumentation zum Bildungskongress des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, 29./30. April 1998 in der Ludwig-Maximilians-Universität München. München: Bayerisches Staatsministerium für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst, S. 101-125.
- WEINERT, FRANZ EMANUEL (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Ders. (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. Weinheim, Basel: Beltz, S. 17-31.
- WELLENSIEK, ANNELIESE (2005): Praxisforschung in der Didaktik der Naturwissenschaften. In: A. Wellensiek; M. Welzel; T. Nohl (Hrsg.): Didaktik der Naturwissenschaften – Quo vadis? Berlin: Logos, S. 126-135.
- WENCK, HELMUT (2005): Probleme und Chancen des Chemieunterrichts aus der Sicht eines Fachdidaktikers. In: A. Wellensiek; M. Welzel; T. Nohl (Hrsg.): Didaktik der Naturwissenschaften – Quo vadis? Berlin: Logos, S. 211-221.
- WENNING, CARL J. (2006): Assessing nature-of-science literacy as one component of scientific literacy. *Journal of Physics Teacher Education Online* **3**(4), S. 3-14.
- WERTH, STEFAN (1991): Mensch – Chemie – Natur. Grundlegende Einstellungen von Lernenden und ihre Bedeutung. Essen: Westarp Wissenschaften.
- WESTBURY, IAN (1995): Didaktik und Curriculumstheorie: Zwei Seiten einer Medaille? In: S. Hopmann & K. Riquarts in Zusammenarbeit mit W. Klafki und A. Krapp (Hrsg.): Didaktik und/oder Curriculum. Grundprobleme einer international vergleichenden Didaktik. Weinheim, Basel: Beltz (33. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik), S. 211-236.
- WENINGER, JOHANN (1976): Didaktische und semantische Probleme bei der Einführung der Atomhypothese und der Kern-Elektron-Hypothese. In: Ders. & H. Brünger (Hrsg.): Atommodelle im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bd. 1. Bericht über eine IPN-Arbeitstagung. Weinheim, Basel: Beltz, S. 35-55.
- WHEELER, GERALD F. (2000): The Three Faces of Inquiry. In: J. Minstrell & E. H. v. Zee (Eds.): Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science. Washington: American Association for the Advancement of Science, S. 14-19.
- WILD, E.; HOFER, M.; PEKRUN, R. (2001): Psychologie des Lerners. In: A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.): Pädagogische Psychologie. Ein Lehrbuch. 4., vollst. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 207-270.
- YAGER, ROBERT E. (1997): Scope, Sequence, and Coordination: A national Reform Effort in the U.S. The Iowa Projekt. In: A. Dally (Hrsg.): Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften im Unterricht. Ein Weg zur naturwissenschaftlich-technischen Alphabetisierung? History and Philosophy in Science Teaching. A Means to Improve Scientific Literacy? Dokumentation eines internationalen Symposiums in der Evangelischen Akademie Loccum vom 26. bis 28. August 1996. Rehburg-Loccum: Evangelische Akademie Loccum, S. 106-137.

# Anhang



## Wie gehen Naturwissenschaftler vor?



Mitglied Gruppe A: *Lavoisier forscht und sucht „Zuckersäure“*



Mitglied Gruppe B: *Arrhenius und die „aktiven“ Moleküle*



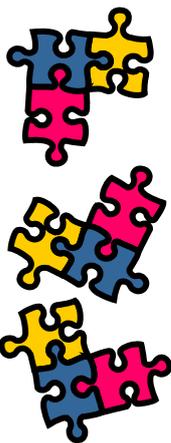
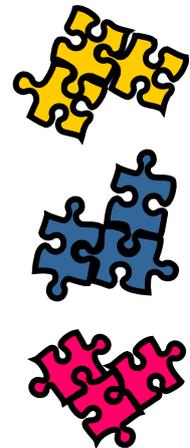
Mitglied Gruppe C: *Aus der Gedankenwelt von Brønsted*

### Phase I: Expertenrunde (ca. 35 min)

- Das Material wird gelesen und der Arbeitsauftrag wird bearbeitet.
- Austausch in der Expertengruppe.
- Planung der Unterrichtsrunde (Phase II); Notizen machen!



Jedes Gruppenmitglied muss am Ende dieser Phase Experte für das Thema sein!

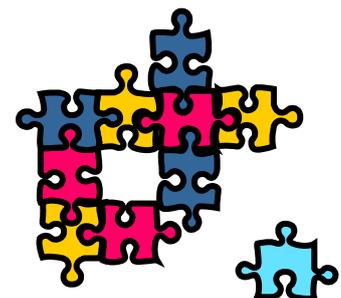


### Phase II: Unterrichtsrunde (ca. 80 min)

- Die Gruppen werden neu gebildet, so dass in jeder Gruppe ein(e) Experte/Expertin zu jedem Teilgebiet ist.
- Jede(r) Experte/Expertin unterrichtet die anderen über sein Teilgebiet (5-7 min pro Person). Die Zuhörerenden machen sich dabei Notizen!
- Diskutiert über das Vorgehen der einzelnen Forscher und **entwickelt ein Schaubild** (Mindmap, Diagramm etc.), das die verschiedenen Aspekte des methodischen Vorgehens sinnvoll vereint!

### Phase III: Plenum (ca. 45 min)

- Vorstellung und Diskussion der einzelnen Schaubilder.



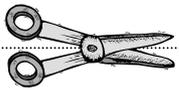
## Expertenthema A: LAVOISIER forscht und sucht Zuckersäure

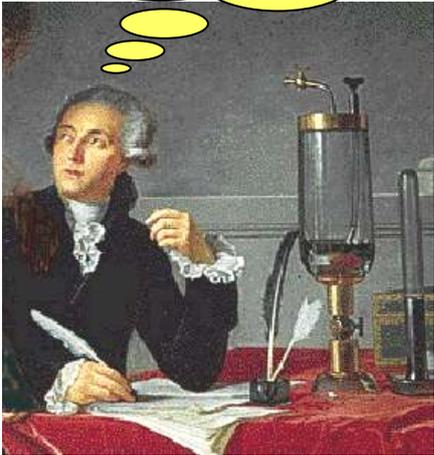
### Aufgabe/Arbeitsaufträge:

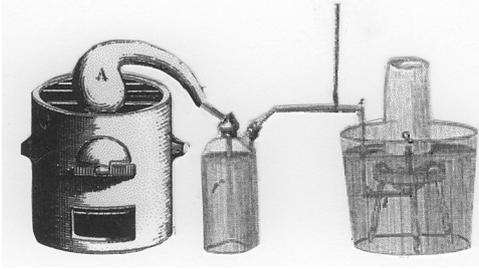
1. Lies alle Text-Abschnitte!
2. Findet gemeinsam für jeden Abschnitt eine sinnvolle Überschrift (nur ein Wort!) und bringt die Abschnitte nun in eine sinnvolle Reihenfolge!

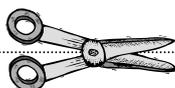
(Arbeitsauftrag bitte ausschneiden und außen auf einen großen Umschlag kleben.)

(Die einzelnen Puzzlestücke bitte ausschneiden und in den großen Briefumschlag geben.)



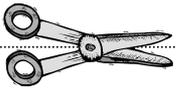
Überschrift:	Nr.
<p data-bbox="220 1106 746 1279">Welche Gemeinsamkeit haben eigentlich alle Säuren?</p> 	<p data-bbox="676 1099 1394 1294">Sauer schmeckende Stoffe wie Essig oder Zitronensaft kennt die Menschheit schon seit sehr langer Zeit. Doch erst im Jahre 1779 beschäftigt sich der Franzose Antoine Laurent Lavoisier genauer damit, was überhaupt eine Säure ist.</p> <p data-bbox="676 1301 1394 1458">Bei einem Experiment stellt er überraschend fest: Wenn man ein Nichtmetall wie z.B. Kohlenstoff oder Schwefel verbrennt und die entstehenden Gase in Wasser leitet, entsteht eine Säure.</p> <p data-bbox="676 1464 1394 1659">Er weiß aus früheren Forschungen, dass in der Luft ein Bestandteil ist, der zum Atmen für uns Menschen lebensnotwendig ist. Lavoisier nennt ihn daher „Lebensluft“ (l'air vital) oder auch „reinste Luft“. Aufgeregt notiert er seine Gedanken in seinem Tagebuch. Er schreibt, ...</p> <p data-bbox="676 1666 1394 1742"><i>„... dass diese reinste, alleinig atembare Luft als eigentlich säurebildendes Prinzip in allen Säuren vorhanden ist und,</i></p>
<p data-bbox="197 1749 1362 1816"><i>je nach dem einen oder dem andern mitverbundenen Prinzip, bald die eine und bald die andere Säure bildet.“</i></p> <p data-bbox="197 1823 1394 1977">Die „reinste, alleinig atembare Luft“ nennt er daher fortan auch „Sauer“-Stoff“, weil er nun annimmt, dass alle Säuren Sauerstoff enthalten. Sie unterscheiden sich nur durch ihre verschiedenen Bindungspartner (also das „mitverbundene Prinzip“). So sei z.B. in der Salpetersäure der Sauerstoff das „säurebildende Prinzip“ und der Stickstoff das „mitverbundene Prinzip“.</p>	

Überschrift:	Nr.
<p><i>Wenn also eine Säure dadurch entsteht, dass ein Stoff bei der Verbrennung reinste Luft (Sauerstoff) aufnimmt, so sollte es doch auch möglich sein, den Sauerstoff aus einer Verbindung zu entfernen und auf einen anderen Stoff zu übertragen. Auf diese Weise müsste wiederum eine Säure entstehen ...</i></p> <p>Zur Überprüfung dieser Annahme plant Lavoisier ein Experiment.                  Durch die Reaktion von Salpetersäure mit Zucker will er herausfinden, ob sich der in der Salpetersäure enthaltene Sauerstoff auf Zucker übertragen lässt.                  Falls seine Annahme stimmt, müsste bei dieser Reaktion „Zuckersäure“ gebildet werden ...</p>  <p><i>„In eine kleine gläserne Retorte (Rundkolben) wurden 4 Gros Zucker getan und mit einer Mischung von 2 Unzen Salpetersäure mit 2 Unzen Wasser übergossen. Dann wurde die Retorte über das freie Feuer eines kleinen Ofens gesetzt.                  An den rechten langen Hals derselben ward eine doppelt tubulierte, destilliertes Wasser enthaltende Flasche angefügt, die durch ein Glasrohr mit einem gewöhnlichen, chemisch pneumatischen Apparat in Verbindung stand.“</i></p>	



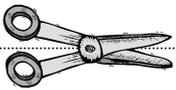
Überschrift:	Nr.								
<p>Lavoisier beobachtet ...</p> <p><i>„Der Zucker löste sich ganz ruhig. Sowie die Flüssigkeit sich aber auf 40 bis 50° Reaumur (entspricht etwa 50-60°C) erwärmt hatte, begann sie heftig aufzukochen und braune Dämpfe, wie ich sie noch nie gesehen habe, auszustoßen.</i></p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="229 1489 837 1713" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Hinweis:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Salpeterluft/Salpeterige Luft“ = Stickoxide („braune Dämpfe“)</li> <li>• „Brennbare Luft“ = Wasserstoff</li> <li>• „Kreidesäure/Fixe Luft“ = Kohlenstoffdioxid</li> </ul> </div> <div data-bbox="853 1489 1431 1713" style="padding: 5px;"> <p><i>Man muss bei dieser Operation sehr, sehr langsam vorgehen, damit die sich bildende Zuckersäure nicht zerstört werde und man nicht anstatt der Salpeterluft ein Gemenge von brennbarer Luft und luftförmiger Kreidesäure erhalte.“</i></p> </div> </div> <p>Lavoisier fängt die bei dieser Reaktion entstehenden Gase auf und untersucht sie genau. Er erhält dabei folgende Ergebnisse:</p> <table border="1" data-bbox="938 1720 1431 1859" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Salpeterige Luft . . . . .</td> <td>190 Kubikzoll</td> </tr> <tr> <td>Fixe Luft (Kreidesäure) . . . . .</td> <td>90 „</td> </tr> <tr> <td>Brennbare Luft . . . . .</td> <td>25 „</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right; border-top: 1px solid black;">Zusammen 305 Kubikzoll.</td> </tr> </tbody> </table>		Salpeterige Luft . . . . .	190 Kubikzoll	Fixe Luft (Kreidesäure) . . . . .	90 „	Brennbare Luft . . . . .	25 „	Zusammen 305 Kubikzoll.	
Salpeterige Luft . . . . .	190 Kubikzoll								
Fixe Luft (Kreidesäure) . . . . .	90 „								
Brennbare Luft . . . . .	25 „								
Zusammen 305 Kubikzoll.									

Überschrift:	Nr.
	<p>Auch den Rest im Kolben untersucht er genau und stellt fest, dass sehr viel Salpetersäure bei der Reaktion verbraucht wurde. Weil aber bei der Reaktion offensichtlich kein Sauerstoff entsteht, der in der Salpetersäure gebundene Sauerstoff aber irgendwo geblieben sein muss, kann er nur - so folgert Lavoisier - aus der Salpetersäure auf den Zucker übergegangen sein.</p> <p>Dann müsste sich natürlich auch bei einer Zersetzung der Zuckersäure der Sauerstoff als Bestandteil wiederum nachweisen lassen. Zur Überprüfung dieser Annahme führt er ein weiteres Experiment durch, aber ... er findet keinen Sauerstoff!</p>



Überschrift:	Nr.
<p>Lavoisier erklärt sich diesen eigentlich unlogischen Befund so:</p> <p><i>„Die vorhergehenden Versuche haben gezeigt, dass sich der Sauerstoff mit dem Zucker zu Zuckersäure verbunden hat; aus dem jetzt Besprochenen ersehen wir aber, dass diese Zuckersäure sich fast gänzlich in Kreidesäure, fixe Luft und brennbare Luft gespalten hat.</i></p> <p><i>Was aber ist Kreidesäure? Das habe ich bereits andernwärts gezeigt; sie ist eine Verbindung der Kohlenmaterie mit Oxygen (Sauerstoff), dem säuernden Prinzip, das von der Salpetersäure sich abgespalten hat und eine große am Ende der Operation gebildete Menge luftartiger Kreidesäure bildet.“</i></p> <p>Er findet den Sauerstoff also in der „Kreidesäure“, dem Kohlenstoffdioxid, wieder. Damit hält er es für bewiesen, dass der Sauerstoff auf den Zucker übertragen wurde, wodurch - nach seinem Verständnis - eine Säure („Zuckersäure“) gebildet wurde.</p>	

Überschrift:	Nr.
<p>Diese Begründung war für die damalige Zeit sehr provokant. Man wusste bisher, dass Kohlenstoffdioxid („Kreidesäure“) ein Gas ist, welches bei der Verbrennung von z. B. Holz entsteht. Wie aber sollte es dann bei der Zersetzung der „Zuckersäure“ entstehen? Woher sollte der Kohlenstoff kommen?</p> <p><i>„Nach den in dieser Abhandlung mitgeteilten Versuchen ist es wahrscheinlich, dass die Kohlenmaterie in den Pflanzen erzeugt wird und nicht ein vom Feuer gebildetes Produkt ist, wie es die Chemiker bis jetzt angenommen haben.“</i></p>	



Überschrift:	Nr.
<p>Lavoisier hat versucht zu beweisen, dass Sauerstoff nicht nur Bestandteil vieler Säuren ist, sondern dass er auch für die sauren Eigenschaften eines Stoffes verantwortlich ist.</p> <p>Darüber hinaus liefern seine Versuche eine weitere wichtige Erkenntnis, auf die er aber eher zufällig stößt: Bei ihm ist „Kreidesäure“, also Kohlenstoffdioxid, nicht durch eine Verbrennung entstanden. Aus dieser Beobachtung folgert er, dass Kohlenstoffverbindungen von Pflanzen (z. B. einer Zuckerrübe) gebildet werden können und nicht nur bei der Verbrennung entstehen.</p> <p>Während seine Säuretheorie später widerlegt werden konnte, indem man den Wasserstoff für die Säureeigenschaften verantwortlich machte, so sollte er doch zumindest für die zweite Annahme recht behalten.</p>	

## Expertenthema B: ARRHENIUS und die Dissoziationstheorie

### Im Jahre 1880 ...

... war bereits bekannt, dass Salzlösungen (Elektrolyte) den elektrischen Strom leiten können, es fehlte jedoch eine logische Erklärung für die Leitfähigkeit.



Die Unklarheiten auf diesem Gebiet veranlassten den jungen Forscher **SVANTE ARRHENIUS (1859-1927)**, seine Doktorarbeit diesem Thema zu widmen und schon 1884 veröffentlichte der damals erst 25jährige ARRHENIUS seine Arbeit mit dem Titel „Untersuchungen über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte“.

Obwohl die Arbeit mit der Note „non sine laude“ bewertet wurde, was als Schulnote gerade mal einer 4 entsprechen würde, zeigte der damals in Riga tätige Professor **WILHELM OSTWALD (1853-1932)** großes Interesse an der Doktorarbeit. Zwischen beiden Forschern entwickelte sich ein in-niger Briefwechsel und noch im gleichen Jahr bot OSTWALD dem jungen ARRHENIUS eine Stelle als Dozent in Riga an.



Als ARRHENIUS bald darauf von der Akademie der Wissenschaften ein Reisestipendium zuerkannt bekam, hatte er in den Jahren 1885-1888 Gelegenheit, bei bedeutenden Forschern in ganz Europa zu arbeiten, u. a. auch bei **JACOBUS HENRICUS VAN'T HOFF (1852-1911)** in Amsterdam. Diese Bekanntschaft sollte für die Entwicklung der so genannten Dissoziationstheorie weit reichende Folgen haben ...

Zwischen den Forschern ARRHENIUS, OSTWALD und VAN'T HOFF bestand in den Jahren von 1884-1888 ein Briefwechsel, in dem sie experimentelle Ergebnisse und theoretische Überlegungen austauschten.

### Aufgabe/Arbeitsaufträge:

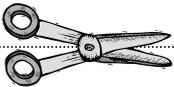
#### Wie gelangte Svante Arrhenius zu seiner „Dissoziationstheorie“?

1. Lies alle Text-Abschnitte!
2. Findet gemeinsam für jeden Abschnitt eine sinnvolle Überschrift (maximal zwei Wörter!) und bringt die Abschnitte nun in eine sinnvolle Reihenfolge!

*(Arbeitsauftrag bitte ausschneiden und außen auf einen großen Umschlag kleben.)*

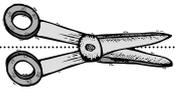
(Die einzelnen Puzzlestücke bitte ausschneiden und in den großen Briefumschlag geben.)

Überschrift:	Nr.
<p>Der damals noch sehr junge Forscher Svante Arrhenius sucht nach einer logischen Erklärung für die zu beobachtende Leitfähigkeit verdünnter Salzlösungen. In seiner Doktorarbeit schreibt er dazu:</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2; padding-left: 10px;"> <p><i>„Als ich im Winter 1882/83 daran ging, Untersuchungen über die Leitfähigkeit verdünnter Lösungen vorzunehmen, schien es mir für den Erfolg dieser Versuche von größter Wichtigkeit, zuvor die äußerst verdünnten wässrigen Lösungen in Bezug auf ihr elektrisches Leitvermögen zu untersuchen. Nun ist aber in diesem Punkte die physikalische Literatur sehr lückenhaft. Die einzigen veröffentlichten Untersuchungen über verdünnte Lösungen stammen von LENZ her; (...) jedoch ist auch die Verdünnung dieser Lösungen nicht so weit getrieben worden, wie ich es für wünschenswert halte.“</i></p> </div> </div> <p>Da also auch andere Forscher bis zu diesem Zeitpunkt keine einleuchtende Erklärung liefern konnten, setzt sich Arrhenius zum Ziel, diesem Phänomen auf die Spur zu kommen.</p>	



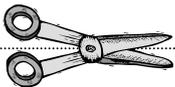
Überschrift:	Nr.
<p>Arrhenius führt die Messungen mit Hilfe einer speziellen Apparatur durch, die er sich extra zu diesem Zweck hat bauen lassen. Mit diesem Gerät misst er zunächst die Widerstände der verschiedenen Lösungen und berechnet daraus die entsprechenden Leitfähigkeiten.</p> <div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p><i>„Jede Beobachtungsreihe bezweckt, die Leitfähigkeit mehrerer verschiedener Lösungen eines und desselben Salzes zu untersuchen. Zuerst wägt man eine bestimmte Menge des Präparates und schüttet es in das Widerstandsgefäß, dann fügt man ungefähr 35 ccm destilliertes Wasser hinzu und wägt das Widerstandsgefäß mit seinem Inhalt, wodurch man das Gewicht des Wassers und mithin die Konzentration bestimmt.“</i> Anschließend wird der Widerstand der jeweiligen Lösung gemessen.</p> </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div> <p>Entgegen seinen Erwartungen erhält Arrhenius bei seinen ersten Messungen zunächst sehr unregelmäßige Werte, bis er merkt, dass er die Lösungen offenbar nicht gut genug gerührt hat.</p>	

Überschrift:	Nr.
<p>Nachdem der Fehler behoben ist, führt Arrhenius 45 Messreihen mit verschiedenen Lösungen durch.</p> <p>Er stellt die Versuchsreihen und damit auch die beobachteten Widerstände in einer Tabelle zusammen. Die elektrische Leitfähigkeit ergibt sich dabei aus dem Kehrwert des elektrischen Widerstandes.</p> <p>Aus den Werten lässt sich entnehmen, dass die elektrische Leitfähigkeit einiger Lösungen bei steigender Verdünnung zunimmt. Dieses Ergebnis ist recht erstaunlich, weil ja - in Relation gesehen - eine geringere Anzahl leitfähiger Teilchen in der verdünnteren Lösung sein müsste.</p>	



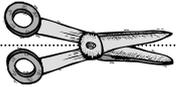
Überschrift:	Nr.
<p>Doch wie lässt sich dieses - eigentlich unlogische - Ergebnis erklären? Arrhenius greift zu folgender Vorstellung ...</p> <p><i>„Um diese Beobachtung zu erklären, könnte ich mir vorstellen, dass die Moleküle des gelösten Salzes nicht einfach nebeneinander vorliegen, sondern sich zu Komplexen zusammenlagern. Bei zunehmender Verdünnung zerfallen diese Komplexe immer mehr, bis schließlich alle Moleküle des Salzes bzw. des Elektrolyts unabhängig voneinander in der Lösung existieren.“</i></p> <p>Nach seiner Vorstellung bilden sich also „Komplexe“, die sich bei zunehmender Verdünnung auflösen. Die dabei entstehenden „vereinzelt“ Moleküle verursachen demzufolge die Leitfähigkeit. Arrhenius bezeichnet diese daher als „aktive“.</p>	

Überschrift:	Nr.
<div data-bbox="244 300 778 696"> </div> <div data-bbox="804 300 1422 555"> <p>Arrhenius berichtet Wilhelm Ostwald seine neuen Erkenntnisse und seine Überlegungen dazu. Ostwald kann zwar die experimentellen Befunde bestätigen, doch die Erklärung, die Arrhenius anführt, ist ihm nicht einsichtig. In einem Brief nimmt Ostwald dazu Stellung:</p> </div> <div data-bbox="804 595 1422 779" style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px;"> <p><i>„Die Ursache für die geringe Leitfähigkeit einer Lösung suchst Du in der „Complexität“ der Moleküle, d. h. in ihrer Anhäufung zu größeren Molecular-Aggregaten; mir scheint schon die Thatsache, dass normale Essigsäure 250 Mal schlechter leitet als Salzsäure, gegen eine solche Annahme zu sprechen ...“</i></p> </div> <div data-bbox="244 801 1422 875"> <p>... denn das würde ja heißen, dass von den 250 Molekülen ganze 249 zu Komplexen vereinigt, also quasi inaktiv wären. Dieser Einwand leuchtet Arrhenius ein.</p> </div>	



Überschrift:	Nr.
<div data-bbox="244 1263 1422 1337"> <p>Doch bald darauf liest Arrhenius über interessante Erkenntnisse des Forschers van't Hoff und schreibt dazu:</p> </div> <div data-bbox="244 1357 1046 1576" style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px;"> <p><i>„...van't Hoffs Abhandlung hat mir viel Licht über die Konstitution der Lösungen geworfen. (...) Van't Hoff hat gezeigt, dass, wenn eine Gramm-Molekel eines beliebigen Stoffes gleichförmig in einem gegebenen Raume vertheilt ist, sei es als Gas, oder gelöst in einer Flüssigkeit, er auf die Wände des Raumes den gleichen Druck ausübt ...“</i></p> </div> <div data-bbox="1070 1312 1433 1581"> </div> <div data-bbox="244 1608 1422 1921"> <p>Das heißt also, dass der Druck in einer Flüssigkeit – also wenn man z. B. Salz in Wasser gibt und den Druck misst – sich genau so verhält wie der Druck bei einem Gas, also z. B. in einem Luftballon. Allerdings bilden – wie van't Hoff feststellt – die wässrigen Salzlösungen Ausnahmen von dieser Annahme, da ihre Messwerte vergleichsweise viel zu hoch sind, und zwar genau um den Faktor zwei oder drei! Auch bei manchen Gasen findet man zu hohe Werte, aber das erklärte man sich durch die Annahme, dass die Teilchen durch die Hitze in der Gasphase dissoziiert, also getrennt vorliegen.</p> </div>	

Überschrift:	Nr.
<p>Arrhenius ist nach dem Lesen von van't Hoff's Arbeit sofort klar, dass sich der von ihm herausgefundene Zusammenhang auch für das Verhalten wässriger Lösungen anwenden lässt, wenn man annimmt, dass die Moleküle selbst dissoziieren, also in Teilmoleküle zerfallen.</p> <p><i>„Dementsprechend ist es natürlich anzunehmen, dass die Stoffe, welche zu große Drücke in wässrigen Lösungen geben, gleicherweise dissociirt sind. Ich glaube daher, dass man nun sagen kann, dass die meisten Elektrolyte in mäßiger Verdünnung erheblich dissociirt sind. Was ich also bisher aktive Molekel genannt habe, ist demnach dasselbe wie dissociirte Moleküle.“</i></p> <p>Die dissoziierten Moleküle sind also die eigentlich „aktiven“. Je mehr man verdünnt, desto mehr Moleküle dissoziieren - daher dann auch die höhere Leitfähigkeit.</p>	



**Expertenthema C: Aus der Gedankenwelt von BRÖNSTED**

Ihr bekommt einige Textausschnitte, die sich auf den dänischen Chemiker und Künstler JOHANNES NICOLAUS BRÖNSTED (1879-1947) beziehen.

Er entwickelte 1923, ausgehend von der bis dahin gängigen Theorie von SVANTE ARRHENIUS aus dem Jahre 1887, eine neue Theorie für Säuren und Basen.

Wie ist er auf seine neue Theorie gekommen?

**Aufgabe/Arbeitsaufträge:****Wie ist Brönsted auf seine Theorie über Säuren und Basen gekommen?**

1. Lies die Textausschnitte genau und finde für jeden Ausschnitt eine passende Überschrift!
2. Einigt euch in eurer Gruppe auf **eine** Überschrift pro Ausschnitt, die nur aus einem Wort bestehen sollte!
3. Sortiert die einzelnen Textausschnitte, indem ihr sie in eine sinnvolle Reihenfolge bringt und nutzt dazu auch die beiden Fotos als Hilfsmittel!
4. Ein Textausschnitt ist leer ... Überlegt, an welcher Stelle noch etwas fehlt und was demnach wohl darauf stehen könnte!

*(Arbeitsauftrag bitte ausschneiden und außen auf einen großen Umschlag kleben.)*

## JOHANNES NICOLAUS BRÖNSTED



*(Bitte auf einem separaten Blatt ausdrucken und mit den Puzzlestücken in den Umschlag geben.)*

(Die einzelnen Abschnitte bitte ausschneiden und mit den Fotos in den Umschlag geben.)

	Nr.
<p>Arrhenius hat Säuren definiert als Stoffe, die Wasserstoff enthalten und in Wasser Wasserstoff-Ionen (<math>H^+</math>-Ionen) abspalten. Basen sind nach Arrhenius Stoffe, die in Wasser <math>OH^-</math>-Ionen abspalten.</p>	

	Nr.
<p>Interessant! Eine Ammoniaklösung zeigt mit Indikatorpapier eine basische Reaktion, obwohl das Molekül <math>NH_3</math> keine <math>OH</math>-Gruppe aufweist, wie z. B. die Base Natronlauge (<math>NaOH</math>)?! In einem anderen Lösemittel als Wasser, z. B. in Alkohol oder Ether, beobachtet man ebenfalls diese basische Reaktion ...</p>	

	Nr.
<p>Wasserstoff-Ionen alleine können nach neueren Erkenntnissen der Atomtheorie in einer Lösung nie frei existieren!</p>	

	Nr.

	Nr.
<p>Säuren und Basen müssen neu definiert werden. Die neue Definition darf nicht nur für Lösungen in Wasser gelten ...</p>	

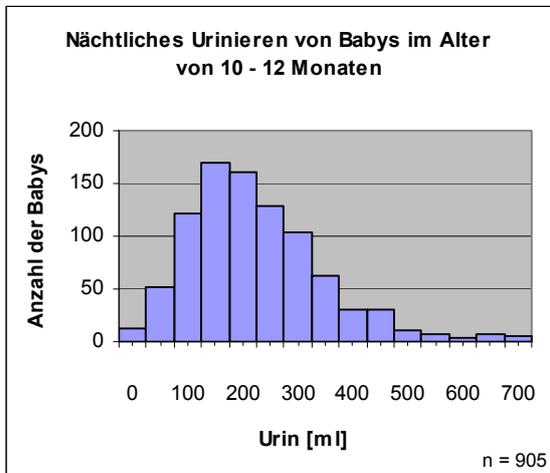
	Nr.
<p>Säuren sind Teilchen, die unabhängig vom Lösemittel Wasserstoff-Ionen (Protonen) abgeben können. Basen sind Teilchen, die diese Wasserstoff-Ionen (Protonen) aufnehmen können.</p>	

### **Quellennachweise der Abbildungen für das Gruppenpuzzle**

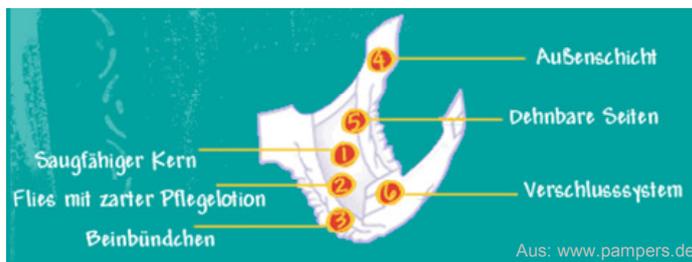
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:David - Portrait of Monsieur Lavoisier and His Wife.jpg](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:David_-_Portrait_of_Monsieur_Lavoisier_and_His_Wife.jpg) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://scienceworld.wolfram.com/biography/Lavoisier.html> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1903/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1903/) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- [http://www.fq.uh.cu/fich.php?id=12&in\\_id=12&in\\_id2=o&name=ostwald](http://www.fq.uh.cu/fich.php?id=12&in_id=12&in_id2=o&name=ostwald) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1901/](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1901/) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://www.chemsoc.se/sidor/KK/svante/arrhenius.htm> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://www.scienceclarified.com/scitech/Global-Warming/The-Human-Contribution.html> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://www.lexi-tv.de/script/printpage.asp?loc=/lexikon/thema.asp?InhaltID=1077> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/objevite/objev4/ost.htm> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/objevite/objev2/bro.htm> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- [http://www.uned.es/pfp-evolucion-historica-principios-quimica/Contenidos/Objetivos/objetivos\\_09.htm](http://www.uned.es/pfp-evolucion-historica-principios-quimica/Contenidos/Objetivos/objetivos_09.htm) [Letzter Zugriff: 22.3.2008]

# Hightech in der Babywindel

Wenn Babys nachts schlafen, bekommen die Windeln meist viel Arbeit.



Pro Nacht lassen Kinder einiges an Wasser. Doch wohin mit der Feuchtigkeit? Ein nasser Popo kann schnell zu Hautreizungen und schreienden Babys führen.



Um einen optimalen Nässeschutz zu garantieren, sind heutige Windeln ausgeklügelte Konstruktionen. Der wichtigste Teil einer Babywindel ist der saugfähige Kern, welcher die Feuchtigkeit aufnimmt und einschließt.

Während sich einzelne Hersteller um die verkaufsträchtigen Bezeichnungen streiten, z. B. „magischer Saugkern“ oder „Saugkörper - extra trocken“, ist der entscheidende Inhaltsstoff bei allen Windeltypen gleich: Es handelt sich um so genannte **Superabsorber**, welche ein Vielfaches ihres Eigengewichts an Flüssigkeit aufnehmen und speichern können.

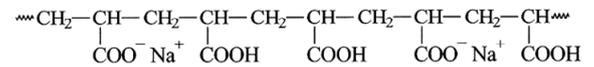


bei allen Windeltypen gleich: Es handelt sich

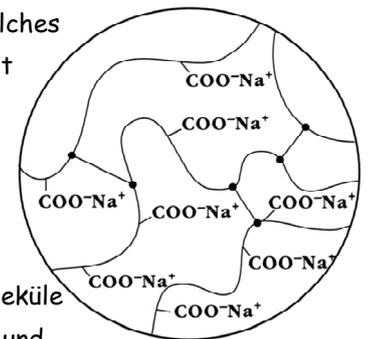
um so genannte **Superabsorber**, welche ein Vielfaches ihres Eigengewichts an Flüssigkeit aufnehmen und speichern können.



Superabsorber sind langkettige Kunststoffe (siehe Abb. unten), die aus Propensäure (Acrylsäure) und dem entsprechenden Natriumsalz (Natriumacrylat) hergestellt werden.



Diese Einheiten sind untereinander zu einem Knäuel vernetzt, welches man sich vereinfacht so vorstellen kann (Abb. rechts):



Gibt man Wasser zu Superabsorber, strömen Wassermoleküle in das Knäuel hinein und hydratisieren die Natrium-Ionen (d.h., diese

werden mit Wassermolekülen umgeben): Es entsteht ein „Hydro-Gel“.

Das Knäuel verhält sich nun wie eine halbdurchlässige Membran: Wasserteilchen können zwar hinein, hydratisierte Natrium-Ionen jedoch nicht heraus. Dies führt zu einem starken Unterschied bei der Konzentration der Natrium-Ionen - im Knäuel ist sie im Vergleich zum Wasser außerhalb sehr hoch. Deshalb muss ein Konzentrationsausgleich stattfinden. Dabei sind natürlich zwei Möglichkeiten denkbar, aber weil das Knäuel die hydratisierten Natrium-Ionen nicht nach außen lässt, strömen einfach immer mehr Wasserteilchen hinein und werden dort festgehalten. Dieses Phänomen nennt man übrigens Osmose.

Stellt euch vor Ihr seid Wissenschaftler und sollt eine neue Windel-Firma beraten:

Stellt dazu ein aussagekräftiges Set an Daten bezüglich des saugfähigen Kerns zusammen!



## Quellennachweise der Datenwerte und Abbildungen des Untersuchungsauftrages

Die *Datenwerte* sind einer E-Mail der Firma Procter & Gamble entnommen:

**From:** [...]@pg.com

**To:** [hofheinz@chemie.uni-siegen.de](mailto:hofheinz@chemie.uni-siegen.de)

**Sent:** Thursday, June 23, 2005 9:54 AM

**Subject:** Superabsorber

Sehr geehrter Herr Hofheinz,

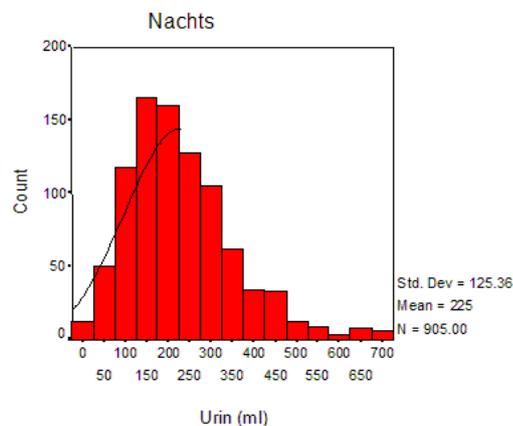
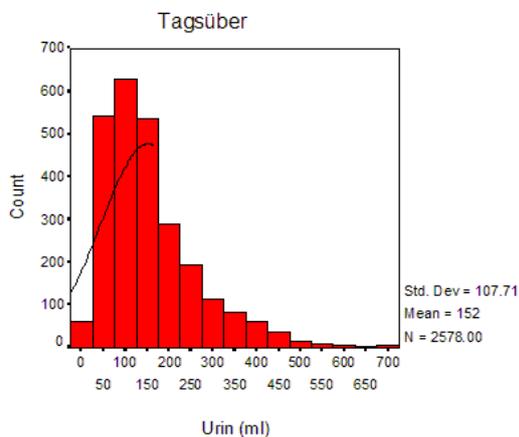
vielen Dank für Ihre E-mail und Ihrem Interesse an unseren Pampers Windeln. Gerne beantworten wir Ihre Fragen zum Superabsorber.

Wir geben ca. einen gehäuften Teelöffel Superabsorber in die Windel. Die Saugkraft des Kerns (Super Absorber + Zellulose) wird so eingestellt, dass die Menge an Urin, die Nachts ausgeschieden wird (bis 225 ml im Schnitt), sicher eingeschlossen wird. Je nach Windelgröße, bzw. Alter des Babys variiert das natürlich.

Hierzu wird eine Tabelle zugrunde gelegt, die Durchschnittswerte über für die Urinmenge, die Kinder verschiedener Altersstufen ausscheiden, angibt:

Alter (Monate)	Häufigkeit des Urinieren	Urin Volumen (ml)	Zeit zwischen dem Urinieren - Tag (min)
6-12	20.1	30.9	52
12-18	15.9	57.3	68
18-24	13.5	63.1	82
24-32	10.8	79.3	102
Durchschnitt	15 +/- 4	58 +/- 16	76 +/- 23

Urinmengen während Windelwechsel am Tag/Nachts:



Weiterhin werden alle Windeln im Gebrauchstest mit sehr vielen Babys überprüft (Verbraucherkontaktzentrum). So kann man genau feststellen, ob die Windel ausläuft, oder nicht.

Wir hoffen, Ihnen mit diesen Informationen behilflich gewesen zu sein und verbleiben mit freundlichen Grüßen

[...]

Consumer Relations DACH  
Procter & Gamble Service GmbH

Die *Abbildungen* für den Untersuchungsauftrag sind folgenden Quellen entnommen:

- <http://www.pampers.de/> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- <http://www.dm-drogeriemarkt.de/> [Letzter Zugriff: 22.3.2008]
- Tausch & Wachtendonk (2005, S. 147)

**Adaptierte Fassung des Fragebogens VNOS-C** (vgl. Lederman *et al.* 2002, S. 509)

Bei den tatsächlich eingesetzten Fragebögen<sup>1</sup> wurde – anders als hier dargestellt – jede Frage auf einer separaten Seite gestellt!

**Wie forschen eigentlich Naturwissenschaftler?**

Frage 1

**Name** (oder Kennziffer): \_\_\_\_\_

**Kennziffer:** Vorname/Nachname/Geburtstag/Geburtsmonat

Bsp.: Sarah-Kristin Mustermann, 28.11.1988 → **SKM2811**

1. Was verstehen Sie unter dem Wort „Naturwissenschaften“? Was ist Ihrer Meinung nach der Unterschied zwischen Naturwissenschaften (oder z. B. einer naturwissenschaftlichen Disziplin wie Physik oder Biologie) und anderen Forschungsrichtungen (wie z. B. Theologie oder Philosophie)?
2. Was ist ein Experiment?
3. Sind für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens Experimente *erforderlich*?
  - Falls ja, begründen Sie warum. Nennen Sie ein Beispiel, um ihre Meinung zu untermauern.
  - Falls nein, begründen Sie warum. Nennen Sie ein Beispiel, um ihre Meinung zu untermauern.
4. Kann sich eine naturwissenschaftliche Theorie jemals ändern, wenn Naturwissenschaftler sie einmal entwickelt haben (z. B. Evolutionstheorie)?
  - Falls Sie glauben, dass sich naturwissenschaftliche Theorien *nicht* ändern, begründen Sie warum! Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!
  - Falls Sie glauben, dass sich naturwissenschaftliche Theorien *ändern*:
    - (a) Warum ist das so? Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen.
    - (b) Warum beschäftigt man sich dann in der Schule überhaupt mit naturwissenschaftlichen Theorien? Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!
5. Gibt es einen Unterschied zwischen einer naturwissenschaftlichen Theorie und einem naturwissenschaftlichen Gesetz? Veranschaulichen Sie ihre Antwort mit einem Beispiel!
6. Ein Atom wird in naturwissenschaftlichen Lehrbüchern oft so dargestellt, dass sich im Zentrum ein Kern aus Protonen (positiv geladene Teilchen) und Neutronen (neutrale Teilchen) befindet, der von Elektronen (negativ geladene Teilchen) umkreist wird.  
Wie sicher sind Naturwissenschaftler, dass ein Atom genau so aussieht? Welche Belege haben Naturwissenschaftler *Ihrer Meinung nach* herangezogen um zu entscheiden, wie ein Atom aussieht?

<sup>1</sup> Die Original-Fragebögen können auf Wunsch gerne eingesehen werden; sie stehen bei Herrn Prof. Dr. Volker Scharf bereit.

7. Man glaubt, dass die Dinosaurier vor mehr als 65 Millionen Jahren ausstarben. Zwei Hypothesen, warum sie ausstarben, sind weit verbreitet: Eine Gruppe von Wissenschaftlern geht davon aus, dass ein großer Meteorit vor 65 Millionen Jahren die Erde traf und eine Vielzahl von Ereignissen auslöste, die das Aussterben verursachten. Eine andere Gruppe von Naturwissenschaftlern vertritt die zweite Hypothese, wonach gewaltige Vulkanausbrüche für das Aussterben verantwortlich sind.
- Wie sind diese *unterschiedlichen Schlussfolgerungen* möglich, obgleich doch die Wissenschaftler beider Gruppen Zugang zu den *gleichen Informationsquellen* haben und auch von den gleichen Quellen ihre Schlussfolgerungen ableiten?
8. Einige behaupten, dass die Naturwissenschaften in soziale und kulturelle Traditionen eingebunden sind. Damit ist gemeint, dass die Naturwissenschaften soziale und politische Werteinschätzungen, philosophische Grundgedanken sowie geistige Maßstäbe der jeweiligen Kultur widerspiegeln. Andere sind der Ansicht, dass Naturwissenschaften universell sind. Damit ist gemeint, dass Naturwissenschaften nationale und kulturelle Grenzen überschreiten und durch soziale, politische und philosophische Werte sowie durch geistige Maßstäbe der jeweiligen Kultur nicht beeinflusst werden.
- Falls Sie glauben, dass Naturwissenschaften soziale und kulturelle Wertvorstellungen widerspiegeln, begründen Sie warum. Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!
  - Falls Sie glauben, dass Naturwissenschaften universell sind, begründen Sie warum. Stützen Sie ihre Ansicht mit Beispielen!

**Kategoriensystem zur Auswertung des adaptierten Fragebogens VNOS-C**

- Frage im Interview<sup>+</sup>
- Widerspruch in sich<sup>+</sup>

***BEOBACHTUNGEN, SCHLUSSFOLGERUNGEN, DENKMODELLE*****Eher elaboriert**

- Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)
- Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung
- Exp. als Mittel der Erkenntnis
- Exp. können nichts verifizieren
- Exp. können Theorien nur stützen und/oder widerlegen\*
- Exp. nicht zwingend für Theoriebildung

***Eher naiv***

- Atome als Fakten (z. B. Mikroskop, Anziehungskräfte etc.)\**
- Exp. (unbedingt) erforderlich\**
- Exp. beweist (und widerlegt) etwas<sup>+</sup>*
- Exp. veranschaulicht etwas*
- Objektiv Daten sammeln*

**Keine Antwort/Nicht codierbar*****EMPIRISCHE BASIS*****Eher elaboriert**

- Interpretation systematischer Beobachtungen
- Phänomene erklären

***Eher naiv***

- Aus Beobachtungen Theorien aufstellen*
- Eindeutig richtige und falsche Antworten*
- Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten*
- Fakten der Natur*
- NW sind praktisch orientiert/Technik<sup>+</sup>*

**Keine Antwort/Nicht codierbar*****KREATIVITÄT*****Eher elaboriert**

- Atom: (kreatives) Konstrukt/Fiktion

***Eher naiv***

- Atom: (Fakt/ keine Ahnung/ keine Antwort)*

***MYTHOS „NATURWISSENSCHAFTLICHE METHODE“*****Eher elaboriert**

- Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen
- Es gibt nicht **die** Methode

***Eher naiv***

- Genau Methode*
- Genau Schrittfolge bei Experiment*

**Keine Antwort/Nicht codierbar**

**SUBJEKTIVITÄT/THEORIEGEBUNDENHEIT****Eher elaboriert**

Dinos: Interpretation der Forscher  
 Forschung kulturell beeinflusst\*  
 Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung

**Eher naiv**

*Dinos: inhaltliche Antwort*<sup>+</sup>  
*Dinos: widersprüchliche/uneindeutige Daten*\*  
*Dinos: zeitl. Abstand/keine Zeugen*  
*Forschung durch Geld beeinflusst*\*  
*Universell (z. B. weil Fakten überall gleich)*\*

**Keine Antwort/Nicht codierbar****THEORIEN & GESETZE****Eher elaboriert**

Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage  
 keine Hierarchie Theorie/Gesetz  
 Theorie = etabliertes Denkmodell  
 Theorie gibt Forschungsrahmen vor  
 Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig\*

**Eher naiv**

*Gesetze = bewiesen/gültig/fest*  
*Theorie = Hypothese/unbewiesene Idee*\*<sup>+</sup>  
*Theorie = Vorstufe zu Gesetz*

**Keine Antwort/Nicht codierbar****VORLÄUFIGKEIT****Eher elaboriert**

Theorienwandel bei neuen Belegen  
 Theorienwandel bei Neuinterpretation

**Eher naiv**

*Kein Theorienwandel*  
*Theorienwandel durch technische Innovationen*  
*Theorienwandel wenn Theorie falsch*\*  
*Theorienwandel: ja (ohne Begründung)*<sup>+</sup>

**Keine Antwort/Nicht codierbar****Legende**

Ein Plus-Zeichen (+) hinter einem Code bedeutet, dass dieser Code nach einem intensiven Austausch mit den beiden weiteren Codierern entstanden ist; der Asterisk (\*) kennzeichnet Formulierungen, die im Anschluss an den Austausch überarbeitet wurden.

## Codierleitfaden für den adaptierten Fragebogen VNOS-C

### Generell gilt

- Nicht alle Sätze müssen codiert werden.
- Ein und derselbe Text kann mehrfach codiert werden.
- **Vermutet** man nur eine sinnvolle Antwort, d. h. man **interpretiert** als Codierer (oder zieht z. B. einen Umkehrschluss), dann bitte **nur** nach „Frage im Interview“ codieren und potenzielle Frage in einem **Memo** notieren! (Doppelklick links neben dem Originaltext in der Spalte ≡ / Memotyp: Fragezeichen.)
- Die Codierentscheidung „Widerspruch in sich“ verlangt mindestens zwei zusätzliche Codierungen: mindestens eine „eher elaboriert“ und mindestens eine „eher naiv“!
- Die Codierentscheidung „Keine Antwort/Nicht codierbar“ kann **nur dann** getroffen werden, wenn entweder gar keine Antwort gegeben wird oder wenn die gegebene Antwort sich nicht dem intendierten Zielbereich zuordnen lässt.

<i>Frage</i>	<i>Eher naive Sichtweise</i>	<i>Elaborierte Sichtweise (lt. NRC)</i>
<b>a) Empirische Basis</b>		
<b>F 1:</b> Was verstehen Sie unter dem Wort „Naturwissenschaften“?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NW beschäftigen sich mit Fakten (der natürlichen Welt)/NW sind objektiv</li> <li>• NW bringen nützliche Technik hervor</li> <li>• NW entdecken Naturgesetze/Wahrheiten</li> <li>• NW erstellen/beweisen Theorien aus beobachteten Fakten</li> <li>• NW verlangen eindeutig richtige und falsche Antworten (im Ggs. zu Theologie/Philosophie)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NW versuchen Phänomene zu erklären</li> <li>• NW-Wissen basiert auf der Interpretation systematischer Beobachtungen</li> </ul>
<b>b) Status von Beobachtungen, Deutungen und Denkmodellen (Wechselspiel Theorie vs. Empirie)</b>		
<b>F 2:</b> Was ist ein Experiment?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ziel von Experimenten: etwas beweisen/belegen/nachweisen. (<i>Hier auch „beweist“ im Verbund mit „widerlegt“ codieren!</i>)</li> <li>• Objektiv (und vorurteilsfrei) Daten sammeln bzw. erheben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimente können Theorien lediglich stützen/bestätigen bzw. falsifizieren/widerlegen</li> <li>• Experimente können weder Hypothesen noch Theorien beweisen, belegen, verifizieren.</li> <li>• Mittel der Erkenntnis/Ergebnis erhalten, etwas herausfinden</li> </ul>
<b>F 3:</b> Sind für die Entwicklung nw-Wissens Experimente <b>erforderlich</b> ?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimente sind unbedingt erforderlich um etwas zu beweisen/belegen/nachzuweisen</li> <li>• Ja/Nein ohne weitere Angabe von Gründen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimente sind meist nötig, aber nicht hinreichend/zwingend für die Entwicklung wiss. Wissens. (Es gibt auch Theorien ohne Experimente, z. B. Darwins Evolutionstheorie.)</li> </ul>
<b>F 6:</b> Wie sicher sind NW-ler, dass ein Atom genau so aussieht?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicher</li> <li>• Sicher, denn man kann Atome <u>mit einem Mikroskop sehen</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht sicher, weil man Atome <u>nicht sehen</u> kann; Konstrukt</li> <li>• Beobachtungen sind gebunden an unsere Wahrnehmungsmöglichkeiten (auch durch Apparaturen)</li> </ul>

Frage	Eher naive Sichtweise	Elaborierte Sichtweise (lt. NRC)
<b>c) Status von Theorien und naturwissenschaftlichen Gesetzen</b>		
<p><b>F 5:</b> Gibt es einen Unterschied zwischen einer nw-Theorie und einem nw-Gesetz?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Theorien sind Ideen, die noch nicht ganz ausgetestet sind (sind noch nicht bewiesen)</li> <li>• Gesetze stehen fest/sind bewiesen</li> <li>• Erhält man immer wieder die gleichen experimentellen Ergebnisse, können Theorien zu bewiesenen Gesetzen werden. (Hierarchie: von der Theorie zum Gesetz)</li> </ul> <p><i>Wird nur „Ja“ oder „Nein“ geantwortet, bitte nach „Keine Antwort/Nicht codierbar“ codieren!</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Naturwiss. Theorien sind keine „Einfälle, Ideen“ im alltagssprachlichen Sinne</li> <li>• <i>Etabliertes Denkmodell:</i> Theorien sind erklärungsmächtige, fundierte Konzepte/Denkmodelle/Erklärungsmodelle für beobachtete Phänomene, die gegenüber Widerlegungsversuchen bislang resistent sind</li> <li>• Theorien stellen einen <i>Forschungsrahmen</i> dar und erlauben daher auch <i>Vorhersagen</i>.</li> <li>• Gesetze sind Verallgemeinerungen von <i>Beobachtungsaussagen</i> (beschreiben Zusammenhang zwischen zwei beobachtbaren Größen unter bestimmten Bedingungen)</li> <li>• Gesetze und Theorien sind auf ganz unterschiedlichen Ebenen angesiedelt (keine Hierarchie).</li> <li>• Theorien erheben keinen Wahrheitsanspruch (nur: Bewährung). Der Grad der Bewährung kann nur indirekt abgeschätzt werden, indem testbare Schlussfolgerungen aus der Theorie abgeleitet werden</li> </ul>
<b>d) Anschaulich-kreative Seite der Naturwissenschaften</b>		
<p><b>F 6:</b> Wie sicher sind NW-ler, dass ein Atom genau so aussieht?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (keine Ahnung)</li> </ul> <p><i>– hier bitte auch codieren, wenn Frage nicht beantwortet wird! –</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deutungen und Konstrukte erfordern Kreativität/Fiktionen.</li> </ul> <p><i>– hier auch codieren, wenn auf Modellenebene Bezug genommen wird! –</i></p>
<b>e) &amp; f) Theoriegebundenheit naturwissenschaftlichen Wissens &amp; sozialer und kultureller Einfluss</b>		
<p><b>F 7:</b> <i>Zum Aussterben der Dinosaurier:</i> Unterschiedliche Schlussfolgerungen bei gleichen Informationsquellen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitlicher Abstand zu Dinos zu groß</li> <li>• Es gibt keine Zeugen mehr</li> <li>• Es liegen widersprüchliche Daten vor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterschiedliche Interpretation der Fakten durch den unterschiedlichen Hintergrund einzelner Forscher.</li> </ul>
<p><b>F 8:</b> Naturwissenschaften: kulturell eingebunden oder universell?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NW Wissen ist universell</li> <li>• NW betrifft nur Fakten und ist daher unbeeinflusst von Kultur und Gesellschaft (Atome sind in Afrika auch Atome)</li> <li>• Gesellschaft muss Geld für Forschung aufwenden und beeinflusst daher NW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forscher sind in ein Forschungsparadigma und ihre kulturelle Tradition eingebunden, aber die Forschergemeinschaft mindert Subjektivität</li> <li>• Gesellschaft u. Kultur beeinflussen Akzeptanz von naturwissenschaftlichen Ideen (z. B. katholische Kirche behinderte Forschungen, die dem geozentrischen Weltbild widersprechen)</li> </ul>

Frage	Eher naive Sichtweise	Elaborierte Sichtweise (lt. NRC)
<b>g) Mythos einer einheitlichen naturwissenschaftlichen Methode</b>		
<b>F 1:</b> Was verstehen Sie unter NW?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NW nutzen eine bestimmte/genauere Methode</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es gibt nicht <b>die</b> NW-Methode.</li> </ul>
<b>F 2:</b> Was ist ein Experiment?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experiment hat bestimmte Abfolge an Schritten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unter kontrollierten Bedingungen Daten sammeln/erheben, wobei alle anderen Variablen konstant gehalten werden</li> </ul>
<b>h) Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens</b>		
<b>F 4:</b> Kann sich eine naturwissenschaftliche Theorie ändern?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja bzw. nein (ohne weitere Angabe von Gründen)</li> <li>• Ja, Theorien können sich ändern, wenn ...               <ul style="list-style-type: none"> <li>- sie sich als falsch herausstellen</li> <li>- bessere Messmethoden existieren (techn. Innovationen)</li> <li>- ein Forscher seine Meinung ändert</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja, Theorien können sich ändern, wenn <b>neue Belege</b> vorliegen.</li> <li>• Ja, Theorien können sich ändern, wenn <b>vorhandene Belege/Daten neu interpretiert</b> werden müssen.</li> </ul>

Ermittlung der Intercoderreliabilität  $C_R$  nach HOLSTI (1969, S. 142) für Fragebogen A

Code-Matrix Browser			
Codesystem	Codierer a	Codierer b	Codierer c
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle			
Eher elaboriert			
Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung			
Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)			
Exp. als Mittel der Erkenntnis			
Exp. können nichts verifizieren			
Exp. nicht zwingend			
Exp. stützen / falsifizieren Theorien			
Eher naiv			
Atome als Fakten (Mikroskop)			
Exp. (unbedingt) erforderlich	■	■	■
Exp. beweisen etwas	■	■	
Exp. nicht erforderlich, da Wissen in der Natur			
Objektiv Daten sammeln			
Keine Antwort / Nicht codierbar	■	■	■
Empirische Basis			
Eher elaboriert			
Interpretation systematischer Beobachtungen			
Phänomene erklären			
Eher naiv			
Aus Beobachtungen Theorien aufstellen			
Eindeutig richtige und falsche Antworten			
Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten			
Fakten der Natur	■	■	■
NW sind praktisch orientiert / Technik			
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Kreativität			
Eher elaboriert			
Atom: ((kreatives) Konstrukt			
Eher naiv			
Atom: ((keine Ahnung)		■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar	■		
Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"			
Eher elaboriert			
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen			
Es gibt nicht die Methode			
Eher naiv			
Genauere Methode			
Genauere Schrittfolge bei Experiment			
Keine Antwort / Nicht codierbar	■	■	■
Subjektivität / Theoriegebundenheit			
Eher elaboriert			
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung			
Dinos: Interpretation der Forscher			
Forschung kulturell beeinflusst (mit Begründung)			
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung		■	
Eher naiv			
Dinos: widersprüchliche Daten			
Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen			
Universell (denn Fakten überall gleich)	■	■	■
Universell, aber durch Geld beeinflusst			
Keine Antwort / Nicht codierbar	■		
Theorien & Gesetze			
Eher elaboriert			
keine Hierarchie Theorie/Gesetz			
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage			
Theorie = etabliertes Denkmodell			
Theorie gibt Forschungsrahmen vor			
Theorien nicht wahr			
Eher naiv			
Gesetze = bewiesen	■	■	■
Theorie = Vorstufe zu Gesetz			
Theorien = Idee / nicht bewiesen		■	■
Verwechslung Theorie-Hypothese	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Vorläufigkeit			
Eher elaboriert			
Theorienwandel bei neuen Belegen			
Theorienwandel bei Neuinterpretation			
Eher naiv			
Kein Theorienwandel	■	■	■
Theorienwandel (z.B. wenn Theorie falsch)		■	
Keine Antwort / Nicht codierbar			

Namen, X-Achse:  keine  kurze  volle

$C_i = 14 \quad 12 \quad 11$

$$C_R = \frac{n \cdot C_U}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$C_{R(a,b)} = \frac{2 \cdot 10}{26} = 0,77$$

$$C_{R(a,c)} = \frac{2 \cdot 10}{25} = 0,80$$

$$C_{R(b,c)} = \frac{2 \cdot 10}{23} = 0,87$$

$$C_{R(a,b,c)} = \frac{3 \cdot 9}{37} = 0,73$$

Ermittlung der Intercoderreliabilität  $C_R$  nach HOLSTI (1969, S. 142) für Fragebogen B

Code-Matrix Browser			
Codesystem	Codierer a	Codierer b	Codierer c
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle			
Eher elaboriert			
Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung			
Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)			•
Exp. als Mittel der Erkenntnis			
Exp. können nichts verifizieren			
Exp. nicht zwingend			
Exp. stützen / falsifizieren Theorien	•		•
Eher naiv			
Atome als Fakten (Mikroskop)			
Exp. (unbedingt) erforderlich	•		•
Exp. beweisen etwas		•	
Exp. nicht erforderlich, da Wissen in der Natur			
Objektiv Daten sammeln			
Keine Antwort / Nicht codierbar	•	•	•
Empirische Basis			
Eher elaboriert			
Interpretation systematischer Beobachtungen			
Phänomene erklären			
Eher naiv			
Aus Beobachtungen Theorien aufstellen			
Eindeutig richtige und falsche Antworten			
Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten			
Fakten der Natur		•	•
NW sind praktisch orientiert / Technik	•	•	
Keine Antwort / Nicht codierbar	•		
Kreativität			
Eher elaboriert			
Atom: (kreatives) Konstrukt			
Eher naiv			
Atom: (keine Ahnung)			
Keine Antwort / Nicht codierbar	•	•	•
Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"			
Eher elaboriert			
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen			
Es gibt nicht die Methode			
Eher naiv			
Genauere Methode			
Genauere Schrittfolge bei Experiment			
Keine Antwort / Nicht codierbar	■	■	■
Subjektivität / Theoriegebundenheit			
Eher elaboriert			
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung			
Dinos: Interpretation der Forscher	•	•	•
Forschung kulturell beeinflusst (mit Begründung)			
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung			
Eher naiv			
Dinos: widersprüchliche Daten			
Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen			
Universell (denn Fakten überall gleich)	•	•	•
Universell, aber durch Geld beeinflusst			
Keine Antwort / Nicht codierbar	•	•	•
Theorien & Gesetze			
Eher elaboriert			
keine Hierarchie Theorie/Gesetz			
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage			
Theorie = etabliertes Denkmodell			
Theorie gibt Forschungsrahmen vor			
Theorien nicht wahr			
Eher naiv			
Gesetze = bewiesen			
Theorie = Vorstufe zu Gesetz			
Theorien = Idee / nicht bewiesen			
Verwechslung Theorie-Hypothese			
Keine Antwort / Nicht codierbar	•	•	•
Vorläufigkeit			
Eher elaboriert			
Theorienwandel bei neuen Belegen	•		
Theorienwandel bei Neuinterpretation			•
Eher naiv			
Kein Theorienwandel			•
Theorienwandel (z.B. wenn Theorie falsch)		•	
Keine Antwort / Nicht codierbar			

$$C_R = \frac{n \cdot C_U}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$C_{R(a,b)} = \frac{2 \cdot 8}{23} = 0,70$$

$$C_{R(a,c)} = \frac{2 \cdot 9}{24} = 0,75$$

$$C_{R(b,c)} = \frac{2 \cdot 8}{23} = 0,70$$

$$C_{R(a,b,c)} = \frac{3 \cdot 7}{35} = 0,60$$

Namen, X-Achse:  keine  kurze  volle

$C_i = 12 \quad 11 \quad 12$

Ermittlung der Intercoderreliabilität  $C_R$  nach HOLSTI (1969, S. 142) für Fragebogen C

Code-Matrix Browser			
Codesystem	Codierer a	Codierer b	Codierer c
<input type="checkbox"/> Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung			
<input type="checkbox"/> Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)			
<input type="checkbox"/> Exp. als Mittel der Erkenntnis	•	•	•
<input type="checkbox"/> Exp. können nichts verifizieren			
<input type="checkbox"/> Exp. nicht zwingend			
<input type="checkbox"/> Exp. stützen / falsifizieren Theorien	•		•
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Atome als Fakten (Mikroskop)	•	•	•
<input type="checkbox"/> Exp. (unbedingt) erforderlich	•	•	•
<input type="checkbox"/> Exp. beweisen etwas			
<input type="checkbox"/> Exp. nicht erforderlich, da Wissen in der Natur			
<input type="checkbox"/> Objektiv Daten sammeln			
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar			
<input type="checkbox"/> Empirische Basis			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> Interpretation systematischer Beobachtungen			
<input type="checkbox"/> Phänomene erklären			
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Aus Beobachtungen Theorien aufstellen			
<input type="checkbox"/> Eindeutig richtige und falsche Antworten			
<input type="checkbox"/> Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten			
<input type="checkbox"/> Fakten der Natur	•	•	•
<input type="checkbox"/> NW sind praktisch orientiert / Technik			
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar			
<input type="checkbox"/> Kreativität			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> Atom: (kreatives) Konstrukt			
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Atom: (keine Ahnung)			•
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar	•	•	
<input type="checkbox"/> Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen			
<input type="checkbox"/> Es gibt nicht die Methode			
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Genaue Methode			
<input type="checkbox"/> Genaue Schrittfolge bei Experiment	■	■	■
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar			
<input type="checkbox"/> Subjektivität / Theoriegebundenheit			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung			
<input type="checkbox"/> Dinos: Interpretation der Forscher			
<input type="checkbox"/> Forschung kulturell beeinflusst (mit Begründung)			
<input type="checkbox"/> Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung	•		
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Dinos: widersprüchliche Daten	•	•	•
<input type="checkbox"/> Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen			
<input type="checkbox"/> Universell (denn Fakten überall gleich)	•	•	•
<input type="checkbox"/> Universell, aber durch Geld beeinflusst	•	•	•
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar			
<input type="checkbox"/> Theorien & Gesetze			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> keine Hierarchie Theorie/Gesetz			
<input type="checkbox"/> Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage			
<input type="checkbox"/> Theorie = etabliertes Denkmodell			
<input type="checkbox"/> Theorie gibt Forschungsrahmen vor			
<input type="checkbox"/> Theorien nicht wahr			
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Gesetze = bewiesen	•		•
<input type="checkbox"/> Theorie = Vorstufe zu Gesetz			
<input type="checkbox"/> Theorien = Idee / nicht bewiesen	•		•
<input type="checkbox"/> Verwechslung Theorie-Hypothese			
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar			
<input type="checkbox"/> Vorläufigkeit			
<input type="checkbox"/> Eher elaboriert			
<input type="checkbox"/> Theorienwandel bei neuen Belegen	•		
<input type="checkbox"/> Theorienwandel bei Neuinterpretation	•		
<input type="checkbox"/> Eher naiv			
<input type="checkbox"/> Kein Theorienwandel			
<input type="checkbox"/> Theorienwandel (z.B. wenn Theorie falsch)			•
<input type="checkbox"/> Keine Antwort / Nicht codierbar		•	

$$C_R = \frac{n \cdot C_{\bar{U}}}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$C_{R(a,b)} = \frac{2 \cdot 9}{25} = 0,72$$

$$C_{R(a,c)} = \frac{2 \cdot 11}{28} = 0,79$$

$$C_{R(b,c)} = \frac{2 \cdot 8}{23} = 0,70$$

$$C_{R(a,b,c)} = \frac{3 \cdot 8}{38} = 0,63$$

Namen, X-Achse:  keine  kurze  volle

$C_i = 15 \quad 10 \quad 13$

Ermittlung der Intercoderreliabilität  $C_R$  nach HOLSTI (1969, S. 142) für Fragebogen D

Code-Matrix Browser			
Codesystem	Codierer a	Codierer b	Codierer c
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle			
Eher elaboriert			
Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung			
Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)	•		
Exp. als Mittel der Erkenntnis			•
Exp. können nichts verifizieren			
Exp. nicht zwingend			
Exp. stützen / falsifizieren Theorien	•		•
Eher naiv			
Atome als Fakten (Mikroskop)			
Exp. (unbedingt) erforderlich	•	•	•
Exp. beweisen etwas	•	•	•
Exp. nicht erforderlich, da Wissen in der Natur			
Objektiv Daten sammeln			
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Empirische Basis			
Eher elaboriert			
Interpretation systematischer Beobachtungen			
Phänomene erklären	•		
Eher naiv			
Aus Beobachtungen Theorien aufstellen			
Eindeutig richtige und falsche Antworten			
Entdecken von Naturgesetzen/Wahrheiten	•		
Fakten der Natur		•	•
NW sind praktisch orientiert / Technik			
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Kreativität			
Eher elaboriert			
Atom: (kreatives) Konstrukt	•		
Eher naiv			
Atom: (keine Ahnung)			
Keine Antwort / Nicht codierbar		•	•
Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"			
Eher elaboriert			
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen			
Es gibt nicht die Methode			
Eher naiv			
Genau Methode			
Genau Schrittfolge bei Experiment			•
Keine Antwort / Nicht codierbar	■	■	•
Subjektivität / Theoriegebundenheit			
Eher elaboriert			
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung			
Dinos: Interpretation der Forscher	•		•
Forschung kulturell beeinflusst (mit Begründung)	•	•	
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung			
Eher naiv			
Dinos: widersprüchliche Daten			
Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen			
Universell (denn Fakten überall gleich)			
Universell, aber durch Geld beeinflusst			
Keine Antwort / Nicht codierbar		•	•
Theorien & Gesetze			
Eher elaboriert			
keine Hierarchie Theorie/Gesetz			
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage	•		•
Theorie = etabliertes Denkmodell			
Theorie gibt Forschungsrahmen vor	•		
Theorien nicht wahr			
Eher naiv			
Gesetze = bewiesen			
Theorie = Vorstufe zu Gesetz			
Theorien = Idee / nicht bewiesen			
Verwechslung Theorie-Hypothese		•	
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Vorläufigkeit			
Eher elaboriert			
Theorienwandel bei neuen Belegen	•		
Theorienwandel bei Neuinterpretation	•		
Eher naiv			
Kein Theorienwandel			
Theorienwandel (z.B. wenn Theorie falsch)		•	•
Keine Antwort / Nicht codierbar			

$$C_R = \frac{n \cdot C_{\bar{U}}}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$C_{R(a,b)} = \frac{2 \cdot 5}{25} = 0,40$$

$$C_{R(a,c)} = \frac{2 \cdot 7}{28} = 0,50$$

$$C_{R(b,c)} = \frac{2 \cdot 7}{23} = 0,61$$

$$C_{R(a,b,c)} = \frac{3 \cdot 3}{38} = 0,24$$

Namen, X-Achse:  keine  kurze  volle  $C_i = 15 \quad 10 \quad 13$

Intercoderreliabilität  $C_R$  nach HOLSTI (1969, S. 142) für Fragebogen D, *zweiter Durchgang*, nach intensivem Gespräch und Modifikation von Codesystem und Codierleitfaden

Code-Matrix Browser			
Codesystem	Codierer a	Codierer b	Codierer c
- Frage im Interview	■	■	■
- Widerspruch in sich	■	■	■
Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle			
Eher elaboriert			
Atome als Konstrukt (nicht sichtbar)	■	■	■
Beobachtungen gebunden an Wahrnehmung	■	■	■
Exp. als Mittel der Erkenntnis	■	■	■
Exp. können nichts verifizieren	■	■	■
Exp. nicht zwingend für Theoriebildung	■	■	■
Exp. stützen und/oder widerlegen Theorien	■	■	■
Eher naiv			
Atome als Fakten (Mikroskop)	■	■	■
Exp. (unbedingt) erforderlich	■	■	■
Exp. beweist (und widerlegt) etwas	■	■	■
Exp. veranschaulicht etwas	■	■	■
Objektiv Daten sammeln	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Empirische Basis			
Eher elaboriert			
Interpretation systematischer Beobachtungen	■	■	■
Phänomene erklären	■	■	■
Eher naiv			
Aus Beobachtungen Theorien aufstellen	■	■	■
Eindeutig richtige und falsche Antworten	■	■	■
Entdecken von Naturgesetzen / Wahrheiten	■	■	■
Fakten der Natur	■	■	■
NW sind praktisch orientiert / Technik	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Kreativität			
Eher elaboriert			
Atom: (kreatives) Konstrukt / Fiktion	■	■	■
Eher naiv			
Atom: (keine Ahnung / keine Antwort)	■	■	■
Mythos "Naturwissenschaftliche Methode"			
Eher elaboriert			
Daten erheben unter kontrollierten Bedingungen	■	■	■
Es gibt nicht die Methode	■	■	■
Eher naiv			
Genauere Methode	■	■	■
Genauere Schrittfolge bei Experiment	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Subjektivität / Theoriegebundenheit			
Eher elaboriert			
Dinos: Interpretation der Forscher	■	■	■
Forschung kulturell beeinflusst	■	■	■
Kultur beeinflusst Akzeptanz von Forschung	■	■	■
Eher naiv			
Dinos: widersprüchliche Daten	■	■	■
Dinos: zeitl. Abstand / keine Zeugen	■	■	■
Universell (z.B. weil Fakten überall gleich)	■	■	■
Forschung durch Geld beeinflusst	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Theorien & Gesetze			
Eher elaboriert			
Gesetz = verallgemeinerte Beobachtungsaussage	■	■	■
keine Hierarchie Theorie/Gesetz	■	■	■
Theorie = etabliertes Denkmodell	■	■	■
Theorie gibt Forschungsrahmen vor	■	■	■
Theorien sind nicht wahr/sind vorläufig	■	■	■
Eher naiv			
Gesetze = bewiesen	■	■	■
Theorie = Hypothese/unbewiesene Idee	■	■	■
Theorie = Vorstufe zu Gesetz	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Vorläufigkeit			
Eher elaboriert			
Theorienwandel bei neuen Belegen	■	■	■
Theorienwandel bei Neuinterpretation	■	■	■
Eher naiv			
Kein Theorienwandel	■	■	■
Theorienwandel durch technische Innovationen	■	■	■
Theorienwandel wenn Theorie falsch	■	■	■
Theorienwandel: ja (ohne Begründung)	■	■	■
Keine Antwort / Nicht codierbar			
Namen, X-Achse: <input type="radio"/> keine <input type="radio"/> kurze <input checked="" type="radio"/> volle			
	$C_i = 18$	$16$	$19$

$$C_R = \frac{n \cdot C_{\bar{U}}}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$C_{R(a,b)} = \frac{2 \cdot 12}{34} = 0,71$$

$$C_{R(a,c)} = \frac{2 \cdot 14}{37} = 0,76$$

$$C_{R(b,c)} = \frac{2 \cdot 12}{35} = 0,69$$

$$C_{R(a,b,c)} = \frac{3 \cdot 11}{53} = 0,62$$

**Kursbezogene Anzahl an Codierentscheidungen im Pre-Post-Vergleich****Kurs A (n = 18)**

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	47	42 (-5)	13	23 (+10)
– Denkmodelle	10	8 (-2)	4	10 (+6)
– Status eines nw-Experiments	37	34 (-3)	9	13 (+4)
<b>Empirische Basis</b>	23	20 (-3)	1	1 (±0)
<b>Kreativität</b>	13	8 (-5)	4	10 (+6)
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	1	0 (±0)	0	0 (±0)
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	21	17 (-4)	11	19 (+8)
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	31	34 (+3)	1	7 (+6)
<b>Vorläufigkeit</b>	19	13 (-6)	2	8 (+6)

Anzahl *aller* getroffenen Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 18). Mehrfachcodierungen pro Person sind möglich. Werte in Klammern dokumentieren relative Veränderungen.

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	18 = 100 %	18 = 100 %	10 = 56 %	14 = 78 %
– Denkmodelle	10 = 56 %	8 = 44 %	4 = 22 %	10 = 56 %
– Status eines nw-Experiments	18 = 100 %	18 = 100 %	9 = 50 %	10 = 56 %
<b>Empirische Basis</b>	16 = 89 %	17 = 94 %	1 = 6 %	1 = 6 %
<b>Kreativität</b>	13 = 72 %	8 = 44 %	4 = 22 %	10 = 56 %
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	1 = 6 %	0	0	0
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	13 = 72 %	11 = 61 %	8 = 44 %	13 = 72 %
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	17 = 94 %	16 = 89 %	1 = 6 %	4 = 22 %
<b>Vorläufigkeit</b>	17 = 94 %	13 = 72 %	2 = 11 %	7 = 39 %

Anzahl *schülerbezogener* Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 18)

**Kurs B (n = 16)**

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	41	40 (-1)	10	15 (+5)
– Denkmodelle	7	4 (-3)	3	4 (+1)
– Status eines nw-Experiments	34	36 (+2)	7	11 (+4)
<b>Empirische Basis</b>	22	21 (-1)	0	1 (+1)
<b>Kreativität</b>	13	12 (+2)	3	4 (+1)
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	3	2 (-1)	0	1 (+1)
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	26	17 (-9)	10	13 (+3)
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	27	28 (+1)	2	2 (±0)
<b>Vorläufigkeit</b>	15	11 (-4)	3	5 (+2)

Anzahl *aller* getroffenen Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 16). Mehrfachcodierungen pro Person sind möglich. Werte in Klammern dokumentieren relative Veränderungen.

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	16 = 100 %	16 = 100 %	10 = 63 %	10 = 63 %
– Denkmodelle	7 = 44 %	4 = 25 %	3 = 19 %	4 = 25 %
– Status eines nw-Experiments	16 = 100 %	16 = 100 %	7 = 44 %	9 = 56 %
<b>Empirische Basis</b>	15 = 94 %	14 = 88 %	0	1 = 6 %
<b>Kreativität</b>	13 = 81 %	12 = 75 %	3 = 19 %	4 = 25 %
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	2 = 13 %	2 = 13 %	0	1 = 6 %
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	13 = 81 %	11 = 69 %	9 = 56 %	10 = 63 %
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	14 = 88 %	14 = 88 %	2 = 13 %	2 = 13 %
<b>Vorläufigkeit</b>	14 = 88 %	11 = 69 %	3 = 19 %	5 = 31 %

Anzahl *schülerbezogener* Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 16)

**Kurs C (n = 26)**

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	65	60 (-5)	23	33 (+10)
– Denkmodelle	13	10 (-3)	5	8 (+3)
– Status eines nw-Experiments	52	50 (-2)	18	25 (+7)
<b>Empirische Basis</b>	35	30 (-5)	1	4 (+3)
<b>Kreativität</b>	20	18 (-2)	5	8 (+3)
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	2	5 (+3)	0	2 (+2)
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	33	32 (-1)	21	28 (+7)
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	38	36 (-2)	3	6 (+3)
<b>Vorläufigkeit</b>	23	21 (-2)	2	6 (+4)

Anzahl *aller* getroffenen Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 26). Mehrfachcodierungen pro Person sind möglich. Werte in Klammern dokumentieren relative Veränderungen.

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	26 = 100 %	26 = 100 %	19 = 73 %	21 = 81 %
– Denkmodelle	13 = 50 %	10 = 38 %	5 = 19 %	8 = 31 %
– Status eines nw-Experiments	25 = 96 %	26 = 100 %	17 = 65 %	19 = 73 %
<b>Empirische Basis</b>	25 = 96 %	25 = 96 %	1 = 4 %	4 = 15 %
<b>Kreativität</b>	20 = 77 %	18 = 69 %	5 = 19 %	8 = 31 %
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	2 = 8 %	4 = 15 %	0	2 = 8 %
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	23 = 88 %	22 = 85 %	17 = 65 %	21 = 81 %
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	22 = 85 %	23 = 88 %	2 = 8 %	5 = 19 %
<b>Vorläufigkeit</b>	23 = 88 %	21 = 81 %	2 = 8 %	6 = 23 %

Anzahl *schülerbezogener* Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 26)

**Kurse A, B und C (n = 60)**

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	153	142 (-11)	46	71 (+25)
– Denkmodelle	30	22 (-8)	12	22 (+10)
– Status eines nw-Experiments	123	120 (-3)	34	49 (+15)
<b>Empirische Basis</b>	80	71 (-9)	2	6 (+4)
<b>Kreativität</b>	46	38 (-8)	12	22 (+10)
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	6	7 (+1)	0	3 (+3)
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	80	66 (-14)	42	60 (+18)
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	96	98 (+2)	6	15 (+9)
<b>Vorläufigkeit</b>	57	45 (-12)	7	19 (+12)

Anzahl *aller* getroffenen Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 60). Mehrfachcodierungen pro Person sind möglich. Werte in Klammern dokumentieren relative Veränderungen.

NOS Zielbereich	naiv		elaboriert	
	PRE	POST	PRE	POST
<b>Beobachtungen, Schlussfolgerungen, Denkmodelle</b>	60 = 100 %	60 = 100 %	39 = 65 %	45 = 75 %
– Denkmodelle	30 = 50 %	22 = 37 %	12 = 20 %	22 = 37 %
– Status eines nw-Experiments	59 = 98 %	60 = 100 %	33 = 55 %	38 = 63 %
<b>Empirische Basis</b>	56 = 93 %	56 = 93 %	2 = 3 %	6 = 10 %
<b>Kreativität</b>	46 = 77 %	38 = 63 %	12 = 20 %	22 = 37 %
<b>Mythos 'NW-Methode'</b>	5 = 8 %	6 = 10 %	0	3 = 5 %
<b>Subjektivität/Theoriegebundenheit</b>	49 = 82 %	44 = 73 %	34 = 57 %	44 = 73 %
<b>Theorien &amp; Gesetze</b>	53 = 88 %	53 = 88 %	5 = 8 %	11 = 18 %
<b>Vorläufigkeit</b>	54 = 90 %	45 = 75 %	7 = 12 %	18 = 30 %

Anzahl *schülerbezogener* Codier-Entscheidungen im Pre-Post-Vergleich (n = 60)

**‘Wanderungsbewegung’ einzelner Schüler des Kurses B** (n = 16)

Anzahl an elaborierten Codierungen im Post-Test

auf von	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1		1								
1	1	2		1	1						
2	1		1	5							
3							1				
4											
5											
6								1			
7											

Anzahl an elaborierten Codierungen im Pre-Test

MST1202<sup>B</sup>

JoSt<sup>B</sup>

FS1811<sup>B</sup>

**Transkriptionsregeln für die Interviews** (nach KALLMEYER/SCHÜTZE)

(.)	= ganz kurzes Absetzen einer Äußerung
..	= kurze Pause
...	= mittlere Pause
(Pause)	= lange Pause
mhm	= Pausenfüller, Rezeptionssignal
(.)	= Senken der Stimme
(-)	= Stimme in der Schwebe
(')	= Heben der Stimme
(?)	= Frageintonation
(h)	= Formulierungshemmung, Drucksen
(k)	= markierte Korrektur (Hervorheben der endgültigen Version, insbesondere bei Mehrfachkorrektur)
<u>sicher</u>	= auffällige Betonung
<u>sicher</u>	= gedehnt
(Lachen), (geht raus)	= Charakterisierung von nichtsprachlichen Vorgängen bzw. Sprechweise, Tonfall; die Charakterisierung steht vor den entsprechenden Stellen und gilt bis zum Äußerungsende, bis zu einer neuen Charakterisierung oder bis (+)
&	= auffällig schneller Anschluss
(..), (...)	= unverständlich
(Kommt es?)	= nicht mehr genau verständlich, vermuteter Wortlaut
A:	┌ aber da kam ich nicht weiter
B:	┌ ich möchte doch sagen
	= gleichzeitiges Sprechen, u. U. mit genauer Kennzeichnung des Einsetzens

Transkriptionsregeln nach KALLMEYER & SCHÜTZE (1977, S. 268), überarbeitet von KUCKARTZ (2005).

(Aus: Kuckartz 2005, S. 48)

Grundsätzlich sind die Interviews wörtlich transkribiert. Aus Gründen der Anonymität greife ich jedoch bei Namensnennungen auf die Kürzel zurück bzw. verwende Auslassungszeichen, falls eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist (z. B. weil nur Vornamen oder Namen genannt werden, die anhand der verwendeten Fragebogenkürzel nicht zugeordnet werden können, oder weil über Schüler gesprochen wird, die zwar beim Pre-Test, nicht jedoch beim Post-Test teilgenommen haben).

**Transkript des Interviews mit DF2005<sup>A</sup>**

- 1 **Interviewer:** Der DF2005 ist hier und den möchte ich jetzt ganz gerne was fragen. .. Hallo.
- 2 **Schüler:** Ja, hallo.
- 3 **I:** Wir interviewen, .. wir interviewen jetzt dich, weil du bei dem zweiten Fragebogen in einigen  
4 Punkten ne deutlich reflektiertere Sicht .. hattest als in dem ersten Fragebogen. Das heißt, du  
5 bist sozusagen einer unserer Gewinnerkandidaten,
- 6 **S:** [Ui ui
- 7 **I:** [also, wo man sagt: Wow, besser geworden. Kannst du dir das erklären (?)
- 8 **S:** ... Ja .. mhm .. vielleicht so, dass man sich doch das ein oder andere gemerkt hat oder über-  
9 haupt (,) auf andere Erkenntnisse gekommen ist, .. was man sich dann halt behalten hat und ..  
10 ja .. anwenden konnte, mehr oder weniger.
- 11 **I:** Hast du zu Hause zum Beispiel in nem Lexikon nachgeguckt (?) (–) Hast du mit
- 12 **S:** [Nö, nichts
- 13 **I:** [mit Leuten mal drüber gesprochen (?) Oder (–)
- 14 **S:** So wie man sich mal so unterhalten hat (...)
- 15 **I:** Ja, aber du hast jetzt nichts gezielt irgendwie .. danach mal recherchiert oder sowas (?)
- 16 **S:** Nee, gar nicht.
- 17 **I:** Glaubst du, das hat irgendwie was mit diesem Gruppenpuzzle zu tun, was wir gemacht haben  
18 (?) Also ihr habt ein Gruppenpuzzle ja gemacht. (.)
- 19 **S:** Jaja, mhm, phh, möglich. Also, .. könnte durchaus sein, dass es
- 20 **I:** Können wir mal gucken (?) Vielleicht könntest du .. mal .. Vielleicht erinnerst du dich, welches  
21 Plakat ihr erstellt habt, damit wir das auch zuordnen können.
- 22 **S:** Ja,
- 23 **I:** [Guck's dir an!
- 24 **S:** [das! (lachend)
- 25 **I:** Das habt ihr gemacht (?)
- 26 **S:** (bestätigend) Das haben wir gemacht.
- 27 **I:** Ah, ja.
- 28 **S:** (lacht)
- 29 **I:** Ich muss mir das mal kurz notieren. Weißt du noch, wer in deiner Gruppe war (?)
- 30 **S:** Ou, .. jetzt wird's schwierig. Vom Namen her oder welche Kürzel die hatten (.)
- 31 **I:** Ehm, .. die meisten haben den normalen Namen genannt.
- 32 **S:** Ehm, .. der [...] war glaub ich dabei, ... ja (–)
- 33 **I:** Ja (?)
- 34 **S:** Und die .. [...] ... o Gott, wie heißt die gleich noch mal ...  
35 [...] (kurzes Gespräch über Namen)
- 36 **I:** Okay, dann weiß ich. Ja, vielleicht guckst du dir das nochmal so an & das hattet ihr damals  
37 erstellt, ne (?) Das ist auch eines der besseren Poster eigentlich.
- 38 **S:** Ja.

- 39 **I:** Ihr schreibt ja auch hier so'n paar Mal mit 'neue Theorie' und 'aus Theorien entsteht irgend-  
40 etwas'. Gerade in diesem Bereich Theorien, du kannst dich gerne wieder setzen, (.) gerade in  
41 diesem Bereich Theorie hast du in dem zweiten Fragebogen ne ... ich sag das jetzt nochmal, ne  
42 reflektiertere Sicht, ... also, besser und schlechter passt in diesem Zusammenhang nie so, des-  
43 wegen sag ich mal, ne reflektiertere Sicht gezeigt. Deswegen würd ich dich jetzt noch mal so  
44 fragen, .. ganz frei aus'm Bauch heraus, was verstehst du jetzt unter ner Theorie .. naturwissen-  
45 schaftlichen Theorie (?)
- 46 **S:** Ja, das ist halt ... (leiser) ja, wie soll ich das jetzt erklären? Schon länger her, wo wir das (la-  
47 chend) gemacht haben (+) Ehm, ... jo, ... ne Theorie is halt, .. eigentlich ein Gedankengang, ..  
48 von mir aus irgendeinem, der sich damit befasst hat, mit irgendeinem Thema. (-) .. Und .. ehm  
49 .. hat das halt .. mehr und mehr verfeinert und was weiß ich ... und einfach immer mehr Gedan-  
50 ken reingebracht und es mit andern auch verglichen oder so, je nachdem .. andere Wissen-  
51 schaftler vielleicht mal hinzugezogen und was die vielleicht schon für Theorien aufgestellt ha-  
52 ben und ... das wär, ... da entsteht dann immer wieder was Neues.
- 53 **I:** [ Du sagt hier so
- 54 **S:** [ auf was für Erkenntnisse wie er dann gelangt ist .. und so was...
- 55 **I:** (zustimmend) mhm, okay. Du sagst übrigens, das (h) das freut mich, was sehr Ähnliches, was  
56 du auch damals geschrieben hast. Also, das ist ja eigentlich ganz gut, weil, wenn du jetzt was  
57 ganz anderes sagen würdest, [ dann
- 58 **S:** [ ja, stimmt (lacht)
- 59 **I:** und du weißt sicherlich nicht mehr, was du damals geschrieben hast, [ insofern
- 60 **S:** [ ja, genau.
- 61 **I:** ... ist das ganz nett. Eh ... was ist (,) deiner Meinung nach eigentlich der Unterschied .. ich hak  
62 jetzt hier so'n paar Fragen ab, die ich allen stellen möchte, (,) .. deiner Meinung nach der Unter-  
63 schied zwischen einer Theorie und einer Hypothese (.)
- 64 **S:** Ja, ich würd sagen, bei einer Theorie hat man dann schon eher noch mehr begründet (,) wie bei  
65 ner Hypothese, weil die kann man ja schon mal so einfach aufstellen. Es könnte das und das  
66 sein, ... und bei einer Theorie geht man halt auch mehr auf das Thema wirklich drauf ein .. also  
67 .. befasst sich halt noch mehr damit und versucht halt irgendwie, ja, auf ne höhere Ebene zu  
68 kommen.
- 69 **I:** Eh, was denkst du eigentlich .. es ging da ja auch um die Unterscheidung zwischen Theorie und  
70 Gesetz, wie entsteht eigentlich ein Gesetz (.) ... Fallgesetz habt ihr ja zum Beispiel immer oft  
71 angeführt.
- 72 **S:** Ja, also, ein Gesetz, würd ich sagen, basiert erst mal auf ner Theorie, (,) .. die irgendwann mal  
73 aufgestellt wurde. .. Und wenn diese Theorie halt nicht mehr widerlegt werden kann, sag ich  
74 mal, wird das dann zu nem Gesetz .. umgeformt, was dann wirklich sicher ist, und was dann  
75 wirklich so feststeht.
- 76 **I:** Würdest du so'n Ranking sehen zwischen Theorie und Gesetz (?)
- 77 **S:** Ich würde sagen, ne Theorie ist erst mal die Vorstufe von nem Gesetz.
- 78 **I:** Mhm ... okay .. wenn Naturwissenschaftler experimentieren und z. B. jetzt ne Theorie später  
79 mal irgendwann aufstellen möchten, Gesetze entdecken möchten oder (,) oder finden möchten,  
80 wie man das auch immer ausdrücken möchte, nutzen Naturwissenschaftler eigentlich ne spezi-  
81 elle Methode, wenn die vorgehen (?) ... Also, haben die alle so ne ähnliche Vorgehensweise (?)
- 82 **S:** Ja, das war doch auch das, was wir da so auf dem Schaubild .., eh, gezeigt haben, dass die  
83 halt .. erst mal ihre Überlegung haben, dann halt da herumexperimentieren, vielleicht noch an-  
84 dere fragen und so. Das war halt eigentlich immer dasselbe Schema eigentlich. ... Ja, so gehen

- 85 die halt weiter, kommen dann vielleicht zu neuen Erkenntnissen, Theorien, was weiß ich. ... Das  
86 war ja auch fast wie so ein Kreislauf.
- 87 I: Ja. Die nutzen dabei ja häufig Experimente. (.) Also grad bei der Säure-Base ist das ja so. (–)  
88 Was glaubst du, wie muss so'n Experiment durchgeführt werden, damit man da zu neuen Er-  
89 kenntnissen kommt (?)
- 90 S: Ja, vielleicht wahrscheinlich nicht so, wie man's vorher gemacht hat. .. Vielleicht schon vorher  
91 so Experimente gemacht hat und man, ja, immer nur zu den selben Erkenntnissen kommt, son-  
92 dern vielleicht mal ein bisschen rumprobieren, was man .. vielleicht auch anders machen könnte  
93 bei dem Experiment ... ja, ja .. vielleicht dann doch zum anderen Ergebnis führen würde.
- 94 I: Jä, .. ich frag da noch ...
- 95 S: Loder zu dem gleichen, aber mit anderen Methoden, je nachdem.
- 96 I: Ich frag mal noch genauer. Angenommen wir haben jetzt ein Experiment, wie oft brauch ich  
97 zum Beispiel, oder wie oft muss ich so'n Experiment durchführen, damit ich ne wissenschaftli-  
98 che Behauptung beweisen kann (?)
- 99 S: (lachend) Auf alle Fälle mehr wie ein Mal, würd ich sagen.
- 100 I: Zweimal (?)
- 101 S: Zwei-, dreimal.
- 102 I: Zehnmal (?)
- 103 S: Kann man auch machen, wenn man will.
- 104 I: Hundertmal (?)
- 105 S: Das ist schon ein bisschen viel.
- 106 I: Okay, also, das waren nur Hausnummern sozusagen.
- 107 S: Ja. Ich denk dreimal ist schon 'n guter Wert.
- 108 I: Okay, gut. Wenn Forscher Experimente durchführen, dann ist das oft so, dass die ne gewisse  
109 Variable konstant halten, und andere variieren die. Also, die wollen nur einen Parameter dre-  
110 hen sozusagen, nur an einem Rädchen.
- 111 S: Ja, das mein ich auch.
- 112 I: Haben die im .. im Prinzip ne Vorstellung, was eigentlich hinten rauskommt (?) Wissen die das  
113 eigentlich vorher schon (?)
- 114 S: Ich würd sagen, die haben Vermutungen, was rauskommen könnte und versuchen dann, dahin  
115 zu gelangen. ... Manchmal haben sie auch schon wirklich ne Vorstellung: 'Ich denk mal, das  
116 muss rauskommen', aber irgendwie klappt das noch nicht so ganz, wie's da versucht wird (–)
- 117 I: Glaubst du, dass das nicht das Ergebnis dann in gewisser Weise auch beeinflussen kann (?)
- 118 S: Durchaus. Wenn man jetzt grade versucht, dieses eine Ergebnis zu finden ... ja.
- 119 I: Du hast bei der Frage zur (,) wir haben gefragt, ob Naturwissenschaften universell sein soll, da  
120 hast du in dem ersten Fragebogen geschrieben: „Das soll universell sein, weil sonst keine rich-  
121 tigen Ergebnisse rauskommen.“ (,) Später sagst du auch: „Wissenschaften sollten universell  
122 sein, allerdings kann es sein, dass Naturwissenschaftler von ihrer Außenwelt beeinflusst wer-  
123 den und ihre Gedankengänge dadurch verändert werden können.“ .. Siehst du ne Beziehung  
124 zwischen dem, was ich jetzt grade gesagt habe, oder .. gar nicht (.)
- 125 S: Ja, doch, je nachdem, in welchem Umfeld der (,) Wissenschaftler ist, kann das ja durchaus eine  
126 Beeinflussung auf das Ergebnis haben. Zum Beispiel, wenn jetzt einer, was weiß ich, unter-  
127 drückt wird oder so oder irgendwie von (h) von ner höheren Autorität oder so was vorgegeben

128 kriegt, .. was er erfüllen muss, oder so, dass er da ... ja doch irgendwie in eine andere Richtung  
129 beeinflusst wird, wie's eigentlich hätte laufen sollen.

130 **I:** Letzte Frage: Wenn Naturwissenschaftler so forschen, nutzen die dabei auch Kreativität (?) ..  
131 Oder sind die dabei kreativ (?)

132 **S:** Ja, müssen sie ja .. zum Teil.

133 **I:** Wo, an welcher Stelle (?)

134 **S:** Ja, zum Beispiel, wenn die schon die einzelnen Variablen .. ändern oder so. Das hat ja auch  
135 n'bisschen was mit Kreativität zu tun. ... Sonst kommen sie ja zu keinem Ergebnis. .. Nicht wirk-  
136 lich, also .. die müssen da quasi flexibel sein.

137 **I:** Ja, okay. .. Mit meinen Fragen bin ich durch. Möchtest du noch irgendetwas uns mitteilen (?)  
138 Wir haben ja mit dir jetzt so, ... oder mit .. mit eurem Kurs so allerhand Zeugs angestellt und  
139 Fragen und weiß ich nicht was alles. Gibt's noch irgendwie was, wo du sagst: Das wollt ich noch  
140 dazu sagen.

141 **S:** Nee, eigentlich nicht. Ich fand das eigentlich .. relativ .. cool, sag ich mal. War mal was anderes  
142 wie sonst im Unterricht oder so.

143 **I:** Okay.

**Transkript des Interviews mit SK1006<sup>A</sup>**

- 1 **Interviewer:** Wir haben hier SK1006. Hallo! Wir interviewen dich (–) darf ich du sagen (?)
- 2 **Schüler:** Ja!
- 3 **I:** Wir interviewen dich, weil du bei diesem zweiten Fragebogen in einigen Punkten doch deutlich  
4 besser abgeschnitten hast oder reflektierter abgeschnitten hast als in dem ersten Fragebogen.  
5 Du bist also sozusagen einer der Gewinner unserer Aktion und deswegen würden wir gerne  
6 wissen, woran kann das liegen (?) Kannst du dir das erklären (?)
- 7 **S:** (Pause) Mhm, so direkt jetzt nicht & sie hatten, ehm, .. nach dem .. ersten Fragebogen so ein  
8 paar Sachen dazu erzählt
- 9 **I:** im Anschluss da an diese [Posteraktion
- 10 **S:** [im Anschluss an die [ganze Aktion
- 11 **I:** [Ja, genau.
- 12 **S:** Vielleicht deswegen .. (h) so jetzt
- 13 **I:** Wir haben ja über die Poster auch gesprochen, also, ganz normal. Das aus der Uni damals.  
14 [Das meinst du (?)
- 15 **S:** [Ja (.)
- 16 **I:** Okay (.) Hast du .. im Anschluss daran ein Buch mal genommen und hast gesagt: jetzt will ich  
17 es mal genau wissen, jetzt guck ich es nach & oder im Internet recherchiert oder so was (?)
- 18 **S:** Nein (.)
- 19 **I:** Nein. Also, das heißt dieses, (h) das, was du bei dem zweiten Fragebogen anders geantwortet  
20 hast, das glaubst du, hängt irgendwie auch damit zusammen (.) Oder habt ihr vielleicht in einem  
21 anderen Unterricht [über Naturwissenschaftsgeschichte, und -theorie gesprochen und (–)
- 22 **S:** [Möglich (–) ... wir hatten irgendwann mal irgendwie auch mal darüber gesprochen an der  
23 Schule. Ich weiß jetzt aber nicht mehr in welchem Zusammenhang das war. .. Das wurde mal  
24 so kurz angerissen.
- 25 **I:** Ah ja. Okay. Du hast `ne deutlich (–) ach so, kannst du mir dein Poster zeigen (?) In welcher (,) Gruppe  
26 du warst (?) Vielleicht guckst du mal einfach durch.
- 27 (*SK1006<sup>A</sup> sucht ca. 7-8 Sekunden*)
- 28 **S:** Das müsste hier das hier gewesen sein.
- 29 **I:** A ja! Vielleicht holen wir es mal raus, gucken es uns noch mal an. .. Weißt du noch, mit wem du  
30 noch in der Gruppe warst (?)
- 31 **S:** Namen (?)
- 32 **I:** Ja!
- 33 [...] (kurzes Gespräch über Namen)
- 34 **I:** OK. Gut! Vielleicht guckst du noch mal drauf kurz (') (Pause)
- 35 **I:** Wo du unter anderem besser warst, ist bei dem, was man als Theorie bezeichnet.
- 36 **S:** Mhm.
- 37 **I:** Deswegen würde ich dich noch mal fragen: Was verstehst du eigentlich jetzt zu deinem jetzigen  
38 Zeitpunkt unter einer naturwissenschaftlichen Theorie (.) Kannst du da noch mal kurz was zu  
39 sagen (?)

- 40 **S:** Ja, so .. 'ne komp(h) 'ne komplexe (h) Vorstellung von irgendwas & 'n Erklärungsversuch (,)   
 41 relativ komplex, um irgendein Phänomen oder eine Entscheidung (,) erklären zu können.
- 42 **I:** Mhm (') ... Wir hatten ja in dem Fragebogen gefragt, was ist der Unterschied zwischen einer   
 43 Theorie und einem Gesetz (,) ne (?) Wie glaubst du, entsteht eigentlich so ein Gesetz (.) Das   
 44 haben wir nicht gefragt in dem Fragebogen.
- 45 **S:** Ja. ... Ich denke mal aus ner Theorie, das die Theorie zuerst da war als Erklärungsversuch und   
 46 dass man daraus dann das Gesetz ableiten konnte ... [dass das Gesetz nicht so vom Himmel   
 47 gefallen ist, sondern aus der Theorie entstanden ist.
- 48 **I:** [Nehmen wir mal, ... nehmen wir mal ein klassisches Gesetz: Fallgesetz (-) (lässt Kugelschrei-   
 49 ber fallen) Wann ist denn das ein Gesetz (?)
- 50 **S:** ... Ja, in dem Moment, wo man .. das vorhersagen kann, wie das jetzt fällt. Wenn man sagen   
 51 kann: wenn man das runterschmeißt, dann fällt das so (.)
- 52 **I:** Ich hab ja jetzt gerade ein Experiment durchgeführt, wenn ich will (,) wenn ich so will, ne, ich   
 53 hab mir die Frage gestellt – ich weiß gar nicht, wem das gehört, deswegen lass ich's mal wieder   
 54 da liegen – eh, wie oft muss ich das eigentlich machen, um zu sagen: jetzt ist das so, jetzt ist es   
 55 bewiesen, jetzt ist es ein Gesetz (.)
- 56 **S:** ... Würd ich in Zahlen so jetzt nicht ausdrücken, sondern mehr das man ..
- 57 **I:** Einmal?
- 58 **S:** Nee, mehrmals, unter verschiedenen Bedingungen, wo man zuverlässig gleiche Ergebnisse   
 59 kriegt. Also, nicht einmal jetzt irgendwas und dann hat man vielleicht noch einen kleinen Fehler   
 60 gemacht, sondern das mehrmals und dass man das wiederholen kann.
- 61 **I:** Okay. Glaubst du, dass man da eine spezielle Methode benutzen muss (?) Oder, dass Natur-   
 62 wissenschaftler so eine spezielle Methode haben, um zu ihren Erkenntnissen zu kommen (?)
- 63 **S:** ... Tja, ich will mal sagen, man muss sehr vorsichtig gucken, was man anders gemacht hat, ob   
 64 man nicht (,) meint, man hätte jetzt ein Experiment wiederholt und hat aus Versehen irgend   
 65 welche Ausgangsbedingungen verändert, dass man andere Ergebnisse (,) kriegt.
- 66 **I:** Ja. Wir kreisen so ein bisschen drum rum. Ich frag noch mal: Wie muss denn so ein Experiment   
 67 beschaffen sein, dass du glaubst, dass das jetzt (h) eine Wiederholung darstellt (?) Also, du   
 68 sagst ja gerade, dass man aufpassen muss, wenn man denkt man hat es wiederholt und hat es   
 69 vielleicht gar nicht. Also, was muss man genau machen (?)
- 70 **S:** Man muss die Ausgangsbedingungen genau gleich treffen oder halt höchstens bewusst ändern,   
 71 dass man jetzt sagt, ein Parameter wird geändert oder so. [Aber nicht, eh, aus Versehen oder   
 72 (h) ja ...
- 73 **I:** [A ja ... Gut. ... Wenn Naturwissenschaftler das alles so durchführen, nutzen die dabei irgendwo   
 74 auch Kreativität (,) Phantasie (?) Spielt das eine Rolle (?)
- 75 **S:** Ich denk mal bei der Planung von Experimenten muss man teilweise kreativ sein, ... um gewis-   
 76 se Effekte herzustellen .. und gewisse Bedingungen auch zu bekommen.
- 77 **I:** ... Bei den Naturwissenschaftlern habe ich .. noch eine Frage auch bezüglich dieser Kreativität.   
 78 In dem Fragebogen, in dem zweiten Fragebogen, haben Sie bei Frage 8 geantwortet (-) (seit-   
 79 wärts zu I<sub>2</sub>) Haben wir den rausgelegt (?) (lauter zu **S**) Die Frage war, ob Naturwissenschaften   
 80 eher universell sind oder kulturell bedingt (.) Das war die Frage.
- 81 **S:** Ja.
- 82 **I:** Vielleicht erinnern Sie sich. Da haben Sie geschrieben: „Naturwissenschaften sind in ihrem   
 83 Wesen universell. Doch soziale, kulturelle und politische Wertvorstellungen können objektive,   
 84 naturwissenschaftliche Arbeit verhindern.“ Und jetzt kommt so ein seltsamer Nachsatz. (leiser   
 85 zu I<sub>2</sub>) Guck du noch mal, ob das auch wirklich wörtlich ist. (lauter zu **S**) „Naturwissenschaften

- 86 sind aber wesentlich freier als Geisteswissenschaften.“ ... Den versteh ich nicht (.) Können Sie  
87 mir den erklären (?)
- 88 **S:** Ja, ich hab' damit gemeint, dass das objektiver ist. Man hat ja z. B. das Fallgesetz. Äh, so was.  
89 Das fällt einfach runter. Das ist halt so. Also wenn ich jetzt (h) dieses Päckchen Taschentücher  
90 loslasse, dann fällt das so runter. .. In den Geisteswissenschaften ist da meiner Meinung nach  
91 mehr Spielraum für Interpretationen oder sonstige Sachen, die nicht so glatt beweisend sind.
- 92 **I:** Ja, aber was heißt freier an der Stelle? Sie sagten ja, die Naturwissenschaftler sind aber we-  
93 sentlich freier als Geisteswissenschaftler.
- 94 **S:** Freier von Einflüssen.
- 95 **I:** Ach! .. Okay. ... Okay. (.) Das beantwortet meine Frage, gut ...
- 96 **I<sub>2</sub>:** Ehm, vielleicht am Anfang (-) wir haben, eh, jetzt zu einer Fr(h), auf eine Frage bist du nicht so  
97 genau eingegangen. Und zwar zur speziellen Methode die Naturwissenschaftler haben.
- 98 **S:** Ja.
- 99 **I<sub>2</sub>:** Meinst du, die haben irgendwie eine spezielle Methode (?) & Gehen alle Wissenschaftler ir-  
100 gendwie ähnlich oder gleich vor (?) Oder .. gibt es da Unterschiede (?)
- 101 **S:** ... Ich denke mal so prinzipiell wie jetzt hier auf dem Plakat so das alles (h) als Methode. Wie  
102 man jetzt genau dann im Einzelnen zu den Experimenten kommt, denke ich, das wird jeder  
103 Wissenschaftler für sich selbst wissen müssen. Auch unterschiedlich sein, je nachdem, was  
104 man jetzt gerade (h) machen möchte (,) in Experimenten und so. Aber so, dass dann im Prinzip  
105 diese (h) dieser Kreislauf da oder (,) die Reihenfolge so in etwa.
- 106 **I:** Das wär so ne Art Standard, aber davon kann man abweichen.
- 107 **S:** Ja.
- 108 **I:** Mhm. .. Ich für meinen Teil bin fertig. Haben Sie/du noch `ne Frage, die an uns gerichtet werden  
109 soll (?) .. Also irgendwie ne Anmerkung, irgendetwas (?)
- 110 **S:** .. Nö, jetzt nicht so. Nein.

### Transkript des Interviews mit ScLi<sup>c</sup>

- 1 **Interviewer:** Ich begrüße die [...]. Ich möchte Sie gerne interviewen, weil Sie zu einer der Gewin-  
2 nerinnen von der ganzen Aktion bei uns zählen, ..
- 3 **Schülerin:** (sehr leise) Oh
- 4 **I:** Das heißt, sie haben in diesem zweiten Fragebogen, Sie haben ja zwei Fragebögen beantwor-  
5 tet, ..
- 6 **S:** Ja.
- 7 **I:** In dem zweiten Fragebogen (,) deutlich besser abgeschnitten, als in dem ersten.
- 8 **S:** Ja, daß kann gut sein & ja (.)
- 9 **I:** Können Sie sich das irgendwie erklären (?)
- 10 **S:** Mhm, ja das liegt vielleicht daran, dass ich mir bei dem ersten mal auch vorher noch keine rich-  
11 tigen Gedanken über die Fragen machen konnte (,) und dann hinterher, nachdem wir halt das  
12 Ganze mit der Uni gemacht haben, also die Experimente, habe ich mir noch mal Gedanken  
13 drüber gemacht, durch den Kopf gehen lassen, und dann .. sind mir da noch einige mehr Sa-  
14 chen zu eingefallen, die ich vielleicht hätte schreiben können ('), oder, .. ja zum Beispiel die  
15 Frage: ‚Was ist ein Experiment?‘, konnte ich auch vorher, (h) ja, nicht so gut beantworten, wie  
16 nachher ...
- 17 **I:** Mhm.
- 18 **S:** ... also ist mir leichter gefallen dadurch.
- 19 **I:** Da können wir direkt mal darauf eingehen (–): Was ist ein Experiment (?) Sie haben hier .. (legt  
20 zwei Textabschnitte mit Formulierungen auf den Tisch) einmal im Fragebogen so und einmal so  
21 geantwortet. Ich sag Ihnen aber jetzt nicht, was der erste und was der zweite war. Vielleicht  
22 gucken Sie noch mal diese Äußerungen durch (.)
- 23 **S:** ... Mmmmh.
- 24 **I:** Also fürs Interview: .. ich lege zwei Streifen dahin. Es geht darum: Einmal ist ein Experiment ein  
25 Versuch, mit dem man eine These .. widerlegen oder beweisen kann. ... Steht das irgendwo (?)  
26 [Ein Experiment ist ein Versuch, das ist dieses, genau (–)
- 27 **S:** [Ja, das ist das erste.
- 28 **I:** und das andere war: Ein Versuch ist etwas, mit dem man eine Theorie unterstützen oder wider-  
29 legen kann (.)
- 30 **S:** Ja, ich glaube ich weiß auch noch, was ich [als erstes geschrieben habe.
- 31 **I:** [Welcher Ansicht wären Sie denn jetzt, fragen wir's mal so rum.
- 32 **S:** Also, ich würde das erste sagen. Und ich glaube auch, dass ich das als zweites geschrieben  
33 habe (Lachen).
- 34 **I:** Können Sie das noch mal (–)
- 35 **S:** Em, das erste war: Ein Experiment ist ein Versuch oder eine Probe, mit dem man eine aufge-  
36 stellte These entweder widerlegen oder beweisen kann (.) Und ich denke der Ansicht wäre ich  
37 jetzt (.)
- 38 **I:** Ah ja, das ist dieses hier, ne (?)
- 39 **S:** Ja.
- 40 **I:** Mmh. Können Sie das noch kurz begründen, warum Sie das .. [dieser Ansicht jetzt sind (?)

- 41 **S:** [Mhm ... mhm ... Ja, das ist schwierig, aber mhm ... mhm (.) ... (leiser) Wie soll ich das begrün-  
42 den (?) ...
- 43 **I:** Ich will Sie jetzt nicht irgendwie – vielleicht kann ich ma' anders fragen (–)
- 44 **S:** & Ja!
- 45 **I:** Diese beiden Sätze unterscheiden sich ja nur minimal, [eigentlich (–)
- 46 **S:** [ & Ja.
- 47 **I:** wenn man sich das mal so anschaut. Aber was ein bisschen da drin steckt, ist, was ist denn  
48 Ihrer Meinung nach eigentlich der Unterschied zwischen einer Theorie und einer These (?) &  
49 Weil bei dem einen schreiben Sie ja, es geht um eine These, die man widerlegen oder bewei-  
50 sen kann, und das andere ist 'ne Theorie, die man unterstützen oder widerlegen kann.
- 51 **S:** Ja, ich glaub, ich hab das erste gewählt, weil für mich eine aufgestellte These noch nicht den  
52 Wert hat wie eine Theorie. & Also für mich ist eine Theorie das, was schon fertig ist, und man  
53 wirklich sagen kann, dass das .. em .. ja das fertige Modell ist und 'ne aufgestellte These ist  
54 eben nur 'ne Vermutung oder 'ne Behauptung (.)
- 55 **I:** Mhm, ok.
- 56 **S:** & die man dann unterstützen oder halt widerlegen kann.
- 57 **I:** Ok, gut. Tun wir das mal weg. Das war jetzt 'ne Steilvorlage, weil Sie direkt (,) darüber auch  
58 sprachen. Glauben Sie, dass – weil wir ja sagten, Sie haben in diesem zweiten Fragebogen  
59 schon etwas besser abgeschnitten, als in dem ersten – glauben Sie, das hat was mit dieser  
60 ganzen Geschichte zu tun (?) & Sie haben eben schon mal gesagt, Sie haben ein bisschen an-  
61 gefangen darüber nachzudenken, aber meine Frage ist auch: Haben Sie vielleicht jetzt zu Hau-  
62 se (h) im Internet geguckt, bei Wikipedia, haben Sie vielleicht 'nen Lexikon gewälzt, irgendwel-  
63 che Leute gefragt, oder so und gesagt: „Hier, wir mussten heute so 'nen komischen Fragebogen  
64 ausfüllen. Da ging's um Theorien und Modelle und weiß ich nicht“. Also, haben Sie sich damit  
65 beschäftigt noch mal (?)
- 66 **S:** & Ja, ich hab mich zu Hause schon noch mal mit dem Chemielexikon, was ich zu Hause hab,  
67 was ich aber sonst nur benutze, wenn ich auch Hausaufgaben mache, und damit habe ich mich  
68 dann schon noch ein bisschen beschäftigt, .. weil ich zum Beispiel bei einer Frage – ich kann  
69 mich nicht mehr ganz genau dran erinnern – aber, wo es darum ging, ob die Wissenschaft von  
70 .. mhm .. der Gesellschaft oder dem [Sozialen und so was
- 71 **I:** [ & Genau!
- 72 **S:** ... mhm beeinflusst wird, da hab ich zum Beispiel noch mal (,) hab ich nochmal drüber nachge-  
73 dacht, weil ich mir hinterher nicht mehr so sicher war, ob ich das, was ich geschrieben hab,  
74 auch wirklich so (lachend) denke.
- 75 **I:** Da haben Sie bei dem ersten Fragebogen, ich hab mir das mal angeschaut, haben Sie gesagt,  
76 dass (h) dass zumindest früher Naturwissenschaftler soziale und kulturelle Wertvorstellungen  
77 widerspiegeln, heute ist aber alles sehr universell zurechtgelegt, man stützt sich nicht mehr  
78 auf kulturelle Grundsätze oder Glaubensvorstellungen. Und im zweiten Fragebogen haben Sie  
79 geantwortet, dass das auch heute noch so sei, z. B. im Bezug auf die Genforschung oder so  
80 etwas.
- 81 **S:** & Ja. .. Ja, ich habe mir danach mal Gedanken drüber gemacht und eigentlich, (,) ist mir aufge-  
82 fallen, dass sehr viele Sachen zum Beispiel jetzt diese Genforschung in manchen Ländern ja  
83 aus (,) ethischen Gründen nicht machbar sind, und dass das eigentlich immer noch so ist, dass  
84 sich das (,) schon auf die Gesellschaft stützt.
- 85 **I:** Mhm. ... Wenn Naturwissenschaftler Experimente durchführen (,) nutzen die eigentlich Kreativität  
86 oder Phantasie während der Untersuchung, die sie durchführen (?)

- 87 **S:** Ja, ich denke schon, weil man muss ja auch erst mal auf die Idee kommen, wie man das über-  
88 haupt beweisen kann, oder beweisen muss. & Mir fällt es z. B. schwer, in Chemie .. mhm selber  
89 Experimente aufzustellen, von denen ich denke, dass ich damit Sachen, die ich beweisen will,  
90 beweisen kann. Und ich denke schon, dass das ein Punkt ist, weil man ja auch erst mal auf den  
91 Weg zum Ziel kommen muss.
- 92 **I:** Also bei der Planung, da nutzt man Kreativität (.) Auch bei der Auswertung (?)
- 93 **S:** Mhm (.) .. Ich denke mal, da muss man sich eher auf Fakten stützen. Da .. ist das mit der Krea-  
94 tivität ein bisschen schwierig.
- 95 **I:** Okay. Wie muss man Ihrer Meinung nach eigentlich vorgehen (?), um jetzt neue Erkenntnisse  
96 zu erhalten. Da haben Sie in dem Fragebogen, das war auch ein bisschen gestellt, aber das  
97 haben Sie nicht explizit beantwortet, deswegen frage ich noch mal nach.
- 98 **S:** Ehm, ja, zunächst denke ich mal, dass man überhaupt erst mal 'ne Überlegung machen muss,  
99 also eine These aufstellen muss .. und sich dann überlegen muss, wie man diese These bewei-  
100 sen kann. Also, ehm, .. ja gut, zunächst muss man vielleicht mal 'ne Beobachtung machen, wo  
101 einem auffällt, dass man darüber noch nicht .. genau sagen kann, wie es funktioniert und dann  
102 muss man halt die Behauptung aufstellen, wie es sein könnte (-) und dann versuchen, das mit  
103 einem Experiment zu beweisen (.) .. und das dann eben hinterher auswerten (-) und .. ja (.)
- 104 **I:** Wie viele Experimente muss ich denn durchführen, um das zu beweisen (?)
- 105 **S:** Ja, ich denke, auf jeden Fall mehr als eins, weil bei einem Experiment kann man immer noch ..  
106 na ja, .. mhm, .. ein Experiment ... ja, es reicht meistens nicht aus, um den ganzen Vorgang zu  
107 erklären.
- 108 **I:** Ja, sagen wir mal, wir führen zwei durch (-) reicht das (?)
- 109 **S:** Mhm (.) .. ja, das kommt drauf an, wie .. komplex das ganze ist, also ich denke auch, dass bei  
110 manchen Sachen noch zwei Experimente nicht ausreichen werden.
- 111 **I:** Drei (?)
- 112 **S:** Drei wahrscheinlich [ auch nicht.
- 113 **I:** [Vier, fünf (?)
- 114 **S:** Nee (.) & also, .. ehm, .. ja, wie soll man das sagen (?) ..
- 115 **I:** Also, die generelle Frage, die dahinter steht, ist ja, wann habe ich denn etwas bewiesen (.) ..  
116 mit 'nem Experiment.
- 117 **S:** ... Ja, ich denke mal, dass es sowieso schwierig ist, was wirklich zu beweisen und dass das  
118 dann endgültig ist, also (-) ...
- 119 **I:** Ja, oder kann ich es vielleicht auch gar nicht beweisen, das wäre ja noch ne andere Möglich-  
120 keit.
- 121 **S:** ... Mhm, ja wenn man die technischen Mittel nicht hat, & aber ich denke, man hat ja schon die  
122 technischen Mittel, um Dinge zu beweisen. (-) Das ist ja heute schon weiter als früher. Nur, ..  
123 ehm, .. ich denke, bei manchen Sachen können Theorien halt auch .. also sind das (.) ist das  
124 nicht die endgültige Theorie. Nur, (,) em, um Dinge zu beweisen, muss man halt mehrere Expe-  
125 rimente machen, um sich wirklich sicher zu sein, dass die Ergebnisse nicht irgendwie verfälscht  
126 sind oder .. ehm .. dass beim ändern (,) Experiment nicht womöglich noch was ganz anderes  
127 rauskommen könnte, aber .. mmh (.)
- 128 **I:** Ist 'ne schwierige Frage.
- 129 **S:** Ja, [ das ist wirklich `ne schwierige Frage. (Lachen)
- 130 **I:** [Wir können das auch gerne mal hier stehen lassen, wenn sie möchten (.)
- 131 **S:** Ja (.) Also, (,) das ist wirklich schwierig.

- 132 I: Okay. Wir sind jetzt gerade bei den Theorien und Beweisen gewesen usw. Ich hab' Sie eben  
133 schon mal gefragt nach dem Unterschied zwischen Theorie und These ('), es gibt auch das  
134 schöne Wort Hypothese. Sehen Sie da einen Unterschied zwischen Theorie und Hypothese (?)
- 135 S: ... Mhm (.) .. Ich denke (h) ich sehe schon 'nen Unterschied. Also ich denke, dass Hypothese,  
136 eh m .. ja, Theorie ist für mich so was wie ein Gesetz, also belegt und .. eh m .. kann eben nicht  
137 widerlegt werden .. und Hypothese ist .. ja .. wieder mehr so 'ne Behauptung, 'ne Vermutung.
- 138 I: Mhm. Das widerspricht sich jetzt ein bisschen mit dem, was Sie hier in dem Fragebogen ge-  
139 geschrieben haben.
- 140 S: (lachend) Wirklich, oh!
- 141 I: Das ist aber nicht schlimm. Ich will ja auch ungefähr wissen, ob Sie das überhaupt so dauerhaft  
142 sozusagen .. (h) sich gemerkt haben oder angeeignet haben. Wie würden Sie denn heute,  
143 wenn man Sie fragt „Was ist Ihrer Meinung nach der Unterschied (–)“ es gibt diese Frage (.):  
144 „Was ist der Unterschied zwischen einer Theorie und einem Gesetz“ (?)
- 145 S: Ja & stimmt, genau (.) Da hab ich nämlich geschrieben, dass ein Gesetz das ist, was endgültig  
146 ist und nicht widerlegbar ist und dass 'ne Theorie weiter ausgebaut werden kann. Ja, das weiß  
147 ich noch.
- 148 I: Und wie würden Sie das heute sehen?
- 149 S: ... Mhm, ja im Widerspruch (lachend) zu dem, was ich gerade gesagt habe (+), denke ich ei-  
150 gentlich schon, dass (h) das noch genau .. also dass ich das noch genauso sehe, dass eben  
151 die Theorie noch widerlegbar ist, also, dass es nicht die endgültige Fassung ist.
- 152 I: Sehen Sie so 'ne gewisse Hierarchie zwischen Gesetz und Theorie (?)
- 153 S: Ja, ich denke schon (,) das Gesetz schon höher steht. .. Weil das Gesetz für mich was ist, was  
154 .. ja .. wie das Gesetz der Schwerkraft was eben nicht .. widerlegbar ist.
- 155 I: Wie kommt man denn auf so'n Gesetz (?)
- 156 S: Mhm (.) ... (lachend) [Wie kommt man darauf?
- 157 I: [Ich stell drollige Fragen, ne (?) Wenn Sie jetzt irgendwie dazu nichts wissen, müssen Sie sa-  
158 gen: „Nö (,) das weiß ich nicht“ (.)
- 159 S: Wie kommt man zum Gesetz (?) ... Das ist auch wieder so 'ne schwierige Frage (,) weil sich  
160 das ja eigentlich über .. Jahrzehnte (,) oder Jahrhunderte entwickeln muss, bis man wirklich  
161 weiß, dass es nicht mehr widerlegbar ist (–)
- 162 I: Ja (–) und .. wie entwickelt sich so was (?)
- 163 S: Mhm, ja, ich denke mal, dass .. mhm ... eben Exp(h) früher schon Experimente dazu gemacht  
164 wurden, die jetzt immer weiter ausgebaut werden nach den technisch (h) technischen Möglich-  
165 keiten (,) und dass man halt irgendwann am Ende steht und sagen kann: .. So, und jetzt hier  
166 geht's nicht weiter, es ist nicht widerlegbar, es ist so, wie es ist und .. ja (.)
- 167 I: Mhm
- 168 S: Aber, es ist schwierig, weil ich mich ja auch so mit naturwissenschaftlichen Arbeiten nicht so  
169 wirklich beschäftige.
- 170 I: Mhm. Okay.
- 171 S: (lachend) Nicht so ganz meine Stärke.
- 172 I: Ja, umso erfreulicher, dass Sie zumindest hier bei den Fragebögenaktionen oder bei unserer  
173 Aktion sagen, (h) da haben Sie sich offensichtlich .. da haben Sie offensichtlich profitiert. Ich  
174 möchte noch einmal bei der Theorie nachhaken (') und zwar (,) haben Sie in diesem zweiten  
175 Fragebogen geschrieben: „Eine naturwissenschaftliche Theorie ist ein Denkmodell, das noch

- 176 weiterentwickelt werden kann.“ Könnten Sie mir das noch einmal genauer erklären? Was mein-  
177 ten Sie mit Denkmodell (?)
- 178 **S:** .. mhm ... (zögernd, stockend) Ja, das ist eben eine weiterentwickelte Behauptung, die sich auf  
179 Experimente stützt, aber .. ehm .. es ist eben ein Denkmodell, weil (,) es vielleicht auch noch  
180 möglich ist, dass es andere (,) Menschen, also andere Wissenschaftler, (+) anders sehen. Also,  
181 dass es noch möglich ist, es weiterzuentwickeln oder nach den technischen Möglichkeiten wei-  
182 terzuentwickeln. Und ehm .. ja, es ist eben noch unfertig. .. Also, es ist ein Modell, aber es ist  
183 nicht .. (lachend) ja nicht fertig (+), (leiser) wie soll man das erklären (?)
- 184 **I:** Das hatten Sie eben schon mal gesagt, dass das Ihrer Meinung nach 'ne Hierarchie ist, das  
185 heißt Theorien, wenn sie irgendwann mal (,) fertig sind, wie Sie sagen, dann können die zu Ge-  
186 setzen werden (.)
- 187 **S:** Ja, ich denke schon. Weil ich denke ja mal, dass das Gesetz der Schwerkraft auch irgendwann  
188 mal nur ein Theorie war. & Also, es ist ja auch irgendwann mal nur .. erforscht worden.
- 189 **I:** Mhm. Okay. Dann hätte ich noch ne (,) abschließende Frage und danach haben Sie die Chan-  
190 ce, mir noch 'ne Frage zu stellen. Es gibt Personen, die definieren oder die sagen ich will es  
191 jetzt nicht zu kompliziert ausdrücken. Es geht um Naturwissenschaften allgemein.
- 192 **S:** Ja.
- 193 **I:** Jetzt kann man überlegen, was ist eigentlich das Gemeinsame an Naturwissenschaften (?) &  
194 Es gibt ja die Physik, die Chemie, die Biologie. Und da gibt es jetzt ein Lager, die sagen, das  
195 Gemeinsame sind die Begrifflichkeiten bei denen. Also (,) es geht bei denen immer zum Bei-  
196 spiel um den Energiebegriff. Das gibt's in Chemie, das gibt's in Bio und das gibt's in Physik.  
197 Oder Gleichgewichte oder so etwas. Jetzt gibt's aber 'ne andere (,) 'n anderes Lager, die sagt:  
198 Nein, nein, das sind nicht die Begrifflichkeiten, sondern es sind die Methoden (,) (,) das heißt  
199 das Gemeinsame der Naturwissenschaften ist, dass die alle ein bestimmtes methodisches Vor-  
200 gehen haben (.) Würden Sie sich zu einem oder dem anderen Lager ein bisschen zu (,) spre-  
201 chen (?)
- 202 **S:** Mhm (.)
- 203 **I:** Oder zuordnen (?)
- 204 **S:** Ich denke, ich könnte (-) .. (leiser) ja, das ist wieder so schwierig (+), ich denke, ich könnte bei-  
205 den (,) Meinungen irgendwie (,) schon zusprechen. Aber (,) dem zweiten mit den Methoden  
206 wahrscheinlich eher .. weil, ehm .. ich denke, dass man bei den Naturwissenschaften immer  
207 dasselbe Vorgehen hat, dass man eben versucht irgendwas zu beweisen und .. ja (.) Deswegen  
208 doch eher das zweite & aber ich kann jetzt nicht genau sagen, warum. Also, das mit den Be-  
209 grifflichkeiten ist natürlich auch .. wichtig und das ist auch eigentlich 'ne Gemeinsamkeit (,) aber  
210 ... mhm (.) ..
- 211 **I:** Ist 'ne schwierige Frage
- 212 **S:** & Ja, das ist
- 213 **I:** Wie gesagt, die Wissenschaft [streitet sich darüber
- 214 **S:** [Das ist wirklich schwierig. Ja.
- 215 **I:** Und deswegen möchte ich ja Ihre Ansicht haben.
- 216 **S:** .. Nee, aber ich denke schon eher das zweite, also (-)
- 217 **I:** Eher, dass es methodisch gemeinsam ist. Ja. .. Okay. .. Wir oder Sie haben (,) insgesamt so (h)  
218 so'n größeres Programm gemacht (-) Sie haben zunächst mal so ein Gruppenpuzzle bei mir  
219 gemacht und dann haben Sie nachher sich mit Windeln beschäftigt usw. (,) Ich möchte ganz  
220 gerne von Ihnen noch so ein abschließendes Statement haben & also, das heißt, dass Sie sa-  
221 gen (,) ja, Sie können mir 'ne Frage stellen (') Sie können sagen, wie Sie das gefunden haben

- 222 (') oder was das ganze soll (') oder sonst irgendwie so etwas. Möchten Sie irgendwas von mir  
223 wissen (?)
- 224 **S:** Mhm (.) .. (leicht lachend) Ne Frage habe ich mir noch nicht überlegt, aber, mhm (.) ...
- 225 **I:** Müssen Sie ja nicht, also (–)
- 226 **S:** (leicht lachend) So gerade fällt mir keine ein. Ich wette, gleich fällt mir wieder eine ein, aber  
227 dann (,) mhm
- 228 **I:** Dann ist vorbei, <sup>↑</sup>genau (Lachen)
- 229 **S:** (lachend) <sub>↓</sub>Ja
- 230 **I:** Wie fanden Sie das ganze, um mal so ganz (,) platt zu fragen (?)
- 231 **S:** Also, ich fand's gut, weil es gut aufeinander aufgebaut hat, also, dass wir das erst mit den Pla-  
232 katen gemacht haben und uns dann mit den praktischen Sachen beschäftigt haben (') also,  
233 dass wir eben auch darüber nachgedacht haben, ehm, wie die Vorgehensweise sein sollte, um  
234 dann hinterher das Experiment auch zu machen (')
- 235 **I:** Glauben Sie also, das hilft etwas, wenn man sagt (–)
- 236 **S:** & Ja, ich denke schon.
- 237 **I:** Was Sie ja (,) versucht haben über dieses Gruppenpuzzle, oder was ich versucht habe, Ihnen  
238 (h) nahezubringen mit diesem Gruppenpuzzle, was Sie gemacht haben, war, eh, so ein natur-  
239 wissenschaftliches Vorgehen von Naturwissenschaftlern.
- 240 **S:** Ja.
- 241 **I:** Und die Frage ist: Hilft Ihnen das, wenn Sie selber (–) Sie sollten .. Sie sind ja ein bisschen ins  
242 kalte Wasser geworfen worden <sup>↑</sup> mit dem
- 243 **S:** <sub>↓</sub> & Ja!
- 244 **I:** Mit dem Arbeitsauftrag und eh es gibt da auch keine eindeutige Lösung, bei dem, was Sie ma-  
245 chen sollten, sondern mir ging es mehr oder weniger darum, wie gehen Sie überhaupt vor.
- 246 **S:** Mhm. Ja, es hat schon geholfen ('). Nur das Problem war, dass ich die Aufgabenstellung auch  
247 ziemlich schwierig fand. Also, wir haben glaube ich erst .. mindestens zwanzig Minuten lang  
248 überlegt, bevor wir überhaupt angefangen haben uns wirklich ehm (,) zu einigen, <sup>↑</sup> weil alle an-  
249 dere (lachend) Meinungen hatten
- 250 **I:** <sub>↓</sub> Das ist aber auch nicht verkehrt.
- 251 **S:** und ehm .. aber ich denke schon, dass es geholfen hat (,) weil man sich auch vorher überlegt  
252 hat, was man macht, bevor man anfängt und, ehm, Experimente macht, die dann womöglich zu  
253 nichts führen (–) und ehm .. ja dass man eben auch darüber diskutiert hat, wie man jetzt vorge-  
254 hen kann, weil es gab ja schon auf den Plakaten auch verschiedene Möglichkeiten.
- 255 **I:** Mhm .. Gut. .. Wenn Sie nichts mehr haben (,) ich bin sozusagen mit meinen Dingen durch.
- 256 **S:** Okay. Gut. (Lachen)
- 257 **I:** Dann sage ich mal herzlichen Dank.
- 258 **S:** (lachend) Bitteschön.

### Fragebogenantworten des Schülers DF2005<sup>A</sup> im direkten Pre-Post-Vergleich

DF2005 <sup>A</sup> : Fragebogenantworten im Pre-Test	DF2005 <sup>A</sup> : Fragebogenantworten im Post-Test
<p><b>F1: Was verstehen Sie unter 'Naturwissenschaften'?</b>            Unter Naturwissenschaften verstehe ich das Sammeln von Erkenntnissen über die Natur bzw. das Erlangen von Wissen über die Natur.            Den Unterschied zwischen Naturwissenschaften und anderen Forschungsrichtungen sehe ich darin, dass es bei den Naturwissenschaften um weltliche Dinge bzw. deren Funktion geht, und man möglichst viel Wissen über Funktionen in verschiedenen Prozessen erlangen möchte. In anderen Forschungsrichtungen, geht es meist um die Frage „warum“ etwas passiert und in den Naturwissenschaften geht es meist um die Frage „wie“ etwas passiert.</p>	<p><b>F1: Was verstehen Sie unter 'Naturwissenschaften'?</b>            Naturwissenschaften beschäftigen sich rein mit den weltlichen, d. h. natürlichen Vorgängen in der Welt.            Andere Forschungsrichtungen hingegen beschäftigen sich mit den Hintergründen, z. B. warum Naturwissenschaften betrieben werden, d. h., diese Forschungsrichtungen gehen auf eine höhere Ebene, wobei diese Gedankengänge immer auf die Frage nach dem Sinn des Lebens hinführt, und bei den Naturwissenschaften sich nur auf die reinen Prozesse konzentriert wird.</p>
<p><b>F2: Was ist ein Experiment?</b>            Ein Experiment ist ein Versuch, mit dem man Erkenntnisse über etwas sammeln möchte, bzw. um Sachverhalte zu verdeutlichen.</p>	<p><b>F2: Was ist ein Experiment?</b>            Ein Experiment ist der Versuch, auf eine gewisse Weise etwas herauszufinden, auf das man keine Antwort hat.</p>
<p><b>F3: Sind Experimente erforderlich?</b>            Ja, denn der Mensch braucht gewisse experimentelle Erfahrungen, um manche Sachverhalte verstehen zu können, z. B. kann ein Lehrer im Chemieunterricht eine Reaktionsgleichung anschreiben und versuchen, diese rein auf theoretischer Basis zu erklären. Diese Erklärung würde aber nur den wenigsten Schülern genügen, um wirklich zu verstehen, was bei einer Reaktion vorstatten geht. Macht der Lehrer aber einen Versuch und erklärt anhand der Beobachtungen aus dem Versuch, so verstehen mit Sicherheit sehr viele Schüler mehr, was wirklich passiert ist.</p>	<p><b>F3: Sind Experimente erforderlich?</b>            Ja, da Experimente Dinge veranschaulichen und auf diese Weise gedanklich weiter gegangen werden kann, als es theoretisch möglich wäre. Außerdem können bei Experimenten Ungesetzmäßigkeiten festgestellt werden, welche zu neuen Gedankengängen anregen können.</p>
<p><b>F4: Können sich Theorien ändern?</b>            Naturwissenschaftliche Theorien können sich ändern, da Theorien meist aufgestellt werden, um bewiesen zu werden, wenn eine Theorie aber nachträglich aufgrund von neuen Erkenntnissen als fehlerhaft eingestuft wird, muss diese geändert werden, da sie nicht den wahren Gegebenheiten entspricht. Im Unterricht beschäftigt man sich mit diesen Theorien, um die Schüler zum Nachdenken anzuregen, woraus folgt, dass sie selbst die Fähigkeiten erlangen können, etwas zu verstehen oder sich selbst erklären zu können.</p>	<p><b>F4: Können sich Theorien ändern?</b>            Ich glaube, dass sich naturwissenschaftliche Theorien ändern können:            a) Da Theorien nicht immer belegt sind, können an Theorien durchaus Gedankenfehler gefunden werden, welche zur Überarbeitung bzw. Änderung der Theorie führen können.            b) Ich würde sagen, man beschäftigt sich im Unterricht mit solchen Theorien, um die Schüler zum Denken anzuregen und sich eine eigene Meinung über das Thema zu bilden.</p>
<p><b>F5: Unterschied zwischen Theorie und Gesetz</b>            Meist ist es so, dass die Gesetze erst aufgrund von Theorien erkannt bzw. bewiesen wurden. (Gerade kein Beispiel vorhanden.)</p>	<p><b>F5: Unterschied zwischen Theorie und Gesetz</b>            Theorien sind Gedankengänge einzelner bzw. mehrerer Menschen, die sich mit einem Thema beschäftigt haben. Gesetze wiederum basieren hauptsächlich auf Beobachtungen, können aber Theorien stützen.</p>
<p><b>F6: Wirklichkeitsgehalt eines Atommodells</b>            Diese Art der Darstellung von Atomen ist nur ein veranschaulichendes Modell, was zur Vereinfachung dient. Naturwissenschaftler können nicht konkret sagen, dass ein Atom genau so aussieht, da sie diese nicht sehen können, sie können meiner Meinung nach nur aufgrund von Experimenten und Erkenntnissen über Sachverhalte auf diese Art der Darstellung gekommen sein.</p>	<p><b>F6: Wirklichkeitsgehalt eines Atommodells</b>            Eigentlich können sich Naturwissenschaftler nicht sicher sein, dass ein Atom so aussieht, da niemand jemals ein Atom gesehen hat, aber aufgrund mehrerer Versuche und logischer Gedankengänge, muss, laut Wissenschaftlern, diese Darstellung die einzig logische sein.</p>
<p><b>F7: Aussterben der Dinosaurier</b>            Die Informationen dieser Wissenschaftler scheinen nicht sehr eindeutig gewesen zu sein, sodass diese eine gewisse Interpretationsfreiheit hatten und somit zu verschiedenen Ergebnissen gekommen sind.</p>	<p><b>F7: Aussterben der Dinosaurier</b>            Bei Hypothesen kommt es immer auf den Blickwinkel des Wissenschaftlers an und wie dieser gewisse Sachverhalte interpretiert. Allerdings sind die hier genannten Hypothesen nicht völlig unterschiedlich, sondern ergänzen sich, denn wenn ein Meteorit die Erde traf und eine Vielzahl von Ereignissen auslöste, könnten Vulkanausbrüche durchaus zu den Ereignissen gehört haben und sogar der Hauptgrund zum Aussterben der Dinosaurier [sein].</p>
<p><b>F8: Einfluss von Kultur, Tradition</b>            Ich würde sagen, Naturwissenschaftler sollten universell sein, da sonst kein richtiges Ergebnis daraus folgen kann, aber dies kann, auf verschiedenste Weisen, auch schon mal nicht der Fall [sein], warum auch immer.</p>	<p><b>F8: Einfluss von Kultur, Tradition</b>            Wissenschaften sollten universell sein, allerdings kann es sein, dass Naturwissenschaftler von ihrer Außenwelt beeinflusst werden und ihre Gedankengänge dadurch verändert werden können.</p>

**Fragebogenantworten des Schülers SK1006<sup>A</sup> im direkten Pre-Post-Vergleich**

SK1006 <sup>A</sup> : Fragebogenantworten im Pre-Test	SK1006 <sup>A</sup> : Fragebogenantworten im Post-Test
<p><b>F1: Was verstehen Sie unter 'Naturwissenschaften'?</b>            Unter Naturwissenschaften verstehe ich den objektiven Umgang mit Erscheinungen und Formen der Natur bzw. Umwelt / Umgebung.            Bei anderen Forschungsrichtungen wie Theologie oder Philosophie kommt es mehr auf persönliche Ein- und Vorstellungen an, ist also viel subjektiver. Naturwissenschaften beweisen ihre Theorien, Theologen und Philosophen können ihre Ergebnisse nicht wirklich beweisen, es lässt sich aber auch nicht widerlegen.</p>	<p><b>F1: Was verstehen Sie unter 'Naturwissenschaften'?</b>            Naturwissenschaften beschäftigen sich in ihrem Wesen mit der Natur, ihren Erscheinungsformen und Gesetzen. Den Unterschied zu anderen Forschungsrichtungen wie z. B. der Theologie macht die Objektivität. In den Naturwissenschaften gibt es ein Richtig und Falsch. Das ist beweisbar. So lassen sich gewisse Ereignisse in Versuchen wiederholen und danach Regeln und Gesetze erstellen. In anderen Forschungsrichtungen wie der Theologie ist das nicht in dem Ausmaß möglich, z. T. auch überhaupt nicht.</p>
<p><b>F2: Was ist ein Experiment?</b>            Ein Experiment ist meiner Meinung nach ein Versuch, Theorien und Theorien im naturwissenschaftlichen Sinne aufzustellen, zu begründen oder eventuell zu widerlegen. Durch das Ergebnis können Aussagen oder Gesetze hergeleitet werden.</p>	<p><b>F2: Was ist ein Experiment?</b>            Ein Experiment ist eine Überprüfung einer Hypothese und / oder evtl. die Antwort auf eine Frage. In einem Experiment wird versucht, unter bekannten Umständen ein Ergebnis zu erzielen. Das kann z. B. ein Messwert sein. Damit wird versucht, eine Frage zu beantworten oder ein Problem zu lösen. Wenn sich Experimente bzw. ihre Ergebnisse wiederholen lassen, kann man Regeln / Gesetze formulieren und Vorhersagen treffen.</p>
<p><b>F3: Sind Experimente erforderlich?</b>            Ich denke, für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens sind Experimente zwingend notwendig.            Meiner Meinung nach kommt man erst auf den Gedanken einer neuen Theorie, wenn sich eine Erscheinung mit bestehenden Gesetzen nicht ausdrücken / erklären lässt. Das kann z. B. bei einem Experiment der Fall sein.            Nachdem die neue Theorie aufgestellt wurde, muss sie jedoch bewiesen werden. Entweder durch eine Ableitung eines bestehenden Gesetzes oder mit Experimenten, wobei das zu diesem Zeitpunkt bestehende Gesetz ebenfalls mit Experimenten bewiesen worden sein dürfte.            Ein Beispiel von vielen möglichen wären z. B. die Fallgesetze. Durch Experimente mit rollenden Kugeln oder von Fallexperimenten im luftleeren Raum kann das bewiesen werden.</p>	<p><b>F3: Sind Experimente erforderlich?</b>            Ich denke, Experimente sind erforderlich. Das hängt zwar evtl. von der genauen Definition des „Wissens“ ab, aber allgemein meine ich, sind Experimente erforderlich. Um Schlussfolgerungen treffen zu können, muss man vorher etwas gefunden haben, das sich auch wiederholen kann. Das kann nur mit Experimenten geschehen. Zum Beispiel das CERN in Genf versucht, mit Experimenten neue Aussagen über Teilchen und deren Kollisionsverhalten [zu] machen, um den Urknall besser verstehen zu können.</p>
<p><b>F4: Können sich Theorien ändern?</b>            Ich denke, dass Theorien in dem Moment geändert werden können, wenn etwas nicht 100%ig bewiesen werden kann. Das ist bzw. nur bei der Evolutionstheorie der Fall. Dies trifft aber nicht auf alle Theorien zu. Die in Aufg. 3 erwähnten Fallgesetze dürften nicht zu widerlegen sein, sind also auch in der Schule ohne weiteres verwendbar.            Außerdem kann man anhand von sich ändernden Theorien in der Schule zeigen, wie sich das naturwissenschaftliche Wissen in den Gebiet geändert hat</p>	<p><b>F4: Können sich Theorien ändern?</b>            Naturwissenschaftliche Theorien können sich ändern. Das kann u. a. durch den Fortschritt in der Forschung geschehen.            a) Die Änderung von Theorien kann man z. B. an den geänderten Säure-Base-Theorien sehen, die sich durch neue Erkenntnisse weiterentwickelt haben.            b) In der Schule kann man sich mit n.-Theorien beschäftigen, um zu zeigen, wie sich der Kenntnisstand ändert. Andererseits gibt es Theorien, die so gut wie sicher sind, da es absehbar ist, dass es so ist.</p>
<p><b>F5: Unterschied zwischen Theorie und Gesetz</b>            Ich denke, dass es auf jeden Fall Unterschiede zwischen Theorien und Gesetzen gibt. Ein Gesetz ist nach dem beim Aufstellen vorhandenen Wissen nicht zu widerlegen und absolut richtig, eine Theorie geht mehr in die Richtung der nicht begründeten Mutmaßung, wo die Bestätigung noch in vollem Ausmaß fehlt.            Das Beispiel wäre z. B. die Evolutions- oder Urknalltheorie und ein physikalisches Gesetz. (Freier Fall)</p>	<p><b>F5: Unterschied zwischen Theorie und Gesetz</b>            Ein n.-Gesetz ist ein kleiner Teil der so ist und so beweisbar ist.            Eine Theorie ist viel weiter und kann aus einem Gesetz hervorgehen.            Theorien können widerlegt werden und beinhalten z. B. Annahmen und Vermutungen die, mal mehr mal weniger sicher sind.</p>
<p><b>F6: Wirklichkeitsgehalt eines Atommodells</b>            Ich denke, dass Naturwissenschaftler nicht hundertprozentig wissen wie ein Atom aussieht und deshalb Modelle aufgestellt wurden. Als Beweise könnte u. a. der Rutherford'sche Atomversuch mit <math>\alpha</math>-Strahlung, die auf eine dünne Goldfolie trifft sein. Der zeigt z. B., dass ein Atom einen kleinen Kern und eine sehr große Hülle hat. Doch durch heutige Messtechnik und viele Experimente ist die Genauigkeit des Wissens um Atome und deren Aufbau sehr hoch.</p>	<p><b>F6: Wirklichkeitsgehalt eines Atommodells</b>            Naturwissenschaftler wissen, dass (fast) alles aus Protonen, Neutronen u. Elektronen besteht. Der Aufbau eines Atoms kann z. B. mit den erforderlichen Ionisierungsenergien belegt werden. Dabei kann das genaue Aussehen variieren, die Abbildungen sind nur Modelle, mit denen man Erscheinungen erklären will. Ein Problem dabei ist, dass Atome so klein sind, dass man sie nicht sehen kann und Versuche sehr schwierig sind.</p>

SK1006 <sup>A</sup> : Fragebogenantworten im Pre-Test	SK1006 <sup>A</sup> : Fragebogenantworten im Post-Test
<p><b>F7: Aussterben der Dinosaurier</b></p> <p>Ich denke, dass diese unterschiedlichen Schlussfolgerungen möglich sind, da die Quellen so uneinheitlich sind, dass zwei oder mehr Theorien möglich sind. Die lassen sich jedoch bei nicht in vollem Umfang beweisen, da sie sich gegenseitig ausschließen. Es kann für eine Erscheinung schließlich nicht zwei Erklärungen bzw. Gesetze geben.</p>	<p><b>F7: Aussterben der Dinosaurier</b></p> <p>Die verschiedenen Hypothesen sind möglich, da die Wissenschaftler unterschiedliche Schlüsse aus den Quellen ziehen. Das liegt daran, dass diese Quellen unterschiedlich interpretiert werden können, da sie nicht eindeutig sind. Außerdem fehlen weitere Beweise, die einzelne Hypothesen widerlegen würden. So überlegen sich W. eine Deutung zu den vorhandenen Quellen, und, da die Q. für eine Hypothese nicht ausreichen, spekulieren [sie] drüber hinaus. Das Ergebnis kann dann variieren.</p>
<p><b>F8: Einfluss von Kultur, Tradition</b></p> <p>Ich denke, die Naturwissenschaften sind in ihrem Wesen universell und frei. Sie können jedoch, vor allem durch politischen Einfluss, erschwert, verboten, verfälscht und zensiert werden. Dann ist richtige und objektive naturwissenschaftliche Arbeit meiner Meinung nach nicht mehr möglich.</p>	<p><b>F8: Einfluss von Kultur, Tradition</b></p> <p>Ich denke, die Naturwissenschaften sind in ihrem Wesen universell, doch soziale, kulturelle und politische Wertvorstellungen können objektive n.-Arbeit verhindern oder erschweren. Dann müssen W. auf Mittel zurückgreifen, die nicht die besten Ergebnisse liefern. Allerdings denke ich, dass die N. freier, wesentlich freier, als z. B. die Geisteswissenschaften wie z. B. Philosophie o. ä. sind. Doch im heutigen Zeitalter gehen Forscher und Naturwissenschaftler dahin, wo sie die besten Voraussetzungen für ihre Arbeit finden und auch am freiesten arbeiten können.</p>

**Fragebogenantworten der Schülerin ScLi<sup>C</sup> im direkten Pre-Post-Vergleich**

ScLi <sup>C</sup> : Fragebogenantworten im Pre-Test	ScLi <sup>C</sup> : Fragebogenantworten im Post-Test
<p><b>F1: Was verstehen Sie unter 'Naturwissenschaften'?</b>            Unter dem Wort „Naturwissenschaften“ verstehe ich all die Dinge, die sich mit den chemischen, biologischen, physikalischen (und mathematischen) Vorgängen auf der Erde beschäftigen.            Sie versuchen, Zusammenhänge wie die Evolution zu erklären.            Im Gegensatz dazu stehen Wissenschaften wie die Theologie oder die Philosophie, die keine allgemeingültigen Beweise für bestimmte Vorgänge liefern. Man kann im Fall der Philosophie z. B. vieles selbst hineininterpretieren und es kann kein „richtig“ oder „falsch“ gefunden werden.</p>	<p><b>F1: Was verstehen Sie unter 'Naturwissenschaften'?</b>            Unter dem Wort Naturwissenschaften verstehe ich all die Wissenschaften, die sich mit den physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen in der Natur beschäftigen und diese anhand von Theorien unterstützen / erklären.            Sie stehen meiner Meinung nach im Gegensatz zu Wissenschaften wie der Theologie und der Philosophie, da man hier verschiedene Meinungen als richtig anerkennen kann und keine wirklichen Beweise finden kann.</p>
<p><b>F2: Was ist ein Experiment?</b>            Ein Experiment ist ein Versuch oder eine Probe, mit der man eine aufgestellte These entweder widerlegen oder beweisen kann.            Meistens werden Experimente durchgeführt, weil man sich über den Ausgang des Versuchs unschlüssig ist, also nur eine Ahnung hat, was passieren könnte.</p>	<p><b>F2: Was ist ein Experiment?</b>            Ein Experiment ist ein Versuch, den man durchführt, um eine Theorie zu unterstützen oder zu widerlegen. Verschiedene Vorgänge werden unter unterschiedlichen Bedingungen beobachtet und im Anschluss daran ausgewertet.</p>
<p><b>F3: Sind Experimente erforderlich?</b>            Ich bin der Meinung, dass für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens Experimente erforderlich sind, weil man ansonsten zwar vielleicht viel theoretisches Wissen über ein Thema aufbringen kann, man jedoch keinerlei praktische Beweise dafür hat.            Ein Beispiel wäre ein Reaktionsverlauf zwischen zwei Stoffen, die nur gering erforscht sind. Man kann sich zwar darüber Gedanken machen, aber man kennt den Ablauf und die Produkte nur, wenn man ein Experiment durchgeführt hat.</p>	<p><b>F3: Sind Experimente erforderlich?</b>            Ja, für die Entwicklung naturwissenschaftlichen Wissens sind Experimente erforderlich, da man sich nur auf diese Weise Vorgänge erklären kann. Wenn man z. B. Stoffe bei Reaktionen nachweisen will, muss man diese Reaktionen erst durchführen (Knallgasprobe).</p>
<p><b>F4: Können sich Theorien ändern?</b>            (a) Naturwissenschaftliche Theorien können sich ändern, weil sich die Möglichkeiten, diese zu erforschen, im Laufe der Zeit ändern. Eine vor 200 Jahren zu dem Aufbau der Zelle aufgestellte Theorie kann heute durch weiterentwickelte Mikroskope viel besser erforscht werden.            (b) Man beschäftigt sich in der Schule mit diesen Theorien, um die Forschungen nachvollziehen zu können und sich Hintergrundwissen anzueignen, wie z. B. bei der Evolutionstheorie.</p>	<p><b>F4: Können sich Theorien ändern?</b>            (a) Naturwissenschaftliche Theorien können sich ändern, da immer wieder neue Methoden und Geräte entwickelt werden, um Dinge zu untersuchen. Außerdem werden z. B. bei der Evolutionstheorie immer neue Funde gemacht, die vorher aufgestellte Hypothesen widerlegen könnten.            (b) Man beschäftigt sich in der Schule mit Theorien, um ein Grundwissen aufzubauen und des Weiteren um nachvollziehen zu können, auf welchem Hintergrund neue Theorien aufgestellt oder Experimente durchgeführt werden.</p>
<p><b>F5: Unterschied zwischen Theorie und Gesetz</b>            Ich denke, dass ein naturwissenschaftliches Gesetz schon (längere Zeit) bewiesen und in vielen Fällen angewendet wurde, wie z. B. das Gesetz zur Erdanziehungskraft.            Eine Theorie ist vielleicht nur in wenigen Fällen oder noch gar nicht nachgewiesen.</p>	<p><b>F5: Unterschied zwischen Theorie und Gesetz</b>            Eine naturwissenschaftliche Theorie ist ein Denkmodell wie die Säure-Base-Theorie, das noch weiterentwickelt werden kann. Es ist „ausbaufähig“ und kann auch noch widerlegt werden.            Ein naturwissenschaftliches Gesetz, wie das Gesetz zur Erdanziehungskraft, kann nicht mehr widerlegt werden.            Es ist über mehrere Jahrhunderte „erprobt“ und kann nicht mehr erweitert werden.</p>
<p><b>F6: Wirklichkeitsgehalt eines Atommodells</b>            Naturwissenschaftler hatten im Laufe der Jahrhunderte verschiedene Theorien über den Aufbau von Atomen.            Die Modelle, die in den Lehrbüchern herangezogen werden, sollen den Aufbau meist nur veranschaulichen.            Um zu entscheiden, wie ein Atom aussieht, haben sie meiner Meinung nach mehrere Experimente durchgeführt, bei denen sie unter anderem vielleicht versucht haben, Elektronen vom Atom abzuspalten, um die Lage dieser Elektronen zu bestimmen und verschieden geladene (Atome) Ionen miteinander „beschossen“.</p>	<p><b>F6: Wirklichkeitsgehalt eines Atommodells</b>            Die Vorstellung, wie ein Atom wirklich aussieht, wird in Lehrbüchern oft als Modell und stark vereinfacht dargestellt, um das Arbeiten mit dem Atom zu erleichtern.            Jedoch denke ich, dass sich die Naturwissenschaftler noch nicht völlig sicher über den Aufbau des Atoms sind.            Zwar haben sie Experimente durchgeführt, wie z. B. die Ionisierung von Atomen, um festzustellen, wo sich die Elektronen in diesem Atom befinden, aber ich denke, dass diese Theorie noch erweitert werden kann und es noch kein „Gesetz“ zum Atomaufbau gibt.</p>

ScLi <sup>C</sup> : Fragebogenantworten im Pre-Test	ScLi <sup>C</sup> : Fragebogenantworten im Post-Test
<p><b>F7: Aussterben der Dinosaurier</b></p> <p>Zunächst einmal sind unterschiedliche Schlussfolgerungen möglich, da diese Ereignisse vor mehr als 65 Millionen Jahren stattfanden. Präzise Forschungen werden dadurch sehr erschwert, weil es verhältnismäßig wenige Überreste aus dieser Zeit gibt.</p> <p>Daraus folgert, dass es eine große Bandbreite an möglichen Gründen für das Aussterben der Dinosaurier geben kann.</p> <p>Außerdem sind die Dinosaurier zwar schon sehr weit erforscht, jedoch kann man sich immer noch sehr verschiedene Bildern von ihnen, ihrer Anatomie und Lebensweise machen, ebenso wie von der Umwelt, in der sie gelebt haben, und was diese zerstört haben könnte.</p>	<p><b>F7: Aussterben der Dinosaurier</b></p> <p>Ich denke, dass die beiden Gruppen zu verschiedenen Schlussfolgerungen kommen, da sie zu Beginn zwei unterschiedliche Hypothesen aufgestellt haben und auch in diesem Sinne geforscht haben. Zwar hatten sie dieselben Funde und Informationsquellen, doch diese lassen noch verschiedene Interpretationen zu, auch bedingt dadurch, dass diese Zeit schon 65 Mio. Jahre zurückliegt.</p>
<p><b>F8: Einfluss von Kultur, Tradition</b></p> <p>Ich glaube, dass Naturwissenschaften zumindest damals soziale und kulturelle Wertvorstellungen widerspiegeln, da z. B. die wissenschaftlichen Theorien im Altertum von Gott geprägt waren und ethischen Grundsätzen.</p> <p>Die Lehren des Demokrit (die Atomtheorie) basierte z. B. auf den Vorstellungen von verschiedenartigen Atomen, wie den feuerähnlichen Seelenatomen, die nach dem Tod eines Menschen dazu fähig sind, sich einer neu entstehenden Seele anzuschließen.</p> <p>Heutzutage ist im Gegensatz dazu alles sehr universell zu rechtgelegt. Man stützt sich dabei nicht mehr auf kulturelle Grundsätze wie z. B. Glaubensvorstellungen.</p>	<p><b>F8: Einfluss von Kultur, Tradition</b></p> <p>Meiner Meinung nach sind die Naturwissenschaften früher sehr stark von sozialen und philosophischen Wertvorstellungen beeinflusst worden, indem man viele wissenschaftliche Vorgänge auf Götter zurückgeführt hat. Diese Zeit liegt jedoch lange zurück und heutzutage ist die Naturwissenschaft mehr oder weniger universell.</p> <p>In wenigen Punkten wird sie aber heute noch von politischen und sozialen Werten beeinflusst, z. B. im Bezug auf die Genforschung. Sie wird in einigen Ländern verboten und dadurch werden auch neue Theorien in dieser Richtung „unterdrückt“.</p>