

Rekonstruktion der Vorstellungen von Physikstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften - eine explorative Studie

Dietmar Höttecke* und Falk Rieß⁺

* Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Abteilung Physikdidaktik, Universität Bremen
⁺ Arbeitsgruppe Didaktik und Geschichte der Physik, Institut für Physik, Universität Oldenburg
(Eingegangen: 25.04.2005; Angenommen: 05.01.2007)

Kurzfassung

Im Rahmen eines Seminars der Oldenburger Physiklehrausbildung sind qualitative Daten über die Vorstellungen von Lehramtsstudierenden über die Natur der Naturwissenschaften in einem Pre-Post-Design erhoben und analysiert worden. Die Untersuchungsgruppe zeichnet sich dabei durch relativ laborierte Vorstellungen aus. Im Rahmen der hier präsentierten Darstellung werden die Ergebnisse im Hinblick auf die Frage, welche Vorstellungen identifizierbar sind, aufgearbeitet und wie sie sich unter dem Einfluss der Seminar-Intervention verändern. Es zeigt sich, dass sowohl adäquate als auch inadäquate Vorstellungen vertreten werden. Darüber hinaus gewährt die Untersuchung Aufschluss über widersprüchliche Elemente innerhalb der Vorstellungsmuster über die Natur der Naturwissenschaften.

1. Einleitung

Im Wintersemester 2004/05 wurde an der Universität Oldenburg ein Seminar für Lehramtsstudierende des Faches Physik über metastrukturelle Aspekte schulischen Physiklernens angeboten. Ziel des Seminars war es, den Kenntnisstand der Studierenden über die Natur der Naturwissenschaften (NdN) zu verbessern, sie mit gängigen Schülervorstellungen bekannt zu machen und adäquate Handlungsmöglichkeiten eines nachhaltigen Unterrichts über die NdN zu entwickeln. Die Wirksamkeit des Seminars wurde innerhalb eines Pre-Post-Designs erhoben. Als Vortest wurde ein offener Fragebogen angewendet. Im Nachtest wurde ein halbstrukturiertes Interview durchgeführt. In diesem Beitrag werden die in der Untersuchungsgruppe rekonstruierten Vorstellungen und ihre Veränderung analysiert.

2. Lernen über die Natur der Naturwissenschaften in Schule und Hochschule

In der Geschichte der Fachdidaktik der Physik ist häufig auf die Bedeutung des Lernens über Physik hingewiesen worden. Kircher, Girwitz und Häußler (2000) sprechen in diesem Zusammenhang in Abgrenzung zur begrifflichen Struktur der Physik von ihrer Metastruktur. Der mit dem Erwerb von Wissen über diese Metastruktur verbundene Lernbereich wurde in Anlehnung an den im angelsächsischen Sprachraum häufig verwendeten Terminus *nature of science* (Bell, Abd-El-Khalick & Lederman, 2001) mit *Natur der Naturwissenschaften* bezeichnet (Höttecke, 2001a, 2007; Hößle, Höttecke & Kircher, 2004) und im deutschsprachigen Raum etabliert. Die Bedeutung des Idioms *Natur der Naturwissenschaften* wird in der Literatur nicht genau einge-

grenzt, denn was Naturwissenschaft ist, wie sie arbeitet, welche Einflüsse eine Rolle spielen, und welche Parameter ihre Dynamik und Entwicklung beschreibbar machen, ist weder eindeutig festgelegt noch festlegbar (Höttecke, 2001a; McComas, 1995). Die Aktualität des Lernens über die NdN zeigt sich auf vielen Ebenen. Vor allem amerikanische und britische Curricula erteilen dem Lernen über die NdN eine Zentralstellung (AAAS, 1990, 1993; McComas & Olson, 1998; National Research Council, 1996). In einer Delphi-Studie (Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar & Duschl, 2003) konnte gezeigt werden, dass Aspekten des Lernens über Naturwissenschaften von Seiten verschiedener Experten eine hohe Bedeutung beigemessen wird. Im Sinne gelingender Wissenschaftspropädeutik gelten wissenschafts- und erkenntnistheoretische Reflexionen im Unterricht auch hierzulande als zentral (Schecker et al., 1996). Duit (2004) weist darauf hin, dass der Erwerb adäquater physikalischer Begriffe und Vorstellungen unterstützt werde, in dem zugleich Vorstellungen über die Natur der Physik erworben werden. Solche "multiplen Konzeptwechsel" sind zum Beispiel relevant, wenn ein mangelndes Verständnis physikalischer Modellbildungsprozesse Schwierigkeiten beim Erlernen des Teilchenkonzepts bedingt. Nicht zuletzt weisen die Nationalen Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss darauf hin, dass der Beitrag des Faches Physik zu allgemeinen Bildung darin bestehe, „die Sprache und Historie der Naturwissenschaften zu verstehen“ und dass sich Schülerinnen und Schüler mit den „spezifischen Methoden der Erkenntnisgewinnung und deren Grenzen auseinander [...] setzen“ (Kultusministerkonferenz, 2005, S.6). Problematisch ist dieser An-

	Semester	Alter	Geschlecht	Schulform	Fächer	Vortest	Nachtest
P1	5	22	m	Gym.	Ma/Phy	X	X
P2	7	24	m	Gym.	Ma/Phy	X	X
P3	7	24	m	Gym.	Ma/Phy	X	X
P4	5	24	m	Gym.	Ma/Phy	X	X
P5	7	23	m	HS/RS	Ma/Phy	X	X
P6	7	24	m	Gym.	Phy/Che	X	X
P7	6 (9 gesamt)	31	m	Gym.	Phy/Bio	X	-
P8	7	21	w	Gym.	Ma/Phy	X	-
P9	5	22	m	Gym.	Ma/Phy	X	-
P10	5	35	w	Gym.	Phy/Che	X	-
Mittel		25					

Tabelle 1: Probandendaten

spruch allerdings insofern, als dass kaum Ansätze zur Operationalisierung dieser hohen Ziele vorgestellt werden.

Für die Ausbildung von Physiklehrerinnen und -lehrern ist die Entwicklung angemessener Vorstellungen über die NdN ein zentrales Anliegen. Als Moderatoren der in den nationalen Bildungsstandards geforderten Kompetenzen „Erkenntnisgewinnung“ und „Bewerten“ sollten sie selbst über reflektierte Konzepte über die NdN verfügen. Dabei müssen wird davon ausgehen, dass metastrukturelle Aspekte naturwissenschaftlichen Lernens auch ohne explizites Unterrichten über die NdN immer mitschwingen, sobald Begriffe wie Theorie, Gesetz oder Modell im Physikunterricht verwendet oder explizit thematisiert werden (Matthews, 1994). Gar nicht über die NdN zu unterrichten, ist also nicht möglich. Eine adäquate Lehrerbildung sollte daher auf ein möglichst reflektiertes NdN-Verständnis der Physiklehrerinnen und -lehrer hinwirken, damit sie in der Lage sind, das eigene Fachverständnis und ihre Darstellung von Erkenntnisweisen und Erkenntniszielen im eigenen Unterricht (selbst-)kritisch zu transzendieren. Dies gilt umso mehr, da viele Fachdidaktikerinnen und -didaktiker auf die Gefahr und tatsächliche Praxis einer verzerrten Darstellung der NdN im traditionellen naturwissenschaftlichen Unterricht hinweisen (Allchin, 1999, 2003; Désautels & Laroche, 1998; Duschl, 2000; Höttecke, 2001a; Millar, 1989; Meyling, 1997; Rieß & Schulz, 1988). Erkenntniswege erscheinen dann als linear und frei von Umwegen, Messdaten werden als eindeutig interpretierbar dargestellt, Ziele und Motive von Physik werden kaum thematisiert und physikalisches Wissen erweckt den Eindruck des zeitlos Feststehenden.

Im deutschsprachigen Raum existieren bislang nur wenige empirische Untersuchungen, die mit den angelsächsischen Resultaten verglichen werden könnten: Wegen der Multiplikatorenwirkung von Lehrpersonen bietet es sich an, ein besonderes Augenmerk auf Studierende des Lehramts zu richten.

3. Die Untersuchungsgruppe

Die Untersuchungsgruppe bestand aus Studierenden des Lehramts mit dem Unterrichtsfach Physik (fast ausschließlich für Gymnasien) im Hauptstudium gemäß Tabelle 1. Im Rahmen der Oldenburger Physiklehrausbildung kommen sie mit wissenschaftshistorischen und -philosophischen Inhalten, insbesondere mit der Arbeit an Replikationen historischer Experimente (Heering, 2004) in Berührung. Sie geben selbst die folgenden Quellen ihrer Vorerfahrungen mit dem Thema NdN an:

- fachliche oder fachdidaktische Veranstaltungen des Grundstudiums mit wissenschaftshistorischen und -philosophischen Anteilen: P1, P2, P4, P5, P7, P9, P10
- didaktisches Seminar zur Atom- und Molekülphysik (inklusive historischer Aspekte): P4, P10
- Demonstrationspraktikum mit Replikationen historischer Experimente: P3, P5
- explizite Veranstaltungen zur Geschichte der Physik: P3, P10
- Philosophieveranstaltung: P3, P5, P10
- Seminar Public Understanding of Science: P6, P8
- Chemiestudium: P8
- selbsttätige wiss. Arbeit (Diplomarbeit): P7
- Fernsehen: P9

Die Untersuchungsgruppe muss daher als informiert über die NdN eingestuft werden. Da es sich um ein Seminar handelt, zu dem es auch Wahlalternativen gab, kann man den Teilnehmerinnen und Teilnehmern Interesse am Thema NdN und dessen empirischer Untersuchung unterstellen. Dies bestätigte sich auch im Veranstaltungsverlauf (keine Abwandernden während des Semesters, durchgängig geringe Fehlquote, hohe Bereitschaft zur Übernahme von Aufgaben).

4. Forschungsfragen

In Anbetracht der über die NdN informierten Probandenschaft stellte sich die Frage:

Welche Vorstellungen über die NdN lassen sich in einem Sample aus über die NdN informierten Studierenden (LA Physik) identifizieren, wie konsistent sind sie und wie verändern sie sich unter Einfluss der Intervention?

Die Lernwirksamkeit verschiedener Inhalte und Methoden sollte in der Selbsteinschätzung der Studierenden erhoben werden:

Welche Anteile der Intervention erleben die Probanden bezüglich ihres eigenen Lernens über die NdN als wirksam?

5. Seminarkonzeption

Das Seminar „Die Natur der Naturwissenschaften - Empirische Befunde und Forschungsprojekte“ umfasste das folgende Curriculum:

- i. Erhebung der Vorstellungen über die NdN der Teilnehmer(-innen) (Pre-Studie)
- ii. Kritische Lektüre eines Textspektrums aus Wissenschaftstheorie, -geschichte und Didaktik (Chalmers, 2001; Hentschel, 2003; Höttecke, 2001a [Kap. 1.5.6.3 über Experimentation]; Jammer, 1994; Kircher et al., 2004; McComas, 1998; McComas et al., 1998) mit dem Ziel, eigene Vorstellungen zu explizieren, zu verändern und die didaktische Relevanz des Themas zu erfassen
- iii. Entwicklung von Kenntnissen typischer Schüler- und Studentenvorstellungen über die NdN (Höttecke, 2001b)
- iv. Erörterung von Unterrichtskonzeptionen mit Schwerpunkt NdN (Geschichte im Physikunterricht, offenes Experimentieren und inquiry-learning)
- v. Handlungspraktische Übungen: Simulationen kritischer Unterrichtssituationen, in denen über die NdN gelehrt und gelernt werden kann, in Anlehnung an Nott und Wellington (1996)¹
- vi. Überblick über qualitative Untersuchungsinstrumente, Erhebung qualitativer Daten mit einem von den Studierenden konzipierten offenen Fragebogen zur Erfassung von Vorstellungen über die NdN von fachfremden Kommilitonen und Auswertung
- vii. Präsentation und abschließende Diskussion der Erhebungsergebnisse der Pre-Studie im Hinblick auf die eigenen Lernprozesse über die NdN
- viii. Post-Studie

6. Untersuchungs- und Auswertungsmethodik

Die Studie ist im Pre-Post-Test-Design angelegt. Als Erhebungsinstrument der Pre-Studie wurde in Anlehnung an bereits erprobte Testinstrumente (Abdel-Khalick, Bell & Ledermann, 1998; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002) ein offener Fragebogen mit einem allgemeinen Teil zur Erfassung personenbezogener Daten und einem inhaltsbezogenen Teil aus zehn Fragen entwickelt¹. Der Fragebogen wurde von allen Studierenden ausgefüllt. Den Probanden standen ca. 90 Minuten Zeit zur Verfügung, um Zeitdruck auszuschließen. Eine kommunikative Validierung über ein anschließendes Interview wurde nicht durchgeführt, da die Probanden sich im Rahmen des Seminars bereits kurz nach der Fragebogen-Erhebung mit wissenschaftstheoretischen Aspekten befasst hatten. Fragebogen und Interview hätten bezüglich der zu erhebenden Vorstellungen nicht mehr auf gemeinsamer Grundlage stattfinden können. Als Nachtest wurde ein halbstrukturiertes Interview mit sechs Probanden durchgeführt. Eine Verwendung des Fragebogens der Pre-Studie zur Post-Studie war ausgeschlossen, da die Studierenden selbst sich während des Seminars mit der Erhebung qualitativer Daten und speziell mit diesem Fragebogen auseinandergesetzt hatten.

Die Auswertung der Daten erfolgte in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse Mayrings (2005). Die Fragen des Fragebogens der Pre-Studie legen dabei den theoretischen Rahmen bzw. die Aspekte der NdN, die untersucht werden sollen, fest. Bedingt durch die Offenheit des Fragebogens war nicht gewährleistet, dass die Probanden sich überhaupt zu den intendierten Aspekten oder zu etwas anderem äußern. Ebenfalls war es möglich, dass Vorstellungsaspekte, die mit einer Frage erhoben werden sollten, erst in der Antwort zu einer anderen Frage deutlich wurden. Entsprechend wurde das Material der Pre-Studie nicht reduziert, sondern vollständig kodiert. Die Größe der Kodiereinheiten bewegte sich zwischen Satzteilen und Textabschnitten. Als Werkzeug der Analyse diente die Software Atlas.ti 5.0.

Das zentrale Element der Analyse bestand in einem Kodiersystem, das durch iterativen Durchgang durch das Datenmaterial entwickelt wurde. Die entwickelten Codes wurden zunehmend präzise und trennscharf, indem sie mehrfach überarbeitet, unter zusammenfassende Codes subsumiert oder während der Analyse z.T. neu gebildet wurden, sodass sie jeweils möglichst eindeutig identifizierbare Vorstellungen von der NdN bezeichneten. Die Codes können weder als aus theoretischen Erwartungen deduziert noch als rein induktiv gewonnen angesehen werden, denn in die Konstruktion der Messinstrumente fließt immer schon eine theoretische Erwartung des Kodierenden ein. Das Kodierschema selbst wurde aber unmittelbar am Datenmaterial entwickelt, indem von den Einheiten des Analysematerials abstrahiert wurde. Die induktive Vorgehensweise sichert eine möglichst große Nähe der Interpretati-

¹ Die entwickelten Seminarmaterialien, der offene Fragebogen und der Interview-Leitfaden der Post-Untersuchung sind auf Anfrage beim Erstautor erhältlich.

onen zum jeweils von den Probanden intendierten Sinn ihrer Texte und soll der Gefahr des Missverstehens (Carey, Evans, Honda, Jay & Unger, 1989; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002) entgegenwirken. Die so gewonnenen Abstraktionen wurden in kurzen Kode-Texten ausgedrückt und von knappen Erläuterungen ergänzt. Ankerbeispiele waren aufgrund des relativ übersichtlichen Materialumfangs im Pre-Test entbehrlich.

Beispiel:

Äußerung eines Probanden: „Ebenso wird unsere heutige Vorstellung vom Atom wahrscheinlich korrigiert od. sogar revidiert werden! Sie stellt - wie alle nat.wiss. Erkenntnisse - nur eine Momentaufnahme u. keine ewige Wahrheit dar.“ (P7^V)

Kode: nw Wissen: vorläufig

Erläuternder Text: Nw Wissen wird als vorläufig, vergänglich, historisch betrachtet. Das betrifft die Vergangenheit und/oder die Gegenwart.

Der Austausch mit einem Forscherkollegen über die entwickelten Kodes diente der Validierung. Exemplarisch wurden Interpretationsprobleme diskutiert, bis eine Verständigung auf eine Interpretation möglich war. Die Kodes und zugehörigen Zitate wurden in einem weiteren Analyseschritt geordnet und zusammengefasst, sodass sich Sinnstrukturen ergaben, die die Darstellung der Ergebnisse gliedern. Kodes und zugehörige Textstellen konnten im letzten Analyseschritt einer inhaltlichen Struktur aus fünf Bereichen der NdN zugeordnet werden:

- Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften
- Ontologie, Vorstellungen von der Natur des Wissens
- Experiment und Methode(n) der Naturwissenschaften
- Dynamik der Naturwissenschaften: soziale, kulturelle, gesellschaftliche und subjektive Aspekte
- Bedeutung wissenschaftstheoretischer Begriffe

Die Nachuntersuchung bestand in einem halbstrukturierten Interview. Die Konzeption des Interviewleitfadens orientierte sich im Wesentlichen an den fünf Inhaltsbereichen, die in der Voruntersuchung herauspräpariert worden waren. Ein zentraler Bestandteil des Interviews bestand in einem Demonstrationsversuch: Ein elektrisch geladener Konduktor wird periodisch dem einen Ende einer horizontal gelagerten Stahlstange angenähert. Am anderen Stangenende befindet sich ein isoliert aufgehängtes Holundermarkkugeln, das sich im Takt des Konduktors am anderen Stangenende bewegt. Der Interviewer demonstriert und erklärt den Versuch mit einer typischen "Schul-Erklärung" (elektrostatische Influenz, Bewegung von Elektronen). Der Versuch ermöglicht den Probanden, sich an einer konkreten Situation darüber zu äußern, wie sie sich einen phy-

sikalischen Modellbildungsprozess vorstellen. Zur Analyse der Nachuntersuchung wurden die Interviews videographiert und transkribiert. Im Gegensatz zur Voruntersuchung wurde nicht der gesamte Textkörper kodiert. Die Redeanteile des Interviewers, redundante, aber weniger deutliche und unverständliche Textteile wurden nicht berücksichtigt.

Unter dem Erkenntnisinteresse, Vorstellungen zu den fünf Bereichen und über die Selbsteinschätzung der Studierenden hinsichtlich der Lernwirksamkeit der verschiedenen Seminaranteile zu finden, wurden einzelne Textpassagen paraphrasiert. Die Paraphrasen dienten der ersten Reduktion des Materials. Eine zweite Reduktion mündete in kurzen Pre-Post-Profilen zu jedem Probanden, die Veränderungen der Vorstellungen sichtbar machen sollten (Abb. 1). Die Ergebnisse sämtlicher Analyseschritte wurden immer wieder am primären Datenmaterial überprüft.

7. Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt im Hinblick auf die fünf Inhaltsbereiche der NdN. Zitate der Probanden sind kursiv gesetzt. Referenzen auf die Probanden werden mit Kürzeln bezeichnet. Ein Index bezeichnet jeweils, ob die Referenz sich auf die Vor- (P1^V, P2^V ...) oder Nachuntersuchung (P1^N, P2^N ...) bezieht.

7.1 Ziele und Eigenarten der Naturwissenschaften

In der Voruntersuchung wird deutlich, dass die Probanden sich unter den Zielen der Naturwissenschaften ein unspezifisches Beobachten und Begreifen der Natur vorstellen. Die Sprache ist von semantischer Indifferenz geprägt. Der bezeichnete Objektbereich der Naturwissenschaften wird von den Probanden kaum eingegrenzt und konkretisiert. Es geht darum, *Wissen über die Natur und über Vorgänge der Natur zusammenzustellen* (P2^V), *den Dingen auf den Grund zu gehen und die Dinge, die auf der Welt passieren, zu verstehen* (P3^V), *sich mit den Gesetzmäßigkeiten und Phänomenen der Natur auseinander[zusetzen]* (P4^V) und das *Begreifen unserer Umwelt* (P9^V) weiterzuentwickeln.

Es fällt auf, dass in der Voruntersuchung keine und in der Nachuntersuchung kaum Erfahrungen mit tatsächlicher Forschung und entsprechenden Objektbereichen genannt werden, um auszudrücken, wozu Naturwissenschaften betrieben werden. Der benannte Ziel- und Objektbereich der Naturwissenschaften hat den Charakter des Unmittelbaren, Zugänglichen und Faktischen. Man macht in den Naturwissenschaften keine *Aussagen über Dinge* [...], *die* [...] *nicht greifbar sind* (P8^V) und in den *Naturwissenschaft geht es um Dinge (Fakten)* und die *Außenwelt des Menschen* (P10^V). Die Ergebnisse sind konsistent mit denen einer Studie von Bloom (1989), in der Studierende vorrangig die Vorstellung artikuliert haben, der Zweck der Naturwissenschaften bestünde in einem unspezifischen Verstehen der Welt.

Als weitere, aber kaum benannte Ziele werden die Emanzipation des Menschen aus metaphysischer Befangenheit (P9^V) und die Beherrschung und Nutzenorientierung der Naturwissenschaften (P8^V, P10^V) genannt. Die Nachrangigkeit der beiden letzt genannten Vorstellungen zeigt, dass Naturbeherrschung und Nutzenorientierung, die den Naturwissenschaften seit Francis Bacon inhärent sind (Höttecke, 2001a; Muckenfuß, 1995), nur zu untergeordneten Vorstellungselementen der Lehramtsstudierenden zählen. Dieses Defizit lässt sich auf weitere Zieldimensionen der Naturwissenschaften übertragen, die in der Voruntersuchung gar nicht anklingen. Dabei wären die Aspekte Naturwissenschaften als Prozess des Problemlösens, des Theorien-Entwickelns, des Technik-Innovierens und des Ökonomie-Förderns zu nennen.

Im Nachtest äußern sich fünf der sechs Probanden bezüglich der Ziele von Naturwissenschaft deutlich differenzierter. Ein unspezifischer Welt- und Naturbezug bleibt zwar wesentlich, es werden nun aber auch Vorstellungen artikuliert, die Naturwissenschaften innovierten Technik (P1^N, P3^N, P5^N, P6^N), dienen dem Nutzen des Menschen (P1^N, P2^N), seien dazu da, Profit zu erwirtschaften (P5^N, P6^N) und Grundlagen zu erforschen (P6^N).

In der Voruntersuchung wurde deutlich, dass Naturwissenschaften als das Andere der Kunst verstanden wurden. Die Rolle menschlicher Kreativität in den Naturwissenschaften wird kaum erfasst. In Abgrenzung zur Kunst werden die Naturwissenschaften als strukturiert, regelgeleitet und nur mit geringen Freiräumen ausgestattet angesehen. In ihnen kann ein *Allgemeingültigkeitsanspruch* (P1^V) vertreten werden, sie werden als *strukturiert und logisch* (P8^V), *objektiv und nicht gefühlsbetont* (P10^V) angesehen und zeichnen sich durch *reglementierte Beweis- und Erkenntniswege* (P5^V) aus. Sie untersuchen abgrenzbare Teile von Systemen *mit einem groben und dann immer feine[re]n Raster* (P6^V). Kunst wird dazu in Opposition eingeschätzt. Der Einzelne entscheidet für sich (P1^V), es gibt dort *einen wesentlichen Freiraum* (P4^V), aber sie gilt auch als *unstrukturiert, frei, also ohne Regeln und Vorgaben, kreativ, nicht wiederholbar, irgendwie alt / staubig und abhängig vom Betrachter* (P8^V). Die Kreativität hat gemäß der Vorstellung der Probanden in den Naturwissenschaften kaum eine Bedeutung. In der Post-Studie messen allerdings zwei Probanden (P4^N, P5^N) der Kreativität für die Naturwissenschaften Bedeutung bei.

Naturwissenschaften werden v.a. gemäß der Pre-Studie mit einem strengen Regelwerk konnotiert, Kunst dagegen erscheint als Ort der Freiheit, aber auch der Beliebigkeit und hat mit den Naturwissenschaften nichts zu tun. Damit sind die Ergebnisse konsistent mit denen von Abell und Smith (1992), die in einer Studie mit Studierenden zu dem Ergebnis kommen, dass die Bedeutung menschlicher Kreativität für den Prozess des Naturwissenschaft-Treibens von angehenden Lehrerinnen und Lehrern

kaum erkannt wird. Der Befund ist insofern bedeutsam, da nach einer Delphi-Studie (Osborne et al., 2003) ein weiter Expertenkonsens darüber besteht, dass Kreativität und Vorstellungskraft als wesentliche Ideen über Naturwissenschaften im Schulunterricht vermittelt werden sollen. Dies scheint aber kein wesentliches Vorstellungselement der Physiklehrerinnen und -lehrer zu sein.

Ähnlich wie in der Voruntersuchung Kunst und Naturwissenschaften als klar unterschieden eingeschätzt wurden, zeigen Vor- und Nachuntersuchung die Dominanz der Vorstellung, andere Wissenschaften wie die Geisteswissenschaften seien etwas ganz anderes als die Naturwissenschaften. Demnach unterscheiden sich die Wissenschaften hinsichtlich ihres Objektbereichs. In den Geisteswissenschaften gelten Gefühle und Gedanken, die Psyche, menschliche Beziehungen (P1^N, P2^N, P3^N, P5^N) und die soziale Welt (P5^N) als zentral. Sie befassen sich mit etwas Konstruiertem (P6^N) und gelten als unüberschaubarer bis hin zur Bezeichnung als *wabbelige Masse* (P4^N) für die Inhalte des Deutschunterrichts. Häufig wird ein besonderes Maß an Objektivität für die Naturwissenschaften in Anspruch genommen (P1^N, P2^V, P3^V, P4^V, P4^N, P6^V, P7^V, P8^V, P10^V) während anderen Wissenschaften die Tendenz unterstellt wird, subjektives Meinen, Glauben und Empfinden mache ihren Kern aus (P3^V, P4^V, P8^V).

Die Vorstellungen der Probanden reproduzieren die dichotome Unterscheidung der Natur- und Geisteswissenschaften wie sie als die „zwei Kulturen“ (Snow, 1969) häufig zitiert werden. Sie kann aber keineswegs als selbstverständlich erachtet werden. So analysieren Latour und Woolgar (1986) in Laborstudien als teilnehmende Beobachter die naturwissenschaftliche Praxis als Produktion von Texten. Das Hervorbringen von Messdaten trägt den Charakter des Interpretierens von Zeichen und Symbolen (Höttecke, 2001a) und damit auch hermeneutische Züge. Was als Tatsache oder Erklärung gelten kann, ist selbst immer schon in einen historischen Diskurs eingebettet und damit eine historische Entität. Die Wahrheiten der Naturwissenschaften sind ebenso historisch kontingent und wandelbar wie die Interpretationen von Texten es sind (Eger, 1993).

Die vorliegende Untersuchung zeigt dagegen, dass die Physikstudierenden die „zwei Kulturen“ weitgehend verinnerlicht haben. Dass diese Vorstellung uneindeutig, ambivalent und gebrochen sein kann, macht P6^V deutlich, der zugleich äußert: *das sind keine zwei Lager, das ist alles eins.*

Wie bereits die Pre-Studie zeigt, zählt ein historisches Gewachsen-Sein der Naturwissenschaften zu den deutlich interpretierbaren Vorstellungselementen eines Großteils der Untersuchungsgruppe. Das *Atommodell entwickelte sich im Laufe der Zeit* (P3^V), Atommodelle gelten als *historisch so gewachsen* (P5^V) und *Ergebnisse [der Naturwissenschaften] stellen lediglich den ‚aktuellen Stand der Wissenschaft‘ dar* (P7^V). P8^V, P9^V und P10^V äußern

sich ähnlich. Dass die Probanden ein Bewusstsein von der Historizität der Naturwissenschaften äußern, ist im Hinblick auf die Vorerfahrungen der Lerngruppe mit Wissenschaftsgeschichte und -theorie nicht verwunderlich. Dieser Befund ist ein Indiz für die Wirksamkeit der Oldenburger Physiklehrer-ausbildung, die hier starke Akzente setzt.

Für zumindest einen Teil der Probanden ist trotz der überwiegend verinnerlichten „zwei Kulturen“ klar, dass die Physik die Welt nur aspekthaft und ausschnittartig behandelt. Auf den Bildungswert dieser Erkenntnis hat bereits Martin Wagenschein (1962) aufmerksam gemacht. Einige Probanden zeigen dabei deutlich, dass sie der Physik ein begrenztes Erkenntnisspektrum unterstellen. Mit Physik kann man nicht jede Frage beantworten und alle Probleme lösen, sondern nur *Teilaspekte der Welt verständlich erklären* (P5^V). Für Probleme, die den Menschen als solchen betreffen, sind die Naturwissenschaften tendenziell nicht zuständig, denn [e]ine Frage wie ‚Wozu leben wir?‘ würde für [...] jeden Menschen eine andere Antwort erfordern (P6^V).

7.2 Ontologie

Für wie wirklich können wir die Objekte der Naturwissenschaften halten? Im Rahmen konstruktivistischer Philosophie werden auch die Objekte der Naturwissenschaften als Konstruktionen des Menschen aufgefasst (Bloor, 1991; Knorr-Cetina, 1981; Latour & Woolgar, 1986; Watzlawick, 2004). Auch in der Lernpsychologie und in den Fachdidaktiken hat sich dieses Paradigma, wenn auch weniger als grundsätzliche erkenntnistheoretische Position und mehr als adäquate Beschreibung von Lernprozessen durchgesetzt (Widodo & Duit, 2004). In der Wissenschaftsforschung deutet Knorr-Cetina (1981) darauf hin, dass naturwissenschaftliche Prozesse eher am Machbaren als am Wirklichen ausgerichtet sind. Die Realität wissenschaftlicher Objekte zeigt sich weniger in zeitlos gesicherter Erkenntnis als mehr im praktischen Gebrauch. Das Wissenschaftswirkliche wird aus dieser Perspektive als historisch kontingent und veränderbar betrachtet. Eine m.E. handhabbare Formel offeriert Hacking (1983, S.23) exemplarisch bezüglich der Frage nach der Realität von Elektronen: „[...] if you can spray them then they are real“.

In welchem Verhältnis zur Wirklichkeit sehen die Probanden naturwissenschaftliches Wissen und für wie gesichert halten sie es? Bereits eine große Anzahl der Äußerungen der Pre-Studie zeigt, dass Vorstellungen, die einem naiven Realismus zugeordnet werden können, nicht vertreten werden. Vielmehr wird unter naturwissenschaftlichem Wissen eine Annäherung an Wirklichkeit verstanden. Die Objekte der Naturwissenschaften werden nicht als zweifelsfreie Realitäten, sondern in ihrem vorläufigen, fragilen und hypothetischen Charakter begriffen. Die Existenz einer Entität gilt in der Physik nur als *annähernd zweifelsfrei* (P1^V), Beweise werden grundsätzlich nicht für möglich gehalten (P3^V, P6^V) oder

können falsch sein (P7^V). Mit unserem Wissen sind wir *nicht all zu weit von der Wirklichkeit entfernt* (P2^V), ein Modell *stützt sich nur auf Indizien* (P3^V) und alle naturwissenschaftliche Erkenntnis ist nur eine *Momentaufnahme* (P7^V). Alle Probanden äußern sich über Wissen als vorläufig und unsicher. Dieser Befund wird von der Post-Studie bestätigt. Entsprechend werden in beiden Untersuchungsphasen Modelle nicht als Abbilder von Wirklichkeit verstanden, sondern die Unterscheidung zwischen Modell- und Wirklichkeits-Ebene wird eingesehen (P4^V, P5^V, P6^V, P7^V, P8^V, P1^N-P6^N). Es wird also vorrangig die Vorstellung von Wirklichkeit als einer regulativen Idee vertreten. Zur Begründung ihrer Vorstellung rekurrieren einige Probanden (P8^V, P9^V) unmittelbar auf die Geschichtlichkeit naturwissenschaftlichen Wissens.

Es lassen sich zwei verschiedene Vorstellungen dazu ausmachen, auf welche Weise naturwissenschaftliches Wissen Geltung beanspruchen kann:

- Wissen wird in Experimenten verifiziert / falsifiziert
- Wissen ergibt sich aus einem kohärenten Gefüge verschiedener Wissensarten.

Vorstellung von der Verifikation / Falsifikation

Vor allem in der Pre-Studie wird die Vorstellung vertreten, dass Experimente entscheidende Instanzen zur Beurteilung von Geltung naturwissenschaftlichen Wissens seien (P2^V, P4^V, P6^V, P7^V, P9^V). Im Rahmen dieser empiristischen Vorstellung ist zentral, dass einem Experiment ein großer Entscheidungsanspruch über Theorien, Gesetze oder Modelle zugewiesen wird. Dieser Anspruch wird in der Form der Verifikation z.T. auch unter Einschluss der Falsifikation (P4^V, P5^V, P8^V, P9^V, P5^N) oder reinen Falsifikation unter Ausschluss von Verifikationsmöglichkeiten (P6^V) vertreten. Diese Vorstellung ist bei einigen Probanden so stark ausgeprägt, dass sie äußern, Wissen sei beweisbar – obwohl sie an anderer Stelle davon ausgehen, dass Wissen vorläufig und veränderbar sei. Für die Kugelgestalt der Erde haben wir heute z.B. im Gegensatz zu früheren Generationen *stichhaltige Beweise* (P4^V) oder *naturwissenschaftliches Wissen [lässt] sich möglichst über ein reproduzierbares Experiment beweisen* (P6^V).

Wir können nicht von konsistenten ontologischen Vorstellungen ausgehen, denn Wissen kann zugleich als veränderlich und bewiesen verstanden werden. Die Vorstellungen lassen sich eher als Amalgame aus realistischen bis relativistischen Positionen beschreiben, die sich in je verschiedenen Kontexten aktualisieren. Dies macht ein Beispiel deutlich: P2^V artikuliert im Rahmen eines allgemein-naturwissenschaftlichen Kontextes die Ansicht, gesichertes Wissen sei prinzipiell nicht möglich. Im Kontext des Ätherdrift-Experiments von Michelson und Morley, das in vielen Physikbüchern der Oberstufe problematischerweise als *experimentum crucis* dargestellt wird, erhält es eindeutigen und Theorie-

umstoßenden Charakter. Möglicherweise sind Kontexte der eigenen Lernbiographie besonders nachhaltig darin, empiristische Vorstellungen zu unterstützen.

Der Falsifikationismus als Vorstellung vom naturwissenschaftlichen Forschungsprozess und vom ontologischen Status des Wissens wird kaum vertreten. Damit können die Ergebnisse von Rowell und Cawthron (1982) und Develaki (1989) nicht reproduziert werden, die in ihren Untersuchungen eine Tendenz zu einem Popperschen Falsifikationismus identifizieren.

Kohärenz-Vorstellung

Als vorsichtigen Befund lässt sich im Pre-Post-Vergleich eine Tendenz zu einer Kohärenz-Vorstellung der Geltung naturwissenschaftlichen Wissens feststellen. Danach müssen sich verschiedene Wissensformen (Phänomen-, Experiment-, Instrument- und Theorie-bezogenes Wissen) aufeinander kohärent beziehen, damit wissenschaftliche Aussagen Geltung beanspruchen können. Zentrales Element der Vorstellung ist ein Zueinander-Passen und ein Aufeinander-Bezogen-Sein verschiedener Wissensarten zu einem u.U. fragilen Geflecht. Experimente können z.B. als Indizien für Theoriewissen gelten, ohne dass ein notwendiger und eindeutiger Verweisungszusammenhang artikuliert würde. Diese Kohärenzvorstellung wurde mit einem Sekundärtext (Höttecke 2001a) über den pragmatischen Realismus (Pickering, 1989) im Seminar eingeführt. Als wissenschaftstheoretisch verwandte Position wäre die Quine-Duhem-These zu nennen, nach der Wissen in miteinander verknüpften Aussagesystemen besteht, sodass Aussagen nicht in isolierten Experimenten überprüft werden können. Im Gegensatz zur Verifikations- und Falsifikations-Vorstellung ist diese Vorstellung davon geprägt, dass empirisches und theoretisches Wissen aufeinander bezogen und einander angepasst werden wie Puzzleteile aus weichem Material.

Ein exemplarisches Beispiel: *Sie [die Atomtheorie] passt sich in andere Theorien ein (z.B. Kernspaltung, chemische Reaktionen, ...) und erklärt die Vorgänge, die sie erklären können soll. Diese Theorie gilt als ziemlich gesichert (da auch Geräte wie Elektronenmikroskope aufgrund dieser Theorie funktionieren), sie ist aber noch längst nicht ausgereift (P2^V).*

Theorie-Wissen muss sich für P2^V in ein Gefüge aus anderen Theorien (*Kernspaltung, chemische Reaktionen*), Experiment-Wissen (beobachtbare *Vorgänge*) und Wissen über das Funktionieren von Instrumenten (*Elektronenmikroskope*) einfügen, also mit anderen Formen des Wissens kohärent werden, um eingeschränkte Geltung (*ziemlich gesichert*) zu beanspruchen. In der Pre-Studie zeigen vier (P2^V, P3^V, P7^V, P9^V) von zehn Probanden und in der Post-Studie fünf von sechs Probanden (P1^N, P2^N, P3^N, P5^N, P6^N) Anzeichen dafür, dass diese Vorstellung

zumindest schwach vertreten wird. Darauf deutet vor allem die Sprache der Probanden hin. Experimente, Modelle oder Theorie müssen vor allem zueinander *passen* (P1^N, P6^N, P9^V), miteinander abgeglichen werden (P3^N), *stimmig* (P6^N), *plausibel* (P1^N, P6^N) und *in sich so schlüssig* (P5^N) sein, damit *das Ganze funktioniert* (P1^N). Experimente gelten lediglich als Indizien (P2^N, P3^V, P3^N) und sprechen für theoretische Annahmen (P2^V), erzwingen sie aber nicht.

7.3 Vorstellungen vom Experiment und von naturwissenschaftlichen Methoden

Eine vorwiegend in der Pre-Studie artikuliert Vorstellung besteht darin, Experimente seien Prüfsteine von Hypothesen oder Theorien. Sie dienen dem Beweis, der Bestätigung, Überprüfung oder Widerlegung von Theorien (P1^V, P2^V, P5^V, P6^V, P8^V, P9^V, P10^V). Reproduzierbarkeit (P2^V, P4^V, P6^V, P9^V, P10^V) wird neben methodischer oder systematischer Kontrolle (P2^V, P5^V, P6^V, P10^V) als ein wesentliches Kriterium erfasst. Eine Vielzahl von Äußerungen weist auf das Vorherrschen der adäquaten Vorstellung hin, Experimente seien interpretationsbedürftig und Daten nicht selbstevident (P1^V, P3^V, P5^V, P6^V, P10^V). Diese Ansicht wird z.B. von P6^V sehr deutlich artikuliert: *Daten haben erst eine Aussage wenn sie interpretiert werden.*

Dieses Wissen um die Interpretationsbedürftigkeit experimenteller Daten ist für Lehrerinnen und Lehrer gerade deshalb besonders wichtig und adäquat, weil im naturwissenschaftlichen Unterricht Schulversuche häufig als eine Art „Antwortmaschine“ eingesetzt und dargestellt werden. Offenheit wird kaum zugelassen, sodass Daten auf eindeutige und eben selbstevidente Weise mit vorgetäuschter Notwendigkeit zu Gesetzen, Regeln oder Theorien führen. Die Vorstellung der Interpretationsbedürftigkeit experimenteller Daten ist daher sicher eine Voraussetzung, dass Lehrerinnen und Lehrer Experimente im Unterricht angemessen darstellen.

Diese Vorstellung steht aber zugleich im Kontrast zu der Vorstellung, experimentelle Daten bildeten den Ausgangspunkt der Naturwissenschaften, die stark vertreten wird (P2^V, P3^V, P4^V, P6^V, P7^V, P8^V, P9^V). Theorien gehen im Rahmen dieser empiristischen Vorstellung aus experimenteller Tätigkeit erst hervor, ohne dieser ebenso vorauszuliegen und Bedingung ihrer Möglichkeit zu sein. Nach dieser Vorstellung sind es nicht theoretische Erwägungen, sondern einzig und allein experimentelle Daten wie der *Rutherford'sche Streuversuch*, der zeigen kann, *dass die Atome nicht wie ein Rosinenkuchen aufgebaut sind* (P4^V). Damit vertreten die betreffenden Probanden einen Mythos einer auf Empirie basierenden und Experiment-lastigen Naturwissenschaft: Zuerst werden Daten und Beobachtungen gesammelt, danach werden die theoretischen Schlüsse gezogen. Zwei exponierte Zitate verdeutlichen den Zusammenhang:

Durch Analyse dieser Vorgänge werden Theorien aufgestellt, die diese beschreiben sollen (der Versuch ‚Naturgesetze zu entdecken‘) (P2^V).

Die theoretische Untersuchung folgt oft erst den experimentellen Beobachtungen (P3^V).

Dieses Zutrauen in den grundlegenden Charakter von Experimenten äußert sich allerdings nur in einem Einzelfall als Vorstellung vom *experimentum crucis* (P2^V). Ein ausgewogenes Verhältnis von Experimentieren und Theoretisieren deutet sich in der Pre-Studie nur bei zwei Probanden an. Sie vertreten die Vorstellung, dass Experimente *im Wechsel mit Hypothesen* zu neuem Wissen führen (P7^V) und dass es Experimente gebe, die *Zusammenhänge überprüfen sollen, die man sich logisch erschlossen hat* (P6^V). Wie bereits geschildert, zeigt die Post-Studie, dass eine Kohärenz-Vorstellung verstärkt vertreten wird, nach der auch Experimente nur noch Bausteine im Wissensgefüge, nicht aber deren alleinige Ausgangspunkte darstellen. Die Vorstellung, naturwissenschaftliches Wissen sei generell empirisch gerechtfertigt, kann allerdings als durchgängig adäquate Vorstellung identifiziert werden.

7.4 Dynamik der Naturwissenschaften: Bedeutung sozialer, kultureller, gesellschaftlicher und subjektiver Aspekte

Wissenschaft, Gesellschaft und Kultur

Deutlich tritt in der Pre- und Post-Studie die Vorstellung zutage, dass die naturwissenschaftliche Erkenntnisproduktion nichts Isoliertes ist, sondern von gesellschaftlichen Erfordernissen abhängt (P1^V-P9^V, P1^N-3^N, P5^N, 6^N). Die Gesellschaft nimmt (mit dem Mittel der Forschungsfinanzierung) Einfluss darauf, was erforscht wird (P2^N, P3^N, P4^V, P9^V) und befriedigt gesellschaftliche Bedürfnisse nach technischen Entwicklungen (P3^N, P5^N, P8^V). Umgekehrt wird auch eine Rückwirkung der Naturwissenschaften auf Gesellschaft anerkannt, denn die *Naturwissenschaften haben zudem Einfluss auf den Fortschritt der Gesellschaft* (P3^V), verändern Gesellschaft (P6^V) und sind Teil unserer Kultur (P5^V). Dass die Naturwissenschaften nichts Isoliertes und von ihren äußeren Bedingungen Losgelöstes sind, kann in beiden Untersuchungsphasen als Vorstellungselement fast aller Probanden identifiziert werden.

Es ergibt sich die Frage, inwieweit auch relativistische Positionen eingenommen werden, nach denen wissenschaftsäußere Faktoren (Kultur, Gesellschaft, Ökonomie etc.) im Inneren der Naturwissenschaften wirksam seien, indem sie das wissenschaftliche Denken und Handeln im Kern beeinflussen. Diese Vorstellung wird in der Pre-Studie selten, nur für historische Situationen, aber kaum für die Gegenwart geltend gemacht. Es wird angeführt, vor mehreren Jahrhunderten habe die Kirche noch erheblichen Einfluss auf naturwissenschaftliches Denken nehmen können (P4^V, P6^V). P6^V führt zusätzlich die griechische Antike und P1^V das 3. Reich als Beispiel

an. P1^V und P4^V gehen davon aus, dass die Naturwissenschaften sich bis heute zunehmend von solch außerwissenschaftlichen Einflüssen befreit haben. Das Forschungsdenken und –handeln der Gegenwartswissenschaft wird für weitgehend unbeeinflusst gehalten. Die Beeinflussbarkeit der Naturwissenschaften wird zwar prinzipiell akzeptiert, dabei aber, wenn sie konkret geäußert wird, ganz in den Bereich historischer Ausnahmesituationen verlegt.

Eine Ausdehnung einer relativistischen Epistemologie auf die Gegenwartswissenschaft unterbleibt und bleibt im besten Fall in einer diffusen Rhetorik stecken: *In der heutigen Zeit besteht ebenfalls eine bestimmte Sicht auf bestimmte Dinge, die Bestandteil der Gesellschaft ist* (P6^V). Naturwissenschaftliches Denken und Arbeit wird bezogen auf die Gegenwart für autonom gehalten. Für eine differenzierte Darstellung ist der Gedankengang entweder zu fremd oder es fehlt schlicht an argumentativen Ressourcen, was die Post-Studie allerdings mit geringerer Deutlichkeit bestätigt.

Sozialkonstruktivistische Vorstellungen

Seit den Arbeiten von Fleck (1935) und Kuhn (1962) wird für die naturwissenschaftliche Erkenntnisproduktion sozial vermittelten Aushandlungsprozessen innerhalb der scientific community große Bedeutung beigemessen. Im Rahmen der Pre-Studie zeigt sich ein Spektrum teilweise widersprüchlicher Vorstellungen. Es wird eingeräumt, dass in den Naturwissenschaften diskutiert wird oder Diskussionsbedarf unter Wissenschaftlern besteht (P3^V, P8^V), dass wissenschaftliche Kapazitäten den Gang der Forschung bestimmen können (P2^V), Paradigmenwechseln relevant sind (P5^V, P7^V) und dass wichtige Fragen wie die nach der Natur des Lichts auf einem *gemeinsamen Konsens der Physiker* (P9^V) beruhen. Dass die Geltung wissenschaftlicher Erkenntnisse im Rahmen einer scientific community ausgehandelt wird, ist ein Vorstellungselement, das in der Pre-Studie bei sieben Probanden deutlich identifizierbar ist.

Dass diese Vorstellung aber keineswegs eindeutig, sondern ambivalent ist, soll das Beispiel P4^V exemplarisch verdeutlichen:

Erst wenn sich durch Experimente ein naturwissenschaftlicher Konsens gebildet hat, den man als Wahrheit interpretieren kann, würde ich von Wissen sprechen. Jetzt wissen wir, dass die Erde rund ist, da wir das durch Experimente (Seefahrt) und Beweisen (Photos aus dem Weltall) verifiziert haben. Vor 1000 Jahren meinten alle ‚Naturwissenschaftler‘, dass die Erde eine Scheibe ist. Sie hatten zwar Erfahrungen machen können, doch fehlen stichhaltige Beweise.

Das Zitat zeigt, dass die Vorstellung von der Konsensbildung unter Wissenschaftlern keineswegs die Vorstellung verdrängt hat, *stichhaltige Beweise* seien die eigentlichen Faktoren zur Festlegung der Geltung wissenschaftlicher Erkenntnis. Dieser Um-

stand wird in einem weiteren Zitat des gleichen Probanden noch deutlicher:

Ich denke, dass es in den Naturwissenschaften auch viele Sachverhalte gibt, die durch Argumentationsketten verdeutlicht werden sollen, doch damit man zu der richtigen Erkenntnis kommt, muss man schon allgemein reproduzierbare Experimente nachweisen.

Konsens/Argumentieren und stichhaltige Beweise/richtige Erkenntnis stehen in auffälliger semantischer Polarität zueinander, die im Zitat von der entgegenstellenden Konjunktion *doch* markiert wird. Ebenso unterscheidet P5^V zwischen *Wissen als die Summe der Erkenntnisse, welche man durch Hypothesenbildung und -verifizierung/ -falsifizierung gesammelt hat und Meinungen als Paradigmen (oder Lehrauffassungen) innerhalb der durch die Paradigmen abgesteckten Bereiche*. Die Funktion sozialer Aushandlungsprozesse ist auf das Bemühen beschränkt, Mitwissenschaftler dazu zu bringen, harte Fakten anzuerkennen. Eine sozialkonstruktivistische Begrifflichkeit wird nur an der Oberfläche verwendet, konnotativ abgewertet und erscheint bei genauerer Betrachtung nicht in die Vorstellungen der Probanden über die Entwicklung wissenschaftlichen Wissens integriert. Argumentieren, Diskutieren und Aushandlungsprozesse unter Wissenschaftlern werden eher mit subjektivem Meinen und einer uneindeutigen empirischen Datenlagen in Zusammenhang gebracht, als Defizit einer Forschungssituation und nicht im sozialkonstruktivistischen Sinne als für Wissen konstitutiv verstanden.

Erhellend sind diesbezüglich die Antworten auf eine Frage des Fragebogens der Pre-Studie, in der eine Situation vorgegeben wird, in der Wissenschaftler über kosmologische Modelle urteilen müssen und darüber unsicher sind. Für diese Situation macht P1^V geltend, dass jeder Forscher für sich entscheiden dürfe, *ob er an diesen oder jenen „Faktor“ glaubt, bis annähernd zweifelsfrei Existenz oder Nichtexistenz bewiesen ist*. Bedingt durch die Offenheit der Situation werden die individuellen Meinungen der Wissenschaftler für relevant gehalten (P1^V, P3^V, P6^V). Bis wissenschaftliche Sicherheit erreicht worden ist, wird ein Wissenschaftler als jemand aufgefasst, der sich frei, subjektiv und beliebig einer Glaubensrichtung zuordnen kann. Dass Wissenschaftler eine Meinung haben und entsprechend in Dissens verfallen können, wird aber auf Situationen begrenzt, die von großer Unsicherheit und uneindeutiger Datenlage geprägt sind: Solche Situationen der Unsicherheit und des subjektiven Meinens besitzen negative Konnotationen und werden als defizitär vorgestellt. Als vorrangige Möglichkeit, solche Situationen aufzulösen, wird die Verbesserung der empirischen Datenlage (P1^V, P2^V, P4^V, P7^V, P8^V) eingeschätzt. Bis dahin schließen die individuellen Meinungen der Wissenschaftler die Wissenslücken vorläufig (P6^V). Im Kern bleiben die Naturwissenschaften aber von Subjektivität unberührt, sie bleiben harte Naturwis-

schaften, die sich *von der personenbezogenen Befangenheit gelöst* (P6^V) haben, in denen *es um Dinge (Fakten), nicht um Gedanken oder Gefühle* (P10^V) geht und in denen *die eigene Meinung zu bestimmten Themen weniger eine Rolle* (P3^V) spielt.

Die Polarität zwischen Meinen und sozialem Aushandeln einerseits und der Ansicht, eigentlich sei eine harte empirische Faktenlage relevant, wird aber durchaus bemerkt. Sie kanalisiert sich, indem ein normativer Anspruch der Naturwissenschaften formuliert wird. Objektivität und harte Daten werden als ein Ideal eingeschätzt, das die Naturwissenschaftler verfolgen sollen (P2^V, P7^V), aber bedauerlicherweise nicht (immer) erreichen können. *Soz. Einflüsse sind dabei zwangsläufig hinderlich, aber nicht zu verhindern* (P7^V, Hervorh. i. O.), das Ideal der Objektivität *lässt sich aber leider nicht erreichen, wie die Geschichte zeigt* (P2^V).

Eine sozialkonstruktivistische Sprechweise über Naturwissenschaften bleibt gemäß der Pre-Studie insgesamt oberflächlich. Eine relativistische Epistemologie, nach der Erkenntnisprozesse sich als Aushandlungsprozesse von Subjekten unter und in je spezifischen Bedingungen und Kontexten konstituieren, wird negativ konnotiert, überwiegend abgelehnt und als Abweichung von einer Norm gewertet. Die Post-Studie zeigt diesbezüglich eine Entwicklung der Vorstellungen hin zu einer größeren Akzeptanz sozialkonstruktivistischer Vorstellungen. Werden soziale Aushandlungsprozesse benannt, werden sie nicht mehr abgewertet (P1^N, P2^N). Der diskursive Charakter der Naturwissenschaften wird als ihr Motor und nicht als Abweichung von einer Norm guter Wissenschaftspraxis begriffen (P3^N, P6^N). Ohne die Bedeutung von Objektivität für die Wissenschaft zu bestreiten, wird anerkannt, dass subjektive Faktoren wie persönlicher Ehrgeiz Forschungsprozesse positiv beeinflussen können, *das spornt halt auch irgendwie diese ganze Gesellschaft untereinander an* (P1^N), führt dazu, dass *Forscher halt effektiv arbeiten* (P6^N) und ermöglicht neue wissenschaftliche Ideen (P3^N, P4^N).

7.5 Bedeutungen wissenschaftstheoretischer Begriffe (Theorie, Gesetz)

Im naturwissenschaftlichen Unterricht hat die Verwendung und Abgrenzung wissenschaftstheoretischer Begriffe wie Theorie, Gesetz, Hypothese oder Modell eine wichtige Funktion, um unterschiedliche Formen des Wissens zu strukturieren und zu benennen. Die Begriffe tragen allerdings auch und zugleich alltagsprachliche Bedeutungen, die ein Erlernen der wissenschaftstheoretischen Bedeutungen erschweren können. Wenn etwas theoretisch ist, dann mangelt es ihm an Konkretheit, Zuverlässigkeit oder Geltung. Eine Hypothese kennzeichnet einen ganz und gar unwahrscheinlichen Fall, ein Gesetz etwas sehr Gesichertes, Unabweisbares und ein Modell ein verkleinertes Abbild von etwas (Flugzeugmodell).

Die vorliegende Untersuchung ist auf die Erhebung von Vorstellungen zu den Begriffen Theorie und Gesetz begrenzt. Theorie und Gesetz bezeichnen verschiedene Formen des Wissens. Während Theorien erklärendes Wissen darstellen, wird mit Gesetz ein oft mathematisch ausgedrückter Zusammenhang generalisierter Regelmäßigkeit innerhalb physikalischer Systeme bezeichnet. Im Verlauf des Seminars haben sich die Probanden mit dem wissenschaftstheoretischen Gehalt der Begriffe befasst.

Die Pre-Studie zeigt zunächst, dass zwischen Theorie und Gesetz nicht in dem Sinne unterschieden wird, dass es um prinzipiell verschiedene Formen des Wissens ginge. Überwiegend wird die Ansicht einer Hierarchie Gesetz - Theorie geäußert. Demnach gilt eine Theorie als *noch nicht bewiesen* (P1^V), noch nicht ausreichend belegt (P4^V) oder verifiziert (P5^V), *noch nicht vollständig erforscht* (P2^V), nicht allgemeingültig (P3^V), *weiterentwickelbar und veränderlich* (P8^V) und entsprechend sorgt sie noch für Diskussionen unter den Wissenschaftlern (P4^V), die noch an ihr basteln müssen (P6^V).

Gesetze werden dagegen als eine gereifte Form des Wissens angesehen. Sie wurden bereits *vielfach bestätigt* und werden *wenig angezweifelt* (P2^V), sie besitzen *Allgemeingültigkeit* (P3^V), haben einen entsprechend *unumstößlichen Charakter* (P4^V) und gelten als momentan gültig, *ohne dass Fragen offen bleiben* (P6^V). *Ein Gesetz [...] ist fest, ein Fakt* (P8^V). *Eine nat.wiss. Theorie ist gewissermaßen eine ‚Vorstufe‘ zum Naturgesetz* (P7^V, Hervorh. i. O.). Entsprechend dieser hierarchischen Vorstellung können Theorien sich zu Gesetzen entwickeln, sobald sie hinreichend gesichert sind.

Der Befund der Pre-Untersuchung bestätigt die Ergebnisse anderer Studien an Untersuchungsgruppen aus Schülerinnen und Schülern oder Studierenden vom Mythos, Gesetze seien gereifte Theorien (Abdel-Khalick, Bell & Lederman, 1998; Désautels & Larochelle, 1998; Lederman & O'Malley, 1990; Meyling, 1990; Ryan & Aikenhead, 1992).

Im Rahmen der Pre-Studie finden sich nur wenige Hinweise auf ein adäquates Verständnis des Theoriebegriffs als erklärendes Wissen (P2^V, P5^V, P8^V), wobei alle entsprechenden Äußerungen von Probanden stammen, die an anderen Stellen zugleich die nicht-adäquate Vorstellung einer Hierarchie Gesetz - Theorie artikulieren. Adäquate Vorstellungen vom Gesetzesbegriff als *meist mathematische Beschreibung*, die es erlauben, *Dinge vorherzusagen* (P8^V) oder die praktische Benutzbarkeit (P10^V) hervorheben, werden kaum geäußert. Dass Theorien als Systeme verstanden werden, denen Gesetze subsumiert sein können, zählt ebenso zu den wenigen adäquaten Vorstellungen (P10^V).

Eine konsistente Koordination der Begriffe Theorie und Gesetz gelingt den Probanden in der Post-Studie deutlich besser. Danach wird der erklärende Charakter theoretischen Wissens erfasst (P1^N-P5^N). Theorien gelten als Referenzpunkt der wissenschaftlichen

Arbeit als *Arbeitsgrundlage* mit *Austauschcharakter* (P1^N), die *Dinge fassbar machen* (P5^N) und Versatzstücke von Wissen vernetzen (P6^N). Sie sind wie ein *Mantel, der dann so, so'n bisschen größeres Gebiet abdeckt* (P4^N). Theorien haben eine generative Funktion, indem sie Modelle hervorbringen (P5^N), Vorhersagen (P2^N) und neues Wissen ermöglichen (P6^N).

Unter einem Gesetz wird ein Teil einer Theorie (P1^N, P4^N, P5^N) verstanden. Formeln und Variablen sind seine äußeren Anzeichen (P3^N, P4^N). Nur in geringem Maße wird ein Gesetz nach wie vor als gereifte Theorie (P2^N) oder erklärendes Wissen (P6^N) eingeschätzt.

8. Lernwirksamkeit in der Selbsteinschätzung

In der Rückschau der Post-Studie geben alle Probanden an, ihr Wissen über die NdN vertieft und differenziert und so mehr Sicherheit in diesem Thema gewonnen zu haben. Dass dabei betont wurde, dass eine Erstbegegnung mit dem Thema im Rahmen des Seminars nicht stattgefunden habe, ist angesichts der ausgeprägten Vorkenntnisse der Untersuchungsgruppe verständlich. Als besonders lernwirksam wird bewertet, durch Sekundärtexte angeleitet über die NdN nachzudenken und zu sprechen. Dabei sei die Notwendigkeit, eigene Standpunkte zu beziehen, besonders bedeutsam (P2^N, P3^N, P4^N, P6^N). Eine eigene "kleine" empirische Studie über Vorstellungen über die NdN mit Kommilitoninnen und Kommilitonen anzustellen, wurde ebenfalls als lernwirksam eingeschätzt (P2^N, P3^N, P4^N, P6^N). Dazu mussten die Studierenden nicht nur genau über die Konstruktion der Fragen ihres Fragebogens, sondern auch über die Qualität der gegebenen Antworten nachdenken. Ein hoher Schul- und Praxisbezug (P1^N, P3^N) und die Reflexion eigener Lernprozesse im Spiegel der Untersuchungsergebnisse der Pre-Studie (P4^N, P6^N) wurden ebenso hervorgehoben.

9. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gibt Auskunft über identifizierbare Vorstellungselemente einer über die NdN informierten Probandengruppe. Angesichts der geringen Probandenzahl haben die Ergebnisse explorativen Charakter. Die Elemente sind in Abbildung 1 strukturiert zusammengefasst.

Die Vorstellungen können bereits in der Pre-Studie als (eingeschränkt) adäquat eingeschätzt werden. Die Untersuchungsgruppe zeigt keine Tendenz zu einem naiven Realismus, ist aber zumindest im Pre-Test empiristisch eingestellt. Eine wechselseitige Beeinflussung von Wissenschaft und Gesellschaft wird klar benannt, wobei naturwissenschaftliches Denken und Arbeiten im Kern als gegen kulturelle Einflüsse „immun“ verstanden werden.

Problematisch ist m.E. die Unsicherheit der Probanden im Hinblick darauf, Ziele und Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften zu benennen. Unter den

Zielen der Naturwissenschaften wird vorwiegend ein unspezifisches sich Auf-die-Welt- oder Auf-die-Natur-Beziehen verstanden. Forschungsprozesse werden kaum für kreativ gehalten, stattdessen gilt Naturwissenschaftstreiben als vorwiegend regelgeleitet und strukturiert. Dieser Befund weist darauf hin, dass die Ziele der Naturwissenschaften selbst in einem Studium mit wissenschaftshistorischen und -theoretischen Akzenten nicht ausreichend erfasst werden. Fallstudien, die hier aufklärend wirken, wären daher in der Lehrerausbildung angezeigt.

Auffällig ist im Hinblick auf die Ergebnisse der Pre-Studie die Tendenz, die Naturwissenschaften als harte, objektive und vorwiegend empirisch begründete Form der Erkenntnisgewinnung von anderen Formen abzutrennen (Zwei-Kulturen-These). Die Rolle von Theorie wird erst in der Post-Untersuchung im Rahmen der sich entwickelnden Kohärenz-Vorstellung der Geltung von Wissen adäquat eingeschätzt. Dort werden Experiment und Theorie verstärkt im Sinne einer Wechselwirkung und gleichberechtigt beurteilt.

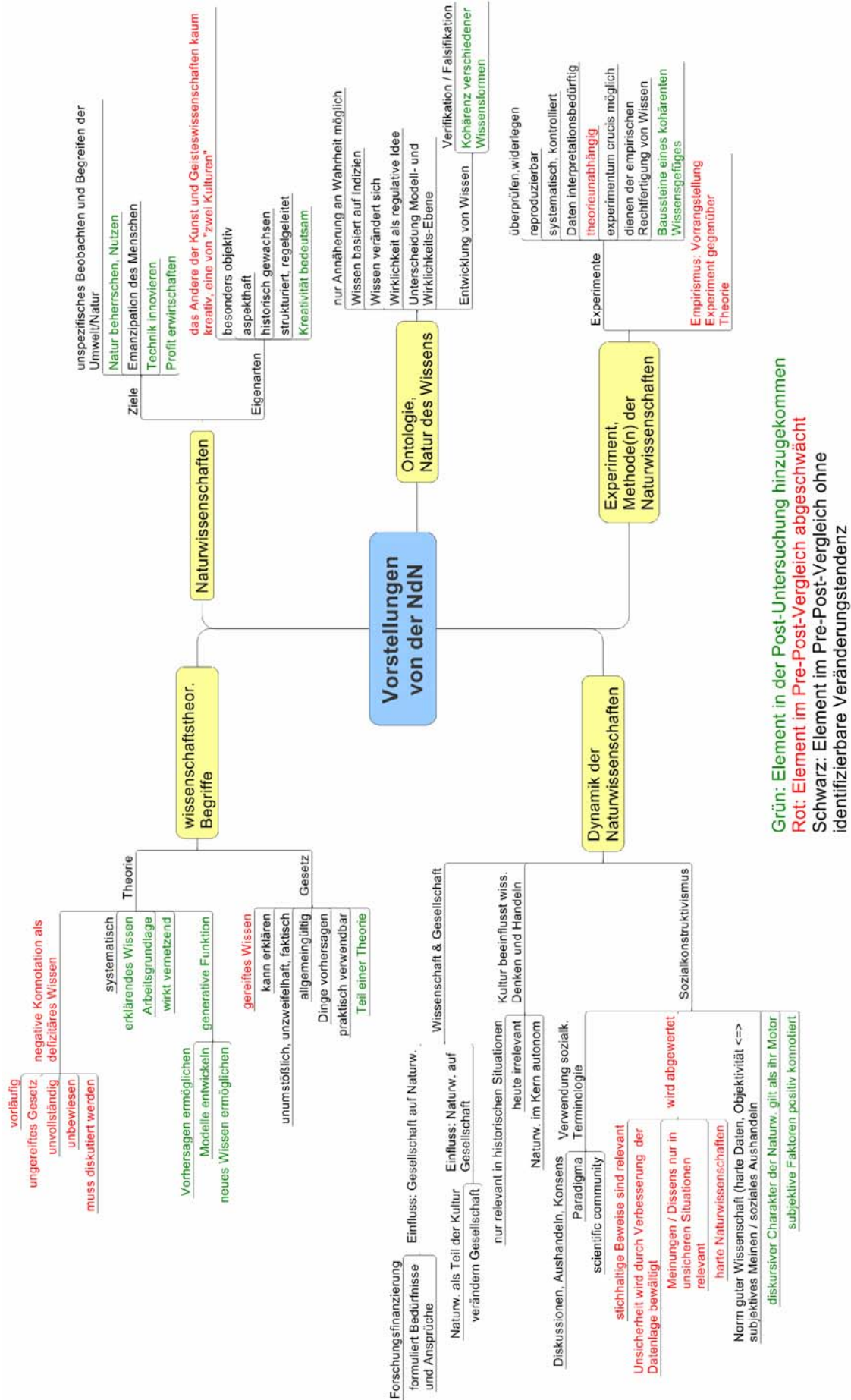
Wird eine sozialkonstruktivistische Terminologie verwendet, so bleibt sie in der Pre-Studie oberflächlich und ist von negativen Konnotationen gekennzeichnet. Dieser Befund ist ein Hinweis darauf, dass die Verwendung einer sozialkonstruktivistischen Terminologie kein Indikator dafür ist, dass der diskursive Charakter der Naturwissenschaften positive Wertschätzung erfährt. Erst in der Post-Untersuchung wird der diskursive, subjektive und kreative Charakter von Wissenschaft verstärkt positiv konnotiert.

Die Begriffe Theorie und Gesetz wurden vor der Intervention alltagssprachlich und nach der Intervention weitgehend adäquat verstanden. Die Studie weist dabei darauf hin, dass diese auch in der Schulphysik bedeutsamen und häufig verwendeten Begriffe im Physikstudium einer wissenschaftstheoretischen Erläuterung bedürfen. Wenn diese erfolgt, so kann ein Konzeptwechsel verglichen mit dem Erwerb sozialkonstruktivistischer Vorstellungen relativ unproblematisch gelingen.

Auf der Basis der differenzierten Analyse qualitativen Datenmaterials weist die vorliegende Untersuchung vor allem auf die Inkonsistenzen der erhobenen Vorstellungen hin. Die Vorstellung, Wissen könne bewiesen werden, kann durchaus mit der Vorstellung gepaart sein, Wissen sei grundsätzlich vorläufig. Relativistische Vorstellungen werden zwar ansatzweise akzeptiert, aber zugleich auf Situationen großer Unsicherheit eingeschränkt. Der Einfluss von Kultur und Gesellschaft auf die Naturwissenschaften wird zwar eingesehen, aber nur bis zu einer bestimmten Grenze, jenseits derer das eigentliche Denken und Handeln in den Naturwissenschaften als autonom betrachtet wird. Diese Befunde sind Beispiele für den ambivalenten und widersprüchlichen Charakter der Vorstellungen von Studierenden über die NdN. Sie zeigen, bis zu welchen Grenzen

Konzeptwechsel vollzogen werden. Es wäre allgemein wünschenswert, wenn auch standardisierte Messinstrumente der Vorstellungsforschung Ambivalenzen und Widersprüche erkennbarer und deutlicher herausarbeiten würden.

Es ergeben sich weiterhin Hinweise für die Gestaltung der Lehrerbildung im Bereich NdN. Als lernwirksam müssen Seminarelemente bewertet werden, die zu einer möglichst selbstständigen und praxisorientierten Auseinandersetzung mit dem Thema führen. Eine Meinung artikulieren müssen, sich die eigenen Vorstellungen bewusst machen, die Vorstellungen anderer erheben und bewerten, wird als lernwirksam eingeschätzt. Aus Äußerungen einzelner Seminarteilnehmer und der eigenen Beobachtung als Seminarleiter geht hervor, dass ein Bewusstsein dafür, dass das Thema für die Schulpraxis relevant ist, sich weniger in der isolierten Lektüre fachdidaktischer oder wissenschaftstheoretischer Texte und eher in praktischen Übungen wie den ‚kritischen Unterrichtssituationen‘ erschließt: *Also ... einmal, dass ich als Lehrer viel mehr -eh- über Natur der Naturwissenschaften einfließen lassen kann, als ich's gedacht hätte. Das ist mir jetzt klarer geworden. Und in welchen Situationen halt auch, welchen spezifischen Unterrichtssituationen zum Beispiel (P1^N).*



Grün: Element in der Post-Untersuchung hinzugekommen
 Rot: Element im Pre-Post-Vergleich abgeschwächt
 Schwarz: Element im Pre-Post-Vergleich ohne identifizierbare Veränderungstendenz

Abbildung 1: Identifizierte Vorstellungselemente und Veränderungstendenzen

10. Literatur

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1990). *Science for All Americans. Project 2061*. New York, Oxford: Oxford University Press
- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (1993). *Benchmarks of Science*. New York, Oxford: Oxford University Press
- 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), 417-436
- Abell, S.K. & Smith, D.C. (1992). What is Science? Preservice Elementary Teachers' Conceptions of the Nature of Science. In S. Hills (Hrsg.), *The History and Philosophy of Science Education, Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching, The Mathematics, Science, Technology and Teacher Education Group and The Faculty of Education Queen's, University, Kingston, Ontario (Vol. 1)*, 11-22
- Allchin, D. (2003). Scientific Myth-Conceptions. *Science Education* (87), 329-351
- Bell, R., Abd-El-Khalick, F., Lederman, N. G., McComas, W. F. & Matthews, M. R. (2001). The Nature of Science and Science Education: A Bibliography. *Science & Education* (10), 187-204
- Bloom, J. W. (1989). Preservice Elementary Teachers' Conceptions of the Nature of Science: Science, Theories and Evolution. *International Journal of Science Education* (11), Nr. 4, 401-415
- Bloor, D. (1991). *Knowledge and Social Imagery*. Chicago, London: University of Chicago
- 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 Student's Understanding of the Construction of Scientific Knowledge. *International Journal of Science Education* 11, special issue, 514-529
- Chalmers, A.F. (2001). Beobachtung als Intervention. In ders., *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Berlin u.a.: Springer-Verlag
- Désautels, J. & Larochelle, M. (1998). The Epistemology of Students: The 'Thingified' Nature of Scientific Knowledge. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Publishers, 115-126
- Develaki, M. (1998). Die Relevanz der Wissenschaftstheorie für das Physikverstehen und Physiklernen. Ein Beitrag zur Untersuchung der wissenschaftstheoretischen Ansichten von Physiklehrern und Physikstudenten. Diss., FU Berlin
- Duit, Reinders (2004). Schülervorstellungen und Lernen von Physik. PIKO-Brief NR. 1, Mai 2004, http://www.uni-kiel.de/piko/downloads/piko_Brief_01_Schuelervorstellungen.pdf#search=%22multiple%20konzeptwechsel%22 (26.09.2006)
- Duschl, R.A. (2000). Making the Nature of Science explicit. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne, *Improving Science Education. The Contribution of* proving Science Education. The Contribution of Research, Buckingham, Philadelphia: Open University Press, 187-206
- Eger, M. (1993). Hermeneutics as an approach to science: part 1. *Science and Education* (2), 1-29
- Fleck, L. (1935 [1994]). *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp
- Hacking, I. (1983 [1993]). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge u.a.: Cambridge University Press
- Heering, P. (2004). Historische Apparaturen und Experimente in der Physiklehrausbildung. In C. Höhle, D. Höttecke & E. Kircher, *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren, 58-70
- Hentschel, K. (2003). Mythen um berühmte Experimente und Experimentatoren. *Das Märchen vom Zauberer im weißen Kittel. Physik in unserer Zeit* 34 (5): 225-231
- Höhle, C., Höttecke, D. & Kircher, E. (Hrsg.) (2004). *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften - Wissenschaftspropädeutik für die Lehrerbildung und die Schulpraxis*. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren
- Höttecke, D. (2001a). Die Natur der Naturwissenschaften historisch verstehen. Fachdidaktische und wissenschaftshistorische Untersuchungen. Berlin: Logos-Verlag, Diss.
- Höttecke, D. (2001b). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der „Natur der Naturwissenschaften“. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 7, 7-23
- Höttecke, Dietmar (2007, im Druck). Historisch orientierter Physikunterricht. In S. Mikelskis-Seifert & T. Rabe. *Physikmethodik*. Berlin: Cornelsen Verlag Scriptor
- Jammer, M. (1994). Gesetz. In H. Seiffert & G. Radnitzky (Hrsg.), *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie*. München: dtv
- Kircher, E.; Girwidz, R. & Häußler, P. (2000). *Physikdidaktik. Eine Einführung in Theorie und Praxis*. Braunschweig u.a.: Vieweg
- Kircher, E. & Dittmer, A. (2004). Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften - ein Überblick. In C. Höhle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.), *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften*. Baltmannsweiler: Schneider-Verlag Hohengehren, 2-22
- Knorr-Cetina, K. (1981 [1991]). *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft*. Frankf. a. M.: Suhrkamp
- Kuhn, T.S. (1962 engl. Original [1973]). *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp
- Kultusministerkonferenz (2004). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*

- http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Physik_MSA16-12-04.pdf#search=%22bildungsstandards%20physik%20%22 (26.09.2006)
- Latour, B. & Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press
- 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): 497-521
- Lederman, N.G. & O'Malley, M. (1990). Students' Perceptions of Tentativeness in Science: Development, Use, and Sources of Change. *Science Education* (74), Nr. 2, 225-239
- Mayring, P. (2005). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim u.a.: Beltz-Verlag
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*. New York, London: Routledge
- McComas, W. F. (1995). A Thematic Introduction to the Nature of Science: An Analysis of the Rationale, Content and Impact of a Philosophy of Science Course for Science Educators. In F. Finley, & D. Allchin (eds.), *Proceedings of the Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference*. Minneapolis: University of Minnesota, 726-737
- McComas, W.F. (1998). The Principle Elements of the Nature of Science: Dispelling the Myth. In: W.F. McComas (Hrsg.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers
- McComas, W.F.; Clough, M.P. & Alamazroa, H. (1998). The Role And Character of The Nature of Science in Science Education. In: W.F. McComas (Hrsg.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers
- McComas, W.F. & Olson, J. K. (1998). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In W.F. McComas (Hrsg.), *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers
- Meyling, H. (1990). *Wissenschaftstheorie im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Das wissenschaftstheoretische Schülervorverständnis und der Versuch seiner Veränderung durch explizit wissenschaftstheoretischen Unterricht*. Bremen, Diss.
- Meyling, H. (1997). How to Change Students' Conceptions of the Epistemology of Science. *Science & Education* (6), 397-416
- Millar, R. (1989). Bending the Evidence: The Relationship between Theory and Experiment in Science Education. In R. Millar (Hrsg.), *Doing Science: Images of Science in Science Education*. London: The Falmer Press, 38-61
- Milne, C. & Taylor, P.C. (1995). Practical Activities Don't Talk to Students: Deconstructing a Mythology of School Science. In F. Finley & D. Allchin (Hrsg.), *Proceedings of the Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference*. Minneapolis: University of Minnesota, 788-801
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington D.C.: National Academic Press
- Nott, M. & Wellington, J. (1996). When the Black Box Springs Open: Practical Work in Schools and the Nature of Science. *International Journal of Science Education* 18 (7): 807-818
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. & Duschl, R. (2003). What "Ideas-about-Science" Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community. *Journal of Research in Science Teaching* (40), Nr. 7, 692-720
- Pickering, A. (1989). Living in the material world: on realism and experimental practice. I J. Gooding, T. Pinch & S. Schaffer, *The uses of experiment*. 275-297
- Rieß, F. & Schulz, R. (1988). Zur Rechtfertigung des historisch-genetischen Ansatzes im naturwissenschaftlichen Unterricht. *physica didactica* 15, Heft 3/4, 32-59,
- Rowell, J.A. & Cawthron, E.R. (1982). Images of Science: An Empirical Study. *European Journal of Science Education* 4, (1), 79-94
- Ryan, A.G. & Aikenhead, G.S. (1992). Students' Preconceptions about the Epistemology of Science. *Science Education* 76, (6), 559-580
- Schecker, H., Bethge, T., Breuer, E., Dwingelölütten, R. v., Langensiepen, B., Graf, H.-U. & Gropengießer, I. (1996). *Naturwissenschaftlicher Unterricht im Kontext allgemeiner Bildung. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 49, (8), 488-492
- Snow, Charles P. (1969). Die zwei Kulturen (Rede von 1959). In: H. Kreuzer (Hrsg.), *Literarische und naturwissenschaftliche Intelligenz. Dialog über die "zwei Kulturen"* Stuttgart, S. 11-25
- Wagenschein, M. (1962 [1995]). *Die pädagogische Dimension der Physik*. Aachen-Hahn: Hahner Verlagsgesellschaft
- Watzlawick, P. (Hrsg.) (17/2004). *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus*. München, Zürich: Piper
- Widodo, A. & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 10, 232-254